

108 年度自駕車用地圖標準 及移動測繪技術發展工作案

期末報告書 (修正本)

計畫主持人：江凱偉 教授
協同主持人：曾義星 教授
 洪榮宏 教授
 郭重言 教授
 王驥魁 教授
 呂學展 副教授

委託單位：內政部
執行單位：國立成功大學

中 華 民 國 108 年 12 月 23 日

中文摘要

傳統測量以及屬性調查作業從開始收集資料到系統建置階段皆相當耗時，已不符合科技發展的趨勢與成本效益。近年來測量與空間資訊技術正在逐漸革新，所帶來的效益仰賴系統空間及屬性資料的時效性以及正確性，並藉此發揮它的功能以表示真實世界的現象。攝影測量製圖技術與整合式定位定向系統的結合，搭配多種感測器來蒐集空間資料，能夠實現快速且精確的移動式測量及製圖技術。透過使用移動載台製圖技術建置空間資料，可更快速及有效地規劃國土發展，進而產製自駕車用高精地圖。另一方面，目前備受矚目的行動裝置，發展低成本的室內定位技術，能夠與其他載台構築聯合作業模式，應用在防災與不同的適地性服務。結合現有移動載台製圖技術、室內圖資建置技術、物聯網與移動裝置組成綿密的空間資訊應用網格，預期能針對物聯網技術與智慧城市之願景，發展適地性服務（含災害防救）急速擴張的需求，這對深化空間資訊領域產業的發展有正面的助益。

本團隊在內政部支持下，探討自駕車用高精地圖之相關議題並持續自主研发適用不同移動載台之製圖技術，冀望於本案能夠在既有成果上持續更進一步往應用面推廣，包含下列與移動載台製圖系統相關之議題。**建立自駕車用地圖標準及指引**項目中，發展高精地圖標準與相關指引，並且進一步提送成為產業標準，以利自駕車產業的發展。**自駕車用地圖應用評估**項目中，完成即時動態地圖與室內外無縫自駕車用高精地圖應用之先期評估，以及協助引進國外產製高精地圖之多平台製圖技術，並於適地性服務案例試辦中，驗證高精地圖之作業流程與圖資精度。**國際自駕車相關組織參與評估**項目中，透過參加相關的組織與活動，蒐集國際自駕車資訊並鏈結臺灣目前的發展狀況。**自駕車用地圖與移動載台感測器驗證服務**項目中，提供高精地圖驗證與多平台製圖技術率定的服務，並且完成測試與率定設施之維護作業。**發展移動裝置通用之室內定位技術**項目中，研發人工智慧技術之室內影像匹配輔助與室內地圖輔助之行人慣導定位技術，並運用在故宮南院實踐適地性服務案例試辦。**評估室內定位技術於室內防救災應用**項目中，完成室內定位技術於人員受災分流機制之評估，並進行相關模擬測試與分析。**發展地籍測量移動製圖技術**項目中，透過可攜式全景影像測繪系統的輔助作業，於適地性服務案例試辦中，證實本系統在實務場景下，可達到合乎地籍測量市地之規範。

Abstracts

It is time consuming for traditional survey to collect attribute information and construct the system. This drawback causes it to not be in line with the rapid development of technology and cost benefit. However, survey and geomatics technologies have been revolutionized in recent years. It represents the real-world and their benefits rely on the timeliness and accuracy of spatial and attribute information. With the combination of photogrammetry, precise integrated Positioning and Orientation System (POS), and multiple sensors, mobile mapping system is able to collect spatial data shortly and reach real-time requirement. The collected spatial data from the mobile mapping system assist the government for national land development and autonomous vehicle application in a quicker and more effective way. In addition, the indoor mobile mapping and navigation technologies can make a teamwork with vehicle-based systems for the applications based on the development of mobile devices. The mobile mapping technologies, indoor map, network and mobile devices construct the stable basis of spatial information application to support the fast-growing requirement of location-based service (including disaster prevention) for the development of Internet of Things (IoT) and smart city which also bring the advantages for the development of geomatics and spatial information industries.

With the support from Ministry of the Interior, our research team have developed plenty of mobile mapping systems constantly and have obtained good achievements. The self-development of High Definition (HD) maps and mobile mapping technologies can be considered as the ultimate objective of geomatics communities around the globe. This project aims in developing several core technologies concerning multi-platform mobile mapping systems for applications of autonomous vehicle, indoor navigation and cadastral survey. In short, this project is beneficial to not only develop the national spatial planning program but also provide proper and professional training to young scholars and engineers thus enhance the competitiveness and academic achievement around the world.

目 錄

第一章、前言.....	1
1.1 背景分析	7
1.2 工作項目	19
1.3 工作時程	21
第一部分：自駕車用地圖標準及應用	
第二章、建立自駕車用地圖標準及指引.....	24
2.1 建立自駕車用地圖作業流程指引	24
2.2 建立自駕車用地圖驗證精度流程指引	26
2.3 建立自駕車用地圖標準	27
2.4 本章小結	56
第三章、自駕車用地圖應用評估.....	58
3.1 評估自駕車用地圖標準成為產業標準相關工作	58
3.2 即時動態地圖(Dynamic Map)標準及作業流程指引先期評估作業	59
3.3 室內外無縫自駕車用地圖應用先期評估作業	70
3.4 自駕車用地圖適地性服務案例試辦	80
3.5 持續研提或協助引進國外產製高精地圖之多平台製圖技術	82
3.6 本章小結	83
第四章、國際自駕車相關組織參與評估.....	85
第五章、試驗場域自駕車用地圖圖資服務	94
5.1 依內政部需求維護沙崙、水湳試驗場域自駕車用地圖圖資	94
5.2 提供試驗場域自駕車用地圖圖資諮詢服務	96
5.3 本章小結	97
第六章、自駕車用地圖與移動載台感測器驗證服務	98
6.1 自駕車用地圖精度驗證服務	100
6.2 維護多平台製圖技術測試與率定設施、車載及影像感測器之儀器率定服務.....	101
6.3 本章小結	104
第二部分：移動測繪技術發展	
第七章、發展移動裝置通用之室內定位技術	106
7.1 研發應用人工智慧技術之室內影像匹配輔助行人慣導定位技術	106
7.2 研發室內地圖輔助之行人慣導定位技術	117
7.3 適地性服務案例試辦	125
7.4 本章小結	129
第八章、評估室內定位技術於室內防救災應用	130
8.1 評估室內定位技術於人員受災分流機制	130
8.2 配合內政部辦理 108 年度行政院災害防救科技創新服務方案，協助災後快速製圖技術研發相關作業	138
8.3 本章小結	140

第九章、發展地籍測量移動製圖技術.....	141
9.1 應用移動製圖技術精進地籍測量作業，探討移動製圖技術納入地籍測量作業相關流程之精度分析	141
9.2 適地性服務案例試辦	147
9.3 本章小結	157
第三部分：成果發表與推廣	
第十章、舉辦成果發表會議.....	158
10.1 召開自駕車用地圖推廣會議	158
10.2 辦理自駕車用地圖技術之新南向國際研討會	165
第十一章、研究成果發表.....	171
11.1 提送期刊或研討會論文文稿	171
11.2 參加國內外實作或論文競賽	172
第十二章、協助推動國際測繪合作事務.....	173
12.1 配合內政部需求參加國際研討會	173
12.2 配合內政部其他專案共同在臺辦理臺印尼年度測繪技術交流會議活動	174
12.3 配合內政部需求參與測繪技術服務團(GEM)赴印尼技術交流	176
第十三章、協助推動自駕車用地圖相關計畫	177
第十四章、結語.....	183
第十五章、建議.....	185
15.1 執行成果之建議	185
15.2 未來方向之建議	186
參考文獻.....	188
附錄一：成果效益評估、計畫進度管考以及報告審查意見回覆	192
附錄二：高精地圖製圖作業指引.....	212
附錄三：高精地圖驗證指引.....	237
附錄四：高精地圖圖資內容標準.....	287
附錄五：高精地圖檢核報告書.....	390
附錄六：會議紀錄.....	436
附錄七：研究成果發表文稿.....	454
附錄八：專案人員簽到表.....	549
附錄九：國內自駕車和高精地圖相關單位	570

圖 目 錄

圖 1.1 移動測繪系統可拓展之應用領域.....	3
圖 1.2 團隊歷年執行內政部工作案完成之工作項目及關聯性	4
圖 1.3 本案研擬之執行主軸.....	6
圖 1.4 直接地理定位技術之演進.....	8
圖 1.5 本團隊自主研發之影像級車載移動測繪系統—鷹眼系統	9
圖 1.6 汽車駕駛系統分類.....	9
圖 1.7 既有導航地圖與高精地圖之差異.....	11
圖 1.8 高精地圖之產製示意圖.....	11
圖 1.9 行人慣導之定位技術概念.....	13
圖 1.10 藍牙無線網絡連結星狀架構.....	14
圖 1.11 最短路徑樹.....	16
圖 1.12 最短路徑演算法流程.....	16
圖 1.13 AR 汽車導航 APP 使用介面.....	17
圖 1.14 工作執行進度管制圖.....	23
圖 2.1 高精地圖製圖作業之車載行動測繪系統流程	25
圖 2.2 Local Dynamic Map.....	28
圖 2.3 高精地圖圖資內容標準之定位.....	30
圖 2.4 路徑建構模組之圖徵架構圖.....	31
圖 2.5 車道建構模組之圖徵架構圖.....	32
圖 2.6 OpenDRIVE 之核心架構組成部分.....	33
圖 2.7 慣性坐標系統與軌跡坐標系統.....	34
圖 2.8 軌跡坐標系統.....	34
圖 2.9 OpenDRIVE 之參考線與車道.....	35
圖 2.10 OpenDRIVE 之參考線與線形.....	36
圖 2.11 OpenDRIVE 之範例資料展示畫面.....	36
圖 2.12 OpenDRIVE 之 ODR Viewer 展示畫面.....	37
圖 2.13 SENSORIS 標準之概念示意圖.....	37
圖 2.14 ADAS Horizon 之概念示意圖.....	38
圖 2.15 ADASIS 3.0 架構圖	39
圖 2.16 高精地圖圖資內容標準之應用綱要主要架構	43
圖 2.17 link 類別.....	44
圖 2.18 type 類別	44
圖 2.19 planView 類別	45
圖 2.20 elevationProfile 類別	46
圖 2.21 lateralProfile 類別	46
圖 2.22 laneSection 示意圖	47

圖 2.23 laneSection 類別	47
圖 2.24 lane 類別	48
圖 2.25 object 類別	49
圖 2.26 tunnel 類別	50
圖 2.27 bridge 類別	50
圖 2.28 signal 類別	51
圖 2.29 junction 類別及 controller 類別	52
圖 2.30 junction 示意圖	53
圖 2.31 controller 示意圖	53
圖 2.32 userdata 類別	54
圖 2.33 MarkLine 及相關類別	54
圖 2.34 LaneCenterLine 相關類別	55
圖 2.35 擴充類別 XML 綱要	56
圖 3.1 臺灣資通產業標準協會(TAICS)審查程序	58
圖 3.2 智慧型運輸系統(ITS)概述	60
圖 3.3 車聯網系統架構	61
圖 3.4 LDM Data Objects (LDM-DO)組成	62
圖 3.5 LDM 與 ITS 站的資訊關係	64
圖 3.6 LDM 架構	65
圖 3.7 IEEE 802 之組成	66
圖 3.8 LDM 標準化邏輯資料模型	68
圖 3.9 LDM 數位基礎設施	69
圖 3.10 無縫式定位技術架構圖	71
圖 3.11 室內外整合三維地圖：(左) 未作任何處理之成果；(右) 加入 GNSS 資訊輔助之成果	73
圖 3.12 自駕車室內外無縫銜接定位設備	74
圖 3.13 局部 MLS 地圖	75
圖 3.14 多樓層室內停車場：(左) 自駕車行駛之起終點位置；(右) 實驗中所 使用之 MLS 地圖，藍線為經由 SLAM 演算法處理後之行駛軌跡	75
圖 3.15 利用 Velodyne 光達進行障礙物規避：(左) 紅色物件為障礙物；(右) 黃線代表其光束方向上並無障礙物	75
圖 3.16 自駕車在多樓層室內停車場的軌跡圖：(左) 由第一層至第四層停車 場的軌跡；(右) 最後自駕車行駛至紅色目標障礙物後方的路徑	76
圖 3.17 利用魚眼相機偵測障礙物：(左) 原始拍攝影像；(中) 深度影像； (右) 萃取之障礙物，紅色為障礙物位置，藍色為不確定區域	77
圖 3.18 語意地圖：(左) 路線圖，藍色為車道線、綠色為停車格、紅色為交 叉口，粉紅色為充電站；(右) 速率地圖	77

圖 3.19 路線圖.....	77
圖 3.20 透過分類器標記的停車格.....	77
圖 3.21 協作製圖與自動停車系統架構圖.....	79
圖 3.22 語意地圖與路徑模擬.....	79
圖 3.23 高精地圖適地性服務之試辦區.....	81
圖 3.24 試辦區之點雲成果.....	81
圖 3.25 ZENRIN 與 AISAN 沙崙試驗場域之參訪花絮.....	83
圖 4.1 OADF 網站.....	86
圖 4.2 dSPACE 網站.....	87
圖 4.3 NDS 之定位.....	88
圖 4.4 SENSORIS 之定位.....	89
圖 4.5 OpenDRIVE 之定位.....	89
圖 4.6 ADAS Horizon 概念.....	90
圖 4.7 ADASIS v3.0 架構.....	90
圖 4.8 SIP-adus 第一階段架構.....	91
圖 4.9 SIP-adus 第二階段測試架構.....	92
圖 4.10 韓國計畫架構.....	93
圖 5.1 沙崙試驗場域之點雲成果.....	94
圖 5.2 沙崙試驗場域之向量圖層成果.....	95
圖 5.3 沙崙試驗場域之向量圖層檢核示意圖.....	96
圖 6.1 多平台製圖系統測試與率定服務架構.....	98
圖 6.2 多平台製圖系統測試與率定設施.....	99
圖 6.3 高精度雙軸轉台之定平作業：（上）校正前；（下）校正後.....	102
圖 6.4 慣性感測系統規格率定程序.....	102
圖 6.5 慣性感測系統之實測情形與資料.....	103
圖 6.6 相機率定圓盤之維護作業：（左）油漆前；（右）油漆後.....	104
圖 7.1 PDR 流程圖.....	107
圖 7.2 分別使用磁力計及陀螺儀的測試軌跡.....	108
圖 7.3 空間後方交會示意圖.....	109
圖 7.4 影像輔助 PDR 技術之實驗軌跡成果.....	110
圖 7.5 尤拉角之旋轉表示.....	111
圖 7.6 正常狀態和萬向鎖.....	111
圖 7.7 四元數之旋轉表示.....	112
圖 7.8 Inception Modules 架構圖.....	112
圖 7.9 作業流程架構圖.....	114
圖 7.10 不同的輸入值對於類神經網路最終之中值誤差.....	115
圖 7.11 室內定位 APP.....	116

圖 7.12 電腦上運行類神經網路執行之結果.....	116
圖 7.13 三邊定位示意圖.....	117
圖 7.14 圖資輔助方位示意圖.....	119
圖 7.15 地圖輔助技術概念流程圖.....	119
圖 7.16 期中測試場域.....	120
圖 7.17 期中測試手機（分別為 HTC M7、SONY Z2 及 SONY Z3）.....	120
圖 7.18 期中測試成果.....	121
圖 7.19 期中檢核點之誤差統計.....	122
圖 7.20 期末測試場域.....	123
圖 7.21 期末測試手機（MI 8）.....	123
圖 7.22 期末測試成果.....	124
圖 7.23 期末檢核點之誤差統計.....	125
圖 7.24 故宮南院之 APP 介面畫面.....	126
圖 7.25 展物之文字 AR 效果.....	126
圖 7.26 107 年度研發之 APP 介面外觀.....	127
圖 7.27 108 年度優化之 APP 介面外觀.....	127
圖 7.28 字體大小按鈕.....	128
圖 7.29 文字底色按鈕.....	128
圖 7.30 故宮南院實測.....	129
圖 8.1 逃生衝突示意圖.....	131
圖 8.2 無法逃生示意圖.....	131
圖 8.3 M_WDF 演算法之虛擬碼.....	133
圖 8.4 Bipartite 演算法.....	134
圖 8.5 遊客分布情形：(左) 隨機分布；(右) 集中分布.....	135
圖 8.6 基本方法之逃生時間：(左) 隨機分布；(右) 集中分布.....	135
圖 8.7 匹配方法之逃生時間：(左) 隨機分布；(右) 集中分布.....	136
圖 8.8 隨機分布之逃生時間：(左) 匹配方法；(右) 基本方法.....	136
圖 8.9 隨機分布之平均移動距離：(左) 匹配方法；(右) 基本方法.....	137
圖 8.10 集中分布之逃生時間：(左) 匹配方法；(右) 基本方法.....	137
圖 8.11 集中分布之平均移動距離：(左) 匹配方法；(右) 基本方法.....	138
圖 8.12 總成果發表會之活動花絮.....	139
圖 8.13 本團隊相關技術與應用之參展海報.....	139
圖 9.1 (a)PPIMS 之平台硬體設計；(b)PPIMS 整體外觀.....	142
圖 9.2 MAPS 使用介面：量測頁籤操作展示畫面.....	143
圖 9.3 移動製圖技術輔助於地籍測量之作業流程.....	143
圖 9.4 (a)105 年光達成果；(b)107 年光達成果.....	144
圖 9.5 量測輔助標：(a)標面外觀；(b)布設於界址點上.....	145

圖 9.6 新竹市政府地政處光達輔助地籍測量：(a)稜鏡；(b)反射標貼紙；(c)反射標貼紙於光達點雲之顯示.....	145
圖 9.7 交會幾何分析之定位誤差說明.....	147
圖 9.8 臺南市 107 年度及 108 年度重測區域.....	148
圖 9.9 永康區 107 年度重測區域.....	148
圖 9.10 永康區試辦區域：以 ArcMap 軟體套疊展示.....	149
圖 9.11 透空較佳之測試區域：(a)現地環境；(b)控制點；(c)界址點.....	149
圖 9.12 透空較佳之測試區域之相關外業操作.....	149
圖 9.13 透空較佳之測試區域：測站、控制點與連結點分布圖.....	150
圖 9.14 地形傾斜以致量測輔助標面偏移地面中心.....	153
圖 9.15 透空較佳之測試區域：解算之界址點套疊地籍圖.....	153
圖 9.16 透空較差之區域：以 ArcMap 軟體套疊展示.....	154
圖 9.17 永康區 108 年重測區域：(a)現地環境；(b)控制點與界址點.....	154
圖 9.18 透空較差之測試區域之相關外業操作.....	155
圖 9.19 內業解算之 PPIMS 測站位置分布圖.....	155
圖 9.20 透空較差之測試區域：測站、控制點與連結點分布圖.....	155
圖 10.1 「自駕車上路高精圖資如何營運新創產業座談會」議程.....	158
圖 10.2 自駕車上路高精圖資如何營運新創產業座談會」花絮.....	159
圖 10.3 「高精地圖介接國內自駕車系統座談會」議程.....	160
圖 10.4 「高精地圖介接國內自駕車系統座談會」花絮.....	161
圖 10.5 「高精地圖研究發展中心開幕儀式」議程.....	162
圖 10.6 「高精地圖研究發展中心開幕儀式」花絮.....	163
圖 10.7 工商時報報導.....	164
圖 10.8 成功大學新聞中心報導.....	164
圖 10.9 「2019 自駕車用高精地圖國際研討會」議程.....	166
圖 10.10 「2019 自駕車用高精地圖國際研討會」花絮.....	167
圖 10.11 臺灣智駕測試實驗室之參訪花絮.....	169
圖 10.12 高精地圖研究發展中心之參訪花絮.....	170
圖 12.1 「第一屆臺灣印尼測繪高峰論壇」花絮.....	174
圖 12.2 「Geomatics International Conference 2019」花絮.....	176
圖 13.1 「臺灣智駕測試實驗室」開幕活動之場布作業.....	177
圖 13.2 高精地圖研究發展中心之設立位置—成功大學資訊大樓.....	178
圖 13.3 高精地圖研究發展中心：(左)辦公室；(右)會議室.....	178
圖 13.4 各單位參訪高精地圖研究發展中心之花絮.....	179
圖 13.5 「高精地圖研究發展中心」Facebook 粉絲頁.....	181
圖 13.6 「高精地圖產學研資訊交流平台」網站.....	182
圖 13.7 「高精地圖產學研資訊交流平台」主架構.....	182

表 目 錄

表 1.1 各年度工作案完成之工作項目.....	4
表 1.2 室內定位技術整理表.....	14
表 1.3 室內定位技術特性比較表.....	15
表 1.4 工作執行進度管制表.....	22
表 2.1 高精地圖製圖作業指引之項目與說明.....	25
表 2.2 高精地圖驗證指引之項目與說明.....	26
表 2.3 國際相關標準之比較.....	40
表 2.4 junction 內 connection 之範例.....	52
表 3.1 高精地圖標準與相關指引提送至 TAICS 之審查時程.....	59
表 3.2 DSRC 及 LTE V2X 在汽車應用中技術路徑權衡.....	67
表 3.3 室內外定位技術之比較.....	72
表 3.4 三種不同停車路徑.....	78
表 3.5 自駕車用之室內圖層對應高精地圖圖層之分析.....	80
表 3.6 共同研究自駕車圖資格式之相關議題.....	82
表 3.7 與 ZENRIN 之合作效益.....	83
表 4.1 OADF 提供會員之相關資料.....	86
表 4.2 12 th Open Auto Drive Forum Meeting and 1 st NDS Public Conference 之議程.....	87
表 5.1 點雲密度計算成果.....	95
表 5.2 諮詢服務之討論會議內容.....	97
表 6.1 測試與率定實驗室之說明.....	100
表 6.2 多平台製圖系統測試與率定實驗室使用單位之年份統計表.....	101
表 6.3 慣性感測系統測試及率定實驗室之檢測項目與規格.....	103
表 6.4 感測器測試與率定之紀錄表.....	105
表 7.1 室內導航技術之特色.....	118
表 7.2 期中測試手機之規格.....	120
表 7.3 期中測試成果閉合百分比.....	122
表 7.4 期末測試手機之規格.....	123
表 7.5 期末測試成果閉合百分比.....	124
表 9.1 PPIMS 系統方位率定成果：軸角.....	144
表 9.2 PPIMS 系統方位率定成果：固定臂.....	144
表 9.3 可攜式移動製圖技術之誤差來源與大小.....	146
表 9.4 控制點已知坐標值與 e-GNSS 量測坐標值差異.....	150
表 9.5 透空較佳之測試區域：測站之球形全景影像.....	151
表 9.6 透空較佳之測試區域：界址點精度與檢核成果.....	152

表 9.7 透空較佳之測試區域：界址點精度與檢核成果（移除編號 999、1000 之界址點）	152
表 9.8 透空較差之測試區域：測站之球形全景影像	156
表 9.9 透空較差之測試區域：界址點精度與檢核成果	156
表 10.1 國際與會人員列表	165
表 10.2 參訪行程表	169
表 11.1 已提送之國際期刊資訊	171
表 11.2 已投稿之論文資訊	171
表 12.1 「第一屆臺灣印尼測繪高峰論壇」議程	175
表 12.2 印尼與會人員列表	176
表 13.1 專案人員之逐月工作情形	180

第一章、前言

配合國家科技發展重點政策，且落實測繪及空間資訊科技自主化，內政部地政司自民國 105 年開始推動「空間測繪的相關應用發展計畫」，在國內既有測繪技術基礎上，擴大各項測繪相關技術之本土研發面向，並深化自主性研究能量，厚植測繪軟硬體實力，最終目的乃在輔助國家經濟建設與社會貢獻產出。爰此，本團隊擬延續 105 年、106 年與 107 年度之研究成果，持續研發通用於移動裝置之公尺級量測精度室內定位技術、評估於室內防救災應用，及發展適用於地籍測量之移動製圖技術，以精進地籍測量作業流程，並持續維護多平台製圖技術測試與率定設施，提供儀器率定服務，同時配合內政部（地政司）整體政策需求辦理相關成果發表會議並協助推動國際測繪合作事務，以擴大空間測繪技術流通應用，並以科學外交形式輔助國際事務媒合，以期於本案研究推動下培養國內科技專業人力累積移動測繪之技術能量，同時協助我國產業轉型技術服務輸出營利模式，帶動整體空間資訊產業之創新與發展。

另一方面，隨著智慧型運輸系統(Intelligent Transportation System, ITS)的發展，自駕車將成為未來全新的交通方式。根據 Intel 2017 年 6 月分析報告預測，2050 年全自動駕駛車輛可創造 7 兆美元的乘客經濟；IHS Markit 預測 2040 年自駕車在全球三大地區（北美、歐洲、亞洲）的年銷售總量將超越 3,300 萬輛；我國工研院 IEK 預測，因自駕車、車聯網與共享時代來臨，將有 8,000 億美元市場規模。同時，我國因具備車電產業基礎且感測系統供應鏈完備，極具發展自動駕駛技術車輛潛力，因應世界發展自駕車潮流，於民國 107 年經立法院通過「無人載具科技創新實驗條例」，行政院也將其列為 5+2 新興重點政策，積極推動自駕車實證上路計畫，透過研發自駕車相關「感知」、「決策」、「控制」關鍵技術，期盼能逐步實現自駕系統國產化願景，促使臺灣成為全球自動駕駛次系統關鍵產業鏈及服務技術輸出國，其中在自駕車運行具有不可或缺之地位的高精地圖(High Definition Map, HD Map)，其提供自駕車決策系統輔助，降低技術門檻及所需經費，並且提升安全性。然而，上述關鍵包含高精地圖建置技術及地圖內容標準的關鍵技術則尚在起步階段。高精地圖之製作方式主要依賴車載移動製圖測量方法獲取直接地理定位點雲與影像並透過特徵萃取與人工輔助方式製作，國內已累積多年發展與應用車載移動製圖技術之經驗，並具備成熟的資料處理技術，並據此製作全台通用版電子地圖，惟對於產製自駕車用高精地圖並無統一標準製作程序、精度規範與地圖格式，恐會造成廠商格式不相符無法流通，導致重複資源投入並衍生行車安全與國安議題。

本團隊於民國 107 年期間在內政部地政司與經濟部工業局共同支持下，透過台灣資通產業標準協會(Taiwan Association of Information and

Communication Standards, TAICS)制定「高精地圖製圖作業指引」，透過場域實證以及產業專家意見回饋，業經該協會標準審議程序通過後對外發布，以利產業於自駕車測試場域環境建置高精地圖時有所依循；同時，涉及自駕車用之地圖應備內容之「高精地圖內容標準」，本團隊亦在地政司與工業局共同支持下已研擬高精地圖內容標準草案文件，經該協會技術管理委員會提案通過，完成專家會議審查並處於執行草案內容修訂之程序。

同時本團隊亦於107年在內政部地政司與經濟部工業局共同支持下參與國內目前臺中水湳與臺南沙崙二個官方設置的自駕車場域之高精地圖內容與規格制訂、製圖作業指引與成果檢核等工作項目。值得一提的是，地政司與成功大學於101年起共同設立的多平台製圖系統測試及率定設施在此次摸索臺灣首次自主研製高精地圖內容與規格制訂、製圖作業指引與成果檢核等課題扮演重要的角色，本團隊利用這些設施無償協助施作廠商以地政司建議的測試程序確認硬體規格與感測器率定，同時並設計了自駕車地圖之精度驗證程序，據此完成這二個官方場域高精地圖成果檢核並交付地政司與工業局驗收通過。本團隊與地政司及工業局聯合研提的高精地圖規格制訂、製作程序與成果檢核程序經與日本及美國的高精地圖大廠交流並皆獲得認可。除此之外，在地政司的建議下，本團隊針對上述實驗場域製作符合規格的高精地圖並提供給成功大學電機系莊智清老師的自駕車研究團隊進行持續的測試，以持續修正高精地圖之實用性。

地政司及本團隊於107年度與故宮南院合作，完成建置一個具備擴增導覽的室內定位APP並提供測試，包含了使用藍牙 Beacon 結合行人慣性導航室內定位技術，將遊客導引至館中各個展物、顯示平面圖記錄遊客目前行走軌跡、以及擴增實境功能，可將對應的說明文字擴增至畫面所拍攝的文物中。但因為展覽場域限制了藍牙 Beacon 的設置的彈性，影響了定位的效能(江凱偉等人, 2018)，故本團隊擬於本計畫中加入影像室內定位輔助與地圖輔助行人慣性導航技術，期提供更穩定的定位效能後，將此APP供館方運用。

地政司及本團隊107年度與臺南市政府地政局合作探討地籍測量移動製圖技術之可行性，經實地場勘與評估實際環境後決定合適之測試區域。在連結點幾何分布理想之情況下，解算成果相當精準，與重測成果之界址點坐標比較，其平面坐標兩方向之均方根誤差可達2公分以下。三方同意將參考107年與108年臺南市相關之重測區域，為東南、臺南、安南與永康地政所之負責四個區域，選定同一場域涵蓋一個都市與一個鄉村區域做為實驗測試場，並依據服務案例成果，探究移動測繪系統輔助應用於地籍測量之相關精度分析與綜合效益。此外亦可探討相關技術於地籍重測作業之輔助效益，例如以圖解區之農地區域作為測試區域，因圖解區之精度要求不高，以此套影像移動製圖系統或可增加其便利性。

地政司、工業局與本團隊合作，於 107 年 10 月 30 日假臺北行政院人事行政總處公務人力發展中心福華國際文教會館的前瞻廳辦理「2018 自駕車高精地圖國際論壇」方面，活動本旨在於整合國內外相關圖資與空間資訊產業之技術和資訊，作為推動高精地圖建置流程和評估標準的參考，並促成產官學界的合作意向與共識，以及未來共同發展自駕車的技術與應用，本論壇一共觸及了上百個不同領域的單位一同參與討論，包含政府部門、各大學校、測繪產業，以及電信業、汽車工業、車輛研究產業、電子業亦為發展我國高精地圖而群起響應(江凱偉等人，2018)。

易言之，本案除了「107 年度移動載台測量製圖技術發展工作案」既有延續研究的工作項目外，並進一步基於上述本團隊先期並已具備相關成果之研究能量，探討高精地圖及即時動態地圖之製圖規格與產製流程，後續擴充建立滿足真實場域環境下高精地圖之製圖作業指引、驗證指引及標準，以提升高精地圖產製的效率及正確性，同時及早制定標準有助於我國高精地圖產業的規格統一，達到資源共享的願景，更藉由本案評估參與世界自駕車的相關國際組織，進一步確保本案所建立之高精地圖標準符合實際需求並與國際接軌，以利我國產業及早進行自駕車測試及前瞻技術布局，對於未來政府單位評估組建國家級圖資產業聯盟具有正面助益。

綜觀而言，測繪與空間資訊相關應用領域，由於移動測繪系統的機動性、多元感測資訊以及對數位影像處理與蒐集的能力，可以明顯節省過去傳統測量所需要的人力及時間。故除了傳統的空間資訊與測繪應用以外，隨著移動裝置的普及、無人載具的發展與自駕車技術的研究，預期結合現有移動測繪技術、室內圖資建置技術、物聯網空間資訊應用將有效支撐適地性服務急速擴張的需求，這對深化空間資訊領域產業的發展有正面的助益。有關移動測繪系統之應用面請參考圖 1.1，至於本案之重點發展領域：高精地圖、室內定位、防救災以及地籍測量移動製圖，於下圖以紅框標示。

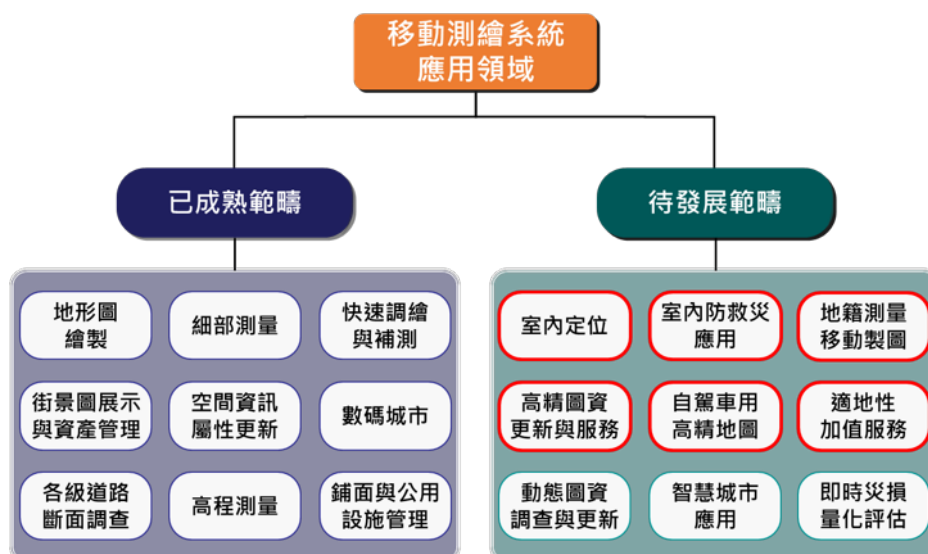


圖 1.1 移動測繪系統可拓展之應用領域

總結回顧，內政部於民國 100 年起開始推動自主研發之多平台製圖技術，基於先期工作案針對發展與應用多平台遙測製圖技術進行關鍵技術研發、民國 101 年至 104 年研究多平台製圖技術和民國 105 年至 107 年發展移動載台測量製圖技術，多年以來持續自主發展各項核心技術並致力將此類技術推廣至相關的空間資訊領域。本團隊於民國 100 年至 108 年間如期如實如質妥善執行內政部所辦理的各年度工作案，除順利發表相關的研究成果、參與年度計畫成果發表辦理教育訓練與活動推廣外，也完成技術與應用的研發，民國 107 年至 108 年開始研究高精地圖與自駕車相關發展及應用，各工作項目請參考表 1.1，同時圖 1.2 說明各工作項目之目的及延續關係。

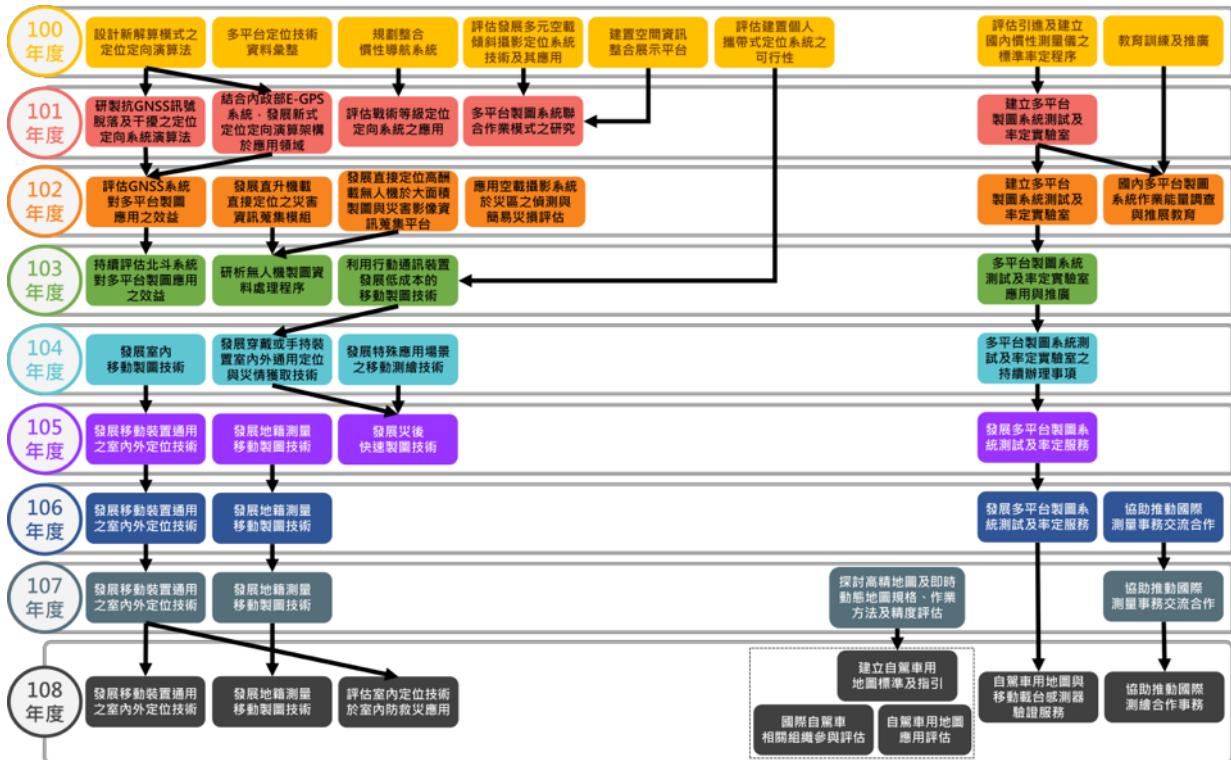


圖 1.2 團隊歷年執行內政部工作案完成之工作項目及關聯性

表 1.1 各年度工作案完成之工作項目

工作案	年度	工作項目
發展與應用多平台遙測製圖技術工作案	100	<ul style="list-style-type: none"> 多平台定位技術資料彙整 規劃整合慣性導航系統 評估引進及建立國內慣性測量儀之標準率定程序 設計新解算模式之定位定向演算法 評估發展多元空載傾斜攝影定位系統技術及其應用 建置空間資訊整合展示平台 評估建置個人攜帶式定位系統之可行性
多平台製圖技術工作案	101 至 104	<ul style="list-style-type: none"> 建立多平台製圖系統測試及率定實驗室 研製抗 GNSS 訊號脫落及干擾之定位定向系統演算法

		<ul style="list-style-type: none"> ■ 結合內政部 E-GPS 系統，發展新式定位定向演算架構於應用領域 ■ 評估戰術等級定位定向系統之應用 ■ 多平台製圖系統聯合作業模式之研究 ■ 國內多平台製圖系統作業能量調查與推展教育 ■ 評估 GNSS 系統對多平台製圖應用之效益 ■ 發展直升機載直接定位之災害資訊蒐集模組 ■ 發展直接定位高酬載無人機於大面積製圖與災害影像資訊蒐集平台 ■ 應用空載攝影系統於災區之偵測與簡易災損評估 ■ 多平台製圖系統測試及率定實驗室應用與推廣 ■ 利用行動通訊裝置發展低成本的移動製圖技術 ■ 持續評估北斗系統對多平台製圖應用之效益 ■ 研析無人機製圖資料處理程序 ■ 多平台製圖系統測試及率定實驗室之持續辦理事項 ■ 發展穿戴或手持裝置室內外通用定位與災情獲取技術 ■ 發展室內移動製圖技術 ■ 發展特殊應用場景之移動測繪技術
<p>移動載台測量製圖技術發展工作案</p>	<p>105 至 107</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 發展移動裝置通用之室內外定位技術 ■ 發展地籍測量移動製圖技術 ■ 發展災後快速製圖技術 ■ 發展多平台製圖系統測試及率定服務 ■ 協助推動國際測量事務交流合作 ■ 探討高精地圖及即時動態地圖規格、作業方法及精度評估

隨著測量與空間資訊技術的革新，結合傳統製圖技術與整合式定位定向系統，搭配多種感測器發展多平台移動測繪技術並逐步實現快速、即時、移動式測量及空間資訊之收集作業。透過使用多平台移動測繪技術建置三維空間資訊，可更快速及有效規劃國土發展，進而推動空間資訊產業之成長、促進適地性增值應用之拓展。尤其目前移動裝置之發展備受矚目，基於硬體元件的逐年精進，移動裝置搭載的感測器越來越多樣化，同時體積越來越小、成本越來越低而精度卻漸漸提升，這使得移動裝置具有相當大的潛力成為新一代的移動測繪系統，並具備將移動測繪應用延伸至室內環境的可能性。因此，全球多平台移動測繪系統相關之空間資訊與非空間資訊產業應用未來還將持續成長(江凱偉等人，2018)，故本案將持續提升室外多平台移動測繪技術的效能，以推廣至更多的應用領域，像是快速防救災、傳統測繪業務、高

精地圖需求等面向，同時延伸發展室內定位技術與移動測繪技術，共同開發對應的室內外市場潛力。

另外，工業化時代的發展造就每年均會有上千萬的車輛出廠與買賣，雖然帶來許多民生便利，但也無可避免衍生交通方面的負面影響，尤其以駕駛及乘客的安全問題最為嚴重。根據聯合國統計，每年有五千多萬人在車禍中受傷，其中大多是人為所致，有鑑於此，眾多廠牌的汽車系統開始導入先進駕駛輔助系統(Advanced Driver Assistance Systems, ADAS)，提供駕駛者有關車輛的工作情形與外部環境變化等資訊，進而輔助駕駛者本身判斷周遭情況，同時藉由預先發出危險狀況的警告智能，讓駕駛者及早反應，從而採取相對的因應措施。基於智慧型無人載具的興起，發展自駕車技術的同時須具備高精地圖，以此作為圖資基底才能夠確保自駕車運行於正確的路徑上。

我國目前針對高精地圖及其相關建置規範尚未明確訂定，為了開拓測繪及自駕車市場的發展，同時也因應行政院科技會報指定內政部地政司為高精之主管機關，本團隊協助地政司規劃高精地圖規格制訂、製作程序與成果檢核等相關項目，並持續與高精地圖相關之國外產學研機構保持密切聯繫與引入相關技術。期望建立國家層級之高精地圖標準與指引，提升圖資產製效率及正確性，確保自駕車產業可以安全無虞的使用合法製作與內容合格的高精地圖。

綜合以上之目的，本案研擬之執行主軸如圖 1.3 所示。



圖 1.3 本案研擬之執行主軸

此外，本案的執行主軸在未來將繼續擴充研究，隨著技術的逐步開發與研究，進一步加強各項應用的深度與可靠度。尤其針對室內定位、防救災與自駕車技術的相關需求，未來隨著實際應用的案例增加，預期將可觸發各種新穎的需求，因此應用的廣度也將隨之提升，並提供內政部調整未來技術發展之方向與內容。例如在完成多模式與多情境之室內與室外定位技術之後，不同情境間的使用者位置掌握便可無縫接軌，緊接而來的便是適地性服務與應用的開發。今年度以適地性服務案例試辦移動裝置通用之室內定位技術，並評估室內定位技術於人員受災分流機制。透過室內與室外圖資，能夠準確且高效率地掌控室內外的空間資訊以及連通路網向量圖資，因此今年度於自駕車地圖應用評估中，特別針對室內外無縫高精地圖應用進行先期評估作業，未來將依循拓展更多元化的應用層面。

1.1 背景分析

移動測繪系統(Mobile Mapping System, MMS)的原理可追溯到 20 世紀初的航空攝影測量，以飛機為平台搭載相機，利用地面控制點及影像重疊共軌點量測影像方位，此種定位方式稱為間接式地理定位 (Indirect Georeferencing)，此技術為移動遙測製圖系統的原始形式。移動測繪系統的載台可以是衛星、飛機、直昇機、船舶、汽車、人或各種新興的移動裝置，所搭載的定位定向感測器可能包括全球導航衛星系統(Globla Navigation Sstellite System, GNSS)接收儀、慣性導航系統(Inertial Navigation System, INS)、磁力計及里程計數器等，觀測感測器系統則可以是相機、攝影機、多光譜掃描儀或光達(Light Detection and Ranging, LiDAR)等。配合不斷進步之軟硬體，多平台移動測繪系統能在相應的領域上發揮相應價值，更能拓展至更高精度、更多元化的應用範疇。本案除了發展移動測繪系統之核心技術外，更將著重於探討未來多平台移動測繪技術之作業模式與資料聯合處理架構。近年尤針對室內測繪與高精地圖之應用多加著墨，對於多平台移動測繪技術的未來願景，將能夠達成室內外的無縫式定位與測繪，以及產製適用於自駕車用的高精地圖，以下針對相關的沿革歷程擇要提供精簡的回顧。

1.1.1 車載移動製圖技術回顧與現況

隨著衛星定位技術的發展與慣性感測器的演進，透過整合 GNSS 和 INS 可以克服單一系統之缺點，具有互補之特性，能夠提供更穩定的定位定向成果。車載移動測繪技術的濫觴可追溯至 1980 年代初期，部分加拿大的省政府及美國州政府提出的移動式高速公路設施維護系統(Mobile Highway Inventory System, MHIS)之需求。從 1980 年代迄今，目前初估至少 1000 台車載移動測繪系統（包含街景車）正遍布世界各地提供快速的空間資訊擷取方案，其中重要的里程碑可分為三個階段；第一階段為前 INS 時期，約自

1983 年自 1993 年；第二階段為後 INS 時期，約自 1993 年起至 2000 年；而最後一個階段為車載光達時期，約自 2000 年起至今。

約於 1995 年前後，利用 INS/GNSS 整合式系統發展直接地理定位(Direct Georeferencing)技術實現，此技術開始應用於飛機及汽車移動測繪系統，1996 年加拿大 Applanix 公司發展了第一套商用的直接地理定位產品，圖 1.4 為直接地理定位技術的發展演進。

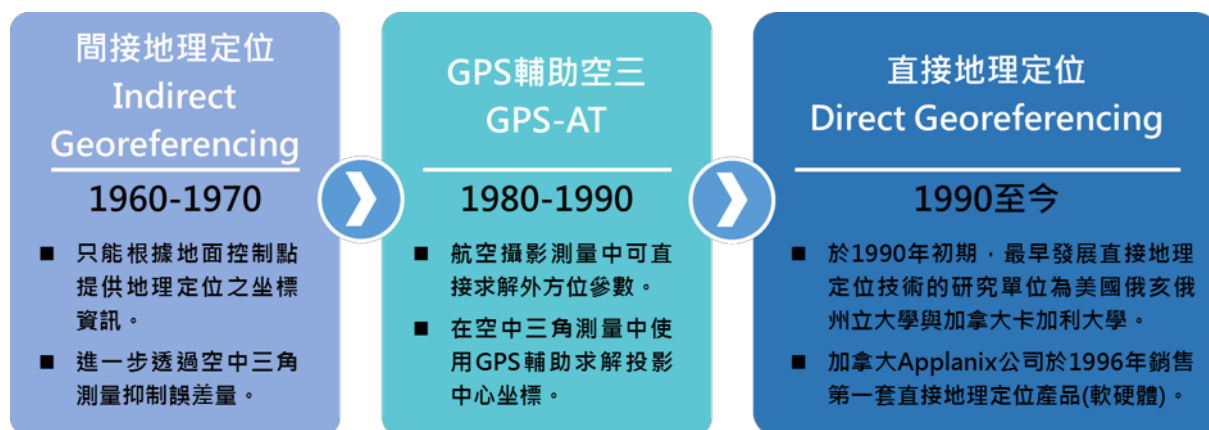


圖 1.4 直接地理定位技術之演進

與傳統測量技術相較，車載移動測繪系統具備低侵入性與較佳空間資訊擷取效率，同時因為待測目標與影像系統距離遠小於空載系統，故車載系統可以提供較完整的涵蓋面，並且能夠在較差的天氣條件下運作。然而車載系統之缺點為其定位精度隨待測目標與影像系統之距離增加而變差，整合式定位定向系統精度受 GNSS 訊號遮蔽狀況遠較空載系統嚴重，而其作業環境亦受既有路網的限制。

本團隊於 2008 年開始國內關於車載移動測繪系統的完整相關研發工作，自主研發影像級車載移動測繪技術（包含軟硬體），稱為鷹眼系統，如圖 1.5 所示。該系統實測成果顯示無控制點之直接地理定位平面定位精度為 15 公分（均方根誤差）、三維定位精度為 30 公分（均方根誤差）(Li, 2010)，而部份成果亦於美國導航學會 GNSS 2010 年會發表，並獲得最佳論文獎。

本團隊自行研發了多元感測器系統整合與觀測量同步、機電設計、精密定位定向演算法、感測器率定與直接地理定位模組等移動測繪之關鍵技術，也成功驗證移動測繪技術確實能夠滿足空間資訊相關領域，成為快速採集資料的解決方案。

2013 年起國內公路管理單位在公路設施清查與水利單位諸多大型相關應用計畫中亦陸續導入多平台移動測繪技術，如此可見多平台移動製圖技術已逐漸被不同領域的使用者接受，並逐漸深化此類技術在空間資訊相關領域的應用範疇。而內政部國土測繪中心為公務機關之翹楚，率先於 2012 年執行中的臺灣通用版電子地圖工作案中以官方身份評估車載移動測繪系統於

通用版電子地圖實作之效益，並於 2015 年著手開發自有的車載移動測繪系統。

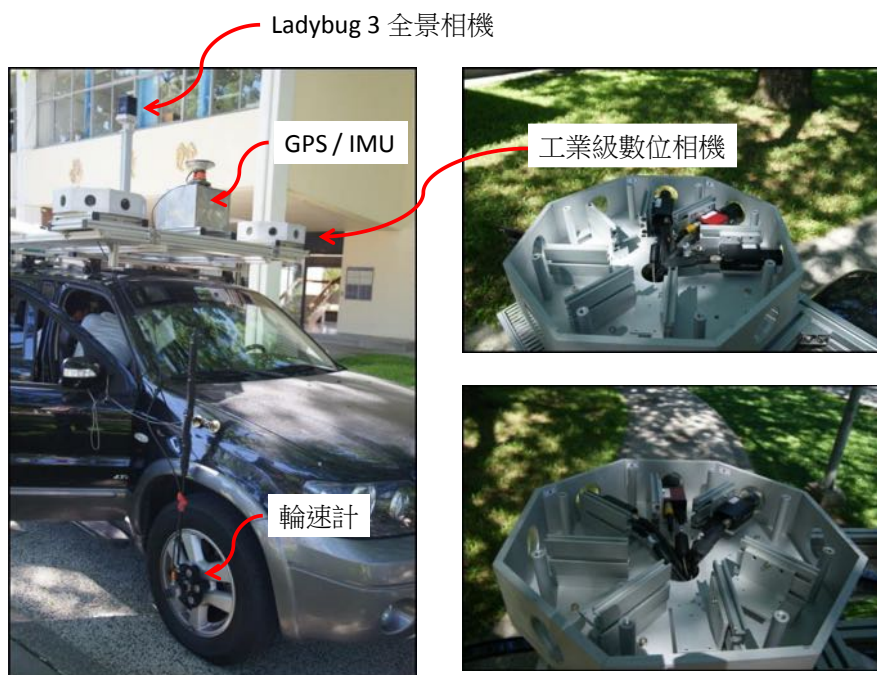


圖 1.5 本團隊自主研發之影像級車載移動測繪系統—鷹眼系統

1.1.2 輔助駕駛技術與高精地圖之回顧與現況

近年來發展智慧型無人載具快速興起，其中更以自駕車之發展日益進步，根據國際自動機工程師學會(Society of Automotive Engineers, SAE)提出的分類方法，汽車駕駛系統可以分成六個層級(Level 0~5)，其分類核心概念如圖 1.6 所示，而各層級的簡述說明如下：

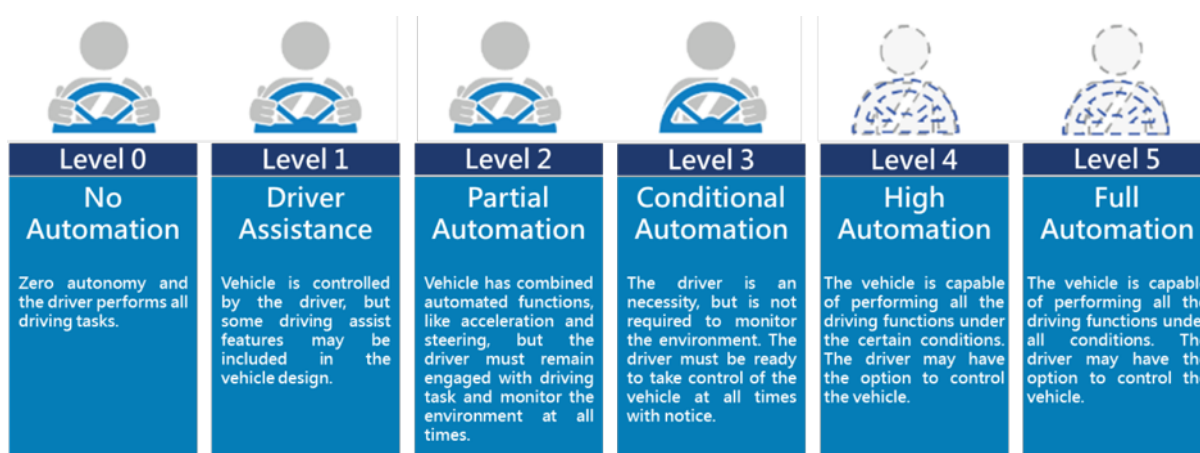


圖 1.6 汽車駕駛系統分類（摘錄自 <https://www.sae.org>）

- Level 0：汽車駕駛系統中第一個層級即為最原始的操作系統，由駕駛者自行掌控車輛的所有機械以及物理功能，並無任何自動駕駛功能介入。

- Level 1：為了提升整體駕駛感與行車安全性而增添個別功能或裝置幫助行車安全，例如電子穩定程式(Electronic Stability Program, ESP)或防鎖死煞車系統(Anti-lock Braking System, ABS)。
- Level 2：現今市面上部分的中高階車款，主要由駕駛者自行控制車輛，但額外增加自動化功能以期減輕使用者操作負擔，如主動式定速巡航(Adaptive Cruise Control, ACC)系統結合自動跟車和車道偏離警示，而自動緊急煞停系統(Autonomous Emergency Braking System, AEB System)透過盲點偵測和汽車防撞系統的部分技術結合，降低因碰撞造成的車輛行駛意外。
- Level 3：此層級屬於有條件之自動駕駛範疇，即遭遇緊急狀況時駕駛仍須隨時介入操作。
- Level 4：在特定條件下可完全執行自動駕駛功能。
- Level 5：在所有條件下可完全執行自動駕駛功能，具備完善汽車通訊系統以進行車輛之間的溝通。

然而，為了達成 Level 4 以上的完全自動駕駛範疇，目前自駕車尚面臨以下三大挑戰：

- 自駕車須確切得知其位置及導航資訊。
- 克服自駕車上的車載感測器因遮蔽或距離太遠而無法感知的問題。
- 自駕車和其他交通工具進行連結溝通，使車輛能安全行駛。

為達成 Level 4 以上級別的安全功能(Functional Safety)，獲取車輛在道路上的精確位置資訊是自駕車在已知道路環境中能夠行駛在正確車道上的最基本要求。此外，依先進駕駛車輛安全研究指出，若要將導航設備提升至自動駕駛層級，勢必要將車輛導航精度提升至次公尺級以上。由於衛星定位技術於都市地區受限遮蔽或者反射訊號影響，無法準確將自駕車定位於車道內，基於安全及硬體成本考量，除整合包含相機、光達、GNSS、INS 等感知元件在內，使用具備車輛導航資訊之高精地圖，提供可靠穩健之環境先驗資訊已是自動駕駛技術運行的重要關鍵。

相較於現今導航基於人類視覺觀點所使用的二維電子地圖，自駕車則需在行駛過程中透過地圖反饋資訊即時作出決策，讓乘客安全地抵達目的地，故高精地圖的所有資訊皆顯示於三維空間中，且須以等比例真實呈現所有外界的環境資訊，方能輔助自駕車順利進行導航。故提供資訊的圖資精度須提升到具備平面 20 公分與三維 30 公分精度成果等級才能確實滿足自動駕駛需求(Farrell et al., 2016)，讓導航系統得以準確的引導車子移動，方能處理如高架橋、地下道等非平面的情況。此外，適用於自駕車用之地圖，其效益必須建構在空間及屬性資料時效性以及正確性的前提下，才能藉此發揮它的功能

並表示真實世界的現象，圖 1.7 所示為現有二維電子地圖與高精地圖的差異。傳統測量以及屬性調查作業，從開始收集資料到系統建置完成往往需要半年以上的時間，已不符合科技發展的趨勢與成本效益。如前所述，近年來測量與空間資訊技術已逐漸革新，攝影測量製圖的技術與精密整合式定位定向系統結合，搭配多元影像與光達感測器來收集空間資料，逐步實現車載移動測繪系統，其整合與資料運用架構即現今自駕車之雛形前身。圖 1.8 所示即為車載移動測繪系統現地採集資料後，藉由直接地理定位之三維點雲製作成高精地圖之範例。

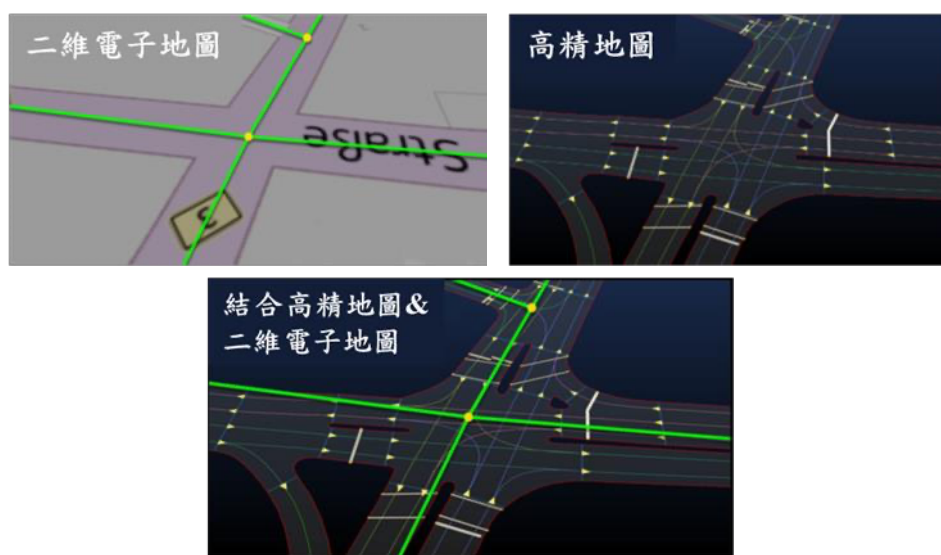


圖 1.7 既有導航地圖與高精地圖之差異

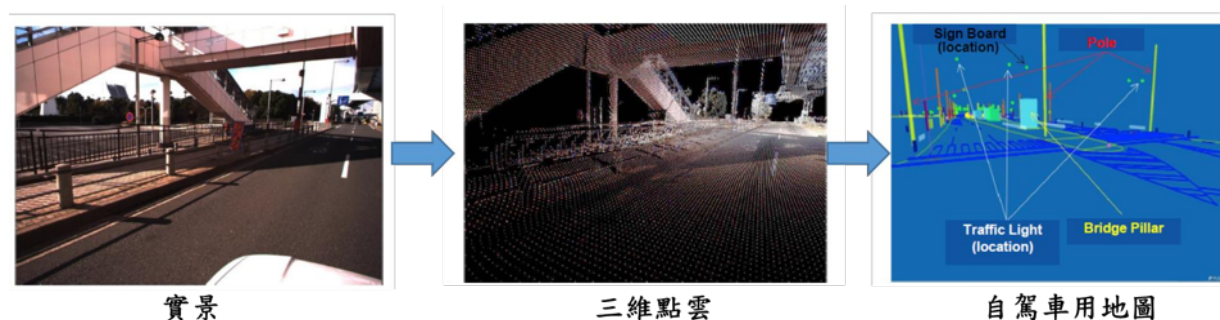


圖 1.8 高精地圖之產製示意圖

在產業趨勢方面，由於自動駕駛及其圖資技術可見未來的龐大商機，國際廠商已相繼進行先期布局競爭。除了 Google 持續發展基於街景技術的各式應用外，Apple 也於 2014 年起落實自主發展移動測繪技術，開發專屬 Apple Van 來補足相對於 Google 在空間資訊上的劣勢；原芬蘭 Nokia 旗下圖資公司 HERE 總攬包含資料蒐集、圖資處理及使用者地圖設計等完整供應鏈，於全球擁有超過 300 輛測繪車同步進行高精圖資產製，為 BMW、Benz、Audi 等傳統車廠自動駕駛技術研發的主要圖資供應商之一；另一國際圖商 TomTom，其包含地圖授權與汽車工業合作等既有業務範疇在內，於全球擁

有超過 150 國、道路總和超過 6 千萬公里的車用圖資，近年專注於生產基於自駕車導航技術需求為主的高精圖資成果，提出 RoadDNA 三維製圖技術用於高精地圖建置及更新應用；日本方面則在政府單位之國家資源支持下，偕同電子資訊業者與日本車廠合作成立動態地圖基礎平台公司(Dynamic Mapping Platform, DMP)，以期快速推動滿足日本汽車產業高精地圖之需求。綜上所述，目前國際各大製圖廠及車廠皆根據其製圖技術及自動駕駛技術需求，藉由車載行動測繪系統為製圖平台產製未來高精地圖，與我國目前主流製圖平台並無二致，即言之，此一趨勢將提供我國測繪製圖產業鏈結自駕車輛產值之絕佳切入利基圖。

有鑑於我國原有的製圖規範已不能滿足未來高精地圖的製作、維護及檢核需求，故為提升我國在測繪及自駕車市場的發展，建置我國自駕車試驗場域，進行國家層級之統一版本圖資規範已刻不容緩。故本案完成建立高精地圖標準及指引，以提升高精地圖的製效率及正確性，同時評估高精地圖之應用，進一步確保本案所建立之圖資標準和服務符合實際需求與國際接軌，凝聚我國各界對高精地圖的發展共識。

1.1.3 室內定位技術之回顧與現況

根據美國 2015 年的統計調查中顯示，18 歲至 29 歲使用智慧型手機的人口中，約有 80% 使用到手機中的個人導航服務，而 30 歲到 49 歲的使用者也有超過 70% 使用導航功能，可見智慧型手機結合使用者位置提供關聯性資訊所擁有的潛力(Smith, 2015)。

室內定位技術也具有相當的發展歷史。過去的主流多為架設多套感應器，探測出使用者位置的外部系統，例如紅外線定位系統。然而近代在減少布設外部感測器的要求下，發展以無線電訊號為主的定位系統，例如射頻標籤(Radio Frequency Identification, RFID)與低功耗藍牙(Bluetooth Low Energy, BLE)技術最為受到關注，兩者都具有硬體體積小且輕便的優點，但定位精度與標籤布設密度和讀取距離高度相關，同時訊號頻率與能量等級也會影響定位精度。WiFi 室內定位技術亦是另一主流，因 WiFi 設備已高度普及，所以也頗受業界重視，但需要建置並訓練一套訊號強度資料庫，再應用訊號指紋辨識技術或是 Time of Arrival(ToA)等技術進行定位演算，因此定位精度同樣不可避免地受限於環境穩定程度與訊號源的密度。影像定位系統則需要建置室內環境影像資料庫，透過影像的匹配與比對，求得使用者的位置，對於動態變化的環境定位可靠度較低，同時匹配效能受到拍攝當下的天氣與燈光影響。而室內定位技術中，行人慣導或行人航位推算(Pedestrian Dead-Reckoning, PDR)演算法則不需收集外部訊號，僅利用慣性感測器來偵測使用者行為模式下的一種定位技術，該技術不受外部訊號影響，但其精確度會隨著使用者行走步數增多而精度下降，且初始位置需事先給定。

值得一提的是，PDR 是目前最常應用在行人室內定位的慣性技術，尤其是智慧型手機的相關應用。其概念是透過加速度計、陀螺與磁力計，推估使用者的步伐、步長與方位，進而得到使用者的二維位置，概念如圖 1.9 所示。但是估計的過程中不可避免的會遇到步伐的遺漏、步長與方位估計的誤差，這些誤差會隨著移動步數的增加而持續累積 (Brajdic and Harle, 2013) (Weinberg, 2002)。要能得到準確的步伐偵測與步長，大多需事前或事後模型的調校與率定，這對於即時應用來說並不便利 (Ho et al., 2016)。表 1.2 為常見的室內定位技術整理與規格比較。

本團隊於 106 年度提出影像後方交會輔助之概念，因此特別針對影像定位技術作進一步的回顧。過去室內影像定位系統多是從機器或電腦視覺領域出發，像是視覺里程或同步定位與地圖構建同步定位與地圖構建 (Simultaneous Localization and Mapping, SLAM) (Núñez et al., 2011) 都需要多台相機同時拍照，或單一相機連續拍照，以取得立體像對進行定位解算，對於一般使用智慧型手機的使用者來說相當不便。另一類傳統影像定位技術則是透過建置環境影像資料庫，進行影像匹配進而獲得使用者位置 (Deretey et al., 2015)。這些方法都會面臨影像匹配和特徵萃取的問題，對於硬體效能要求較高。因此影像定位系統也需要考慮整合其他絕對地理定位系統，以改善前述的不便利性與高效能的硬體需求 (Grießbach et al., 2014)。總結來說，影像定位技術應用在室內行人導航會面臨以下問題：多相機的需求、連續拍攝影像的需求、影像處理的負擔以及相對坐標系統無法與室外連結等問題。

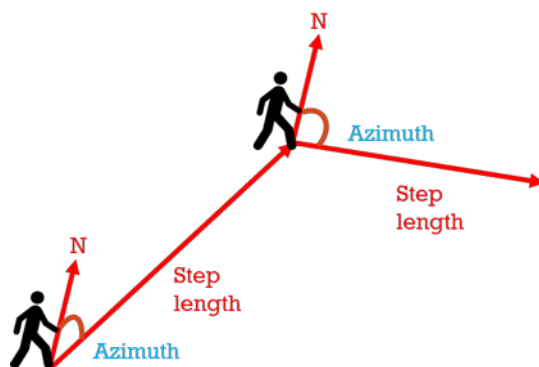


圖 1.9 行人慣導之定位技術概念

本團隊於 107 年度研發低功耗藍牙 (BLE) 差分演算法，以提升交會定位之精準度，因此將針對 BLE 定位技術作進一步的回顧。隨著藍牙通訊技術之發展，藍牙於 2010 年發展至 4.0 版本，低功耗藍牙技術具有低成本、低耗能及長時間運作等特性 (Bluetooth Special Interest Group, 2010)。除此之外，大部分智慧型裝置如手機、平板、筆電等皆具備藍牙功能，無需額外增加接收端設備成本使其相對於其他無線通訊網路定位技術更具優勢，相關成果獲得美國導航學會 ION GNSS 2018+ 學生論文獎 (Kuo, 2018)。

BLE 以無線電波傳遞資訊，所採用的是 2.4 GHz ISM(Industrial Scientific Medical)頻段，並包含 40 個頻段，其訊號可穿透部分物理障礙並避開 Wi-Fi 的頻段，傳輸數據的同時可降低訊號的干擾。BLE 技術採星狀架構的主從式連結，如圖 1.10 所示。此架構中存在著主從關係(Master/Slave)，主動要求連線之裝置為藍牙主裝置，而被要求連線者為藍牙從屬裝置。主裝置可以控制從屬裝置間的數據傳輸，且單一個主裝置可以同時連接多個從屬裝置。換言之，一從屬裝置僅能連結一主裝置。此外，連結關係僅在當從屬裝置需要被連結時，才開啟與主裝置之連結，因此當兩者未連接時，主從裝置間將不會有任何數據傳輸，不僅降低未連結時之電力損耗，更大幅提升了系統之穩定性及精確度(Čabarkapa et al., 2015)。

表 1.2 室內定位技術整理表 (摘錄自 Mautz, 2012)

設備/技術	精度	覆蓋距離 (公尺)	定位原理
Cameras	0.1mm-dm	1-10	Angel measurmenents from images
Infrared	cm-m	1-5	Thermal imaging, active beacons
Tactile & Polar Systems	µm-mm	3-2000	Mechanical, interferometry
Sound	cm	2-10	Distances from time of arrival
WLAN/WiFi	m	20-50	Fingerprinting
RFID	dm-m	1-50	Proximity detection, fingerprinting
Ultra-Wideband	cm-m	1-50	Body reflection, time of arrival
High Sensitive GNSS	10m	Global	Parallrl correlation, assistant GPS
Pseudolites	cm-dm	10-1000	Carrier phase ranging
Other Radio Frequencies	m	10-1000	Fingerprinting, proximity
Inertail Navigation	1%	10-100	Dead reckoning
Magnetic Systems	mm-cm	1-20	Fingerprinting, ranging
Infrastructure Systems	cm-m	Building	Fingerprinting, capacitance

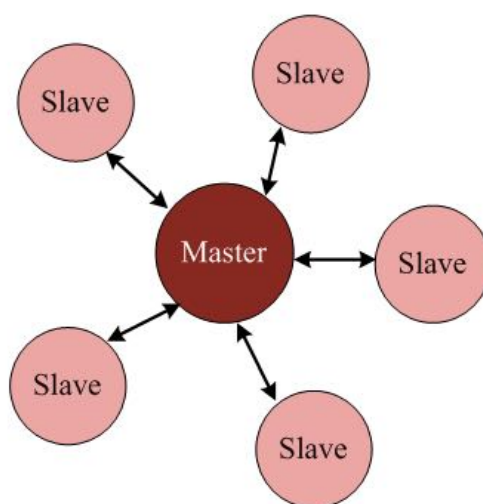


圖 1.10 藍牙無線網絡連結星狀架構

與 BLE 定位相關的文獻中，Chiang 等人(2015)應用近似定位(Proximity)的方式設定接收訊號強度指標(Received Signal Strength Indicator, RSSI)之門檻值作為 PDR 的位置更新，當手機接收到來自附近藍牙裝置所發送之 RSSI 大於預先設定的門檻值，將把手機已偏移的推算位置更新為該藍牙裝置之位置，大大減少 PDR 因慣性感測器累積誤差所造成的位置偏移(Chiang et al., 2015)。

綜合以上，常見的室內定位技術之差異可整理成表 1.3。常見的技術區分以 Wi-Fi 作為代表的無線訊號定位技術，而 iBeacon(Bluetooth)與 RFID 因常使用 Proximity 方法進行單點近似定位而另外表列；此外還有基於影像的定位技術，此處所指之技術不包含使用移動測繪系統產製的直接地理定位影像。而基於慣性的傳統慣性導航(INS)與行人慣導(PDR)技術也因其概念原理有明顯差異而各自表列。如表 1.3 所示，各方法都有其優缺點。故本團隊提出整合式的室內定位系統，讓各技術達成互補，期讓室內定位系統具備絕對坐標，且符合 3%至 5%的定位精度需求(Kuo, 2018)。

表 1.3 室內定位技術特性比較表 (摘錄自江凱偉等人，2018)

現行常見之室內定位技術	額外基礎設施	建置定位資料庫	資料庫建置難易度	環境變化影響程度	定位誤差累積程度	定位解模式	室外導航坐標系統契合
WiFi	少量	大型	高	高	低	相對位置	無
iBeacon	大量	小型	低	中	低	近似位置	無
RFID	大量	小型	低	中	低	近似位置	無
Image-based	無	大型	高	中	低	相對位置	無
INS	無	無	無	低	高	相對位置	無
PDR	無	無	無	低	中	相對位置	無

1.1.4 室內空間資訊應用之回顧與現況

在室內場域的多元應用中，室內導引與人員分流都與路徑規劃有密切的關係，透過最短路徑可有效執行規劃機制。最短路徑樹是透過每一條最短路徑所組成，由一個起點到圖上各個點的最短路徑們所組合而成的一棵有向決策樹，如圖 1.11 所示。

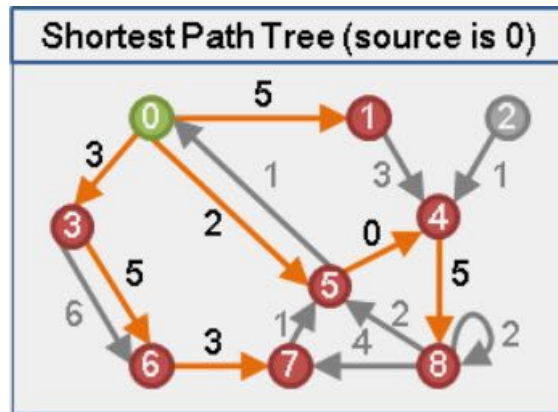


圖 1.11 最短路徑樹（摘錄自 <http://www.csie.ntnu.edu.tw/~u91029/Path.html>）

路徑規劃中的 Dijkstra 演算法是一種單一目的地為導向的靜態路徑規劃演算法，只要選定一個起點後，就可計算出一棵最短路徑樹，也就是可以從而獲得起點到任一個終點的最短路徑。其作法簡單來說就是先找到離起點最近的節點，將它加入以後，再依序增加剩下的節點，離起點最近的節點，如此一來即可獲得最短路徑樹，圖 1.12 為 Dijkstra 演算法的流程。

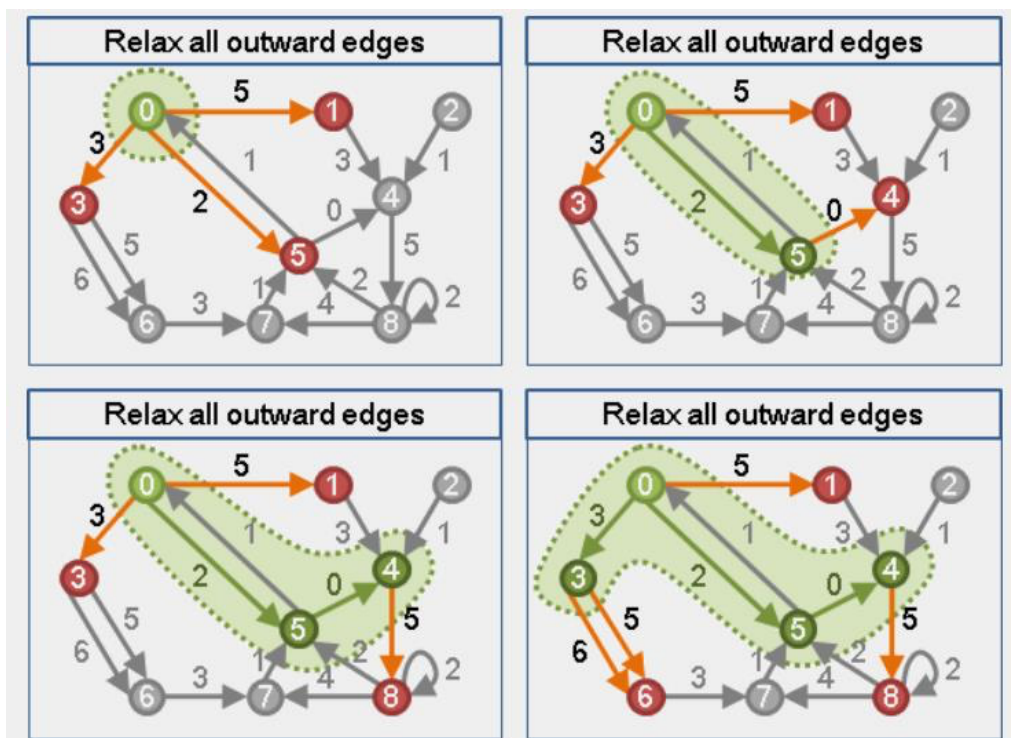


圖 1.12 最短路徑演算法流程（摘錄自 <http://www.csie.ntnu.edu.tw/~u91029/Path.html>）

實際運作的完整流程如下：我們有一張已建立完成的室內路網向量圖，圖中有許多節點及線段，每條線段皆有權重，代表兩點之間的距離。在室內首先經由 Beacon 藍牙定出使用者的位置，當使用者選擇目的地後再開始進行路徑規劃。在做路徑規劃計算前，第一步需先將使用者導引至路網中的節點，才可進行最短路徑規劃。若將使用者導引到距離他最近的節點可能會發

生一個問題，當那個節點是位在前往目的地的反方向時，會讓使用者走一段路之後掉頭，因此應該選擇導引使用者至朝向終點方向最近的節點。再來程式開始進行 Dijkstra 演算法運算，由於最短路徑的特性是，每一條最短路徑都是邊數更少、權重更小的最短路徑的延伸，因此它的運算方法是從邊數最少、權重最小的最短路徑開始建立，然後逐步拓展，最後得到一棵最短路徑樹，再從中取得使用者所輸入的終點，建立起這條最短路徑，來導引使用者到達目的地。

另一方面，本團隊在 107 年度選定故宮南院作為適地性服務試辦區，根據故宮南院的需求，除了發展室內導航功能外，也結合擴增實境(Augmented Reality, AR)應用。AR 是一個在既有的物體中，額外擴增顯示其他資訊的一項技術，相較於虛擬實境(Virtual Reality, VR)，最大的差異在於 VR 的整個世界都是虛擬的，而 AR 則是將虛擬物件與真實世界結合，讓我們可以更簡單的方式去獲得更多的資訊。AR 科技已經出現近五十年，第一個應用出現在 1960 至 1970 年代間，但直到 1990 年才由波音前研究者 Thomas Caudell 首先提出「AR」的名稱。AR 的技術目前主要可分為兩大類，一種是利用空間定位技術，依照使用者所在位置，在裝置如手機上擴增資料，另一類則是利用影像辨識，當裝置掃描到資料庫中的某項特徵時，將資訊顯示出來，當然可以結合二者來擁有更佳的擴增功能。

現今的 AR 技術在應用方面相當的廣泛，也很貼近我們的生活，諸如行動設備、醫療、學習、導航系統以及娛樂等方面皆可使用此類技術。AR 技術搭配 GNSS 定位技術亦可運用在汽車導航，利用手機中的相機及 GNSS 定位，加上以 AR 技術所設計的手機汽車導航系統，使用者可直接依照攝影畫面中所擴增的虛擬路徑導引前進，除了減少駕駛人需對應地圖與現實周圍道路的情況，當駕駛人觀看導航畫面時，也不會遺漏車況而影響行車安全。圖 1.13 所示為此 APP 使用介面。



圖 1.13 AR 汽車導航 APP 使用介面 (摘錄自

https://play.google.com/store/apps/details?id=com.w.argps&hl=zh_TW)

AR 可以應用的案例與場景不勝枚舉，而隨著移動裝置大幅度成長的銷售量，以及雲端應用等相關科技的進步和 4G 網路的建立，AR 技術更成為一個廣大的市場。相信隨著 AR 技術的不斷發展與成熟，其成本會越來越低，漸漸帶動各種產業的蓬勃發展，成為生活中不可或缺的一部分。

1.1.5 地籍測量移動測繪技術之回顧與現況

地籍測量作業以地籍圖重測及土地複丈業務為主，目前多倚賴 GNSS 定位測量及導線測量技術進行控制測量，再以全測站儀定位測量技術實施界址點位測定。目前作業成果僅產製界址點位坐標值、土地面積及地籍圖，觀測現場的現況及測量員所觀測的標地點，則無法記錄並保存，日後有爭議時難以追溯當時的現場觀測情況(江凱偉等人，2018)。

相對於空載及車載移動式測繪系統，人員攜帶式移動測繪系統具有輕便攜帶、容易施測、價位低等好處，有利於現況較複雜的場景記錄與現況調查。空載系統有大範圍涵蓋的優勢，但缺乏地物立面的資訊。車載系統可補足空載系統不足之處，但僅限於載具能夠到達的區域。對於車載系統無法進入之區域，例如道路周邊外之場景、災害現場及山區林地等，則可採用可攜式系統。傳統近景攝影測量之現場需布設控制點且觀測工時長，而現行可攜式測繪系統可配備多部相機，獲取環場全景影像，並結合定位及定方位技術，提升觀測的效率，同時也將周遭的景象保存於影像中。

移動製圖技術可整合 GNSS 即時定位測量及攝影測量於統一的觀測系統，外業觀測人員於現場操作觀測系統獲取影像及 GNSS 訊號，觀測資料的處理及測繪皆為室內作業。目前的移動製圖技術已經可達到與傳統地面測量相當的點位觀測精度，其優點是可高度自動化，同時可由影像的方式記錄觀測現場的實際現況及測量員所觀測的標地點，有助於未來釐清土地產權的爭議。以地籍測量而言，其成果雖有記錄宗地範圍，但在複丈時常會有界址點未知、指界不一致，或是圖根點遺失的情形。若使用影像進行量測，除了上述的優點之外，同時能保存當時的現地資訊，欲重新進行量測時亦非常方便(江凱偉等人，2018)。

地政司於 105 年起嘗試推動人員攜帶式觀測系統來輔助地籍測量之應用。目前已發展出一套可攜式環景影像測繪系統，將該系統拍攝之原始多張影像拼接成一張球形全景影像，可直接於該張球形全景影像進行量測與光束法平差。並於國立成功大學校區分別設置室內與室外實驗場，驗證應用地面控制點與 e-GNSS 測得之測站位置於光束法平差之準確性，持續以臺南市地籍測量案例進行測試。

1.2 工作項目

根據服務建議書內容，本案預期將具體完成之工作項目如下：

一、工作計畫書

於簽約日 1 個月內，就以下各項工作規劃繳交「工作計畫書」。並依工作計畫書核定方式（或更優方式）辦理相關工作。

二、建立自駕車用地圖標準及指引

- (一)建立自駕車用地圖作業流程指引 1 件
- (二)建立自駕車用地圖驗證精度流程指引 1 件
- (三)建立自駕車用地圖標準 1 件

三、自駕車用地圖應用評估

- (一)評估自駕車用地圖標準成為產業標準相關工作
- (二)即時動態地圖(Dynamic Map)標準及作業流程指引先期評估作業
- (三)室內外無縫自駕車用地圖應用先期評估作業
- (四)自駕車用地圖適地性服務案例試辦，試辦區之選定需經內政部同意
- (五)持續研提或協助引進國外產製高精地圖之多平台製圖技術

四、國際自駕車相關組織參與評估：世界自駕車相關國際組織(Navigation Data Standard, NDS、Advanced Driver Assistant Systems Interface Specifications, ADASIS、OpenDRIVE、SIP-adus Automated Driving for Universal Service, SIP-adus)先期評估作業，並參與自駕車相關國際組織活動

五、試驗場域自駕車用地圖圖資服務

- (一)依內政部需求維護沙崙、水湳試驗場域自駕車用地圖圖資
- (二)提供試驗場域自駕車用地圖圖資諮詢服務

六、自駕車用地圖與移動載台感測器驗證服務

- (一)自駕車用地圖精度驗證服務
- (二)維護多平台製圖技術測試與率定設施、車載及影像感測器之儀器率定服務

七、發展移動裝置通用之室內定位技術

- (一)研發應用人工智慧技術之室內影像匹配輔助行人慣導定位技術
- (二)研發室內地圖輔助之行人慣導定位技術
- (三)適地性服務案例試辦，試辦區之選定需經內政部同意

八、評估室內定位技術於室內防救災應用

- (一)評估室內定位技術於人員受災分流機制
- (二)配合內政部辦理 108 年度行政院災害防救科技創新服務方案，協助災後快速製圖技術研發相關作業

九、發展地籍測量移動製圖技術

- (一)應用移動製圖技術精進地籍測量作業，探討移動製圖技術納入地籍測量作業相關流程之精度分析
- (二)適地性服務案例試辦，試辦區之選定需經內政部同意

十、舉辦成果發表會議

- (一)召開至少 2 次自駕車用地圖推廣會議，至少須 30 人參加，時間、場地、參加人次、研習方式、議程規劃等內容與內政部討論定案後辦理
- (二)辦理自駕車用地圖技術之新南向國際研討會 1 場，至少須包含印尼、泰國、越南等國之測繪領域學者或官員與會

十一、研究成果發表

- (一)提送期刊或研討會論文文稿至少 6 篇，且其中 3 篇需提送國際期刊 (SCI/EI 等級)。
- (二)參加國內外實作或論文競賽 1 件

十二、協助推動國際測繪合作事務

- (一)配合內政部需求，參加國際研討會至少 1 場
- (二)配合內政部其他專案共同在臺辦理臺印尼年度測繪技術交流會議活動，並依本案主題場次邀請印尼方產官學研人士(合計至少 5 位)；其辦理方式、議程規劃、時間、場地、參加人次等內容，需與內政部討論定案後辦理。負擔有關辦理會議所需相關費用及印尼籍人士來臺參與所需相關費用(機票費、在臺交通費、餐費、住宿費等)
- (三)配合內政部需求，參與測繪技術服務團(GEM)赴印尼技術交流

十三、成果效益評估、計畫進度管考

- (一)成果效益評估及擴大科技應用：依據科技計畫績效管考平台 (<http://stprogram.stpi.narl.org.tw/>)提供格式，配合內政部辦理本案計畫「科技發展計畫績效評估作業」自評作業需求，參考內政部提供之相關績效作業範本，填寫本案相關成果效益報告書、績效指標、佐證資料、政府科技發展計畫績效評估；另配合將本案各期資訊登載政府研究資訊系統(GRB, <https://www.grb.gov.tw/>)，且將登載結果繳附於各期工作成果，並適時接受諮詢

- (二)配合內政部填寫行政院政府計畫管理資訊網(GPM)管考作業所需表格內容，並適時接受諮詢，每月 25 日前需繳交月報表，說明工作執行進度

十四、協助推動自駕車用地圖相關計畫

- (一)成立推動專案中心 1 處，聘請專案人員辦理本案工作，合計至少 3 名，其中至少 1 名需具備本案工作相關領域之博士學位，其餘需具備本案工作相關領域碩士以上學位，另提供專案人員辦公所需器材設備。於簽約日起一個月內檢送「專案人員名冊」
- (二)專案人員適時配合內政部作業，協助內政部推動國內自駕車用地圖事務，並接受本案計畫主持人管理、指導執行本契約事項。專案人員也將共同參與專案中心運作，且推動本契約事項及參與國際事務合作時，得使用該中心名義，並適時配合內政部作業，接受內政部督導
- (三)其中 2 名專案人員各需至內政部協助辦理自駕車用地圖相關事宜每月至少 6 天
- (四)組成專案工作小組，自行定期召開工作會議，並適時接受諮詢。其中 2 次需邀請使用者（名單需先與內政部討論）參與交換意見，並作為後續應用方向或執行參考，所需費用由本案負擔
- (五)專案人員薪資、年終工作獎金、離職提撥儲金、勞健保、平安保險以及配合本案衍生之加班費、差旅費、交通費、雜費等費用，均由本案負擔

1.3 工作時程

本案執行各工作項目遵照工作計畫書所預定之時程進行，並依據科技計畫績效管考平台(<http://stprogram.stpi.narl.org.tw/>)之格式，配合內政部辦理「科技發展計畫績效評估作業」自評作業需求，參考內政部提供之相關績效作業範本，填寫本案相關成果效益報告書、績效指標、佐證資料、政府科技發展計畫績效評估；另配合將本案各期資訊登載政府研究資訊系統(GRB, <https://www.grb.gov.tw/>)，且登載結果繳附於各期工作成果，並適時接受諮詢。本團隊如實如期於 108 年 2 月起每月 25 日繳交月報表，說明工作執行進度，作為內政部地政司檢核進度之依據，表 1.4 為本案所有工作項目之分月進度及執行狀況，圖 1.14 為工作執行進度管制圖，同時完成本案 108 年度的「科技發展計畫績效評估作業」之期中、期末自評作業需求，並完成將本案期中、期末資訊登載政府研究資訊系統 GRB。相關資訊與期中、期末報告審查意見回覆，內容詳見附錄一。

表 1.4 工作執行進度管制表

任務名稱	權重 (%)	年度 月份	2019									
			第 1 月	第 2 月	第 3 月	第 4 月	第 5 月	第 6 月	第 7 月	第 8 月	第 9 月	第 10 月
			2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
工作計畫書	3	預定	3%									
		實際	3%									
建立自駕車用地圖標準及指引	12	預定	2%	2%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
		實際	2%	2%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
自駕車用地圖應用評估	12	預定		2%	2%	2%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
		實際		2%	2%	2%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
國際自駕車相關組織參與評估:世界自駕車相關國際組織先期評估作業,並參與自駕車相關國際組織活動	6	預定			2%	2%	1%	0.5%	0.5%			
		實際			2%	2%	1%	0.5%	0.5%			
試驗場域自駕車用地圖圖資服務	12	預定			2%	2%	2%	2%	1%	1%	1%	1%
		實際			2%	2%	2%	2%	1%	1%	1%	1%
自駕車用地圖與移動載台感測器驗證服務	6	預定		1%	1%	1%	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%
		實際		1%	1%	1%	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%
發展移動裝置通用之室內定位技術	10	預定	2%	2%	1%	1%	1%	1%	1%	0.5%	0.5%	
		實際	2%	2%	1%	1%	1%	1%	1%	0.5%	0.5%	
評估室內定位技術於室內防救災應用	8	預定			2%	2%	1%	1%	1%	0.5%	0.5%	
		實際			2%	2%	1%	1%	1%	0.5%	0.5%	
發展地籍測量移動製圖技術	8	預定	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	0.5%	0.5%	
		實際	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	0.5%	0.5%	
舉辦成果發表會議	9	預定		1%				2%		2%	4%	
		實際		1%				2%		2%	4%	
研究成果發表	3	預定					0.5%	0.5%	0.5%	0.5%	1%	
		實際					0.5%	0.5%	0.5%	0.5%	1%	
協助推動國際測繪合作事務	3	預定						0.5%	1%	0.5%	1%	
		實際						0.5%	1%	0.5%	1%	
成果效益評估、計畫進度管考	2	預定					1%					1%
		實際					1%					1%
期中報告	3	預定					3%					
		實際					3%					
期末報告	3	預定										3%
		實際										3%
總進度	100	預定	8%	17%	29%	41%	54%	65%	73.5%	81.5%	92.5%	100%
		實際	8%	17%	29%	41%	54%	65%	73.5%	81.5%	92.5%	100%

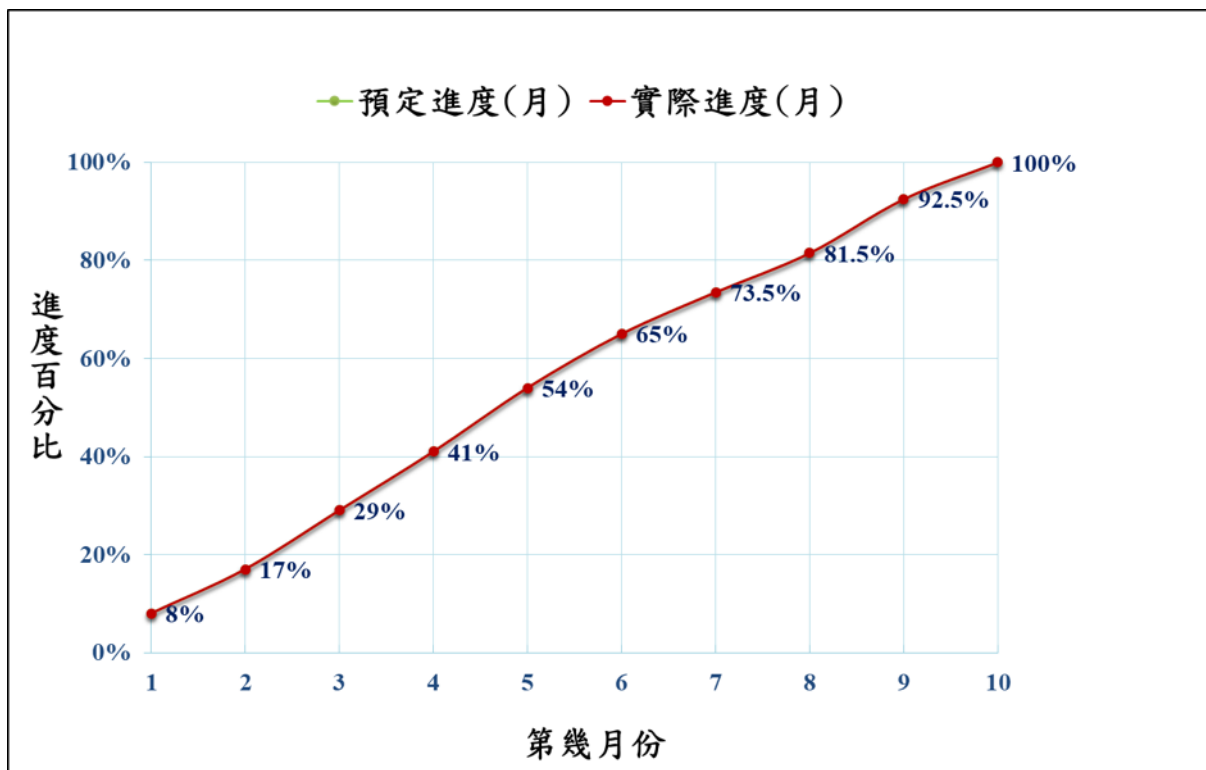


圖 1.14 工作執行進度管制圖

第二章、建立自駕車用地圖標準及指引

近年來智慧型無人載具興起，為了使自駕車正確且安全行駛於規劃路徑上，高精地圖成為新一代的地圖輔助資訊。與傳統二維導航地圖不同處在於使用者從人轉移到機器，人腦直覺式因應外界路況的邏輯過程，自駕車電腦則必須仰賴融合多項感測器與具備環境先驗資訊之精確三維圖資，才得進而做出行駛判斷決策。故必須為自駕車量身打造專用的地圖資訊，使自駕車本身的定位精度，以及圖資上的道路屬性，包含車道、交通號誌、道路的幾何關係都被精確定義，才能與自駕車本身之軟體技術及硬體設備進行整合，進一步使自駕車在無人為介入的情況下仍可安全行駛。

2.1 建立自駕車用地圖作業流程指引

有鑑於國內目前尚未針對非封閉場域測試區之實際環境產製高精地圖制定作業流程的相關規範，本團隊先以文獻回顧的方式探討符合高精地圖的作業方法與相關標準程序，同時考量國際與我國既有製圖技術及需求趨勢，基於本團隊於 107 年度針對封閉場域高精地圖的建置流程及作業指引經 TAICS 審議發布的「高精地圖製圖作業指引」進行修正，建立適用於國內在地化非封閉場域之作業流程指引，內容詳見附錄二。

目前車載移動製圖系統為最合適也最廣泛被應用於高精地圖，此系統搭載整合式定位定向感測器以及觀測感測器（包括相機、攝影機、多光譜掃描儀或光達），根據內政部委託本團隊所研擬之「車載製圖系統作業手冊」草案，車載移動製圖系統涵蓋不同應用與精度需求。高精地圖精度等級須達絕對位置之平面精度 20 公分與三維 30 公分，由於所需圖資內容、精度驗證與具備之詮釋資料需求不同，其應搭載之感測器、資料蒐集行為或定位定向導航解的檢核程序也應隨之修正，方能滿足高精地圖製圖規範。

建置高精地圖的作業流程如圖 2.1 所示，主要可分成三個步驟：執行測繪任務前通常包括任務規劃、實地踏勘與系統檢測；測繪任務當下則包括系統初始化與直接地理定位；後續內業任務進行資料後處理、成果分析與相關地圖產製。車載移動製圖系統之定位定向設備規格、作業程序及搭配演算法是否足夠因應現實環境的各種變化，將影響最終產出的地圖能否滿足自動駕駛導航需求，故建立高精地圖作業流程指引以提升地圖的產製效率與成果精度有其必要性，本案建立高精地圖作業流程指引之項目如表 2.1 所示。

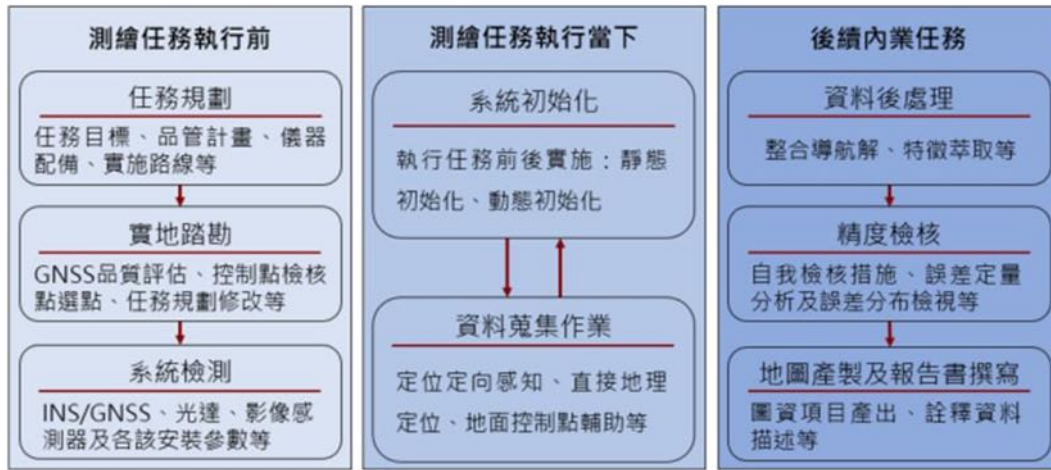


圖 2.1 高精地圖製圖作業之車載行動測繪系統流程

表 2.1 高精地圖製圖作業指引之項目與說明

規格需求	<ul style="list-style-type: none"> ■ 為了符合高精地圖之應用目的，配合所需系統及測量環境提出原則性的建議規格，蒐集地圖資訊之系統再依現行規範並參酌作業程序落實在高精地圖的建置流程中。
建置流程	<ul style="list-style-type: none"> ■ 執行測繪任務前 <ol style="list-style-type: none"> (1) 任務規劃 (2) 實地踏勘 (3) 系統檢測 ■ 執行測繪任務當下 <ol style="list-style-type: none"> (1) 系統初始化 (2) 資料蒐集作業 ■ 測繪後續內業任務 <ol style="list-style-type: none"> (1) 資料後處理 (2) 精度檢核 (3) 高精地圖產製 (4) 成果報告書撰寫
檢核機制	<ul style="list-style-type: none"> ■ 定位定向成果自我檢核 檢測整合式定位定向系統發生衛星訊號脫落、衛星訊號斷訊、慣性測量儀漂移時所造成的誤差累積情形，其影響量級是否仍符合合理精度範圍。如超出合理精度範圍，則可依據各項衛星訊號品質指標，判斷於該些環境場域補增地面控制點輔助定位解算成果。 ■ 直接地理定位成果自我檢核 透過自我檢核機制作為系統定位定向之校準考量，並且能夠得到新的影像/光達系統之外方位參數。 <ol style="list-style-type: none"> (1) 檢測直接地理定位成果誤差並提升精度，確保求解之外方位參數符合精度範圍。 (2) 網型平差應包含相當數量且經正確匹配之連結點，同時相關誤差因子應一同納入整體平差解算，使剩餘誤差最小化。

	<p>(3) 當檢核區內存在已知控制點時，偵測定位定向整合系統與本地坐標基準間的區域平移誤差，並進行補償。</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 點雲密度自我檢核 以路面標線及特徵區塊之點雲密度為主，抽樣計算各單位樣本單元的平均點雲密度是否達到標準，抽樣之樣本單位大小應考量施測環境複雜度及特徵標的等因素斟酌調整。 ■ 檢核點精度分析 檢核點直接地理定位之精度分析是驗證車載移動測繪系統精度最直觀的方法，透過各項驗證指標進行系統精度的定量分析。
--	--

2.2 建立自駕車用地圖驗證精度流程指引

本團隊基於參與臺中水湳與臺南沙崙二個自駕車場域之高精地圖規格制訂、製作程序與成果檢核之經驗，建立「高精地圖驗證指引」，內容詳見附錄三。為了確保高精地圖滿足自動駕駛技術研究之需求，圖資必須經過嚴謹的檢核，故本案建立「高精地圖驗證指引」之項目如表 2.2 所示。目前草案完成，並已提案至 TAICS，進行後續之審查工作，將於 108 年 12 月 23 日舉辦專家會議，本團隊將掌握 TAICS 之審查及修訂工作，預期於明年度完成審查程序。

表 2.2 高精地圖驗證指引之項目與說明

<p>工作 要求</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 測繪作業 採用車載移動製圖系統，地圖坐標採用世界大地測量坐標系統(WGS84)或 1997 臺灣大地基準(TWD97)，須包含光達及影像感測器，並且皆需與車載移動製圖系統上的 GNSS 及 INS 同步，所有儀器皆須進行檢校率定後，才能進行場域高精地圖之測繪工作，以確保圖資品質與精度。 ■ 前端處理 透過車載移動製圖系統收集得到之三維點雲及影像資料，須完成平差處理修正點雲之系統誤差，並採用 LAS 1.2 格式，點雲另需以真實色彩影像著色。 ■ 後端處理 進行向量特徵擷取車道相關資訊，其詳細內容可參考高精地圖標準文件，並將成果進行精度驗證作業。
<p>精度 評估</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 點雲密度：100-10000 點/平方公尺。 ■ 精度要求 (1) 控制點其精度需達公分等級，其絕對平面精度須小於 10 公分，絕對高程精度須小於 10 公分。檢核點需平均分布於測區，測區內道路每 500 公尺取 10 點或總共取 50 點，其絕對平面精度須小於 20 公分，絕對三維精度須小於 30 公分。

	<p>(2) 車道相關資訊向量圖層須進行正確性檢核，包含屬性資訊、空間位置及幾何精度。每個測區至少抽查 100 處向量物體，若遇受檢範圍內無足夠數量之明確點則辦理全面檢查，合格率應達 95% 以上，針對缺失部分退回原作業人員進行全面修正，針對缺失部分退回原作業人員進行全面修正。</p> <p>■ 檢核內容</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 確定屬性資訊是否正確。 (2) 確定特徵區塊範圍及道路形狀是否正確。 (3) 檢查特徵區塊之空間絕對位置或相對位置幾何精度，平面位置較差須小於 20 公分，且三維較差須小於 30 公分視為合格。
交付內容	<p>■ 經平差處理點雲、影像及所有 GNSS、INS、輪速計原始資料。點雲資料以 LAS1.2 格式交付，點雲另需以相片真實色彩影像著色。</p> <p>■ 交付需要包含以下的路面線及交通號誌（各自獨立圖層）向量檔案，包含 2D/3D 向量圖檔 SHP，SHP 檔須記錄屬性欄位；另外須繳交車道坡度及車道曲率檔案。</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 道路邊緣線，包含路緣石下方之邊界線，以及道路鋪面與水溝之交界線。 (2) 車道中心線。 (3) 道路標線（參見「道路交通標誌標線號誌設置規則」之說明）。 (4) 分隔島。 (5) 交通號誌，包含紅綠燈、速限標誌（位置及速限資料）、路牌、標誌等。 (6) 車道坡度。 (7) 車道曲率。 (8) 其他（視需要增加）。

2.3 建立自駕車用地圖標準

自駕車之先進駕駛輔助系統(ADAS)是整合高精地圖、各類動態資訊、感測器資訊及自動駕駛人工智慧的整合平台，各大車廠及電子相關企業全力發展 ADAS 技術，透過電子控制元件(ECU)，分析所有資訊並控制車輛進行各種操作。因結合即時感測資訊，所以可提供主動式的安全防禦，依照目前環境預先警告，甚至避免有可能發生的危險或意外。其實目前部分車種具有的盲點偵測系統、車道偏移警示系統，皆可屬於 ADAS 系統。而自駕車所需要之相關 ADAS 系統，則具有更全面的安全情境考量。

ADAS 所需要之地圖，依目前國際發展，可參考國際標準組織(International Organization for Standardization, ISO)，ISO 17424 標準之區域動態地圖(Local Dynamic Map, LDM)，如圖 2.2。LDM 包括靜態高精地圖及動態地圖。在 LDM 架構中，高精地圖是一個基礎的靜態地圖，提供比傳統電

子地圖更精確的地圖資訊。為推動國內自駕車之相關產業，本案首先制定靜態之高精地圖圖資內容標準，並針對後續之動態地圖標準進行先期研究，內容詳見附錄四。

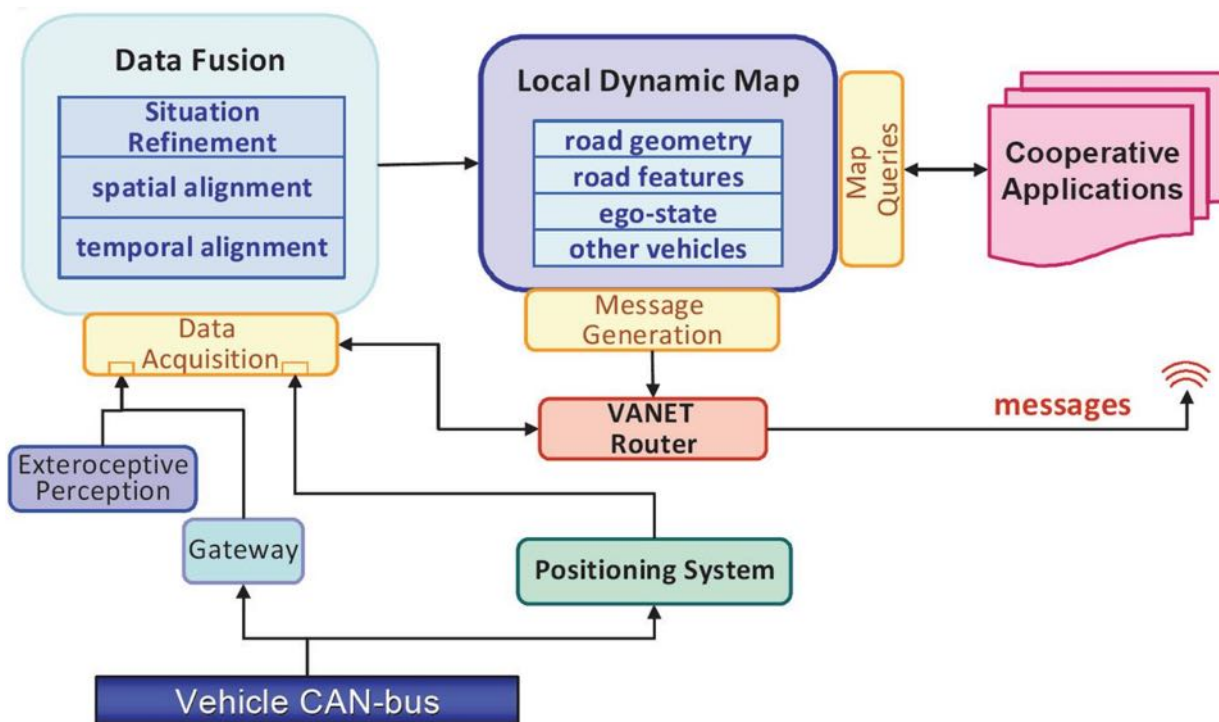


圖 2.2 Local Dynamic Map (摘錄自 ISO 17424 標準)

高精地圖對內容之三維呈現及位置精度均有高度之需求，即使與我國目前普遍應用之電子地圖相比，也相對複雜許多，代表必須針對高精地圖之推動發展一個新的作業模式。就高精地圖之發展而言，首先必須考量之兩項議題為測製及應用，亦即必須可以生產符合自駕車各類操作所需之高精地圖，這兩項考量涉及測繪產業與自駕車設計部門之間的互動，兩者之間必須針對高精地圖的內容建立共識。但從更廣大的國家推動機制或自駕車產業之發展觀點，高精地圖之測製成本相對高昂，且可能因現象之變動而必須持續更新，因此衍生出管理之需求，而各單位之間如果可以相互流通資料，則可以避免重複建置，提昇高精地圖之可用性，這就涉及資料互操作性之課題，因此衍生出不同單位圖資流通與分享之需求。歸結上述討論，自駕車用高精地圖之發展，可由以下幾個觀點來討論：

- 測繪廠商必須培養生產高精地圖之技術能力，因此必須由自駕車需求之觀點，針對高精地圖之內容、規格與品質要求制定相關規定，使其有規則可行，也可因此掌握必須精進之測繪技術。簡而言之，所有高精地圖所需之圖資內容必須可由測繪廠商依明確制定之規定完成建置。相關之測製規定可被視為一種「標準」，依適用之範疇，可為單一廠商、產業或甚至國家層級之標準。

- 測繪廠商所生產之圖資可考慮由特定單位加以彙整，並擬定持續測製及更新之計畫，形成特定區域或甚至全市、全國之高精地圖資料庫。資料庫內之內容涵蓋自駕車所需之各類主題圖資，可滿足不同自駕車廠商之圖資需求。此類資料可基於特定廠商之規格、產業之規格或由國家統一規定之規格而建立，基於資料庫主題內容之分層及屬性均有一致之規定，也可被視為一種「標準」，其規定內容以資料庫為主。
- 無論是否納入資料庫，當特定自駕車廠商對於高精地圖有所需求，但本身沒有相關圖資時，即須評估透過其他管道取得，此時必須面對是否可以處理取得圖資之挑戰。由於不同規格之高精地圖可能在資料內容、編碼架構及檔案設計上有高度之差異，造成處理之困難，通常的策略為開發專屬的轉換程式，但格式愈多，複雜程度也將愈高。制定產業層級或國家層級的高精地圖圖資內容標準是有效弭平差異及建立共識的策略，有助於促進跨單位之合作與對話。基於設定範疇，此類標準將可描述之對象給予標準化之設計，並規定資料之編碼架構及記錄格式，使所有需求者僅須發展支援資料標準之技術配套，即可解讀與應用資料。相對而言，前述之資料庫僅須發展可輸出符合標準規定之高精地圖內容，兩者之間即可完成資料交換之任務。
- 不同廠商之自駕車控制系統所需之高精地圖內容及分析方式可能各有特色，通常不會對外公開。因此具體之作法為儘可能確保高精地圖圖資內容標準之內容可滿足其需求，並以其可解讀之格式供應(例如開放資料格式)，自駕車廠商僅須發展如何將標準化高精地圖內容轉換為其所需之架構即可。因此在自駕車應用端可發展各類基於高精地圖圖資內容標準規定之配套。

基於上述討論，可看出「標準」在這個由上游之測繪、到中游之管理及分享，最後到下游之自駕車應用等不同階段均扮演關鍵的角色。雖然不同階段所面對之問題及須考量之因素各有不同，但高度共識標準之制定將可有效凝聚不同產業之研發能量，避免不必要之經費虛耗，且可促成跨領域之互動，充分發揮高精地圖之應用價值。若由促進跨域之技術整合與圖資流通觀點，基於分享需求而制定之資料標準尤其具有重要性，因其位於測繪及自駕車產業兩者之間，擬定之內容理想上應涵蓋自駕車產業不同廠商對於描述現象之需求，而測繪廠商也是依據自駕車產業之需求來生產圖資，因此基於流通需求而擬定之標準是橋接兩者供需關係的重要角色。除非是單一廠商自行規定生產之圖資規格，否則無論是產業或國家層級之標準，標準之內容都將影響所有參與之測繪及自駕車廠商。整體之相互關係可以圖 2.3 表示。



圖 2.3 高精地圖圖資內容標準之定位

本次制定之標準即屬於資料流通之定位，資料範疇設定在靜態的高精地圖，設定要達成之目標包括：

- 明確規定自駕車須納入的靜態地圖內容，使得測繪廠商可以據以生產並更新維護此標準所定義的圖資。
- 使得國內自駕車相關應用領域具有標準地圖內容，廠商可以開發程式進行資料轉換，進而於自駕車產業內進行圖資流通交換。
- 不僅參考遵循國際相關規格或標準，並同時兼顧適地性之法規，引用國內交通法規之標線標誌號誌，使得圖資內容可獲得產業支持。
- 高精地圖圖資內容標準為先進輔助駕駛系統之基礎，後續再配合各類感測器資訊及即時交通資訊等動態資訊之後，可與車聯網等新興技術高度結合，進而加快自駕車應用產業的發展。

由於我國自駕車之發展目前仍在起步階段，各相關廠商所使用之軟體、資料格式及相關技術都有所不同，制定之標準（草案）雖參考目前發展之現況而設計，希望形成現階段具有共識之發展方向，但未來仍有必要隨國家政策之走向、相關軟硬體技術之演進、國際標準之更新及應用端需求之改變而持續滾動調整，以奠定後續發展之穩健基礎。

2.3.1 國際標準

• NDS

國際間已有許多高精地圖之相關標準，為了解決高精地圖的圖資內容、繪製方法、數據通用性、兼容性及項目推進時間之差異問題，歐美主流的車廠共同成立了 Navigation Data Standard(NDS)協會，旨在建立統一的地圖資料內容及介面，建構產業的標準。NDS 為會員制之架構，會員可存取所有圖資規格授權，可使用並生產 NDS 圖資，其資料格式為導航系統的標準規格，

受到各大汽車廠商與國際自駕車地圖商的支援，成為下一代導航資料標準最有利的競爭者。其目標為提供可應用於全世界之地圖標準，並有高度的平台互操作性，有利於資料的流通交換與更新。NDS 是嵌入裝置使用之格式，採用 SQLite 作為資料儲存之資料庫，NDS 資料庫可包含多個產品資料庫，每個產品資料庫可由許多資料建構模組構成，有利於資料之建構及更新。

NDS Open Lane Model 1.0 標準是公開且適用於高精地圖的標準，其主要內容分為路徑建構模組(Routing Building Block)與車道建構模組(Lane Building Block)兩大部分，提供先進駕駛輔助系統的車道及路徑規劃所需資料。此兩大模組提供導航所需要之基礎圖資，與自駕車之先進駕駛輔助功能息息相關。以下簡述此兩模組在 NDS 標準之內容：

(一)路徑建構模組

路徑建構模組包含圖徵、描述圖徵的屬性，以及詮釋資料三大部分，其中圖徵又分成鏈接路段(Link)、交叉路口點(Intersection)、道路幾何線(Road Geometry Line)三個圖徵，架構圖如圖 2.4 所示。

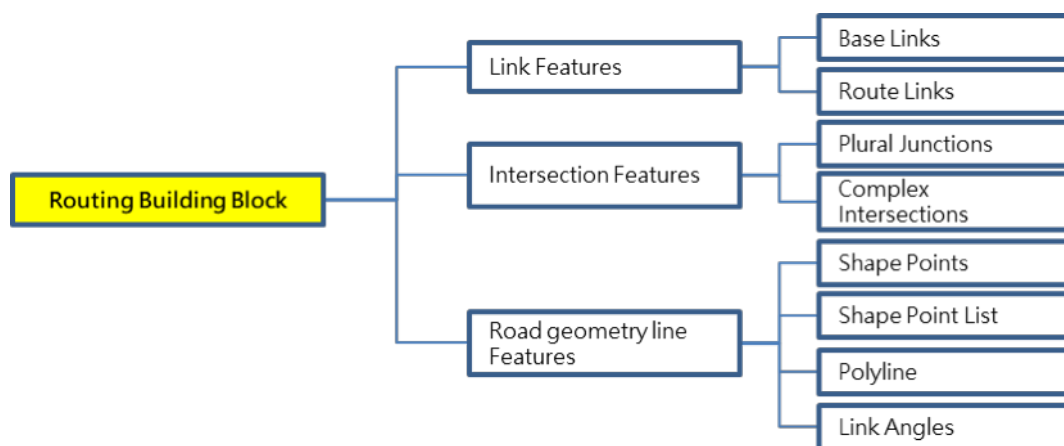


圖 2.4 路徑建構模組之圖徵架構圖

路徑建構模組之圖徵設計並非為了使用者之視覺展示，而是使得自駕車之先進駕駛輔助系統可據以開發以下功能：

- 路徑計算(Route Calculation)：路徑建構模組包含用於路徑計算的道路路網的位相表示。
- 地圖匹配(Map Matching)：路徑建構模組包含用於地圖匹配的道路幾何數據。
- 先進駕駛輔助系統(ADAS)：路徑建構模組中的附加屬性。

(二)車道建構模組

車道建構模組(Lane Building Block)的目的在於提供精確的導引指令和先進車道導引功能，高度自動駕駛的導航系統需要有關道路位相(Road

Topology)和道路幾何(Road Geometry)的詳細資訊。對於高度自動化駕駛而言，僅對車道數量和車道之間的連接進行編碼是不夠的，導航系統所需的各種車道屬性，可以由圖徵內之各種屬性組來描述。以下為車道建構模組中須考量的重要資訊：

- 車道和車道邊界的幾何形狀，例如物理車道分隔線。
- 道路標記（例如箭頭）。
- 變換車道的可能性。
- 相關車道（例如相反方向的車道）。
- 車道數量與車道之間的連結。

車道建構模組的相關圖徵包括車道數量的編碼(Numbers of Lanes)、車道群組(Lane Groups)、車道關係(Relations between Lanes)、車道群組關係(Relations between Lane Groups)及車道幾何(Lane Geometry)，圖 2.5 則為車道建構模組的圖徵架構圖。

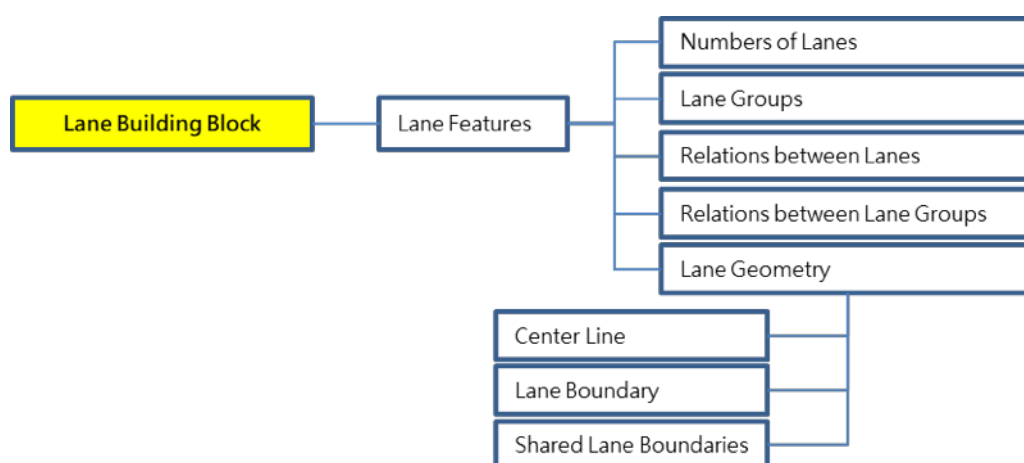


圖 2.5 車道建構模組之圖徵架構圖

• OpenDRIVE

OpenDRIVE 是德國 VIRES(<https://vires.com>)基於車輛駕駛模擬需求而開始進行道路路網之設計，並於 2006 制定 OpenDRIVE 開放資料格式，至今已為許多自駕車地圖廠商所採用。OpenDRIVE 是公開且適用於高精地圖的交換標準，並於 2018 年轉移給 ASAM (Association for Standardization of Automation and Measuring Systems)持續開發管理，其主要內容為透過 XML Schema 定義道路之車道、車道標線、道路設施及交通號誌之相關內容，使得不同車廠之間可具有共同標準。目前 OpenDRIVE 之版本為 1.5。

OpenDRIVE 將道路切分成許多路段，每一個道路以 road 之 XML 元素記錄。道路中心線是 OpenDRIVE 的核心架構，每一條道路使用二維空間的向量表現出道路中心線的位置，再配合道路高度，而具有三維空間坐標。此

道路中心線在 OpenDRIVE 內稱為參考線(Reference line)。由此參考線往左右兩側，分別依序推算出車道的空間位置（外圍邊界）而構成車道，再加上車道標線，成為 OpenDRIVE 對車道資料的核心架構。在特徵物部分，OpenDRIVE 則包含了停車空間、隧道及橋樑。圖 2.6 具體描述 OpenDRIVE 可記錄之現象。

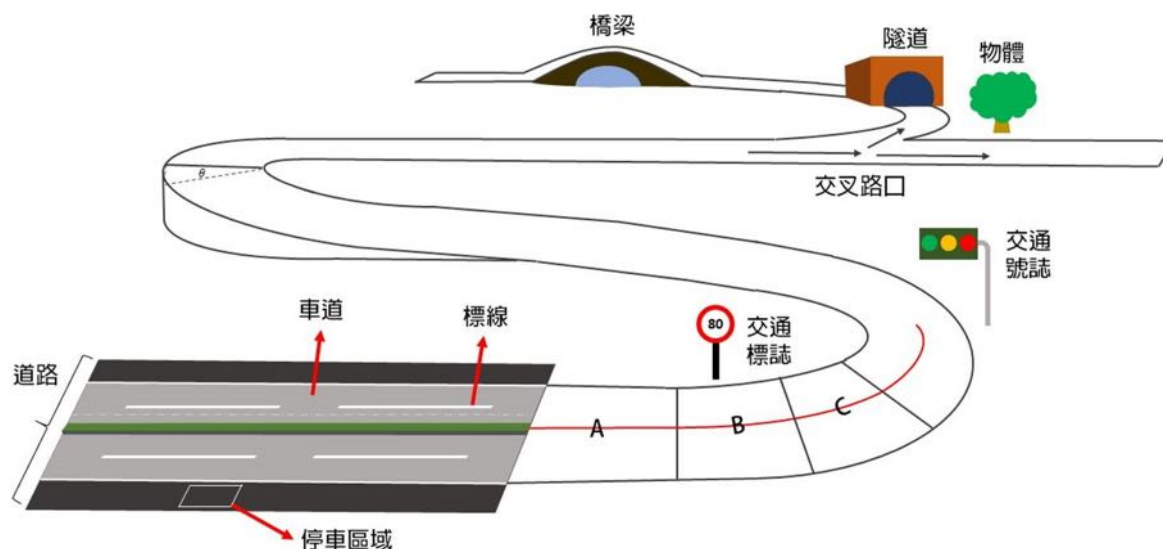


圖 2.6 OpenDRIVE 之核心架構組成部分

OpenDRIVE 具有軌跡坐標系統(Track System)及慣性坐標系統(Inertial System)，慣性坐標系統可以指定坐標參考系統，例如 TWD97 坐標系統、WGS84 坐標系統，以提供三維坐標之空間參考。軌跡坐標系統則為 OpenDRIVE 之坐標系統，以道路之參考線(Reference line)為核心，表現出道路及各種資料之位置、屬性軌跡。道路參考線及軌跡坐標系統之概念說明如下：

- 道路以參考線為核心，組成道路資料模式。參考線以線形記錄，線形之幾何表示種類具有 5 種，例如圖 2.6 之紅色線為參考線，以直線之線形記錄。
- 道路參考線可以一個以上之線形記錄而成，例如以 2 個直線連結，表現一個道路參考線。圖 2.7 之範例為以一個線形記錄道路之參考線。
- 參考線之線形僅考慮慣性坐標系統之 xy 平面，參考線起點具有慣性坐標系統三維坐標之(x,y)坐標，參考線之高程以另外方式記錄。
- 參考線前進方向為 s 軸，參考線起點可設 $s=0$ ，記錄長度，若長度為 10，則參考線終點之 s 位置為 10；若參考線起點 s 不設為 0，可延續前一條道路參考線的 s 位置接續記錄。

- t 為參考線之橫移位置， h 為縱軸，軌跡坐標系統(s 、 t 、 h)為一個右手坐標統。
- 參考線之高程 h 變化，以兩種方式記錄，一為沿著 s 軸之變化，一為 s 軸橫斷面之變化。
- 參考線記錄一個方位角度 hdg ，以東方起算，以記錄參考線往哪一個方向前進，示意圖如圖 2.8。
- 道路之車道及其他所有資料，須依附於此道路參考線而儲存，並記錄相對於參考線之 s 、 t 、 h 坐標，由參考線之慣性坐標系統三維坐標而可間接推算出車道及其他所有資料之三維坐標。

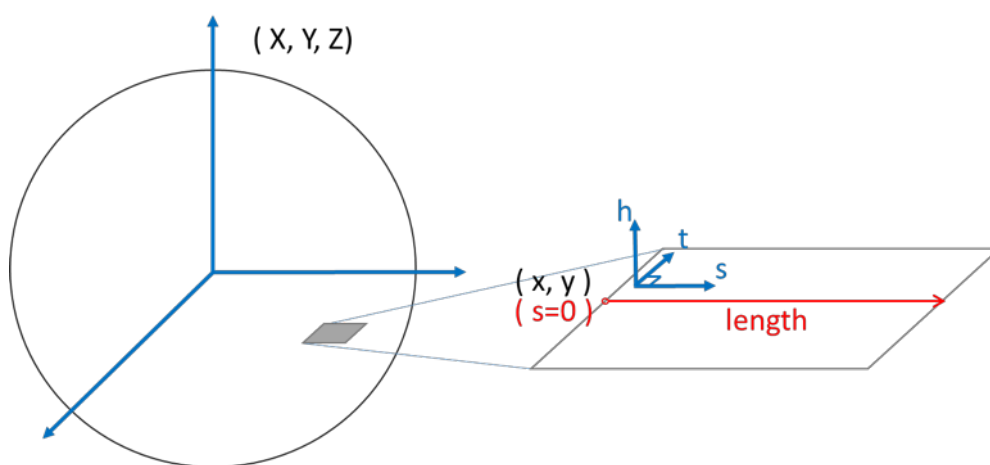


圖 2.7 慣性坐標系統與軌跡坐標系統

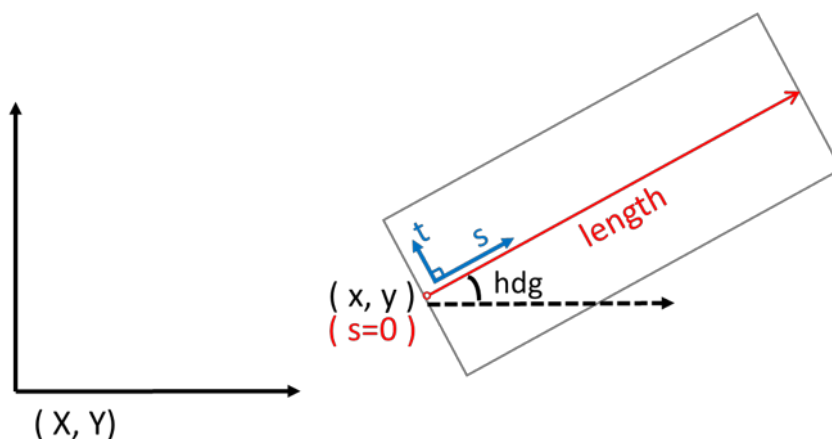


圖 2.8 軌跡坐標系統

為了構成完整路網，各道路之間必須記錄前後關係，使得在複雜的交叉路口，也能建構出可供導航的道路路網。每一個道路的參考線以二維向量(包括直線、弧線、螺旋、三次函數弧線)表示。道路內可以包含多個車道，各具有 id ，並以 $center$ 、 $left$ 、 $right$ 區分。 $center$ 車道之 id 為 0，以 s 方向為前方， t 方向則為 $left$ 車道，由 1 依次推算。與 t 反方向為 $right$ 車道，由 -1 依

次推算，如圖 2.9。具有道路與車道之關係後，由三維函數表示出各車道寬度，可依次推算出各車道的外邊界，並記錄車道高度資訊，進而形成三維空間。

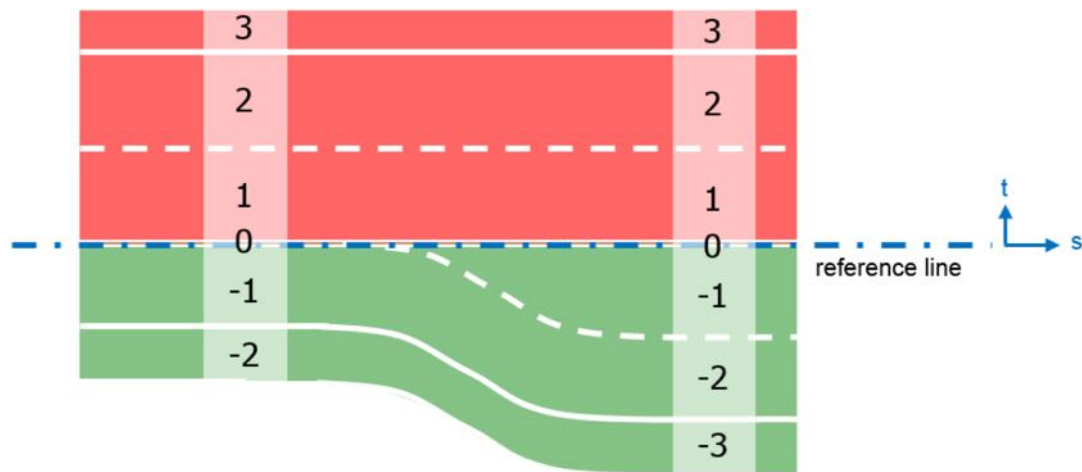


圖 2.9 OpenDRIVE 之參考線與車道

道路可分為不同道路路段，一個道路路段以一個 road 類別記錄。road 類別以線形表現參考線之空間位置，因此，road 類別之切割劃分與參考線之線形有關，說明如下：

- road 類別僅有一個參考線，參考線可以一個或一個以上之線形表示。
- 參考線線形以 planView 類別之 geometry 類別記錄。
- road 類別於停止線、交叉路口須切割劃分，建立多個 road 類別，記錄完整路網之各道路路段。
- road 類別除了在停止線、交叉路口須切割劃分，在線形具有變化時，可隨著線形變化而切割劃分，如圖 2.10 之情形，一個道路參考線記錄直線線形，一個道路參考線記錄弧線線形。
- 每一個 road 類別可視為獨立之軌跡坐標系統，參考線起點可設為 $s=0$ ；若不設為 0，則從前一個 road 之參考線終點 s 位置接續記錄。
- road 類別內之各種資料，包括車道位置及高程、道路路面位置及高程變化、道路連結關係、交叉路口車道連結關係，以及道路上的標線、標誌、號誌及各種物件（路燈、路樹、隧道、橋梁...），均須依附 road 類別一併記錄，並以道路參考線為基準，記錄相對之 s 坐標、 t 坐標、 h 高程及各種屬性。

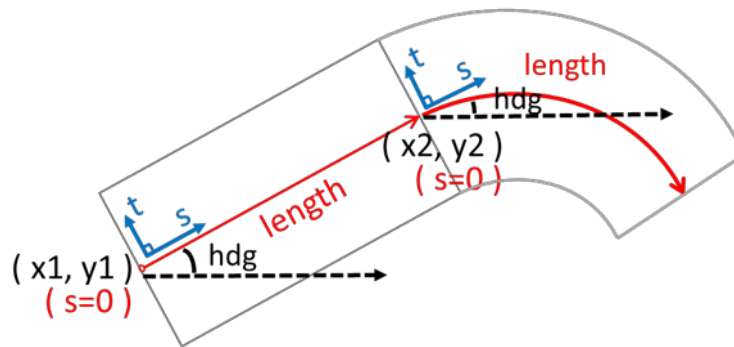


圖 2.10 OpenDRIVE 之參考線與線形

OpenDRIVE 透過 .xodr 資料格式記錄，實際為 XML 編碼，具有樹狀結構。傳輸之資料以道路為基本單位，每一個 .xodr 檔案可以包含多個 road 元素，每一個 road 再包括該道路之參考線所構成的車道、道路標線及其他道路設施、交通號誌。由此架構，一個檔案可以包含一個路網或部分路段，整體架構具有彈性。圖 2.11 為 OpenDRIVE 範例檔 (Crossing8Course.xodr) 內的 XML 部分內容。圖 2.12 則是以其網站提供的 ODR Viewer 開啟範例檔後的道路。

```

<?xml version="1.0" standalone="yes"?>
<OpenDRIVE>
  <header revMajor="1" revMinor="1" name="" version="1.00" date="Thu Dec 10 10:35:57 2009"
north="0.0000000000000000e+00" south="0.0000000000000000e+00" east="0.0000000000000000e+00" west
="0.0000000000000000e+00" maxRoad="517" maxJunc="2" maxPrg="0">
  </header>
  <road name="" length="1.6517824248160636e+01" id="500" junction="2">
    <link>
      <predecessor elementType="road" elementId="502" contactPoint="start" />
      <successor elementType="road" elementId="514" contactPoint="start" />
    </link>
    <type s="0.0000000000000000e+00" type="town"/>
    <planView>
      <geometry s="0.0000000000000000e+00" x="-7.0710678117841717e+00" y="
7.0710678119660715e+00" hdg="5.4977871437752235e+00" length="4.8660000002386400e-01">
        <line/>
      </geometry>
      <geometry s="4.8660000002386400e-01" x="-6.7269896520425938e+00" y="
6.7269896522231525e+00" hdg="5.4977871437736381e+00" length="3.1746031746031744e+00">
        <spiral curvStart="-0.0000000000000000e+00" curvEnd="-1.2698412698412698e-01"/>
      </geometry>
      <geometry s="3.6612031746270386e+00" x="-4.6416930098385274e+00" y="
4.3409250448366459e+00" hdg="5.2962250374496271e+00" length="9.1954178989066371e+00">
        <arc curvature="-1.2698412698412698e-01"/>
      </geometry>
      <geometry s="1.2856621073533674e+01" x="-4.6416930098799849e+00" y="
-4.3409256447923106e+00" hdg="4.1285529233027525e+00" length="3.1746031746031744e+00">
        <spiral curvStart="-1.2698412698412698e-01" curvEnd="-0.0000000000000000e+00"/>
      </geometry>
      <geometry s="1.6031224248136848e+01" x="-6.7269896521209764e+00" y="
-6.7269902521517775e+00" hdg="3.9269908169787415e+00" length="4.8660000002378989e-01">
        <line/>
    </planView>
  </road>

```

圖 2.11 OpenDRIVE 之範例資料展示畫面 (擷取檔頭部分內容)

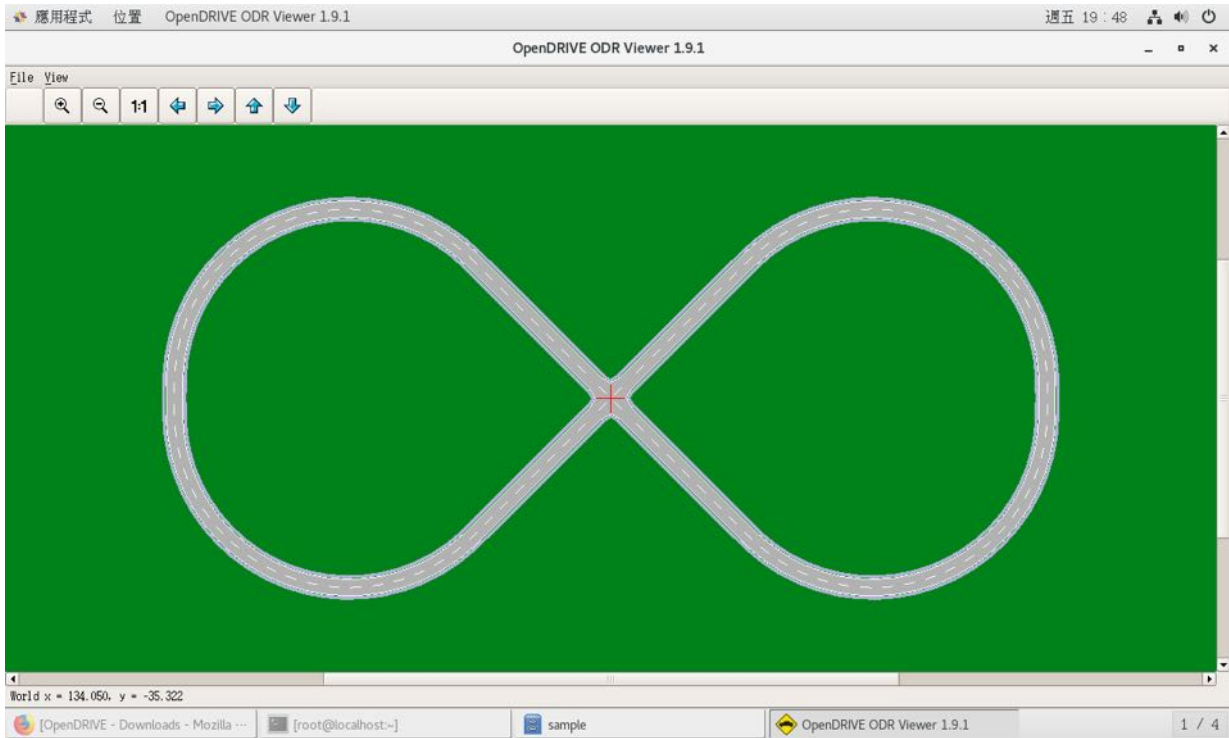


圖 2.12 OpenDRIVE 之 ODR Viewer 展示畫面

• SENSORIS

NDS、OpenDRIVE 皆屬於高精地圖之圖資內容標準，SENSORIS 則是自駕車感測器資料的標準，其內容、位階與 NDS、OpenDRIVE 差異甚大。SENSORIS 是一個自駕車感測器與雲端之間傳遞資訊的全球性標準介面，由 ERTICO - ITS Europe 管理，這個標準介面使得汽車製造商，位置資訊與服務供應商、自動輔助駕駛服務供應商、導航系統供應商、電信與雲端架構供應商及感測器供應商可與車輛傳遞雲端資訊服務。

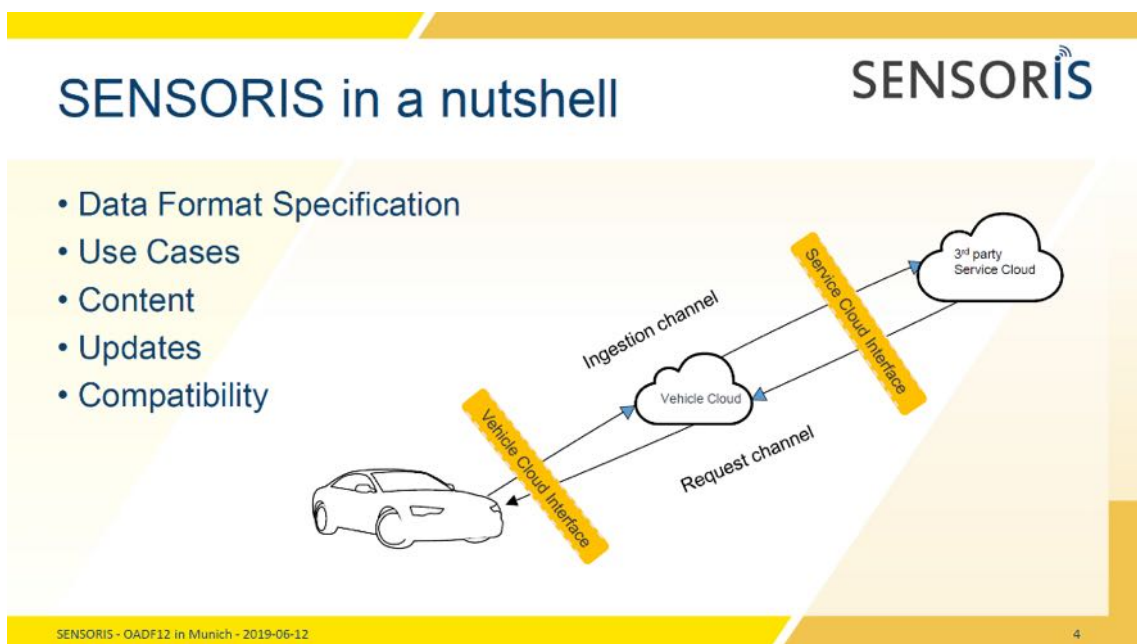


圖 2.13 SENSORIS 標準之概念示意圖

SENSORIS 傳輸介面標準之重要性相當大，除了動態地圖、高精地圖相關標準以外，可持續關注此類技術標準之後續發展，因其架構包含資料傳遞之資料內容規格、使用情境、資料內容、資料更新及可攜性。無論是否採用 SENSORIS，在發展動態資訊傳遞服務時，例如具有低延遲需求的交通資訊、高精地圖資料更新、周遭感測資料等，都須仰賴動態資訊傳遞之技術及標準。對於後續發展而言，無論國外或國內，是自駕車系統發展單位需要研擬且實際驗證之技術，是不可或缺的一種工業技術標準。

• **ADASIS**

ADASIS(Advanced Driver Assistance Systems Interface Specifications) AISBL 是一個非營利性的國際組織協會，其訂定之標準為先進駕駛輔助系統的工業標準介面。ADASIS 最初前身稱 ADASIS Forum，論壇的成員包括汽車製造商、ECU 供應商、導航系統和圖資供應商。其核心任務是使得 ADAS 和自動駕駛系統可以取用車輛前方的先進駕駛輔助系統地圖資料(ADAS Horizon)。

ADASIS AISBL 開發了先進駕駛輔助系統的工業標準介面，用以記錄並且傳輸 ADAS Horizon，定義 ADAS Horizon 與 ADAS 及自動駕駛系統之間的通信協議及規範。ADASIS 認為這個標準可推動自動駕駛系統的開發及部署，在自駕車產業亦是相當重要的一個標準，而此系統是建構在 ADAS Horizon 之上。ADASIS 於 2018 年推出了最新的 ADASIS v3.0 規範，可支持更高精度且更細緻的地圖，以提供地圖及動態資訊來實現自動駕駛。基於高精地圖的先進駕駛輔助系統，根據研究顯示，可顯著降低燃料消耗和二氧化碳排放，並提高車輛安全性。

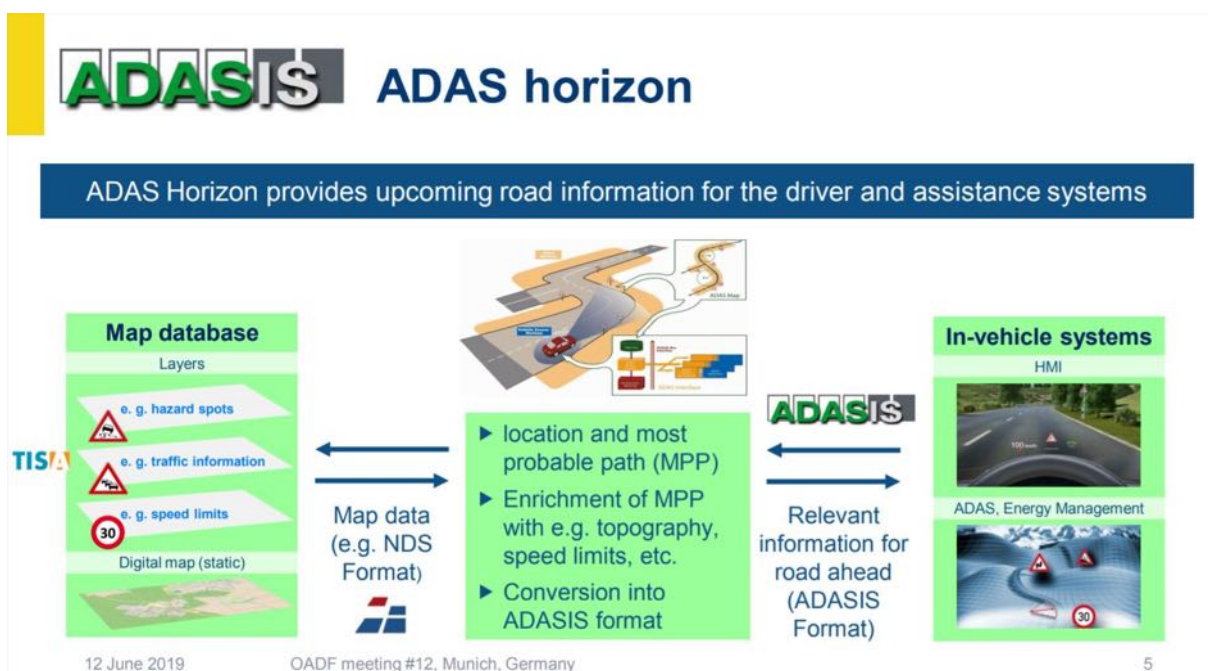


圖 2.14 ADAS Horizon 之概念示意圖

此標準提供工業標準之傳輸介面，並將部分高精地圖及動態資訊整合包裝後傳遞給自駕車上的自動駕駛輔助系統，對於業界開發相關應用而言，可降低不少成本，目前 v2.0 的推動及測試驗證是成功的，日本 SIP 亦有採用 ADASIS 的標準進行測試。因此，值得關注 ADASIS 後續發展。

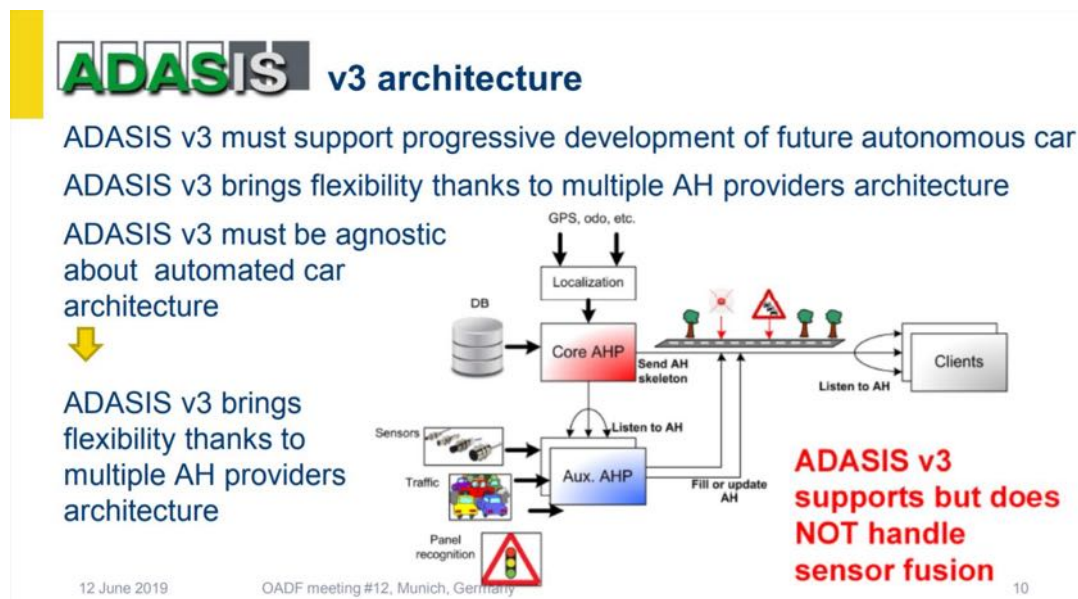


圖 2.15 ADASIS 3.0 架構圖

2.3.2 標準設計策略

由前述之國際標準介紹，各標準特性及在產業中之定位不盡相同。SENSORIS 與 ADASIS 並不是高精地圖之相關圖資標準，而是資料傳遞介面之工業標準，不適合用於國家層級高精地圖之參考標準。而 NDS 及 OpenDRIVE，則屬於高精地圖之圖資標準。

NDS 標準之定位為自駕車系統內的圖資格式，相較之下具有更為豐富之資料庫架構，除了車道建構模組外，亦具有路徑建構模組，其完整規格還具備正射影像、POI、DTM、交通資訊、3D Objects 等不同建構模組。目前各國製圖之現況，多為商用公司加入 NDS 後，在試驗場域製圖並使用圖資，已採用並開始使用之國家包括中國的廠商(AutoNavi、騰訊、Navinfo)，TomTom 依附前面公司作為共同夥伴，北美與歐洲之廠商包括 HERE、TomTom，南韓則是 Navis-AMS、TomTom。NDS 資料庫採用 SQLite 之資料庫。這些國家並非使用 NDS 圖資作為國家高精地圖圖資內容標準，而是相關廠商選擇採用 NDS。另外，NDS 之資料模式較為複雜而龐大，資料模式相對較具隱密性，僅有 Open Lane Model 為開放模式。

OpenDRIVE 初期設計定位在道路模擬使用，具有完整的道路、車道、路網連結關係結構，並可記錄物體及號誌，以數學參數記錄道路，可有效率地記錄資料。優點是採用 XML 為資料格式，其開放架構及具擴充性之特性有助於資料擴充及流通交換。OpenDRIVE 資料種類目前雖然比 NDS 少，但主

要架構包含道路、車道、物體及交叉路口控制部分，已足夠使用，加入車道中心線之資料後，可滿足自駕車控制需求。百度之 Apollo 高精地圖亦採用 OpenDRIVE 架構，但修改其格式以符合其需求，例如增加停止線、行人穿越道、減速線等類別，建立停止線與號誌之關係，並修改以直接坐標記錄各種類別。OpenDRIVE 之缺點是資料轉換為 OpenDRIVE 格式時，其坐標須由三維空間坐標轉換到 OpenDRIVE 之軌跡坐標系統，在自駕車展業發展初期，測繪業者或國內相關單位，須發展資料轉換之技術，將資料轉為自駕車系統使用之圖資。相關標準的分析比較如表 2.3 所示。

表 2.3 國際相關標準之比較

圖資標準	格式	授權金	圖資豐富程度	其他
NDS	SQLite	需要	最高	需與原廠軟體搭配，擴充性亦較低
OpenDRIVE	XML	無	高	可作道路模擬，擴充性佳，適合作為中介格式。
Autoware	CSV	無	高	自駕車端之軟體，開放是特色，亦可擴充。

我國自駕車系統發展單位，具有部分共通性，對於高精地圖採用之國際標準，需求分析如下：

- NDS 之主要缺點是有二，第一是需加入 NDS 協會會員方有資格使用 NDS 圖資格式，且入會費及後續年費對於國內發展自駕車廠商而言是具有一定程度之負擔。第二是 NDS 定位為自駕車內之圖資格式，我國自駕車系統開發廠商目前主要以開放系統架構建置，無法直接採用 NDS 之圖資，對於平台發展而言，NDS 圖資格式為 SQLite，而不是如 XML 之開放格式，既無法當作中介格式，而改寫開放系統使其支援 NDS 資料，對於採用開放平台之國內自駕車發展團隊而言，開發成本又是另一問題。
- 本團隊今年派員至德國慕尼黑參與 6 月 12-13 日「12th Open Auto Drive Forum Meeting and 1st NDS Public Conference」，獲知 OpenDRIVE 亦朝向 OpenDRIVE 2.0 邁進，將包含新的道路路網物件，並將增加更多模型描述之參數，減少重複性的定義以及不一致之模型，讓 OpenDRIVE 與其他圖資標準盡可能一致。可看出 OpenDRIVE 自從交由 ASAM 維護管理之後，其內容持續增加，並與 NDS 及其他格式可進行交換，其定位已不僅為道路模擬使用，並

可作為高精地圖之中介格式。大陸百度亦看中其格式特性，採用 OpenDRIVE 為基礎而訂定高精地圖圖資內容標準。

- 目前我國自駕車之發展團隊多數採用開放架構之 Autoware 軟體，其使用格式為 CSV 檔案，是 Aisan Technology 所訂定的「ADAS Map」地圖格式的精簡版(<https://www.aisantec.co.jp/english/>)，亦是開放格式。若以同為開放格式之 XML 為我國高精地圖圖資內容標準之資料格式，有助於擴充設計本國需求及流通交換。
- 自駕車於實驗場域外之駕駛需要經過法規核准，對於自駕車產業發展而言，道路模擬是一項重要之先期發展項目，OpenDRIVE 可進行道路模擬而發現問題，而不需要真實的環境和硬體，在產業發展初期亦可節省大量成本和時間。

在經過前述評估之後，本團隊建議以 OpenDRIVE 為基本架構，以其 XML 架構為資料流通交換的中介格式，引用其架構並依我國需求擴充需納入之現象。本團隊對於「高精地圖圖資內容標準」之主要設計策略說明如下：

- 評估國際標準之後，決定採用 OpenDRIVE 做為參考標準，依循 OpenDRIVE 之基本架構，可使用 OpenDRIVE 之 XML 架構。
- 持續與自駕車開發團隊及測繪廠商進行溝通，依照自駕車開發團隊之需求設計資料類別及屬性，並與測繪廠商討論資料測製細節。
- 各現象之記錄維度有所區別，在持續與自駕車開發團隊討論後逐漸成形，複雜物體以近似外包範圍記錄，與行車控制相關之現象，例如停止線、交通號誌、標誌，則必須提供停止線位置、個別號誌燈號坐標及標誌牌面外包矩形。
- 確認納入之圖資種類，並與 OpenDRIVE 對照，除 OpenDRIVE 已納入設計之現象外，我國須額外納入之現象以擴充之方式設計，並記錄絕對坐標及屬性。
- 依我國需要納入設計之類別須與其他類別建立正確的關聯，包括 OpenDRIVE 之預設類別。
- 擴充設計類別則按 OpenDRIVE 規定，記錄於 userdata 中，其記錄內容之規定為 any，可納入自行設計之類別或項目內容。
- OpenDRIVE 中各類位置之坐標記錄方式為相對參考線之記錄方式，在不影響引用 OpenDRIVE 記錄架構之前提下，相對坐標之記錄方式仍予維持，並依 OpenDRIVE 之規定，流通時必須填寫。本標準另外設計絕對坐標之記錄方式，亦即本標準之位置記錄方式為雙軌，允許應用端選取較符合其需求之記錄方式。

- 直接規定擴充絕對坐標記錄方式之類別包括 road、lane、object、signal 等類別，其餘以相對坐標方式記錄位置之類別在需要時仍可將相對坐標轉換為絕對坐標。
- 我國於標線、標誌及號誌均有我國獨特之設計，與 OpenDRIVE 之規定記錄方式不同，本標準採擴充之方式，納入我國各交通法規之相關規定，以唯一代碼表示，形成本標準之代碼型別，提供綱要設計引用。其目標為使得相關物件皆有記錄標準。
- 標線具有其複雜度，包括複雜圖示及標字之複雜實形，尤其標字部分，為我國特有之標線。例如「禁止臨時停車」。目前複雜圖示須測制實形，標字則以標字圖層，使用點位坐標、文字、旋轉角、顏色等屬性，取代圖形圖層的筆劃測製。

2.3.3 標準設計之成果摘要

本標準採用 OpenDRIVE 之架構，擴充設計之作法說明如下：

- 在標準中說明採用之幾何表示，包括單點、代表位置、實形、外包範圍等不同幾何表示，清楚說明設計類別之幾何位置意義。
- 擴充架構符合 OpenDRIVE 之規定，記錄於 userdata，並設計擴充類別之 XML 綱要，統一規定可記錄之結構，避免擴充資料出現差異。
- 所有標誌、標線、號誌，統一給予代碼，並輔以說明及圖像，供標準使用。
- 標線之位置，分為三種情形，線形標線繪製其線形，標字以標字圖層繪製，複雜標線圖示則繪製實形。另外，部分少數之標線，為了可使得自駕車直接應用，須另以一個 MarkArea 圖層描述其外包範圍，包括行人穿越道、自行車穿越道、機慢車停等區、機慢車待轉區、網狀線。
- 標誌牌面記錄方位、中心點位置及包圍矩形，號誌另外擴充設計類別記錄號誌燈號，以滿足自駕車對單一燈號之位置需求。
- 車道中心線、車道中心線節點、停止線、標線、號誌燈號、標誌牌面等現象，以擴充類別設計，資料皆直接記錄三維坐標。
- 道路、車道、物體、號誌，以 OpenDRIVE 原有類別記錄，增加三維絕對坐標記錄及部分屬性。

以下說明各類別之成果。UML 之主架構符合 OpenDRIVE 1.5 標準，道路以「road」類別設計，其下可記錄 9 個類別，包括「link」、「type」、「planView」、「elevationProfile」、「lateralProfile」、「lanes」、「objects」、「signal」及「userdata」，皆引用 OpenDRIVE 之「Road records」，UML 如圖 2.16。link 類別是 road 類

別的前後關係，type 類別是 road 類別的類型，planView 類別記錄 road 類別的線形的參數，elevationProfile 類別是 road 類別的縱斷面高程參數，lateralProfile 是 road 類別的橫斷面高程參數，lanes 類別是 road 類別相關之車道幾何及屬性，objects 是 road 類別相關之路面物體或路邊物體，signals 類別是 road 類別相關之號誌。userdata 記錄各種擴充類別。

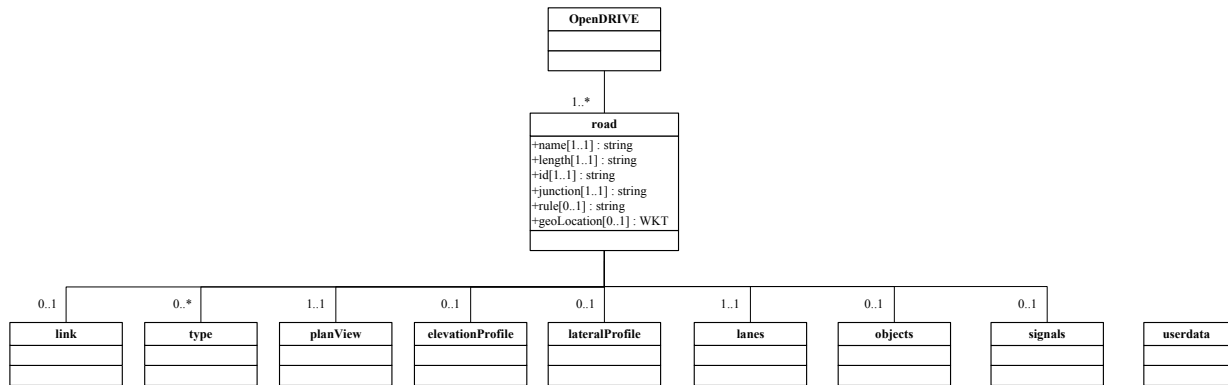


圖 2.16 高精地圖圖資內容標準之應用綱要主要架構

road 類別記錄 name、length、id、junction、rule 及 geoLocation 等 6 項屬性，前 5 個屬性引用自 OpenDRIVE，name 記錄道路之名稱，length 記錄道路參考線長度，id 記錄道路之識別碼，junction 記錄道路屬於一般道路或是交叉路口，rule 記錄道路的行車方向，RHT 代表車輛靠右手邊行駛，LHT 代表車輛靠左手邊行駛。geoLocation 為本標準擴充之屬性，為選擇屬性，以 WKT 資料型別記錄道路之參考線在慣性坐標系統內之三維線坐標。

link 類別記錄道路路段之間的連結關係，即是 road 類別與其他 road 類別的連結關係，如圖 2.17。前後連結關係以 predecessor 與 successor 記錄，左右則以 neighbor 記錄。predecessor 記錄前一個連結元素，successor 記錄下一個連結元素，兩者具有相同屬性，elementType 記錄連結元素之類型是 road 或是 junction，elementId 記錄連結元素的識別碼；contactPoint（填寫 start 或 end）記錄連結元素是以起點或終點與此道路連結。neighbor 提供左右相鄰 road 類別之資訊，包括 side、elementId 與 direction。side 敘述相對方位（左側填寫 left/右側填寫 right），elementId 記錄連結元素的識別碼，direction 則是敘述相鄰 road 的方向，與自己相同填寫 same，相反填寫 opposite。

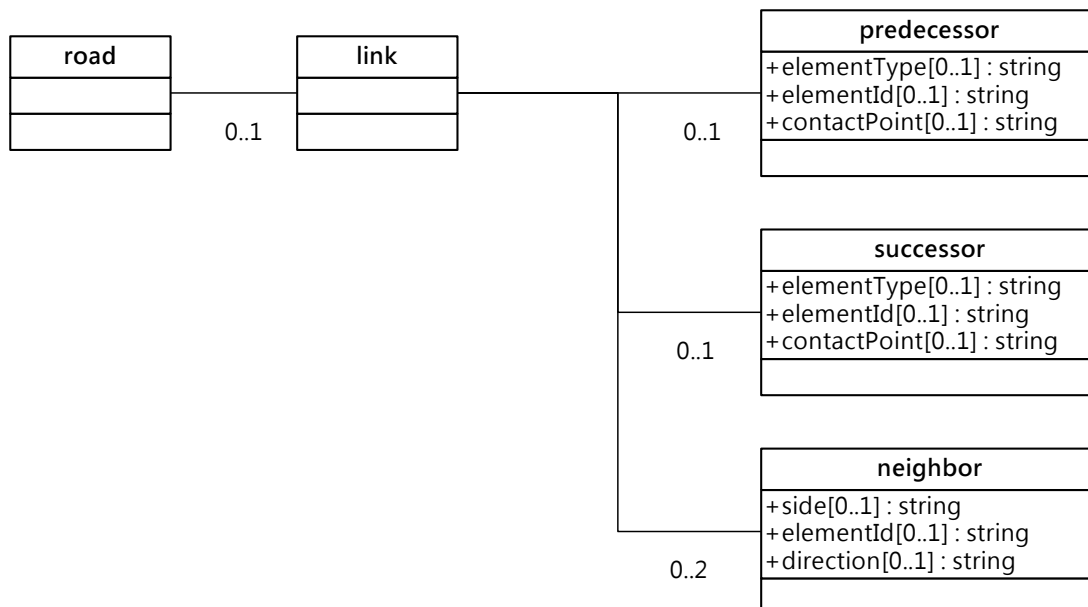


圖 2.17 link 類別

type 記錄 road 的類型，每個 type 以屬性 s、type 及 country 記錄類型資訊，皆為必要屬性，如圖 2.18。type 類別可以記錄多次，以 s 坐標位置作為區分。屬性 type 是道路類型，如國道、省道、鄉道等，此屬性在 OpenDRIVE 以 Road Type 代碼表示，本標準引用其代碼，並依交通部公路法擴充設計 Road Type 無法表示之部分。country 是國家代碼，speed 類別記錄 road 類別的限速，max 文字填寫限速規定或數值，unit 記錄單位，我國統一以公里規定，皆為選擇屬性。

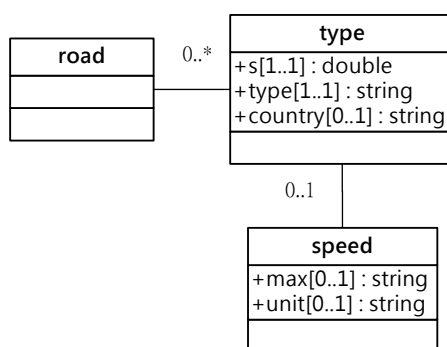


圖 2.18 type 類別

planView 記錄 road 類別在 xy 平面上的位置，即為道路路段參考線之線形。每一個線形以一個 geometry 類別記錄。一個 planView 可以多個 geometry 表示，依序構成 planView 的幾何表現。每一個 geometry 之屬性皆為必要屬性，包括 s、x 與 y（慣性坐標系統的 x、y 坐標）、hdg、length，即為一個參考線之線形相關屬性，如圖 2.19。

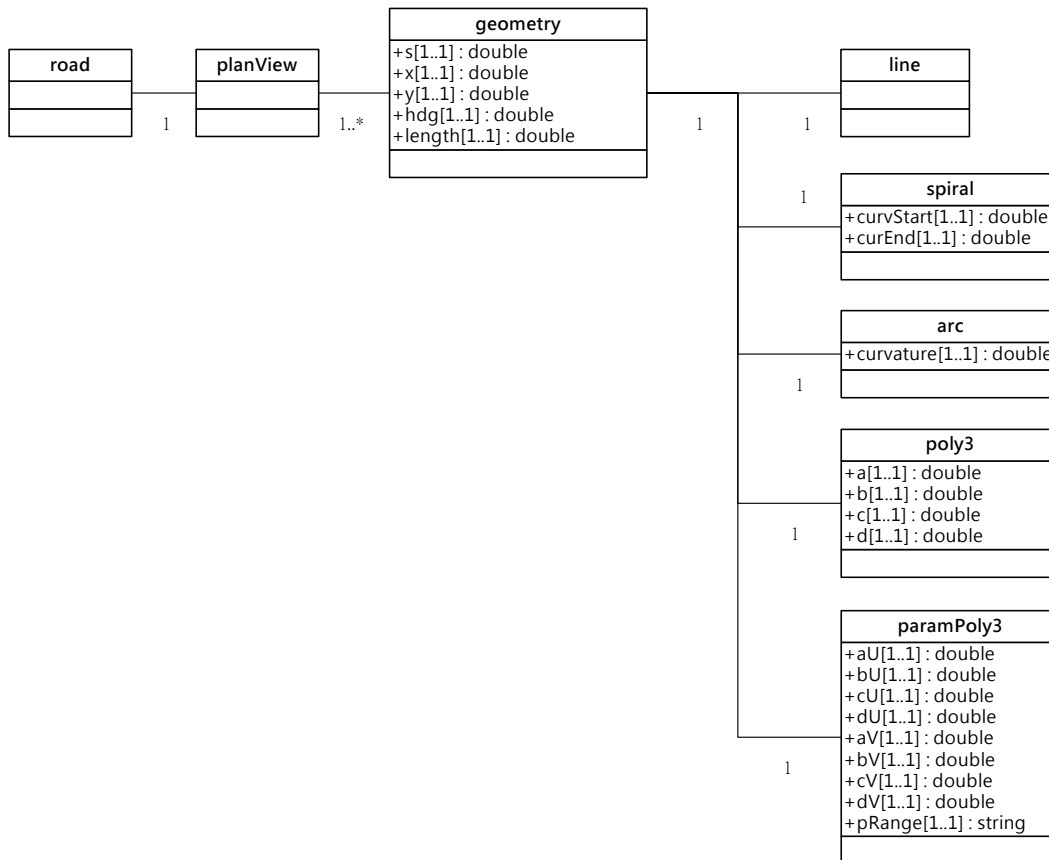


圖 2.19 planView 類別

geometry 類別記錄之線形除了直線，還包括其他 4 種線形，總計有 5 種線形，每一個 geometry 類別僅可擇一記錄：

- line：記錄直線，curvature（曲率）為 0，為必要屬性，不需額外記錄其他資訊。
- spiral：記錄螺旋線，以 curvStart（起始曲率）與 curvEnd（結束曲率）來定義螺旋線，皆為必要屬性，另外，起始曲率與結束曲率之間的變化為線性關係。
- arc：記錄弧線，以 curvature（曲率）記錄弧線的曲率，為必要屬性，值為常數。
- cubic polynomial：記錄三次多項式之線形，利用 local u/v coordinate system 來表示起始點，每個坐標可以透過公式(2.1)計算，將三次多項式的參數記錄於 poly3 類別內的 a、b、c、d 屬性，所有屬性為必要屬性。

$$V_{local} = a + b * du + c * du^2 + d * du^3 \quad (2.1)$$

- parametric cubic polynomial：記錄參數立方曲線，參數立方曲線使用的坐標系統為 local u/v coordinate system，參數立方曲線由兩個三次多項式組成，以共同參考系數 p 來描述 local u/v coordinate，計算坐

標之三次多項式如公式(2.2)和公式(2.3)，由 paraPoly3 類別之屬性記錄兩個三次多項式之計算參數，所有屬性為必要屬性。

$$u_{local} = a_u + b_u * p + c_u * p^2 + d_u * p^3 \quad (2.2)$$

$$u_{local} = a_u + b_u * p + c_u * p^2 + d_u * p^3 \quad (2.3)$$

elevationProfile 類別記錄 road 類別的連續高程幾何變化。elevationProfile 可記錄多個 elevation 類別，如圖 2.20，每一個 elevation 類別指定起始 s 坐標，則前進 ds 距離之高程值 elev 則可以三次多項式表示，將三次多項式的參數記錄於 elevation 類別內的 a、b、c、d 屬性，每一屬性皆為必要屬性，elev 三次多項式如下：

$$elev = a + b * ds + c * ds^2 + d * ds^3 \quad (2.4)$$

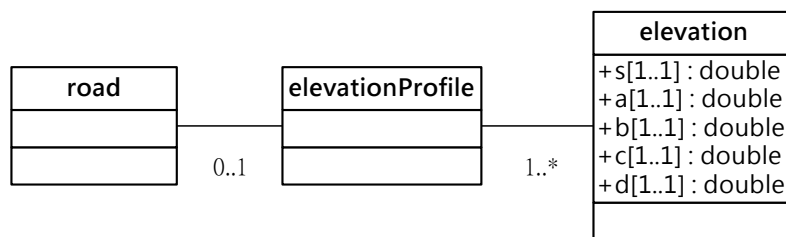


圖 2.20 elevationProfile 類別

lateralProfile 類別記錄 road 類別在橫斷面的傾斜角度或路面高程變化，分為 superelevation、crossfall 及 shape 等三種類別，如圖 2.21。

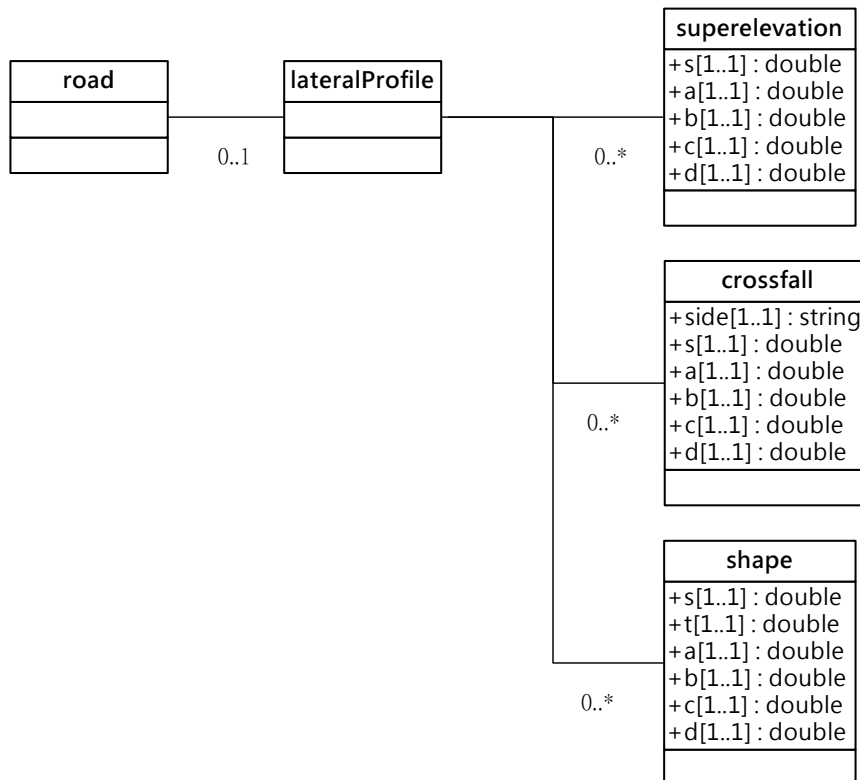


圖 2.21 lateralProfile 類別

lanes 記錄一個以 road 類別描述路段內的車道，一個 road 可記錄多個 laneSection 類別。一個 laneSection 內的 lane，則以 center、left、right 區分，每一個 lane 類別代表一個車道。center 記錄的車道即為 OpenDRIVE 之參考線，設定 id 為 0，以 s 軸為前方，t 軸為 left，id 為正，由 1 開始依車道數量遞增，與 t 反方向為 right，id 為負，由 -1 開始依車道數量遞減，示意圖如圖 2.22。UML 如圖 2.23，laneSection 之屬性 s 記錄 laneSection 之 s 坐標，屬性 singleSide 用以記錄 laneSection 是單向或是雙向車道。

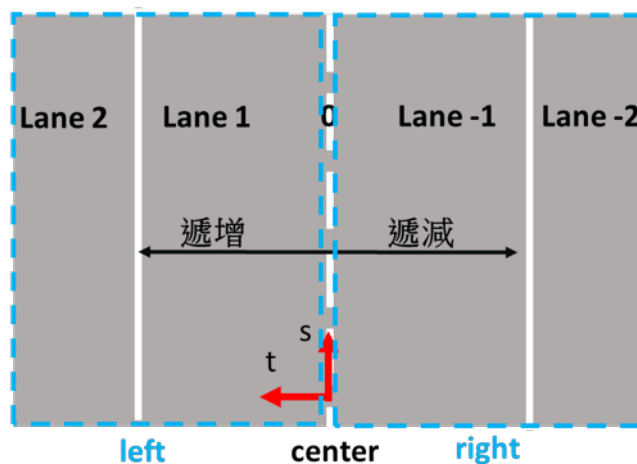


圖 2.22 laneSection 示意圖

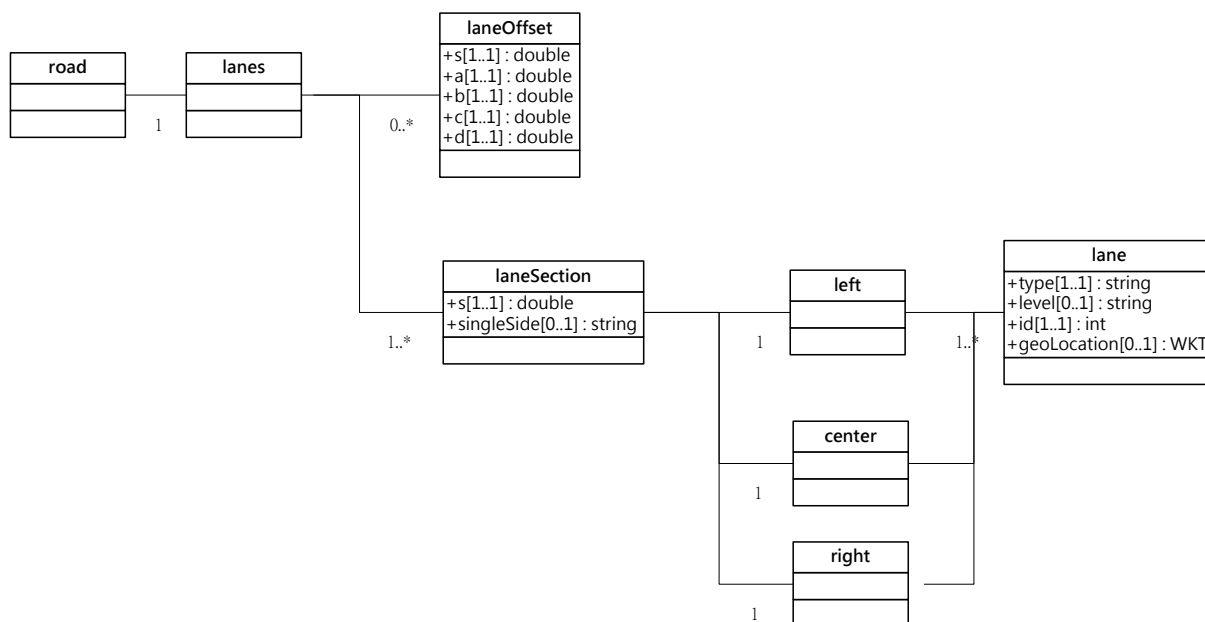


圖 2.23 laneSection 類別

一個道路路段可包含多個車道，lane 類別及相關類別用以記錄一個車道的各種資訊，如圖 2.24。center 內之 lane 類別，OpenDRIVE 設定為道路參考線，不具有寬度，不能記錄 width 類別，僅能記錄 link 類別、roadmark 類別

及 border 類別。left 及 right 類別內之 lane 類別則能記錄 lane 類別內之各類別。

lane 類別屬性包括 type、level、id 及 geoLocation，type 記錄車道類型，此屬性 OpenDRIVE 以 Lane Type 代碼表示，本標準依交通部公路法之規定擴充設計 OpenDRIVE 不足之部分。level 記錄車道是否水平 (true 代表水平，使得 elevationProfile、lateralProfile 失效；false 代表 elevationProfile、lateralProfile 為有效)，id 記錄車道編碼。geoLocation 為本標準擴充之屬性，以 WKT 資料型別記錄車道外側邊界在慣性坐標系統內之三維線坐標。

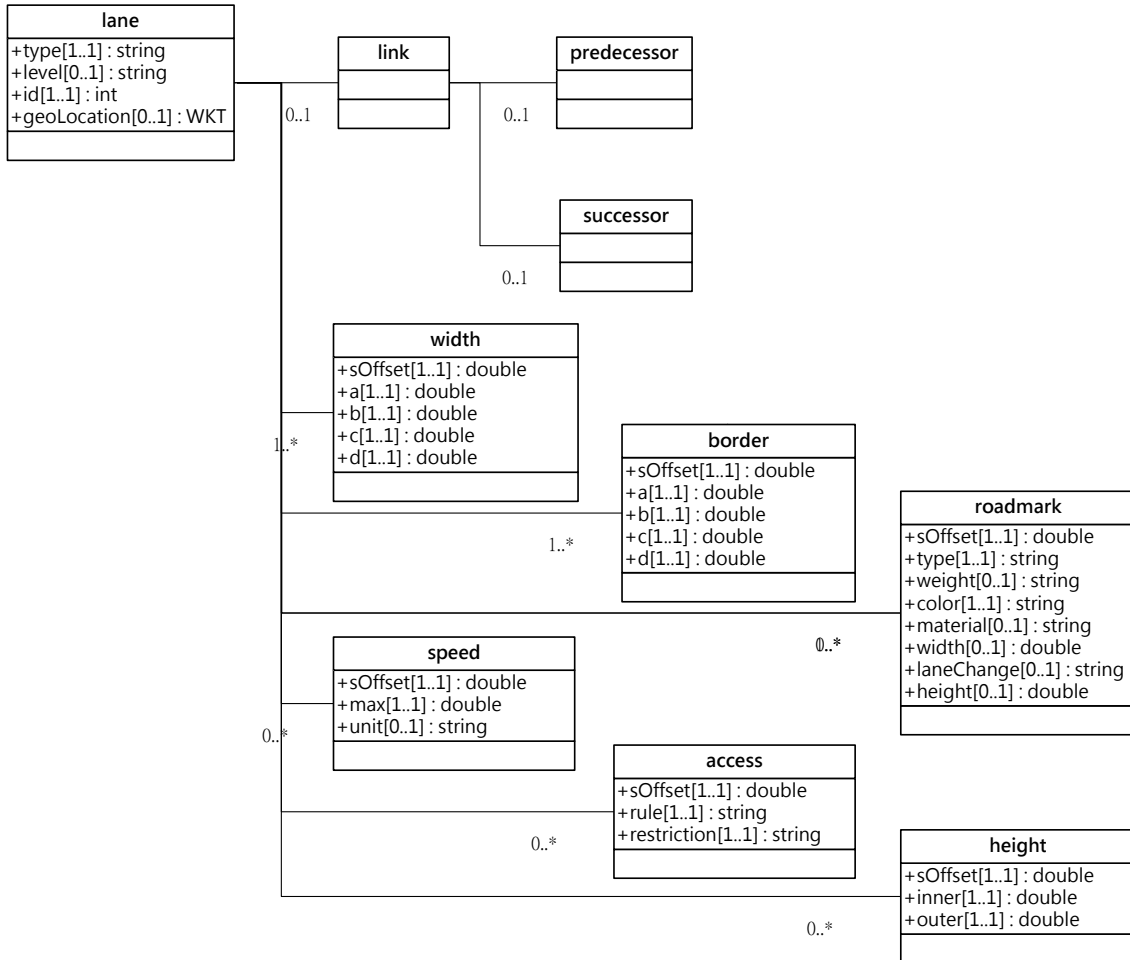


圖 2.24 lane 類別

objects 類別可用以記錄各種物體，包括路面上及路旁之物體，包括 object 類別、tunnel 類別或 bridge 類別，object 類別的相關類別請參見圖 2.25。object 類別之屬性 type 記錄物體類型，此屬性以 Road Mark Type 代碼表示，本標準擴充設計 OpenDRIVE 不足之部分。subtype 記錄物體子類型，dynamic 記錄是否是動態 (填寫 yes 或 no)，name 記錄物體名稱，id 記錄物體的識別碼，s 為物體之 s 坐標、t 為物體之 t 坐標，zOffset 為物體位於軌跡坐標系統上的 z 軸位移量，validLength 記錄物體投影至 s 軸上的有效長度，orientation 用以記錄物體在方向上的有效性，填寫「+」代表與 s 同方向有效，「-」代表與 s 反方向有效，none 則為皆有效。hdg 記錄 heading 角，pitch 記錄 pitch 角，

roll 記錄 roll 角，此三個角度皆為經度。height 記錄物體高度，length、width 則用以描述物體在 s、t 平面的長度、寬度。radius 則記錄物體在 s、t 平面的半徑。

接著 5 個屬性為本標準所擴充之屬性，皆為選擇屬性。poleType 記錄桿狀物體之代碼，pointGeoLocation 以 WKT 型別記錄物體底部中心在慣性坐標系統之三維點坐標，zTop 以 WKT 型別記錄物體最高點在慣性坐標系統之橢球高，extentGeoLocation 以 WKT 型別記錄物體底部範圍在慣性坐標系統之三維角點序列，lampGeoLocation 以 WKT 型別記錄路燈之燈具中心點的慣性坐標系統三維點坐標。

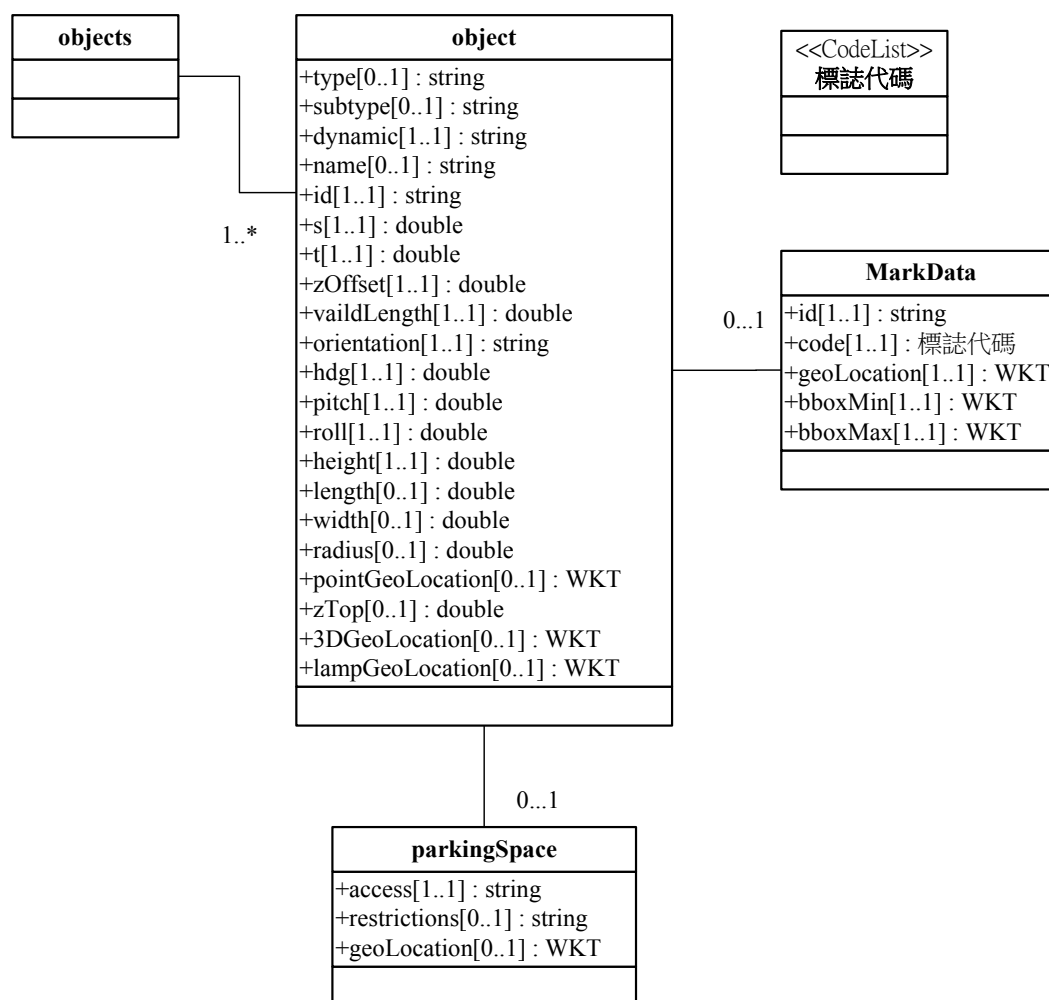


圖 2.25 object 類別

標誌分為牌面及標誌桿兩部分，標誌桿可以 object 類別記錄，牌面則以本標準擴充之 MarkData 類別記錄，其屬性 id 為識別碼，code 為標誌代碼，此屬性以本標準設計之唯一代碼「標誌代碼」表示。

tunnel 類別用以記錄隧道，objects 類別內可以記錄多個 tunnel 類別，如圖 2.26。tunnel 類別僅記錄代表位置，屬性 s 記錄 tunnel 之起點 s 坐標，length 則是 s 軸之距離，name 為隧道名稱，id 為隧道之識別碼，type 為隧道類型，此屬性 OpenDRIVE 以 Tunnel Type 代碼表示。lighting 記錄隧道人工照明程

度，daylight 則為自然照明程度。geoLocation 記錄隧道三維空間範圍之慣性坐標系統之坐標。OpenDRIVE 之 validty 類別則記錄隧道的有效車道範圍，fromLane 記錄車道起始編號，toLane 記錄車道結束編號。

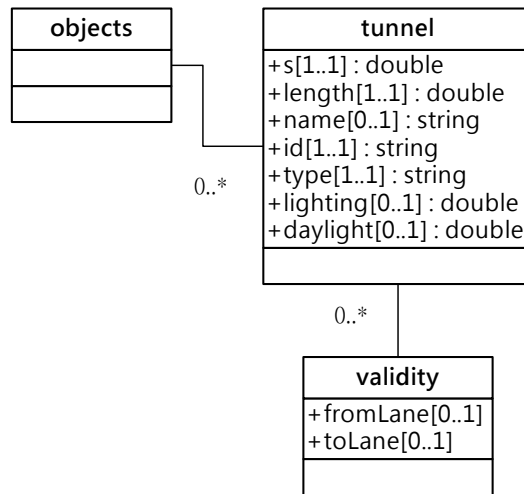


圖 2.26 tunnel 類別

bridge 類別記錄橋梁，如圖 2.27，bridge 類別僅記錄代表位置，其屬性 s 記錄橋梁之起點 s 坐標，length 則是橋梁在 s 軸之距離，name 為橋梁名稱，id 為橋梁之識別碼，type 為橋梁類型，以 Bridge Type 代碼表示。geoLocatin 記錄橋梁三維空間範圍之慣性坐標系統之坐標。OpenDRIVE 之 validty 類別為則記錄橋梁的有效車道範圍，fromLane 記錄車道起始編號，toLane 記錄車道結束編號。

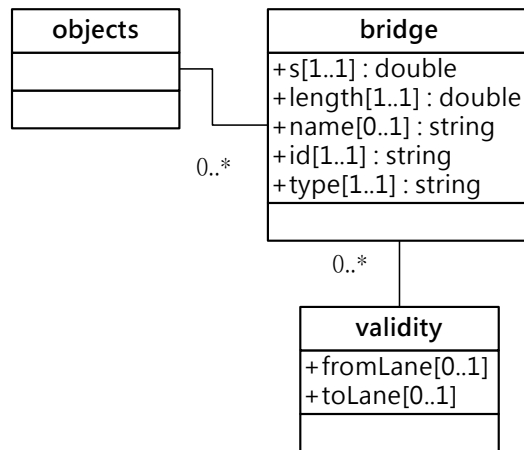


圖 2.27 bridge 類別

號誌由 signal 類別記錄，如圖 2.28，屬性 s 記錄號誌燈頭中心點之 s 坐標，屬性 t 記錄號誌燈頭中心點之 t 坐標，id 為號誌識別碼。name 為號誌名稱，dynamic 填寫號誌是否為動態資訊，orientation 填寫號誌燈頭之方向，zOffset 為號誌位於軌跡坐標系統上的 z 軸位移量，country 為國家代碼，countryRevision 為版本，type 及 subtype 為 OpenDRIVE 設計之號誌類型。value 及 unit 描述號誌之值，height 記錄號誌燈頭高度，width 則用以描述號

誌在 s、t 平面的寬度，text 為文字敘述，hOffset 記錄 heading 角度的徑度（以 orientation 屬性為基準），pitch 記錄 pitch 角，roll 記錄 roll 角，此三個角度皆為徑度。

為使自駕車依據號誌行駛或停止，須記錄號誌與停止線之關係，本標準將號誌燈頭之 signal 類別與停止線之 StopLine 類別建立關聯性關係。號誌燈頭可以關聯一到多個燈號，號誌燈頭可關聯到多個停止線，停止線可以關聯到多個號誌燈頭。停止線以本標準擴充之 StopLine 類別記錄，其屬性 id 為識別碼，code 為標線代碼，此屬性以本標準設計之代碼「標線代碼」表示。signalId 則記錄與停止線關聯的號誌識別碼，width 記錄停止線之寬度，單位為公尺，geoLocation 以 OGC WKT 格式記錄停止線的中心線三維坐標。

燈頭之個別燈號以本標準擴充之 SignalData 類別記錄，其屬性 id 為燈號識別碼，code 為號誌燈號代碼，此屬性以本標準設計之代碼表示「號誌燈號代碼」。Angle 記錄燈號鏡面法向量與北方之夾角，geoLocation 為燈號中心點三維坐標，radius 則為燈號之半徑，單位為公尺。bboxMin 記錄燈號包圍矩形左下點位之坐標，bboxMax 記錄燈號包圍矩形右上點位之坐標。

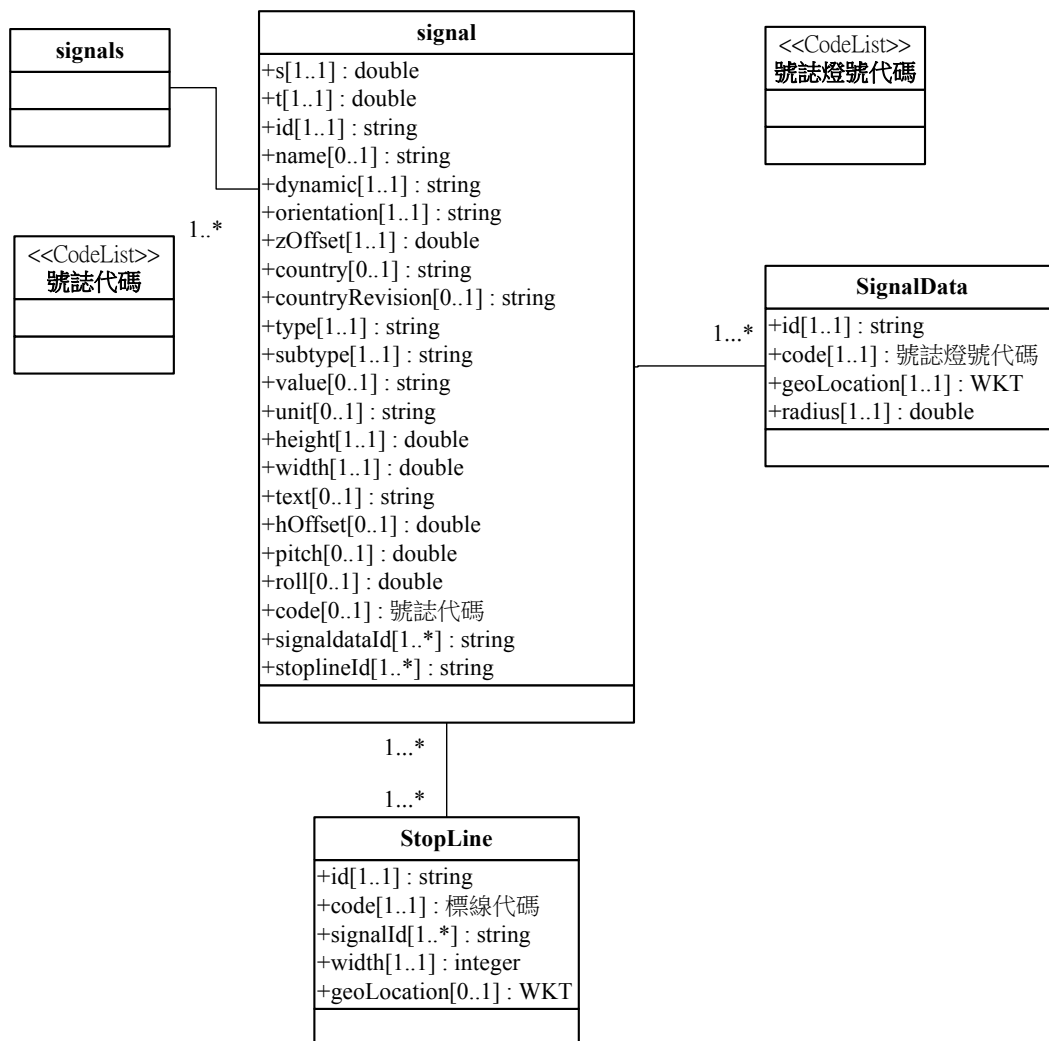


圖 2.28 signal 類別

OpenDRIVE 以 junction 類別建立交叉路口內各車道的連結關係，以建構出完整的路網，並在 junction 類別裡以 controller 類別提供相關之號誌控制資訊，整合各交叉路口之車道連結及號誌控制，提供自駕車完整之資訊。controller 相關類別及 junction 相關類如圖 2.29。

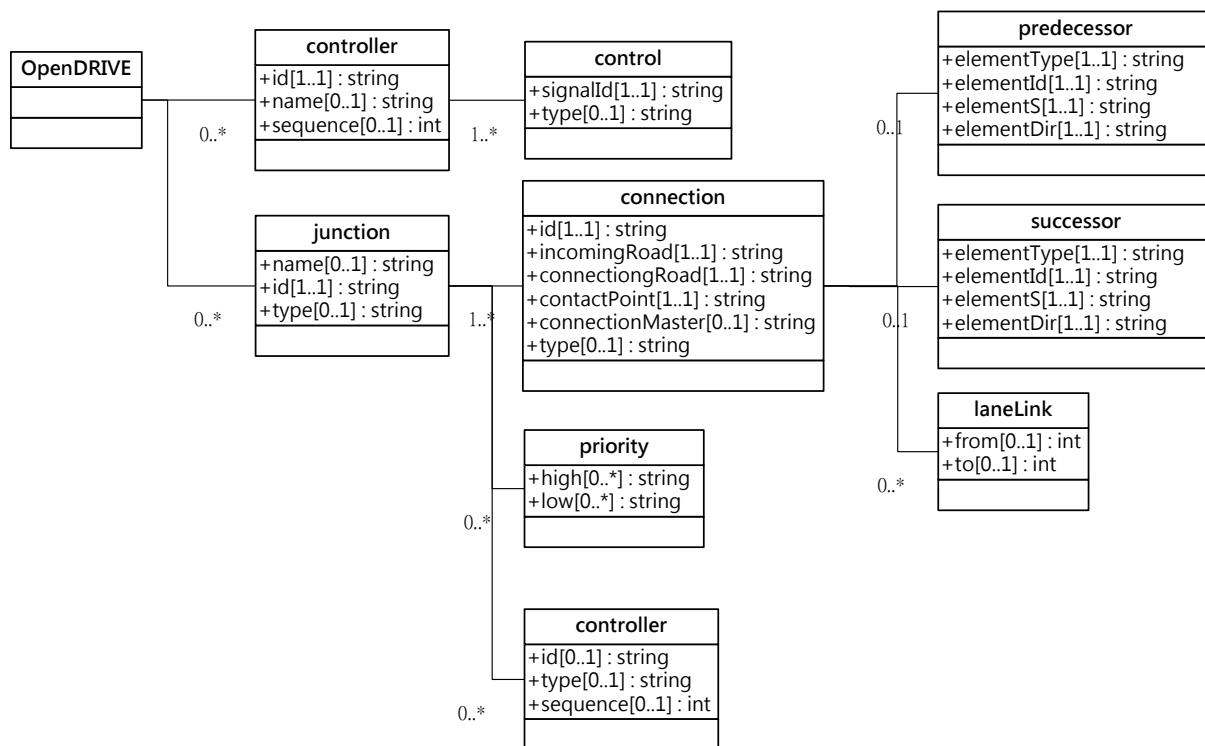


圖 2.29 junction 類別及 controller 類別

junction 記錄路口內各 road 的 lane 連接關係，道路路段與道路路段之間的連接關係以一個 connection 表示，如圖 2.30，而整理各 road 類別之 lane 的連接關係，如表 2.4 所示。

表 2.4 junction 內 connection 之範例

connection id	incomingRoad	incomingRoad lane	connectionRoad	connectionRoad lane
0	Road 10	-1	Road 20	-1
		-2		-2
1	Road 10	-2	Road 30	-1
2	Road 10	-1	Road 40	-1
3	Road 40	-1	Road 60	-1
4	Road 20	-1	Road 50	-1
		-2		-2
5	Road 30	-1	Road 70	1

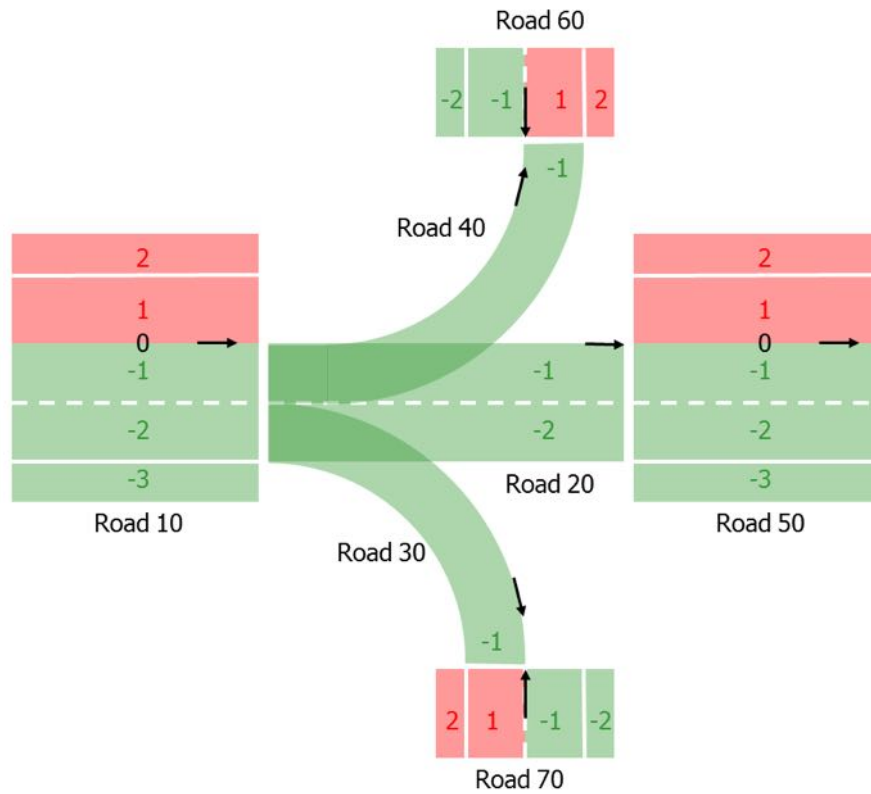


圖 2.30 junction 示意圖

一個 junction 內之 controller 則成對出現，如圖 2.31 所示，Controller A 控制 Signal 1、Signal 3，Controller B 控制 Signal 2、Signal 4。

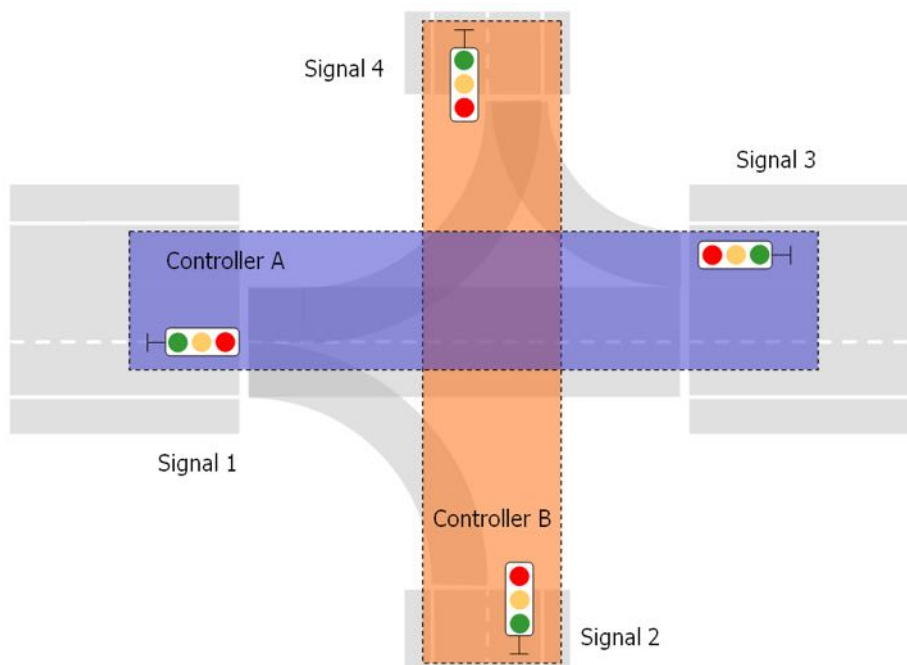


圖 2.31 controller 示意圖

userdata 為 OpenDRIVE 設計之類別，如圖 2.32，可提供記錄 OpenDRIVE 未包括但使用者所需之描述對象。本標準擴充設計各類別以記錄自駕車所需要而 OpenDRIVE 未包括之描述對象，為符合 OpenDRIVE 規定，本標準擴

充之類別記錄於 road 類別內之 userdata 類別。每一個 road 以一筆 userdata 類別記錄擴充類別資料，屬性 code 為描述對象，統一填寫「hdmap」，屬性 value 為內容，統一填寫「xml」，any 類別以本標準擴充設計類別 XML 綱要之「HDMMap」替代。

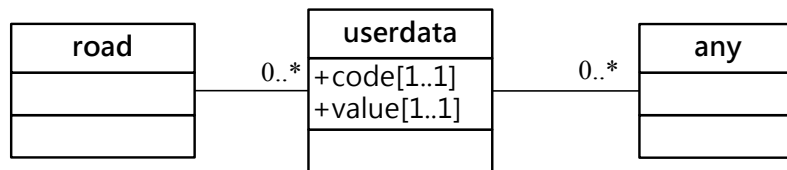


圖 2.32 userdata 類別

標線用線條劃設，依標線之功能性意義所對應之幾何位置，可區分為線及空間範圍，例如前述之停止線，劃設出三維線，而指向線則劃設出一個指示車輛行駛方向之三維角點序列等情形。為區分標線之意義，本標準將標線對應之幾何位置區分為三維線及三維角點序列，並依此原則設計擴充類別，用以記錄交通部所定義之各種標線。由於交通部「道路交通標誌標線號誌設置規則」未給予各標線唯一代碼，本標準另定義各標線之唯一代碼「標線代碼」，記錄於設計類別內，供自駕車解讀。

依「道路交通標誌標線號誌設置規則」所定義之各種標線，本標準設計 3 個對應類別，包括 MarkLine 類別、MarkArea 及 MarkGraph 類別，如圖 2.33。

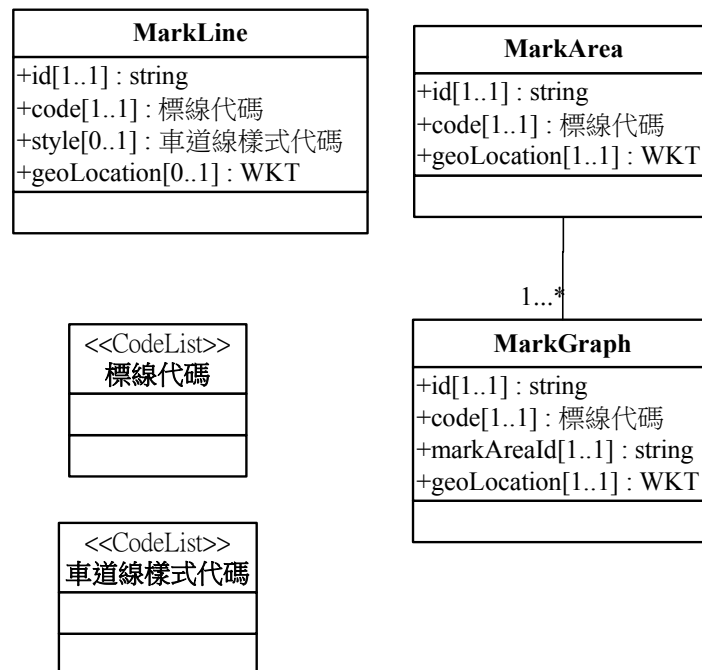


圖 2.33 MarkLine 及相關類別

本標準擴充 LaneCenterLine 類別，用以記錄道路中心線，另擴充 Waypoint 類別記錄道路中心線節點，兩類別建立關聯性關係，道路中心線具有方向性，記錄起點及結束之道路中心線節點，如圖 2.34。

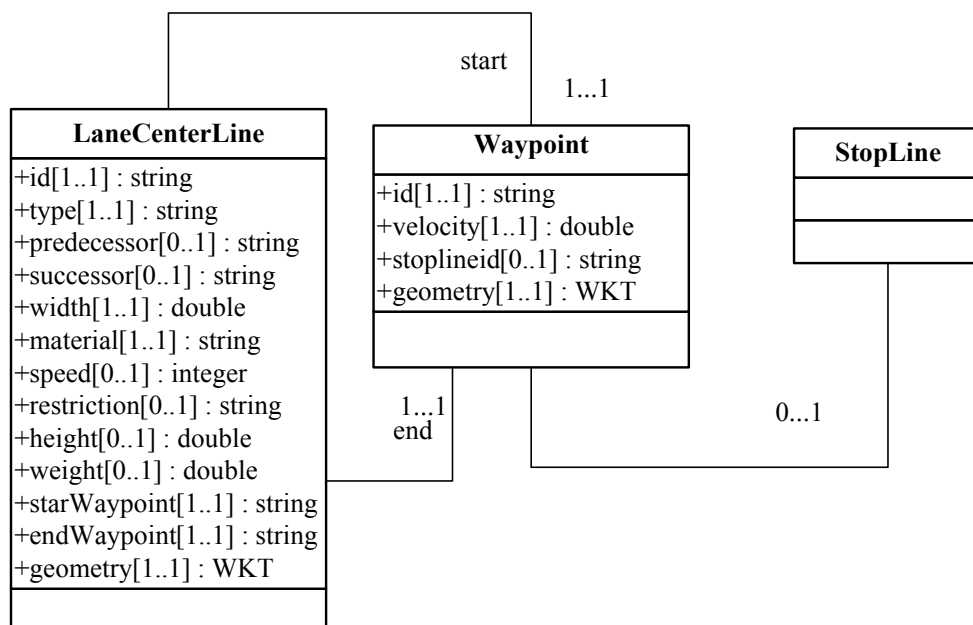


圖 2.34 LaneCenterLine 相關類別

UML 全部設計完成後，本標準遵循「OpenDRIVE version 1.5」之資料格式編碼規定，以 XML 作為資料格式，並以 OpenDRIVE 1.5 之 XML Schema 為本標準之 XML Schema。

高精地圖圖資內容標準擴充之類別，記錄於 road 類別之 userdata 內，取代 any 類別。本章節規定各擴充類別之 XML 資料型別，供資料記錄使用，如圖 2.35 所示。所有擴充類別皆設計同名稱之 XML 資料型別及 XML 元素，且設計一 root 元素 HDMap 作為主架構，其內每一個元素是選擇性記錄，可填寫多次，但須依 XML 綱要之順序排列。



圖 2.35 擴充類別 XML 綱要

透過本案建立高精地圖圖資內容標準，依據嚴謹的流程研擬資料標準文件與圖資內容，制定過程中參考、遵循國際相關之規範，並依據國內法規進行適地化調整。目前草案完成，並已提案至 TAICS，進行後續之審查工作，將於 108 年 12 月 23 日舉辦專家會議，本團隊將掌握 TAICS 之審查及修訂工作，預期於明年度完成審查程序。

2.4 本章小結

對於「**建立自駕車用地圖作業流程指引**」之工作項目，根據引用標準 ISO 18750 之 Local Dynamic Map 圖層架構，同時考量高精地圖的絕對位置精度須優於平面 20 公分、三維 30 公分，針對專業化車載行動測繪系統搭載光達之圖資蒐集作業平台，基於非封閉場域之條件建立「高精地圖製圖作業指引」，提供原則性參考實施措施，以利高精地圖用於輔助精準導航與精確車道級路網資訊。

對於「**建立自駕車用地圖驗證精度流程指引**」之工作項目，彙整圖資檢核流程建立「高精地圖驗證指引」，明確列出檢查項目供受檢單位參考，其內容包含作業規劃、控制測量成果、作業成果之檢核內容，以及各項細部檢核方法與建議之通過標準。

對於「**建立自駕車用地圖標準**」之工作項目，基於高精地圖之可用性、資料互操作性以及圖資流通性，高精地圖標準在上游之測繪、到中游之管理及分享，最後到下游之自駕車應用等不同階段均扮演關鍵的角色，故本團隊參考國際標準、產業相關標準以及政府相關法律或規範，針對特性分析、應用綱要、資料典、資料格式編碼進行「高精地圖圖資內容標準」的訂定。

第三章、自駕車用地圖應用評估

3.1 評估自駕車用地圖標準成為產業標準相關工作

如前言所述，TAICS 為一個建立資通標準技術合作與開發平台，針對未來資通技術的發展，選定臺灣適合領域，制定產業標準並推動至國際，提升國內產業競爭力。為使得高精地圖標準通過產業之驗證，本團隊評估提送高精地圖標準與相關指引至 TAICS 進行審查，期望作為自駕車產業之參考依據與準則。

TAICS 於技術管理委員會下設有八個技術工作委員會(TC)，本案隸屬於 TC8—車聯網與自動駕駛技術工作委員會，透過 TAICS 審查程序 (圖 3.1)，依序由 MS1 進行提案申請，MS2 技術工作委員會審核，MS3 技術管理委員會審核，MS4 舉行專家會議及產業座談會，即完成草案，MS5 草案技術工作委員會審核，MS6 草案技術管理委員會審核，MS7 召開諮議委員會(SCC)，MS8 草案經 SCC 諮議及 TC 諮議意見修改完成，MS9 草案 SCC 諮議意見及 TMC 審核通過，MS10 草案理事會審核通過，MS11 出版作業，MS12 出版完成。整套標準制訂流程約需 1 年至 2 年，時間視提案內容完整度而定。

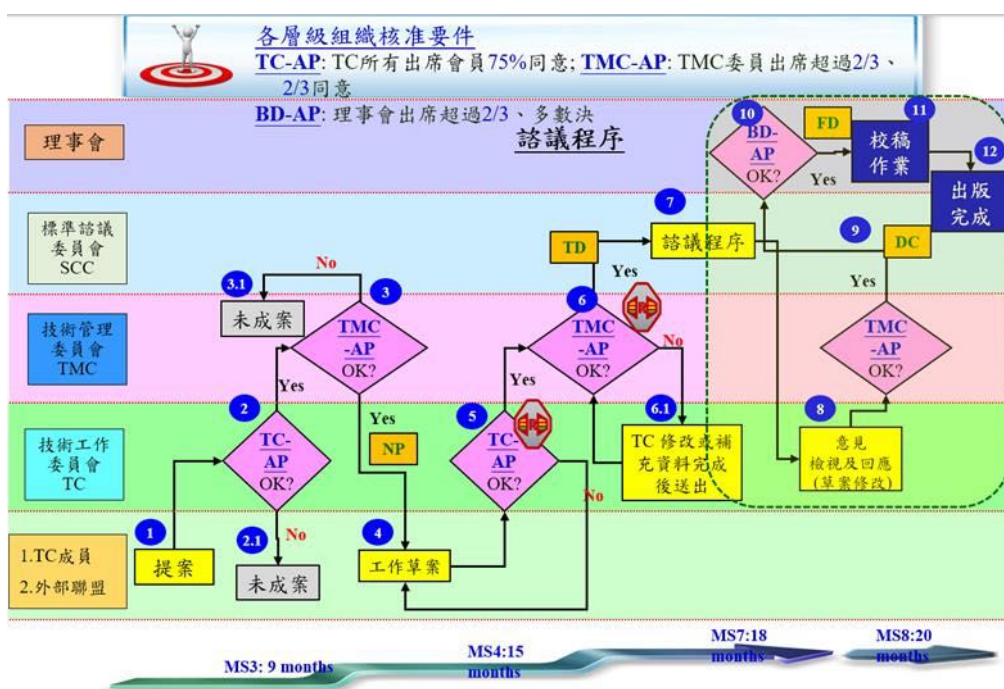


圖 3.1 臺灣資通產業標準協會(TAICS)審查程序

本團隊於 107 年度執行經濟部工業局專案計畫—「高精地圖圖資標準及規範」，於該計畫中研提自駕車用之「高精地圖(HD Maps)圖資內容標準」及「高精地圖製圖作業指引」之草案，並在該計畫執行期間將兩草案提案至 TAICS 進行審查，並依 TAICS 審查程序所需，於 107 年 10 月 22 日召開產業專家會議，徵求產業界專家之意見，目前「高精地圖製圖作業指引」已於

107年12月26日公布，而「高精地圖(HD Maps)圖資內容標準」於TAICS已進入到MS4階段，今年度除了繼續進行圖資內容標準之審查程序、製圖作業指引之實務更新外，也提送「高精地圖驗證指引」至TAICS，作為後續在推動與發展的產業標準，而未來也將基於內政部的執行成果持續滾動修正。本案針對高精地圖標準與相關指引提送TAICS作為產業參考之相關工作與時程進度如表3.1所示。

表 3.1 高精地圖標準與相關指引提送至 TAICS 之審查時程

文件	時 間	摘要說明
製圖作業 指引 (更新)	108.07.25	產業專家會議(WG#2)
	108.07.26	技術專家策略會議(TMC#9)
	108.08.23	技術工作委員會會議(TC8#16)
	108.09.27	技術專家策略會議(TMC#9.1)
	108.10.17	經 TAICS 發布並公告
驗證指引	108.08.23	技術工作委員會會議(TC8#16)
	108.09.27	技術專家策略會議(TMC#9.1)
	108.11.22	技術工作委員會會議(TC8#17)
	108.12.23	產業專家會議(WG#2)
	109.02.13	產業專家會議(WG#3)
圖資內容 標準	108.08.23	技術工作委員會會議(TC8#16)
	108.11.22	技術工作委員會會議(TC8#17)
	108.12.23	產業專家會議(WG#2)
	109.02.13	產業專家會議(WG#3)

「高精地圖製圖作業指引」的更新已於108年10月17日完成審查並經TAICS發布與公告，而「高精地圖(HD Maps)圖資內容標準」和「高精地圖驗證指引」將基於本案的研擬成果持續評估與修正，期望在產業專家會議中藉由蒐集業界先進建議及經驗，使得高精地圖標準與相關指引能夠更加收斂，並且更貼切產業界及大眾所需。

將高精地圖標準與相關指引成為產業標準，透過明確之驗證流程的建立，確保自動駕駛產業能有穩固健全之高精地圖相關圖資使用，同時降低測繪產業於高精地圖產業之製圖與發展成本，將能帶動高精地圖市場成長以及自駕車發展加速普及，同時也能促使臺灣籌組國家級產業聯盟，由民間業者測製圖資、由政府管理圖資，確保高精地圖和自駕車的產業鏈。

3.2 即時動態地圖(Dynamic Map)標準及作業流程指引先期評估作業

近年來自動駕駛技術發展已加速進行，SAE 自動化駕駛 Level 4 以上的自動駕駛預估最早將於2020年左右上路，而面臨的最大挑戰是保證自動駕駛車輛的安全。為了實現高水平的安全性，不僅需要先進的車載感測器和人

工智慧(Artificial Intelligence, AI)判釋與決策技術，還需要準確的車輛定位及將靜態高精地圖與即時交通數據相結合的動態資訊，暨將靜態地圖與動態資訊重疊後發展的即時動態地圖(Dynamic Map)，以提供自駕車對環境的理解、行動規劃預測及行為控制。

智慧型運輸系統(Intelligent Transportation System, ITS)係利用先進之電子、通信、電腦、控制及感測等技術於各種運輸系統(尤指陸上運輸)，透過即時資訊傳輸，以增進安全、效率與服務，改善交通問題，智慧型運輸系統概述如圖 3.2 所示。

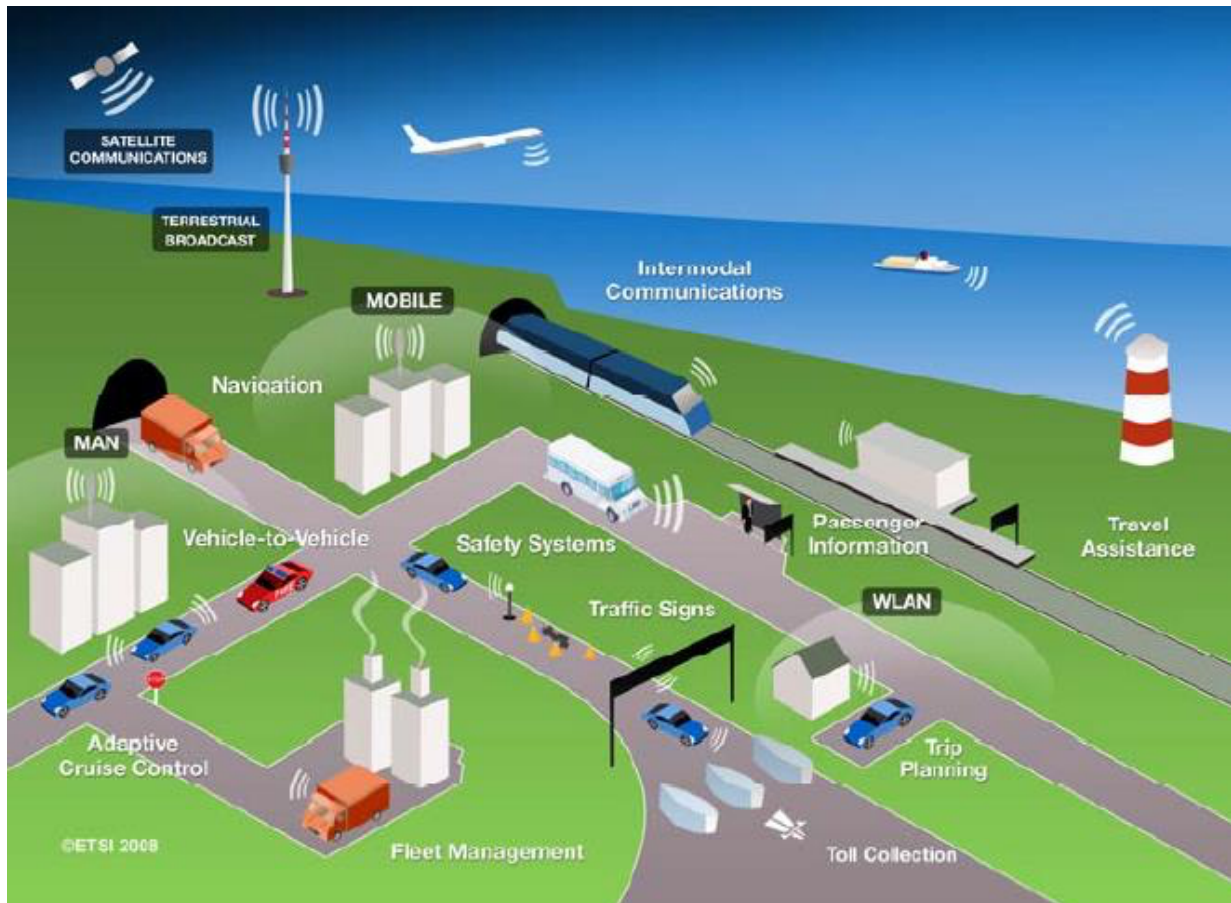


圖 3.2 智慧型運輸系統(ITS)概述 (摘錄自 ETSI Technical Report, 2011)

車聯網(Vehicle to Everything, V2X)是指車對外界的信息交換，是一系列車載通訊技術的總稱，在美國又稱為 Connected Vehicle。V2X 包含車輛到車輛(Vehicle to Vehicle, V2V)、汽車對路側設備(Vehicle to Roadside, V2R)、車輛到基礎設施(Vehicle to Infrastructure, V2I)、汽車對行人(Vehicle to Pedestrian, V2P)、汽車對機車(Vehicle to Motorcycle, V2M)及汽車對公車(Vehicle to Transit, V2T)等六大類如圖 3.3 所示。

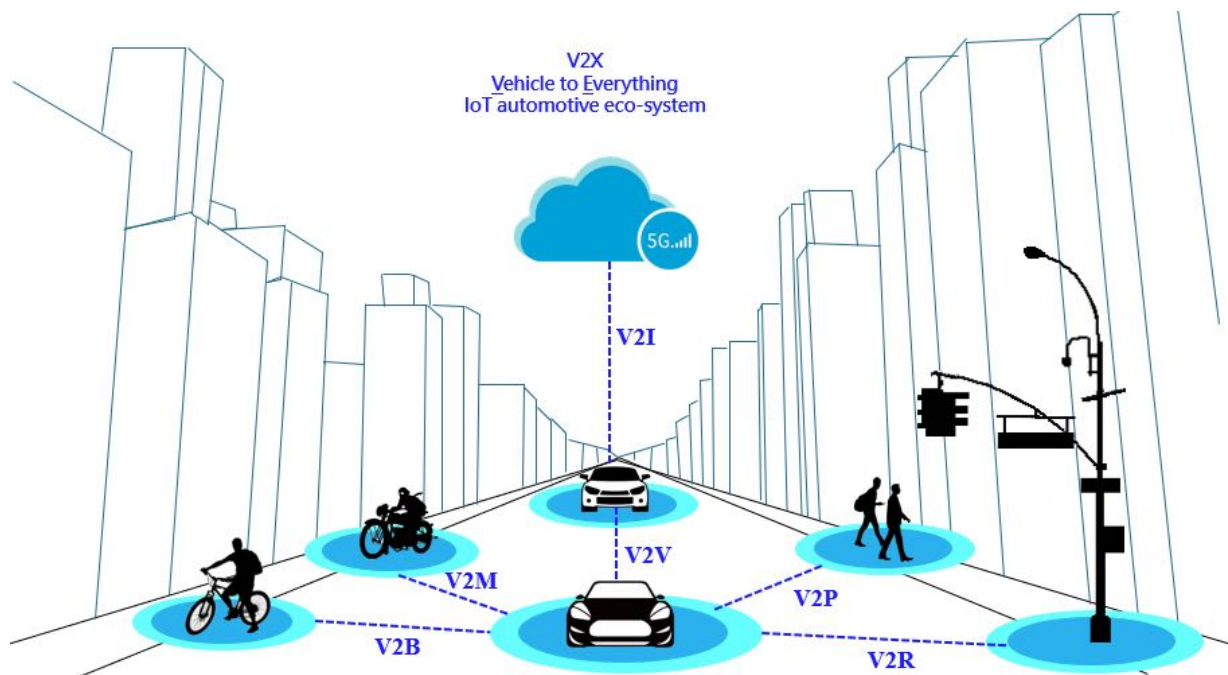


圖 3.3 車聯網系統架構

歐洲的 V2X 工作被稱為協同式智慧型運輸系統(Cooperative Intelligent Transportation System, C-ITS)，其將允許道路消費者和交通管理人員分享資訊，協助減少道路死亡，通過連通 V2X 數位通訊來實現，是 C-ITS 與傳統 ITS 區別的最重要特徵。

3.2.1 即時動態地圖(Dynamic Map)標準

V2X 是未來智能交通運輸系統的關鍵技術，它可以通過通信傳感器交換時間數據（例如交通信號燈信號變換）和交通參與者的地理空間數據（例如 GNSS 位置資訊）能夠提供即時的資訊來增進運輸系統的安全，效率及舒適性，並減少交通對環境的衝擊，將靜態、臨時和動態交通資訊在地理空間環境中整合，引入帶有時間戳記(Time-Stamped)和地理參考(Geo-Referenced)資料的區域動態地圖(Local Dynamic Map, LDM)概念作為一個整合平台，是更好理解和處理交通場景的關鍵特徵。LDM 是一個將即時自動駕駛車輛與交通資訊整合到高精地圖中實現動態地圖數據共享的資料庫，其中"Local"的含義取決於自駕車周圍距離感興趣的區域很近，因此需要地理參考資訊；"Dynamic"的含義取決於動態交通狀況響應時間在很短條件下避免碰撞的最高指導要求，因此需要時間戳記；"Map"的含義取決於與地圖相關聯。LDM 是協同式智慧型運輸系統中數據整合的關鍵技術，其初始標準化為歐洲電信標準協會(European Telecommunications Standards Institute, ETSI)和 ISO 所研議的技術建議。在 ISO/TR 17424 標準中，LDM 是適用於所有自動駕駛車輛的先進道路交通資訊資料庫，扮演自動駕駛系統無形助力，由以下四層 LDM Data Objects (LDM-DO)組成，如圖 3.4 所示。

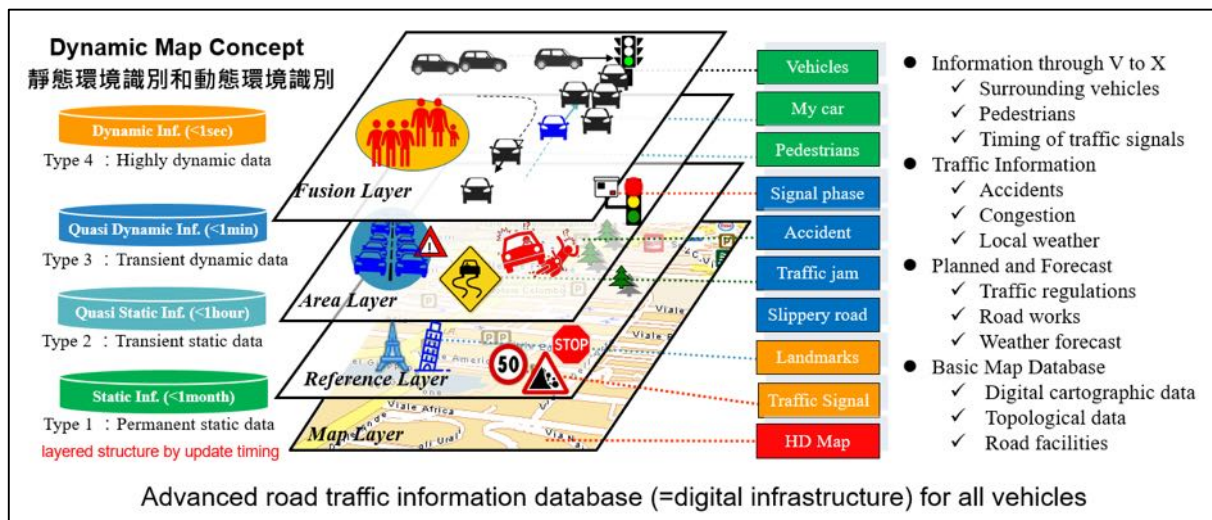


圖 3.4 LDM Data Objects (LDM-DO)組成 (摘錄自 Kuzumaki, 2017)

- 靜態資訊(Static Information/Permanent Static Data)：初始層來自於地理資訊系統(GIS)地圖提供者，包括道路、車道、交叉路口、道路標誌、交通號誌、道路設施、興趣點(Point Of Interest, POI)、位相數據和建築物位置資訊的地圖，其透過使用專業化車載移動測繪系統來創建。更新資訊頻率為每月至少一次（更新資訊頻率<1 個月）。這層即是今年度建立高精地圖標準所涵蓋之範圍。
- 半靜態資訊(Semi-static Information/Transient Static Data)：主要包含路側的基礎設施的資訊。包括道路交通管制部門提供的交通法規、交通管制時間表、進一步的道路工程交通屬性和廣域天氣預報。資訊從自動駕駛車輛外部獲得。更新資訊頻率為至少每小時一次（更新資訊頻率<1 小時）。
- 半動態資訊(Semi-dynamic Information/Transient Dynamic Data)：主要包括臨時區域交通資訊、交通管制資訊、事故資訊、擁堵資訊、道路或交通號誌紅綠燈的相位狀況和當地天氣等。資訊從自動駕駛車輛外部獲得。更新資訊頻率為至少每分鐘一次（更新資訊頻率<1 分鐘）。
- 動態資訊(Dynamic Information/Highly Dynamic Data)：包含動態通信節點 V2X 信息檢測到的資訊、周邊車輛、行人等交通參與者和交通信號的時間安排等即時狀態資訊。更新資訊頻率是即時（更新資訊頻率<1 秒鐘），動態資訊是由以下兩種不同類型的資訊組成。

- (1) 環境資訊：車輛通過車載傳感器直接收集。
- (2) 前方道路資訊：來自智慧型運輸系統(Intelligent Transportation System, ITS)，通過車輛到車輛通信，車輛到基礎設施通信和 5G 獲得的。

目前駕駛者行駛車輛的過程中，大多是依賴地圖或者是導航設備來決定行進方位。除此之外，幾乎都是靠自己的視覺與聽覺來掌握與判斷行車過程中的各種情況，例如紅綠燈的顏色信號、道路施工警示，以及行人或其他的周遭車輛的移動等，時時刻刻都必須專注在各種動態變化，來確保行車的安全性。而相同的情境，自動駕駛的一個主要關鍵是關於車輛周圍環境的可靠判釋知識。在城市交叉路口等複雜情況下，車載傳感器通常無法檢測和分類環境的所有特徵。因此，以靜態資訊(Static Information)為導向的高精地圖被廣泛用於向車輛提供先驗附加資訊，更先進一點的，還能從雲端系統中獲得當時的交通流量與被規範的各種交通法規管制的半靜態資訊(Semi-static Information)，但是，這和實際的道路上各種變化還是有相當程度的不同，包括臨時區域新道路的開通、道路施工、事故、擁堵等半動態資訊(Semi-dynamic Information)，及各式各樣的 V2X 檢測到的資訊、周邊車輛、行人狀況持續性的出現與發生，時時刻刻都出現變化的動態資訊(Dynamic Information)，將靜態地圖與動態資訊重疊後的即時地圖發展成動態地圖(Dynamic Map)就必須依賴具有即時更新能力的 LDM 數據共享資料庫來彌補。

LDM 是在地理環境中利用半動態、半靜態、靜態和動態臨時資訊來提高協同式智慧型運輸系統 C-ITS 可用性的基本技術。自動駕駛車輛將在未來的某個時間主導我們的道路。這時，除了透過車上的各種感測器或雷達來獲取各項必須的情報外，還需要 3D 立體地圖的能力與具備高精度完整性的定位資料，更需要將這些情報配合交通法規、道路施工資訊、交通事故通報等變化加以整合進 LDM 數據共享資料庫，才能夠大幅度提升全自動駕駛車輛的行車認知度。而這樣的完整性的資料認知能力基礎必須仰賴汽車製造商、車載資訊業、地圖製造商、測繪業者來共同合作，完成此一動態複雜高效的 LDM 數據共享資料庫系統。

在 ISO/TR 17424 標準中，LDM 一種新的空間資料庫概念，反映靜止物體(道路側單元)或移動物體(車輛和其他道路使用者)的感知附近的所有相關靜態，臨時和動態信息，被視為協同式智慧型運輸系統 C-ITS 核心要素。LDM 是位於 ITS Station(ITS-S)站台內的數據共享資料庫系統，包含與 C-ITS 應用安全和相關的操作信息。可以從一系列不同的來源接收數據，如車輛，基礎設施單元，交通中心和車載傳感器透過彼此界面實現對 LDM 中數據的讀寫存取與保存 LDM 提供了安全授權認證和安全數據存取的機制，如圖 3.5 所示。

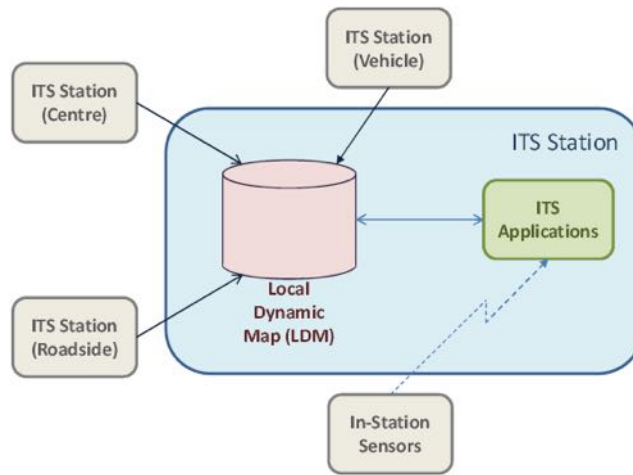


圖 3.5 LDM 與 ITS 站的資訊關係 (摘錄自 ISO 17424, 2015)

以大範圍智慧運輸領域之 ISO TC204 相關標準，的確是因應各國不同產業特性與需求，實際上全盤導入或採用比例不高，但就個別獨特實作商品化產品面而言，仍必須遵守各國法規與 ISO 標準。建議在 ISO/TR 17424 標準之歐規 ITS Station 與標準 LDM 參考主架構上仍然應參照並實作相關模組，以確保產品、製程以及服務等均能符合不同不同國家的使用目的。

而在 ISO 18750 標準中，LDM 的內部架構如圖 3.6 所示，LDM 的組成為 LDM 管理、介面、服務、維護和資料存儲。

- LDM 管理是在 ITS-S 管理層註冊 LDM。
- 管理和安全介面功能是指註冊、註銷和撤銷 ITS-S 申請；在註冊時驗證 ITS-S 申請所要求的存取權限。
- 針對 ITS-S 應用程序流程的數據界面功能是指新增、更新和刪除存取權限；查詢存取；訂閱存取；訂閱時的通知。
- 通知和訂閱功能是指處理各種應用程式的訂閱請求；對應用程式的訂閱請求提供一個過濾機制；發送通知或者訂閱的資訊給應用程式。對請求資訊進行解碼和過濾；確保請求滿足安全邊界；從 LDM 資料庫中提取資料。
- 服務功能是指管理註冊，註銷請求和撤銷 ITS-S 申請流程、存取請求中的安全檢查、管理 ITS-S 應用程序進程的存取請求（新增、更新、刪除、訂閱、查詢、通知）、將接收的資訊存儲在資料庫。
- LDM 維護和資料存儲功能是指管理資料庫存儲相關的資訊；支援對資料庫中的 LDM-DO 實體資料進行插入、更新、刪除；對 LDM 進行維護；處理應用程式的需求。

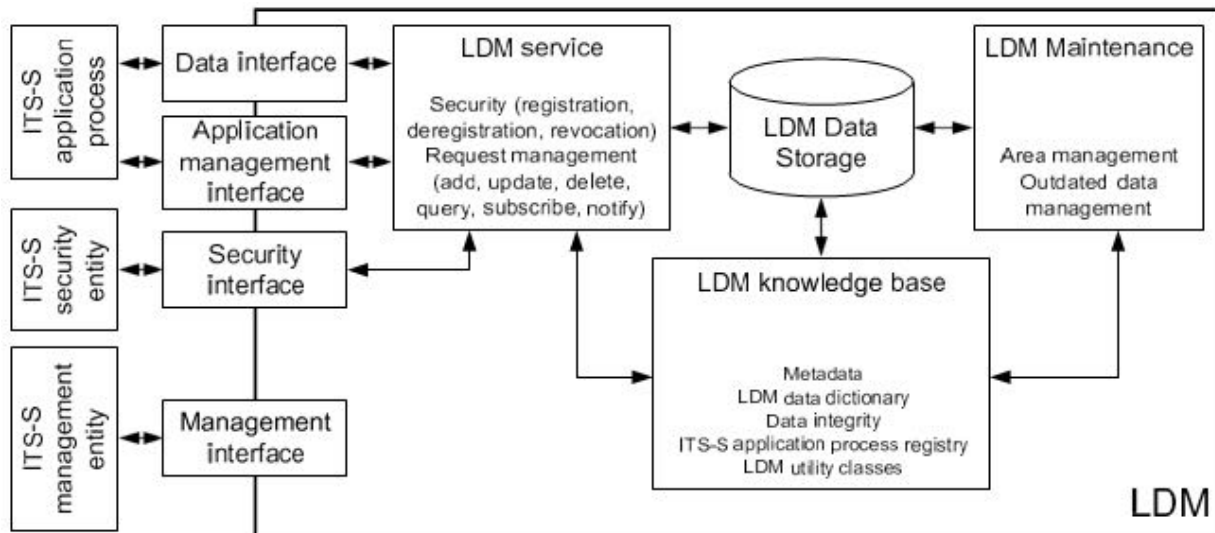


圖 3.6 LDM 架構 (摘錄自 ISO 18750, 2018)

3.2.2 即時動態地圖(Dynamic Map)作業流程指引

車聯網將會是 5G 大規模的單體應用場景之一，要實現車與一切事物之間的互聯互通，必定要探討通訊的介質以及通訊的標準。國際車聯網通訊標準體系制定可分為無線和應用兩大部分。目前，國際上主流的車聯網無線通訊技術趨勢有美國電子電機工程師協會(Institute of Electrical and Electronics Engineer, IEEE)的 IEEE 802.11p 和長期演進技術(Long Term Evolution, LTE)的 LTE V2X 兩條技術路線，而應用層標準則由各國根據區域性的應用定義進行制定。

歐、美兩大陣營各自提出自己的通訊標準，其中美國的專用短程通信技術(Dedicated Short Range Communications, DSRC)的標準由物理層標準 IEEE 802.11p，又稱為車用環境無線存取(Wireless Access in Vehicular Environment, WAVE)及網絡層標準 IEEE 1609 所構成，如圖 3.7 所示。歐洲則由 CEN/TC 278 與汽車通信聯盟(Car-to-Car Communication Consortium, C2C-CC) 來規範歐洲的 DSRC 標準。日本則由 ISO/TC 204 來規範。歐洲與日本的標準大部份皆是參考 IEEE 802.11p 再修改成適用於歐洲與日本的版本。

IEEE 802.11p 技術於 2010 年完成標準化工作，該技術支援車輛在 5.9GHz 專用頻段中進行；前述 IEEE 1609 標準則是以 IEEE 802.11p 通訊協定為基礎的高層標準。應用層部分標準由美國汽車工程師協會(SAE)完成，包括 SAE J2735 與 J2945 兩項標準，SAE J2735 標準目的在於規範專用短程通訊技術中所傳送的應用層訊息格式，而 SAE J2945 標準定義車輛到車輛安全通信的車載系統要求標準。

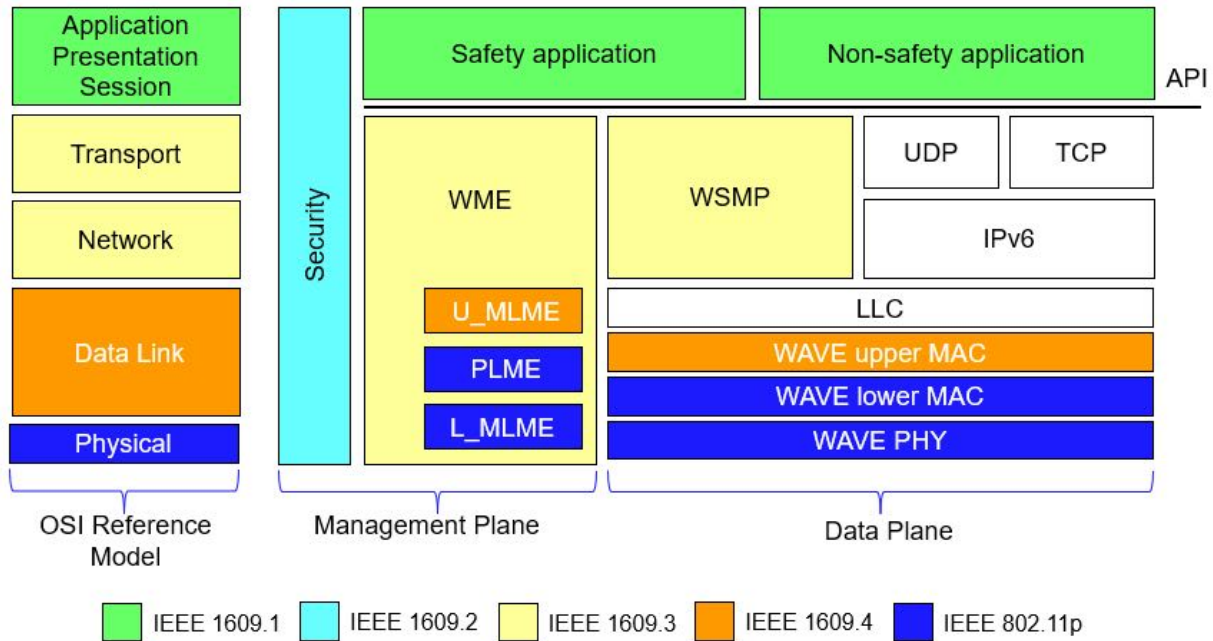


圖 3.7 IEEE 802 之組成

LTE V2X 是 3GPP(The 3rd Generation Partnership Project)主導推動的基於 LTE 4G/5G 蜂窩網通信技術演進形成的技術，3GPP 自 2015 年底將 LTE-V 技術納入 Release 14 標準制定，可實現長距離和更大範圍的通信，在技術先進性、性能及後續演進等方面，相對 IEEE 802.11p 具有優勢。LTE V2X 可以再細分為 LTE-V Cell（集中式）與 LTE-V-Direct（分布式）兩種不同通訊模式。前者需由基地台提供服務，要借助已有的蜂窩網路，支援大頻寬、大覆蓋通信，滿足 Telematics 應用需求。後者則類似 DSRC，可以獨立於蜂窩網路，實現車輛與周邊環境節點低時延、高可靠的直接通信，滿足行車安全需求。

在技術路徑選擇權衡如表 3.2 所示，由於 IEEE 802.11p 技術標準制定相對較早，產業鏈相對較成熟，因此車聯網起步較早的發達國家如美國、日本等早期均傾向部署 IEEE 802.11p 技術。LTE V2X 作為後起之秀，以技術先進、性能優越以及可長期演進等優勢獲得產業界支持。DSRC 分為美國、歐洲、日本三個陣營，體系相對分散。此外，3GPP 以 Release 14 開啟了基於 LTE 技術的 V2X 系統設計，隨著標準進入 5G 時代，基於 NR (New Radio)的 V2X 系統設計被納入日程，業界將 LTE V2X 和 NR-V2X 統稱為 Cellular V2X(C-V2X)。LTE V2X 可平滑演進至 5G，2018 年中 3GPP 首個 5G 完整 Release 15 商業化標準出爐，Release 15 支援 5G 三大場景中的增強型行動寬頻(eMBB)、超高可靠度和超低延遲(URLLC)和 mMTC（巨量機器通訊），達到毫秒級的時延（延遲時間低於 1 毫秒）、近 100%的可靠性（通訊可靠度達到 99.99%以上）、Gbps 級的傳輸速率、支援海量連接，更好滿足未來自動駕駛的需求，相關需求說明如下。

- 自動駕駛可建立新型態公共運輸解決方案帶動相關應用服務。
- 自動駕駛可引發交通運輸創新技術帶動相關軟硬體設備商機。
- 自動駕駛可提高城市交通運輸效率更進一步提升城市競爭力。
- 自動駕駛可減少空氣汙染創造減碳抗暖化高品質的生活環境。
- 自動駕駛使先進駕駛輔助系統更為進階推升行車安全更進化。

目前來看，無論是 IEEE 主導的 802.11p 技術還是 3GPP 的 C-V2X 技術，目前都已經完成階段性技術研究和標準化制定，車聯網產業化的技術條件已具備，全球車聯網產業化階段已經到來。

表 3.2 DSRC 及 LTE V2X 在汽車應用中技術路徑權衡（參考 Data sources: 5G Automotive Association and Electronic Design）

DSRC	LTE V2X
使用 Wi-Fi IEEE 電氣和電子工程師學會 802.11p 標準的通信技術	由 5G 汽車協會推動的蜂窩 LTE 標準
優點： <ul style="list-style-type: none"> ● 允許基本 V2I 和 V2V 安全訊息的低延遲(2-ms)通信。 ● 預計未來 20 年內廣泛使用，測試且可靠。 ● 可以良好輔助光達和雷達在先進駕駛輔助系統(ADAS)中的應用。 ● 在 V2I 和 V2V 系統間的互操作性高，可以協調的方式進行彼此連接和通信。 	優點： <ul style="list-style-type: none"> ● 即使沒有網絡連接，延遲也較低，並且是 DSRC 範圍的兩倍（可以超過 1 英里）。 ● 能夠使用現有 LTE 網絡中的所有功能。 ● 能夠連接任何事物 (V2I，V2V，V2P 等)。 ● 更適合全球化的系統應用。
缺點： <ul style="list-style-type: none"> ● DSRC 是較舊的技術，其延遲能力不及 C-V2X。 ● 對持反對意見者來說，沒有發展的空間。 	缺點： <ul style="list-style-type: none"> ● 尚無政府監管支持。 ● 不同 V2X 系統之間可能會發生互操作性問題。

圖 3.8 所示為 LDM 標準化邏輯資料模型(Standardization of Logical Data Model for Static/Semi-Static/Semi-Dynamic Data)，透過車聯網 V2X 通訊機制，通過定義半動態、半靜態數據和靜態地圖數據之間的關係，提供了邏輯數據模型作業流程指引，其包括得到的三種類型的數據處理面向：靜態、半靜態、半動態。

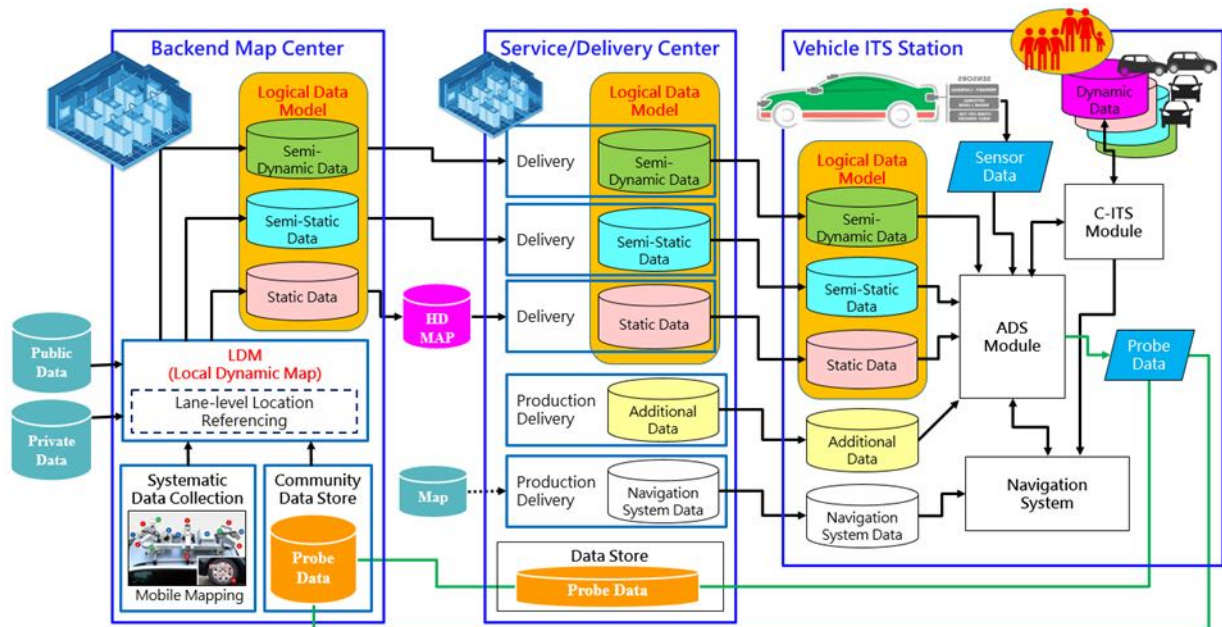


圖 3.8 LDM 標準化邏輯資料模型 (參考 Society of Automotive Engineers of Japan, 2017)

其中雲端後台地圖中心(Backend Map Center)使整個城市的交通狀況保持最新狀態並生成半動態、半靜態和靜態資訊資料，服務發送中心(Service/Delivery Center)向特定自動駕駛車輛提供特定半動態和半靜態資訊，自動駕駛車輛 Vehicle ITS Station(ITS-S)站台主要的作用是保持本身交通狀況動態最新，並向其他特定自動駕駛車輛提供特定資訊，在行駛特定區域內根據所處動態行程來下載解析空間領域的靜態高精地圖與半動態和半靜態資料。當自動駕駛車輛映射他們的周圍環境時，他們還應提供動態數據資料，提供所有自動駕駛車輛周圍附近明顯物體的位置以及對這些位置的信度，動態數據資訊可以幫助自動駕駛車輛知道操作條件是否滿足對避免碰撞的信心。此外，自動駕駛車輛 ITS-S 站台應用程式可以將靜態、臨時和動態交通資訊在地理空間環境中整合的資料進行數據讀寫、存取、查詢並確保安全性的 LDM 資料庫更新。另外，地圖製造商、測繪業者將利用專業化車載移動測繪系統等設備，根據獲取的數據和道路資訊來源創建高精地圖，並將高精地圖提供給地圖公司和汽車製造商。即使在此之後，維護將繼續通過探測數據機制(數據來自道路上自動駕駛車輛，其包括裝有 LiDAR 設備)來即時記錄當時道路的狀況或資訊，反向上傳到雲端後台地圖中心或服務發送中心資料庫，再經由廣播或下載的方式，傳遞到其他 LDM 數據共享資料庫中。

LDM 除了匯集完整的真實物理世界的靜態和動態數位數據模型外，LDM 也是數位基礎設施(Digital Infrastructure)，如圖 3.9 所示。是實現自動駕駛系統所必須的地圖數位基礎設施。核心特徵之一就是資料的儲存更新和安全，對自動駕駛領域的影響範圍非常大。數位基礎設施表示自動駕駛車輛將與雲端後台地圖中心及服務發送中心彼此基於雲端運算(Cloud Computing)

服務交互操作。數位基礎設施必須能夠支持高度自動駕駛車輛的部署，以便可以在現實場景中測試所開發的方法。與數位基礎設施相關的關鍵服務活動涉及多個方面，例如標準化表示、內容類型、品質保證、資料收集、增量更新和自動駕駛車輛配備新的 5G 移動標準在雲端服務商的數位基礎設施之間快速可靠地交換地圖和傳感器數據資料。

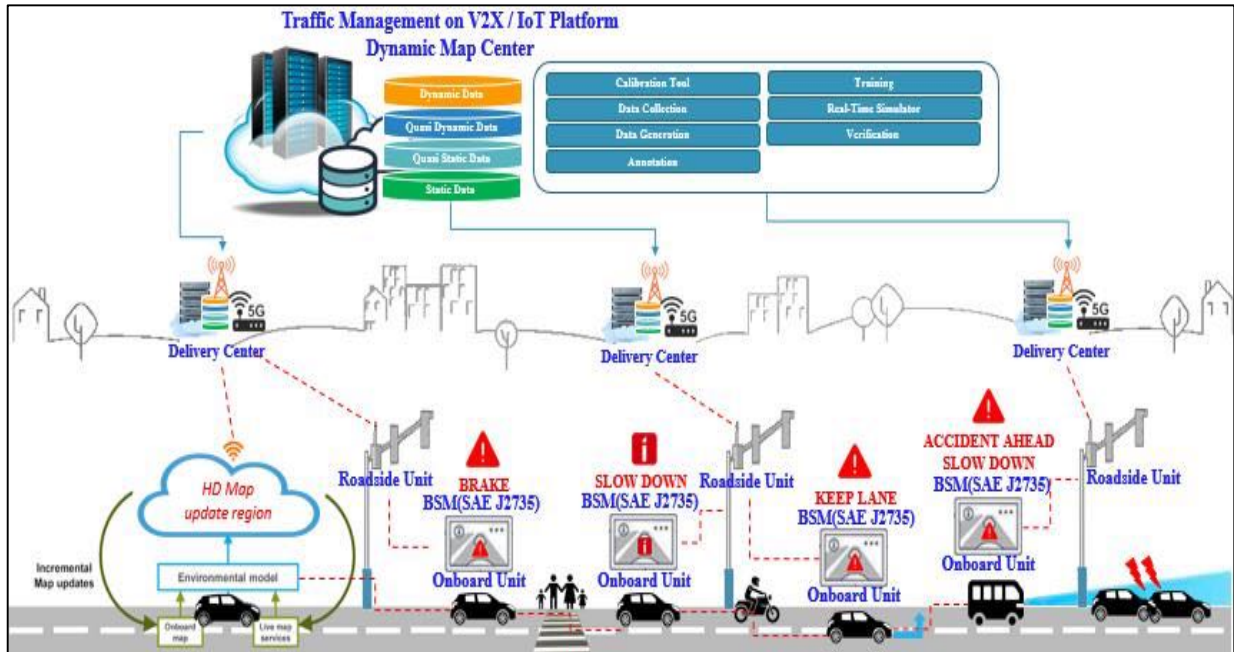


圖 3.9 LDM 數位基礎設施

國內在即時動態地圖部分，交通部訂有臺灣地區「即時路況資料標準」與即時路況資訊流通平台，透過 Open API 方式自動存取公部門收集與發布之即時路況資料服務，主要開放項目為基於路側設施所產生之即時交通資料，內容包含：車道偵測器(VD)、資訊可變標誌(CMS)、閉路電視攝影監控(CCTV)、電子標籤(eTag)之動靜態資料、基礎路段/發布路段之動靜態資料。高速公路局有 TDCS 即時交通資訊資料庫，提供各類車種通行量統計、站間各車種平均旅行時間、站間各車種平均行駛車速、各旅次路徑原始資料(日報)、各車種旅次平均長度(日報)、各車種全日旅次交通量(日報)等資料，為傳統交通系統先進技術獲取的感知資料，動靜態資料類型與資料取樣來源相對是離散孤立非全面性。在 V2X 應用場景，如道路中危險駕駛行為預警、動態事故異常車輛提醒、人行道行人預警、道路壅塞交通流量分析、交叉路口防碰撞、限速預警、匝道車輛匯入預警、天氣預警等複合式應用場景中，V2X 車聯網將產生於路側、車輛、行人等不同交通要素的各類感測器資訊進行融合分析，將多來源的交通資訊進行彙聚和建模，從而能全面、直觀、動態的反映道路交通狀況，對交通狀況的全面感知，採用大數據、人工智慧等技術進行分析，進而優化交通信號、交通資源的調度和使用、提升道路安全和通行效率。傳統交通系統獲取的感知資料相對於 V2X 而言，在智慧型運輸系統交通體系中的能力仍有侷限性。

3.3 室內外無縫自駕車用地圖應用先期評估作業

目前廣泛使用的 GNSS 定位原理都是利用距離後方交會來實現空間定位，也就是接收機透過測量與多顆衛星間的距離，並結合衛星精密星曆求出衛星位置，來計算出接收機自身的位置。由於衛星信號功率非常微弱，遠低於大自然雜訊，無法穿透建築物進入室內，導致室內成為導航盲區，近十多年來，Google、Apple 等多家巨頭都在布局室內定位以解決衛星訊號無法用於室內環境的問題，許多研究機構也一直尋求技術突破，無縫定位是指在人類活動的室內外環境中，能夠聯合採用兩種或多種室內外定位技術以達到對室內外定位應用的無縫覆蓋，室內外無縫定位及導航已成為適定性服務 (Location Based Services, LBS) 的核心問題，根據文獻指出，無縫式定位技術大致可分成兩大類，一為基於訊號系統，如：WiFi、iBeacon、IMES (Indoor Messaging System)、RFID、UWB、紅外線、超聲波等，以及基於視覺輔助，如影像、地標等，協助室內定位技術。

於訊號系統方面，有學者將無縫式定位技術分成四部份，首先為室外定位模組，即利用 GNSS 技術結合地圖來實現，接著為 Functional Configuration，此系統是用來建置和管理 WiFi fingerprint 的資料，以建立室內定位的資料庫，如此就能依照使用需求對資料庫中的資料進行瀏覽、修改或刪除的處理機制；第三部分則為在室內定位模組，其使用 WiFi fingerprint 演算法，使用 WiFi 協助室內定位的優勢在於 WiFi 現今被廣泛設置於室內環境中，此外現在的移動式系統，如智慧型手機，大部分皆內嵌 WiFi 模組，因此不需要再額外設置提供室內定位使用的 Wifi 設備，將 Wifi fingerprint 上的特徵訊息匹配前述的室內定位資料庫，以推估位置資訊以協助室內定位；最後則為 Contextual Detection，在無縫式定位中，偵測環境是很重要的議題，會直接影響無縫式定位的精度，因此利用移動式裝置中內嵌的不同感測器，如感光感測器、溫度感測器等，利用這些感測器提供的資料協主判斷當下使用者所在的環境，以作為室內或室外環境的偵測依據，透過上述四種系統模組相互輔助以實現無縫式定位技術，圖 3.10 為此文獻提出的無縫式定位系統架構圖 (Jia et al., 2016)。

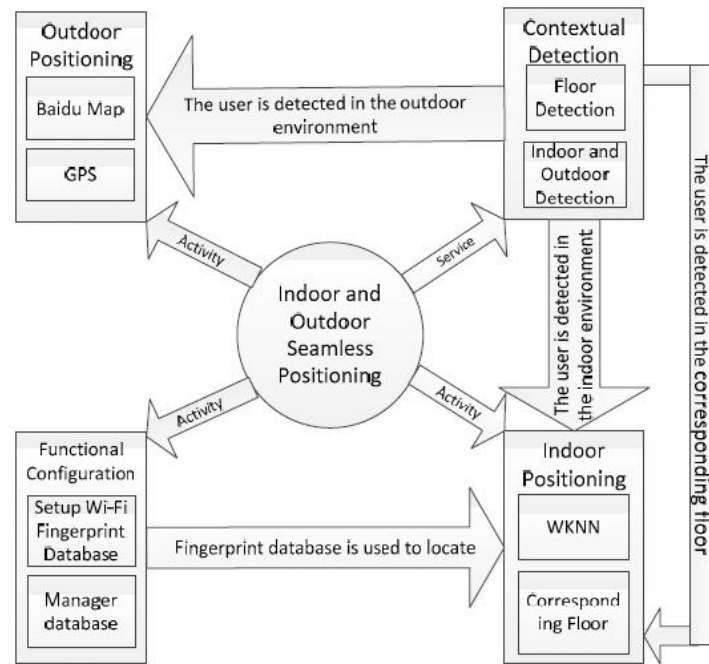


圖 3.10 無縫式定位技術架構圖 (摘錄自 Jia et al., 2016)

IMES 是由日本業者所提出的室內定位技術，其概念是將衛星定位的原理套用於室內環境中，在室內環境中廣佈無線發送器晶片，以晶片代替衛星，於室內傳送位置資訊，如經緯度、高度等，讓使用者進入室內後仍可進行定位，實現無縫式定位的技術，然而若 IMES 晶片佈設的位置過於接近室外，會使得 IMES 訊號與 GNSS 訊號產生干擾，故經由訊號功率與頻率的調製，將訊號錯開以避免訊號干擾的情形(Manandhar et al., 2008)。

超寬頻(Ultra-Wide Band, UWB)為有效的無線通訊技術，近年來被應用於提供室內環境車輛的位置資訊，其優點在於穿透力強、功耗低、抗多路徑效應效果好、能提供精確定位成果，常被應用於室內環境中靜止或移動物體的定位和追蹤，能提供精確的定位成果，因此部分文獻提出結合粒子濾波(Particle filter)演算法架構，於室外環境使用 GNSS 訊號，室內則使用 UWB 訊號以實現無縫式定位技術(Gonzalez et al., 2007)。

WiFi 在室內定位應用上被廣泛使用，但是缺點在於需耗費電池設備，一般而言，GNSS 與室內定位技術無法檢測半戶外的環境，透過 Beacon 技術不僅能控制能源消耗，也能檢測半戶外的環境，故有文獻提出 BlueDetect 演算法，此為基於 iBeacon 在移動設備上實現室內外的辨識與無縫之 LBS 服務，BlueDetect 僅需要幾個小尺寸、低成本和電池供電的低功號藍芽(Bluetooth Low Energy, BLE) beacon，將其裝置放置於特定地標上，如走廊的邊界和建築物的出入口，並能智能地控制感測器的開關，僅在室外環境中為 LBS 打開 GNSS 定位模組，當使用者走到半戶外的環境（即室內和室外中間的區域）時，GNSS 訊號會減弱，故以此作為關閉 GNSS 定位模組同時開啟藍芽的觸發條件，BlueDetect 的 iBeacon 模式負責在半戶外環境中提供 LBS，利用設

定訊號閾值與 iBeacon 佈設距離來判斷使用者所在環境，透過比較放置在建築物入口兩側的兩個 BLE beacon 的信號，可以實現半戶外和室內環境之間的轉換，這是 GNSS 或室內定位系統無法輕易實現的區域，經實驗證明 BlueDetect 演算法在耗能方面的優勢，並能在半戶外環境中提供準確可靠的定位服務，表 3.3 為各式室內外定位技術之優勢分析(Zou et al., 2016)。

表 3.3 室內外定位技術之比較 (摘錄自 Zou et al., 2016)

現行常見之室內定位技術	適用環境	定位精度 (公尺)	使用者之額外裝置	耗能情形	成本
GNSS	室外	10	不需要	高	中
GSM	室外/室內	10~50	不需要	低	低
Infrared	室內	0.5~3	需要	低	中
Acoustic signal	室內	0.3~0.8	不需要	低	中
RFID	室內	1~3	需要	低	中
UWB	室內	0.1~0.5	需要	低	高
PDR	室外/室內	1~5	不需要	高	低
WiFi	室內	2~5	不需要	高	低
BLE	半室外/室內	1~5	不需要	低	低

於視覺輔助室內定位方面，影像處理於導航應用尚未有完整的發展，有文獻提出 hybrid image-based positioning system 提供在室內外 LBS 服務的無縫定位解(即位置與姿態角)，此系統能應用於智慧型手機或是車輛上，利用視覺感測器的資訊以匹配直接地理對影像以提供基於影像的定位成果，並且移動式系統中內嵌的感測器，如內建 GNSS 接收機和電子羅盤，以輔助視覺定位，根據實驗顯示此系統能在 GNSS 訊號不佳的區域提升定位精度，也能提供精確的室內定位成果(Li et al., 2013)；此外，由於室內外會存在特定的地標(Landmark)，室外如建物、雕像，室內則如出入口、公佈欄等，這些地標都是固定不動的，因此可以藉由拍攝已知位置的地標，進行影像處理及特徵萃取，來確定地標的所在位置，地標不僅為路徑查詢上重要的參數，也能提供導航上的指令資訊，此外地標也提供視覺導航資訊，能較直觀的了解導航指令，亦能讓使用者了解周遭的環境，利用特徵匹配法計算使用者與地標特徵物的相對位置，再對應預先建置的地標絕對坐標資料庫中的地標位置，以獲得使用者的絕對坐標，藉此達到無縫式定位的技術(Basiri et al., 2016)。此外，現今室內製圖作業常以移動式機器人系統與 SLAM 技術整合快速獲取高精度的三維地圖，SLAM(simultaneous localization and mapping)的特色在於能同時估計和感知周圍環境並定位於地圖上，部分文獻使用 Lu 和 Milions 提出的全局掃描演算法有效的將 GNSS、IMU 和雷射掃描資料整合在地圖上，

並使用機器人系統快速獲取高精度三維地圖以達到無縫式室內外地圖整合，一般而言室內無法收到 GNSS 訊號，然而機器從室外移動到室內，使得機器人在地圖上的姿態和 GNSS 觀測量變成間接關聯，若將 GNSS 資訊的附加於三維地圖上能提高室內地圖的精度(Montemerlo et al., 2006)，圖 3.11 為室內外整合三維地圖，可以發現有 GNSS 資訊輔助的室內圖資成果較好。

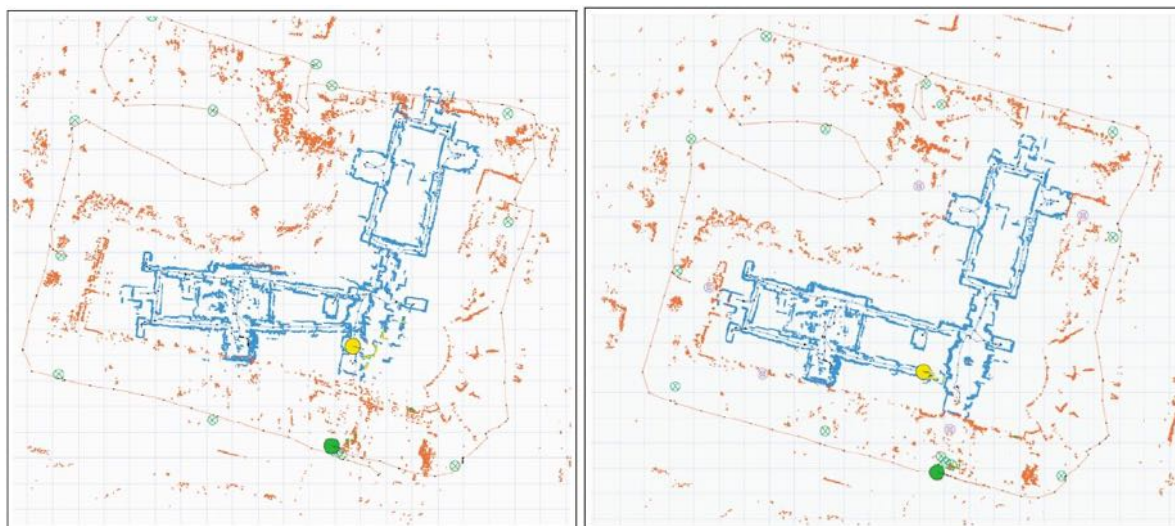


圖 3.11 室內外整合三維地圖：(左) 未作任何處理之成果；(右) 加入 GNSS 資訊輔助之成果

綜合上述無縫式定位技術，基於訊號的室內定位技術被廣泛應用於現今的室內定位需求上，定位成果也相當可靠，然而利用訊號傳遞訊息的缺點在於訊號容易受到環境所干擾，若位於磁場干擾較強的場域則會影響室內定位技術的定位成果，基於影像輔助室內定位的演算法即便尚未成熟且未被廣泛使用，但是影像處理等相關演算法已相當成熟，以影像輔助室內定位具備可行性，此外，對於自駕車來說，影像能提供環境判釋的資訊，故能顯現影像作為無縫式定位技術的價值。

對室內外無縫高精地圖應用而言，必須先攻克高精度室內室外定位技術難關，車載高精度定位系統在高等級自駕系統中是不可或缺的要件，配合多元感測器融合與高精地圖成為整合式系統，提升自駕正確性和安全性。一個理想的定位系統首先應該具備精確追蹤任何地點目標位置的能力，無論目標是位於室內還是室外，其次應盡可能地使用已有的無線基礎設施，減少系統部署成本，提高系統的定位覆蓋率。如圖 3.12 所示，自駕車室內外無縫銜接的定位設備可讓自駕車無論處於室內或室外皆能取得統一坐標之地理定位地圖，將 GNSS 定位技術延伸到室內，實現無縫銜接的室內外定位，同時搭配自動切換室內室外高精地圖進行導航應用。

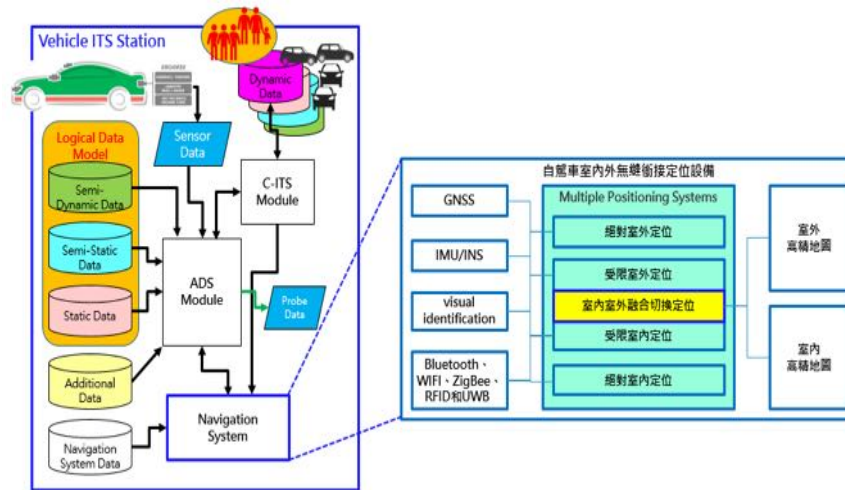


圖 3.12 自駕車室內外無縫銜接定位設備

自駕車用高精地圖無論是室內地圖或是室外地圖兩者空間資訊特徵與屬性模型創建的意涵皆相同，因為室內建築物可到之處，可視為室外特殊地形地貌之特例，兩者皆須作空間資料查詢、路徑導引，室內需進行建築物內部車道路網分析，室外則需進行道路與車道路網分析。近年來，產學界亦涉足於室內外自駕車導航的任務，針對多層室內停車場的情境，為了能夠讓自駕車在大範圍且多樓層的室內停車場進行自主導航，自駕車必須有建築物的地圖以規畫路徑，並且要能夠在三維建物中定位，最後需要沿著規畫的路徑安全行駛以達到目的地，Kummerle 等人(2009)提出利用多層室內建物(Multi-Level Surface, MLS)地圖規劃在多樓層中起點至終點的最佳全局路徑，並基於點雲觀測量進行穩定定位，區域路徑規劃演算法則用於障礙物規避，以及當下所在樓層的路徑規劃，整合上述理念讓自駕車在不依賴外部資訊的情況下在多層室內停車場進行導航任務，多層室內停車場建物結構是以 MLS 地圖來表示，此地圖將環境架構儲存在二維網格地圖中，並在每個網格中存取高度估計資訊，藉此能夠用於判斷是否為自駕車的可行駛範圍，並且有效展示可行駛區域與垂直障礙物輔助定位，如圖 3.13 所示，除了高度資訊外，MLS 地圖也記錄了樓層資訊，為自駕車行駛過程切換樓層的必要資訊，其實驗場域為四樓層的室內停車場，如圖 3.14 所示，自駕車依據全局路徑規劃軌跡行駛，並透過搭載的 Velodyne 光達掃描周圍環境，偵測出不可行駛的範圍，以規劃避開障礙物的路徑，如圖 3.15 所示，在實驗過程中使用粒子濾波演算法基於點雲觀測量與 MLS 地圖實現在室內環境的精準定位，圖 3.16 為最後自駕車在室內停車場的行進軌跡(Kummerle et al., 2009)。



圖 3.13 局部 MLS 地圖 (摘錄自 Kummerle et al., 2009)

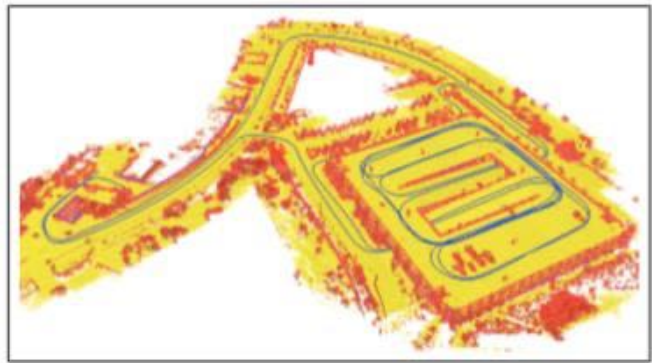


圖 3.14 多樓層室內停車場：(左) 自駕車行駛之起終點位置；(右) 實驗中所使用之 MLS 地圖，藍線為經由 SLAM 演算法處理後之行駛軌跡 (摘錄自 Kummerle et al., 2009)

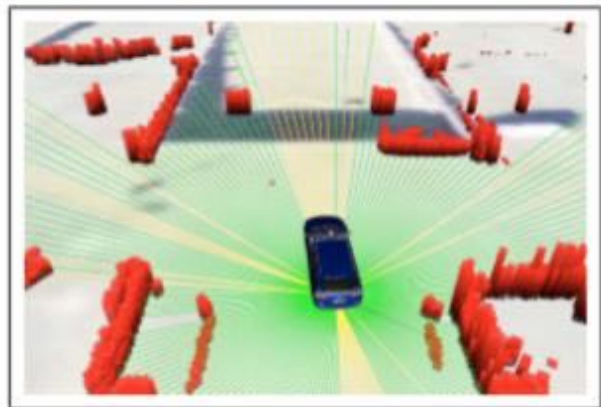
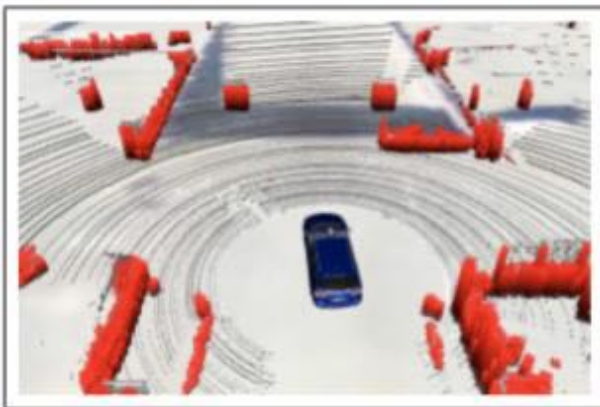


圖 3.15 利用 Velodyne 光達進行障礙物規避：(左) 紅色物件為障礙物；(右) 黃線代表其光束方向上並無障礙物 (摘錄自 Kummerle et al., 2009)

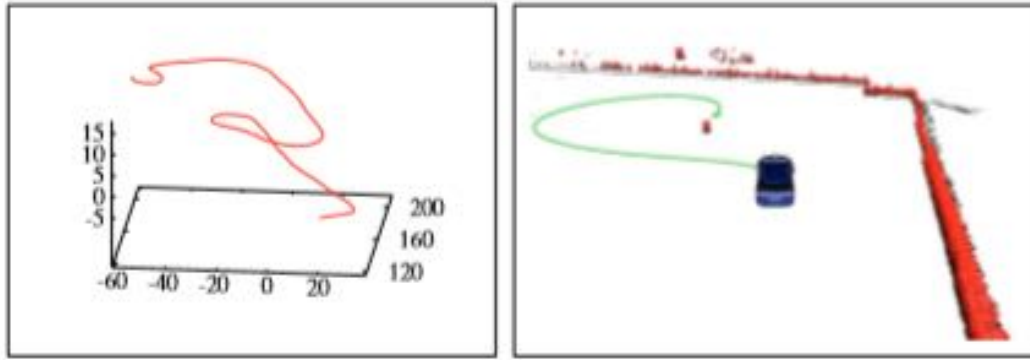


圖 3.16 自駕車在多樓層室內停車場的軌跡圖：(左) 由第一層至第四層停車場的軌跡；(右) 最後自駕車行駛至紅色目標障礙物後方的路徑（摘錄自 Kummerle et al., 2009）

歐洲 V-Charge 計畫研究自動化代客泊車服務(Automated valet parking services)，目的在於縮短行駛里程與延長充電時間以改善電動車的缺陷，這項理念需要在室內外停車場區域實現全自動駕駛，並使用低成本感測器，V-Charge 計畫中僅使用四個單眼魚眼相機、兩個立體相機和超聲波感測器以降低硬體成本，其計畫內容包含進行網路通訊、停車格調度、多相機率定、語意地圖建置、視覺化定位以及行駛行為規劃(Motion planning)，為了能夠在沒有 GNSS 訊號的情況下行駛，V-Charge 使用視覺定位，並利用影像建置離線地圖(Offline map)，此外感知環境中的障礙物對於導航安全而言相當重要，為了能夠避開障礙物，利用魚眼相機進行連續拍攝，產生深度影像，再投影至二維平面進行障礙物萃取，如圖 3.17 所示，為了實現路徑規劃演算法，必須增進離線地圖產生語意地圖，如圖 3.18 所示，其包含路線圖(Road graph)，描述車道的位置、方向和交叉口；停車格位置；速率地圖(Speed map)，路線圖是由自駕車的姿態所產製，每個姿態會形成一個節點，節點間相互連結形成路線圖，如圖 3.19 所示，停車格繪製則是利用 introspective 分類器在影像中進行停車格標記，分類過程必須進行迭代處理以提升其標記的準確度，停車格示意圖如圖 3.20 所示。為了提升行人和道路使用的的安全性，在擁擠的區域或能見度差的區域建議降低行駛速率，根據先驗資訊，在行人或車輛活動量較高的地區放慢車速，將這些車速資訊存入二維網格地圖以建置速率地圖。在路徑規劃的部份提出停車路徑規劃演算法，用於處理於狹窄停車位停車的路線規劃等複雜的操作，為了達到最合理的停車狀況，此項計畫經過三個階段的試驗，如表 3.4 所示，階段一為僅以弧線進入停車格，不改變行駛方向；階段二為由三個弧形連接兩條直線的路徑，行駛過程有改變方向；第三階段靈活性較高，可允許數次方向變換，持續測試直到找到三個階段皆無碰撞情形的路線為止，最後平均成功率達到 97% (Schwesinger et al., 2016)。

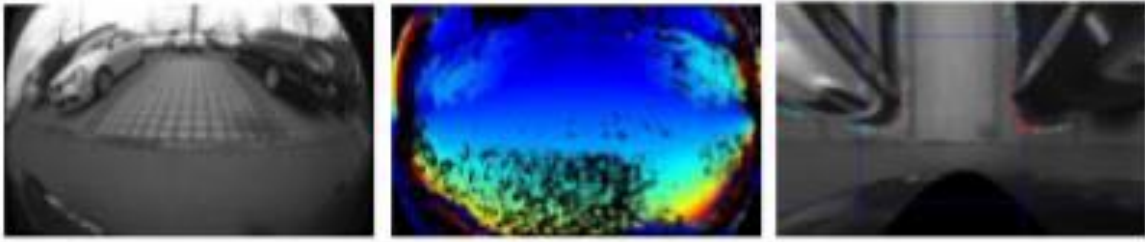


圖 3.17 利用魚眼相機偵測障礙物：(左) 原始拍攝影像；(中) 深度影像；(右) 萃取之障礙物，紅色為障礙物位置，藍色為不確定區域 (摘錄自 Schwesinger et al., 2016)

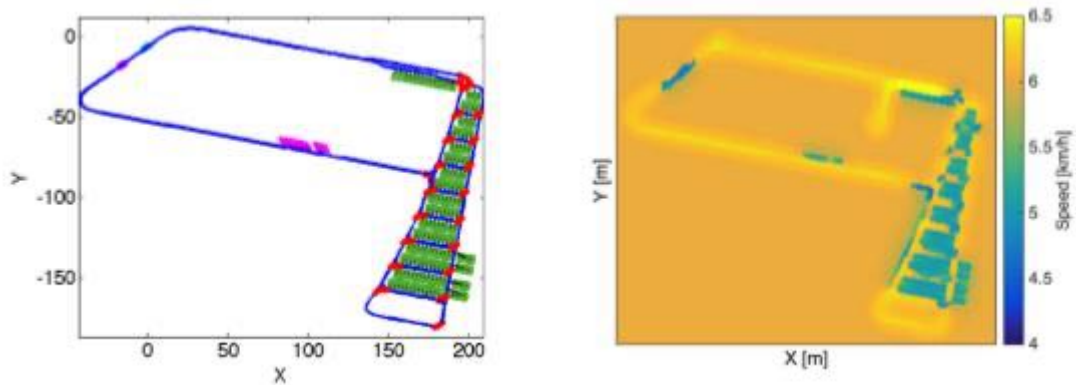


圖 3.18 語意地圖：(左) 路線圖，藍色為車道線、綠色為停車格、紅色為交叉口，粉紅色為充電站；(右) 速率地圖 (摘錄自 Schwesinger et al., 2016)

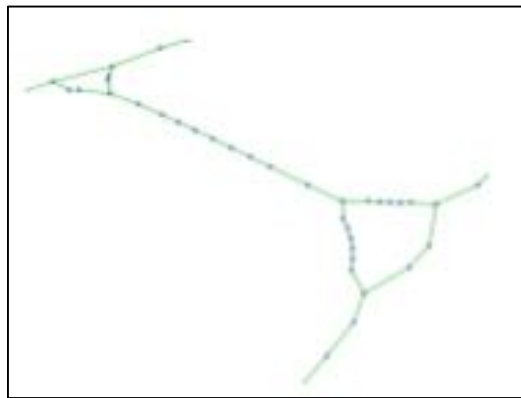


圖 3.19 路線圖 (摘錄自 Schwesinger et al., 2016)

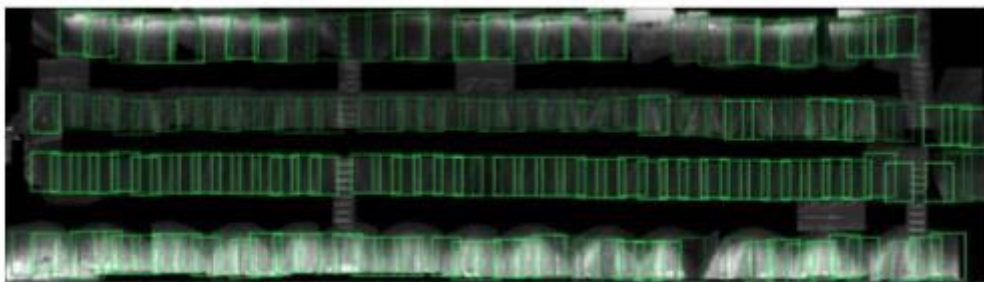
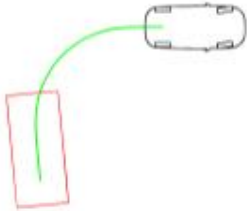
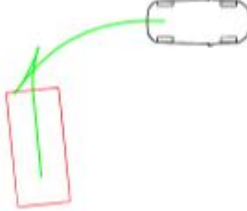
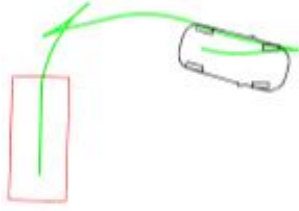


圖 3.20 透過分類器標記的停車格 (摘錄自 Schwesinger et al., 2016)

表 3.4 三種不同停車路徑 (摘錄自 Schwesinger et al., 2016)

階段 1： Reeds & Shepp planner	階段 2： Deterministic 3-motion planner	階段 3： Hybrid A planner
 <p>Yields one single move with two straight lines that are connected by a circular arc. No change of direction allowed.</p>	 <p>Yields moves consisting of two cusps, i.e. two straight lines are connected by three circles. Circles are placed with a deterministic strategy.</p>	 <p>A modified state lattice search that provides the highest flexibility. An arbitrary number of cusps is allowed in the moves.</p>

HERE 基於光達點雲資料匹配與貝氏機率更新(Bayesian probabilistic updating)機制，提出協作製圖(Collaborative mapping)與智能停車系統(Autonomous parking system)在多樓層建築架構中進行導航，包含光達點雲匹配、協作地圖產製，以及透過車與車之間的連結達到協作導航(Collaborative navigation)，其系統架構如圖 3.21 所示，此系統整合各式感測器資訊，包含 INS/GNSS、LiDAR、相機等感測器，首先利用 LiDAR 收集周圍點雲資料進行三維建模，接著分割成每個路面，在對每塊路面進行二維機率網格地圖的合併或更新，最後產製語意地圖，其包含二維機率圖層(2D probabilistic layer)、向量圖層(Vector layer)，與拓樸圖層(Topological lane graph layer)，針對局部導航與製圖，每輛車都會使用多狀態擴展卡爾曼濾波器(Multi-State Extended Kalman Filter, MSEKF)，以融合三維光達輪速計資料與 IMU 觀測量，協作製圖與地圖合併適用於多輛車的情況下執行，首先根據室外(例如實驗中在車庫屋頂上)初始位置校準的 INS/GNSS 讀數，將局部感測器的感知資訊與地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)對齊，再利用貝氏機率方法將所有單獨地地圖合併為一個全局 2D 佔用網格圖(2D occupancy grid map)，協作全局與局部移動規劃演算法則是用來評估自動停車是否具備停車規劃的能力，基於協作地圖，全局路徑規劃能夠產生雙向拓樸地圖以找到最短且最快的路徑，至於區域路徑規劃，則能進行障礙物規避的導航，其中語意地圖描述室內停車場的特徵資訊，包含記錄行駛方向的车道、车道中心線、出入口位置、车道交叉處、停車格、各層室內停車場的连接點，甚至是進入停車格與駛離停車格的範圍，其語意地圖如圖 3.22 所示，其中綠色為停車格，紅色為交叉點，藍色線為最後行駛路徑(Li et al., 2018)。

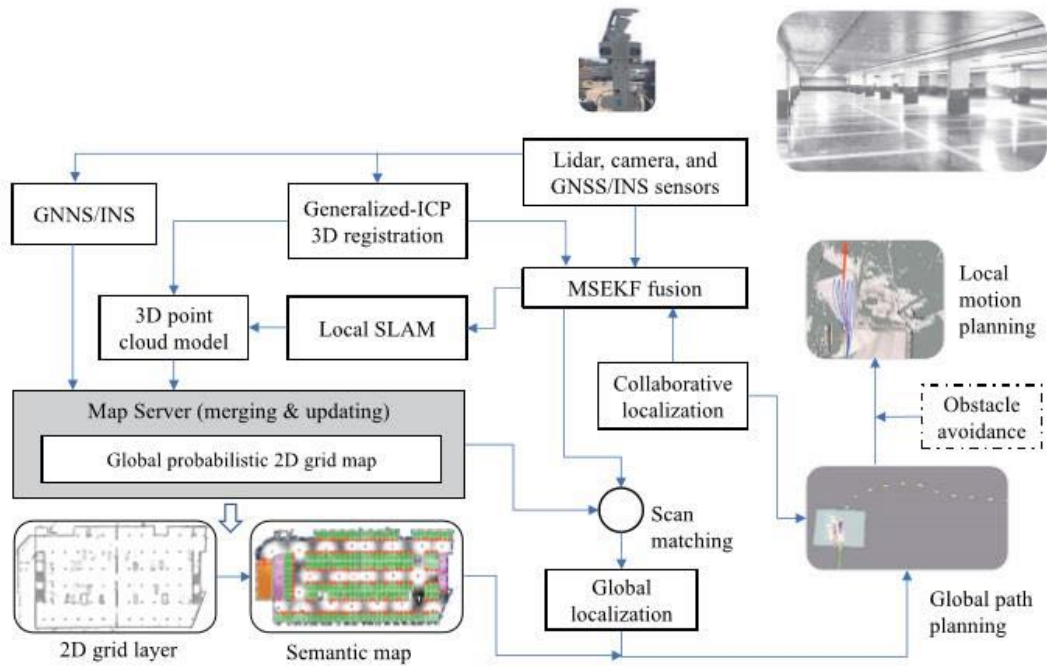


圖 3.21 協作製圖與自動停車系統架構圖（摘錄自 Li et al., 2018）

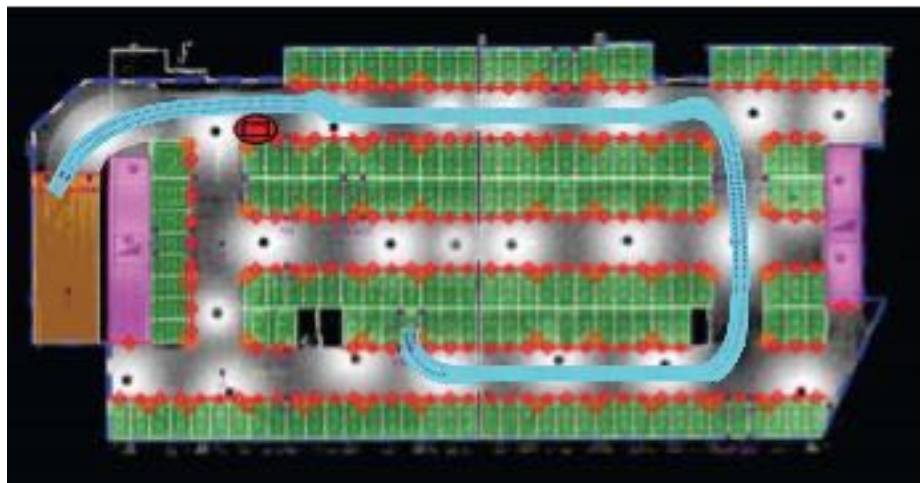


圖 3.22 語意地圖與路徑模擬（摘錄自 Li et al., 2018）

根據上述文獻，透過建置室內建物之語意地圖輔助自駕車室內導航，若能結合室外高精地圖能期望實現自駕車室內外無縫式導航的任務，以室內停車場之情境為例，整理室內導航演算法所需之地圖要素，同時對應目前高精地圖圖資內容標準之圖層，分析自駕車用之室內圖資之圖層內涵，其圖層對應關係如表 3.5 所示。

表 3.5 自駕車用之室內圖層對應高精地圖圖層之分析

語意地圖內容	備註	對應高精地圖標準	來源
Parking space	停車格	parkingSpace	Kummerle et al., 2009
Trajectory	行駛軌跡	LaneCenterLine	
obstacle	停車場的障礙物	obstacle	
Level information	各樓層連接點	無	
Speed map	適當的行駛速率圖	Speed	Schwesinger et al., 2016
Parking space	停車格	parkingSpace	
Road graph	路線圖	LaneCenterLine	
Charging bar	充電站	object	
intersection	車道交叉處	junction	
drivable & non-drivable area	可行駛區域	無	Li et al., 2018
Intersection	停車格和車道的交點	無	
Central line	車道中心線	LaneCenterLine	
Parking-in & parking-out range	駛近停車格與駛離停車格的範圍	無	
Level-cross node	各樓層連接點	無	
Parking space	停車格	parkingSpace	
Crossroad	交叉口	junction	

3.4 自駕車用地圖適地性服務案例試辦

基於適用封閉場域之臺中水湳及臺南沙崙自駕車測試場域等類似環境，本案所建立之高精地圖標準以及相關指引，期許延伸至非封閉場域應用，透過試辦高精地圖適地性服務，以測試過程來檢討面對之實務操作問題，反饋修正作業程序與各項實施措施。

考量測試環境、路況條件及道路特徵物等因素，本案選定成功大學歸仁校區至臺南沙崙自駕車測試場為高精地圖適地性服務案例之試辦區，委託詮華國土測繪有限公司（以下簡稱詮華）依據高精地圖製圖作業指引，利用車載移動測繪系統進行試辦區的資料蒐集，開放式場域的施測長度約為 4.7 公里，寬度為 25~45 公尺，封閉式歸仁校區的施測長度約為 800 公尺，寬度為 20~25 公尺。試辦區包含了開放式道路場域和封閉式歸仁校區，而道路環境則具備了道路標線、車道標誌、道路設施、交通號誌等，試辦區的規劃範圍與實際施測路線（綠色與橘色路段）如圖 3.23 所示。

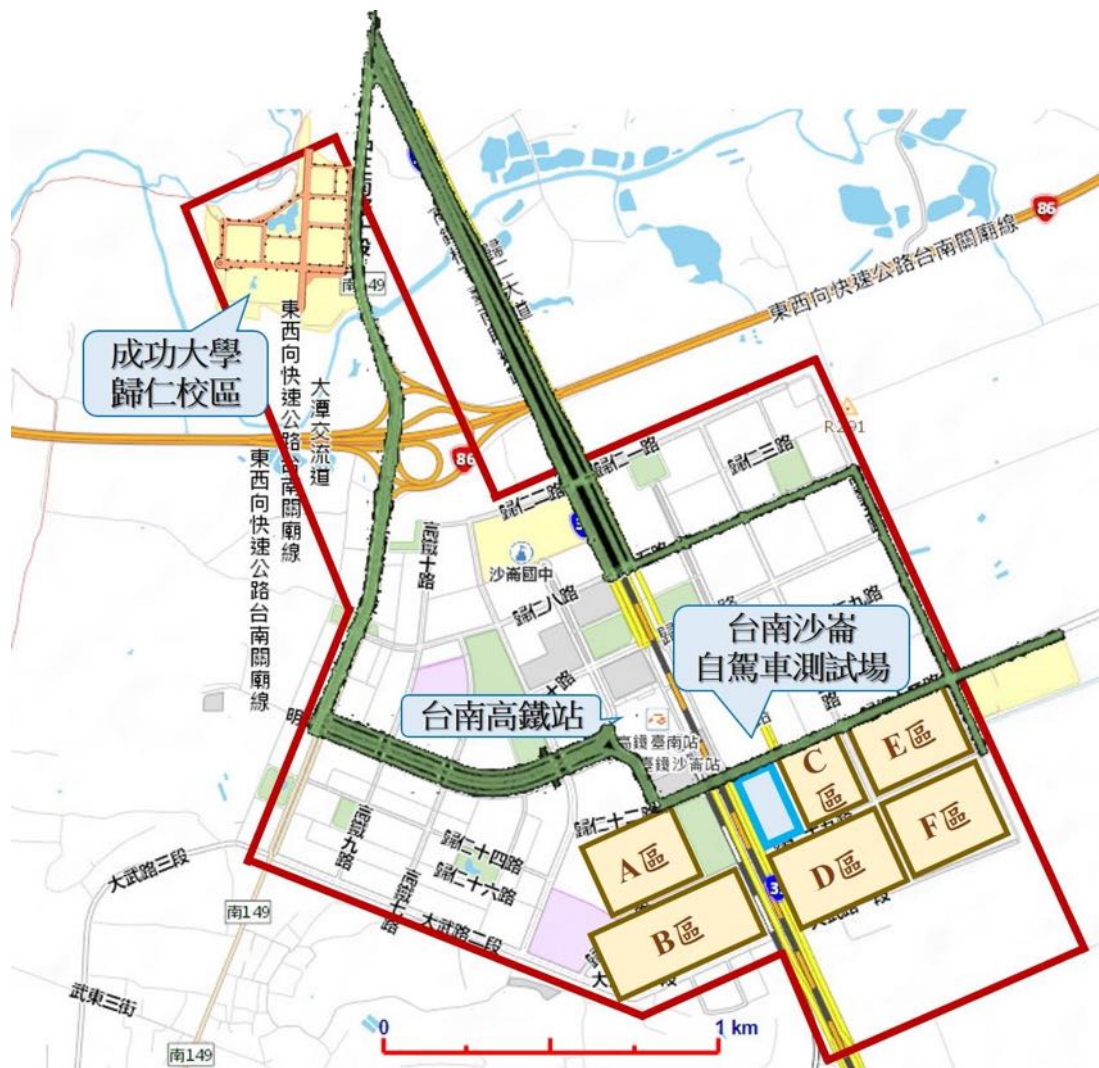


圖 3.23 高精地圖適地性服務之試辦區

詮華完成測繪作業與內業處理後，於 108 年 9 月 17 日交付光達點雲成果 (LAS 格式)、11 月 4 日交付圖資向量檔 (Shapefile 格式)，點雲成果展示如圖 3.24，本團隊完成第一次點雲密度檢核以及兩次圖資檢核，相關內容詳見附錄五。目前持續補測與修正，待完整的檢核驗證通過後，才可提供後續自駕車格式轉換。



圖 3.24 試辦區之點雲成果

3.5 持續研提或協助引進國外產製高精地圖之多平台製圖技術

國際相關的空間資訊及圖資廠商已具備相當成熟的測繪技術，除了擁有高規格的硬體設備和完善的資料處理軟體，更累積許多實作高精地圖的經驗，例如美國 Civil Maps、日本《國際航業》(KKC) 在臺投資之興創知能股份有限公司（以下簡稱興創知能）或日本 ZENRIN 皆具備產製高精地圖的相關系統或技術。

本團隊和興創知能建立合作模式，共同研究沙崙試驗場域的自駕車圖資格式(Autoware)，相關的合作時程與說明如下：

- 於 5 月 28 日召開工作會議，針對研究開發的需求進行討論。
- 興創知能於 108 年 6 月 1 日交付第一版符合需求之高精地圖以及高精地圖格式說明文件，而本團隊也提供圖資給莊老師研究團隊進行測試。
- 於 7 月 1 日召開工作會議進行多方討論，回饋使用意見供興創知能作後續參考，相關議題如表 3.6。
- 透過滾動修正、持續開發的格式內容，完成微調後之高精地圖以及高精地圖格式說明文件，於 11 月 8 日由興創知能提供教育訓練，針對沙崙試驗場域的 Autoware 向量圖格式進行高精地圖操作與說明。

表 3.6 共同研究自駕車圖資格式之相關議題

項目	具體問題與討論說明
1	Autoware 不支援圓環的 Donuts polygon，只能定義出外環。由於車行是沿著線走，因此沒有內環的圖層不影響使用，屬性上可以新增一名稱"圓環"。
2	Autoware 不支援隧道內外的標記，建議可以建立一個獨立的隧道圖層。
3	點距問題：目前的點距是 1 公尺，而本團隊要求為 20 公分。
4	在 roadsign.csv 中，交通號誌的 id 是以英文+數字表示，將由本團隊助提供。
5	沙崙燈號的實際排序狀況?共有哪些燈的可能性?必須確定自駕車控制端是否需要知道燈的順序?
6	建議 whiteline.csv 中，color 可以加入紅線，代表禁止停車。
7	建議 Road_surface_mark.csv 中，不同的箭號，應該要於 Tpye 屬性中新增。
8	建議 Driveon_portion.csv 中，要新增欄位，以區分公車專用停車格與一般車格。

另一方面，本團隊也和 ZENRIN 商討產製高精地圖之相關技術，透過簽署雙方合作契約，提供沙崙試驗場域之高精地圖，委託 ZENRIN 產製自駕車圖資格式(Autoware)成果，具體的合作效益如表 3.7，而相關的合作時程與說明如下：

- 8 月中旬完成簽約，並於 8 月 28 日召開工作會議，除了討論高精地圖產製技術與交流圖資成果外，本團隊也陪同 ZENRIN 與 AISAN 至沙崙試驗場域實際參訪，如圖 3.25 所示。
- 於 10 月 1 日由 ZENRIN 與 AISAN 分享沙崙試驗場域的 Autoware 格式成果，以及說明相關製作和操作流程。
- 後續滾動修正並提供給莊老師研究團隊進行測試。



圖 3.25 ZENRIN 與 AISAN 沙崙試驗場域之參訪花絮

表 3.7 與 ZENRIN 之合作效益

項目	合作內容與具體說明
1	產製臺南沙崙「台灣智駕測試實驗室」自駕車測試場域內的高精地圖。
2	臺南沙崙自駕車測試場域內的物件包含中心線形、道路緣、交叉點（路口）、白線、停止線、斑馬線、電線桿、標誌、信號燈、街燈、平交道、Node、Lane、Poll。
3	臺南沙崙自駕車測試場域內的高精地圖須符合 Autoware 格式。
4	符合臺南沙崙自駕車測試場域內的特定式樣對應(7 種特別追加地物)，包含隧道、路外停車場、候車亭、候車亭區、水泥路面/橋樑接縫、金屬鐵橋路面、綠蔭。
5	定期安排工作討論會議、與日本廠商交流。

3.6 本章小結

對於「評估自駕車用地圖標準成為產業標準相關工作」之工作項目，本案提送所建立之高精地圖標準與相關指引至 TAICS 進行審查，期望作為未來自駕車產業之參考依據與準則。去年度所公布的「高精地圖製圖作業指引」

已完成更新與審查，並於 108 年 10 月 17 日經 TAICS 發布與公告，而「高精地圖驗證指引」和「高精地圖圖資內容標準」正在 TAICS 審查程序中。

對於「即時動態地圖(Dynamic Map)標準及作業流程指引先期評估作業」之工作項目，透過研讀 ISO 標準的相關內容，引入帶有時間戳記和地理參考資料的 LDM 作為整合平台，是處理交通場景的關鍵特徵，同時考量通訊標準、雲端後台以及交通部「即時路況資料標準」與即時路況資訊流通平台，探討未來車輛定位與資訊整合之評估，即時動態地圖與自駕車運行需求間之關聯需透過 V2X 場景應用來實現，以提供自駕車對環境的理解、行動規劃預測及行為控制。

對於「室內外無縫自駕車用地圖應用先期評估作業」之工作項目，透過文獻回顧的方式，歸納出結合多元感測器融合與高精地圖成為整合式系統，可提升自駕正確性和安全性，透過建置室內建物之語意地圖輔助自駕車室內導航，結合室內外統一坐標系統之高精地圖，便能將 GNSS 定位技術延伸到室內，實現自駕車室內外無縫式導航的任務。

對於「自駕車用地圖適地性服務案例試辦」之工作項目，本案針對成功大學歸仁校區至臺南沙崙自駕車測試場為高精地圖適地性服務案例之試辦區，委託詮華測製該場域之高精地圖，經過本團隊第一次點雲密度檢核以及兩次圖資檢核，目前持續補測與修正成果，待完整的檢核驗證通過後，提供後續自駕車格式轉換與測試。

對於「持續研提或協助引進國外產製高精地圖之多平台製圖技術」之工作項目，本案透過和興創知能的合作模式，共同研發自駕車圖資格式的轉檔工具模組，並針對沙崙試驗場域的 Autoware 向量圖格式進行高精地圖操作與說明完成教育訓練；同時本案也和 ZENRIN 商討高精地圖之相關產製技術，協助後續高精地圖相關應用的推動。

第四章、國際自駕車相關組織參與評估

由於高精地圖的標準制定將促進測繪產業與圖資提供商對於地圖的研發速度，進而加快自駕車技術的發展。考量到企業間資料採集和產製方法、資料通用性、兼容性及項目推進時間均有差異，為了解決這個問題，許多自駕車的相關國際組織陸續成立，目的在於統一進行資源互通傳輸和高精地圖共享，目前國際上主要相關組織及其運作模式和任務範疇如下：

- NDS：由歐美主流車廠共同成立的協會，旨在建立統一的圖層資料格式，使屬性資料具備兼容性與互通性，以利於不同單位建置、資料交換與圖資更新時使用，同時與 ADASIS 聯合成立 OADF(Open AutoDrive Forum)制定高精地圖標準。
- ADASIS：由汽車產業所成立的歐洲組織，致力訂定 ADASIS v2.0 用於車載地圖資料庫，使得 ADAS 能與自駕車之間交換資訊。
- OpenDRIVE：針對地圖數據之物理儲存格式以及路網邏輯之描述方式制定規範(Format Specification)。
- SIP-adus：日本政府單位資源支持下所成立的 DMP，其即隸屬於 SIP-adus 組織底下，目標在於制定重要的圖資標準和成立接口與歐洲 OADF、國際組織 ISO 標準對接。

為了將我國所建立之高精地圖標準及服務體系與國際鏈結，故本案透過「高精地圖研究發展中心」之名義申請加入 OADF 會員，可從 OADF 官方網站（圖 4.1）中了解組織運作的宗旨、任務與發展歷程，其網站也提供雙向交流平台讓相關組織可以互通各自的標準與格式，可以最大化圖資與自駕車應用的相容性、適用性，同時加入 OADF 的會員可以接收自駕車產業的活動、專案、研討會資訊。

如前所述，OADF 是由 NDS 和 ADASIS 聯合成立的，因此成為 OADF 會員後，便可以透過會員平台下載所有 NDS 和 ADASIS 相關的技術報告或研討會簡報，如表 4.1 所示，此會員權益對於我國推動自駕車相關政策、開發自動駕駛相關技術以及發展相關學術研究都能提供實質效益，發揮指引方向的功能。

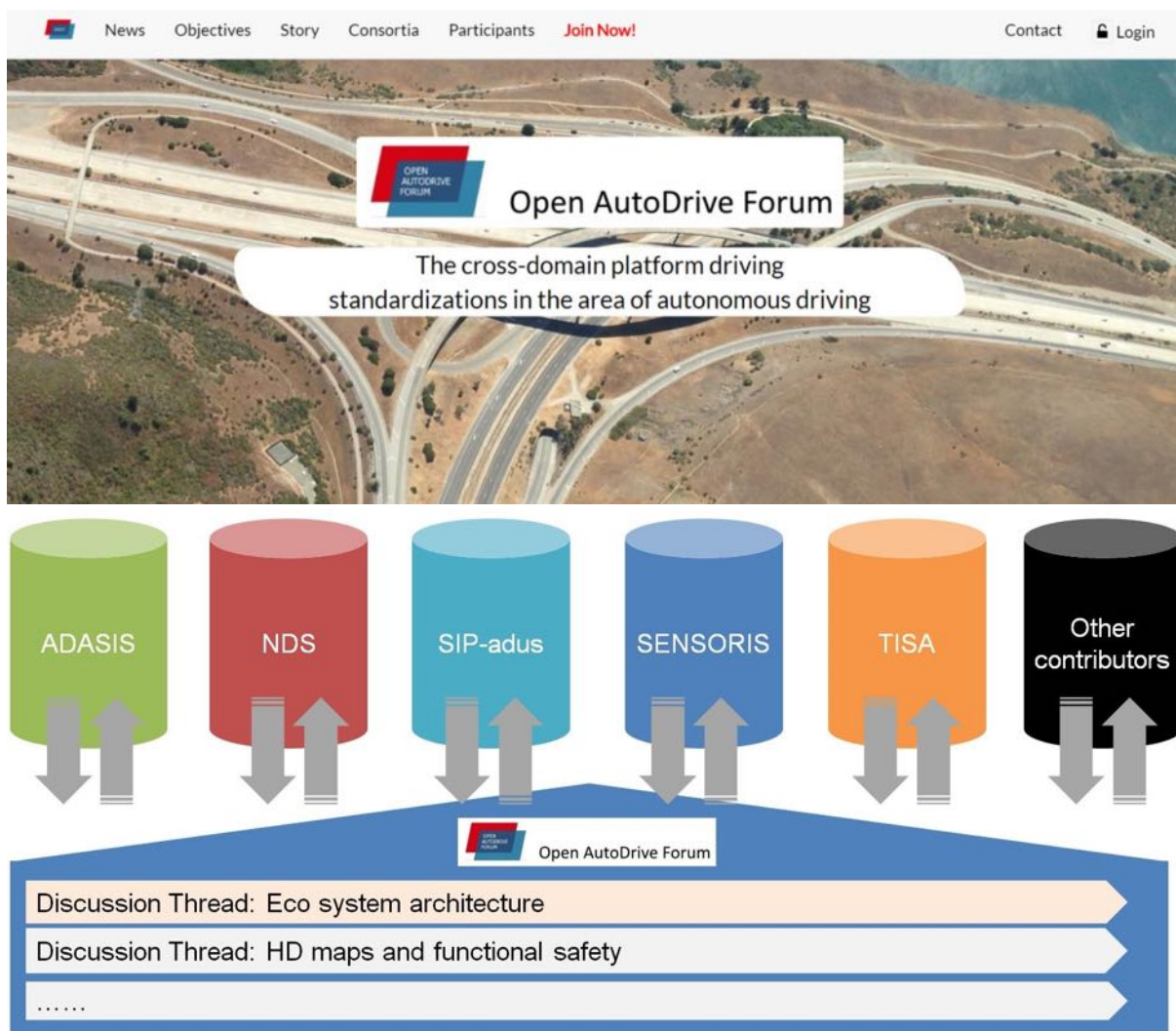


圖 4.1 OADF 網站

表 4.1 OADF 提供會員之相關資料

公開資料類型	相關說明
技術報告	<ul style="list-style-type: none"> ■ Open AutoDrive Forum Whitebook ■ Open AutoDrive Forum Schwalbach Results
研討會簡報	<ul style="list-style-type: none"> ■ 1st-12th Open AutoDrive Forum ■ 4th SIP-adus Workshop
組織/廠商簡介	<ul style="list-style-type: none"> ■ Apollo ■ Association for Standardization of Automation and Measuring Systems ■ Mapillary ■ SENSORIS ■ TN-ITS Platform

本團隊也透過 ADASIS 的合作組織—dSPACE (<http://www.dspace.com>) 官方網站 (圖 4.2) 所提供的免費公開資料，蒐集自駕車系統與 ADAS 相關資訊，包含的應用層面如下：

- ADAS and Autonomous Driving
- Automotive Industry
- Use Case: Simulating Multiple Scenarios for Autonompous Driving, Tests for Camera and Radar, Tests for Multi-Sensor Systems, Automated Driving Functions

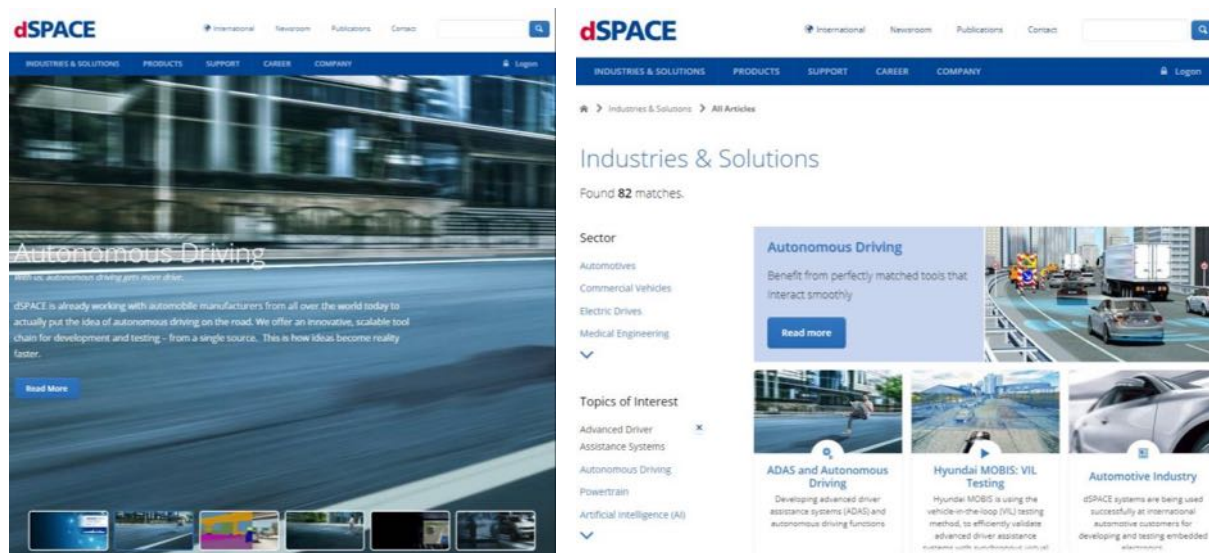


圖 4.2 dSPACE 網站

此外，本團隊也派員至德國慕尼黑參與 6 月 12-13 日「12th Open Auto Drive Forum Meeting and 1st NDS Public Conference」，已舉辦多年的第十二屆 OADF 會議以及今年首次共同舉辦的第一屆 NDS 公開研討會，議程的各主題如下：

表 4.2 12th Open Auto Drive Forum Meeting and 1st NDS Public Conference 之議程

Open Auto Drive Forum Meeting	NDS Public Conference
<ul style="list-style-type: none"> ■ Welcome and Introduction ■ Keynote from Industry Expert ■ Activities and Plans of Standardization Organizations Regarding Autonomous Driving: ADASIS, NDS, SENSORIS, SIP-adus, TISA, TN-ITS, OpenDRIVE ■ Cross-Organizational Activities ■ Wrap-up and Final Remarks 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Welcome and Introduction ■ Keynote on Importance of HD Maps from Industry Expert ■ NDS Roadmap ■ Specification and Tools ■ Presentations of NDS Applications ■ Business Lunch and Demonstrations ■ Wrap-up and Final Remarks

OADF 會議與 NDS 公開研討會中，皆邀請到產業界的專家帶來一系列的專題演講，NDS 公開研討會更是將主題聚焦在高精地圖的重要性，同時 OADF 會議中也介紹國際自駕車的相關組織，推廣各自未來的活動與計畫，

NDS 公開研討會則介紹 NDS 的發展歷程與未來方向，並且說明相關標準、工具以及應用，以下彙整與本案後續發展有高度相關的議題進行分享。

■ NDS

NDS 的資料模型包含了資料語意（各種資料分類）、儲存格式 (SQLite)、溝通介面及傳輸協定，因此 NDS 標準並不僅涵蓋高精地圖的資料格式，從產業平台、雲端到自駕車端之應用層、自動輔助駕駛、自動駕駛、資料儲存、傳輸介面、通訊協定等皆有涉略，並期待成為產業界的全球標準。



圖 4.3 NDS 之定位（擷取自 NDS 簡報檔）

■ SENSORIS

SENSORIS 是一個自駕車感測器與雲端之間傳遞資訊的全球性標準介面，由 ERTICO-ITS Europe 管理，這個標準介面使得汽車製造商，位置資訊與服務供應商、自動輔助駕駛服務供應商、導航系統供應商、電信與雲端架構供應商及感測器供應商可與車輛傳遞雲端資訊服務。除了動態地圖、高精地圖相關標準以外，也可持續關注此傳輸介面之標準，因其架構包含資料傳遞之資料內容規格、使用情境、資料內容、資料更新及可攜性。無論發展哪一種雲端資訊服務，例如具有低延遲需求的即時交通資訊、高精地圖資料更新、周遭感測資料等，都須仰賴雲端資訊服務或資料傳遞，對於發展雲端服務而言是不可或缺的標準。

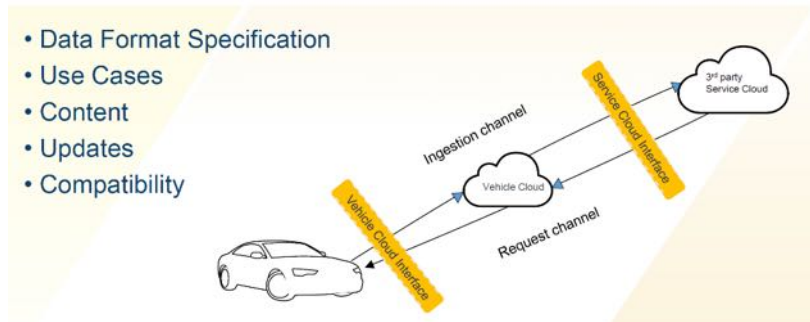


圖 4.4 SENSORIS 之定位 (擷取自 SENSORIS 簡報檔)

■ OpenDRIVE

由德國 VIRES 基於車輛駕駛模擬需求開始發展 OpenDRIVE，並進行道路路網之設計，在 2006 制定 OpenDRIVE 開放資料格式，至今已為許多自駕車地圖廠商所採用。OpenDRIVE 是公開且適用於自駕車用高精地圖的交換標準，並於 2018 年轉移給 ASAM 持續開發管理。今年的 OADF 會議就由 ASAM 的代表前來介紹 OpenDRIVE。OpenDRIVE 主要內容為透過 XML Schema 定義道路之車道、車道標線、道路設施及交通號誌之相關內容，使得不同車廠之間可具有共同標準。簡介包含了 OpenDRIVE 目前版本 1.5，以及未來將朝向 OpenDRIVE 2.0 邁進，將包含新的道路路網 features。並將增加更多模型描述之參數，減少重複性的定義以及不一致之模型，讓 OpenDRIVE 與其他標準盡可能一致。ASAM 亦有提到，可能會釋出相關 tools 供會員使用。

OpenDRIVE

- OpenDRIVE: Open Dynamic Road Information for Vehicle Environment
- File format for the **description of road networks**.
- Initiative started in 2006 by Daimler and VIRES.
- Used for simulators in the area of
 - Driving simulation
 - Traffic simulation
 - Sensor simulation
- Based upon XML and a hierarchical data model.
- Basic elements:
 - Roads
 - Junctions
 - Controller
- Not covered: entities acting on or interacting with the road network.

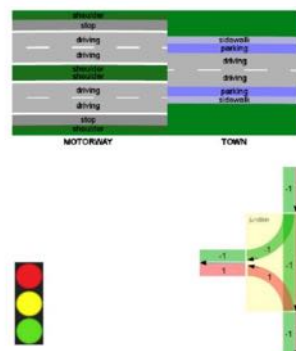


圖 4.5 OpenDRIVE 之定位 (擷取自 OpenDRIVE 簡報檔)

■ ADASIS

ADASIS AISBL 是一個非營利性的國際組織協會，最初的前身稱作 ADASIS Forum，論壇的成員包括汽車製造商、ECU 供應商、導航系

統和圖資供應商。其核心任務是使得 ADAS 和自動駕駛系統可以取用車輛前方的先進駕駛輔助系統地圖資料(ADAS Horizon)。ADASIS AISBL 開發了先進駕駛輔助系統的工業標準介面，用以記錄並且傳輸 ADAS Horizon，定義 ADAS Horizon 與 ADAS 及自動駕駛系統之間的通信協議及規範。ADASIS 認為這個標準可推動自動駕駛系統的開發及部署，在自駕車產業亦是相當重要的一個標準，而此系統是建構在 ADAS Horizon 之上。ADASIS 於 2018 年推出了最新的 ADASIS v3.0 規範，可支持更高精度且更細緻的高精地圖，以提供地圖及動態資訊來實現自動駕駛。基於高精地圖的先進駕駛輔助系統，根據研究顯示，可顯著降低燃料消耗和二氧化碳排放，並提高車輛安全性。

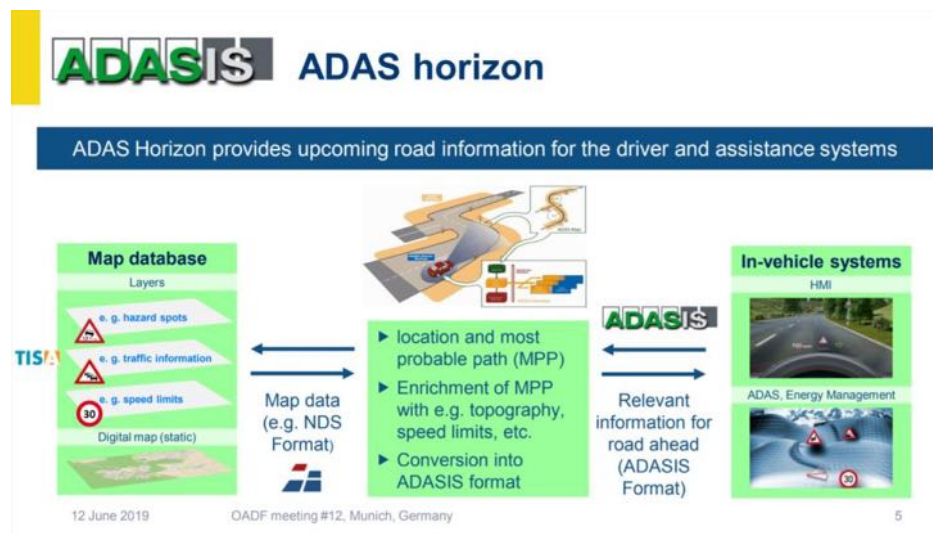


圖 4.6 ADAS Horizon 概念 (擷取自 ADASIS 簡報檔)

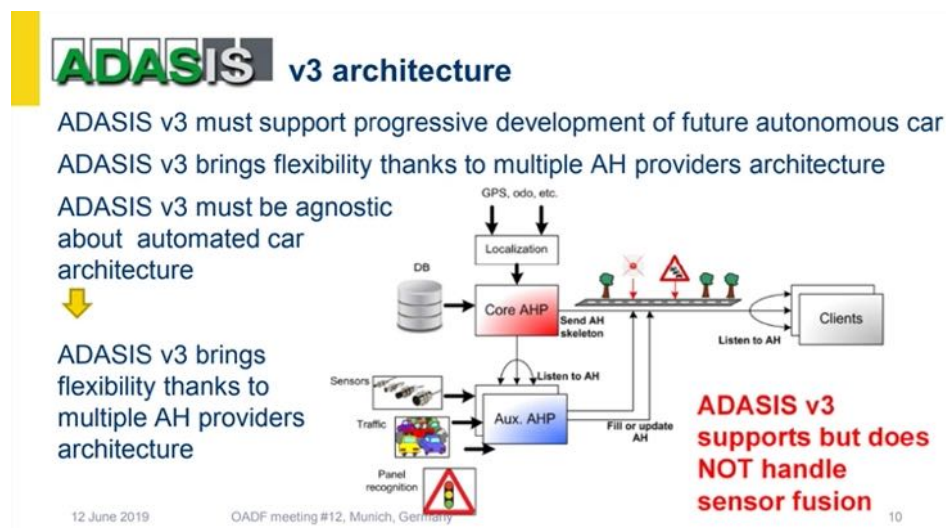


圖 4.7 ADASIS v3.0 架構 (擷取自 ADASIS 簡報檔)

這標準提供工業標準之傳輸介面，並將高精地圖及動態資訊整合包裝後傳遞給自駕車上的自動駕駛輔助系統，對於業界開發相關應用而言，可降低不少成本，目前 v2.0 的推動及測試驗證是成功的，日本 SIP 亦有採用 ADASIS 的標準進行測試。因此，值得關注 ADASIS 後續發展。

■ SIP-adus

日本為研發並且推動自駕車產業，於 2014 年成立 SIP-adus 計畫 (Cross-Ministerial Strategic Innovation Promotion Program Innovation of Automated Driving for Universal Services)，以國家重點政策大力推動自動駕駛系統相關技術研究。降低交通事故死亡率為 SIP-adus 之首要任務，期望運用自動駕駛系統來支援駕駛者降低事故與遠離危險，以達成日本設定降低車禍死亡率、創造新服務讓日本的汽車工業更具競爭性、因應 2020 年東京奧運實現並商業化下一代之都市交通系統等目標。

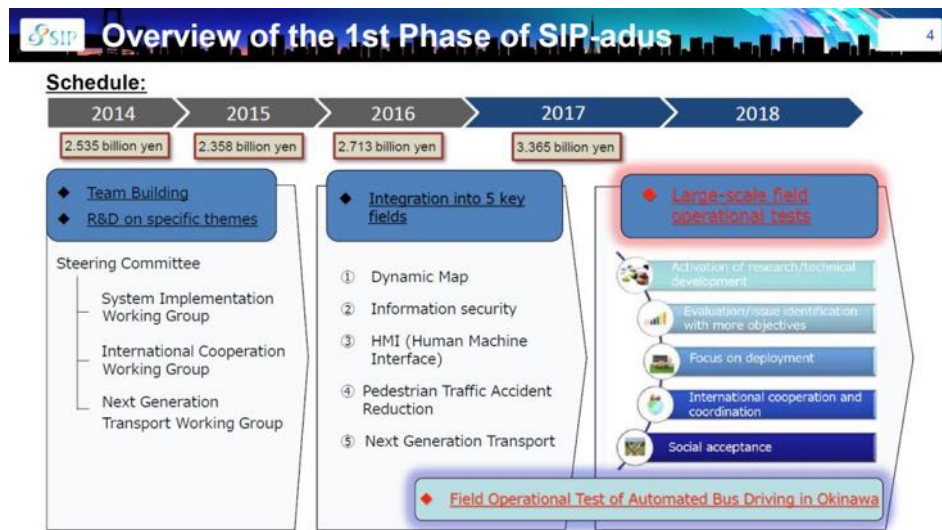


圖 4.8 SIP-adus 第一階段架構 (擷取自 SIP-adus 簡報檔)

Test Participants:

For a wide variety of people including overseas OEM, parts and system suppliers, universities, research organizations and venture companies.

Period:

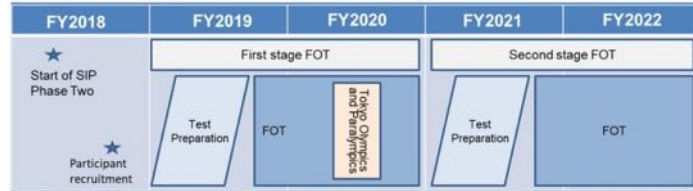
1st stage field operational test (2019 to2020)

➢ Field tests of necessary cooperative infrastructure technologies to achieve level 4 autonomous driving on freeways and ordinary roads.

2nd stage field operational test (2021 to 2022)

➢ Modifications to the cooperative infrastructure technologies that came to light in the 1st stage FOT
 ➢ Field operational testing for new R&D issues in preparation to establish a test environment for the legacy cooperative infrastructure system

Schedule



*There is the possibility the FOT will not take place during the Tokyo Olympics and Paralympics.

圖 4.9 SIP-adus 第二階段測試架構（擷取自 SIP-adus 簡報檔）

日本先針對駕駛輔助系統進行開發，並應用於一般道路與高速公路來進行實作，後續進行 Level 2 的半自動駕駛系統，最終朝向 Level 3 至 Level 4，期望於 2030 年邁向全自動駕駛系統。

■ 韓國自駕車發展

韓國為推動自駕車產業，亦是投資相當多資源，並與業者結合推動自駕車相關技術研發。由韓國交通安全管理局(Korea Transportation Safety Authority, KOTSA)轄下之韓國汽車檢測研究院(Korea Automobile Testing & Research Institute, KATRI)負責規劃建置位於京畿道華城的自駕車測試場域 K-City，占地約 36 萬平方公尺，相較於美國密西根大學與密西根交通局 (Michigan Department of Transportation, MDOT)的自駕車測試場域 M-city，約為其 3 倍，可謂全世界最大的自駕車測試場域。

韓國國土交通部 (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, MOLIT)計畫投入投資 125 億韓圓（約 1,100 萬美元），該場域已於 2017 年 8 月 30 日舉行動土儀式，預計 2019 年 9 月完工開放，為全球第一座搭載 5G 網路的場域，包括了收費站、十字路口、平交道、斑馬線等 35 種模擬場景，且具備真實道路的測試車道，如高速公路、公車專用道及自行車道。

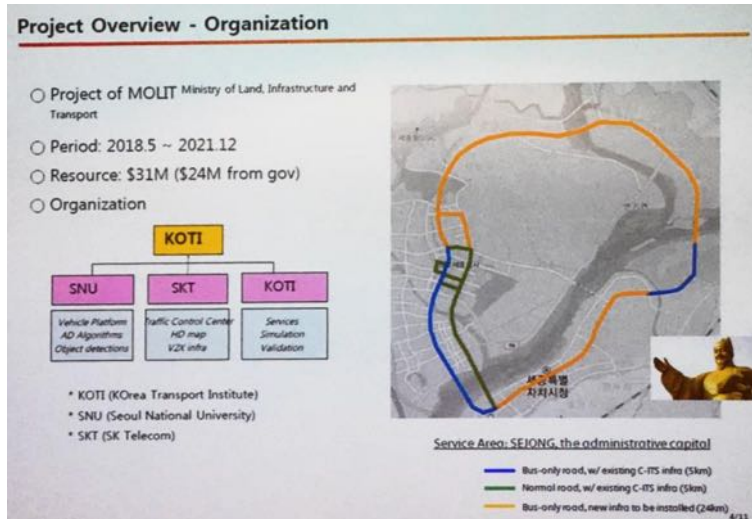


圖 4.10 韓國計畫架構 (擷取自韓國交通部簡報檔)

另一方面，本團隊透過與 NDS、ADASIS 以及 DMP 進一步的接觸，現階段取得 NDS 入會的學術版合作契約以及 ADASIS 入會的申請資料，作為先期評估之參考資料，同時自 2017 年 8 月起，本團隊也多次受邀參與內政部地政司與 DMP 之合作意向協調會，從中了解 DMP 運作的商業模式，並對二國針對高精地圖技術與產業合作模式提出建議，未來將視協議落實進度再納入與 DMP 合作事項。

同時因應測繪產業與高精地圖圖資的更新速度及我國目前自駕車測試平台快速相容需求，並解決企業間對於圖資採集和產製方法、資料通用性以及兼容性等問題，本團隊透過 OADF 實際蒐集相關資訊和文件，除了協助讓我國自駕車產業與國際鏈結外，更希望對未來的政策推動、技術開發和學術研究提供實質的方向。

第五章、試驗場域自駕車用地圖圖資服務

5.1 依內政部需求維護沙崙、水湳試驗場域自駕車用地圖圖資

基於本團隊 107 年度參與經濟部工業局專案計畫—「高精地圖資料檢核驗收」執行期間所累積的豐富經驗，熟稔臺南沙崙、臺中水湳試驗場域之高精地圖圖資與現地情形，並且於去年度針對現場檢核施測與向量檢核，因此，今年度依內政部需求維護沙崙試驗場域之高精地圖圖資，並遵守國土測繪法之規定，委託詮華依據「高精地圖製圖作業指引」進行沙崙試驗場域之資料蒐集並繳交光達點雲成果。

維護的工作主要在於圖資內容參照本案建立之最新「高精地圖圖資內容標準」，產製符合標準的沙崙試驗場域高精地圖，確實更新圖資內容，作為後續應用與介接之靜態底圖。

根據詮華所提供的沙崙試驗場域更新圖資，點雲成果如圖 5.1，並參照「高精地圖圖資內容標準(草案)」之圖層項目交付 3D 向量圖檔，圖層成果如圖 5.2。本團隊參照本案建立之「高精地圖驗證指引」驗證點雲密度以及向量物件範圍及形狀是否正確，同時檢查絕對或相對位置精度，平面位置較差是否小於 20 公分、三維較差小於 30 公分，最後完成高精地圖檢核作業以及撰寫報告書，相關內容詳見附錄五。

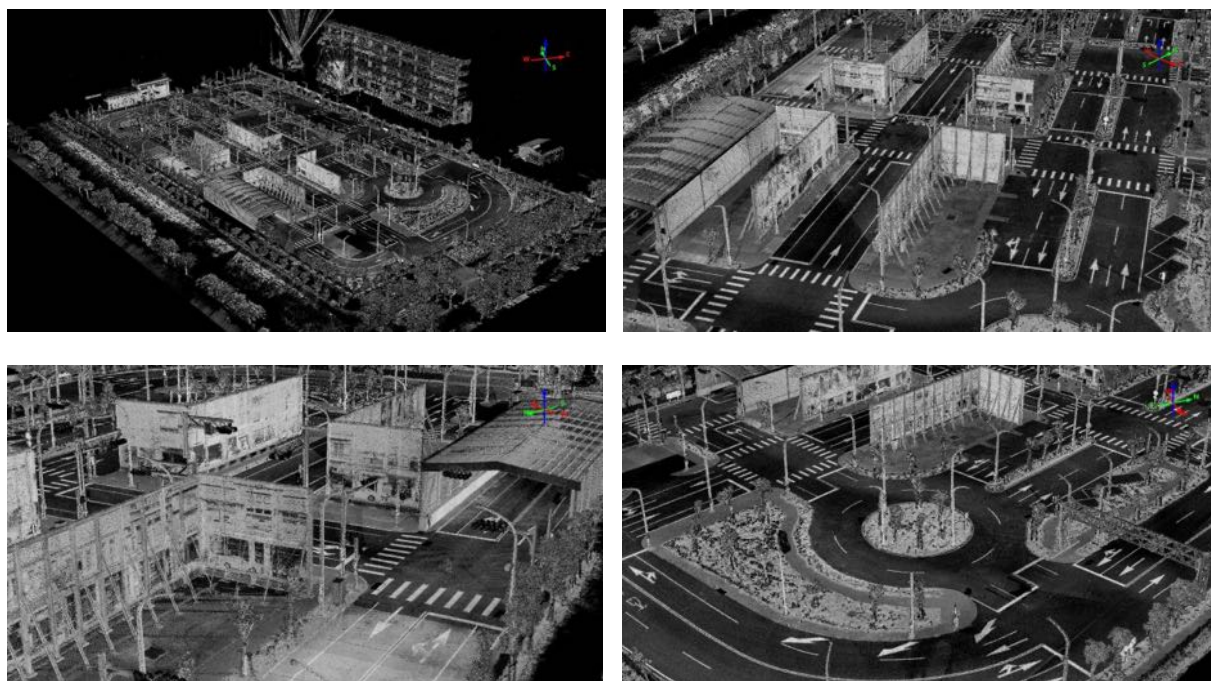


圖 5.1 沙崙試驗場域之點雲成果

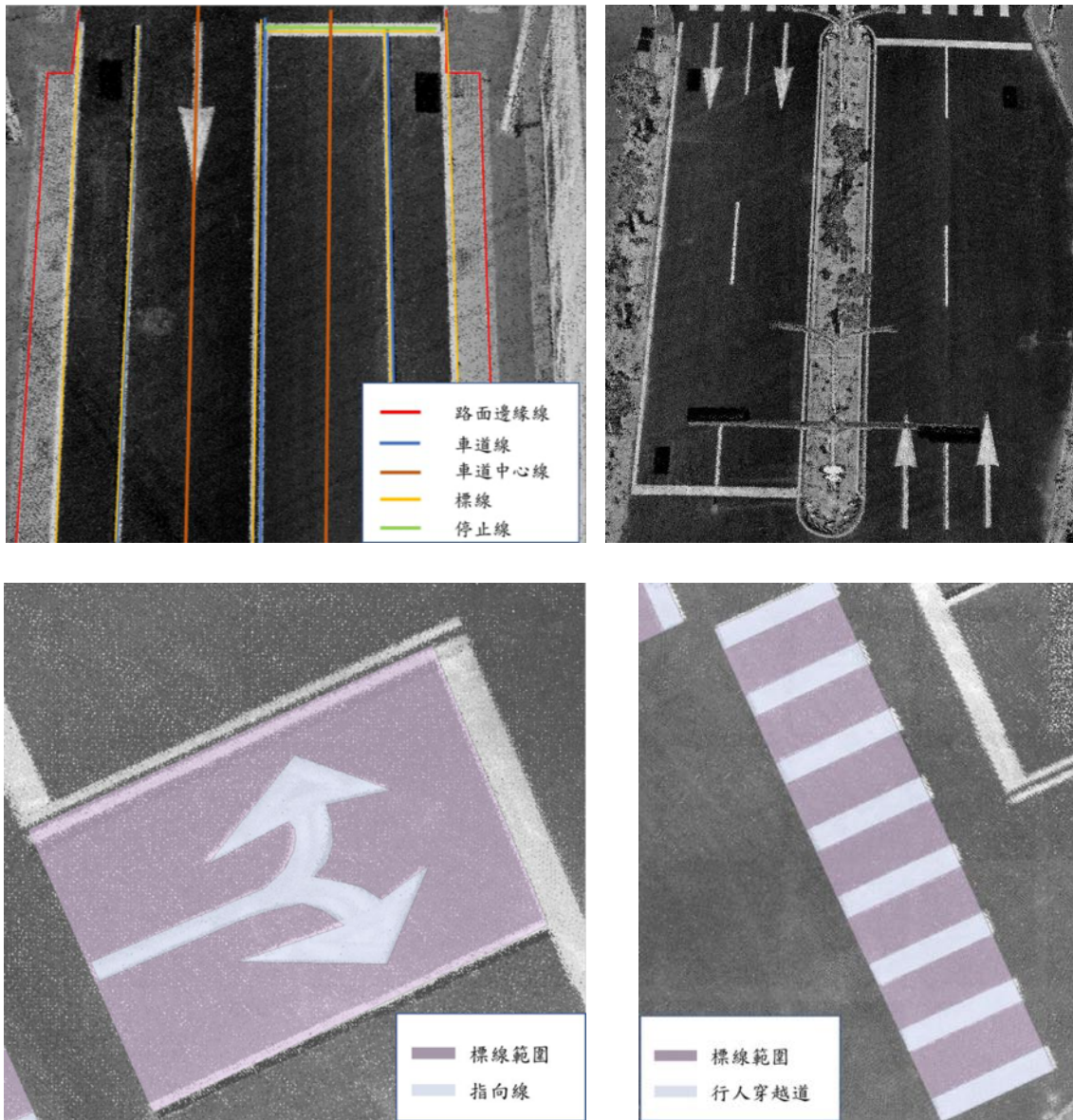


圖 5.2 沙崙試驗場域之向量圖層成果

根據沙崙試驗場域之點雲資料，以 1×1 平方公尺為單位進行點雲密度計算，並擷取測區範圍內道路邊緣線向外沿伸一公尺之範圍，檢核成果之數據統計成果如表 5.1 所示，由此可知不合格的比例小於 5% 的要求規格，故點雲密度檢核合格。

表 5.1 點雲密度計算成果

總格數	合格格數 (大於 1.0/cm ²)	不合格格數 (小於 1.0/cm ²)
10936	10563	373
<ul style="list-style-type: none"> ■ 每一格面積為 1×1 平方公尺 ■ $\frac{\text{不合格格數}}{\text{總格數}} = \frac{373}{10936} = 0.0341 = 3.4\%$ 		

針對路面邊緣、車道線、中央分隔島、車道中心線、停止線、指向線、行人穿越道以及標誌、號誌、燈號、桿量測位置比較之較差，示意圖如圖 5.3，沙崙試驗場域之向量圖層幾何精度皆通過檢核。

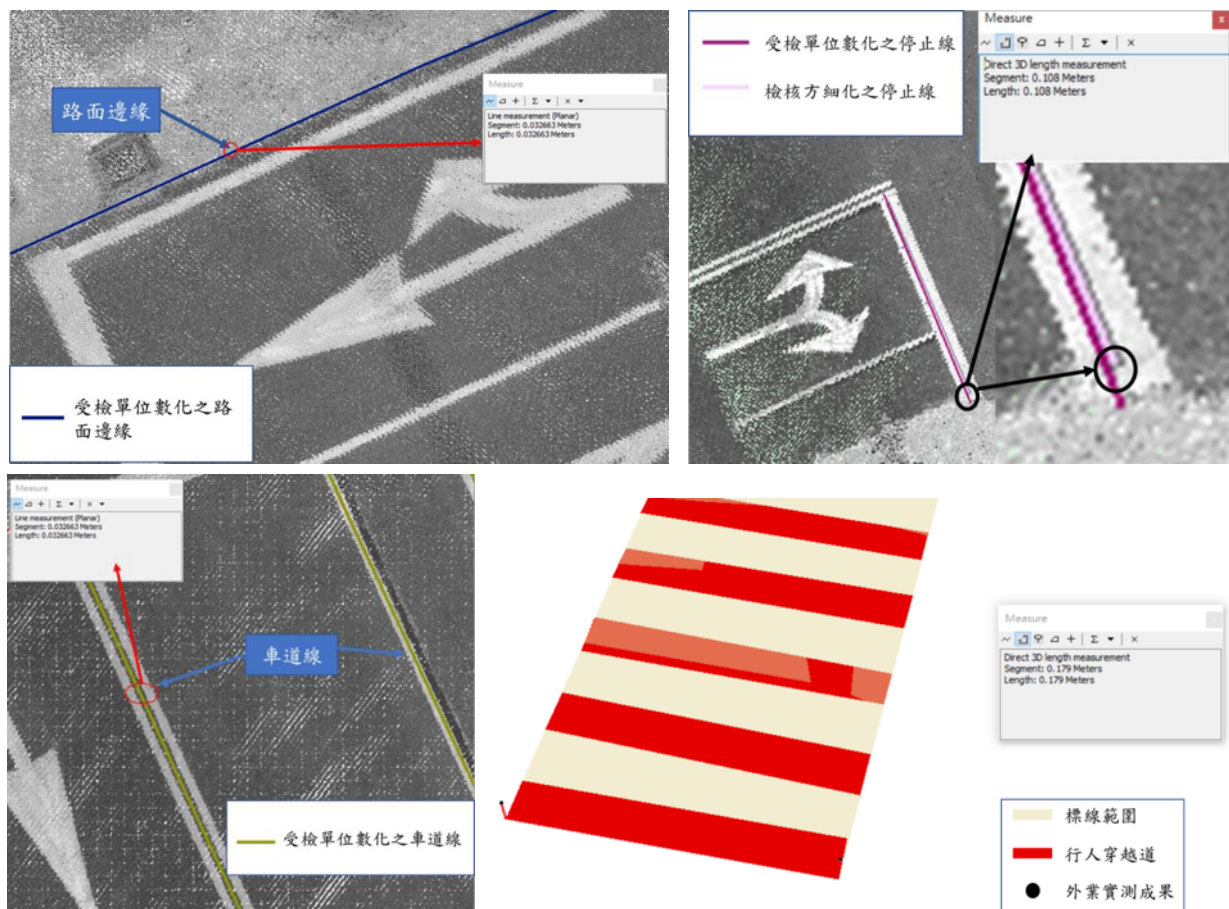


圖 5.3 沙崙試驗場域之向量圖層檢核示意圖

5.2 提供試驗場域自駕車用地圖圖資諮詢服務

本案設置專業人員提供試驗場域高精地圖圖資諮詢服務，即時解答相關業者與單位對於高精地圖圖資相關問題，可有效推廣高精地圖並統一窗口，避免資訊不一致之情形發生。

同時本案針對沙崙試驗場域符合規格的高精地圖，提供給莊老師研究團隊、宏碁團隊以及 MSC Software Taiwan 分別進行自駕車系統與模擬平台測試，透過有效運用資源的合作模式，持續修正高精地圖之實用性，在此之前，本團隊多次辦理討論會議提供專業的圖資諮詢、介接協助與媒合服務，具體討論內容如表 5.2，而相關會議紀錄詳見附錄六。

表 5.2 諮詢服務之討論會議內容

日期	與會單位	討論內容與說明
108 年 1 月 25 日	成大測量系、宏碁、經緯航太	共同交流圖資供需內容
108 年 3 月 12 日	地政司、成大測量系、成大電機系、詮華國土	共同交流圖資供需內容
108 年 3 月 28 日	成大測量系、成大電機系	共同討論圖資格式
108 年 4 月 11 日	地政司、成大測量系、宏碁、經緯航太	共同討論圖資格式
108 年 8 月 6 日	成大測量系、成大電機系、詮華國土、興創知能	共同討論圖資與自駕車系統之介接機制
108 年 9 月 2 日	成大測量系、MSC Software Taiwan	共同討論圖資格式
108 年 10 月 4 日	成大測量系、MSC Software Taiwan	共同交流虛擬平台運作架構
108 年 10 月 22 日	成大測量系、MSC Software Taiwan、詮華國土	共同討論圖資與虛擬平台之介接

5.3 本章小結

對於「依內政部需求維護沙崙、水湳試驗場域自駕車用地圖圖資」之工作項目，本團隊如實遵照內政部需求進行沙崙試驗場域之高精地圖圖資維護，詮華參照「高精地圖圖資內容標準(草案)」之圖層項目交付 3D 向量圖層成果，而本團隊也依「高精地圖驗證指引」檢核點雲密度和向量圖層幾何精度，其成果皆通過驗證。

對於「提供試驗場域自駕車用地圖圖資諮詢服務」之工作項目，本案設置專業人員針對沙崙試驗場域提供專業的圖資諮詢以及媒合相關的測繪服務，今年度主要針對莊老師研究團隊、宏碁團隊以及 MSC Software Taiwan 分別進行自駕車系統與模擬平台測試，透過有效運用資源的合作模式，持續修正高精地圖之實用性並且加速介接機制之完整性。

第六章、自駕車用地圖與移動載台感測器驗證服務

地政司與成功大學自 101 年起，著手針對多平台製圖技術和臺灣環境條件陸續建置多平台製圖系統測試與率定實驗室，並持續發展國內的標準測試與率定程序及精度規範，免費提供國內廠商和業主進行設備系統規格測試與分析，同時持續推廣相關的測試與率定服務(江凱偉等人，2016)，如圖 6.1 所示，相關功能與資訊如表 6.1。受測系統可於成功大學歸仁校區所設置的室外測試場，進行直接地理定位時 GNSS 接收機、慣性測量儀與光達、相機之間軸角與固定臂的率定，並且透過全系統動態影像拍攝、光達掃描與檢核點量測可驗證全系統直接地理定位之精度。這些率定與測試設備除了可以提供測繪業之影像或光達測繪車使用之外，未來自駕車也可以使用這些設施來確保定位效能及行車安全，同時本團隊也持續推廣相關的測試與率定服務，如圖 6.2 所示。

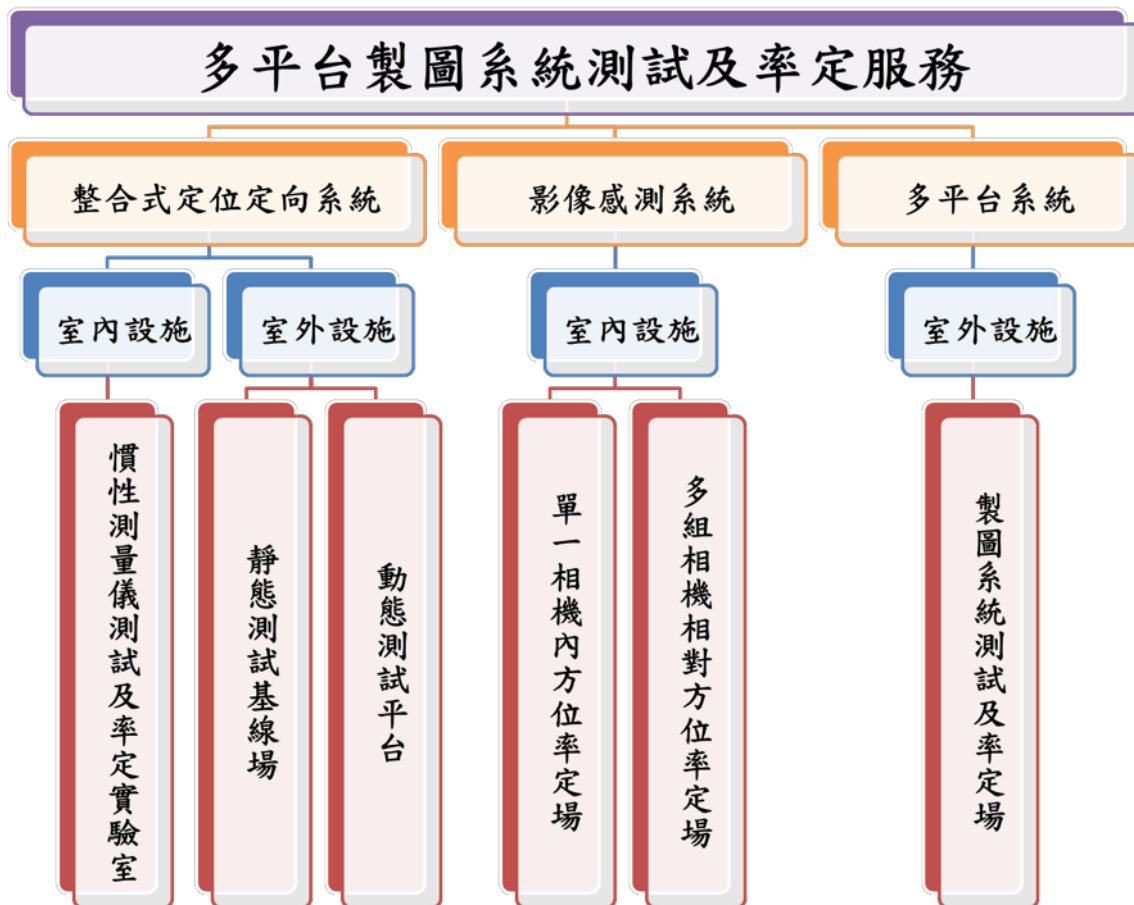


圖 6.1 多平台製圖系統測試與率定服務架構

01 慣性測量儀測試率定實驗室

- 位於成功大學測量及空間資訊學系系部一樓。
- 減低建築振動效應。
- 提供恆溫空調。
- 嚴對重力點及真北方向已知。
- GNSS訊號室內播發設備。
- 高精度雙軸率定轉台。
- 高精度單軸旋性加速度平台。
- 精密溫度櫃。



高精度雙軸率定轉台

測試項目	測試場之精度規格	攝影機地大小
陀螺儀原位偏移	0.001"/hr	15 m ²
加速度計原位偏移	10 ug	
陀螺儀原位偏移穩定性	0.00001"/hr	
加速度計原位偏移穩定性	1 ug	
陀螺儀尺度因子穩定性	0.1 ppm	
加速度計尺度因子穩定性	0.1 ppm	
軸交誤差	0.000001°	
方位角	0.001°	
滾轉	0.0005°	
俯仰	0.0005°	
經度	0.1 cm	5000 m ²
緯度	0.1 cm	
機球高	0.1 cm	
北速度	0.001 m/s	
東速度	0.001 m/s	5000 m ²
垂直速度	0.001 m/s	

02 靜態測試基線場

- 設置有五個基標。
- 機械高標度位置坐標與航向。
- 方位角透過e-GPS基站為主站之靜態測量測定。

MMS 多平台製圖系統測試與率定實驗室

多平台製圖系統測試及率定實驗場



測試項目	測試場之精度規格	攝影機地大小
方位角	0.0003°	5000 m ²
滾轉	0.0001°	
俯仰	0.0001°	
經度	0.5 cm	5000 m ²
緯度	0.5 cm	
機球高	0.5 cm	5000 m ²
北速度	0.000001 m/s	
東速度	0.000001 m/s	
垂直速度	0.000001 m/s	

03 動態測試平台

- 專屬定位定向系統動態測試平台。
- 動態精度驗證方式為IEEE與美國導航學會推薦。

測試項目	測試場之精度規格	備註
方位角	0.001°	無GNSS訊號服務，使用輪速計
滾轉	0.0005°	
俯仰	0.0005°	
經度	5 cm	
緯度	5 cm	
機球高	5 cm	
北速度	0.001 m/s	
東速度	0.001 m/s	
垂直速度	0.001 m/s	
方位角	0.0015°	
滾轉	0.0008°	
俯仰	0.0008°	
經度	10 cm	GNSS訊號服務60秒(瞬)，使用輪速計
緯度	10 cm	
機球高	10 cm	
北速度	0.02 m/s	
東速度	0.02 m/s	
垂直速度	0.02 m/s	



動態測試平台

04 單一相機內方位率定場

- 設置有高密度人造標。
- 可適用高畫幅與高變何強度之空拍攝影。
- 依照率定程序可避免參數高相關問題。
- 採用原理為附加參數自率光率法平衡。

測試/率定項目	測試場之精度規格	攝影機地大小	
內方位參數	x_p	0.001 mm	6.85 + 4.60 + 2.67 m ²
	y_p	0.001 mm	
	c	0.001 mm	
	K_1	1.e - 07	
附加參數	K_2	1.e - 10	6.85 + 4.60 + 2.67 m ²
	K_3	1.e - 13	
	P_1	1.e - 07	
	P_2	1.e - 07	
	B_1	1.e - 06	
	B_2	1.e - 06	
相對精度	1:150,000		
絕對精度	0.02 mm		

05 多組相機相對方位率定場

- 採用在任率定法(On-the-job calibration)率定內方位。
- 同時率定外方位參數，進而率定相機間之相對方位。
- 根據不同影像系統設計可以彈性調整人造標分布，或不同大小之人造標，以獲得高強度的攝影空拍會集何。

測試/率定項目	測試場之精度規格	攝影機地大小	
相對位置	DX	1 mm	6.85 + 4.60 + 2.67 m ²
	DY	1 mm	
	DZ	1 mm	
相對旋轉角	Omega	0.01°	6.85 + 4.60 + 2.67 m ²
	Phi	0.01°	
	Kappa	0.01°	

06 多平台製圖系統測試率定場

- 位於成大轉仁校區。
- 符合影像式與光達式測繪率定之率定與精度檢驗需求。
- 採地面雷射掃描儀、搭載靜態GNSS觀測、量測三維點雲中任意點雲作控制點或檢核點。

測試/率定項目	測試場之精度規格	攝影機地大小		
IMU-相機固定角	DX	1 cm	1 km ²	
	DY	1 cm		
	DZ	1 cm		
IMU-相機轉角	Omega	0.03°		1 km ²
	Phi	0.03°		
	Kappa	0.03°		
真捷定位	東(2度 TM)	1 cm	1 km ²	
	北(2度 TM)	1 cm		
	正高	1 cm		



國立成功大學 測量及空間資訊學系
 地址：70101 台南市東區大學路1號
 電話：(06)275-7575 EX 63833-812
 電子信箱：lmirochang@gmail.com
 http://mms.geomatics.ncku.edu.tw

測量及空間資訊學系

MMS

Mobile Mapping System

We are mapping the future

多平台製圖系統 率定實驗室

圖 6.2 多平台製圖系統測試與率定設施

表 6.1 測試與率定實驗室之說明

名稱	適用儀器	功能及相關資訊	場地位置
整合式定位定向率定場	INS/GNSS	利用高精度雙軸率定轉台進行測試與率定，搭配恆溫空調以確保儀器之精度與設備的穩定性，可提供精確陀螺儀和加速度計的率定成果。	國立成功大學 測量及空間資訊系館
單一相機 內方位率定場	相機	率定場內所建置的可旋轉圓盤上均勻佈置了不同高度的木柱與 Australis 人造標，所產生的三度空間可以提高焦距率定之精度，透過旋轉圓盤進行拍攝可率定相機的內方位參數。	國立成功大學 測量及空間資訊系館
多組相機 相對方位率定場	相機	立方體率定場的四面牆及天花板與地板均勻貼附 Australis 人造標，為了增加光束法平差中多組相機間的基線長度與網形強度，可選擇 8 個不同平面位置及 2 個不同高度進行拍攝，除了可率定相機間精準之相對方位外，亦可達到內方位之率定。	國立成功大學 測量及空間資訊系館
多平台 室外率定場	INS/GNSS 與相機之 整合系統	於室外率定場可進行直接地理定位時 IMU 與相機之間軸角與固定臂的率定，並且透過影像拍攝與檢核點量測可驗證直接地理定位之精度。	國立成功大學 (歸仁校區)

6.1 自駕車用地圖精度驗證服務

如前所述，本團隊將設置專業人員提供試驗場域高精地圖圖資諮詢服務，除了即時解答高精地圖圖資相關問題外，也會透過本案建立並推廣高精地圖的精度驗證服務，目前針對委託詮華所測製的適地性服務試辦區及沙崙

試驗場域圖資，本團隊依據「高精地圖驗證指引」已完成檢核，詳見第五章內容。

另一方面，本團隊配合內政部需求，針對中興新村場域圖資提供初步的驗證與建議。

6.2 維護多平台製圖技術測試與率定設施、車載及影像感測器之儀器率定服務

多平台製圖系統廣泛應用於國內各領域的專案和工作案中，而多家業者單位對於相關系統之規格與精度驗證只能依賴原廠型錄所提供之規格，然而這些數據都是由國外原廠自行測試的成果，並未明確說明測試與率定的環境條件及作業流程，這對業主與國內廠商皆具備相當大之風險。因此，地政司與本團隊過去積極發展測試與率定設施和程序，除了推動「車載製圖系統作業手冊」，並建立標準作業流程與提供專業的率定服務，可確保系統穩定度與測繪成果之精度。本團隊自 101 年度至目前為止提供至少十五家國內業者進行相關的技術諮詢，並且協助測試與率定服務，單位清單如表 6.2 所示。

表 6.2 多平台製圖系統測試與率定實驗室使用單位之年份統計表

單位	整合式定位定向系統率定場	影像感測系統率定場	多平台製圖系統率定場
儀科中心	101	101	101
九晟電子	101、102		101、102
帕斯卡科技	102、103、105		102、103
自強工程	102、103	102、103	102、103、104、105
台灣國際航電	102、103、104	104	102、103、104
北極星測繪科技	102		102
經緯航太科技	101、102、103、104、107、108	101、102、103、104、105、107	101、102、103、104、105、107
日成航太	102	102	102
資訊工業策進會	103	103	103
勤崴國際科技	103、104、105	103、104、107	103、104、107
工業技術研究院 (南分院)	103		
內政部 國土測繪中心	104	104	104、105、106、107
國家中山科學 研究院	105、106、107	106、107	
邁威實業	106、107		
啟碁科技	108		

針對地政司與成功大學所建置的各測試與率定實驗室，本團隊持續進行實驗室與設備的維護作業及例行性更新。高精度雙軸轉台為慣性感測系統之測試與率定設備，今年度完成定平的校正工作，如圖 6.3 所示，根據水準氣泡進行轉台基座的調整，使水準氣泡居中，進而讓轉台位置能夠符合水平。

而針對慣性感測系統的規格檢測，採用十二位置率定法及阿倫變方分析，評估各類誤差參數是否符合規格，檢測程序如圖 6.4，根據十二位置法與阿倫變方率定流程，透過實測資料以確保測試與率定慣性感測系統中加速度計和陀螺儀的資料成果是正確的，如圖 6.5。

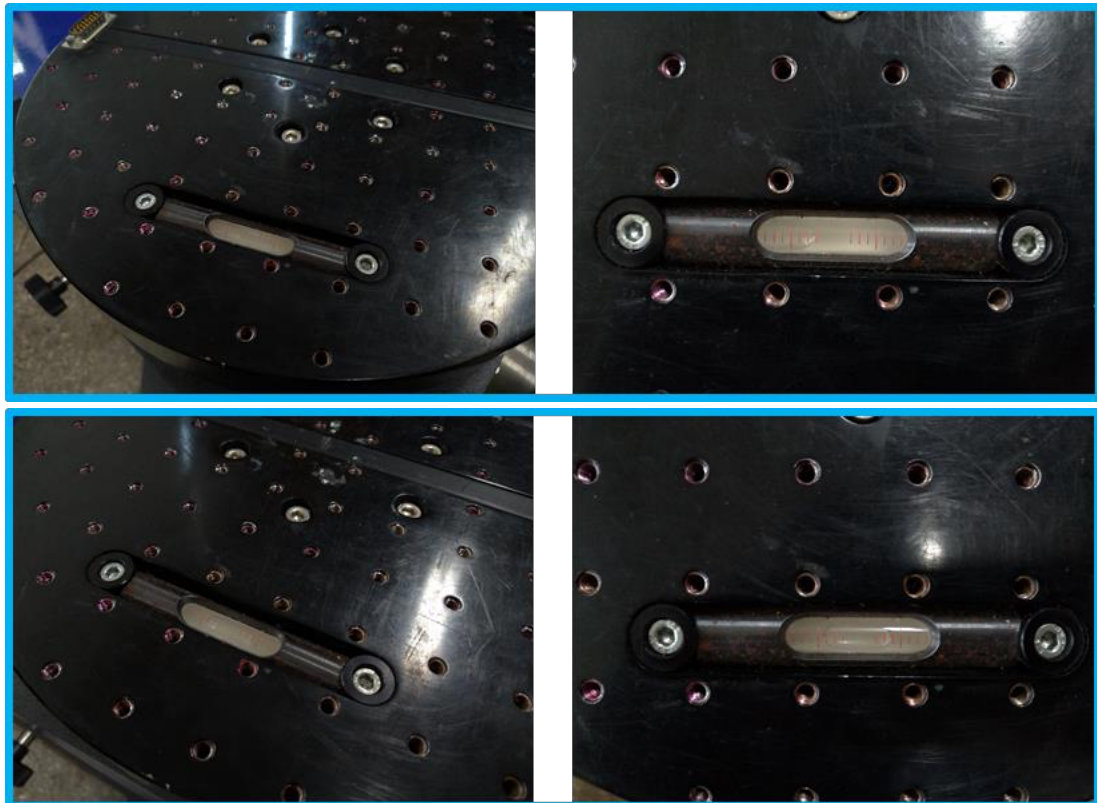


圖 6.3 高精度雙軸轉台之定平作業：（上）校正前；（下）校正後

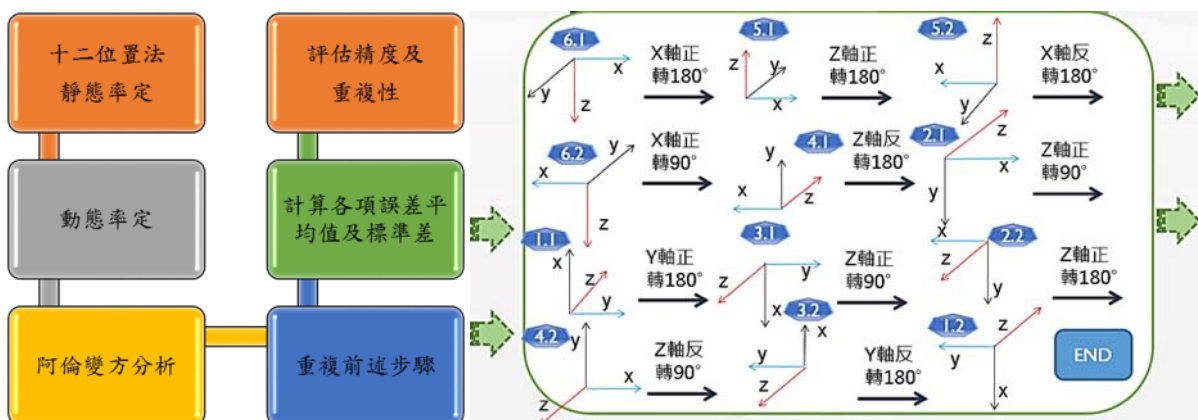


圖 6.4 慣性感測系統規格率定程序

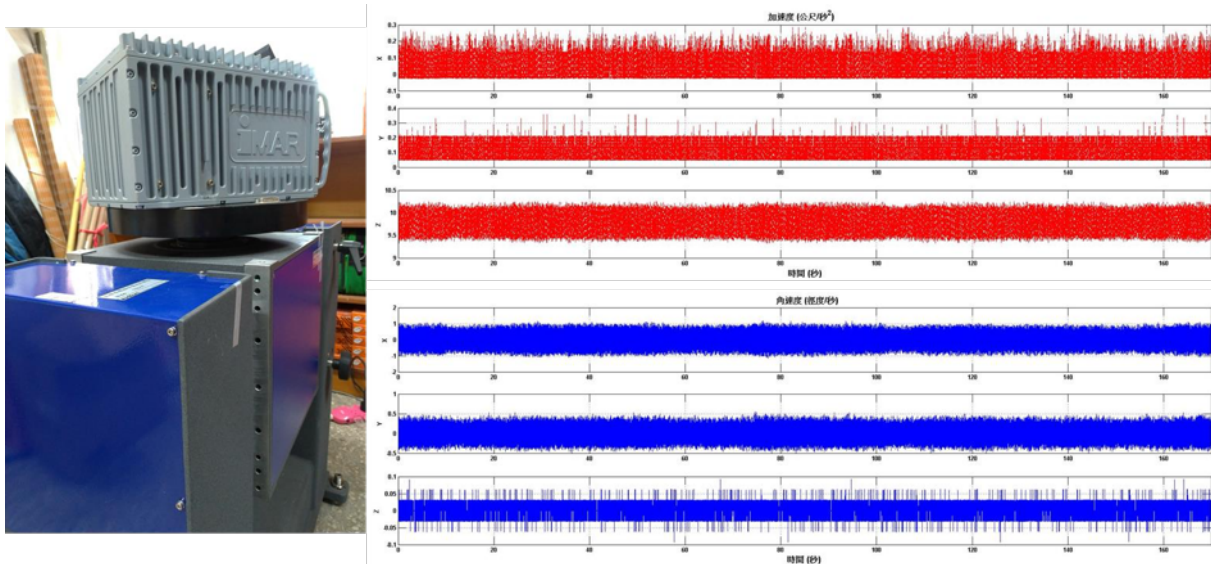


圖 6.5 慣性感測系統之實測情形與資料

本團隊所建置的慣性感測系統測試及率定實驗室，根據本案今年度的檢測項目後，測試及率定所能提供之精度規格列於表 6.3。

表 6.3 慣性感測系統測試及率定實驗室之檢測項目與規格

檢測項目		精度規格
慣性感測系統 誤差	加速度計原位偏移	10 μ g
	陀螺儀原位偏移	0.001 度/小時
	加速度計原位偏移穩定性	1 μ g
	陀螺儀原位偏移穩定性	0.00001 度/小時
	加速度計尺度因子穩定性	0.1ppm
	陀螺儀尺度因子穩定性	0.1ppm
	軸交誤差	0.000001 度
定位	經度、緯度、橢球高	0.1 公分
定向	滾轉角、俯仰角、航向角	0.000001 度
定速	北向、東向、垂直向	0.001 公尺/秒

另外針對影像感測系統所使用的相機率定場建置於成功大學測量及空間資訊學系館地下室，由於環境濕氣較重，率定場採用的木製圓盤每年都需要將木柱發霉和螺絲生鏽的狀況進行維護作業，否則會造成率定過程中，影像偵測到錯誤的特徵點，以至於降低自動辨識及量測連結點的精度，今年度除了完成相機率定場的清潔工程外，也清除圓盤上的菌斑並針對螺絲生鏽之處重新油漆，如圖 6.6 所示。

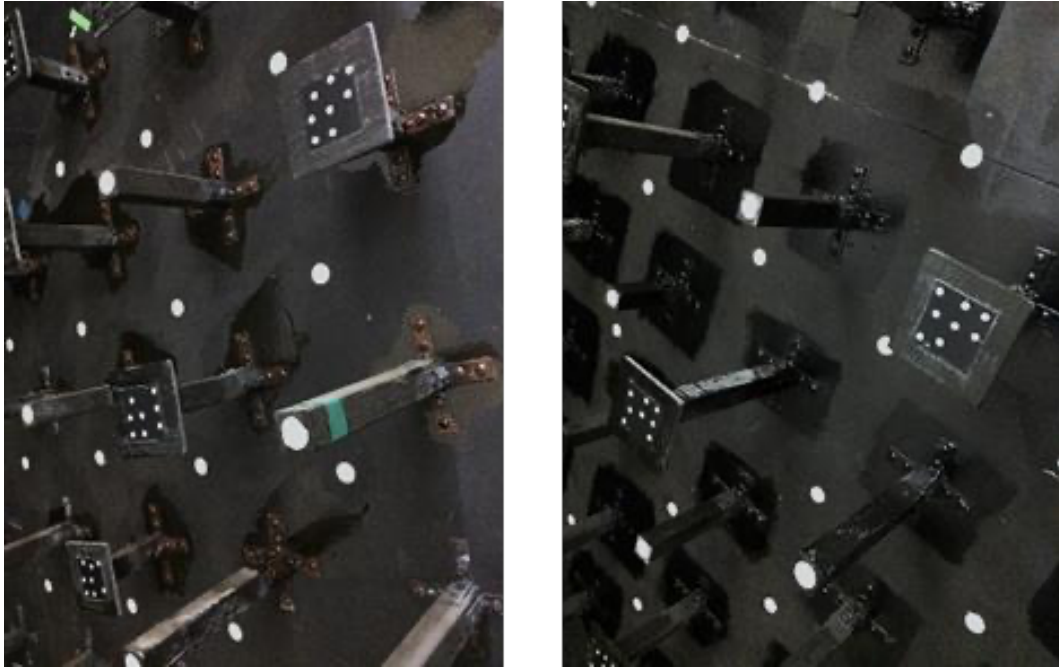


圖 6.6 相機率定圓盤之維護作業：（左）油漆前；（右）油漆後

本團隊的儀器率定服務模式基於所有專業的測試與率定實驗室，以及所建立的標準程序和紀錄表（如表 6.4），持續提供國內多平台系統測試與率定服務，透過檢查系統的運行狀況及原始資料作為精度驗證的依據，期對更多業者單位帶來實質的幫助，並且針對應用於產製高精地圖之車載移動測繪系統及光學感測器進行專業的分析與技術諮詢。

未來將參考沙崙試驗場域的建物與條件，規劃以地測與地面光達掃描牆面的檢核標，並建置全系統測試與檢核場之點雲資料庫，提供移動測繪車與群眾外包之高精地圖製圖系統（含自駕車平台）進行系統率定與定位效能評估之應用。

6.3 本章小結

對於「自駕車用地圖精度驗證服務」之工作項目，基於精度檢核的精神，本團隊依據「高精地圖驗證指引」針對詮華所測製的沙崙試驗場域圖資完成檢核，同時配合內政部需求，針對中興新村圖資提供初步的驗證與建議。

對於「維護多平台製圖技術測試與率定設施、車載及影像感測器之儀器率定服務」之工作項目，本團隊於如期完成慣性感測系統和影像感測系統的維護作業，針對高精度雙軸率定轉台的位置水平進行檢測作業，並且以實測資料查核檢測項目所提供之精度規格都能滿足高精度慣性感測系統之測試及率定需求；針對影像感測器測試及率定實驗室的部分，完成單一相機內方位率定場的圓盤維護作業。以上維護作業將確保測試與率定成果的精度，同時基於標準流程和紀錄表建立儀器率定服務模式，持續推廣供國內多平台系統進行測試與率定。

表 6.4 感測器測試與率定之紀錄表

測試日期		測試廠牌		測試型號				
序 號		測試人員						
測試項目					合格			
1.系統外觀是否嚴重破損								
2.系統連線運作是否正常								
3.衛星定位系統之原始資料檢測								
GNSS (型號：xxx)								
次數	鎖定時間 (秒)	緯度 (度)	經度 (度)	高度 (公尺)	衛星數 (顆)	PDOP		
1	60	22.99608	120.21367	45.77	11	2.3		
2								
3								
4								
5								
4.慣性感測系統之原始資料檢測								
INS (型號：xxx)								
次數	穩定時間 (秒)	加速度計 X,Y,Z 軸 (公尺/秒)			陀螺儀 X,Y,Z 軸 (度)			
1	30	0.0000	0.0002	0.0004	0.0002	0.0001	0.0001	
2								
3								
4								
5								
5.影像感測系統之內/外方位參數率定								
相機 (型號：xxx)								
內方位 參數	焦距	像主點位置		輻射畸變參數			切線畸變參數	
	f	x_p	y_p	K_1	K_2	K_3	P_1	P_2
外方位 參數	軸角							
	ω		φ			κ		
	0.0000		110.0000			270.0000		

第七章、發展移動裝置通用之室內定位技術

本團隊於民國 101 年至 107 年先後執行「多平台製圖技術工作案」與「移動載台測量製圖技術發展工作案」，自主發展各項室內定位與室內製圖核心技術並致力將此類技術推廣至空間資訊相關領域，除了傳統的空間資訊應用外，隨著適地性服務相應而生，空間資訊業者下一步目標將從戶外的廣大天地轉進至建築物內，身入其境的室內圖資可對消費者產生視覺性及情緒性的影響，發掘出更大商機。同時物聯網技術與穿戴式裝置之發展日漸普，預期結合現有多平台移動測繪技術、室內圖資建置技術、物聯網與穿戴裝置組成綿密的空間資訊應用網格將支撐適地性服務急速擴張的需求，這對深化空間資訊領域產業的發展有正面的助益。地政司及本團隊於 107 年度與故宮南院合作，完成建置一個具備擴增導覽的室內定位 APP 並提供測試，但因為展覽場域基於文物保存的需求限制了藍牙 Beacon 設置的彈性，本團隊無法基於最佳的幾何與訊號傳播條件設置藍牙 Beacon，故影響了定位的效能(江凱偉等人，2018)。

因此，本案基於 107 年度故宮南院場域的測試心得，發展人工智慧技術之室內影像匹配輔助行人慣導定位技術及室內地圖輔助之行人慣導定位技術，除進一步提升室內定位成果之外，也基於此定位技術開發更完善的適地性服務，同時加入不同的影像室內定位與地圖輔助技術，希望提供更穩定的定位效能，以提升 APP 功能供故宮南院運用。

7.1 研發應用人工智慧技術之室內影像匹配輔助行人慣導定位技術

隨著智慧型手機及穿戴式裝置的普及，與使用者位置相關之應用皆可概括於適地性服務之範疇內，因此適地性服務已成為實現智慧城市概念之熱門議題，而定位及導航為實現適地性服務不可或缺之基礎技術。現今全球導航衛星系統 GNSS 於戶外透空良好的環境已經具備高精度之定位能力。然而，在室內環境進行定位及導航，會因為訊號的遮蔽而使 GNSS 失去功能，或精度大幅減低，因此目前發展室內定位技術仍相當具有挑戰性。慣性導航系統 INS 通常可以用來彌補 GNSS 訊號受遮蔽的缺點，並普遍應用在車載或空載系統。慣性元件可以提供載體之加速度及角速度資訊，經過慣性導航動態方程式推估慣性位移與旋轉，再結合 GNSS 估計載體最佳之位置與姿態。

尤其最近智慧型手機快速地發展和普及，其配備了微機電系統(MEMS)的慣性感測器與 GNSS 晶片，而可以被應用於定位與導航。但由於 MEMS 等級之慣性感測器的價格較低廉，故精度規格較低而使誤差容易隨著時間快速累積。尤其在室內環境將失去 GNSS 的輔助，將使得誤差失去約制的外部輔助。因此，本團隊提出應用人工智慧技術之室內影像匹配輔助行人慣導定位技術，並利用 AI 技術原理，輔助行人慣導定位進一步提升位置和方向精度。

其中，PDR 是室內行人導航應用慣性感測技術最常見的方法，其運作流程如圖 7.1 所示，磁力計計算方位角，加速度計計算步數，以類似導線測量的概念利用前一個定位點的位置，與當下時刻的移動距離與方位，來推算下一個定位點，推估使用者的二維位置。因為 PDR 將三維世界簡化為二維平面，避開了加速度的積分運算，因此沒有慣性導航使用慣性積分方程式常見的重力投影問題，也沒有雜訊因積分放大的困擾。這一優勢大幅減低了 PDR 於行人導航定位的誤差，成為最常見的室內行人慣性導航方法。

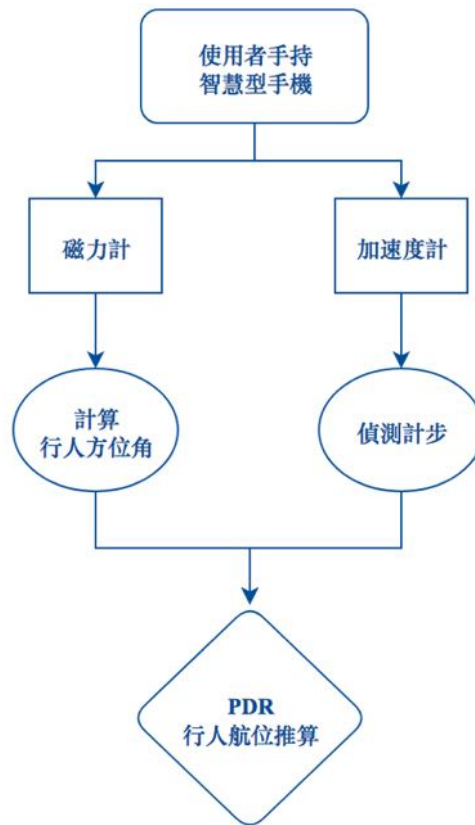


圖 7.1 PDR 流程圖

但是 PDR 的定位精度會受到上一個定位點已累積的誤差影響，使得在長時間的導航情境中，PDR 的精確度仍會隨著時間的增加而逐漸降低，使得軌跡會漸漸飄移。PDR 航向來源為磁力計，通過量測環境的磁場推估磁方位，但室內卻容易受到環境變化與磁性物質的干擾，像是常見的電子設備或高壓電路等等，使得估計的磁方位在某些時刻有突發性的誤差，或是在某些區域有常態性的偏移。

基於 107 年度故宮南院場域測試心得，磁力計在故宮南院特定區域會受到環境影響導致 PDR 計算不準確，因此本案改用陀螺儀來取得方位角，避免受到環境磁場干擾。利用 Unity 的 Input.gyro 類別，可以取得手機的姿態角，並以開啟 APP 時面對的方位為正北，進而取得方位角。

本案使用去年的 APP 與今年修改後的 APP 來進行比較，為了實驗之便利性，本團隊分別使用去年與今年的 APP 在成功大學測量及空間資訊學系系館行走正方形軌跡來做測試，圖 7.2 所示為測試結果，左邊為原始 App 的軌跡，右邊為修改後 APP 的軌跡，可以發現軌跡差異不大，修改後的 APP 只要面對正北開啟，陀螺儀就能達到和磁力計一樣的效果，並且解決磁場干擾的問題。

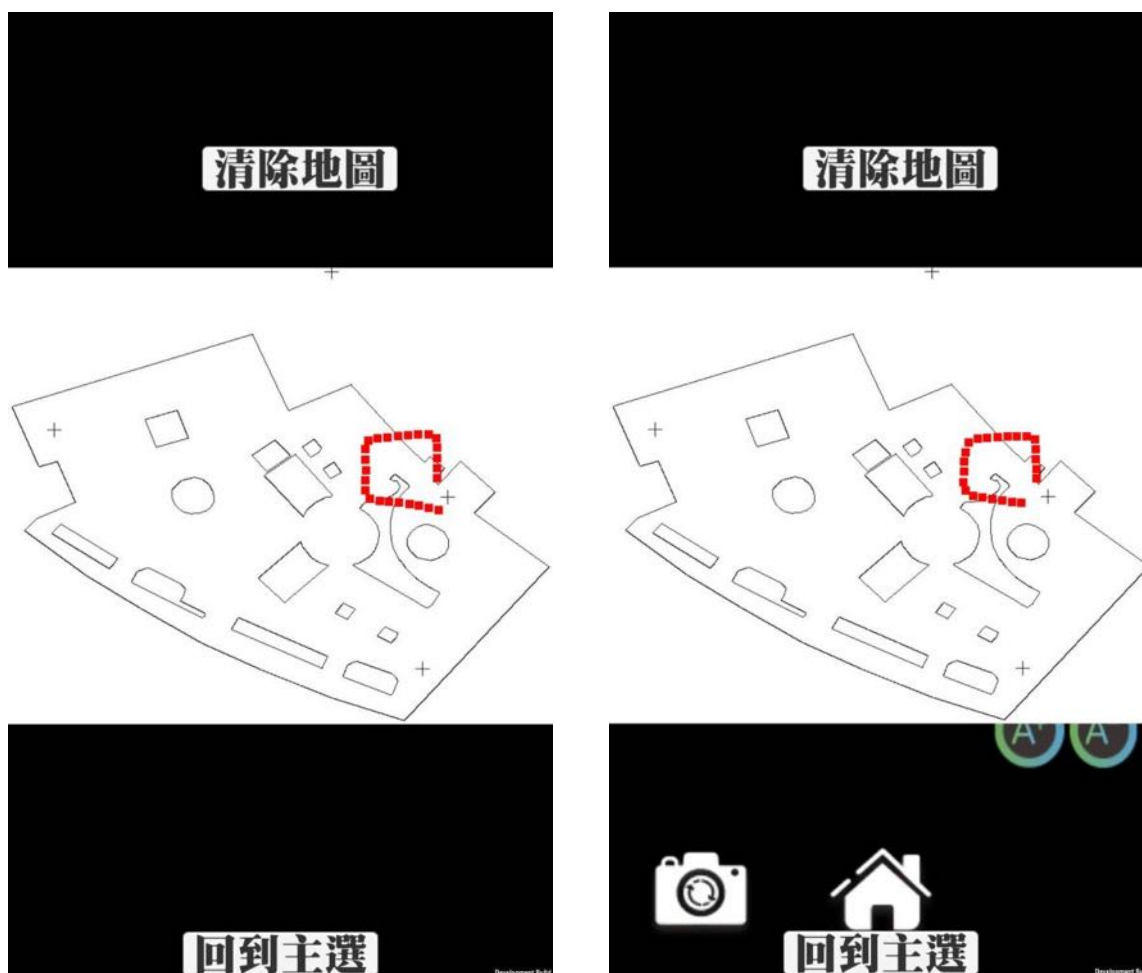


圖 7.2 分別使用磁力計及陀螺儀的測試軌跡

另一方面，PDR 本身使用的步長估計模型也是誤差來源之一，一般的步長估計模型為各種經驗公式，常常無法精確地符合不同使用者的身體特徵與行走習慣，雖然可以透過模型參數的率定和調整獲得更準確的步長，但由於模型係數的不確定性，往往產品系統的效能會比實驗系統差，且針對個案的後處理模式也不適用在即時行人導航的室內應用中。根據國外研究，不同行人間的步長變化幅度可能達到 50%，即使在行走速度相同的條件下，變化幅度仍可能達到 40%。總結來說，PDR 仍會由不精確的步長與方位估值造成類似慣性導航積分方程式中，積分加速度與角速度產生的位置誤差，隨著步伐的增加而累積。故 PDR 與慣性導航一樣需要外部的輔助資訊來約制誤差的累積，且因為慣性導航的相對定位特性，也需要外部資訊給定絕對的初始位

置與方位。因此，基於智慧型手機的慣性感測元件發展室內行人定位技術，面臨最關鍵的挑戰會是如何應用低精度的感測器，在沒有衛星定位系統輔助的室內環境中，有效減少行人運動模式所累積的誤差，達到室內導航應用所需要的精度，因此尋求整合其它室內定位技術，達到互補的效果將是有效的解決辦法之一，有效約制各感測器隨時間所產生的誤差或突發性的環境干擾，獲得最佳的定位效能。

而本團隊於 106 年度率先發展移動裝置於製圖區之影像輔助慣性定位技術，利用攝影測量空間後方單張影像交會(Space Resection)之原理，輔助慣性導航進行高精度之定位，空間後方交會之示意圖如圖 7.3 所示。後方交會使用單張影像以室內特徵點在影像上之像坐標為觀測量，而空間中之室內特徵點則由室內移動製圖系統取得，同時未知數初始近似值由手機之慣性感測器提供，最後利用最小二乘平差法求解影像之外方位參數(Exterior Orientation Parameters, EOPs)，即相機之位置與姿態。相機之姿態角與攝影中心物空間坐標為後方交會最小二乘平差欲求解的未知數，因行人手持智慧型手機的相機拍照，故相機位置亦可做為行人定位之結果。在共線方程式中，一個特徵點可以提供兩條觀測方程式，此最小二乘平差系統之未知數為六個外方位元素，因此至少需要三個以上之特徵點方可估計未知數，使用較多的多餘觀測量可以增加最小二乘平差之穩定性，得到更具可靠度的結果。由於此觀測方程式之觀測量與未知數為非線性關係，需要使用泰勒展開式進行線性化，未知數初始值將由手機感測器與慣性定位解提供。

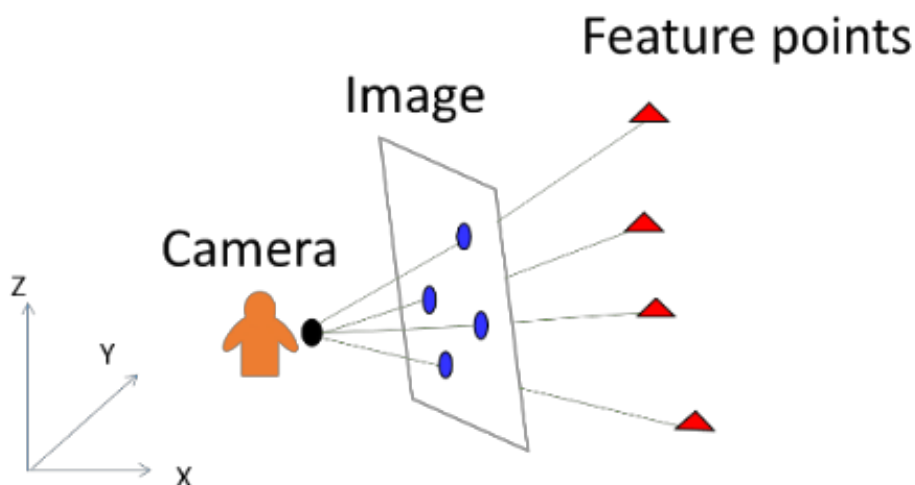


圖 7.3 空間後方交會示意圖

圖 7.4 為影像輔助慣性定位技術之實驗成果，整個實驗路線總長約為 566 公尺，其中紅色軌跡為純 PDR 之定位軌跡，而藍色軌跡為 PDR 在經過六次後方交會位置更新後獲得更精確之定位軌跡(S-PDR)，綠色三角形則為檢核點，其坐標由全站儀量測得到。本團隊提出的影像後方交會更新 PDR 演算法可以提升定位精度約 50%，即使在行走相當長的一段距離後，定位軌跡的均方根誤差仍能維持在 10 公尺左右。

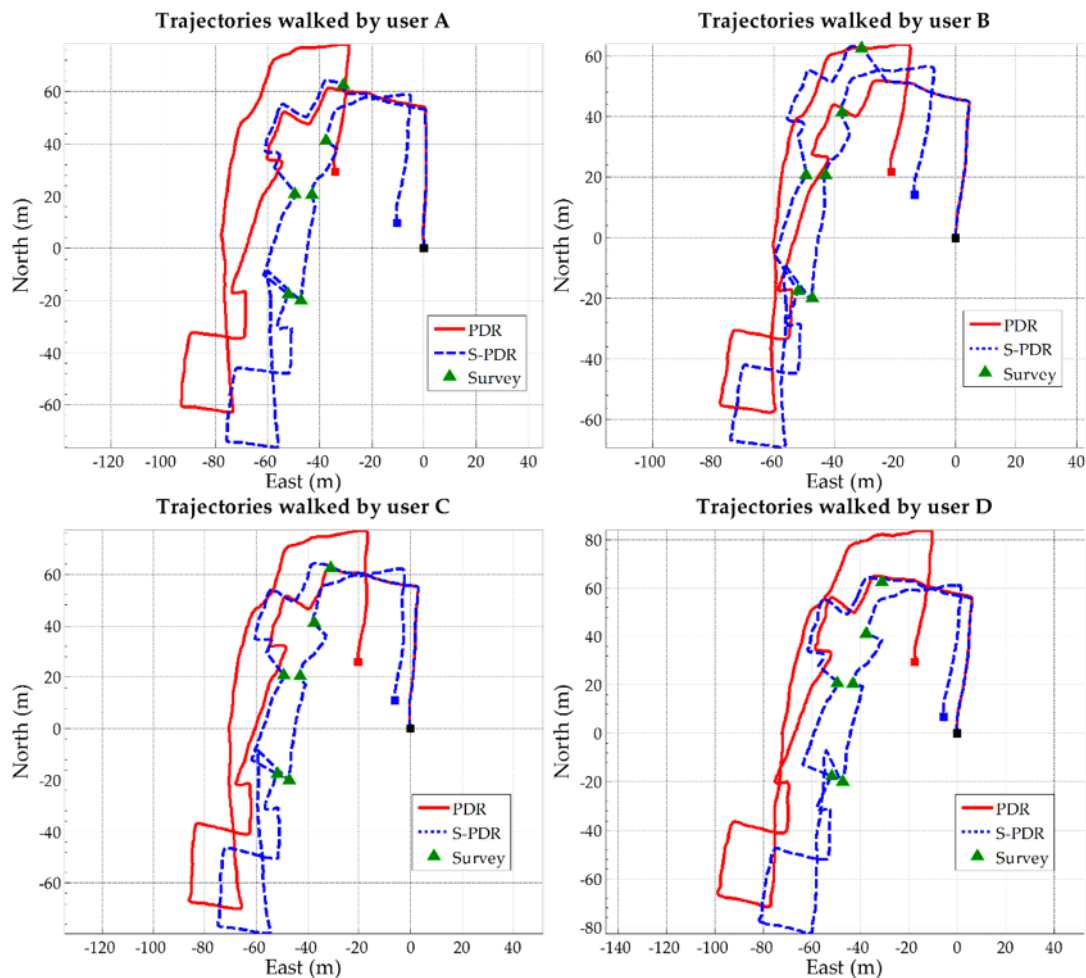


圖 7.4 影像輔助 PDR 技術之實驗軌跡成果

但是影像後方交會定位輔助慣性定位技術仍需要高規格的硬體以支援耗時的匹配和特徵萃取計算，且成果精度仍需改善，故本案更進一步提出基於人工智慧技術之室內影像匹配輔助 PDR 定位技術。本團隊使用人工智慧技術突破影像後方交會定位最大的困難點，克服特徵辨識與後方交會計算的幾何問題。

深度類神經網路在過去幾年之發展中，有大量成功透過網路大數據進行學習類神經網路，其可預測與分類影像中物件位置與屬性精度大幅提升，本團隊透過這些已建置類神經網路的預測，除了自動化偵測製圖之物件屬性，也可將影像紋理圖資整合光達室內製圖系統，類神經網路如卷積神經網路 (Convolution Neural Network, CNN)、循環神經網路 (Recurrent Neural Network, RNN) 等方式對於影像識別上皆有所貢獻，尤其以卷積神經網路為最有名的方法，卷積神經網路 (Convolution Neural Network, CNN) 與其他類神經網路之優勢在於可針對局部的區域提取高分辨率的特徵點，藉由這些特徵點作為人類的視覺基礎，使識別錯誤率有效降低。大量文獻不管是單相機還是雙相機技術之 CNN 影像特徵自動萃取法已逐漸被人探討，Kendall 等人在 2015 年使用室內以及室外資料庫進行學習與測試，該法可預測相機六自由度（位置

與姿態)，該法提出一種名為 Posenet 之 CNN 架構，輸入224x224的彩色圖像並且推估相機相對於場景的位置與姿態。該法之精度與其他相關方法（例如 Shotton 等人提出的 SCoRe Forest）相比雖不到最好，但是對於嚴峻環境的表現上，SCoRe Forest 之精度誤差會上升許多，Posenet 之精度則相對穩定，甚至有時比 SCoRe Forest 較為好一些。類神經網路會輸出一個向量，包含位置以及方向，表示如下：

$$\mathbf{p} = [x, q] \quad (7.1)$$

其中 \mathbf{p} 為姿態向量， x 為 3D 相機位置， q 為四元數，選擇四元數代表方向是因為四維參數較容易通過歸一化到單位長度去映射旋轉矩陣，換言之，這是一個比九參數旋轉矩陣所需要的正交化更為簡單的過程。另一個主要的原因是萬向鎖問題，一般我們常用尤拉角及四元數來表示物體在三維空間中的旋轉，尤拉角以三軸旋轉角度表示物體三維空間的旋轉，如圖 7.5 所示。

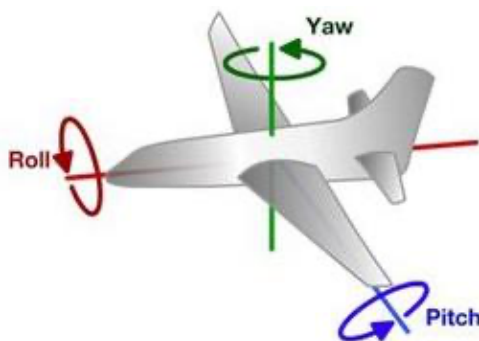


圖 7.5 尤拉角之旋轉表示 (摘錄自 <http://silverwind1982.pixnet.net/blog/post>)

但使用尤拉角會有剛剛提及的萬向鎖問題，假設旋轉順序為 Roll→Pitch→Yaw，當第二次旋轉(Pitch)到 $\pm 90^\circ$ 之後，就會使第一次旋轉(Roll)及第三次旋轉(Yaw)的旋轉軸重合，導致整個系統只剩二個維度的旋轉，如圖 7.6。

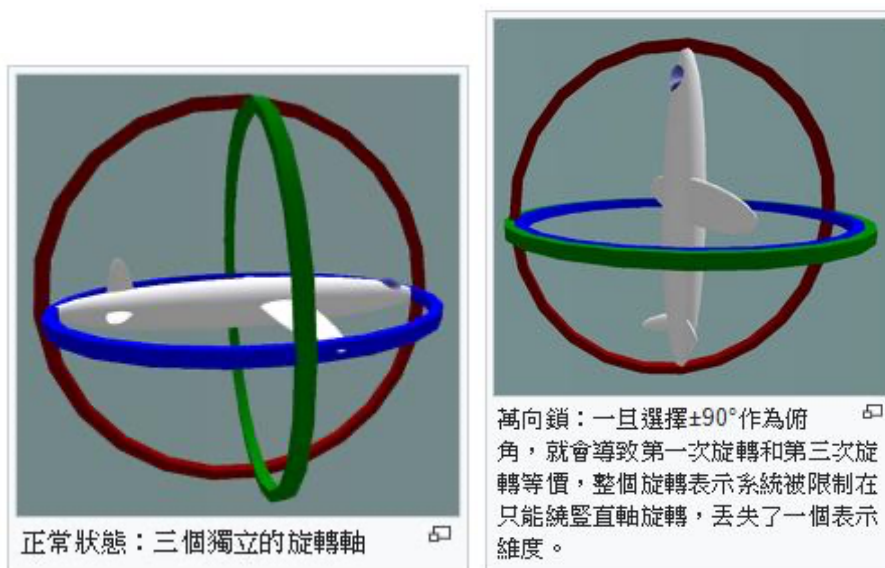


圖 7.6 正常狀態和萬向鎖 (摘錄自 <https://zh.wikipedia.org/wiki>)

四元數包含四個參數，代表旋轉軸的三維向量 u 及一個旋轉角 θ ，其意義為可以對任一個旋轉軸做自由旋轉，因此沒有萬向鎖的問題。因為上述提及的這兩個原因，因此 PoseNet 之類神經網路才選擇四元數來代表方向，如圖 7.7 所示。

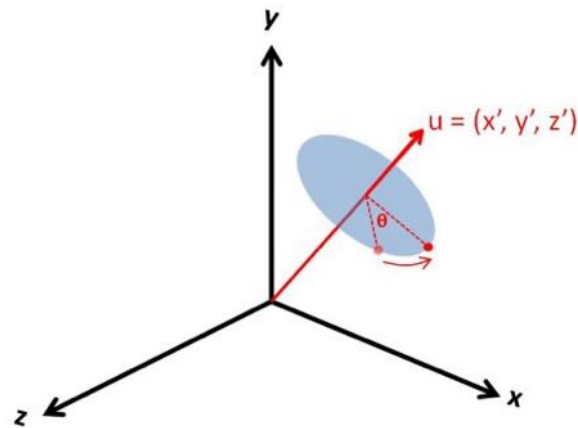


圖 7.7 四元數之旋轉表示

(摘錄自 <https://openhome.cc/Gossip/WebGL/Quaternion.html>)

PoseNet 卷積神經網路屬於監督式學習，必須利用特殊方法獲取可靠值以做為答案訓練類神經網路。PoseNet 卷積神經網路的架構參考 Szegedy 等人(2015)提出的 GoogLeNet 深度神經網路，GoogLeNet 是一個 22 層卷積神經網路，包含有 6 個 Inception Modules 和 2 個額外的分類器，Inception Modules 為一種將卷積層之過濾器分組的方法，同一層卷積層中透過不同尺度的過濾器來達到更好更有用的特徵值，基礎之 Inception Modules 為圖 7.8 所示。

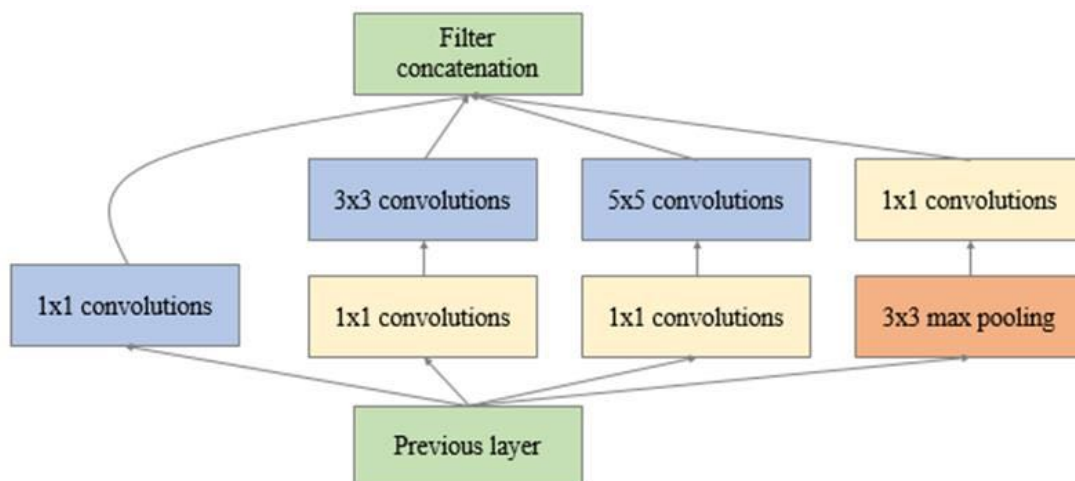


圖 7.8 Inception Modules 架構圖

使用 3 種不同尺寸的濾波器(Filter) (1x1、3x3、5x5) 去針對前一層輸出的矩陣維度，也就是特徵圖，從左到右由上而下做卷積(Convolution)的動作來萃取不同尺度的特徵值，以及使用 1 種最大池化(Max pooling)，由圖 7.5 所得知，使用 3x3 的窗口(Window)一樣對特徵圖掃過一遍，9 個值只取最大

的值，以此方式來有效縮小維度，藉由這四種分支可增加類神經網路對不同尺度的適應性。另外，分類器則用於測試階段輸出識別準確率。Posenet 的設計為針對 GoogLenet 做些微調整而形成一個 23 層卷積神經網路，調整的部分如下所示：

- 使用仿射回歸器 (Affine regressors) 替換三個多分類器 (Softmax classifiers)。移除掉 Softmax 層並且每個最終全連接層修改成輸出一個 7 維的姿態向量，代表 3 維的位置向量以及 4 維的方向向量。
- 在特徵尺寸設置 2048 的仿射回歸器之前插入另一個全連接層。
- 在測試階段，歸一化四元數方向向量到單位長度。
- 在進入訓練階段之前，規劃會先針對圖像縮放至 224x224 像素用作輸入值。

為了回歸相機姿態，在 Posenet 之 CNN 架構的訓練過程中通過使用隨機梯度下降算法得到歐基里德損失，Kendall 等人(2015)並提出結合位置與姿態的損失函數(Loss Function)，如下所示：

$$\text{loss}(I) = \|\hat{x} - x\|_2 + \beta \left\| \hat{q} - \frac{q}{\|q\|} \right\|_2 \quad (7.2)$$

x 為位置， q 為四元數方向， β 為比例因子，用來保持位置和方向誤差的期望值近似相等。為了維持位置及方向平衡不造成任一方輸出誤差太大，因此 β 比例因子的設置約 120 至 750 之間。

上述已詳細描述 Posenet 之類神經網路其方法之輸入影像尺寸、輸出姿態、架構模型以及損失函數的計算。本團隊使用 Posenet 之類神經網路測試室內定位系統的精度，並且針對適地性服務試辦區域之故宮南院展區選用室內移動製圖平台來採集更多實驗場域相關環境之數據庫，實際流程架構如圖 7.9 所示。

為了實現環境之真實性，在預先處理部分使用實驗室開發之程式將移動製圖平台所拍攝之全景影像圖模擬成手機視角之影像。完成數據樣本之影像、位置及方向角度後，採樣樣本分成訓練樣本及測試樣本，每張影像縮放成 224x224 大小輸入類神經網路並且加以測試姿態誤差精度。本實驗硬體設備將使用單顆 GeForce GTX 1080 Ti 之 GPU 顯示卡加快類神經網路運行訓練與測試，107 年度本案於兩處場域進行實驗，一處為國立成功大學成功校區材料系館之地下停車場，另一處為適地性服務試辦區域之故宮南院展區，訓練迭代次數設置 5000 次，訓練模型所需的時間約 10 小時，每張影像測試需要 0.2 秒。

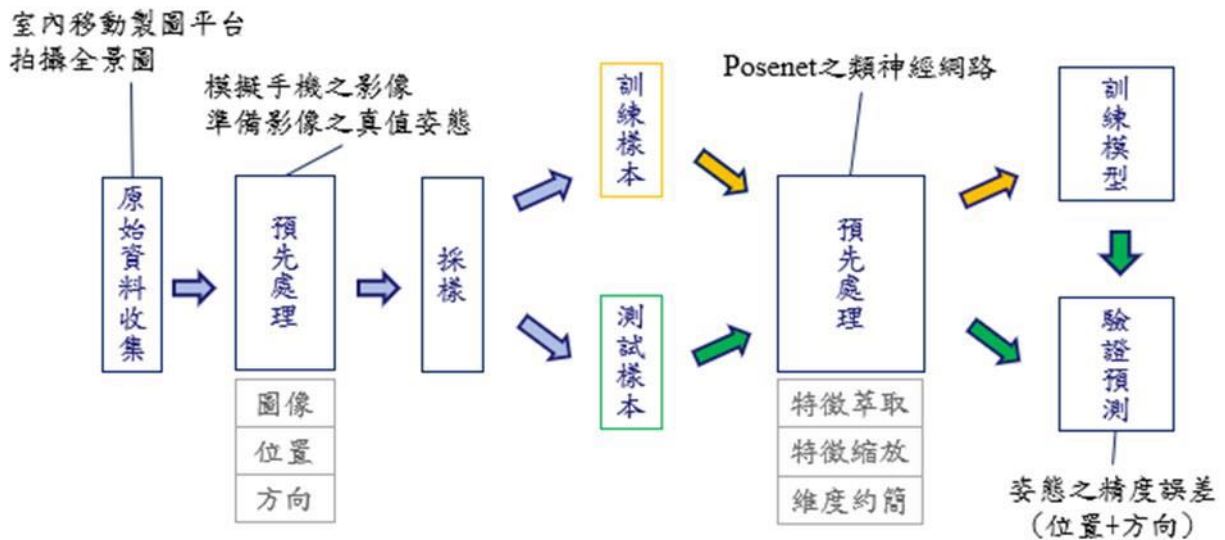


圖 7.9 作業流程架構圖

今年度修改輸入值之縮放尺寸，在訓練階段前設置不同尺寸的輸入影像，探討不同的輸入值對於類神經網路最終之中值誤差結果，以下說明本團隊設計之各個影像尺寸名稱與詳細內容：

- Posenet_ori：去年度的方法，影像大小縮放 455×256，然後中心裁切為 224×224,此模型會加載預訓練模型。
- Posenet_nonpy：去年度的方法，影像大小縮放 455×256，然後中心裁切為 224×224,此模型不會加載預訓練模型。
- Resize 224×224_npy：影像直接縮放 224×224，此模型會加載預訓練模型。
- Resize $N \times N$ ：影像直接縮放 $N \times N$ ，其中 N 為矩形影像邊長。

預先訓練模型使用 GoogLeNet 架構，並採用由 Zhou 等人(2014)提出的數據庫 Places 來進行訓練，Places 數據庫約有 7 百萬張影像包含 476 種場景，模型訓練 800 次迭代。Bengio 等人(2013)、Oquab 等人(2014)和 Razavian 等人(2014)的研究已經表明轉移學習的可行性，而 Kendall 等人(2015)以轉移學習為基礎，其實驗更加表明加載預訓練模型可以使訓練過程加速收斂，幫助類神經網路快速學習局部特徵，因此本團隊也考量使用預訓練模型來輔助實驗，本團隊初始化類神經網路並加載預訓練模型，以獲取網路隨機的初始權重。今年度之縮放不同尺寸實驗採用國立成功大學成功校區材料系館之地下停車場來作為實驗的數據庫，訓練樣本 40020 張影像，測試樣本 500 張影像，迭代次數設置 30000 次，圖 7.7 為不同的輸入值對於類神經網路最終之中值誤差結果。

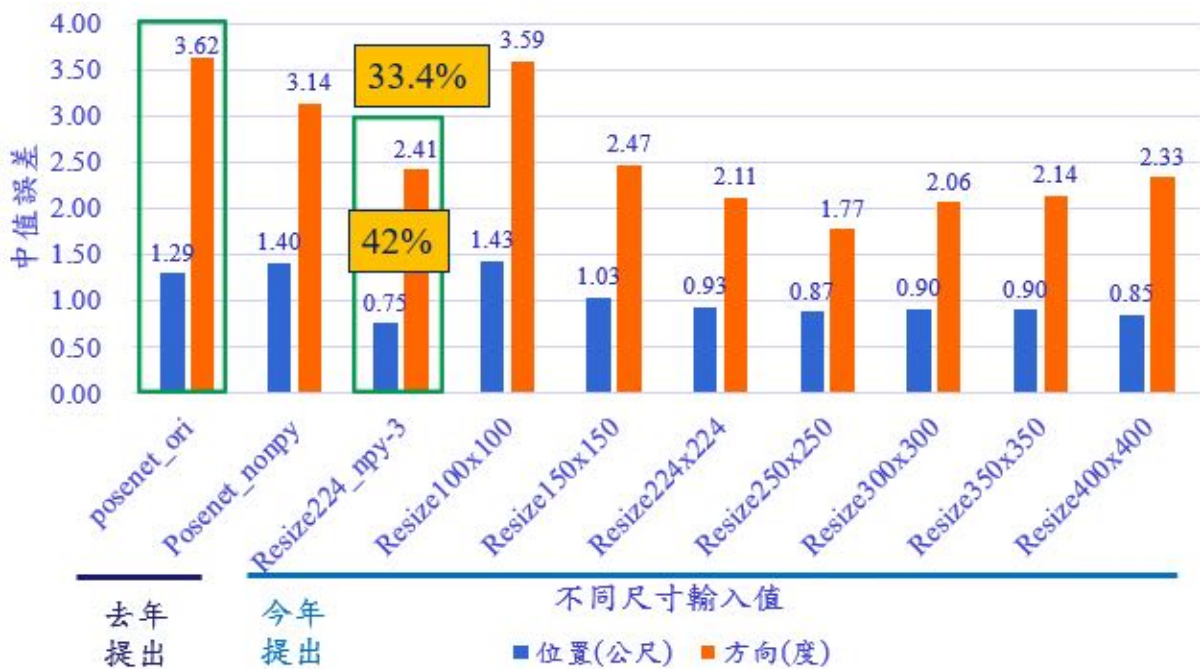


圖 7.10 不同的輸入值對於類神經網路最終之中值誤差

在圖 7.10 中，尺寸縮放 100~400 的方向誤差呈現一個曲線，尺寸縮放 250 為最低點，而尺寸縮放 100~400 的位置誤差從 150 之後就沒有太多區別。"Resize224_npy-3"與"Resize250x250"這兩個模型在位置與方向誤差上有各自的優勢，但是從定位系統的面向來說，位置精度的要求更加重要，因此本團隊優先考慮有最小位置誤差的"Resize224_npy-3"。本團隊比較"Resize224_npy-3"與原始論文方法"Posenet_ori"之誤差精度，在位置誤差上改善了 42%，而方向誤差改善了 33.4%，因此最後決定"Resize224_npy-3"為後續實驗之方法。

本案針對 Posenet 類神經網路訓練完成之模型進行量化、壓縮等優化，並匯出至手機，並整合成一套完善之 APP，讓使用者在進行拍攝後，直接在手機上透過類神經網路進行定位。使用者一打開 APP 即會開啟相機功能，使用者在進行拍攝後，APP 會透過已整合在手機上的類神經模型進行位置預測，實現在手機上做室內定位之服務。圖 7.11 為 APP 預測完影像之結果，右上角會顯示剛剛拍攝之影像，同時中間的地圖會標示預測之位置，以及地圖下方顯示預測之(x, y)數值。為了方便判別，本團隊在圖 7.11 手工標示實際拍攝之位置，箭頭指向即為拍攝之方向。從圖中可以發現其實預測的位置離實際位置還是有點差距，甚至是不準的，這可能是因為模型從電腦轉換至供手機用的檔案之過程會經過簡化，因此造成 APP 的精度不準確，關於這部分的轉換過程之一些技術本團隊還沒有辦法完全掌握，可以考量做為明年度的目標之一。



圖 7.11 室內定位 APP

本案也將圖 7.11 之影像給電腦上之類神經網路去進行預測，並且標示在地圖上方便檢查，其結果如圖 7.12 所示。從圖中可以發現預測之位置很接近實際拍攝之位置，證明其 Posenet 之類神經網路在現實環境是可以正確運作且可行的。

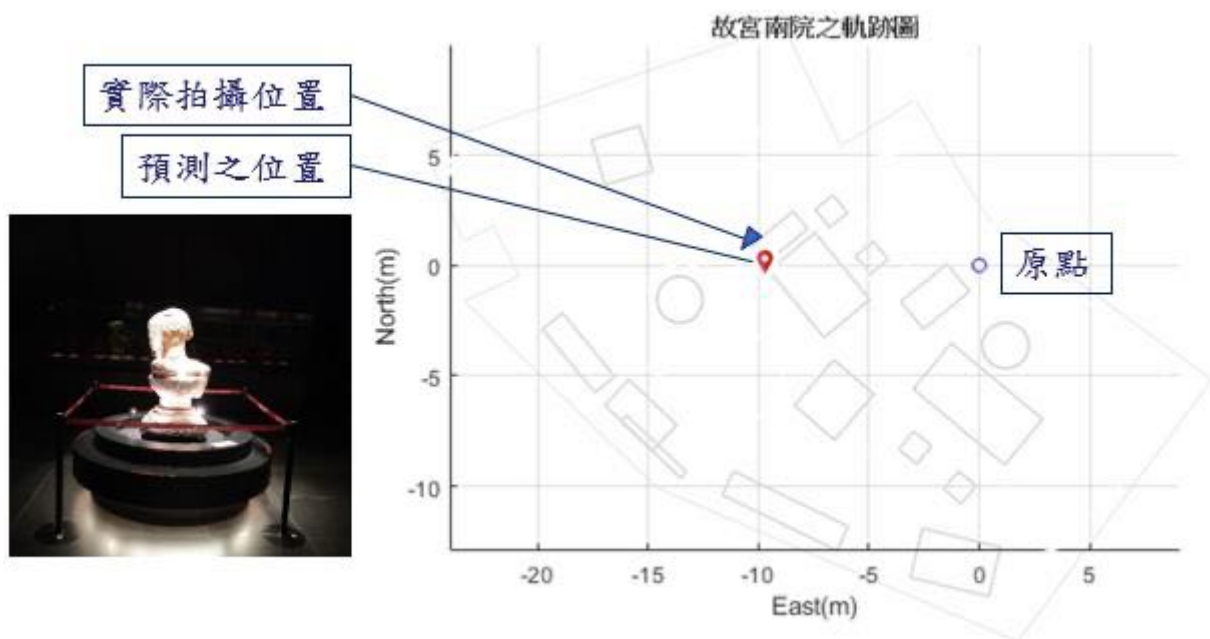


圖 7.12 電腦上運行類神經網路執行之結果

7.2 研發室內地圖輔助之行人慣導定位技術

現今，室外透空良好的環境下，透過衛星進行載波相位差分定位的精度可達公分等級，可說明衛星定位技術在室外已趨於完備。然而此技術於室內等訊號遮蔽的區域並無法發揮良好的效用，使用上受到許多的限制，故室內定位技術相較於室外更加具有挑戰，基於不同理論以及相對應設備，室內定位在過去二十年間也發展出許多不同的定位方法。傳統技術上無論是主動或被動的室內定位系統，大多都採用架設陣列式接收或發射器以得知使用者位置，如紅外線與超聲波定位系統，然而其限制為需要額外硬體設施以及高昂的硬體成本。為降低相關成本需求，近代所發展出的定位系統則以無線電訊號為主，射頻標籤(RFID)與低功耗藍牙(BLE)系統都受到高度關注，兩者具有硬體體積小、成本略為降低之優點，但定位精度會受到硬體布設密度的影響。近年來蘋果大力推廣採用 BLE 系統做為解決室內定位之方案，此系統除了巧妙避開 WiFi 所使用之頻寬以減少訊號之干擾，降低播報功率減低電量消耗外，更可透過電池供電使得布設上具有較高度的彈性，此系統通常利用近似演算法以及三邊定位演算法進行定位，前者為當使用者收到藍牙訊號即視為使用者為於該位置上，後者則是採用衛星定位之概念，當使用者同時接收到三顆以上的藍牙訊號，透過交會解算出使用者所在的位置，圖 7.13 即為三邊定位示意圖。

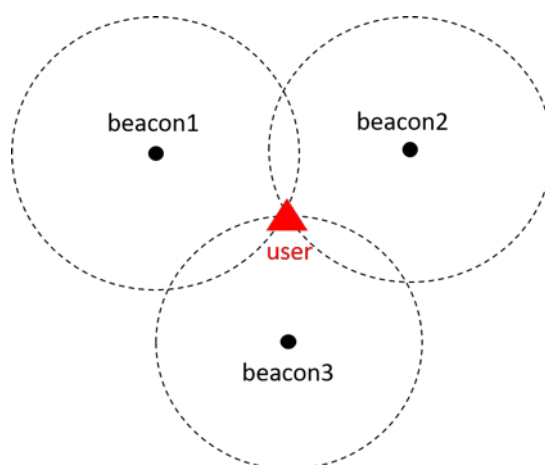


圖 7.13 三邊定位示意圖

表 7.1 為現代主流室內定位技術之特點整理，可知近代室內定位技術雖然相當多樣化，但各項技術均有其優缺點。基於慣性導航原理的定位技術仍有存在之必要性，PDR 為利用慣性感測技術應用於室內導航系統中常見的演算法，透過加速度計、陀螺儀、磁力計等感測器，利用類似導線測量之概念由前一時刻之位置推算下一時刻位置圖。

表 7.1 室內導航技術之特色

目前常見之 室內定位技術	WiFi	BLE	RFID	Vision based	INS	PDR
Requirement of additional infrastructures	Yes	Yes	Yes	Optional	No	No
Requirement of database	Yes	Optional	Optional	Yes	No	No
Training process	Yes	Optional	Optional	Yes		
Against environmental changes	No	No	No	No	Yes	Yes
Accumulated error with time	No	No	No	No	Yes	Yes

然而，上述所提的 PDR 之定位精度會受到上一時刻定位點已累積的誤差所影響，意即誤差會隨時間持續累積，定位精度將與行走時間成反比，若需長時間導航的狀況下，航位推算的精度就會隨時間而降低，使得軌跡逐漸漂移。為了避免此問題，本團隊於 107 年度已成功利用 PDR 結合 BLE 發展出相關的即時定位演算法，並選定故宮南院做為試驗場。BLE 提供 PDR 之初始化位置坐標，進而應用 PDR 進行後續推算，亦可協助更新 PDR 位置，以避免長時間的誤差累積，整體定位演算法以 PDR 為主、BLE 為輔，建置的系統精度已足以適用於相關室內之應用。

一般缺乏地圖輔助的導航解，不但可能會在起始方向就有明顯偏差，在後續導航時也會出現偏移。換言之，若沒有地圖輔助，在這類磁場干擾嚴重的環境，要維持穩定的導航解，就需多裝設額外的輔助設施，同時若環境行人移動的自由度高，則因為不知道正確的方位，輔助設施也無法修正偏差的方位。然而受限成本與環境條件，輔助設施並不一定能滿足所需要的安裝數量，反觀地圖輔助演算法，僅需少量裝置即可達到良好的定位精度，目的主要用於修正不良的初始資訊與後續定位時累積的誤差。考量成本與實際 BLE 可布設位置與數量也相當有限，本團隊研發室內地圖輔助技術演算法以提高定位之精度，建置可攜式移動製圖系統蒐集室內圖資。

可攜式移動製圖系統應用於室內環境中稱之為室內移動製圖系統，產製出的高精度圖資。若假定室內定位精度為三公尺，則圖資精度建議需達一公尺精度，才足以符合相關應用之需求，可避免因圖資精度不足致使正確位置被展示於錯誤位置上。圖資輔助進行室內定位更可適用於不同環境，提供可靠的定位精度，此外因現今室內環境中磁場干擾致使部份區域磁場異常，地圖輔助室內定位能透過所在位置特定方位屬性如：東西向走廊，加以約制融

合方位之結果，位置上可避免不正常現象的產生，本團隊今年度將依據場域開放性評估後擇一最適宜之圖資輔助法並進行相關演算法開發以提高定位精度，圖 7.14 表示圖資輔助之概念，其中(A)說明使用者會先基於先前的位置搜尋出目前所在的大略區域以及興趣點位置，(B)表示透過手機感測器可獲取方向以及步伐偵測資料後，方向資料可給定抵達至興趣點之路徑規劃，結合手機計步資訊後 PDR 會根據行走路徑進行屬性匹配如(C)，因部分區域可能僅具有特定方位屬性，例如東西向走廊即表示南北向的行走於該部分路段中不會出現，故當使用者所在位置屬於該路段，透過資料庫中資料屬性提供演算法判斷可以行走之區域以及各區域可能之方位，約制使用者可行走之範圍，最後修正行人軌跡於合理的路徑上並於使用平台上呈現如(D)。

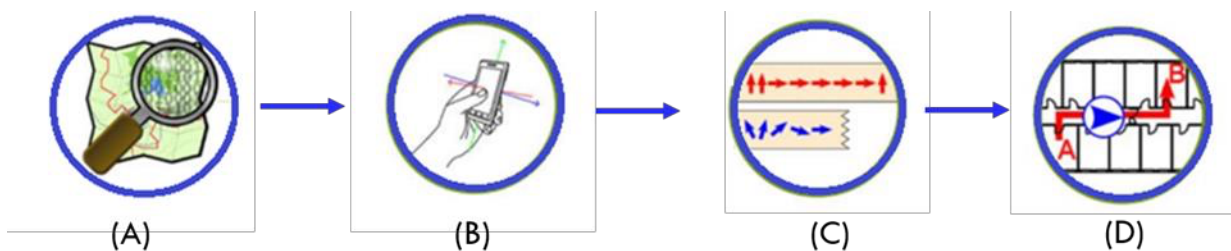


圖 7.14 圖資輔助方位示意圖

為提高利用 PDR 演算法進行室內定位之精度，本案今年度結合地圖輔助技術概念之程序如圖 7.15，流程為先利用各感測器所獲得的資料可推得使用者之步長以及移動方向，然而如同上述所提及，因環境、感測器優劣或行人動態等因素均可能造成方向上的誤差以及距離誤差之累積，因此透過事先建置之圖資即可提供適應於不同裝置規格、環境甚至是在不需後處理調整參數之情況下，再輔以藍牙協助位置之更新，此技術能提供相較於僅使用 PDR 演算法更為可靠的定位精度。

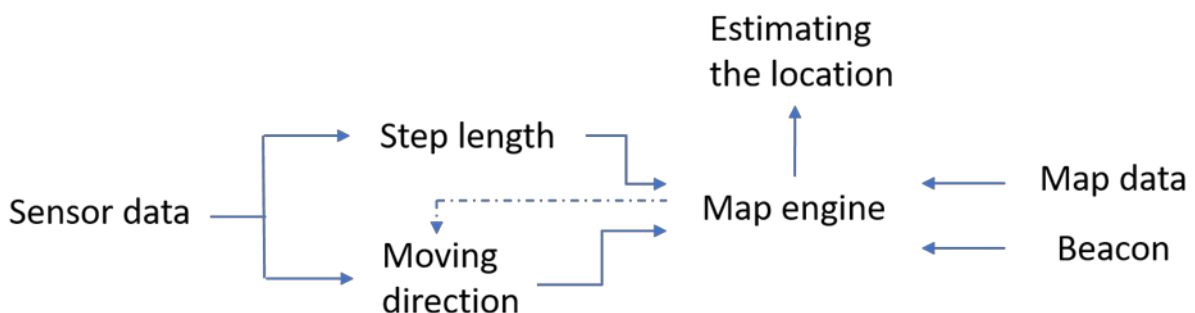


圖 7.15 地圖輔助技術概念流程圖

本團隊期中測試場域選擇於國立成功大學測量及空間資訊學系系館二樓測試地圖輔助室內定位技術。測試場景如圖 7.16 所示，測試手機共包含三種規格如圖 7.17 及表 7.2，而參與測試人員有四位，測試時會將手機平放置於胸前，將相關結果繼續進行後續的精度分析。

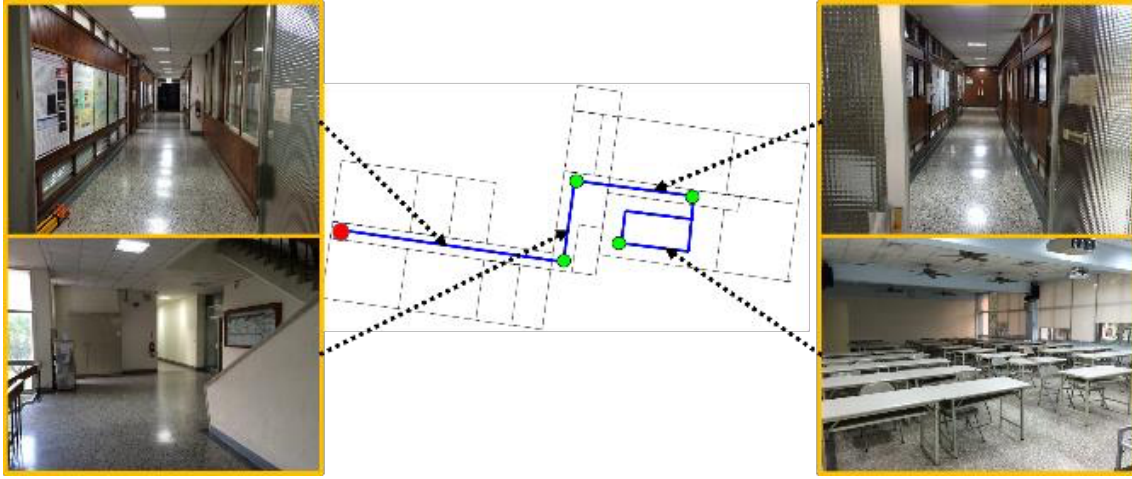


圖 7.16 期中測試場域



圖 7.17 期中測試手機（分別為 HTC M7、SONY Z2 及 SONY Z3）

表 7.2 期中測試手機之規格

	HTC M7	SONY Z2	SONY Z3
作業系統與版本	Android 4.1	Android 4.4	Android 4.4
處理器核心數	四核心	四核心	四核心
RAM	2 GB	3GB	3GB
ROM	32 GB	16GB	16GB
處理器	Qualcomm Snapdragon 600, 1.7GHz	Qualcomm Snapdragon 801	Qualcomm Snapdragon 801, 2.5GHz
主螢幕尺寸	4.7 吋	5.2 吋	5.2 吋
藍牙版本	V4.0	V4.0	V4.0
主相機感光元件	UltraPixels	CMOS	CMOS
衛星定位	A-GPS, GPS	A-GPS, GPS	A-GPS, GPS

測試成果如圖 7.18，第一列以綠色虛線表示測試路線，黑色圓圈即為本次測試的起、終點，如圖 7.11 之紅色點位。二至四列則各別為利用三款手機

測試的成果，A、B、C 和 D 表不同的四位受試者，青色為純慣性室內定位之成果，紅色線則為結合地圖輔助技術之慣性室內定位成果。

從圖 7.18 中可明顯看出，純慣性室內定位在缺少地圖輔助的狀況下，極容易因初始航向的不準確而導致整體軌跡的偏移，進而產生後續相當的定位誤差，主要原因在於慣性定位的初始航向是由磁力計所提供，然而在室內空間中，磁力計會受到磁場的擾動而產生誤差，例如電器產品等，因此在結合地圖輔助技術下，即能將慣性室內定位的成果修正於較合理的路徑上。

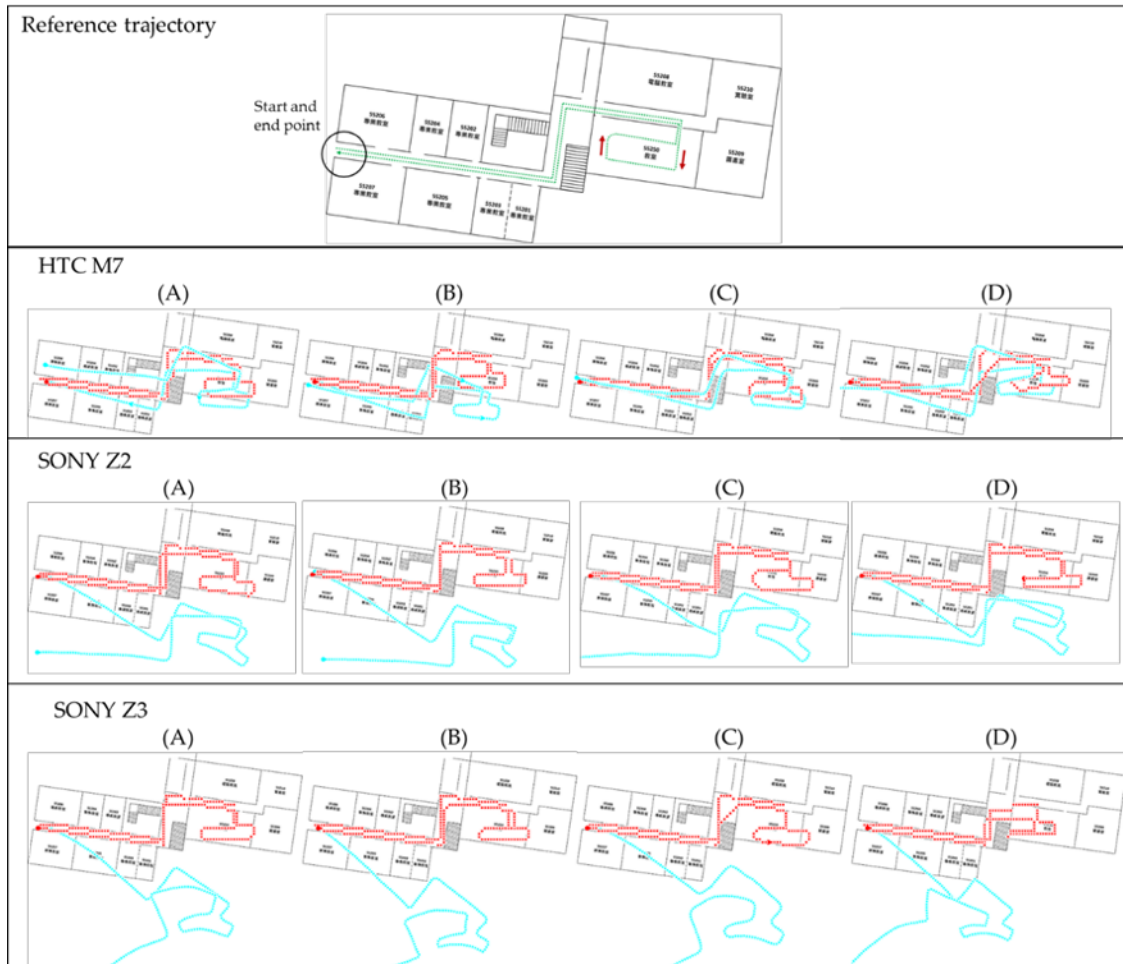


圖 7.18 期中測試成果

表 7.3 為各測試軌跡之閉合百分比，閉合百分比為一閉合路徑之起、終點之誤差，該指標說明測試軌跡過程中誤差的累積相較於行走距離之變化。表中 PDR 表示純慣性室內定位成果；FDT 則為結合地圖輔助技術之慣性室內定位成果。將誤差量化後之成果，閉合百分比計算後之結果與圖 7.18 所顯示的成果相符，結合地圖輔助之慣性室內定位精度明顯優於純慣性室內定位成果，而有如此之結果原因實為初始方位不準確所導致，採用地圖輔助之慣性室內定位成果中，12 組實驗中軌跡平均閉合百分比僅 0.70%，該數值即表示當使用者大約行走 143 公尺後，累積的定位誤差僅有 70 公分。

表 7.3 期中測試成果閉合百分比

Field	User	HTC M7		SONY Z2		SONY Z3	
		PDR	FDT	PDR	FDT	PDR	FDT
NCKU 143 m	A	2.43	1.09	12.07	0.61	29.96	0.66
	B	1.30	0.74	14.00	0.66	33.44	0.68
	C	0.91	0.64	12.45	0.60	32.90	0.64
	D	5.79	0.66	9.40	0.61	30.42	0.77

Mean of FDT: 0.70%, STD: 0.13%
 Mean of basic PDR: 15.42%, STD: 12.78%
 Unit: loop closure error/traveling distance (%)

為更進一步說明該地圖輔助技術結合慣性室內定位成果之精度，本團隊額外採用全測站儀量測圖 7.11 中四個綠色點位坐標，將其視為參考值，用以作為進行精度分析的檢核點，除此之外，值得一提的是因本測試中所設計的行走路徑為一往返路線，故其中有三個檢核點會行經兩次。將結合地圖輔助慣性室內定位成果統計每一次經過個檢核點之誤差，如圖 7.19 所示，以直方圖的呈現方式來確認整體軌跡精度之表現，藍色柱狀表示誤差小於一公尺；紅色柱狀則為誤差介於一至兩公尺範圍；綠色柱狀為誤差介於二至三公尺；黃色則為誤差大於三公尺，從圖 7.19 中顯示約 80% 的定位誤差皆小於兩公尺，並且顯示出地圖輔助結果之成效並不侷限於起、終點之閉合誤差，在整體軌跡的部分亦有相當的幫助。

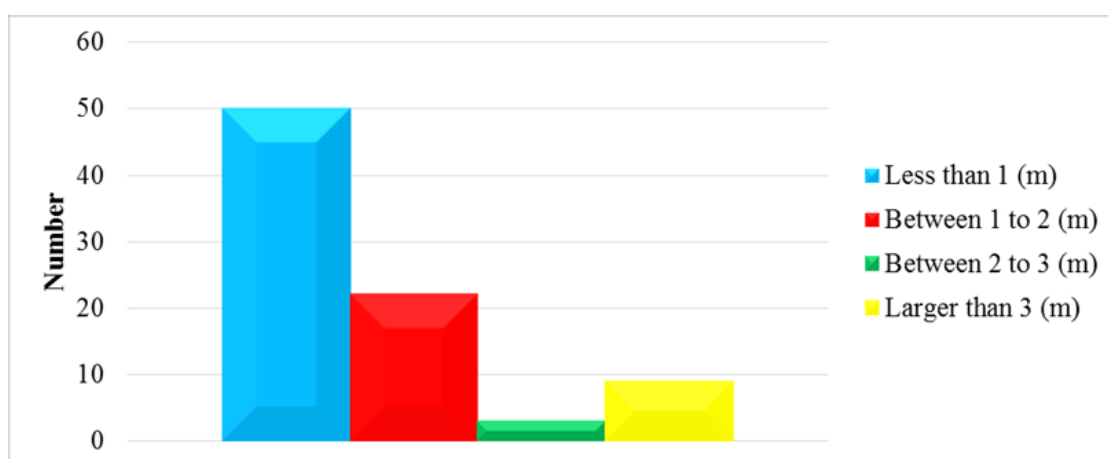


圖 7.19 期中檢核點之誤差統計

本團隊期末測試場域採用故宮南院進行地圖輔助技術成果之驗證，測試場景如圖 7.20 所示，藍色實線為本次測試的行走路徑，紅色三角形為測試起、終點，四個紅色圓形則為轉點。本次測試手機為 MI 8，如圖 7.21 及表 7.4，參與測試人員共兩位，測試時會將手機平放置於胸前，並將相關結果繼續進行後續的精度分析。

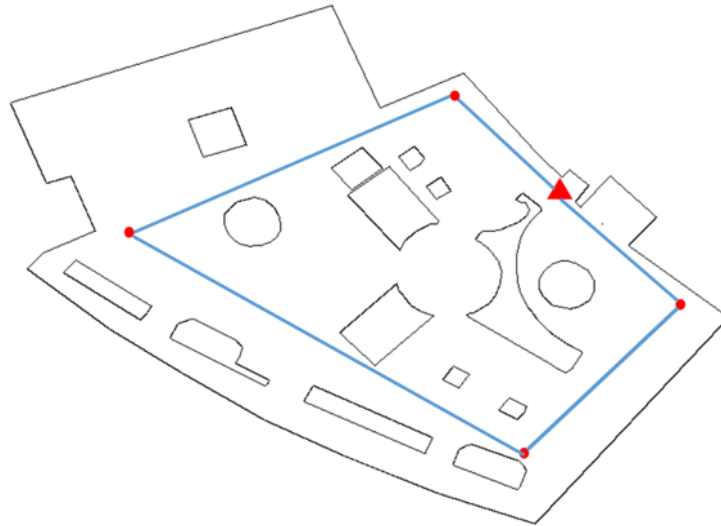


圖 7.20 期末測試場域



圖 7.21 期末測試手機 (MI 8)

表 7.4 期末測試手機之規格

	MI 8
作業系統與版本	Android 8.1
處理器核心數	八核心
RAM	8GB
ROM	128GB
處理器	Qualcomm Snapdragon 845
主螢幕尺寸	6.21 吋
藍牙版本	V5.0
主相機感光元件	CMOS
衛星定位	A-GPS, BeiDou, GLONASS, GPS

測試成果如圖 7.22，上下兩列各自代表不同使用者，紅色星號則為行走之軌跡，粉色點號則為加入地圖輔助修正後之軌跡，本次測試路徑總長度為 67.203 公尺。由圖 7.22 中可發現純慣性導航的軌跡可能會因為航向偏移導致軌跡會超出合理範圍，例如軌跡會超出展廳，結合地圖修正之成果即能將慣性室內定位的成果修正於較合理的路徑上。



圖 7.22 期末測試成果

表 7.5 為各測試軌跡之閉合百分比，閉合百分比經計算後之結果同樣與圖 7.22 所顯示的成果相符，結合地圖輔助之慣性室內定位精度明顯優於純慣性室內定位成果，採用地圖輔助之慣性室內定位成果中，六組實驗中軌跡平均閉合百分比僅 2.58%。

表 7.5 期末測試成果閉合百分比

Unit:%	PDR	FDT
Trajectory1	5.72	2.28
Trajectory2	5.2	2.46
Trajectory3	15.72	2.88
Trajectory4	6.68	3.29
Trajectory5	3.5	2.84
Trajectory6	3.6	1.72
MEAN	6.74	2.58
STD	4.57	0.55

利用行走路徑中四個轉點作為檢核點進行定位精度之驗證，將結合地圖輔助慣性室內定位成果統計每一次經過各檢核點之誤差，如圖 7.23 所示，以直方圖的呈現方式來確認整體軌跡精度之表現，藍色柱狀表示誤差小於 0.5 公尺；紅色柱狀則為誤差介於 0.5 至 1 公尺範圍；綠色柱狀為誤差大於 1 公

尺，從圖 7.23 中顯示超過 90%的定位誤差皆小於 1 公尺，並且顯示出地圖輔助結果之成效並不侷限於起、終點之閉合誤差，在整體軌跡的部分亦有相當的幫助。

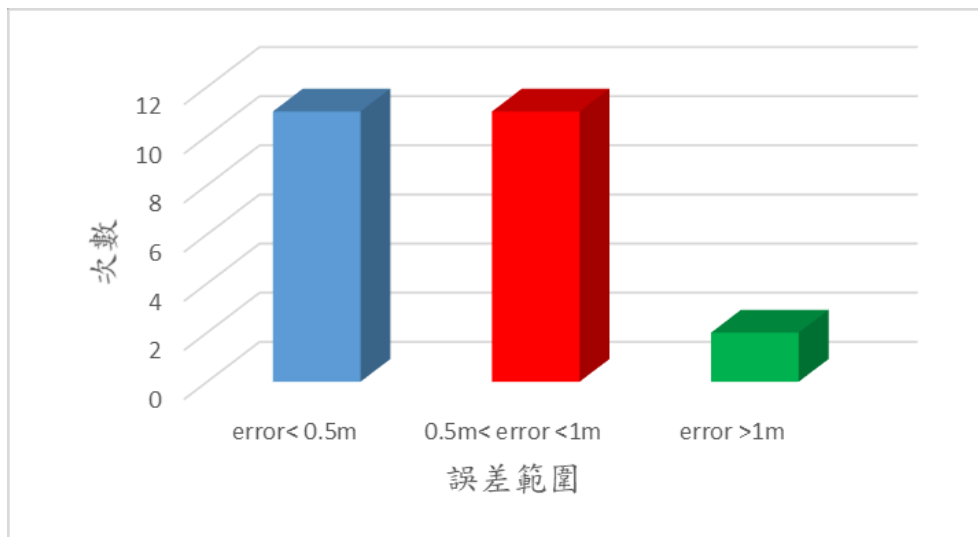


圖 7.23 期末檢核點之誤差統計

經由期中與期末之測試驗證，說明結合地圖輔助之技術可明顯提升整體定位導航之精度，並協助修正軌跡至合理範圍，除了閉合百分比顯著下降外，各檢核點定位精度也有一定程度之提升，期末驗證的檢核點精度亦均可達到一公尺甚至更小誤差，故結合地圖輔助技術可有效改善定位精度成果。

7.3 適地性服務案例試辦

本團隊沿用 107 年度所選定的故宮南院作為適地性服務試辦區，可接續 107 年度所發展的擴增實境(Augmented Reality, AR)應用，已完成的應用內容包括導航的箭頭以及分別為立體或是平面的目標物體 AR，根據故宮南院的需求，本團隊也成功發展文字擴增於展物的功能。以 Unity 為開發平台，開發一個可以安裝在不同作業系統和行動裝置的 APP，圖 7.24 為 APP 介面，其功能與流程說明如下：

- 當開啟 APP 後，可以點選任一展物，即會顯示該展物的導航方向以及與遊客之間的距離，其背後運作原理為室內定位導航技術。
- 點選地圖按鈕，則會顯示遊客目前為止之行經路徑。
- 點選相機的按鈕，就會啟動攝影機開始 AR 功能，當攝影機照到任一展物時，APP 畫面會產生對應展物的說明文字，如圖 7.25 所示。



圖 7.24 故宮南院之 APP 介面畫面



圖 7.25 展物之文字 AR 效果

本案今年度完成 APP 的優化作業並研發新功能，提供遊客更好的使用體驗。當文字 AR 擴增在展物前面，有時候因為擴增的文字內容繁多、擁擠，遊客難以看清楚所有文字內容、眼睛容易疲憊，有鑑於此，本團隊研發與設計更多的功能，讓遊客有一個完善的操作與體驗，實際優化項目如下：

- 將原始的黑白地圖改為彩色地圖，並由相關專業之外包廠商製作與套用 APP 操作介面。107 年度與 108 年度之介面比較如圖 7.26 與圖 7.27 所示。

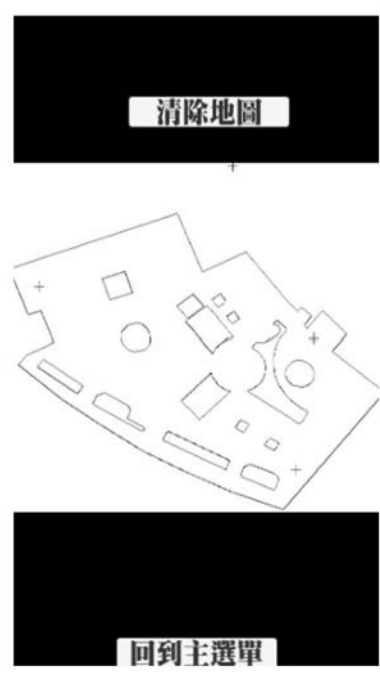
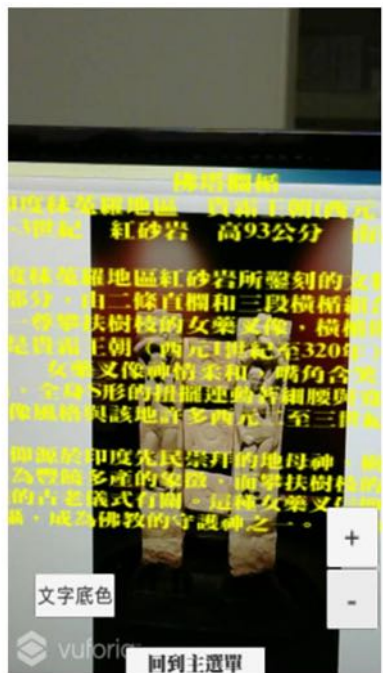


圖 7.26 107 年度研發之 APP 介面外觀

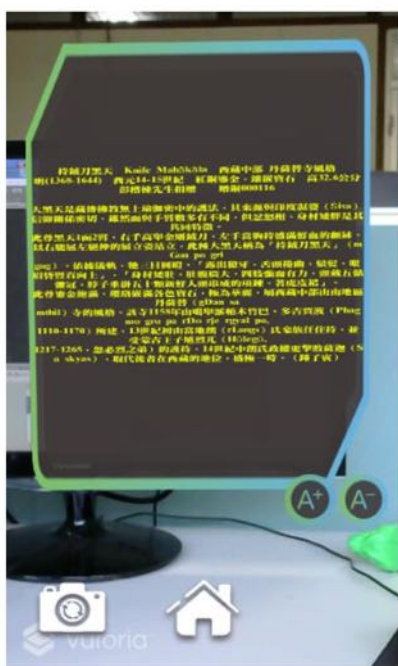


圖 7.27 108 年度優化之 APP 介面外觀

- 將文字內容以卷軸的方式呈現，改善說明文字過多時，無法清楚閱讀的問題，並新增能夠調整字體大小的按鈕，讓展物的文字擴增實境可以調整至遊客最舒適的閱讀模式，如圖 7.28 所示。



圖 7.28 字體大小按鈕

- 新增底色按鈕，遊客可使用按鈕使文字具有底色，以專心閱讀說明文字；或者不選取按鈕，能同時閱讀文字與觀賞展物，如圖 7.29 所示。



圖 7.29 文字底色按鈕

今年度所完成的輔助行人慣導定位技術研發和適地性服務 APP 開發，在 108 年 11 月 4 日至故宮南院進行實測，如圖 7.30。所有演算法和操作功能皆經過實地測試以及反覆驗證，成果也都符合預期之規劃。



圖 7.30 故宮南院實測

7.4 本章小結

對於「研發應用人工智慧技術之室內影像匹配輔助行人慣導定位技術」之工作項目，本案修正去年度 PDR 演算法使用磁力計所遇到的缺陷，改用陀螺儀來取得方位角，可有效避免環境磁場干擾，同時今年度也改良深度類神經在訓練階段前設計不同尺寸的輸入影像，在位置和方向誤差都有明顯的改善，透過 APP 整合與實測，驗證 Posenet 之類神經網路輔助行人慣導定位技術在現實環境是可以正確運作且可行的。

對於「研發室內地圖輔助之行人慣導定位技術」之工作項目，今年度結合地圖輔助技術輔助 PDR 演算法以提高室內定位精度，根據不同手機規格、不同測試人員於國立成功大學測量及空間資訊學系系館二樓以及故宮南院進行實測，在結合地圖輔助技術下，皆能將室內行人慣導定位的成果修正於較合理的路徑上，透過閉合比數和檢核點定位精度進行分析，驗證了地圖輔助之成效。

對於「適地性服務案例試辦」之工作項目，今年度延續在故宮南院進行適地性服務試辦，除了改良 APP 的定位技術演算法，也優化了介面外觀與功能，所有演算法和操作功能皆經過實地測試以及反覆驗證，成果也都符合預期之規劃。

第八章、評估室內定位技術於室內防救災應用

隨著穿戴式裝置日漸普及，利用該裝置獲取空間資訊以及連網服務也變得更加簡易。尤其人們一天當中，幾乎有 70% 的時間待在室內，而利用穿戴式裝置獲取室內空間資訊自然也成了必然的趨勢。透過穿戴式裝置進行的室內定位技術，除了傳統的空間資訊應用外，此類技術對災害防救的緊急應變措施亦有極大的效益。

舉例來說，當災害發生時，大部份的人若朝向同個出口逃生，會造成所有人擠在門口而無法逃出的困境，甚至可能因為在慌亂中推擠發生踩踏等不幸的意外。本團隊完成室內人員受災分流機制之開發，並評估室內定位技術於室內災害分流導引的效益。讓每個人在逃生時分別依循建議的出口方向逃生，目的是希望能夠縮短逃生時間、最大化安全逃出的人數。

8.1 評估室內定位技術於人員受災分流機制

目前國內法規和現存問題，當災害發生時，建築物內的人員避難是消防安全中很重要的環節。在我國消防法規傾向於事前的建築規劃、建物使用管理、消防設備、檢測管理、消防計畫以及救災調度來規範，向一般民眾宣導的避難方針也是跟著公共場合的避難指示燈來疏散。經過消防法規檢視後，目前的法規尚未對災害人流疏散提供明確的規範，根據現場情況的不同，一旦場所中的避難弱者（例如行動不便的人）比例提升，或者建物結構較為複雜，就有可能會導致某些出口或走道壅塞，造成避難效率降低，規劃逃生的策略在這樣的情形下可以幫助逃生效率最佳化，縮短完成避難的時間。

本團隊於 107 年度開發之災害人流導引定位演算法。當災害發生時，大部份的人若朝向同個出口逃生，會造成所有人擠在門口無法逃出的困境，甚至可能因為在慌亂中推擠發生踩踏等不幸的意外。在 107 年度的工作案中，本團隊完成將室內導引應用於災害人流導引的初期評估，如同前面所述，讓每個人在逃生時分別依循建議的出口方向逃生，目的希望能夠加快逃生時間、最大化能逃出的人數。現有的規範參考大多是比較靜態、被動的規範，如建物每 10 公尺需設置一個逃生出口燈等等，這樣的資訊並無法知道災害發生當下出口的狀況，若無中央控管機制則容易造成遊客相互推擠的意外發生，若主動由中央控管，對遊客發出逃生路線的指示，就能依據災害發生當下狀況即時做動態調整，減少可能的傷亡。

在評估室內定位技術於人員受災分流機制中，本團隊基於逃生時發生碰撞以及無法逃生的兩種狀況進行探討，並且針對不同狀況提出了說明與解決方案：

■ 逃生時發生碰撞的狀況

逃生時發生碰撞的狀況可以如圖 8.1 所示，當災害發生時每個逃生的出口有自身的最大流量限制，如圖中的逃生出口僅能在每分鐘逃生兩人，若在慌亂中逃生者跟隨人群移動則有可能出現需要等待的狀況，並增加逃生的時間。

■ 無法逃生的狀況

無法逃生的狀況可以如圖 8.2 所示，以火災為例，當災害發生時逃生中會遇到逃生出口被封閉的狀況，如圖中人群已經逃往無法逃離的出口附近，但因為沒有逃生分配，所以必須在自行尋找下一個逃生出口，增加逃生的時間。



圖 8.1 逃生衝突示意圖

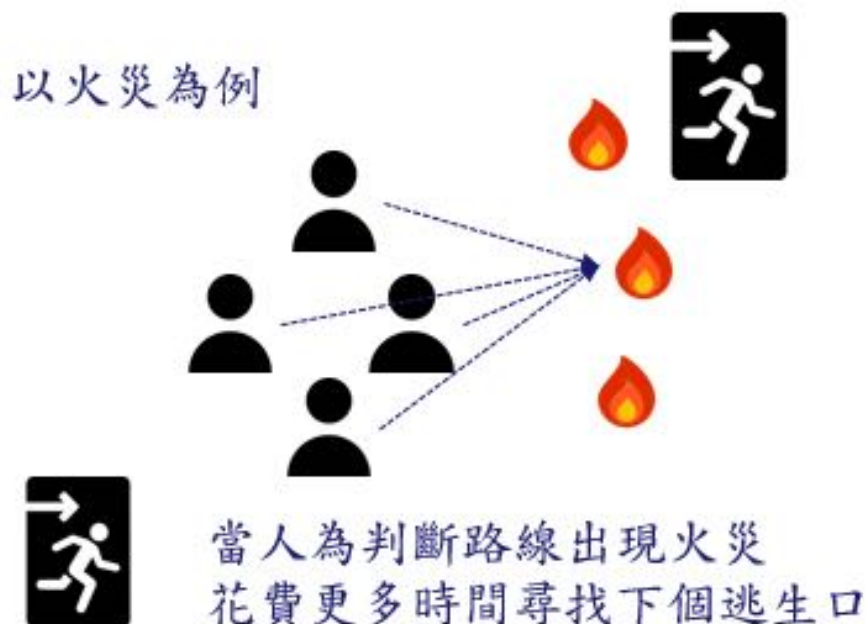


圖 8.2 無法逃生示意圖

在災害發生的時候，評估災害的危害範圍對逃生路線的選擇是很重要的，以火災為例，在火勢隨時間蔓延的情況下，逃生的出口的選擇勢必會在不同時間受到不同影響。火災成長的趨勢受到諸多因素的影響，包含：燃燒材質的性質、燃燒空間的通風性、燃燒空間形狀、燃燒堆的間距與高度等等複雜因素影響(蔡銘儒、謝煒東，2007)，在不同的因素組合下會有不同的燃燒情況。而且火災的成長與時間的關係並非與時間呈現性關係，而是隨著物質於燃燒時產生的變化而有不同的火災成長曲線(經濟部工業局，2007)，所以要模擬如此多樣又複雜的真實火災情況是十分困難的。

火災的型態分為穩態火災、時間平方火災、時間次方火災等。其中時間平方、次方火災為與時間相關的火災型態，其公式定義為：

$$Q = \alpha t^p \quad (8.1)$$

其中 Q 為火災釋熱率，意即火災釋放的能量，單位為 kw ； α 為火災成長係數，當 α 為 0.1876 為超快速成長火災， α 為 0.0.1172 為中度成長火災， α 為 0.00293 為慢速成長火災。 t 為時間單位， p 為時間次方數，次方數越大代表火災的成長速度越快，造成的危害也越大，一般家具的火災之成長曲線即可用平方來表示(林展仰，2008)。

基於上面的參考資料與論述，我們了解到真實的火災情況是非常複雜的，所以為了便於模擬在火災中逃生路線的選擇，在這次模擬中將釋熱率視為火災的燃燒面積，將火災型態設為時間平方火災，也就是 $p=2$ ，令火災的成長與時間平方成正比，燃燒面積也與時間平方成正比，來模擬火災的情形。

有了對火災模擬的基本假設後，災害人流導引定位演算法可以計算火災是否影響出口的使用，進而對人群發出逃生路線的指示，並可以隨著當下狀況即時做動態調整。

■ 基本方法(Baseline Method)

此方法就是將人們導向離他們最近的出口，但當大部份的人都位在同一個出口附近時，此方法即會造成上述互相推擠的情形發生，此時遊客僅能另尋第二近之出口，或是等待一段時間才可逃離。

■ 匹配方法(Matching Method)

為了解決 Baseline 方法中，將多位遊客引導至同一出口所造成的衝突情況，本團隊基於 Gale-Shapley 演算法提出了一個匹配方法，將遊客與出口進行配對。Gale-Shapley 演算法是一種貪婪匹配演算法，主要目的為將遊客與逃生出口分成兩個部分，而每一個遊客與逃生出口都一段距離，所以根據距離的長短我們可以對遊客進行逃生匹配。本團隊提出之匹配方法分為 3 個步驟：

- (1) 以遊客為主，挑選距離他們最近的出口，並且將剩下的出口依距離由近至遠排序。
- (2) 以出口為主，挑選距離該出口最近的遊客，並且將剩下的遊客依距離由近至遠排序。
- (3) 以遊客為出發，分別選擇離他們最近的出口，若遊客挑選同一出口的人數超過該出口單位時間內可逃生人數上限時，以該出口去挑選其較鄰近之遊客，而離此出口較遠的遊客即需改為導引至離他第二近的出口，當所有遊客皆分配至一個出口且未超過逃生人數上限時，就算配對成功。遊客依照配對結果前往他們被分配到之出口。

由於在災害發生時，需要的是動態的逃生規劃，因此本團隊提出 Matching with Walking Distance First(M_WDF)策略，參考在不同時段(t)的出口人數情況，目標為找到最短的逃生時間總和，本團隊會透過此方法盡可能將遊客分配至距離最近之出口。

利用 M_WDF 演算法，在逃生時發生碰撞的情況下，本團隊在分配逃生路線的過程中會將可能產生碰撞的使用者進行二次分配，並且根據不同的策略，分為使用者在原地等待與使用者移動到下一個逃生出口的指示，透過以上兩種指示，降低逃生的等待時間；而在無法逃生的狀況中，本團隊使用時間單位 t 去更新下一時刻的逃生出口路線。若災害已經蔓延至逃生出口附近，本團隊會將此逃生出口移除並重新分配新的逃生路線，避免逃生者逃至危險的路線而發生意外，圖 8.3 所示為演算法的虛擬碼。

```
1. function EscapeMatching {
2.     Initialize all Guest  $\in$  Guests and Exit  $\in$  Exits to free
3.     while  $\exists$  free Guest g who still doesn't escape for an Exit w{
4.         e = first Exit on g's list to whom g has not escape yet
5.         if e is Empty
6.             (g, e) become pair
7.         else some pair (g', e) already exists
8.             if w prefers m to m'
9.                 g' becomes free
10.            (g, e) become pair
11.         else
12.            (g', e) remain pair
13.     }
14. }
```

圖 8.3 M_WDF 演算法之虛擬碼

本案基於優化動態的受災人潮分流機制之演算法進行改進，並提出相關策略和演算法，當災害發生時讓遊客能夠更加安全迅速的逃出，如 Bipartite 和 Knapsack problem 等。Bipartite 演算法如圖 8.4 所示，橘點表示遊客位置，而紅點表示逃生出口，利用演算法的特性，會找到一組組合使得遊客到達逃生出口之距離總和或是時間總合會最小。而 Knapsack Problem 就是將一群物品儘量塞進背包裡面，令背包裡面的物品總價值最高。背包沒有容量限制，無論物品是什麼形狀大小，都能塞進背包；但是背包有重量限制，如果物品太重，就會撐破背包。若將來能使用在逃生問題則背包即為逃生出口，而物品就是遊客，重量則是到逃生出口的路徑長，轉換問題後對每個出口來說每個物品的重量不是固定的，而物品的分數為逃生時間。

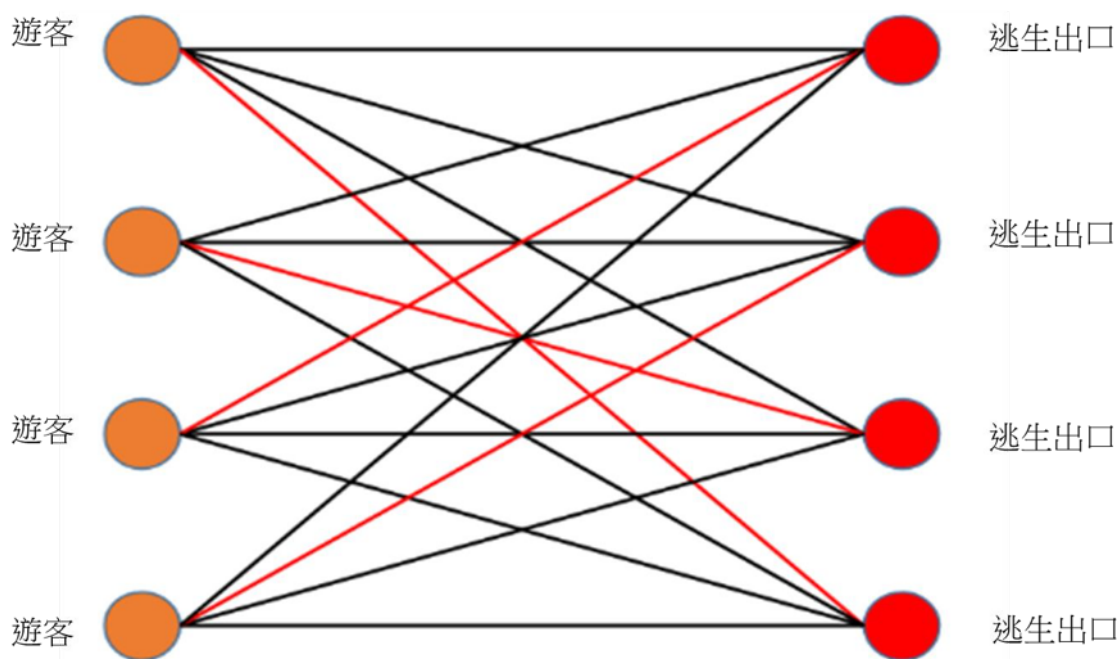


圖 8.4 Bipartite 演算法

本團隊參考不同的演算法，讓演算法具備即時性，來提升遊客逃生的安全性，並降低遊客堵塞在逃生出口的機率，同時減少遊客逃生需要花費的時間。本團隊完成逃生問題之定義，並使用這些演算法進行逃生模擬，比較單純逃生與使用匹配演算法後的逃生時間，透過中央控制的方式，為遊客提出最安全快速的逃生策略。

期末成果針對災害發生時不同策略對於遊客逃生的比較，由於軟體的限制，本團隊的演算法無法以視覺方式展現實驗成果，為了能夠讓成果能更直觀的讓人瞭解，本團隊使用模擬軟體 anylogic 視覺化演算法的運作效果，展示有無設計逃生演算法之逃生時間的差異，實際的比較以本團隊的演算法計算為主。

在測試中，根據場域內遊客的分布情形作為設定，分別以隨機分布和集中分布進行分析比較，隨機分布的定義是遊客會以均勻分布的方式隨機在區域中產生，目的是模擬遊客平日在場館中的位置。而集中分布的定義是遊客會集中在特定區域，目的是模擬遊客在場館有活動時的位置。如圖 8.5 所示，在兩種不同分布下，基本方法的逃生時間如圖 8.6 所示。

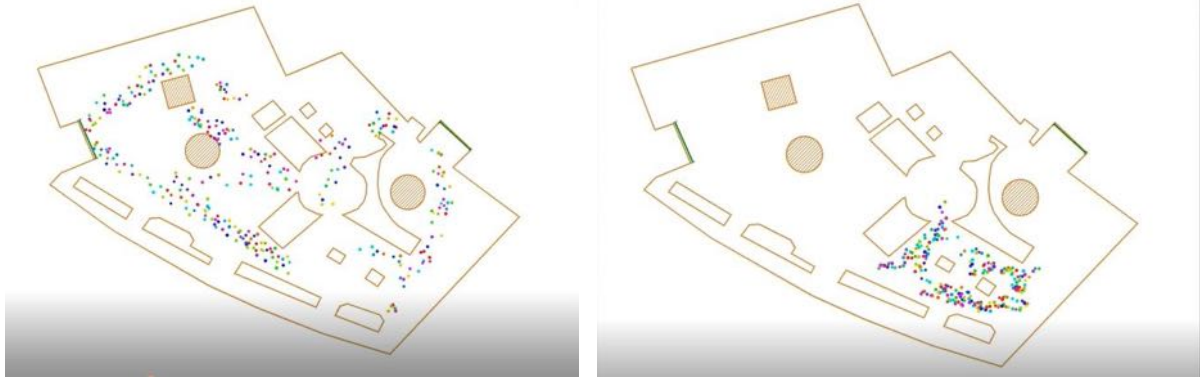


圖 8.5 遊客分布情形：(左) 隨機分布；(右) 集中分布

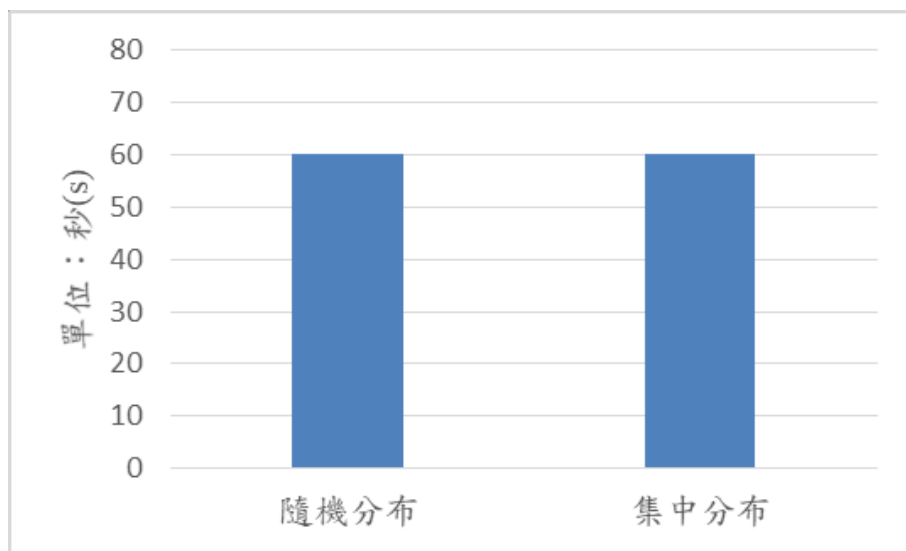


圖 8.6 基本方法之逃生時間：(左) 隨機分布；(右) 集中分布

由圖 8.6 可以看出在不同分布中逃生要花費的時間都是 60 秒，代表在不同分布下，基本方法的逃生都會因為擁擠而花費較多的逃生時間。而在本團隊設計的策略中以簡易模擬軟體模擬的逃生時間如圖 8.7 所示。

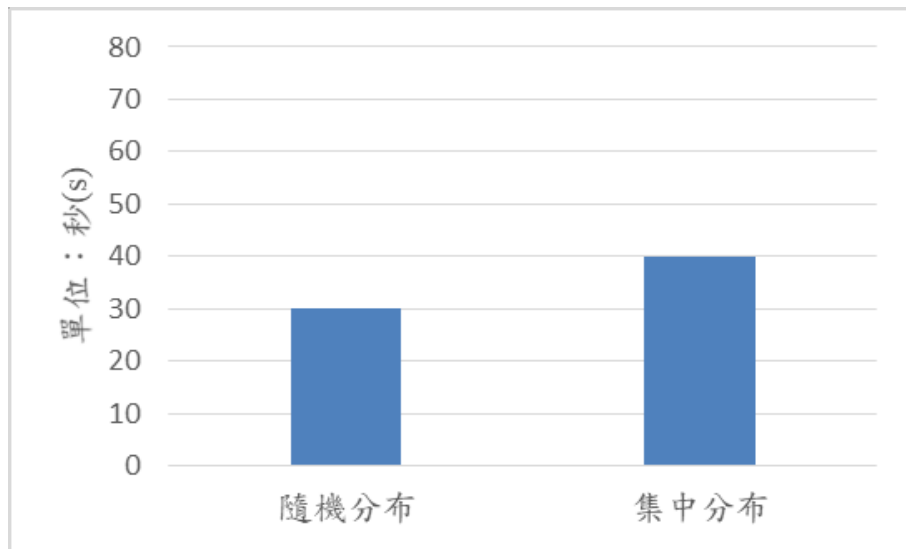


圖 8.7 匹配方法之逃生時間：(左) 隨機分布；(右) 集中分布

由圖 8.7 可以看出在不同分布中逃生匹配方法要花費的時間分別為 30 秒與 40 秒，在簡易的模擬中確實能看到逃生時間的下降。

由於在模擬軟體中之比較，只是簡易的模擬了不同分布下不同的逃生方式，因此本團隊將透過比較不同分布與方法在實際程式執行中的比較。在比較中，本團隊將比較不同分布、方法的逃生時間及遊客逃生平均移動步長，以觀察基本方法與本團隊提出的匹配演算法的差異。

■ 隨機分布

在隨機分布的狀況中本團隊比較了不同方法的逃生時間與平均移動距離分別如圖 8.8、圖 8.9 所示。

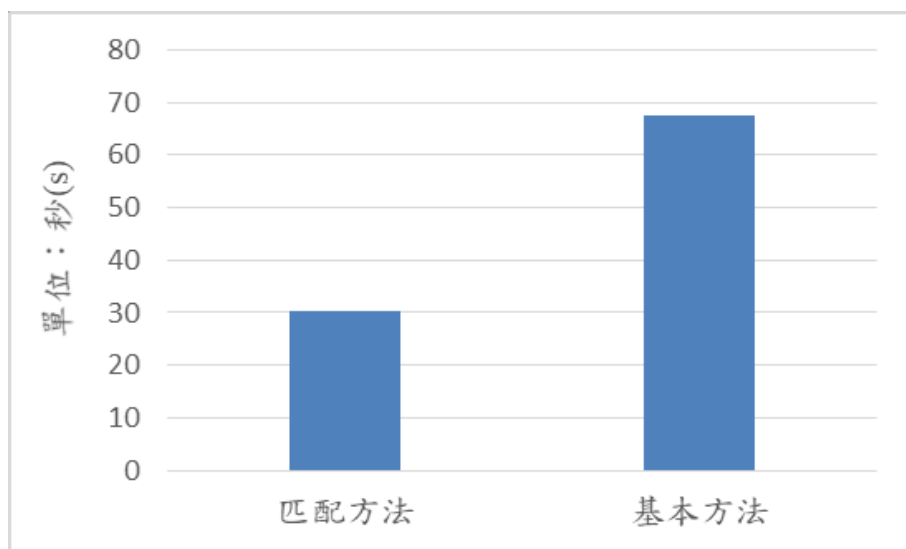


圖 8.8 隨機分布之逃生時間：(左) 匹配方法；(右) 基本方法

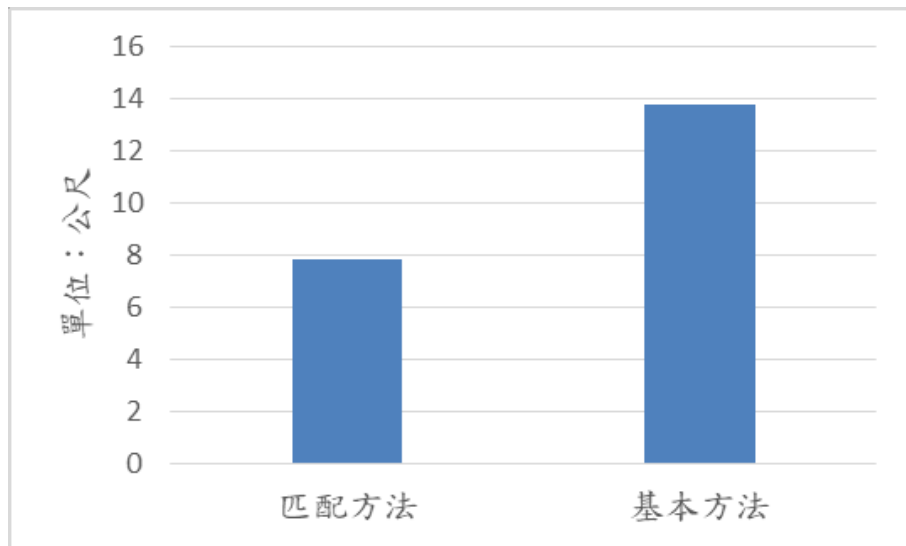


圖 8.9 隨機分布之平均移動距離：(左) 匹配方法；(右) 基本方法

可以看到在隨機分布中匹配方法較基本方法快了兩倍，這是因為在基本方法中，若遊客發生擁擠他會試著去找尋找能更快到達逃生出口的路線，但這個行為往往為造成繞遠路的效應，在遊客平均移動的步長中也可以看出遊客因為擁擠而去尋找其餘更近的逃生路線卻繞遠路的情況。

■ 集中分布

集中分布的狀況中本團隊比較了不同方法的逃生時間與平均移動距離分別如圖 8.10、圖 8.11 所示。

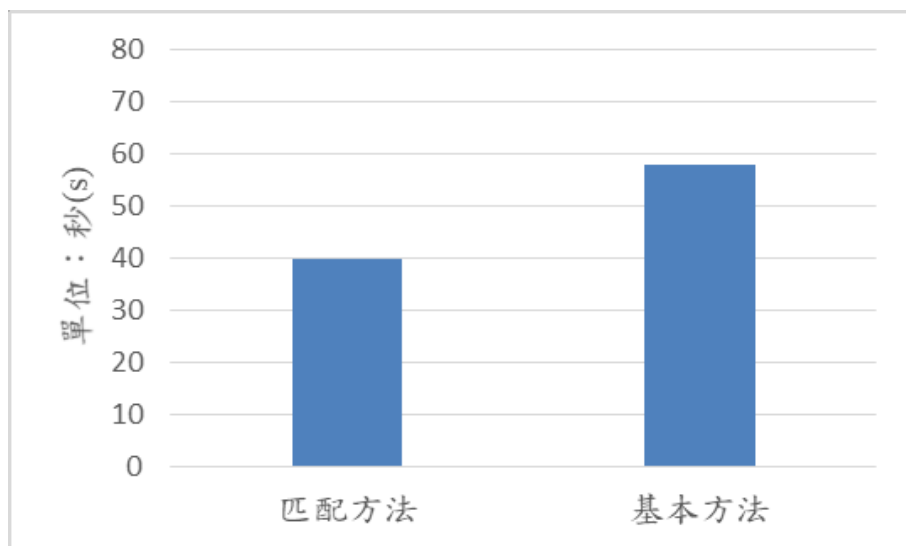


圖 8.10 集中分布之逃生時間：(左) 匹配方法；(右) 基本方法

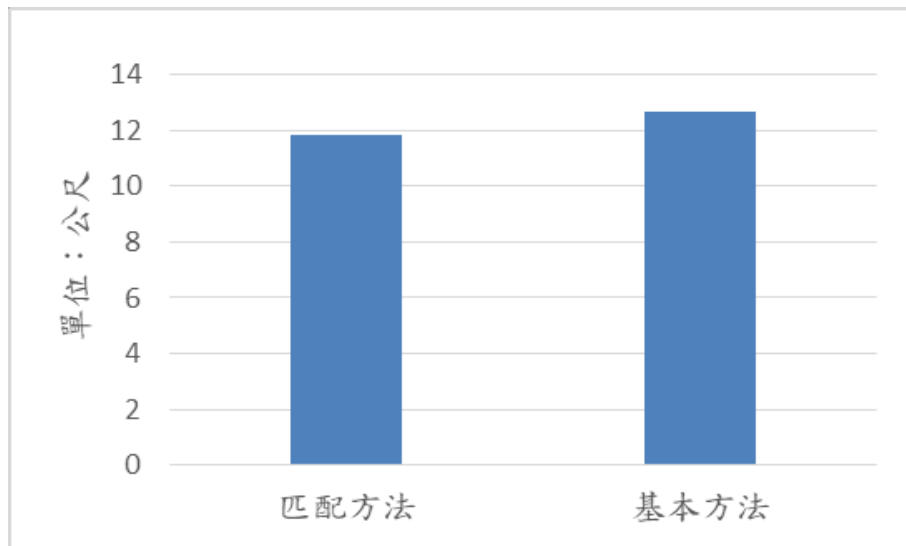


圖 8.11 集中分布之平均移動距離：(左) 匹配方法；(右) 基本方法

在集中分布的狀況中，我們可以看見兩個方法所需要的逃生時間被拉近了，這是因為在集中的狀況下匹配方法會使得遊客需要前往離自己較遠的出口，所以在逃生的時間中所花費的時間就會更多。但在基本方法中由於集中分布的原因，遊客會因為更加擁擠，而發生在原地等待無法移動的情況，反而浪費的寶貴的逃生時間。在實驗中可以看到兩種方法的平均步長非常接近，那也說明了在集中的狀況下，由於遊客因為推擠無法動彈，而使得逃生時間上升。

本團隊提出了一個具備即時性且能加快逃生時間的匹配演算法，並且比較單純逃生與使用匹配演算法後的逃生時間，可以發現在使用匹配演算法下的逃生時間的確是比單純逃生的逃生時間來的更快、更安全。

8.2 配合內政部辦理 108 年度行政院災害防救科技創新服務方案，協助災後快速製圖技術研發相關作業

本團隊過去研發災後快速製圖的相關技術，其獲取空間資訊資料面、模式面等成果皆可納入多項災害議題防治與發展。本團隊持續提供都會區車載移動製圖系統結合 Google Earth 展示介面（例如 105 年 9 月 26 日的梅姬颱風災害），團隊組成以老師學生為主，基於安全性考量，故以提供災後即時資料情搜及後處理分析為主（例如 105 年 2 月 6 日的臺南地震災害）。在災害處理空間資訊相關應用領域方面，利用現有 UAV 空載、車載，多重載體以機動靈活、高效快速、精細準確、作業成本低等優點，以及對數位影像處理與蒐集的能力；在小區域、環境惡劣與困難災害區域快速蒐集獲取高解析度原始影像或者是三維點雲資料。其成果可應用於災害情資研判、災害潛勢地

圖製作、受災人員分流機制等相關災害防救實際業務，故本案將持續配合內政部辦理 108 年度行政院災害防救科技創新服務方案，落實研發應用與產業加值之方向。

本團隊於 108 年 5 月 28 日配合內政部參與「行政院災害防救應用科技方案—第二期」104-107 年度總成果發表會，如圖 8.12，展示過去所發展的室內定位技術與人流逃生導引應用，以及近景攝影測量於防災應用，參展海報如圖 8.13 所示。

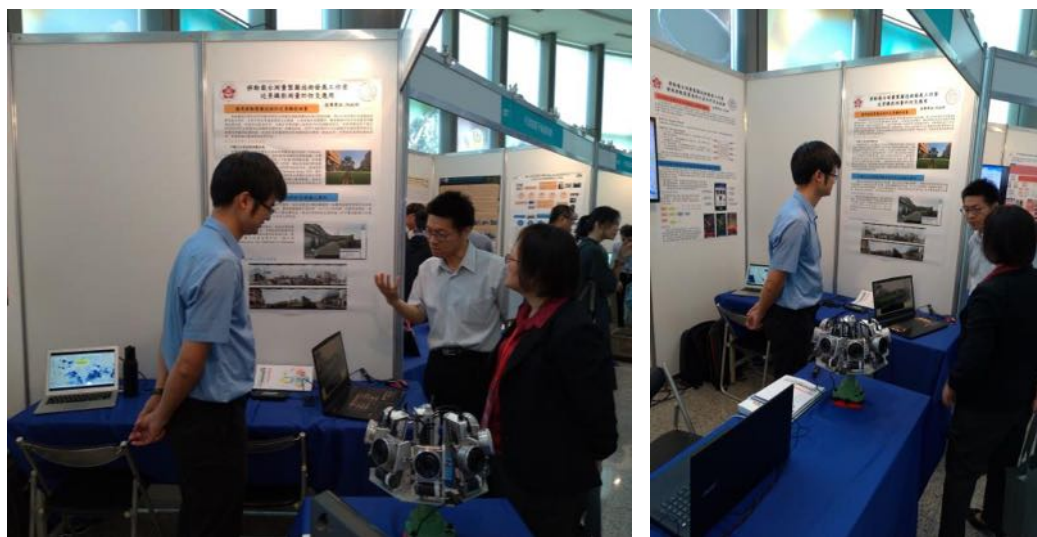


圖 8.12 總成果發表會之活動花絮

移動載台測量製圖技術發展工作案 發展移動裝置通用之室內外定位技術

指導單位：內政部

室內定位技術在室內災害的人流導引應用

當災害發生時，大部份的人會朝向個出口逃生，會造成所有人在門口無法逃出的困境，甚至可能因為在混亂中選擇發生疏導不完善的意外。現有的規範參考主要屬於靜態、被動，這樣的資訊無法知道災害發生當下出口的情況，而本案的規劃是主動由中央控管，能依據災害發生當下狀況即時動態調整，提供有效的逃生路徑指示。

災害人流導引定位演算法

- **基本方法 (Baseline Method)**
直觀地將人流導向最近的出口，但當大部份的人都在同一個出口附近時，則會延緩逃離的時間。
- **匹配方法 (Matching Method)**
 1. 以人為主，挑選距離最近的出口，並且將剩下的出口依照距離由近至遠排序。
 2. 以出口為主，挑選距離該出口最近的人，並且將剩下的人依照距離由近至遠排序。
 3. 以人為出口點，分別選擇距離最近的出口，若挑選同一出口的人數超過該出口單位時間內可逃生人數上限時，以該出口去挑選其他較近的人。

匹配方法可解決基本方法的問題，參考單位時間內各出口的人數情況，進行1-3的步驟可有效降低過多人流導引至相同出口所造成的衝突。

建置移動裝置端之空間資訊系統應用於適地性服務

室內基於訊號接收嚴重的環境，無法運用衛星定位技術，故本案開發一款手機APP，讓使用者可以在大型室內環境中透過手機進行導引。本案選定故宮博物院作為試辦場域，APP提供多元的功能與服務，利用APP查詢目的地後，透過路徑規劃演算法計算行人路線，接著結合行人定位推算(PDR)演算法，即時導引使用者前往目的地。

- 點選任一建物，即會顯示該建物的方向及距離
- 點選地圖按鈕，則會顯示使用者目前為止的行走路徑
- 點選相機按鈕，則會啟動相機開始擴增實境的功能，照到建物時APP會浮現相關的導覽文字

行人定位推算(PDR)

透過移動裝置內建之感測器偵測使用者移動的行為模式，同時計算步伐長度與步長，在加入方位資訊後，即可由當下的位置，推算使用者下一步之坐標。

$$M_{k+1} = N_k + S_k \times \cos \theta_k$$

$$E_{k+1} = E_k + S_k \times \sin \theta_k$$

擴增實境

對特定建物拍攝多張影像，利用不同角度、多張影像處理立體影像來擷取特徵值，將這些影像儲存至資料庫，當使用者開啟相機攝影展時，APP即會從資料庫中進行影像特徵值比對，並尋找相對應之建物，顯示導覽文字的擴增。

移動載台測量製圖技術發展工作案 近景攝影測量於防災應用

指導單位：內政部

應用移動製圖技術於近景攝影測量

地面測量作業目前多依賴GNSS定位測量及導軌測量技術進行控制測量，再以全站儀定位測量技術實地逐點定位測量。目前作業成果僅產製點位坐標值，土地面積及相關圖形，觀測現場的現況及測量員所觀測的標地物，則無法記錄並保存。日後若有爭議時難以追溯當時的現場觀測情況。移動製圖技術可整合GNSS即時定位測量及近景攝影測量於同一的觀測系統，同時可由影像的方式記錄觀測現場的實際現況及測量員所觀測的標地物，有助於未來釐清與分析相關地面之變異。除此之外，同時保存當時的現場資訊，欲重新進行量測時亦非常方便。

球形全景影像之定位演算法

- **可攜式全景影像測繪系統**

本團隊研發出一套可攜式全景影像測繪系統(Portable Panoramic Image Mapping System, PPIMS)，其配備8部高解析度單眼相機，以環狀的排列的方式固定於平台，且平台上可裝置GNSS接收機，目前最新設計之系統採用之相機型號為SONY A5100，解析度高達2400萬畫素，PPIMS能同時拍攝8張影像，並以e-GNSS系統來定位，透過其拍攝的8張影像形成球形全景影像(Spherical Panorama Image, SPI)，基於光學法平差及攝影測量定位理論上，本團隊發展出專屬於球形全景影像之定位演算法，能夠直接於球形全景影像上量測座標。結合e-GNSS定位資料進行多測站光學法平差，解算所有球形全景影像之外方位參數與相關地物點坐標。

可攜式全景影像測繪系統於防災現場之應用

可攜式全景測繪系統可應用至許多場景，例如至歷史古蹟拍攝遺跡，本團隊先前往台南德安戲院觀測，或是至遠空良好之市區，量測相關建物之界址點。亦可至災害現場，紀錄現場情形，透過影像可快速記錄現場環境，保存大量相關訊息。結合e-GNSS定位資料進一步可量測影像之任意點，獲得地面之相關資訊，以利災害防治等用途。

球形全景影像顯示與量測

PPIMS所有相關的應用程式，包括全景影像掃描、球形全景影像量測、多測站球形影像平差均已開發，並設計一個簡易操作的系統介面，將上述各軟體之功能統整於此，稱之為MAPS(Measurement and Adjustment on Panorama System)。

高雄災害現場拍攝之球形全景影像

圖 8.13 本團隊相關技術與應用之參展海報

在內政部的支持下，本團隊透過工作案的推動促使防救災技術與應用的整合，並將研發成果落實於災後快速製圖之相關實務作業，後續也期望能夠加值推廣到各產業或單位，有效提升整體的防災效益以及即時掌控全面的災情狀況，讓臺灣打造永續發展的環境。

8.3 本章小結

對於「評估室內定位技術於人員受災分流機制」之工作項目，本案探討人群在災害時的逃生習慣與火災相關文獻，並以此為基礎發展人潮疏散之匹配演算法，降低遊客堵塞在逃生出口的機率，同時減少遊客逃生需要花費的時間。利用模擬軟體進行基本方法與匹配方法的逃生測試，透過分析不同分布下的逃生時間與平均移動距離，匹配演算法能提供更快速、更安全的逃生策略。

對於「配合內政部辦理 108 年度行政院災害防救科技創新服務方案」之工作項目，本案配合內政部於 108 年 5 月 28 日參與「行政院災害防救應用科技方案－第二期」104-107 年度總成果發表會，展示過去工作案所發展的相關技術與應用場景，持續精進並落實於災後快速製圖之相關實務作業中。

第九章、發展地籍測量移動製圖技術

地籍測量作業包括地籍重測及土地複丈業務，目前施測方式多為傳統測繪方法。現今移動製圖技術已經可達到與傳統地面測量相當的點位觀測精度，然而透過影像的方式記錄觀測現場的現況及測量員所觀測的標地點，有助於未來釐清土地產權的爭議。其中人員可攜式(Portable)的觀測系統較符合現場調查及觀測的概念，因此本案推動人員可攜式觀測系統來輔助地籍測量之應用，並針對適地性服務案例試辦地籍重測之業務，持續以臺南市地籍測量案例進行施測。

9.1 應用移動製圖技術精進地籍測量作業，探討移動製圖技術納入地籍測量作業相關流程之精度分析

地籍測量作業以地籍圖重測及土地複丈業務為主，目前多倚賴 GNSS 定位測量及導線測量技術進行控制測量，再以全測站儀定位測量技術實施界址點位測定。目前作業成果僅產製界址點位坐標值、土地面積及地籍圖，其成果雖有記錄宗地範圍，但在複丈時常會有界址點未知、指界不一致，或是圖根點遺失的情形。此外，觀測現場的現況及測量員所觀測的標地點，亦無法記錄並保存，日後有爭議時難以追溯當時的現場觀測情況。本團隊依據此議題而有一個構想，透過移動製圖技術來整合 GNSS 即時定位測量及攝影測量於統一的觀測系統，外業觀測人員於現場操作觀測系統獲取影像及 GNSS 訊號，觀測資料的處理及測繪皆為室內作業。藉由影像記錄觀測現場的實際現況及測量員所觀測的標地點。此外，還可於影像上量測獲得所需之地物點坐標（例如控制點或是界址點），由於當時的現地資訊已保存，欲重新進行量測時亦非常方便，有助於未來釐清土地產權之爭議。

移動製圖技術依據載具平臺可區分為空載、車載與可攜式三個測繪系統。空載系統有大範圍涵蓋的優勢，但缺乏地物立面的資訊。車載系統可補足空載系統不足之處，但僅限於載具能夠到達的區域。對於車載系統無法進入之區域，例如道路周邊外之場景、災害現場及山區林地等，則可採用可攜式系統。針對地籍測量之實際場景，都市區域許多巷弄難以透過空載與車載測繪系統來觀測界址點，因此以可攜式測繪系統較為合適。此外，相對於空載及車載測繪系統，可攜式測繪系統具有輕便攜帶、容易施測、價位低等好處，有利於現況較複雜的場景記錄與調查。

綜合上述之分析，一套整合 GNSS 即時定位測量及攝影測量的可攜式移動測繪系統，可應用至地籍測量作業。因此本團隊基於上述之考量而發展一套可攜式全景影像測繪系統(Portable Panoramic Image Mapping System, PPIMS)，探討以 PPIMS 輔助於地籍測量之應用成效。使用影像進行量測具有下列幾項優點：首先是快速取得現地資訊，而且只需在現地量測少數控制

點，大幅縮短外業測量時間；此外影像能完整記錄當時現地情形，這些資訊可以永久保存，需要重新量測時亦十分方便；最後是影像的直觀性，一般民眾透過影像較容易理解與觀察資訊，不受專業測量知識的限制。

目前最新設計之可攜式全景影像測繪系統如圖 9.1 所示，能同時拍攝 8 張影像，並以 e-GNSS 系統來定位，透過其拍攝的 8 張影像形成球形全景影像(Spherical Panorama Image, SPI)，基於光束法平差及攝影測量定位理論上，本團隊發展出專屬於球形全景影像之定位演算法(林冠穎，2014)，能夠直接於球形全景影像上量測像點，結合 e-GNSS 定位資料進行多測站光束法平差，解算所有球形全景影像之外方位參數與相關地物點坐標。後續若想量測其他地物點，可依據已解算的測站方位，透過前方交會的原理來計算更多地物點的三維位置。然而若裝載慣性元件於 PPIMS 之平台上，經過完善的系統率定後，所有相機的姿態與位置便可基於直接地理定位的演算法獲得。依據前方交會的原理，進一步量測與解算地物點之三維位置。

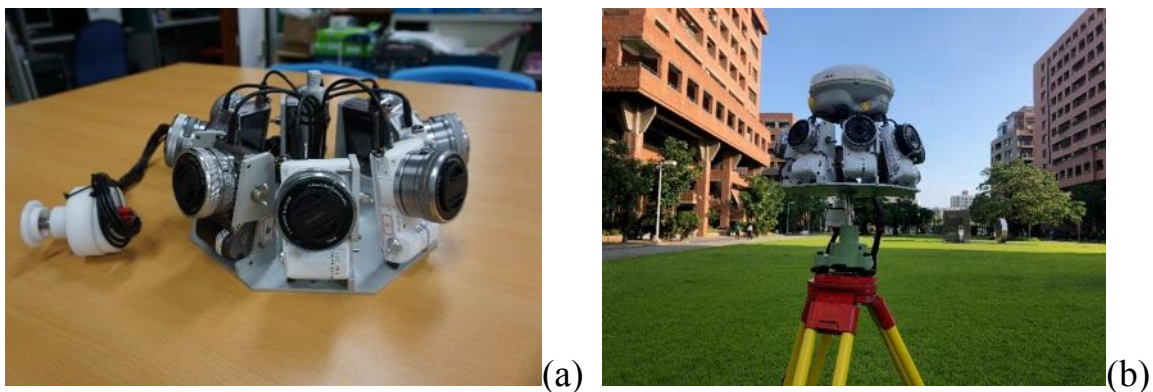


圖 9.1 (a)PPIMS 之平台硬體設計；(b)PPIMS 整體外觀

本團隊亦開發 PPIMS 其所有相關的應用程式，包括全景影像拼接、球形全景影像量測、多測站球形影像平差，並設計一個簡易操作的系統介面，將上述各軟體之功能統整於此，稱之為 MAPS(Measurement and Adjustment on Panorama System)，其使用介面如圖 9.2 所示。使用者透過此系統介面將能展示、瀏覽並量測相關的球形全景影像，亦可透過人機互動介面量測點位獲得地物點對應之影像坐標，並將觀測結果儲存進行多測站平差，最後展示測站、控制點與連結點於地圖上，冀望依此建立地籍測量觀測成果資料庫，以供查詢及輔助土地複丈內外業。

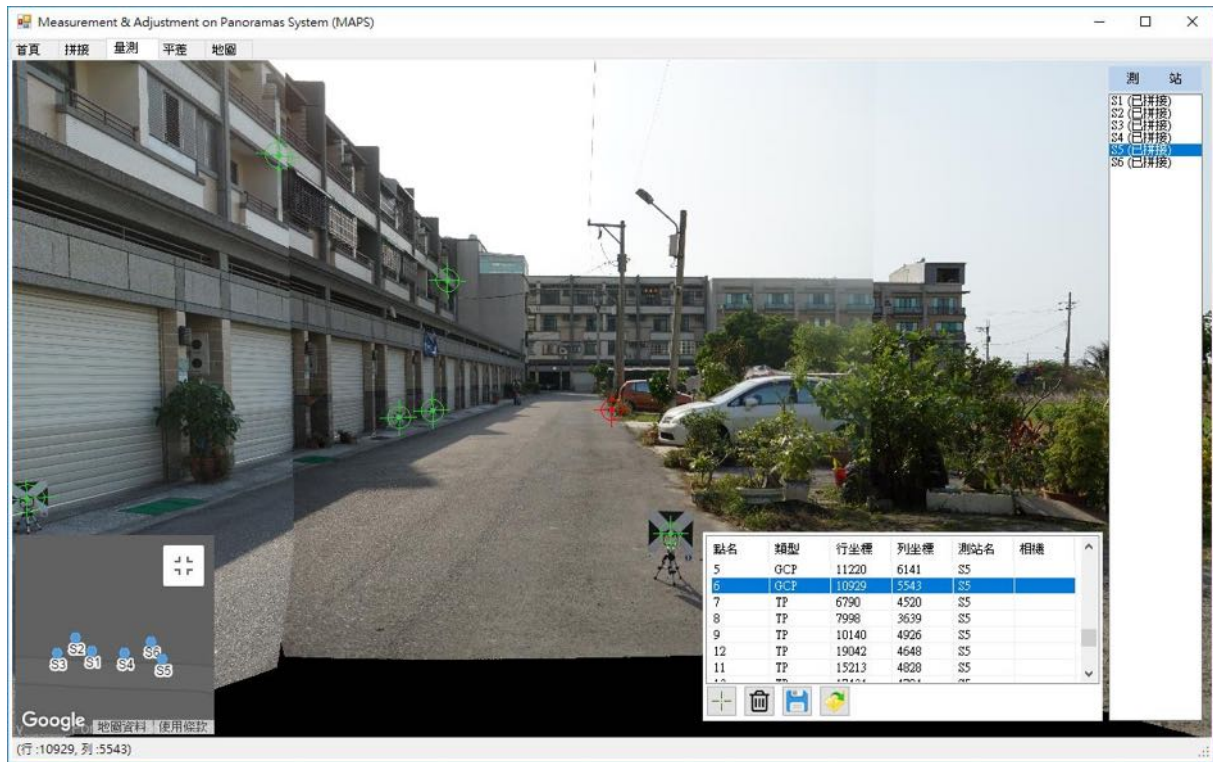


圖 9.2 MAPS 使用介面：量測頁籤操作展示畫面

本團隊建置的輔助作業流程如圖 9.3 所示，其中 PPIMS 之系統方位率定須於平臺製作後進行，並需定期檢測，以確保施測時的率定參數正確，爾後每次作業引用率定參數即可。今年度本團隊亦重新率定 PPIMS 之系統方位，以確保 PPIMS 最新的相對方位關係，其包含 8 台相機與平台中心之間的軸角(Boresight angle)與固定臂(Lever arm)，成果分別如表 9.1 與表 9.2 所示。

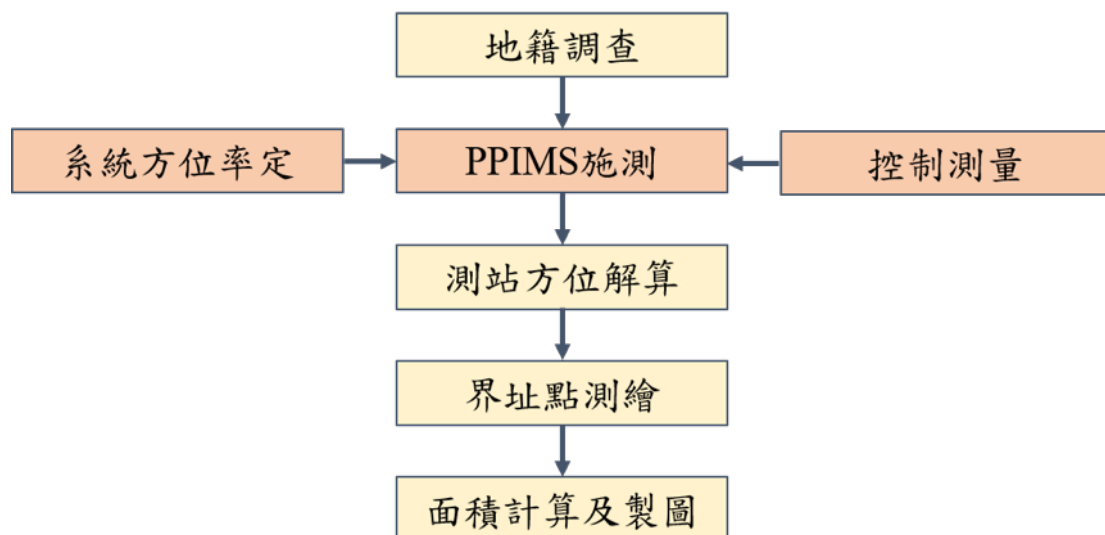


圖 9.3 移動製圖技術輔助於地籍測量之作業流程

表 9.1 PPIMS 系統方位率定成果：軸角

系統率定	相機編號	ω	φ	κ
軸角(°)	1	-0.9135	255.07322	43.72316
	2	-0.45057	254.92901	359.23987
	3	0.38808	255.37623	314.41600
	4	-2.55509	254.56228	266.88638
	5	-2.72378	254.82442	222.65051
	6	-2.45218	254.40585	177.89403
	7	-6.04032	254.86807	128.81544
	8	0	255	90

表 9.2 PPIMS 系統方位率定成果：固定臂

系統率定	相機編號	X	Y	Z
固定臂(m)	1	-0.1085	0.1026	-0.0598
	2	-0.1498	-0.003	-0.0599
	3	-0.1053	-0.1079	-0.0595
	4	0.0004	-0.1491	-0.059
	5	0.1042	-0.1046	-0.0584
	6	0.1459	0.0008	-0.058
	7	0.1033	0.1047	-0.0593
	8	-0.0039	0.1482	-0.0589

由於 PPIMS 可提供 e-GNSS 定位，相當於每個測站都是控制點，不需額外進行控制測量，但若測區遮蔽嚴重造成透空度不佳，無法由 GNSS 系統進行定位，則可藉由控制測量引入控制點，加入平差解算。本案試辦案例依據此建置的作業流程進行，並持續與臺南市政府地政局加以討論實務流程之實用與便利性，以及協助本案適地性服務區域布設三維控制點，以利外業施測與相關精度之分析探討。

此外，本團隊亦與新竹市政府地政處交流學習，由蕭介峰秘書說明該單位專案發展緣由，了解目前其以光達輔助地籍測量之方法與成果。其委託測量公司以地面光達沿路施測，成果展示如圖 9.4 所示，點雲主要為 LAS 檔格式，可使用 RiSCAN 或 CloudCompare 等軟體開啟檢視。

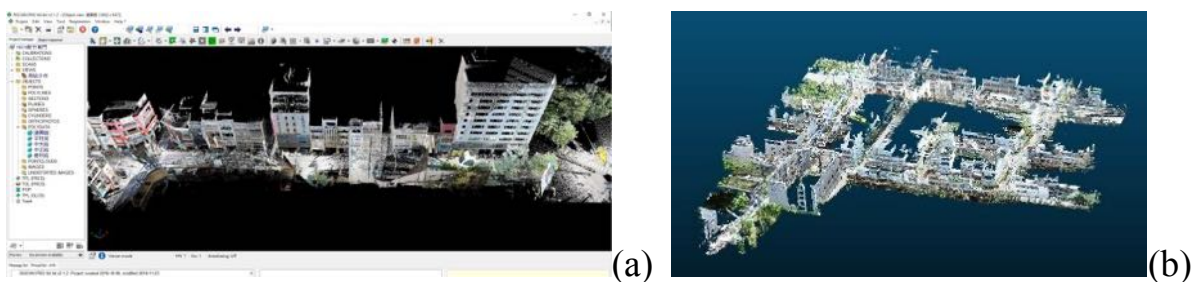


圖 9.4 (a)105 年光達成果；(b)107 年光達成果

地面光達架站設定完後，可將現地地形地物掃描建立起來，其三維模型可提供使用者了解現場景物之相對關係，點雲相較影像是更為直觀與立體，然而其相關軟、硬體成本乃非常昂貴。針對成本效益與重量輕便而言，可攜式全景影像系統是比較有優勢的。此外，界址點位於地面上是光達較難以掃描的，容易受到遮蔽或是掃描時因距離而使點密度變得稀疏，以致無法確實量測地籍點之位置，使用影像也有同樣的問題，因此本團隊另外設計了量測輔助標，如圖 9.5 所示，其可架設於界址點上，拍攝時標面可依測站方向旋轉標面，使 PPIMS 於不同位置皆可方便拍攝，提供後續內業量測。

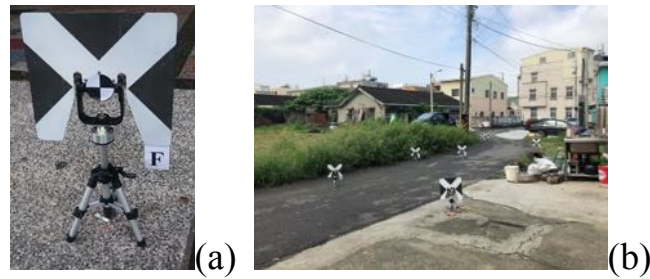


圖 9.5 量測輔助標：(a)標面外觀；(b)布設於界址點上

針對解決地面界址點與控制點不便以光達掃描之問題，新竹市政府地政處特別使用稜鏡與反射標貼紙（如圖 9.6 所示），鑲嵌與布設於牆上，於點雲上便可易於辨識。上述方式值得本團隊效仿學習。針對部分受限於環境而標記(例如噴漆)於牆上之界址點，若能於建物牆上貼上可供影像辨識之界址點標記(例如防水貼紙)，其與原先標記相比，對於 PPIMS 拍攝與量測則更加便利，此外亦可能保存更久。

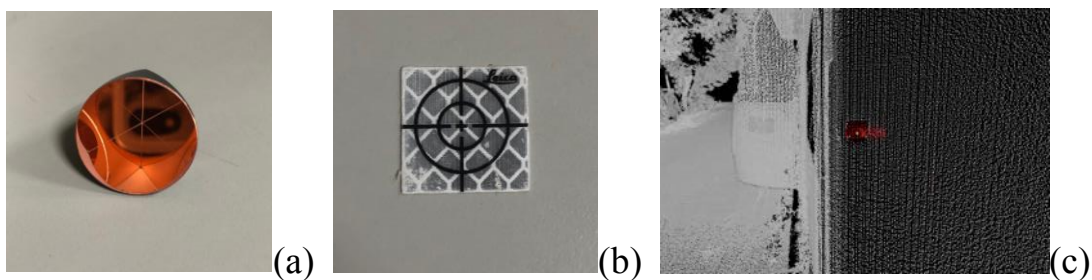


圖 9.6 新竹市政府地政處光達輔助地籍測量：(a)稜鏡；(b)反射標貼紙；(c)反射標貼紙於光達點雲之顯示

針對地籍測量作業的應用，除發展可攜式移動製圖技術的實施方法及規劃流程之外，各個誤差來源與大小亦須考量，包含相機內方位率定、系統相對方位率定、e-GNSS 定位誤差以及影像量測誤差，本團隊整理如表 9.3 所示。然而實際外業時，尚須考量其他因素，例如測站分布之交會幾何、具觀測量之測站數量、控制點之精度與控制點數量等因素皆對解算成果有一定程度之影響，測站交會幾何之影響如圖 9.7 所示，測站太過接近時，基線過短則將造成顯著之定位誤差，而實務上則不一定可避免遮蔽環境，以具有理想

的交會幾何來架站觀測，以致定位成果不佳。針對具觀測量之測站與控制點數量之影響，本團隊於 107 年度已做過測試分析，相關細節請參考該年度期末報告書 3.3 小節之相關內容。

表 9.3 可攜式移動製圖技術之誤差來源與大小

誤差來源	預估大小	特性
相機內方位參數率定	<0.5 pixel	透過率定解算出焦距、像主點與透鏡畸變等內方位參數，改正像元之畸變量，使像主點、像元與對應物點符合共線式。
系統相對方位參數率定 <ul style="list-style-type: none"> • 平台中心至 8 台相機坐標系統原點之向量 • 平台與 8 台相機坐標系統三軸之旋轉角 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 mm • 0.02° 	相對方位參數對於後續像點量測之平差計算相當重要，此率定值之誤差，隨著物點距離平台越遠則造成之誤差越大。
e-GNSS 定位誤差	1-3 cm (理想情況)	使用 e-GNSS 之系統定位，理想情況為透空良好、衛星顆數足夠與分布公尺幾何均勻，則可達到前述精度。然而實際外業，尚須考量多路徑效應、觀測品質與 VRS 改正等情形。
影像量測誤差	1-2 pixel	取決使用者量測情形，亦須考量拍攝距離，若距離越遠，則像元越難確實量測至對應之物點，誤差亦隨之增大。

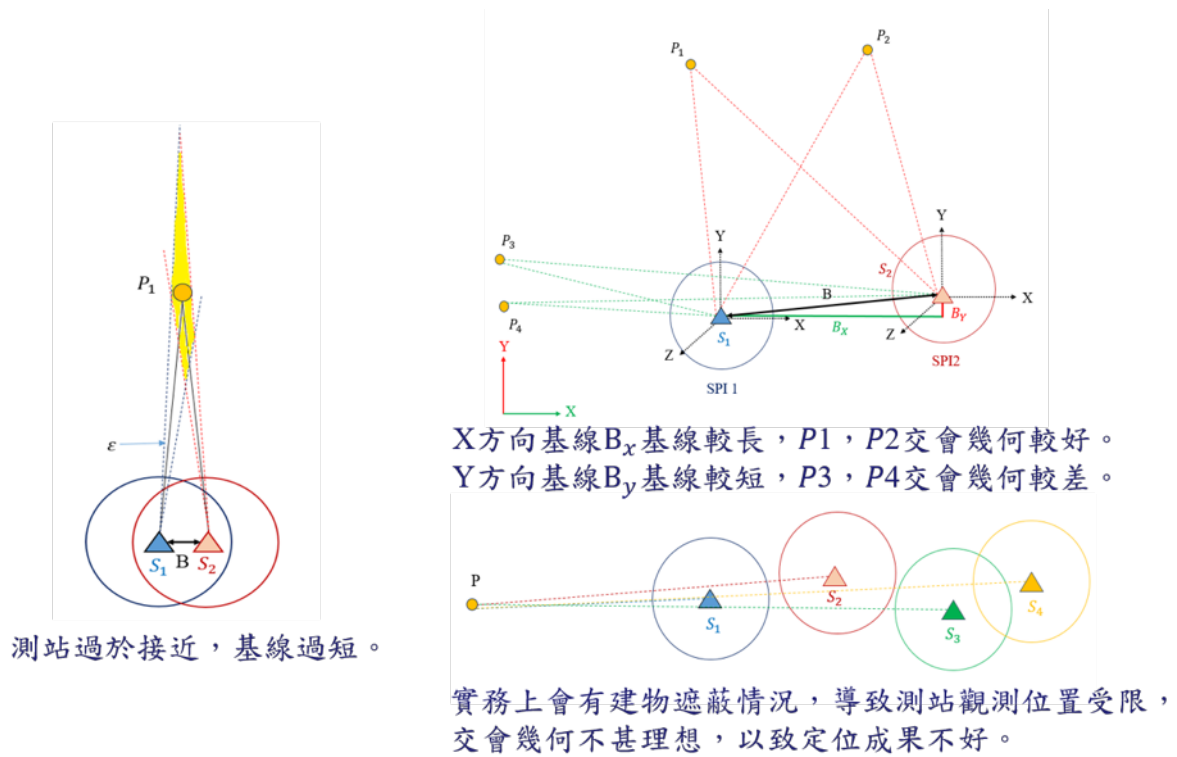


圖 9.7 交會幾何分析之定位誤差說明

9.2 適地性服務案例試辦

本案規劃試辦土地複丈與地籍重測等適地性服務，將所開發之系統應用於實際測繪案例，測試整體操作流程之流暢性。整個測製流程可分為外業與內業兩個部分，外業部分為實地勘察環境以決定合適之測站擺設位置，再架設 PPIMS 拍攝影像與 e-GNSS 定位，內業部分為依據各個測站整理與分類影像，再匯入至 MAPS 軟體拼接各測站對應之球形全景影像以及進行量測，獲得所需觀測量後進行光束法平差解算。

施測區域參考先前已取得的 107 年與 108 年臺南市相關之重測區域 kml 檔，分別為東南、臺南、安南與永康地政事務所所負責之四個區域，如圖 9.8 所示。本年度規劃設定兩個實驗場來施測，藉以比對不同透空情形對於實驗精度之影響，亦考量能完善檢核施測成果。最後選定 107 年永康區重測區域之合適範圍作為實驗場域，將此試辦區域劃分為兩個，其中一個區域透空較佳，另一個區域透空較差。如圖 9.9 所示，佔地面積約 0.9 平方公里，西至正北三路，南至縱貫公路，最北則至鹽水溪，而該區域之下半部分為永康工業區，上半部分為農地及少數民宅。

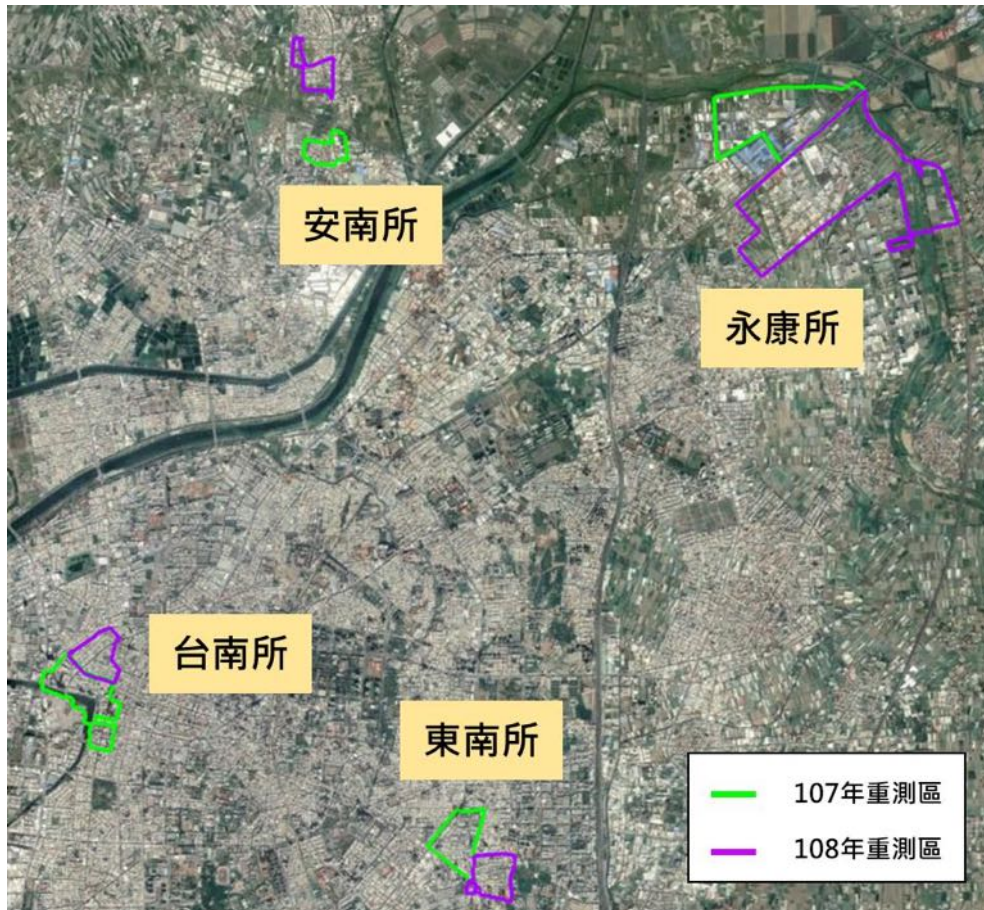


圖 9.8 臺南市 107 年度及 108 年度重測區域



圖 9.9 永康區 107 年度重測區域

本團隊與臺南市政府地政局以及永康地政事務所相關人員一同場勘了解現地環境，最終選定臺南市永康區和平路以及 246 巷和 238 巷鄰近區域為今年度試辦區域。該區域詳細之地籍資料如控制點與界址點之點位 SHP 檔，已向臺南市政府地政局索取，以 ArcMap 軟體套疊展示如圖 9.10 所示，紅色三角形圖例為控制點，綠色圓形圖例為界址點。

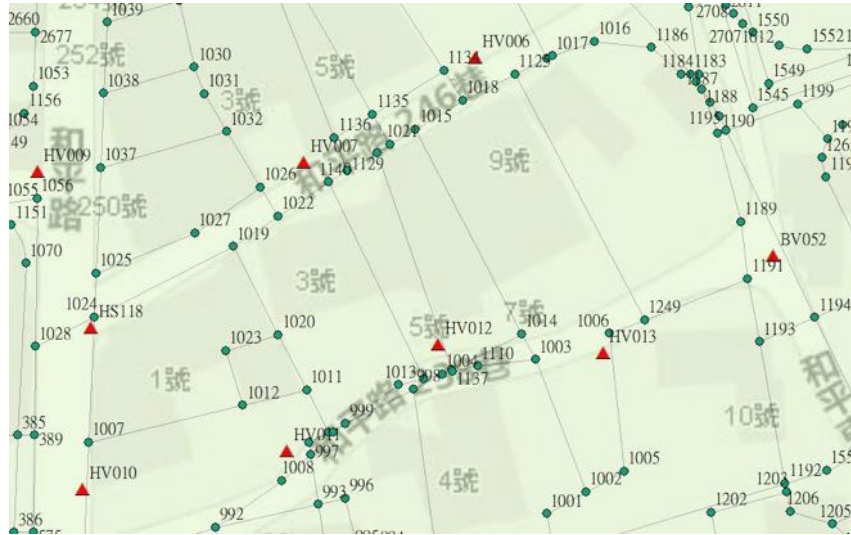


圖 9.10 永康區試辦區域：以 ArcMap 軟體套疊展示

9.2.1 透空較佳區域之測試成果

透空較佳之區域為和平路 238 巷周圍，現地環境如圖 9.11 (a)所示，兩側建物較為低矮，GNSS 訊號較不易被遮蔽，控制點與界址點之地面標記仍然維持良好，分別如圖 9.11 (b)與(c)所示。

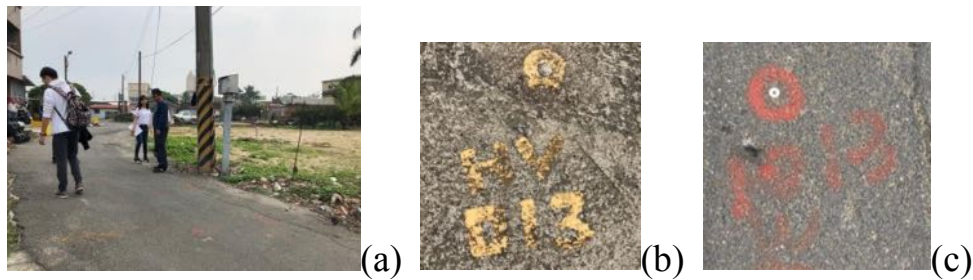


圖 9.11 透空較佳之測試區域：(a)現地環境；(b)控制點；(c)界址點

本團隊於此架設 PPIMS 觀測，相關外業操作如圖 9.12 所示。總計布設 7 個測站、使用 3 個控制點、14 個連結點與 6 個檢核點。其中測站有 6 站可接收到 GNSS 訊號而有坐標定位，而檢核點皆為現地現存之界址點，因此僅有平面坐標作為檢核。



圖 9.12 透空較佳之測試區域之相關外業操作

然而本團隊於內業計算時發覺，雖然以國土測繪中心之 e-GNSS 量測控制點，並設定即時坐標轉換為 TWD97 平面坐標與 TWVD2001 正高。然而其量測坐標值與已知坐標值相比，E 方向具有明顯之系統誤差，如表 9.4 所示，差異約 3~5 公分。經與臺南市政府地政局與永康地政事務所相關人員討論後，控制點坐標系統與 TWD97 坐標系統本存在些許差異，乃因為控制點是由導線施測再施行網形平差計算。因此決定將測站 e-GNSS 之觀測值，加上兩者系統之平均差值後，再進行後續計算與檢核比較。

表 9.4 控制點已知坐標值與 e-GNSS 量測坐標值差異

	編號	E(m)	N(m)
已知坐標	HV012	174789.669	2550751.851
	HV013	174808.313	2550750.902
	HV006	174793.872	2550784.335
e-GNSS 量測	HV012	174789.725	2550751.845
	HV013	174808.350	2550750.902
	HV006	174793.913	2550784.343
差值(已知-量測)	HV012	-0.056	0.006
	HV013	-0.037	0.000
	HV006	-0.041	-0.008
平均差值(m)		-0.045	-0.001

相關點位分布如圖 9.13 所示，測站對應之球形全景影像如表 9.5，而圖中綠色標記為連結點之分布位置，界址點精度與檢核成果如表 9.6 所示。

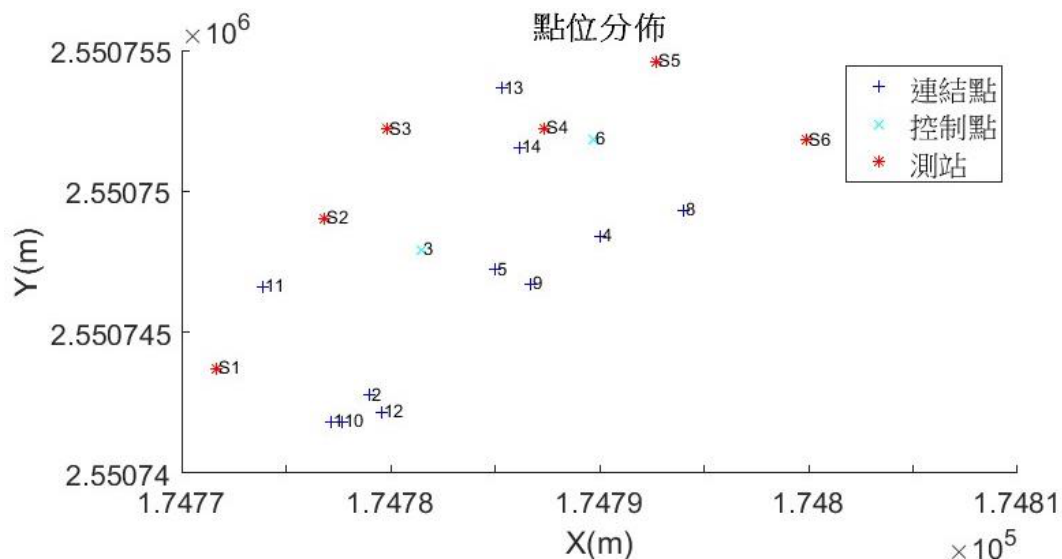


圖 9.13 透空較佳之測試區域：測站、控制點與連結點分布圖

表 9.5 透空較佳之測試區域：測站之球形全景影像

測站	球形全景影像
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	

表 9.6 透空較佳之測試區域：界址點精度與檢核成果

界址點編號	$\sigma_E(m)$	$\sigma_N(m)$	$\Delta E(m)$	$\Delta N(m)$
999	± 0.008	± 0.008	0.034	0.030
1004	± 0.006	± 0.006	0.004	0.006
1013	± 0.008	± 0.008	0.014	0.023
1110	± 0.007	± 0.006	0.006	0.019
998	± 0.007	± 0.007	0.002	0.013
1000	± 0.009	± 0.009	0.044	0.031
平均誤差(m)			0.017	0.020
均方根誤差(m)			0.024	0.022

由表 9.6 可發現，界址點之定位標準差（ σ_E 與 σ_N 欄位）於 E、N 方向皆小於 1 公分。然而與已知坐標比較差值後，平均誤差與均方根誤差於 E、N 方向約在 2 公分左右。其中編號 999 與 1000 之差值明顯比其他界址點大，因此移除 999、1000 兩個界址點，重新計算平均誤差與均方根誤差，成果如表 9.7 所示。可發覺平均誤差與均方根誤差皆下降，於 E、N 方向皆低於 2 公分。

表 9.7 透空較佳之測試區域：界址點精度與檢核成果（移除編號 999、1000 之界址點）

界址點編號	$\sigma_E(m)$	$\sigma_N(m)$	$\Delta E(m)$	$\Delta N(m)$
1004	± 0.006	± 0.006	0.004	0.006
1013	± 0.008	± 0.008	0.014	0.023
1110	± 0.007	± 0.006	0.006	0.019
998	± 0.007	± 0.007	0.002	0.013
平均誤差(m)			0.006	0.015
均方根誤差(m)			0.008	0.017

在透空良好之情況下，大部分測站可接收 GNSS 訊號定位，對於界址點解算成果相當精準，平面精度可在 1 公分以內。與重測成果之界址點坐標比較，於 E、N 兩方向之均方根誤差約在 2 公分。移除偏差較大的 999 與 1000 之兩個界址點，E 方向可達 1 公分以下，N 方向可達 2 公分以下。針對偏差較大的這兩個界址點，本團隊推估有兩個可能原因，第一個原因可能是地形之傾斜，該處有 10 公分的高度落差，如圖 9.14 所示，而目前量測輔助標受限於硬體設計，無法完善地定心與定平，以致量測輔助標的標面，鉛垂往下對應界址點中心產生些微偏移。第二個原因則可能是 e-GNSS 量測與控制點坐標系統差異之影響，雖然已加上兩者之平均差值來改正，但與實際之數值仍會有誤差。

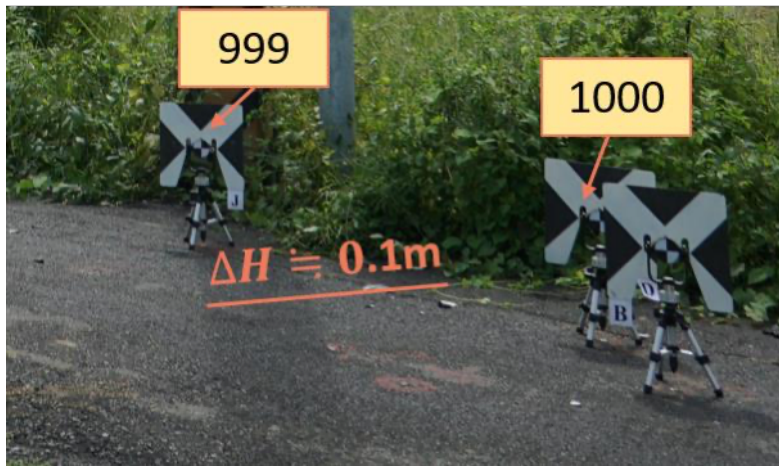


圖 9.14 地形傾斜以致量測輔助標面偏移地面中心

依據本團隊發展的球形全景影像之定位演算法所解算的界址點坐標，套疊於現今地籍圖，以 1/250 之比例尺檢視如圖 9.15 所示，紅色三角形圖例為控制點，藍色圓形圖例則是解算的界址點，其套疊於地籍圖線段上是相當貼合的，以視覺化的方式呈現可攜式測繪系統輔助應用於地籍測量之可行性。



圖 9.15 透空較佳之測試區域：解算之界址點套疊地籍圖（比例尺 1/250 檢視）

9.2.2 透空較差區域之測試成果

依據透空較佳區域之實驗經驗，本團隊與臺南市永康地政事務所人員再次討論並場勘，並考量實驗之相關需求，因此將透空較差之區域改選定 108 年永康區重測區域。該區域詳細之地籍資料如控制點與界址點之點位圖檔，

已向臺南市永康地政事務所索取，以 ArcMap 軟體套疊展示如圖 9.16 所示。現地環境如圖 9.17 (a)所示，其地面之標記較為完整與清楚，現地現存之界址點數量亦較多，如圖 9.17 (b)所示。此區域於今年度 6 月才剛完成相關施測，此外永康地政事務所亦可提供控制點與界址點坐標，利於後續精度分析。

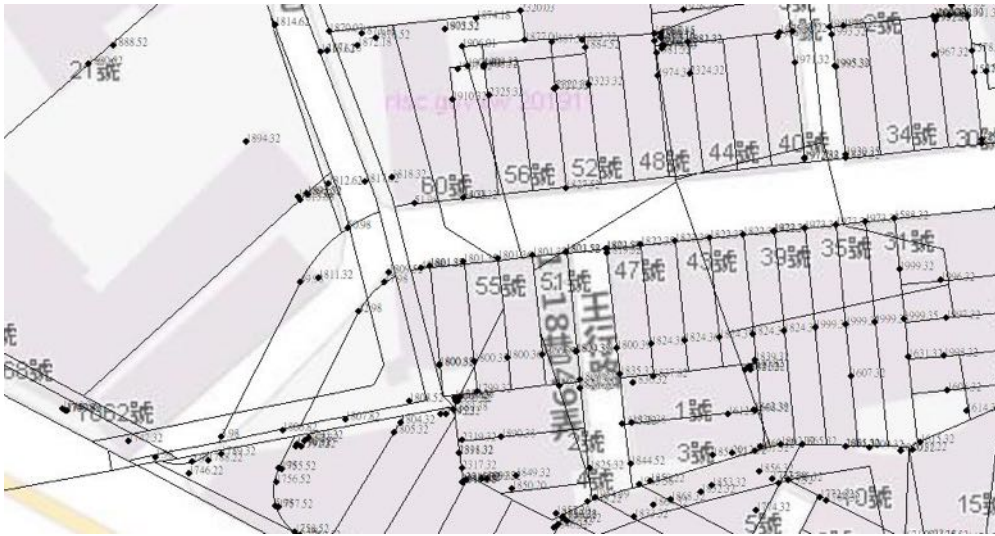


圖 9.16 透空較差之區域：以 ArcMap 軟體套疊展示



圖 9.17 永康區 108 年重測區域：(a)現地環境；(b)控制點與界址點

先前場勘時，已使用 e-GNSS 系統來定位，了解透空度較差地區實際接收之情形，以確認需使用全測站進行控制測量。因此該測試區域改使用全站儀施測與解算 PPIMS 之測站位置，亦避免 e-GNSS 量測與控制點坐標系統差異之影響。本團隊事先布設好測站位置，接著全站儀架測於一個控制點上，後視另一個控制點然後前視觀測，相關外業操作如圖 9.18 所示，其內業解算之測站分布如圖 9.19 所示。接著便架設 PPIMS 進行觀測，總計布設 5 個測站、使用 1 個控制點、53 個連結點與 11 個檢核點。檢核點皆為現地現存之界址點，因此僅有平面坐標作為檢核。



圖 9.18 透空較差之測試區域之相關外業操作

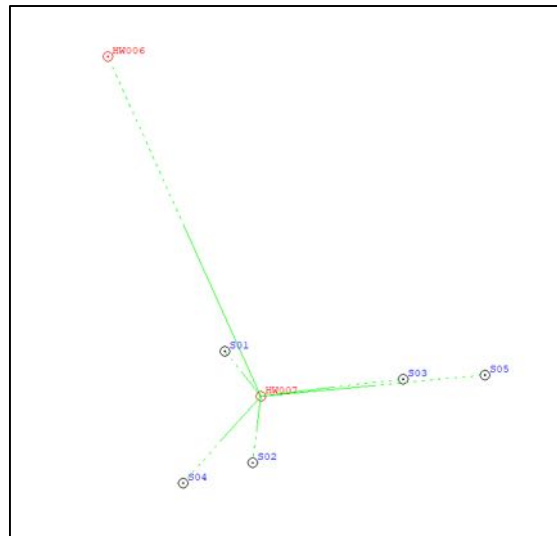


圖 9.19 內業解算之 PPIMS 測站位置分布圖

相關點位分布如圖 9.20 所示，測站對應之球形全景影像如表 9.8，而圖中綠色標記為連結點之分布位置，界址點精度與檢核成果如表 9.9 所示。

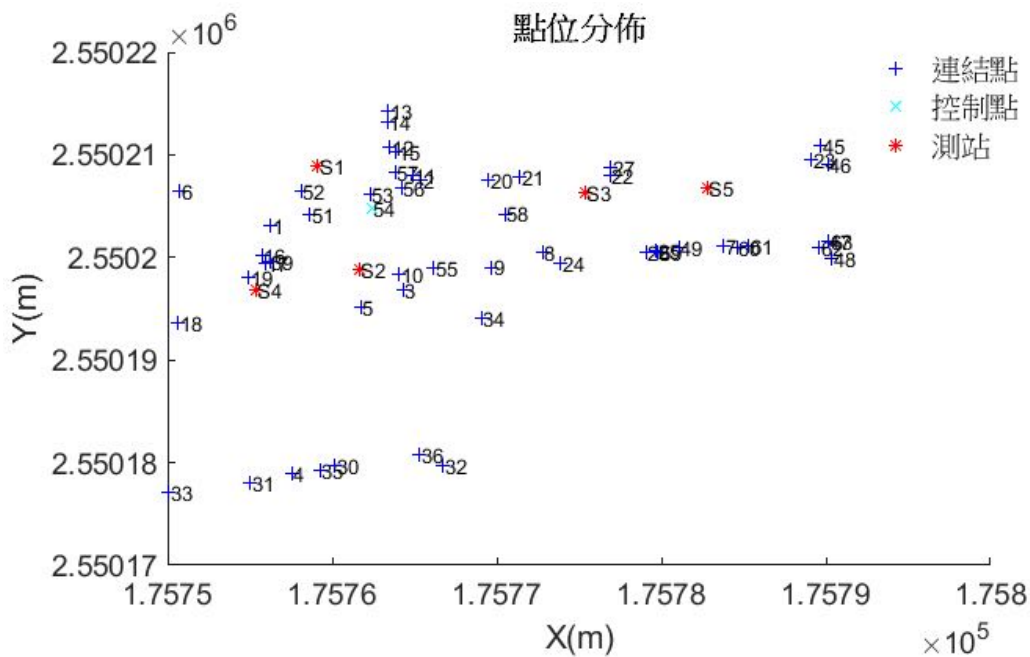


圖 9.20 透空較差之測試區域：測站、控制點與連結點分布圖

表 9.8 透空較差之測試區域：測站之球形全景影像




測站	球形全景影像
1	
2	
3	
4	
5	

表 9.9 透空較差之測試區域：界址點精度與檢核成果

界址點編號	$\sigma_E(m)$	$\sigma_N(m)$	$\Delta E(m)$	$\Delta N(m)$
856	± 0.007	± 0.012	-0.006	0.048
855	± 0.017	± 0.021	-0.009	0.027
857	± 0.009	± 0.009	0.004	0.013
884	± 0.016	± 0.008	0.030	-0.039
885	± 0.011	± 0.008	0.014	0.011
886	± 0.013	± 0.009	0.010	0.008
1873	± 0.020	± 0.010	-0.022	-0.001
1871	± 0.010	± 0.015	0.000	-0.018
1866	± 0.016	± 0.023	0.007	0.001
1867	± 0.019	± 0.025	0.007	-0.001
1868	± 0.070	± 0.041	0.042	0.010
平均誤差(m)			0.007	0.005
均方根誤差(m)			0.018	0.022

由表 9.9 可發現，界址點之定位標準差（ σ_E 與 σ_N 欄位）於 E、N 方向大部分皆小於 2 公分。然而與已知坐標比較差值後，誤差方向之分布較為均勻，並無顯著之系統性偏差，平均誤差於 E、N 方向皆小於 1 公分，而均方根誤差於 E、N 方向約在 2 公分。

9.3 本章小結

對於「應用移動製圖技術精進地籍測量作業」之工作項目，今年度針對 PPIMS 進行系統率定，確保 8 台相機與平台中心之間的相對方位關係，後續拚接球形全景影像、量測以及平差解算便可因此減少誤差。此外本團隊亦前往新竹市政府地政處交流學習，了解目前其以光達輔助地籍測量之方法與成果，亦獲得新穎之布標想法。另外針對可攜式移動製圖技術等相關誤差來源與大小，列表整理並說明特性，並將測站之交會幾何情況畫圖，依此說明交會幾何如何影響定位誤差。

對於「適地性服務案例試辦」之工作項目，本團隊向臺南市政府地政局索取永康區重測區域之相關資料，包含影像範圍與相關 shp 檔，經實地場勘與評估環境後決定合適之測試區域。於透空較佳之區域，共布設 7 個測站，其中 6 個測站順利接收 GNSS 訊號而可定位。並使用 3 個控制點、14 個連結點與 6 個檢核點，進行多測站光束法平差解算。界址點之平面精度可在 1 公分以內，與重測成果之界址點坐標比較，於 E、N 兩方向之均方根誤差約在 2 公分。移除偏差較大的編號 999 與 1000 兩個界址點，重新計算均方根誤差，E 方向可達 1 公分以下，N 方向可達 2 公分以下。

於透空較差之區域，為符合實驗需求，改選定其他區域。亦向臺南市永康地政事務所索取相關圖檔。共布設 5 個測站，由全站儀觀測而計算位置。並使用 1 個控制點、53 個連結點與 11 個檢核點，進行多測站光束法平差解算。界址點之平面精度大部分皆小於 2 公分，與重測成果之界址點坐標比較，誤差方向之分布較為均勻，並無顯著之系統性偏差，於 E、N 兩方向之均方根誤差約在 2 公分。

於適地性服務案例試辦中，本團隊發展之可攜式全景影像測繪系統之定位精度經過實驗驗證，於透空較佳之區域，測站之交會幾何亦較理想，與透空較差之區域相比，所解算之界址點成果精度較高，E、N 兩方向皆在 1 公分以內。而兩個實驗區域與重測成果之界址點坐標比較，於 E、N 兩方向之均方根誤差約在 1~2 公分，因此在透空與交會幾何條件理想之下，應用可攜式移動製圖技術可達到地籍測量之市地規範要求。

第十章、舉辦成果發表會議

10.1 召開自駕車用地圖推廣會議

基於 107 年度高精地圖發展和應用的基礎下，今年度持續召開一系列的推廣活動，相關資訊與活動說明如下。效應在於凝聚各界的合作意向和發展共識，共同促進自駕車相關產業的提升。

10.1.1 自駕車上路高精圖資如何營運新創產業座談會

- 日期：108 年 3 月 12 日
- 地點：國立成功大學測量及空間資訊學系 2 樓圖書室
- 人數：實際與會為 26 人
- 與會代表：吳俊毅 科員（地政司）
- 活動性質與目的：透過相關潛在圖資營運商的交流、意見討論，期望促進我國圖資產業升級，並形成新型態產業環節，同時尋求輸出國際的機會，以座談會的形式整合相關業者的想法，共同爭取經費及推動新創圖資產業發展。
- 活動議程：



**自駕車上路高精圖資
如何營運新創產業座談會**

108年3月12日(星期二)		
10:00 - 10:15	報 到	
	主 題	主 講 者
10:15 - 10:50	國際圖資營運商發展近況及各國高精地圖建置情形背景說明	成功大學測量及空間資訊學系 江凱偉 教授
	高精地圖中心及高精地圖產學研資訊交流平台介紹	高精地圖中心 李佩玲 博士
10:50 - 11:00	茶 敘	
11:00 - 12:00	綜 合 討 論	
12:00 - 13:00	午 餐	

圖 10.1 「自駕車上路高精圖資如何營運新創產業座談會」議程

■ 活動花絮：

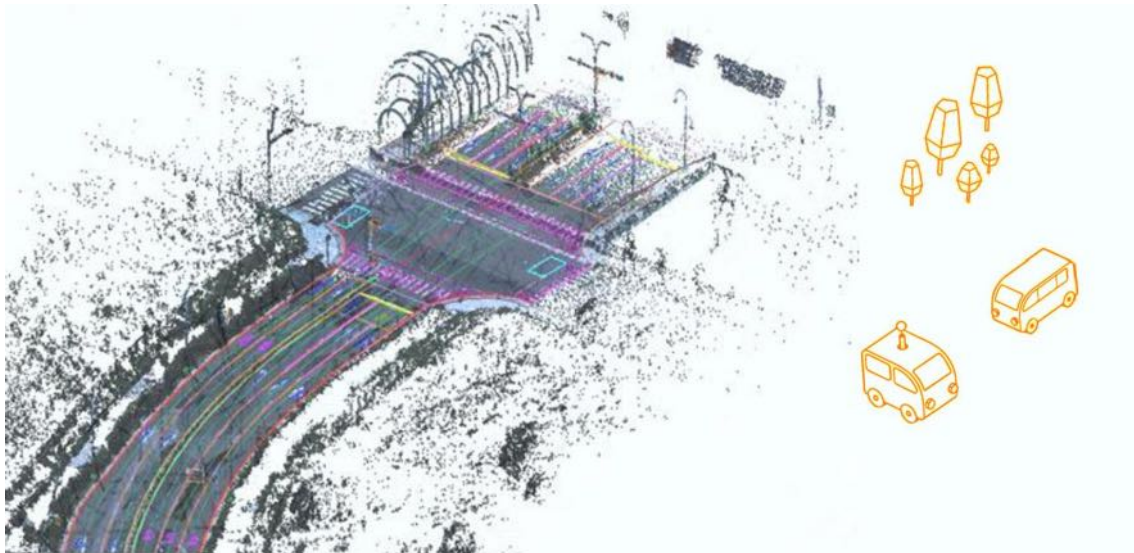


圖 10.2 自駕車上路高精圖資如何營運新創產業座談會「花絮

10.1.2 高精地圖介接國內自駕車系統座談會

- 日期：108 年 4 月 26 日
- 地點：臺北行政院人事行政總處公務人力發展中心福華國際文教會館 14 樓貴賓廳
- 人數：實際與會為 90 人
- 與會代表：余宛如 立委、許毓仁 立委（辦公室代表）、邱昌嶽 常務次長（內政部）、王成機 副司長（地政司）、莊智清 教授（成功大學）、張學孔 主任（臺灣大學）
- 活動性質與目的：行政院科技會報將無人載具科技納入政府的重點發展項目，並積極推動無人載具實證上路運行，藉由高精地圖輔助自駕車、提升自駕技術安全性等相關要素，由各演講主題分享自駕車發展與應用之經驗，帶動未來臺灣高精地圖與自駕車系統之間，介接機制的研究和建置。

■ 活動議程：



內政部108年度無人載具高精地圖系列專題-
高精地圖介接國內自駕車系統座談會

時間	項目	主講者
13:30 - 14:00	來賓報到	
14:00 - 14:10	貴賓致詞	
14:10 - 14:30	高精地圖標準	成大測量系 洪榮宏教授
14:30 - 14:50	我國高精地圖介接自駕車系統機制 之發展與概況	成大測量系 江凱偉教授
14:50 - 15:10	高精地圖介接自駕車系統經驗分享	成大電機系 莊智清教授
15:10 - 15:20	綜合討論/Q&A	
15:20 - 15:40	休息時間	
15:40 - 16:00	自動駕駛實務介紹	宏碁 周豫新處長
16:00 - 16:20	MSC VTD於自駕車及高精地圖之 應用	MSC Software Taiwan 賴群峯 資深工程師
16:20 - 16:50	綜合討論 (高精地圖與自駕車系統介接機制探討)	

圖 10.3 「高精地圖介接國內自駕車系統座談會」議程

■ 活動花絮：



圖 10.4 「高精地圖介接國內自駕車系統座談會」花絮

10.1.3 高精地圖研究發展中心開幕儀式暨實現真正的安全自駕產業論壇

- 日期：108 年 9 月 3 日
- 地點：國立成功大學測量及空間資訊學系經緯廳
- 人數：實際與會為 77 人
- 與會代表：蔡妙慈 副司長（科技部前瞻司）、鄭彩堂 副主任（國土測繪中心）、黃鉅富 科長（地政司）、闕河鳴 人資長（亞洲·矽谷計畫執行中心）、周宗保 秘書長（台灣車聯網產業協會）、蒙以亨 副所長（資策會）、張龍耀 博士（台灣智駕測試實驗室）、戴武聰 處長（台灣資通產業標準協會）、莊智清 教授（成功大學）、張學孔 主任（臺灣大學）
- 活動性質與目的：隨著國內自駕車的日益發展，臺灣高精地圖也日趨重要，而高精地圖研究發展中心開幕將促成產官學界的合作意向與共識，為臺灣高精地圖及自動駕駛開啟新的篇章，也象徵臺灣高精地圖輔助位來自動駕駛時代的正式開始。目前已選定 OpenDRIVE 為臺灣高精地圖之標準格式，以鏈結地圖測繪業者與自駕車廠商間的資料供需。
- 活動議程：

時間	議程
10:15~10:30	貴賓報到
10:30~10:40	開場致詞、中心簡介
10:40~11:00	貴賓致詞
11:00~11:30	高精地圖研究發展中心開幕儀式
11:30~13:00	午膳

13:00~17:00	實現真正的安全自駕產業論壇

備註：欲參加下午場活動之貴賓請至論壇網頁報名<https://reurl.cc/e1l3R>

主辦單位



圖 10.5 「高精地圖研究發展中心開幕儀式」議程

■ 活動花絮：



圖 10.6 「高精地圖研究發展中心開幕儀式」花絮

10.2 辦理自駕車用地圖技術之新南向國際研討會

本案配合自駕車議題和新南向政策，整合測繪技術、空間資訊應用以及自駕車相關產業辦理「2019 International Conference on HD Maps for Autonomous Vehicle (2019 自駕車用高精地圖國際研討會)」，相關資訊如下。

- 日期：108 年 10 月 28 日
- 地點：臺北行政院人事行政總處公務人力發展中心福華國際文教會館 1 樓前瞻廳
- 人數：實際與會為 196 人
- 與會代表：花敬群 次長（內政部）、王穆衡 參事（交通部科技顧問室）、王靚琇 司長（內政部地政司）、楊琇雅 司長（科技部前瞻司）、劉正倫 主任（內政部國土測繪中心）、曹元良 組副主任（行政院科技會報辦公室）、李博榮 行政長（亞洲·矽谷計畫執行中心）、莊國欽 科長（交通部高速公路局）、周家慶 高級運輸分析師（交通部運輸研究所）、黃鉅富 科長（內政部地政司）、曾奕達 科員（國家發展委員會）、莊智清 教授（成功大學）、張學孔 主任（臺灣大學）
- 國際與會人員：

表 10.1 國際與會人員列表

	姓名	國籍	單位	職稱
1	Sasono Rahardjo	印尼	Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)	主任
2	Abu Hanifah	印尼	Divisi WINTEQ	主任
3	Bambang Nur Cahyono	印尼	Divisi WINTEQ	工程師
4	Chalermchon Satirapod	泰國	Chulalongkorn University	教授
5	Duong Thanh Trung	越南	Hanoi University of Mining and Geology	講師
6	Nguyen Trung Anh	越南	Vietnam Ministry of Transport	研究員
7	姚業鵬	香港	香港理工大學	博士候選人

- 活動性質與目的：交流國內外圖資與空間資訊產業之技術和資訊，作為推動高精地圖建置流程和自駕車技術研發的參考，並促成產官學界的合作意向與共識，未來發展相關技術與應用。

■ 活動議程：

2019 International Conference on HD Maps for Autonomous Vehicle 2019 自駕車用高精地圖國際研討會 Smart Mapping Technologies for Intelligent World			
		2019 年 10 月 28 日 (星期一) 福華文教會館 1F 前廳	
08:30-09:00		報 到	
09:00-09:30		開幕儀式	■ 內政部長官致詞 ■ 貴賓致詞 ■ 開幕活動
時間	專題主題	主講者/貴賓	主持人
09:30-10:10	臺灣高精地圖發展	主講人： ■ 成功大學測量及空間資訊學系 江凱偉 教授 ■ 成功大學測量及空間資訊學系 洪榮宏 教授	成功大學測量及空間資訊學系 曾義星 教授
10:10-10:40 茶 敘 / 廠商展示			
10:40-11:20	自駕車用動態地圖	主講人： ■ Civil Maps 施良 工程經理 ■ Dynamic Map Platform (DMP) 田島惠介 亞太地區首席市場策劃總監	成功大學測量及空間資訊學系 呂學展 副教授
11:20-12:00		與談人： ● 成功大學測量及空間資訊學系 王驥魁教授 ● 臺灣大學土木工程學系 張學孔教授 ● 興創知能股份有限公司 鄭錦桐總經理	
12:00-13:30 午 餐			
13:30-14:10	「車圖合一」 介接與整合	主講人： ■ 成功大學電機工程學系 莊智清 教授 ■ 財團法人車輛研究測試中心 莊嶸騰 副理	成功大學測量及空間資訊學系 郭重言 教授
14:10-14:50		與談人： ● 工業技術研究院資通所 李夏新組長 ● 台灣智慧駕駛股份有限公司 沈大維執行長	
14:50-15:20 茶 敘 / 廠商展示			
15:20-16:00	高精地圖與自駕車 應用	主講人： ■ 艾德斯科技股份有限公司 溫峻瑜 董事長 ■ 緯創資通股份有限公司 張國欽 資深經理	成功大學測量及空間資訊學系 江凱偉 教授
16:00-16:40		與談人： ● 資訊工業策進會智慧運輸系統中心 朱柏嘉副主任 ● 台灣車聯網產業協會 張懋顯 顧問	

圖 10.9 「2019 自駕車用高精地圖國際研討會」議程

■ 活動花絮：



圖 10.10 「2019 自駕車用高精地圖國際研討會」花絮

今年度邀請印尼、泰國、越南、香港之自駕車相關領域的產官學代表人員共同與會、交流，開幕儀式中很榮幸邀請到內政部花敬群次長與交通部科技顧問室王穆衡參事的蒞臨開幕儀式與致詞，透過國際研討會的交流，分享國內外高精地圖與自駕車相關研發技術及成果。

研討會中除了邀請相關的政府和學術單位外，國內外的業界廠商也展示各自的技術與產品，期望透過交流落實技術的整合和發展，提升高精地圖與自駕車產業的競爭力，當日參展的廠商名單如下：

- 緯創資通股份有限公司
- Magellan Systems Japan, Inc.
- 興創知能股份有限公司
- 經緯航太股份有限公司
- 景翊科技股份有限公司
- MSC Software Taiwan
- 自強工程顧問有限公司
- 中興測量有限公司
- 勤崴國際科技股份有限公司
- 森泰儀器有限公司
- 詮華國土測繪有限公司

除了研討會活動外，於10月29日也安排國際與會者的參訪行程，參訪地點為臺南，而參訪單位包括臺灣智駕測試實驗室和高精地圖研究發展中心，參訪行程如表10.2所示。

上午參訪來到位於臺南高鐵站附近的臺灣智駕測試實驗室(Taiwan CAR Lab)，是一座封閉式自駕車測試場域，成為結合沙崙科學城的技術實驗樞紐中心，以先進的智慧交通系統實驗場域提供自動駕駛車測試與運行展示，更推動臺灣與世界各國自動駕駛科技的同步發展。參訪的過程中，首先由臺灣智駕測試實驗室的同仁透過簡報的方式說明實驗室的誕生、具備的路況情境模擬功能、測試項目以及場域設備，接著帶領大家導覽場域的全貌，最後是由莊老師研究團隊的自駕車提供大家試乘的體驗，圖10.11為參訪臺灣智駕測試實驗室的活動花絮。

下午抵達國立成功大學的高精地圖研究發展中心，首先由中心同仁簡介中心的成立緣起、服務範疇以及未來展望，之後大家以座談會的方式邀請各

國說明與分享各自國家在自動駕駛領域的發展現況和技術展望，圖 10.12 為參訪高精地圖研究發展中心的活動花絮。

期許透過本案的活動達到臺灣與國際之間的技术交流，特別是東南亞各國之間的產學媒合、跨國合作等目的，共同推動空間資訊跨領域以及新南向的發展。

表 10.2 參訪行程表

時間	行程說明	地點
07:30	一樓大廳集合	福華文教會館
08:20-10:00	前往臺南	
10:30-12:00	<ul style="list-style-type: none"> ● Taiwan CAR Lab 介紹 (20 分鐘) ● 綜合討論 (10 分鐘) ● 場域導覽 (20 分鐘) ● 自駕車試乘 (20 分鐘) 	臺灣智駕測試實驗室
12:00-13:30	午餐	
13:30-16:00	<ul style="list-style-type: none"> ● 中心介紹 (15 分鐘) ● 印尼簡介與分享 (20 分鐘) ● 越南簡介與分享 (20 分鐘) ● 泰國簡介與分享 (20 分鐘) ● 綜合討論 (10 分鐘) ● 廠商介紹與 Demo (30 分鐘) 	高精地圖研究發展中心



圖 10.11 臺灣智駕測試實驗室之參訪花絮



圖 10.12 高精地圖研究發展中心之參訪花絮

第十一章、研究成果發表

依據本案之研發成果提送期刊或研討會論文文稿至少 6 篇，且其中 3 篇需提送國際期刊（SCI/EI 等級），並提送國內外實作或論文競賽 1 件，以提升我國相關技術之國際能見度，落實本案發展及應用之目的。

11.1 提送期刊或研討會論文文稿

本團隊依據定位與人工智慧技術以及多元感測器整合之相關研究成果，提送 3 篇國際期刊，2 篇已經完成審查獲接受，而 1 篇正在審查中，相關資訊如表 11.1 所示。有關研討會論文，今年度投稿「The 11th International Conference on Mobile Mapping Technology」(國際移動測繪技術研討會) 論文文稿 1 篇，獲接受並完成口頭發表，同時也投稿國內「108 年第 38 屆測量及空間資訊研討會」論文文稿 8 篇，皆獲接受並完成口頭發表，相關資訊如表 11.2 所示。所有期刊文稿和研討會論文全文或摘要詳見附錄七。

表 11.1 已提送之國際期刊資訊

國際期刊名稱	期刊等級	論文題目	提送狀況
IEEE Sensors Journal	SCI	Assessment for INS/GNSS/Odometer/Barometer Integration in Loosely-Coupled and Tightly-Coupled Scheme in a GNSS-Degraded Environment	已接受
Sensors	SCI	On-line Smoothing and Error Modelling for Integration of GNSS and Visual Odometry	已接受
ISPRS International Journal of Geo-Information	SCI	Integration of Convolution Neural Network and Error Correction for Indoor Positioning	審查中

表 11.2 已投稿之論文資訊

研討會名稱	研討會時間	論文題目	發表狀況
The 11 th International Conference on Mobile Mapping Technology	108 年 5 月 6-8 日	High Definition Map Aided to Detect and Improve Vehicle Multi-Constellation Positioning and Orientation System in Urban Area	已完成 口頭發表
108 年第 38 屆 測量及空間資訊研討會	108 年 8 月 29-30 日	高精地圖製圖作業指引	已完成 口頭發表
		台灣自駕車用高精地圖檢核	已完成 口頭發表
		自駕車用地圖標準之制訂	已完成 口頭發表

108 年第 38 屆 測量及空間資訊研討會	108 年 8 月 29-30 日	高精地圖產置之點雲車道標線萃取評估	已完成 口頭發表
		基於深度類神經網路之室內定位	已完成 口頭發表
		類神經網路輔助影像室內定位	已完成 口頭發表
		低功耗藍牙差分系統與行人航位推算於室內定位應用之研究	已完成 口頭發表
		發展地籍測量移動製圖技術	已完成 口頭發表

11.2 參加國內外實作或論文競賽

以「基於手機等級感測器之室內外無縫定位解決方案研究」為題投稿參加國內「108 年第 38 屆測量及空間資訊研討會—大專生 3S 創客競賽」，競賽報告詳見附錄七，透過科技與創意的結合，實作於空間資訊領域的相關主題，本篇研究主軸基於移動裝置與空間資訊應用，利用定位技術的整合，提出室內外無縫定位解決方案的相關研究與成果，並且於競賽中獲得佳作獎。

第十二章、協助推動國際測繪合作事務

12.1 配合內政部需求參加國際研討會

今年度本團隊派員參加多場國際研討會，主題包括智慧運輸、自駕車以及導航與定位技術，相關訊息如下：

- 12th Open Auto Drive Forum Meeting and 1st NDS Public Conference
 - (1) 日期：108 年 6 月 12-13 日
 - (2) 地點：德國慕尼黑
 - (3) 與會心得與效益：內容詳見第四章。
- 中國衛星導航與位置服務第八屆年會暨中國北斗應用大會
 - (1) 日期：108 年 9 月 9-12 日
 - (2) 地點：中國鄭州
 - (3) 與會心得與效益：透過相關學者與產業人員的分享與交流，可預見在自動駕駛需求的持續演化下，產業有機會透過搭配多種低成本消費等級(Consumer Level)之感測器，包含 GNSS 接收機、IMU、相機、光達，搭配高精地圖而研製出符合室內外無縫導航需求之自動駕駛裝置。同時，下一階段的熱門議題即是個人攜型定位裝置結合自動駕駛需求之高精度定位服務，與隨之衍生而來之相關地圖資料交換標準化及精度規範等相關措施。
- 第 26 屆新加坡世界智慧運輸大會
 - (1) 日期：108 年 10 月 22-25 日
 - (2) 地點：新加坡
 - (3) 與會心得與效益：以不同領域的人共同看待智慧運輸的視角，能夠激發許多發展方向與靈感，從美國運輸局介紹道路施工即時通報系統為例，透過多元感測器與系統的整合探究不同層面的交通應用和場景。在了解自駕車及智慧運輸的相關產業現況以及各自需求，未來不同領域應當截長補短，相互合作才能有效發展各個應用議題。
- ISGNSS 2019
 - (1) 日期：108 年 10 月 29-11 日
 - (2) 地點：南韓濟州

- (3) 與會心得與效益：受惠於低成本的微機電系統之感測器，使得可攜式空間定位應用的普及性大幅提升，微型、輕量、低價化的演進趨勢，在可見的未來將多系統、多頻率、多用途之感測器整合於一個晶片上，且提供完整的導航方案不再是遙不可及的夢想，這對於移動裝置通用之室內外定位技術能帶來突破的發展。

12.2 配合內政部其他專案共同在臺辦理臺印尼年度測繪技術交流會議活動

本團隊過去配合政府新南向政策整合了國內空間資訊產官學界既有的技術與產業鏈，除了籌組空間資訊聯盟與新南向交流窗口，也參與促成我國與印尼簽署「大地測量與空間資訊測繪合作協定」，持續協助推動國際測繪合作事務有助於提升相關產業與國家整體競爭力，因此，今年度本案配合內政部其他專案共同於 108 年 9 月 9 日在臺北君品酒店辦理「第一屆臺灣印尼測繪高峰論壇」，議程如表 12.1，活動花絮如圖 12.1。透過本案邀請五位印尼測繪相關領域的學術界代表人員共同與會、交流，名單如表 12.2 所示，

很榮幸邀請到陳建仁 副總統蒞臨開幕儀式並致詞，除了歡迎印尼產官學研界代表人員的來訪，也說明臺灣長期深耕空間測繪技術的發展，已經累積豐富的實務經驗和技術實力，透過國際測繪交流與合作，可以實質擴大臺灣與印尼雙邊合作關係、強化人才鏈結，最後也陳副總統也和與會貴賓共同見證了由中華測繪聯合會與印尼測量師協會正式簽屬臺印雙方合作備忘錄，未來將促進雙方測繪人才的交流、強化產業服務的發展。



圖 12.1 「第一屆臺灣印尼測繪高峰論壇」花絮

表 12.1 「第一屆臺灣印尼測繪高峰論壇」議程

1st Taiwan - Indonesia Surveyors Summit (1st TISS)		
<i>A Smarter Nation through Geospatial Infrastructure with Advanced Technology</i>		
09:00 – 09:30	Registration	
09:30 – 10:00	Opening Ceremony	<ul style="list-style-type: none"> ■ Welcome Address ■ MOU Signing Ceremony ■ Group Photo
10:00 – 10:30	Exhibitors Presentation I / Booth Visiting / Coffee Break	
10:30 – 12:00	Session I : Data Standards / National Map / Geoid and Positioning	
	A New Era of 3D Mapping: The Development and Vision of National Maps in Taiwan	Hsi-Hsien Wu Deputy Manager, CECI Engineering Consultants, Inc.
	The Indonesian Standard of Competency for Surveyor	Virgo Eresta Jaya Chairman, ISI
	National Spatial Data Infrastructure of Taiwan and Roles of Topographic Map Standards	Jung-Hong Hong Professor, Department of Geomatics, National Cheng Kung University
	Geoid and Positioning	Kosasih Prijatna Doctor, ITB
	Q & A	
12:00 – 13:30	Lunch	
13:30 – 15:00	Session II : Geospatial Information / Disaster Management / Hydrography	
	Environmental Monitoring and Deep Learning for Smart City implementation	Tien-Yin Chou Professor, Department of Land Management, Feng Chia University
	Geospatial Information	Sofan Prihadi Photogrammetric Surveyor, ISI
	Data Integration and information dissemination for Disaster Management	Phone Lin Deputy Director, National Science and Technology Center for Disaster Reduction
	Hydrographic Strategic Planning	Nanang Henky Hydrographic Surveyor, ISI
	Q & A	
15:00 – 15:30	Exhibitors Presentation II / Booth Visiting / Coffee Break	
15:30 – 16:10	Session III : UAS & HD Map	
	The Unmanned System Innovative Applications in Taiwan & HD Maps Production	Cheng-Fang Lo CEO, Geosat Aerospace & Technology Inc.
	High Definition (HD) Map	Bambang Gatot Cadastral Surveyor, ISI
	Q & A	
16:10 – 16:15	Closing Ceremony	

表 12.2 印尼與會人員列表

	姓名	單位	職稱
1	Kosasih Prijatna	Institut Teknologi Bandung	教授
2	Mokhamad Nur Cahyadi	Institut Teknologi Sepuluh Nopember	教授
3	I Made Andi Arsana	Universitas Gadjah Mada	講師
4	Hendy Suhandri	Universiti Tun Hussein Onn Malaysia	講師

12.3 配合內政部需求參與測繪技術服務團(GEM)赴印尼技術交流

如前所述，本案積極協助拓展國際測繪機關交流及產學研發展合作，落實自主空間資訊科技輸出，今年度本團隊派員赴印尼泗水參加「Geomatics International Conference 2019」，於 8 月 21 日研討會的專題演講中，分享臺灣移動製圖技術與高精地圖相關成果，並且於 8 月 22 日在泗水理工學院舉辦的 Workshop 中，交流臺灣的測繪與空間資訊技術，活動花絮如圖 12.2。



圖 12.2 「Geomatics International Conference 2019」花絮

今年度本團隊與東南亞的雙向交流，除了分享彼此的技術成果與學術研究，同時也積極促進國際測量機關業務交流及產學研發展合作，透過整合空間資訊既有技術與產業鏈，對於未來雙方提昇相關產業與國家整體競爭力具有重要助益。

第十三章、協助推動自駕車用地圖相關計畫

本案初期即致力於協助 2 月 25 日的「臺灣智駕測試實驗室」開幕活動與相關展覽，力邀國內車載移動測繪系統進行平台展示和技術介紹，本團隊也參與活動前的場布作業，如圖 13.1 所示。



圖 13.1 「臺灣智駕測試實驗室」開幕活動之場布作業

本案協助推動專案中心，其命名為「高精地圖研究發展中心」，宗旨在於整合國內外相關圖資與空間資訊產業之技術和資訊，作為推動高精地圖建置流程和評估標準的參考，並促成產官學界的合作意向與共識，未來以高精地圖為基底發展自駕車技術與應用，任務範疇包含推廣相關活動、技術發展、重要政策等重要的參考資訊，並且提供以下服務項目：

- 協助內政部推動高精地圖事務
- 引進國際製圖技術
- 圖資檢核與技術諮詢
- 國際交流與合作

在成功大學測量及空間資訊學系林昭宏系主任與成功大學蘇慧貞校長支持下，配合本案時程進駐於成功大學資訊大樓 8 樓內，如圖 13.2 所示，並且於 9 月 3 日舉行「高精地圖研究發展中心開幕儀式」，敬邀了產官學研各界的相關單位共襄盛舉，相關內容詳見第十章。



圖 13.2 高精地圖研究發展中心之設立位置—成功大學資訊大樓



圖 13.3 高精地圖研究發展中心：(左) 辦公室；(右) 會議室

在「高精地圖研究發展中心」成立後，陸續接待了多個單位的拜訪與交流，除了介紹中心的高精地圖事務和圖資檢核服務外，也和來訪單位交流應用範疇，相關花絮如圖 13.4，參訪單位資訊如下：

- 108 年 9 月 19 日台灣車聯網產業協會參訪
- 108 年 10 月 2 日交通部高速公路局參訪
- 108 年 10 月 29 日印尼、泰國、越南、香港貴賓參訪
- 108 年 11 月 12 日交通部公路總局參訪



圖 13.4 各單位參訪高精地圖研究發展中心之花絮

本案也如實聘請 3 名專案人員辦理本案工作，其中至少 1 名需具備本案工作相關領域之博士學位，其餘需具備本案工作相關領域碩士以上學位，同時每月派遣 2 名專案人員各 6 天至內政部協助辦理高精地圖相關事宜，每個月的工作內容與說明如表 13.1 所示，而截至期中的逐月簽到表詳見附錄八。

另一方面，配合內政部需求設立「高精地圖研究發展中心」Facebook 粉絲頁(<https://www.facebook.com/HDMapCenter>)，定期發布相關活動與技術資訊，如圖 13.5，同時本團隊也架設「高精地圖產學研資訊交流平台」並完成建置且網站正式上線，如圖 13.6，平台的主架構如圖 13.7，而平台的任務將持續蒐集動態訊息、科技政策、成果展示、知識情報文章等相關資訊，定期推播高精地圖相關訊息以及不定期系統程式維護與更新，落實協助推動高精地圖相關計畫之工作範疇。同時，本團隊協助彙整、盤點國內自駕車和高精地圖的相關政府機關、廠商，作為後續推廣活動與發表成果之參考，相關單位清單詳見附錄九。

表 13.1 專案人員之逐月工作情形

月份	工作內容與說明
2	<ul style="list-style-type: none"> ■ 「高精地圖產學研資訊交流平台」之網站系統規劃、分析、設計與開發。
3	<ul style="list-style-type: none"> ■ 創立「高精地圖研究發展中心」Facebook 粉絲頁，提供相關活動訊息及科技資訊。
4	<ul style="list-style-type: none"> ■ 「高精地圖產學研資訊交流平台」定期推播高精地圖和自駕車的相關訊息。 ■ 不定期維護與更新網站的系統程式。
5	<ul style="list-style-type: none"> ■ 「高精地圖產學研資訊交流平台」定期推播高精地圖和自駕車的相關訊息。 ■ 不定期維護與更新網站的系統程式。 ■ 參加 5 月 9 日「先進智慧運輸發展論壇」、5 月 15 日「智慧車輛關鍵技術研討會」。
6	<ul style="list-style-type: none"> ■ 持續蒐集動態訊息、科技政策、成果展示、知識情報文章等相關資訊，並推播於「高精地圖產學研資訊交流平台」。 ■ 參加 6 月 13 日「2019 TAICS 標準論壇－產業 AI 化應用發展趨勢」。
7	<ul style="list-style-type: none"> ■ 持續蒐集動態訊息、科技政策、成果展示、知識情報文章等相關資訊，並推播於「高精地圖產學研資訊交流平台」。
8	<ul style="list-style-type: none"> ■ 籌辦「高精地圖研究發展中心開幕儀式」。 ■ 協助 8 月 26 日「高精地圖與智慧運輸創新整合應用論壇」工作事宜。
9	<ul style="list-style-type: none"> ■ 協助 9 月 3 日「高精地圖研究發展中心開幕儀式」、9 月 9 日「第一屆臺灣印尼測繪高峰論壇」工作事宜。
10	<ul style="list-style-type: none"> ■ 參加 10 月 4 日 MSC Software Taiwan 說明會。 ■ 協助 10 月 5 日「自動駕駛資訊整合平台暨高精地圖實證成果發表會」工作事宜。 ■ 籌辦 10 月 28 日「2019 International Conference on HD Maps for Autonomous Vehicle (2019 自駕車用高精地圖國際研討會)」。 ■ 規劃與設計「2019 自駕車成果手冊」。
11	<ul style="list-style-type: none"> ■ 參加 11 月 8 日「無人載具國際趨勢研討會」、11 月 21 日「Austria Showcase – Autonomous Driving Workshop」。

facebook 電子郵件或電話 密碼 登入 忘記帳號?



高精地圖研究發展中心
@HDMAPCenter

首頁
貼文
評論
相片
社群
關於

[建立粉絲專頁](#)



高精地圖研究發展中心
產品/服務

社群 查看全部
202 人說讚
217 人在追蹤

關於 查看全部
06 208 1962
Contact 高精地圖研究發展中心 on Messenger
www.hdm.geomatics.ncku.edu.tw
產品/服務

粉絲專頁資訊透明度 顯示更多
Facebook 會顯示資訊來協助你更深入瞭解粉絲專頁的成立宗旨。你可以查看內容管理和發佈者所採取的動作。
粉絲專頁建立時間 - 2019年3月11日

用戶 >

貼文

高精地圖研究發展中心
11月18日下午6:47 · 🌐

高精地圖和一般我們用的導航地圖有何不同? 為何重要? 台灣的高精地圖現在進展到什麼程度? 未來又將往哪方面發展?



ANSP-ORCE.COM
台灣高精地圖邁定OpenDrive + Extension! | Anforce
臺灣高精地圖將採「車載行動測繪系統」和「群眾外包」兩種模式...

28 6次分享

讚 留言 分享

讚 分享



高精地圖研究發展中心
產品/服務

關於 查看全部
06 208 1962
Contact 高精地圖研究發展中心 on Messenger
www.hdm.geomatics.ncku.edu.tw
產品/服務

粉絲專頁資訊透明度 顯示更多
Facebook 會顯示資訊來協助你更深入瞭解粉絲專頁的成立宗旨。你可以查看內容管理和發佈者所採取的動作。
粉絲專頁建立時間 - 2019年3月11日

用戶 >

202 個讚

相關的粉絲專頁

- 第38屆測量及空間資訊研討... 興趣
- 地籍圖 參考網站

查看更多

粉絲專頁 · 其他 · 品牌 · 產品/服務 · 高精地圖研究發展中心

貼文

高精地圖研究發展中心
10月28日上午1:19 · 🌐

今天星光閃閃，大家都來參加自駕車用高精地圖年度大會！自駕車、高精地圖、資訊整合平台、測試場域、智慧運輸～你選哪一種？！
#行政院科技會報辦公室
#內政部地政司..... 更多



還有 5 張

30

讚 留言 分享

貼文

高精地圖研究發展中心
10月27日下午11:35 · 🌐

結合高精地圖 台灣自駕車實證上路蓄势待發
你們都準備好一起出發了嗎? GO!GO!GO!
#內政部..... 更多

圖 13.5 「高精地圖研究發展中心」Facebook 粉絲頁



圖 13.6 「高精地圖產學研資訊交流平台」網站

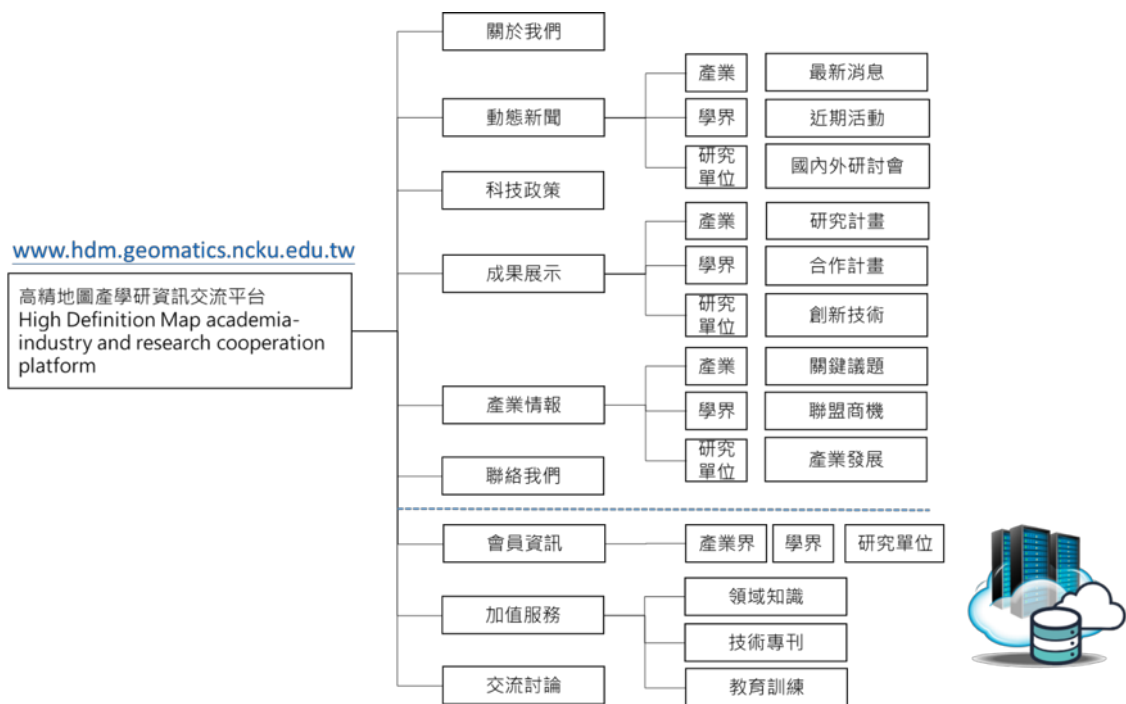


圖 13.7 「高精地圖產學研資訊交流平台」主架構

第十四章、結語

基於本案的執行成果，在政策方面為因應我國目前尚未明確訂定高精地圖標準及其相關規範，本案配合國家自駕車上路計畫以及開拓測繪及自駕車市場，協助內政部地政司建立國家層級之高精地圖標準與指引；在學術方面為落實測繪及空間資訊科技自主化，本案研提並精進相關研究成果，同時也培養國內科技專業人力累積移動測繪之技術能量；在產業方面為滿足高精地圖之產製需求，協助測繪業針對高精地圖內容、規格與品質要求累積高精地圖製圖的實務經驗，並規劃我國產業轉型技術服務輸出營利模式，帶動整體空間資訊產業之創新與發展。

本案執行各工作項目遵照工作計畫書所預定之時程進行，並於 108 年 2 月起每個月繳交月報表說明本案執行進度，基於執行成果，針對各工作項目的結語如下：

「**建立自駕車用地圖標準及指引**」之工作項目方面，本團隊於 107 年度針對封閉場域高精地圖的建置流程及作業指引，並透過 TAICS 審議發布「高精地圖製圖作業指引」，據此基於國內在地化非封閉場域之作業流程指引進行修正，同時彙整圖資檢核流程建立「高精地圖驗證指引」，提供受檢單位參考其檢查項目、檢核方式與建議之通過標準。為了提昇高精地圖之可用性，並考量資料互操作性之課題、圖資流通與分享之需求，本團隊參考國際相關之規範及依據嚴謹的流程研擬「高精地圖圖資內容標準」。

「**自駕車用地圖應用評估**」之工作項目方面，本團隊將高精地圖圖資內容標準與相關指引提送至 TAICS，期望經審查發布後作為未來自駕車產業之參考依據與準則。透過 ISO 標準文件的內容研讀，有關自駕車的安全性不僅需要先進的車載感測器和 AI 判釋與決策技術，還需要準確的車輛定位與即時動態地圖的資訊整合，突顯出即時動態地圖之重要性，並以文獻回顧的方式歸納出多元感測器融合與高精地圖成為整合式系統，可提升自駕正確性和安全性，並且室內外無縫銜接的定位設備可讓自駕車無論處於室內或室外皆能取得統一坐標之地理定位地圖，將 GNSS 定位技術延伸到室內。本團隊與興創知能建立合作模式，共同著手研發自駕車圖資格式(Autoware)的轉檔工具模組，並且也與 ZENRIN 商討高精地圖之相關產製技術，協助後續高精地圖相關應用的推動。

「**國際自駕車相關組織參與評估**」之工作項目方面，為了與國際鏈結高精地圖標準及相關技術，本團隊申請加入 OADF 與 dSPACE 會員，蒐集所有公開資訊、簡報與技術報告，提供本團隊推動高精地圖相關事務。

「**試驗場域自駕車用地圖圖資服務**」之工作項目方面，本案配合內政部需求委託詮華進行沙崙試驗場域之資料蒐集，並且完成相關的驗證與檢核程

序，後續針對沙崙試驗場域符合規格的高精地圖，將提供給莊老師研究團隊與宏碁各自的自駕車系統進行測試，透過有效運用資源的合作模式，持續修正高精地圖之實用性。

「自駕車用地圖與移動載台感測器驗證服務」之工作項目方面，基於協助推動自駕車相關事務之目的，本案設置專業人員提供圖資諮詢服務，除了即時解答高精地圖相關問題外，也建立並推廣高精地圖的精度驗證服務。今年度完成測試與率定設備之維護作業，並持續提供國內多平台系統測試與率定服務，透過檢查系統的運行狀況及原始資料作為精度驗證的依據。

「發展移動裝置通用之室內定位技術」之工作項目方面，基於去年度的研發成果，本案改良透過陀螺儀來取得方位角，避免受到環境磁場干擾，而深度類神經部分，在 Posenet 之 CNN 訓練階段設計不同尺寸的輸入影像，實驗成果顯示位置和方向誤差都能被優化。而基於室內地圖輔助之行人慣導演算法，透過三種手機規格與四位測試人員實測，在結合地圖輔助技術下，能將慣性室內定位的成果修正於較合理的路徑上，同時其成效並不侷限於起、終點之閉合誤差。沿用去年度故宮南院試辦適地性服務，已委託相關專業外包廠商優化 APP 介面外觀，並且新增調整字體大小與文字底色之功能。

「評估室內定位技術於室內防救災應用」之工作項目方面，本團隊基於人群在災害時的逃生習慣與火災相關文獻，定義了人潮疏散之匹配演算法，以演算法即時性來提升遊客逃生的安全性，並降低遊客堵塞在逃生出口的機率，同時減少遊客逃生需要花費的時間。

「發展地籍測量移動製圖技術」之工作項目方面，本團隊整合 GNSS 即時定位測量及攝影測量，發展一套可攜式全景影像測繪系統，使用影像進行量測，達到快速取得現地資訊，並完整記錄當時現地情形。這些資訊可以永久保存，未來亦可因應需求，再次查證與量測。於適地性服務案例試辦中，探討以可攜式移動製圖技術輔助於地籍測量之可行性。於透空較佳與透空較差區域進行實驗，驗證界址點之定位精度。依據平面精度與均方根誤差，在透空與交會幾何條件理想之下，可達到地籍測量之市地規範要求。

第十五章、建議

15.1 執行成果之建議

本團隊如實如期遵照工作計畫書所預定之時程進行，並針對各工作項目的執行情形提供後續的建議與未來工作規劃如下：

「**建立自駕車用地圖標準及指引**」之工作項目方面，未來將持續依照標準及指引的適用性、通用性以及對於高精地圖相關產業效益的意見回饋進行滾動修正，期望制定完備的規範內容及實務作業準則作為參考。

「**自駕車用地圖應用評估**」之工作項目方面，建議未來引入帶有時間戳記和地理參考資料的 LDM 作為整合平台，將是處理交通場景的關鍵特徵，而室內外無縫高精地圖應用的發展將實現無縫銜接的室內外定位，建議搭配自動切換室內室外高精地圖以利進行多層面的導航應用。

「**國際自駕車相關組織參與評估**」之工作項目方面，建議可參考國際相關組織的發展背景和應用趨勢，引領我國推動自駕車相關政策、開發自動駕駛相關技術以及發展相關學術研究。

「**試驗場域自駕車用地圖圖資服務**」之工作項目方面，建議測繪業都能依據「**高精地圖製圖作業指引**」進行資料蒐集與圖資產製，同時參照「**高精地圖標準**」產製符合其內容的圖資，作為後續應用與介接之靜態底圖。

「**自駕車用地圖與移動載台感測器驗證服務**」之工作項目方面，建議高精地圖依據「**高精地圖驗證指引**」進行圖資檢核，以確保應用在自駕車系統中能發揮預期之效益，而產製高精地圖的行動測繪系統，其搭載之感測器應經過完善的儀器率定。

「**發展移動裝置通用之室內定位技術**」之工作項目方面，建議整合類神經、影像與室內地圖輔助發展通用於移動裝置之室內定位技術，並且可在 APP 中加值 AR 應用，發展多元的室內空間資訊應用。

「**評估室內定位技術於室內防救災應用**」之工作項目方面，建議未來基於本案所發展的應用可行性，針對演算法進行逃生模擬，可參考規劃至中央控制系統，即時為遊客提出最安全快速的逃生策略。

「**發展地籍測量移動製圖技術**」之工作項目方面，建議未來可改善量測輔助標之設計，使其能完善定心定平，降低定位誤差。另外實施地籍測量相關作業時，亦可記錄高程資訊，以利未來相關移動製圖技術採用三維資訊參考與平差解算。

15.2 未來方向之建議

綜合統整今年度本案的工作項目與執行成果，對於未來發展的建議項目與方向如下：

一、建立自駕車用地圖標準及指引

基於今年度所建立的「高精地圖圖資內容標準」、「高精地圖製圖作業指引」及「高精地圖驗證指引」，因應臺灣自駕車產業的發展，皆須持續修正以符合實用性與適用性，同時考量到疊加在靜態高精地圖上的動態層圖資，未來將規劃建立自駕車用動態地圖圖資內容標準、作業指引及更新驗證指引。

二、自駕車用地圖應用評估

今年度已將高精地圖圖資內容標準與相關指引提送至 TAICS，一件經審查並發布、另兩件在審查中，未來可繼續推廣成為國內產業標準，另外也可評估自駕車用動態地圖圖資內容標準成為產業標準之相關工作。

透過文獻回顧的方式，歸納出結合多元感測器融合與圖資成為整合式系統，可提升自駕正確性和安全性，透過室內外統一坐標系統之高精地圖與車圖合一機制的建置，作為室內外無縫應用的評估。

為了有效發展國內高精地圖與自駕車產業，可持續參與國際自駕車相關組織活動、蒐集各國高精地圖格式並研析其關聯性以及研提或協助引進國外產製高精地圖之多平台製圖技術是相當重要的。

三、發展高精地圖製圖及定位技術

要滿足高精地圖對於精度的需求，精進移動測繪系統的製圖與定位技術是必要的，規劃未來可評估即時精密單點多星系衛星定位技術(Real-Time PPP)和臺灣高精地圖自動化生產技術之應用效益，同時考量更新時效的突破，評估群眾外包之高精地圖製圖系統（含自駕車平台）效益與流程是首要目標，接著應建立群眾外包之圖資更新技術與自我檢核流程。

在高精地圖結合動態更新之架構完善後，自駕車導航安全性評估作業將會是下一部重要的課題。

四、沙崙試驗場域自駕車用地圖圖資服務

根據過去的執行經驗，基於 OpenDRIVE 圖層格式與臺灣適用的公路總局圖層，沙崙試驗場域需進行例行性的圖資更新與向量檢核，參照高精地圖圖資內容標準與相關指引產製靜態高精地圖，才能確保試驗場域圖資內容的正確性，而編制專業人員提供諮詢服務，即時回應相關業者與單位對於自駕車用地圖圖資的相關問題。

五、自駕車用地圖與移動載台感測器驗證服務

本案於 TAICS 制定「高精地圖製圖作業指引」明確指出移動載台感測器驗證程序在產製高精地圖過程中的必要性，透過多平台製圖技術測試與率定設施提供車載及影像感測器之儀器率定服務，以確保高精地圖最終成果的精確度，除此之外，考量未來應用群眾外包之高精地圖製圖系統（含自駕車平台）進行高精地圖之更新作業，因此，須發展群眾外包之高精地圖製圖系統（含自駕車平台）的精度驗證設施，並且提供驗證服務。

六、發展移動裝置室內外智慧製圖技術

本案多年來研發人工智慧技術之室內地圖輔助行人慣導定位技術，未來將拓展至室內外的場景，除了提升定位精度外，也可透過適地性服務案例試辦，驗證研發技術的成果以及加值應用的亮點。

而有關防救災科技，未來也將持續配合辦理創新服務方案，協助災後應用快速智慧製圖技術之研發相關作業。

參考文獻

- 江凱偉、曾義星、呂學展、張秀雯 (2016)：105 年度移動載台測量製圖技術發展工作案期末報告，內政部地政司。
- 江凱偉、曾義星、呂學展 (2018)：107 年度移動載台測量製圖技術發展工作案期末報告，內政部地政司。
- 林冠穎 (2014)：多測站具 GPS 之球形全景影像之光束法平差，國立成功大學測量及空間資訊學系碩士論文。
- 林展仰 (2008)：穩態火災與時間平方火災火源模擬與探討，長榮大學職業安全與衛生研究所碩士論文。
- 經濟部工業局 (2007)：工業廠房消防安全性能化設計技術手冊。
- 蔡銘儒、謝煒東 (2007)：建築物居室火災成長之研究-火災成長因素影響性探討，內政部建築研究所自行研究報告。
- Basiri, A., Amirian, P., Winstanley, A., Marsh, S., Moore, T., and Gales, G. (2016): Seamless pedestrian positioning and navigation using landmarks. *The Journal of Navigation*, 69(1), pp. 24-40.
- Bengio, Y., Courville, A., and Vincent, P. (2013): Representation learning: A review and new perspectives. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions*, 35(8), pp. 1798-1828.
- Bluetooth Special Interest Group (2010): Specification of the Bluetooth System, Covered Core Package, Version 4.0. Bluetooth Special Interest Group: Kirkland, WA, USA.
- Brajdic, A., and Harle, R. (2013): Walk detection and step counting on unconstrained smartphones. In *Proceedings of the 2013 ACM international joint conference on Pervasive and ubiquitous computing*, pp. 225-234.
- Čabarkapa, D., Grujić I., and Pavlović, P. (2015): Comparative Analysis of the Bluetooth Low-Energy Indoor Positioning Systems. In *Proceedings of 12th International Conference on Telecommunication in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services (TELSIKS)*, Nis, Serbia, pp. 76-79.
- Chiang, K.W., Liao, J.K., Tsai, G.J., and Chang, H.W. (2015): The Performance Analysis of the Map-Aided Fuzzy Decision Tree Based on the Pedestrian Dead Reckoning Algorithm in an Indoor Environment. *Sensors*, 16(1), 34.
- Deretey, E., Ahmed, M.T., Marshall, J.A., and Greenspan, M. (2015): Visual indoor positioning with a single camera using PnP. *2015 International Conference on In Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, pp. 1-9.
- Farrell, J.A., Todd, M., and Barth, M. (2016): Best Practices for Surveying and Mapping Roadways and Intersections for Connected Vehicle Applications.

Final report, Department of Electrical and Computer Engineering, University of California, Riverside (UCR), California, USA.

- Gonzalez, J., Blanco, J.L., Galindo, C., Ortiz-de-Galisteo, A., Fernandez-Madrigal, J.A., Moreno, F.A., and Martinez, J.L. (2007): Combination of UWB and GPS for indoor-outdoor vehicle localization. 2007 IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing, pp. 1-6.
- Griebßbach, D., Baumbach, D., and Zuev, S. (2014): Stereo-vision-aided inertial navigation for unknown indoor and outdoor environments. In Proceedings of 2014 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), pp. 709-716.
- Ho, N.H., Truong, P.H., and Jeong, G.M. (2016): Step-detection and adaptive step-length estimation for pedestrian dead-reckoning at various walking speeds using a smartphone. *Sensors*, 16(9), 1423.
- ISO/TC 204 (2019): Intelligent transport systems. Technical Committees, ISO.
- ISO/TR 17424 (2015): Intelligent transport systems — Cooperative systems — State of the art of Local Dynamic Maps concepts. Technical Report, ISO.
- ISO 18750 (2018): Intelligent transport systems — Co-operative ITS — Local dynamic map. International Standard, ISO.
- Jia, M., Yang, Y., Kuang, L., Xu, W., Chu, T., and Song, H. (2016): An indoor and outdoor seamless positioning system based on android platform. 2016 IEEE Trustcom/BigDataSE/ISPA, pp. 1114-1120.
- Kendall, A., Grimes, M., and Cipolla, R. (2015): PoseNet: A Convolutional Network for Real-Time 6-DOF Camera Relocalization. IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), pp. 2938-2946.
- Kummerle, R., Hahnel, D., Dolgov, D., Thrun, S., and Burgard, W. (2009): Autonomous driving in a multi-level parking structure. 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 3395-3400.
- Kuo, Y.T. (2018): An Experimental Study of an Improved BLE Indoor Positioning Scheme Based on Differential Distance Correction. Institute of Navigation (ION) GNSS+ 2018, Miami, Florida, USA.
- Li, Y.H. (2010): The Calibration Methodology of a Low Cost Land Vehicle Mobile Mapping System. Institute of Navigation (ION) GPS/GNSS 2010 meeting, Portland, Oregon, USA.
- Li, X., Wang, J., and Li, T. (2013): Seamless positioning and navigation by using geo-referenced images and multi-sensor data. *Sensors*, 13(7), pp. 9047-9069.

- Li, B., Yang, L., Xiao, J., Valde, R., Wrenn, M., and Leflar, J. (2018): Collaborative mapping and autonomous parking for multi-story parking garage. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 19(5), pp. 1629-1639.
- Manandhar, D., Kawaguchi, S., Uchida, M., Ishii, M., and Torimoto, H. (2008): IMES for mobile users social implementation and experiments based on existing cellular phones for seamless positioning. In *International Symposium on GPS/GNSS*, pp. 11-14.
- Montemerlo, M., and Thrun, S. (2006): Large-Scale Robotic 3-D Mapping of Urban Structures. In *Experimental Robotics IX*, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 141-150.
- Núñez, P., Vázquez-Martín, R., and Bandera, A. (2011): Visual odometry based on structural matching of local invariant features using stereo camera sensor. *Sensors*, 11(7), pp. 7262-7284.
- Oquab, M., Bottou, L., Laptev, I., and Sivic, J. (2014): Learning and transferring mid-level image representations using convolutional neural networks. *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2014 IEEE Conference, pp. 1717-1724.
- Razavian, A.S., Azizpour, H., Sullivan, J., and Carlsson, S. (2014): Cnn features off-the-shelf: an astounding baseline for recognition. *Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, 2014 IEEE Conference, pp. 512-519.
- Schwesinger, U., Bürki, M., Timpner, J., Rottmann, S., Wolf, L., Paz, L. M., and Heng, L. (2016): Automated valet parking and charging for e-mobility. *2016 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, pp. 157-164.
- Shotton, J., Glocker, B., Zach, C., Izadi, S., Criminisi, A., and Fitzgibbon, A. (2013): Scene Coordinate Regression Forests for Camera Relocalization in RGB-D Images. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 2930-2937.
- Smith, A. (2015): U.S. Smartphone Use in 2015. Report in Pew Research Center, Internet & Technology.
- Szegedy, C., Liu, W., Jia, Y., Sermanet, P., Reed, S., Anguelov, D., Erhan, D., Vanhoucke, V., and Rabinovich, A. (2015): Going Deeper with Convolutions. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 1-9.
- Weinberg, H. (2002): Using the ADXL202 in Pedometer and Personal Navigation Applications. AN-602 application note, Analog Devices.

- Zhou, B., Lapedriza, A., Xiao, J., Torralba, A., and Oliva, A. (2014): Learning Deep Features for Scene Recognition using Places Database. In *Advances in Neural Information Processing Systems*, pp. 487-495.
- Zou, H., Jiang, H., Luo, Y., Zhu, J., Lu, X., and Xie, L. (2016): Bluedetect: An ibeacon-enabled scheme for accurate and energy-efficient indoor-outdoor detection and seamless location-based service. *Sensors*, 16(2), 268.

附錄一

「成果效益評估、計畫進度管考以及
報告審查意見回覆」

成果效益評估、計畫進度管考

按照工作案之合約與工作項目，本團隊依據科技計畫績效管考平台 (<http://stprogram.stpi.narl.org.tw/>) 提供格式，配合內政部辦理本案計畫「科技發展計畫績效評估作業」自評作業需求，參考內政部提供之相關績效作業範本，填寫本案相關成果效益報告書、績效指標、佐證資料、政府科技發展計畫績效評估；另配合將本案各期資訊登載政府研究資訊系統 (GRB, <https://www.grb.gov.tw/>)，且登載結果繳附於各期工作成果，並適時接受諮詢。

本團隊如實如期於 108 年 2 月起每月 25 日繳交月報表，說明工作執行進度，同時完成本案 108 年度的「科技發展計畫績效評估作業」之期中、期末自評作業需求，並完成本案期中、期末成果資訊登載政府研究資訊系統 GRB，如下圖所示。

政府研究計畫 (期末報告) 摘要資料表 (GRB)

系統編號	PG10805-0051				
計畫中文名稱	108年度自駕車用地圖標準及移動測繪技術發展工作案				
主管機關	內政部				
主管機關計畫編號					
執行單位	國立成功大學測量及空間資訊學系(所)				
年度	108	本期期間	10801 - 10812		
本期經費(單位:千元)	17000				
本期經費來源	內政部				
執行進度		預定進度%	實際進度%	超前%	落後%
	當年	100	100	0	0
	全程	100	100	0	0
經費支出		預定支用經費 (單位:千元)	實際支用經費 (單位:千元)	支用比率%	
	當年	17000	17000	100	
	全程	17000	17000	100	
研究人員	中文姓名		英文姓名		
	江凱偉		Chiang Kai-Wei		
	曾義星		Yi-Hsing Tseng		
	洪榮宏		Jung-Hong Hong		
	郭重言		Chung-Yen Kuo		
	王驥魁		Chi-Kuei Wang		
呂學展		Hsueh-Chan Lu			
報告頁數	550	使用語言	中文		
全文處理方式	可立即對外提供參考				
中文關鍵詞	高精地圖；多平台；定位定向；室內定位；室內製圖				
英文關鍵詞	High Definition Map; Multi-Platform; Positioning and Orientation; Indoor Positioning; Indoor Mapping				
計畫中文摘要					
<p>本案除了「107年度移動載台測量製圖技術發展工作案」既有延續研究的工作項目外，並進一步基於上述本團隊先期並已具備相關成果之研究能量，探討高精地圖及即時動態地圖之製圖規格與產製流程，後續擴充建立滿足真實場域環境下高精地圖之製圖作業指引、驗證指引及標準，以提升高精地圖產製的效率及正確性，同時及早制定標準有助於我國高精地圖產業的規格統一，達到資源共享的願景，更藉由本案評估參與世界自駕車的相關國際組織，進一步確保本案所建立之高精地圖標準符合實際需求並與國際接軌，以利我國產業及早進行自駕車測試及前瞻技術布局，對於未來政府單位評估組建國家級圖資產業聯盟具有正面助益。</p> <p>綜觀而言，測繪與空間資訊相關應用領域，由於移動測繪系統的機動性、多元感測資訊以及對數位影像處理與蒐集的能力，可以明顯節省過去傳統測量所需要的人力及時間。故除了傳統的空間資訊與測繪應用以外，隨著移動裝置的普及、無人載具的發展與自駕車技術的研究，預期結合現有移動測繪技術、室內圖資建置技術、物聯網空間資訊應用將有效支撐適地性服務急速擴張的需求，這對深化空間資訊領域產業的發展有正面的助益。</p>					

新增日期: 2019/10/10 確認日期: 最新修改日期: 2019/11/26

國研院科技政策中心製表/印製日期: 2019/11/26

同時，本團隊也將本案應用發展成效，針對空間測繪應用研究發展計畫及自駕車用高精度地圖 (HD Map) 整備計畫，撰寫 108 年度計畫績效報告，內容與項目如下：

- 總目標及達成情形
- 計畫架構
- 執行摘要
- 人力運用情形
- 主要產出與關鍵效益
- 主要成果價值與貢獻度
- 檢討與展望



期中報告審查意見回覆

- 日期：108 年 7 月 25 日
- 地點：中央聯合辦公大樓南棟 18 樓第 6 會議室

劉委員正倫

1. 有關「自駕車用地圖作業指引」與「高精地圖製圖作業指引」、「自駕車用地圖標準」與「高精地圖內容標準」相關文件名稱建議修正一致。

回覆意見

感謝劉委員的建議，已修正名稱並統一用詞為「高精地圖製圖作業指引」、「高精地圖標準」。

2. 對於評估本案採用 OpenDRIVE 為我國高精地圖標準之基本架構，其採用標準建議於報告書中補充說明。

回覆意見

感謝劉委員的建議，已於報告書中補充說明我國高精地圖標準之基本架構。

3. 本案和日本 Zenrin 公司合作內容，對我國高精地圖測製技術有哪些具體效益？請於報告書中補充說明。

回覆意見

感謝劉委員的建議，已於報告書中說明本案和日本 ZENRIN 的具體合作效益。

4. 第五章、試驗場域自駕車用地圖圖資服務建議補充試驗場域圖資維護內容及情形。

回覆意見

感謝劉委員的建議，已於報告書中補充說明試驗場域圖資維護內容及情形。

5. 有關發展地籍測量移動製圖技術之透空較佳區域之測試成果，有關界址點 999、1000 誤差較大，推測原因為地形傾斜造成，但實際情況一定會遇到相同情況，請團隊提出解決方案。另未來進行測試時，可匯入現況參考點資訊，進行精度比較分析，透過影像量測現況點位，以符合複丈測量之實際作業情形。

回覆意見

感謝劉委員的建議，目前量測輔助標無法完善定心定平，以至標面至地面位置因地形傾斜而有所偏移，未來可改良量測輔助標的形式，例如標面中間軸之底部尖端可直接壓至地面標，另外腳架長度亦可任意調整。現階段外業時，會在多加留意輔助標之擺設，盡量減少此影響。此外，本團隊後續於 108 重測區域施設時，將納入參考點的資訊，進行量測並分析精度。目前已向台南市永康地政事務所取得參考點的圖檔。

6. 有關「車載製圖系統作業手冊」可否提供檔案下載，提供相關使用者參考；另提及歷年提供至少十家國內業者進行相關技術諮詢，建議表列提供諮詢服務項目與對象；對於本案建置之各測試與率定實驗室，建議表列實驗室名稱、率定項目、場地所在位置等訊息。

回覆意見

感謝劉委員的建議，已將製圖作業指引放至「高精地圖產學研資訊交流平台」提供相關使用者下載、參考。已於報告書中補充歷年來提供相關技術諮詢以及協助測試與率定服務之單位清單，同時表列各測試與率定實驗室之相關說明。

7. 有關第十五章結論與建議部分，建議部分請說明各工作項目後續執行內容。

回覆意見

感謝劉委員的建議，已於報告書中針對原第十五章進行修正。

趙委員鍵哲

1. 本案發展之高精地圖標準之定位為何？是從頭開始還是接承既有標準，因高精地圖之安全性至關重要，還有哪些情境需考量，請於報告書中補充。

回覆意見

感謝趙委員的建議，已於報告書中補充說明本案所建立的高精地圖標準之定位屬於資料流通，有效連結測繪及自駕車產業，並促進跨領域之技術整合。同時也補充高精地圖對於自駕車所需的安全情境考量，透過即時感測資訊提供主動式的安全防禦。

2. 有關本案發展之移動測繪技術，利用後方交會求解位置、姿態，是否可使用其他演算法，請於報告書中補充。

回覆意見

感謝趙委員的建議，目前乃透過光束法平差的方式，除了解算測站的位置與姿態，連結點的位置亦同步解算。後續若想量測其他地物點，可依據已解算的測站方位，透過前方交會的原理來計算更多地物點的三維位置。然而若裝載慣性元件於 PPIMS 之平台上，經過完善的系統率定後，所有相機的姿態與位置便可基於直接地理定位的演算法獲得。依據前方交會的原理，進一步量測與解算地物點之三維位置。上述說明已補充於報告書 9.1 小節的內文當中。

陳委員繼藩

1. 有關自駕車用地圖的議題很多，本計畫應先界定計畫目標是屬於政策面、產業面或是學術面，再規劃後續執行。

回覆意見

感謝陳委員的建議，本案在發展高精地圖標準與相關指引為多方面考量，初期的先期研究參考國外相關標準內容以及自駕車應用，接著建立適用於臺灣的高精地圖標準，提供政府後續推動相關政策的參考資訊，而有了圖資內容的說明與定義後，可以鏈結測繪業和自駕車產業，共同拓展未來的加值應用。

2. 請本案廠商盤點國內自駕車用高精地圖相關政府機關、廠商與本計畫工作項目有關，並於報告書中補充，有助於後續推廣相關成果。

回覆意見

感謝陳委員的建議，已於報告書附錄中彙整、盤點國內自駕車和高精地圖的相關政府機關、廠商，提供給內政部地政司參考，協助後續推廣活動。

卓委員大靖

1. 有關發展移動裝置通用之室內定位技術使用之類神經網路方法，建議於報告書中詳加描述方法原理及流程。

回覆意見

感謝卓委員的建議，本團隊採用一篇論文提出的類神經網路方法，其方法為輸入彩色影像，透過 23 層卷積神經網路，推算影像之姿態（位置及方向）。本團隊所採用的類神經網路在訓練階段時需要準備影像、地理位置以及四元數資訊作為真值，透過訓練過程中計算每張影像之損失

值，更新類神經網路之權重並且萃取重要之特徵值，最後於測試階段推算每張影像的姿態藉此達到室內定位。

2. 有關卷積神經網路(CNN)演算法使用四元數之優點為何？請於報告書中補充說明；另有關式 7.2 損失函數請確認是否正確。

回覆意見

感謝卓委員的建議，CNN 演算法之所以採用四元數來表示方向之原因有兩個。第一個原因為四維參數較容易通過歸一化到單位長度去映射旋轉矩陣，第二個原因為歐拉角有萬向鎖之問題，假設旋轉順序為 Roll → Pitch → Yaw，當第二次旋轉(Pitch)到 $\pm 90^\circ$ 之後，就會使第一次旋轉(Roll)及第三次旋轉(Yaw)的旋轉軸重合，導致整個系統只剩二個維度的旋轉，而四元數因為四個參數代表三維向量以及旋轉角，可以對任一個旋轉軸做自由旋轉，因此沒有萬向鎖的問題。另有關式 7.2 損失函數已於報告書中做修正。

吳委員至誠

1. 附錄三「自駕車用地圖標準-高精地圖」(草案)參考由 ASAM 所維護之 OpenDRIVE 標準架構，並加入我國發展需求之設計，請於報告書中補充說明我國發展需求之設計之項目為何？

回覆意見

感謝吳委員的建議，已於報告書中補充本案發展高精地圖標準的設計策略和需求分析。

2. 請於報告書中說明 NDS、SENSORIS、OpenDRIVE 及 ADASIS 4 種組織發展之高精地圖標準之差異及優、缺點及本案為何僅考量以 OpenDRIVE 為草案標準？另高精地圖與自駕車其他軟硬體結合是否可行？

回覆意見

感謝吳委員的建議，已於報告書中說明各組織的高精地圖標準差異，並補充 OpenDRIVE 之考量分析。另高精地圖可與自駕車的軟硬體整合，提供導航技術與控車機制更精確、更有效、更安全的資訊。

邱委員式鴻

1. 有關第十五章結論與建議部分，建議改為結語與未來工作，並分開撰寫，若計畫執行時有遭遇問題亦請納入。

回覆意見

感謝邱委員的建議，已於報告書中針對原第十五章進行修正。

2. 針對第十一章、研究成果發表提送期刊或研討會論文文稿是否能即時完成，請本案團隊注意相關時程，並於報告書中說明規劃事宜。

回覆意見

感謝邱委員的建議。

3. 有關發展地籍測量移動製圖技術，建議可納入相關法規規範探討，以利了解後續內政部推廣本技術之適用性。

回覆意見

感謝邱委員的建議，目前僅依據地籍測量實施規則第 73 條，自行要求以移動製圖技術施測的界址點位置，其標準差小於二公分，其與已知坐標值之差值亦小於二公分。後續本團隊將針對相關法規進行更多探討。

4. 有關第十二章、第十三章各為獨立章節，建議分頁呈現。

回覆意見

感謝邱委員的建議，已於報告書中針對第十二章、第十三章進行修正。

5. 目前試驗場域圖資檢核僅針對點雲密度檢核，是否有不足之處？請於報告書中說明；另後續圖資如何產製，請於報告書中說明。

回覆意見

感謝邱委員的建議，目前檢核流程規劃包含作業規劃、控制測量、作業成果、點雲密度及向量圖層精度檢核一共四個階段，對於高精地圖測製作業前、後期皆有進行品質管控，而本次期中報告所提到的沙崙場域點雲密度檢核，為高精地圖圖資維護的過程中一個檢核階段，其餘項目會陸續完成檢核。

王委員成機

1. 有關本計畫成果未來請多與其他機關相互交流，收集相關意見，以利成果能夠應用於相關範疇；另建議後續工作會議可邀請相關專家學者與會討論。

回覆意見

感謝王委員的建議，本案未來將與各相關機關交流，並規劃後續工作會議邀請相關專家學者與會討論。

2. 本案與本部「高精地圖於自駕車資通訊系統整合研發實證工作案(108-109)」具高度相關性，請本案廠商後續需相互了解兩案之發展方向，以利本部自駕車研發技術之發展，並於報告書中補充。

回覆意見

感謝王委員的建議，將於期末報告中補充說明本案與「高精地圖於自駕車資通訊系統整合研發實證工作案(108-109)」的相互發展方向與執行成果。

3. 有關發展地籍測量移動製圖技術，請本案團隊和本部國土測繪中心聯繫，並進行討論，確保相關技術能夠應用地籍測量業務上之效用。

回覆意見

感謝王委員的建議，後續本團隊會與國土測繪中心聯繫，進行相關討論，探討相關技術於地籍測量業務之應用效用。

交通部

1. 有關本案研發之高精地圖向量資料之格式定義，請本案團隊再和自駕車相關相互交流。

回覆意見

感謝交通部的建議，本案後續將和國內自駕車和高精地圖的相關單位交流，滾動修正高精地圖之格式定義。

2. 建議本案發展之高精地圖標準(草案)可和其他機關進行討論，確定草案內容是否適用其他機關，並收錄相關意見作為後續地圖標準之修正內容。

回覆意見

感謝交通部的建議，目前本案所建立高精地圖標準為草案，後續將持續和相關機關共同討論適用性，滾動修正標準內容。

內政部地政司

1. 請補充本案工作會議之會議紀錄於報告書中。

回覆意見

感謝內政部地政司的建議，已於報告書附錄中補充本案工作會議紀錄，如實定期向地政司回報執行進度。

2. 有關自駕車用地圖適地性服務案例，請補充說明試辦區詳細資料，如道路長度、寬度及道路特性等，及試辦區高精地圖測製格式。

回覆意見

感謝內政部地政司的建議，已於報告書中補充說明，適地性服務案例分為開放式場域和封閉式歸仁校區，開放式場域的施測長度約為 4.7 公里，寬度為 25~45 公尺，封閉式歸仁校區的施測長度約為 800 公尺，寬度為 20~25 公尺。委託測繪車產製高精地圖，其測製格式為 Shapfile，提供後續檢核作業和自駕車格式轉換。

3. 有關本案聘請專案人員協助推動自駕車用高精地圖事務，請補充說明專案人員之每月工作情形。

回覆意見

感謝內政部地政司的建議，已於報告書中補充說明專案人員每月的工作內容與情形。



期末報告審查意見回覆

- 日期：108 年 12 月 12 日
- 地點：中央聯合辦公大樓南棟 18 樓第 6 會議室

劉委員正倫

1. 期末報告書中提及所有儀器、感測器皆需進行校正率定，建議評估各項儀器及感測器校正之頻率，並於報告書中提出建議，供實際推廣參考。

回覆意見

感謝劉委員的建議，本團隊並未明定儀器、感測器之測試與率定頻率，各單位應視系統現況、成果精度以及實務要求進行率定。

2. 有關 2.3.3 節提及高精地圖 9 大類別及對應之子類別，建議先行說明 9 大類別後，再詳細描述各類別之內容說明，以利讀者閱讀。

回覆意見

感謝劉委員的建議，已於 2.3.3 節中補充說明 9 大類別及對應之子類別，以利參閱。

3. 有關高精地圖適地性服務之成果說明文字不一致，請釐清後修正之，並補充今年度適地性服務之反饋意見。

回覆意見

感謝劉委員的建議，高精地圖適地性服務之成果說明與文字敘述已針對最新狀況進行更新。

4. 有關報告書中表 6.1 建議增列每個率定場可進行那些儀器、相機率定及校正服務，以利讀者閱讀；另本案所有率定場皆有持續維護嗎？

回覆意見

感謝劉委員的建議，已於表 6.1 中補充各個率定場可測試與率定哪些儀器進行說明，本案今年度視實際狀況針對整合式定位定向率定場與單一相機內方位率定場進行維護。

5. 有關報告書中 6.2 節提及：「未來將參考沙崙試驗場域的建物與條件，規劃以地測與地面光達掃描牆面的檢核標，並建置全系統測試與檢核場之點雲資料庫，提供移動測繪車與自駕車進行系統率定與定位效能評估之應用。」與 17.2 節未來方向之建議提及：「發展群眾外包之高精地圖製圖系統（含自駕車平台）的精度驗證設施，並且提供驗證服務」似有差異，請團隊釐清後修正報告書內容。

回覆意見

感謝劉委員的建議，已釐清 6.2 節與 17.2 節之敘述並修正內容。考慮未來高精地圖的更新時效，評估發展群眾外包之高精地圖製圖系統(含自駕車平台)，因此，須規劃沙崙試驗場域以地測與地面光達掃描牆面的檢核標，並建置全系統測試與檢核場之點雲資料庫，提供移動測繪車與群眾外包之高精地圖製圖系統(含自駕車平台)進行系統率定與定位效能評估之應用。

6. 有關 9.1 節提及：「針對解決地面界址點與控制點不便以光達掃描之問題，新竹市政府地政處特別使用稜鏡與反射標貼紙，鑲嵌與布設於牆上，於點雲上便可易於辨識。上述方式值得本團隊加以效仿學習，若能於建物牆上貼上可供影像辨識之界址點標記，其與位於地上之界址點標記相比，對於 PPIMS 拍攝則更加便利。此外，牆上之標記(貼紙)或許能比地上之標記(噴漆或釘子)保存更久。」其中有關界址點應用敘述似有誤解，請確認後修正之。

回覆意見

感謝劉委員的建議，已修正 9.1 節中該段的文字敘述。

7. 有關報告書中仍有許多「本案於期中...」等文字，建議團隊檢視後修正之。

回覆意見

感謝劉委員的建議，已重新檢視並修正相關內容與敘述。

卓委員大靖

1. 請於報告書中說明與東南亞交流之具體事項及未來發展方向。

回覆意見

感謝卓委員的建議，已於第 12 章補充與說明今年度與東南亞交流之事項以及未來展望。

2. 方程式(7.1)建議向量符號之表示使用粗體字。

回覆意見

感謝卓委員的建議，已重新檢視並修正相關的符號表示。

3. 有關 7.1 節提及之損失函數(Loss Function)是否有引用之參考文獻，請說明之。

回覆意見

感謝卓委員的建議，已於 7.1 節中針對損失函數進行補充說明。

4. 有關災害人流導引之隨機分布和集中分布演算法之名詞定義是否有標準定義呢？

回覆意見

感謝卓委員的建議，已於 8.1 節中補充說明。

5. 有關室內定位技術測試使用不同手機，但報告書中只展示手機照片，請於報告書中補充使用不同手機型號之說明，以利辨別使用不同手機之差異性。

回覆意見

感謝卓委員的建議，已於 7.2 節中補充相關表格說明不同測試手機之規格。

6. 有關室內定位技術之類神經網路定義分類方式建議再釐清後修正之。

回覆意見

感謝卓委員的建議，已於 7.1 節中針對相關內容進行修正與說明。

7. 有關圖 8.3、Bipartite 演算法請於報告書中補充說明，並請敘明有無其他替代方案。

回覆意見

感謝卓委員的建議，已補充說明相關內容。

8. 有關報告書中 ITS 全名不一致，請檢視後修正之。

回覆意見

感謝卓委員的建議，已重新檢視並修正相關內容。

9. 有關報告書中提及 GNSS/INS 用詞之一致性，請檢視後修正之。

回覆意見

感謝卓委員的建議，已重新檢視並修正相關內容。

吳委員至誠

1. 有關期末報告書撰寫部分，建議依據工作案之名稱，將現有章節區分為兩篇撰寫，如：第一篇自駕車用地圖標準及應用；第二篇移動測繪技術發展。

回覆意見

感謝吳委員的建議，已針對今年度工作項目的各章節作區分，以利參閱。

2. 建議將報告書第 15 章、期中報告審查意見放到附錄，並加上開會日期。

回覆意見

感謝吳委員的建議，已將報告書第 15 章、期中與期末報告審查意見放至附錄，並補充開會日期與地點。

3. 建議報告書第 13 章補充本案成果效益及評估訊息。

回覆意見

感謝吳委員的建議，已將報告書第 13 章放至附錄，並補充成果效益及相關評估。

4. 有關「自駕車用地圖標準」之名詞定義是否考慮修正為「自駕車用高精地圖標準」，以利後續推動相關事務時能夠和既有車用導航地圖有所區別。

回覆意見

感謝吳委員的建議，已統一修正相關的名詞用語及定義。

5. 建議依照期中報告審查意見，將本案成果依政策面、學術面、產業面三大面相呈現。

回覆意見

感謝吳委員的建議，已於第 14 章針對政策面、學術面、產業面進行本案成果之總結。

趙委員鍵哲

1. 有關室內定位技術測試成果「閉合比」應該修正為「閉合百分比」，請修正之。

回覆意見

感謝趙委員的建議，已修正為室內定位技術測試成果之相關敘述與表格內容為「閉合百分比」。

2. 圖 1.1 中之地籍測量移動測繪技術未納入圖中之重點發展領域，請補充之。

回覆意見

感謝趙委員的建議，已修正圖 1.1 並補充相關之重點發展領域。

3. 有關地籍測量移動製圖技術部分，如何確認透空度較差地區需使用全測站進行控制測量呢？請團隊於報告書中補充。

回覆意見

感謝趙委員的建議，於事先進行場勘時，已使用 e-GNSS 系統來定位，了解透空度較差地區實際接收之情形，以確認需使用全測站進行控制測量。已補充相關敘述於 9.2.2 節中。

4. 有關前言部分，敘述脈絡及相關名詞重複說明，請團隊重新檢視後修正之。

回覆意見

感謝趙委員的建議，針對前言部分已重新檢視並修正文字敘述。

5. 有關報告書中表 2.1 之檢核機制提及檢核並提升網形平差結果，請釐清相關流程後修正之。

回覆意見

感謝趙委員的建議，已重新檢視表 2.1 之相關內容並修正文字敘述。

邱委員式鴻

1. 建議於報告書中補充摘要。

回覆意見

感謝邱委員的建議，已於報告書中補充中英文摘要。

2. 有關報告書中提及「本團隊...」部分，請釐清倘非參考文獻應以本案成果稱之。

回覆意見

感謝邱委員的建議，已針對報告書中相關文字敘述進行重新檢視並修正。

3. 有關第九章、發展地籍測量移動製圖技術，請補充流程精度之分析和界址測量後依據地籍測量實施規則第 74、76 條規定有關市地規範之實測邊長進行檢核；另於報告書中補充量測輔助標之說明。

回覆意見

感謝邱委員的建議，針對地籍測量實施規則，本案乃依據第 74 條之市地規範，藉此評估界址點解算成果，期許精度可達到 2 公分。而解算成果乃直接與重測之數值進行比較，因此並未依據第 75、76、77、78 條

規定有關市地規範與圖紙及圖廓進行探討。此外，量測補助標之說明亦補充於 9.1 節中。

4. 有關表 9.4 控制點已知坐標值與 e-GNSS 量測坐標之比較，利用均值進行改正，是否能用其他方式改正呢？

回覆意見

感謝邱委員的建議，因測區範圍並非太大，因此採用簡易的方法來改正，僅加上兩者坐標之平均差值。亦有其他改正方法，例如使用最小二乘法列出觀測方程式，藉由迭代計算找出兩者坐標之轉換參數，可設定 4 參數或是 6 參數模式。針對該法則需有足夠之控制點數量才可施行。

5. 表 9.6、9.7、9.9 界址點數量成果仍偏少，有關界址點坐標是否能於測站平差中同時求解呢？

回覆意見

感謝邱委員的建議，目前界址點坐標已於多測站光束法平差中同時解算。

6. 建議加入桃園市政府「108 年度航測輔助山區地籍圖重測工作案」之相關資料作為本案參考。

回覆意見

感謝邱委員的建議，108 年度航測輔助山區地籍圖重測工作案以旋翼無人機航攝影像輔助辦理山區地籍圖之方法，後續採用無人機結合移動製圖技術於適地性服務時，相當具有參考性，得列為本案參考資料。

交通部科技顧問室

1. 有關未來建立動態地圖標準部分，建議除了 ISO 組織所定之規範外，可參考國外其他研究及國內自駕車團隊之意見，整合歸納出適用我國動態地圖之標準。

回覆意見

感謝委員的建議，未來建立動態地圖標準之事宜將全面參考相關規範與資訊，包含 ISO 標準、國內外自駕車團隊之研究成果與意見，發展視用於我國之動態地圖標準。

2. 建議報告書中引用國外文獻之具重要參考價值之圖表可翻譯成中文，以利讀者閱讀。

回覆意見

感謝委員的建議，已針對重要參考價值之圖表進行翻譯，以利參閱。

交通部運輸研究所

1. 建議再確認對於具有低延遲需求即時交通資訊透過雲端服務或資料傳遞，是否其低延遲需求即無法達到？另請再敘明低延遲需求之即時交通資訊定義。

回覆意見

感謝委員的建議，已修正相關文字敘述，低延遲的即時交通資訊來自於參加慕尼黑 NDS 研討會的廠商說明，雲端服務之文字則為誤植，其原始資料也未說明低延遲之即時交通資訊為何。

2. 有關「標字」部分之敘述，各國均有不同程度與方式的標字使用到非我國特有之「標線」，建議再評估對「標字」之「原則上均須測製實形」的作法，及其實務上應用之可行性。

回覆意見

感謝委員的建議，原本考量標線實形可作為後續 AI 辨識之資料樣本，然而確實有廠商反應開放場域內的標字常有缺損之情形，經討論後，標字在 SHP 圖層將改為獨立的圖層，記錄內容為代表點坐標、文字、旋轉角及標線代碼。在高精地圖圖層內容標準草案內，設計標字類別記錄相同的內容。

3. 有關 ISO/TR 17424 之歐規 ITS Station 與標準 LDM 探討，我國交通部門在進行相關研究或計畫時雖有探討，但均未以此文件內容進行實作；同時在智慧運輸領域，雖然 ISO 有 TC204 相關標準，不過各國因各自產業特性與需求，實際上全盤導入或採用比例不高，建議研究團隊後續再審視此方向之合宜性。

回覆意見

感謝委員的建議，ISO 是統整結合各國意見，發展訂定出國際上都通用的一套標準，協調產品與服務的技術規範，提供對於研究方法及其結果的看法，讓 ISO 國際標準更為廣泛應用與討論。以大範圍智慧運輸領域之 ISO TC204 相關標準，確是各國因各自產業特性與需求，實際上全盤導入或採用比例不高，但就個別獨特實作商品化產品面而言，仍必須遵守各國法規與 ISO 標準。建議在 ISO/TR 17424 之歐規 ITS Station 與標準 LDM 參考主架構上仍然應參照並實作相關模組，以確保產品、製程以及服務等均能符合不同不同國家的使用目的。

4. 請再斟酌「車聯網將是 5G 最大規模的單體應用場景」敘述之正確性，未來車聯網與自駕車將會應用 5G，但未必是最大規模的單體應用場景，電信公司未必持此看法，5G 垂直場域應用亦未必如此。

回覆意見

感謝委員的建議，由於 5G 技術特性高速、低延遲跟大連結，5G 垂直場域應用可驅動智慧工廠、智慧醫療及車聯網自駕車等不同垂直產業的需求。如以電信業者提供全區域廣覆蓋的全國性電信網路而言，車聯網自駕車將會是 5G 大規模的單體應用場景之一。

5. 建議再進一步說明未來自動駕駛之「需求」。

回覆意見

感謝委員的建議，已修正與補充相關敘述於 3.2.2 節中。

6. 請補充說明表 3.2 的資料來源。

回覆意見

感謝委員的建議，已於表 3.2 中補充說明資料來源。

7. 請再補充說明表 3.6 第 3 項中之「考照」為何？

回覆意見

感謝委員的建議，已修正表 3.6 第 3 項之敘述。

8. 請再審視對於即時動態地圖與自駕車運行需求間之關聯。

回覆意見

感謝委員的建議，即時動態地圖與自駕車運行需求間之關聯需透過 V2X 場景應用來實現。在 V2X 應用場景，如道路中危險駕駛行為預警、動態事故異常車輛提醒、人行道行人預警、道路壅塞交通流量分析、交叉路口防碰撞、限速預警、匝道車輛匯入預警、天氣預警等複合式應用場景中，V2X 車聯網將產生於路側、車輛、行人等不同交通要素的各類感測器資訊進行融合分析，將多來源的交通資訊進行彙聚和建模，從而能全面、直觀、動態的反映道路交通狀況，對交通狀況的全面感知，採用大數據、人工智慧等技術進行分析，進而優化交通信號、交通資源的調度和使用、提升道路安全和通行效率。

9. 建議再補充說明 2.3.3 節有關「並在 junction 類別裡以 controller 類別提供相關之號誌控制資訊，整合各交叉路口之車道連結及號誌控制」之詳細說明，以及範例說明。另建議可針對開放道路場域場域，例如：新北市淡海輕軌崁頂站至淡海美麗新影城之 600 公尺自駕巴士計畫與中興新村車聯網計畫，以目前所提標準草案來審視該草案之實務應用可行性。

回覆意見

感謝委員的建議，已補充說明相關內容。開放場域已有內政部之實證案進行驗證，內政部與經濟部合作之無人載具科技創新實驗計畫亦已

開放申請，可驗證草案之內容。未來可以配合各實證成果之建議滾動修正。

10. 建議再審視高精地圖標準草案中有關各交通設施名稱之本土化，以及該高精地圖與目前交通路網數值圖間之鏈結與關聯。

回覆意見

感謝委員的建議，目前各交通設施名稱之中文已盡可能引用相關法規及雙語名詞，將再全面審視。已補充說明高精地圖與交通路網數值圖之可能關係。

11. 考量目前高精地圖製作有嚴謹程序與要求，對於一般「群眾外包」定義之作法未必適用，因此建議再加以評估此高精地圖群眾外包之建議之可行性。

回覆意見

感謝委員的建議，群眾外包之高精地圖製圖系統（含自駕車平台）並非取代現有移動測繪車針對靜態高精地圖之製作程序，而是考量未來高精地圖的更新以及即時動態地圖的產製，將後續評估發展群眾外包的作法與程序。

內政部地政司

1. 有關 2.3.2 節有關自駕車用地圖標準設計策略 1 節，建議補充各國際標準之優缺點整理表，以利讀者了解本案選擇 OpenDRIVE 格式之理由。

回覆意見

感謝委員的建議，已於 2.3.2 節中補充各國際標準之說明以及選擇 OpenDRIVE 格式之理由，以利參閱。

2. 有關 5.1 節維護試驗場域高精地圖圖資 1 節，建議補充圖資內容及精度說明，以利了解圖資產製成果；另有關 5.3 節小結建議補充相關內容。

回覆意見

感謝委員的建議，已針對 5.1 節之內容進行補充與說明，並更新 5.3 節之相關內容。

3. 有關 5.2 節圖資諮詢服務 1 節，請敘明相關討論會議是否有議題或結論可供團隊參考；另有關 5.3 節小結建議補充相關內容。

回覆意見

感謝委員的建議，已針對 5.2 節之內容進行補充與說明，並更新 5.3 節之相關內容。

4. 有關 12.1 節參加國際研會部分，請補充今年度參加相關研討會之內容資訊。

回覆意見

感謝委員的建議，已針對 12.1 節之內容進行補充與說明。

5. 有關 12.2 節配合本部辦理臺印尼年度測繪技術交流會議活動，請補充本案邀請人員名單及其相關資料。

回覆意見

感謝委員的建議，已針對 12.2 節之內容進行補充與說明。

附錄二

「高精地圖製圖作業指引」



高精地圖製圖作業指引 v2

HD Maps Operation Guidelines v2

出版日期: 2019/10/17

終審日期: 2019/09/27

此文件之著作權歸台灣資通產業標準協會所有，
非經本協會之同意，禁止任何形式的商業使用、重製或散佈。

Copyright© 2019 Taiwan Association of Information
and Communication Standards. All Rights Reserved.



誌謝

本指引由社團法人台灣資通產業標準協會—TC8 車聯網與自動駕駛技術工作委員會所制訂。

TC8 主席：社團法人台灣車聯網產業協會 許明仁 榮譽理事長
TC8 副主席：財團法人資訊工業策進會 智慧系統研究所 馮明惠 所長
TC8 副主席：財團法人資訊工業策進會 智慧系統研究所 蒙以亨 副所長
TC8 秘書：財團法人資訊工業策進會 智慧系統研究所 張瑋傑
技術編輯：國立成功大學 測量及空間資訊學系 江凱偉 教授
國立成功大學 測量及空間資訊學系 郭重言 教授
國立成功大學 測量及空間資訊學系 王驥魁 教授
國立成功大學 測量及空間資訊學系 李佩玲 研究員
國立成功大學 測量及空間資訊學系 林政安 研究員
國立成功大學 測量及空間資訊學系 李育華 副研究員

此研究報告之協會會員參與名單為（以中文名稱順序排列）：

互聯安睿資通股份有限公司、吉康科技有限公司、社團法人台灣車聯網產業協會、宏碁股份有限公司、財團法人工業技術研究院、財團法人資訊工業策進會、國立成功大學、晶復科技股份有限公司。

本計畫專案參與廠商(法人)名單為(以中文名稱順序排列)：

中華民國航空測量及遙感探測學會、中興測量有限公司、內政部國土測繪中心、台灣世曦工程顧問股份有限公司、台灣國際航電股份有限公司、交通部科技顧問室、行政法人國家中山科學研究院、自強工程顧問有限公司、研鼎崧圖股份有限公司、財團法人成大研究發展基金會、華創車電技術中心股份有限公司、經緯航太科技股份有限公司、詮華國土測繪有限公司、勤崴國際科技股份有限公司。

本指引由經濟部工業局及內政部地政司支持研究制定。

目錄

誌謝	1
目錄	2
前言	3
引言	4
1. 適用範圍	5
2. 引用標準	6
3. 用語及定義	7
4. 高精地圖製圖作業規格要求	12
5. 高精地圖作業程序及檢核機制	14
5.1.1 任務規劃	14
5.1.2 實地踏勘	14
5.1.3 系統檢測	15
5.1.4 系統初始對準	16
5.1.5 資料蒐集作業	17
5.1.6 資料後處理	18
5.1.7 精度檢核	18
5.1.8 地圖產製及報告書撰寫	18
5.2.1 自我檢核機制	19
5.2.2 檢核點精度分析	20
5.2.3 高精地圖作業過程與產出成果查核列表	20
參考資料	22
版本修改紀錄	23

前言

本指引係依台灣資通產業標準協會(TAICS)之規定，經技術管理委員會審定，由協會公布之產業指引。

本指引並未建議所有安全事項，使用本指引前應適當建立相關維護安全與健康作業，並且遵守相關法規之規定。

本指引之部分內容，可能涉及專利權、商標權與著作權，協會不負責任何或所有此類專利權、商標權與著作權之鑑別。

引言

隨著智慧型運輸系統(Intelligent Transport System, ITS)的發展，自動駕駛汽車將成為未來全新的交通方式，也預期降低每年上千萬件人為因素造成車禍傷亡之現況。國際汽車工程師學會(Society of Automotive Engineers International)提出一套相關分類方法，將自駕車系統分成六個層級(Level 0-5)，現行導入先進駕駛輔助系統(Advanced Driver Assistance Systems, ADAS)的市售車輛為第二級(Level 2)，而完全不需人為操控的全自動駕駛為第四級(Level 4)以上，以實現行車的最小安全風險。為達成第四級以上級別的安全功能(Functional Safety)，獲取車輛在道路上的精確位置資訊是首要核心技術。此外，依先進駕駛車輛安全研究指出，若要將導航設備建構至自動駕駛層級，勢必要將車輛導航精度提升至次公尺級以上。由於衛星定位技術於都市地區受限遮蔽或者反射訊號影響，無法準確將自駕車定位於車道內，基於安全及硬體成本考量，除整合包含相機、光達、全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)、慣性導航系統(Inertial Navigation System, INS)等感知元件在內，使用具備車輛導航資訊之高精地圖(High Definition Maps, HD Maps)，提供可靠穩健之環境先驗資訊已是自動駕駛技術運行的重要關鍵。

根據引用標準 ISO 18750 之 Local Dynamic Map 圖層架構^[8]，高精地圖為靜態數據屬於基本底圖資訊，目的是輔助精準導航與精確車道級路網訊息，提供車載電腦進行駕駛決策，故除需等比例表現外界車道資訊外，其特徵區塊之平面絕對精度須優於 20 公分、三維絕對精度須優於 30 公分，才能有效提供自動駕駛技術次公尺級之車道定位要求。有鑑於此，本指引考量國內外既有製圖技術及高精地圖精度需求，針對專業化車載行動測繪系統(Mobile Mapping System, MMS)搭載光達之圖資蒐集作業平台，提供產製高精地圖之系統平台要求作業規格，與測繪任務執行前、測繪任務執行當下、後續內業任務之作業程序流程及檢核評估等原則性參考實施措施。最終目的乃促使製圖成果之精度及解析度能因應環境改變之需求，並適用於我國複雜的高度混流交通型態，確保高精地圖產出品質，有效鏈結自動駕駛需求。

1. 適用範圍

本指引為使用車載行動測繪系統進行高精地圖之資料蒐集、製作、品管及驗證作業程序（如測繪業），適用之高精地圖供應鏈架構範圍如圖 1 虛線框列所示。目的係確保包含特徵區塊之最終產出向量地圖，成果的平面絕對精度須優於 20 公分、三維絕對精度須優於 30 公分，其精度的規格要求可詳見參考資料^{[2][4]}。



圖 1 高精地圖供應鏈架構

2. 引用標準

下列法規、標準或文件因本指引所引用，引用章節之內容成為本指引之一部分。如所列標準標示年版者，則僅該年版標準予以引用。未標示年版者，則依其最新版本（含補充增修）適用之。

ISO 18750:2018 Intelligent transport systems—Co-operative ITS—Local dynamic map

3.用語及定義

下列用語及定義適用於本指引。

3.1 測繪業(Land Surveying and Mapping Industry)

指依國土測繪法經營測繪業務之技師事務所、公司或技術顧問機構。至於測繪業務之範疇，「測量」指以土地為標的，對地表及其上下具空間分布特性之地理資料，進行蒐集、分析、計算、加值、整合、管理等相關之處理；而依據測量成果，展現地貌、地物或各類自然或人文資料之處理即為「製圖」。

3.2 特徵區塊(Feature Block)

指包含一個或多個特徵點（或稱興趣點）之測繪範圍，如地標、道路標線等高精地圖最終產物。

3.3 高精地圖(High Definition Maps, HD Maps)

指靜態之基本底圖數據，提供自動駕駛技術運作之可靠穩健的環境先驗資訊，輔助車載電腦進行駕駛決策，其圖資內容、圖層類別、特徵、屬性、詮釋資料均能完整被車輛導航系統所使用，且平面絕對精度須優於 20 公分、三維絕對精度須優於 30 公分之條件。

3.4 全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)

指覆蓋全球的自主授時及空間定位系統，使用者藉由自有衛星訊號接收機，即時獲取衛星資訊以計算當下所在位置（經度、緯度和高度）及精確時間。範疇包含美國的全球定位系統(GPS)、俄羅斯的格洛納斯系統(GLONASS)、歐洲的伽利略定位系統(Galileo)、中國的北斗衛星導航系統(BeiDou)等覆蓋全球的定位系統，以及日本(QZSS)和印度(IRNSS)等國的區域衛星定位系統。

3.5 慣性測量元件(Inertial Measurement Unit, IMU)

慣性測量元件為測量物體三軸姿態角速率及加速度等慣性觀測量的裝置，包含三軸陀螺儀和三軸加速度計等。

3.6 慣性導航系統(Inertial Navigation System, INS)

慣性導航系統為慣性測量元件與計算單元組成的整合系統，直接即時解算物體的相對位置及姿態訊息等導航資訊。

3.7 慣性導航與全球導航衛星之整合系統(INS/GNSS)

INS/GNSS 整合慣性導航系統與全球導航衛星系統，結合兩系統之特性與優勢，可提供高精度且無縫式定位定向成果，亦可稱之為 INS/GNSS 定位定向整合系統。

3.8 即時動態定位(Real-Time Kinematic, RTK)

指採用單個或多個連續衛星觀測主站組成的聯合網路進行涵蓋地區內之定位誤差估算，移動站藉由鄰近的主站觀測資料及估算資訊，執行誤差修正之即時定位技術。主站係指實體地面基準站，執行連續靜態衛星定位測量任務；而移動站，為相對於主站而持續移動之坐標待求點位。

3.9 測量級多星系多頻全球導航衛星接收機(Survey Grade Multi-Constellation and Multi-Frequency GNSS Receiver)

接收機係指從天線接收並解調無線電訊號的電子設備；多頻係指具備接收兩種以上的衛星訊號頻段，如 L1、L2、L5 頻段；多星系係指具備接收兩種以上的衛星系統訊號，如 GPS、GLONASS、Galileo 及 BeiDou 等。

測量級係指具備支援多星系與多頻載波相位觀測量(Carrier Phase Measurement)接收且支援即時動態定位技術，並搭配抗訊號干擾與多路徑效應之接收天線，於接收天線

仰角 10 度以上周圍環境無訊號遮蔽情形下，其處理結果之三維定位絕對精度應優於 6 公分。

3.10 光達(Light Detection and Ranging, LiDAR)

為光學遙感技術的一種，指透過脈衝雷射光及其反射訊號的時間間隔計算感測器與物體的精確間距，加上脈衝雷射光的發射角度可計算物點的相對二維或三維坐標，其產出成果一般稱為點雲(Point Cloud)。

3.11 直接地理定位(Direct Geo-Referencing, DG)

指由 INS/GNSS 定位定向整合系統提供相機攝影中心及光達掃瞄原點之外方位參數，配合其他已知條件，可直接求得影像及光達點雲上目標點之絕對物空間位置。

3.12 車載行動測繪系統(Mobile Mapping System, MMS)

指結合 INS/GNSS 定位定向整合系統、光達或影像感測器，具備直接地理定位能力的測繪平台，具有高機動性、高精度，可快速獲得大範圍場域之高精度三維空間資訊。

3.13 輪速計(Odometer)

輪速計又稱為里程計，指基於輪胎轉數計算載體速度之感測器，用以計算車輛行駛距離。

3.14 零速更新(Zero Velocity Update, ZUPT)

指藉由輪速計或其他感測器之測量資訊，在已知、觀測或假設載體靜止時，三軸加速度觀測量積分後歸零的約制演算法，常用於車載動態導航中作為導航約制條件。

3.15 檢核點(Check Points)

檢核點為測繪作業中已知坐標但未納入製圖作業解算的點位，以製圖誤差計算及精度分析為使用目的。

3.16 控制點(Control Points)

控制點為測繪作業中已知坐標且有納入製圖作業解算的點位，以提供絕對坐標及約制測量誤差為使用目的。

3.17 規格驗證(Verification)

指透過特定的方法求定感測器誤差的過程，其求定結果作為評估感測器是否仍維持原有應備之規格性能。規格驗證之方式，包含下列二項：

- (1) 儀器出廠時應附有經專業驗證實驗室之測試報告書或相關規格證明。
- (2) 定期透過專業驗證實驗室檢測是否仍符合原出廠規格。所稱定期，需根據儀器原廠要求及使用頻率斟酌辦理。須驗證之項目詳參章節「5.1.3 系統檢測」。

3.18 絕對精度(Absolute Accuracy)

觀測解算結果和已知真值的差值稱為誤差，誤差越大者精度越低，反之亦然。絕對精度為上述誤差經統計分析後的結果。

3.19 相對精度(Relative Accuracy)

觀測解算結果和已知真值的差值稱為誤差，誤差越大者精度越低，反之亦然。相對精度為上述誤差和觀測量經比值計算的結果。

3.20 初始對準(Alignment)

初始對準又稱為系統初始化，指 INS/GNSS 定位定向整合系統啟動時，尋找起始方位之過程。

3.21 固定臂(Lever Arm)

固定臂為兩感測器坐標系統間，原點的位置偏移量。

3.22 軸角參數(Boresight)

軸角參數為兩感測器坐標系統間，軸向差異的旋轉量。

4. 高精地圖製圖作業規格要求

根據高精地圖產出精度要求及實施作業環境，規格要求如表 1；考量車載行動測繪製圖系統常用的規格等級，建議之慣性測量元件與配合地面控制點輔助密度如表 2；慣性測量元件等級分類如表 3；點雲密度等級分類如表 4。

表 1 車載行動測繪系統實施高精地圖製圖之作業規格要求

作業規格項目		說明
實施即時動態定位技術之移動站及地面控制站之衛星接收機規格		需為測量級多星系多頻接收機，至少支援雙星系雙頻載波相位接收
慣性測量元件 ¹	等級	參考表 2
	陀螺儀漂移穩定性	
	加速度計漂移穩定性	
衛星接收機及慣性測量元件規格驗證 ²		必要
慣性測量元件採樣頻率		> 100 Hz
無衛星訊號脫落 ³ 且無輪速計輔助之定位定向精度(1 σ)	水平定位精度	< 3 公分
	垂直定位精度	< 5 公分
	俯仰角定向精度	< 0.002 度
	航向角定向精度	< 0.005 度
光達規格驗證 ²		必要
相機規格驗證 ²		必要
搭配輪速計之水平定位精度(無衛星訊號情況下)		< 0.05% DT (系統精度行走漂移率)
點雲密度 ⁴		至少符合表 4 第二級點雲密度要求
零速更新實施頻率 ⁵	GNSS 訊號品質良好區域	原則每 10 分鐘實施 1 分鐘
	GNSS 訊號失鎖或是品質不佳區域	原則每 2 分鐘實施 1 分鐘
地面控制點輔助 ⁶		參考表 2
初始對準		必要

¹ 慣性測量元件等級分類係歸納參考資料[11]之整理結果；硬體規格為參考 SPAN LCI、SPAN LN200、IMAR FSAS 等車載行動測繪製圖系統常用硬體、文獻研究及實務經驗等綜合評估結果。

² 規格驗證之執行項目與驗證單位之應備條件，詳參 5.1.3 節。

³ 測繪級 INS/GNSS 定位定向整合系統多採用緊耦合整合架構，爰所稱衛星訊號脫落條件包含下列二項：

- 因遮蔽效應導致可視衛星少於一顆。
- 因可視衛星訊號不佳，刪除後導致可視衛星少於一顆。

⁴ 表 4 係依各該定位精度需求之理論推估值，依據場域現況、特徵區塊萃取與最終產出需求，於各該對應範圍內擇定合宜之點雲密度。點雲密度之檢核方式詳參 5.2.1 節。

⁵ 零速更新之實施頻率，可依環境情形、可實施與否及地面控制點輔助間距，選擇性降低實施頻率，詳參 5.1.5 節。

⁶ 地面控制點輔助措施，可依據實際採用之系統規格與本表要求規格之差異，斟酌調整實施間距。



表 2 建議之慣性測量元件等級規格與配合地面控制點輔助密度

規格	陀螺漂移與加速度計漂移 ⁷ 穩定性(Stability)	建議地面控制點輔助間隔
導航等級	<ul style="list-style-type: none"> 陀螺漂移穩定性：0.001-0.01 度/小時 加速度計漂移穩定性：50-100μg 	每 500 公尺
高階戰術等級	<ul style="list-style-type: none"> 陀螺漂移穩定性：0.1-1 度/小時 加速度計漂移穩定性：100-300μg 	每 300 公尺
中階戰術等級	<ul style="list-style-type: none"> 陀螺漂移穩定性：1-10 度/小時 加速度計漂移穩定性：300-1000μg 	每 100 公尺
其他等級	<ul style="list-style-type: none"> 陀螺漂移穩定性：>1 度/小時 加速度計漂移穩定性：>2mg 	每 30 公尺

表 3 慣性測量元件等級分類^{[3][9]}

效能	戰略等級	導航等級	戰術等級	微機電等級
定位誤差 (純慣性導航模式)	< 30 公尺/小時	2-4 公里/小時	20-40 公里/小時	50-500 公尺/分鐘
陀螺漂移 (度/小時)	0.0001	0.001- 0.01	0.1-10	10-3600
加速度漂移 ⁷	1 μ g	50-100 μ g	100-1000 μ g	0.1-0.5g

表 4 點雲密度等級分類

點雲密度等級	應用場景 (三維定位精度)	點雲密度值 (pt/m ²)
第一級	主動控制(Active Control) (0.1 m)	2500-10000
第二級	車道內(Where in Lane) (0.5 m)	400-2500
第三級	車道級(Which Lane) (1.5 m)	100-400

⁷ 1 μ g=10⁻⁶g, 1mg=10⁻³g, g=9.8 m/s²

5. 高精地圖作業程序及檢核機制

5.1 高精地圖作業程序

本指引流程如圖 2 所示，各執行子項內容於 5.1.1 至 5.1.8 小節分述。



圖 2 高精地圖製圖作業之車載行動測繪系統流程

5.1.1 任務規劃

根據施測範圍，預先評估施測之安全條件、交通狀況及環境特殊性，進行儀器種類、安裝方位、數量選配，並擬定品管計畫及實施路線等先行作業。

5.1.2 實地踏勘

依 5.1.1 規劃結果，於施測範圍進行作業時速、儀器運作頻率、方位數量調整及檢核點選定等評估作業，同時根據衛星定位觀測品質，建立地面控制點或檢核點，並調整行駛路線順序等任務規劃修正措施，地面控制點及檢核點之測設可參考內政部國土測繪中心「採用虛擬基準站即時動態定位技術辦理加密控制及圖根測量作業手冊」^[13]等既有規則，其中檢核點需平均分布於施測範圍。

如屬首次於該施測範圍執行測繪任務，應確實執行本項作業，後續重複針對同施測範圍進行任務，則可選擇性省略本步驟。

5.1.3 系統檢測

任務執行前，車載行動測繪系統須經下列驗證程序進行檢測，確認符合原出廠規格或得其設定參數，各該執行驗證之實驗室、平台及場地應備條件如表 5：

- (1) 影像感測器：需透過影像感測器內方位及相對方位驗證場得內方位及相對方位參數。
- (2) 光達感測器：定期回歸原廠辦理驗證。
- (3) INS/GNSS 定位定向整合系統：驗證項目見表 6。
- (4) 感測器安裝參數（固定臂及軸角參數）：需定期或每次執行測繪任務前至室外驗證場辦理。

表 5 執行驗證單位及其應備條件

執行驗證單位	應備條件
影像感測器內方位及相對方位驗證場	場地布設之人造標設計須考量基線長度及網型強度，其使用解算軟體須有影像感測器內方位及相對方位參數求解能力，及經統計分析之參數精度結果。
專業驗證實驗室	須利用高精度雙軸轉台進行慣性測量元件之驗證與測試，並依據 IEEE 1554-2005 號標準文件所建議之程序 ^[6] 。
靜態驗證基線場	基線樁之固定坐標需定期檢驗並須達到公釐等級，而基線方位角須透過全測站精確標定真北參考線，精度應在 0.0005 度內。
動態測試平台	應具備導航等級以上之 INS/GNSS 定位定向整合系統作為參考系統，且須優於受測系統規格 10 倍以上，驗證受測系統之定位、定向及定速精度。
室外驗證場	場域選定須考量衛星訊號品質因素，其作為控制點或檢核點之自然物或人造標，該等坐標絕對精度須符合我國既有控制點相關施測規範。

表 6 INS/GNSS 定位定向整合系統應驗證項目

	專業驗證實驗室	靜態驗證基線場	動態測試平台
衛星定位系統	<ul style="list-style-type: none"> 系統輸出初檢 初始航向檢測 	<ul style="list-style-type: none"> 絕對定位精度驗證 絕對定向精度驗證 絕對定速精度驗證 	<ul style="list-style-type: none"> 相對定位精度驗證 相對定向精度驗證 相對定速精度驗證
慣性導航系統	<ul style="list-style-type: none"> 系統輸出初檢 初始航向檢測 規格絕對精度驗證 	<ul style="list-style-type: none"> 絕對定向精度驗證 	<ul style="list-style-type: none"> 相對定位精度驗證 相對定向精度驗證 相對定速精度驗證

5.1.4 系統初始對準

INS/GNSS 定位定向整合系統之初始對準步驟：

- (1) 靜態初始對準程序：車載行動測繪系統須靜止 1-2 分鐘完成靜態初始對準。
- (2) 動態初始對準程序：依施測範圍可供行駛之道路型態，以提供足量之姿態變化之軌跡進行 10-15 分鐘變速繞行動作，完成動態初始對準。車載常見之足量姿態變化軌跡類型示例如圖 3。
- (3) 完成資料蒐集作業後應循(2)、(1)之反向模式運作重複初始對準流程。



圖 3 動態初始對準程序

5.1.5 資料蒐集作業

車載行動測繪系統資料蒐集作業之注意事項與實施措施：

- (1) 操作人員須持續檢視感測儀器是否正常運作及資料時間同步；倘若各感測器有即時產出指標，應參考原廠手冊依各該指標項目代表意義綜合衡量資料蒐集狀況。
- (2) 地面控制點輔助之實施原則參考表 2，其控制點應為現地自然物、人工構造物（如道路標線邊角）或人造標，並具備公分級精度。執行間距依採用之 INS/GNSS 定位定向整合系統等級、衛星定位訊號品質、施測環境情形及可實施與否斟酌調整。其中，衛星訊號品質判斷準則可參考標準資料轉換格式 RINEX v3.03^[6]辦理。
- (3) 零速更新之實施區域宜為接收天線仰角 10 度以上無訊號遮蔽之處，其實施頻率原則依衛星訊號品質而定：若衛星訊號品質與接收情況良好，則每 10 分鐘實施零速更新 1 分鐘；如衛星訊號品質不佳或頻繁失鎖，則須 2 分鐘實施零速更新 1 分鐘。實施頻率之調整除同(2)所列因素外，並可依地面控制點輔助間距之加密程度對應調整：如高樓城市施測範圍因衛星訊號品質不佳而提高地面控制點輔助間距時，零速更新則可相對調降實施頻率；又如國道等施測範圍因鮮有訊號遮蔽情形發生，且零速更新之實施有其困難，可免除其實施必要或改採航空測量測設之地面控制點輔助措施辦理。

5.1.6 資料後處理

INS/GNSS 定位定向整合系統、影像感測器或光達感測器等資料解算程序，根據各該商用套裝系統之處理軟體辦理，其最終產出應符合 5.2.3 查核列表所示。

5.1.7 精度檢核

參照「5.2 高精地圖檢核機制及查核方法」。

5.1.8 地圖產製及報告書撰寫

通過檢核之最終產出圖資成果應依高精地圖內容及格式相關標準或需求單位之委託項目為之；同時，其成果報告書為對應之說明文件，闡述資料蒐集的規格及方式，作為高精地圖之詮釋資料，應至少包含：作業規劃資料、儀器型式與規格、驗證報告書、控制點及檢核點測量成果與分布範圍、影像及點雲掃瞄報告、資料後處理成果、自我檢核結果及精度分析等，其餘則根據需求單位要求酌予增列。

5.2 高精地圖檢核機制及查核方法

5.2.1 自我檢核機制

5.2.1.1 定位定向成果自我檢核說明：(流程見圖 4 右側紅框處)

- (1) 目的係檢測 INS/GNSS 定位定向整合系統發生衛星訊號脫落、衛星訊號斷訊、慣性測量元件漂移時造成的誤差累積，其影響量級是否仍符合合理精度範圍。
- (2) 表 1 所列 INS/GNSS 定位定向整合系統要求規格之理論誤差量如表 7，可經誤差傳播推算理論外方位參數誤差；如直接地理定位計算結果與透過控制點反算之外方位參數兩者較差超過表 7，則需考量額外進行控制點輔助措施。

表 7 INS/GNSS 定位定向整合系統相關誤差與預估量級^[3]

誤差來源	預估誤差量
定位誤差	2-10 公分 (cm)
定向誤差	1-5 角分 (arc-minute) ⁸
固定臂之校準誤差	0.1-0.3 公分 (cm)
軸角參數之校準誤差	1-3 角分 (arc-minute)
同步誤差	1-2 毫秒 (millisecond)

5.2.1.2 直接地理定位成果自我檢核說明：(流程見圖 4 左側藍框處)

- (1) 目的係檢測並提升直接地理定位網型平差結果，確保求解之外方位參數符合合理精度範圍。
- (2) 網型平差應包含相當數量且經正確匹配之連結點，同時相關誤差因子（包含固定臂與同步誤差）應一同納入整體平差解算，使剩餘誤差最小化。
- (3) 當檢核區內存在已知控制點時，偵測 INS/GNSS 定位定向整合系統與本地坐標基準間的區域平移誤差，並進行補償。

⁸ 角分為平面角之單位，1° (度) = 60' (角分)

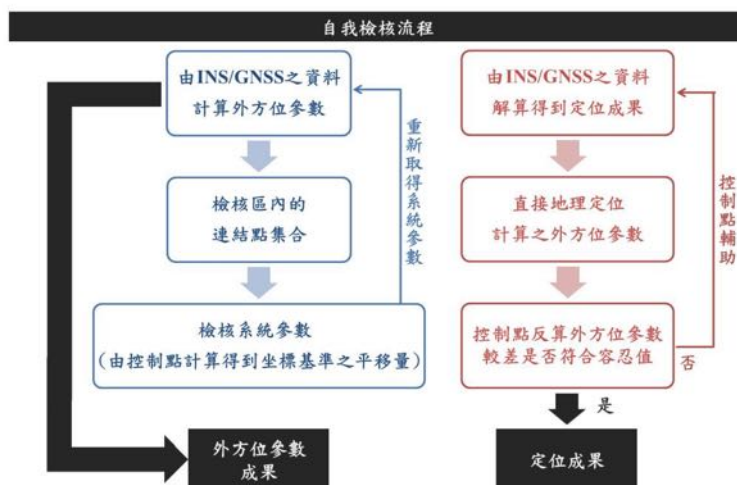


圖 4 車載行動測繪系統自我檢核機制

5.2.1.3 點雲密度自我檢核說明：

點雲密度檢核以路面標線及特徵區塊之點雲密度為主，抽樣計算各單位樣本單元的平均點雲密度是否達到標準，抽樣之樣本單位大小應考量施測環境複雜度及特徵區塊樣貌特性等因素斟酌調整。

5.2.2 檢核點精度分析

視檢核點原測設坐標為參考真值，與資料後處理之檢核點坐標計算結果進行誤差定量分析的過程。驗證指標應包含平面/垂直/三維方向，並以誤差平均、最大/最小定位誤差、誤差均方根值表示，輔以繪製折線圖/直方圖檢視誤差分布^[3]。

倘檢核結果未能滿足高精地圖精度需求，則應增加地面控制點數量及輔助次數，參考 5.2.1 方式辦理。

5.2.3 高精地圖作業過程與產出成果查核列表

歸納高精地圖作業過程及產出成果應查核項目如表 8。



表 8 高精地圖作業過程與產出成果查核列表

工作項目	查核項目	查核方式
作業規劃	車載行動測繪系統之掃瞄儀設備型式、規格及驗證成果 INS/GNSS 定位定向整合系統性能	查核儀器規格及驗證書面報告（包含INS/GNSS、LiDAR、影像感測器等）。
	測繪作業規劃	<ol style="list-style-type: none"> 1. 掃瞄範圍是否涵蓋測區。 2. 檢查 GNSS 基站分布及觀測時段之衛星幾何條件。 3. 掃瞄設定參數（包含掃瞄頻率、角度及測繪車時速等）。
控制測量	控制測量成果計畫書（包含控制點及檢核點之分布圖及坐標）	<ol style="list-style-type: none"> 1. 控制點精度是否滿足既有測設規則或達公分等級。 2. 檢核點需平均分布於試驗區，其絕對精度是否滿足既有測設規則或達公分等級。
車載測繪作業	INS/GNSS 定位定向整合系統計算成果	定位定向成果是否符合行動測繪高精製圖精度需求。
	車載行動測繪系統掃瞄未經後處理之原始資料	<ol style="list-style-type: none"> 1. 各原始檔案檢查施測日期時間及施測路線是否與規劃路線一致。 2. 各儀器觀測資料是否完成時間同步及坐標系統轉換。
資料後處理	點雲密度檢核	樣本單位之點雲密度是否符合應用場景需求。
	向量圖層正確性檢核	<ol style="list-style-type: none"> 1. 屬性資訊是否正確（如車道種類、曲率、寬度、限速、方向等）。 2. 特徵區塊範圍及道路形狀是否正確。 3. 特徵區塊之空間絕對位置，平面位置較差須優於20公分，三維較差須優於30公分。 4. 圖資內容是否依高精地圖內容及格式相關標準或需求單位之委託項目覈實產出。

參考資料

- [1] California Department of Transportation (2018). Surveys Manual, Office of Land Surveys. Division of Right of Way and Land Surveys. Retrieved from: <http://www.dot.ca.gov/landsurveys/surveys-manual.html>. Retrieved date: December 2nd.
- [2] Dynamic Map (2017). An Introduction to Dynamic Map Platform Co., Ltd. SIP-adus Workshop 2017.
- [3] El-Sheimy, N. (1996). *The development of VISAT: a mobile survey system for GIS applications*. University of Calgary.
- [4] Farrell, J. A., Todd, M., & Barth, M. (2016). *Best practices for surveying and mapping roadways and intersections for connected vehicle applications*.
- [5] Florida Department of Transportation (FDOT) (2013). *Terrestrial Mobile LiDAR Surveying & Mapping Guidelines*.
- [6] IEEE 1554-2005 (2005). *IEEE Recommended Practice for Inertial Sensor Test Equipment, Instrumentation, Data Acquisition, and Analysis*. AES-IEEE Aerospace and Electronic Systems Society.
- [7] IGS, R. S. (2013). *RINEX-The Receiver Independent Exchange Format (Version 3.03)*.
- [8] ISO 18750 (2018). *Intelligent transport systems –Co-operative ITS –Local dynamic map (First edition)*. International Standard.
- [9] Olsen, M. J. (2013). *Guidelines for the use of mobile LIDAR in transportation applications (Vol. 748)*. Transportation Research Board.
- [10] Shimada, H., Yamaguchi, A., Takada, H., & Sato, K. (2015). Implementation and evaluation of local dynamic map in safety driving systems. *Journal of Transportation Technologies*, 5(02), 102.
- [11] Titterton, D., Weston, J. L., & Weston, J. (2004). *Strapdown inertial navigation technology (Vol. 17)*. IET.
- [12] 江凱偉、曾義星、楊名、饒見有 (2014)。103 年度多平台製圖技術工作案期末報告，內政部地政司。內政部車載製圖系統作業手冊研擬草案，未出版。
- [13] 內政部國土測繪中心 (2010)。採用虛擬基準站即時動態定位技術辦理加密控制及圖根測量作業手冊。

版本修改紀錄

版本	時間	摘要
v1.0	2018/12/26	v1.0 出版
v2.0	2019/10/17	v2.0 出版

附錄三

「高精地圖驗證指引」

高精地圖驗證指引(草案)

Quality Control Guidelines for HD Maps

出版日期: 2020/mm/dd

終審日期: 2020/mm/dd

此文件之著作權歸台灣資通產業標準協會所有，
非經本協會之同意，禁止任何形式的商業使用、重製或散佈。

Copyright© 2019 Taiwan Association of Information
and Communication Standards. All Rights Reserved.

目錄

目錄.....	1
前言.....	3
引言.....	4
1. 適用範圍.....	5
2. 引用標準.....	6
3. 用語及定義.....	7
4. 作業規劃檢核.....	13
4.1 送審資料.....	13
4.2 檢查內容及方法.....	13
4.3 通過標準.....	13
5. 控制測量成果檢核.....	14
5.1 送審資料.....	14
5.2 檢核樣本單元及數量.....	14
5.3 檢核標準、內容與方法.....	14
5.4 通過標準.....	15
6. 作業成果檢核.....	16
6.1 送審資料.....	16
6.2 檢查內容及方法.....	16
6.3 通過標準.....	16
7. 點雲密度及平差檢核.....	17
7.1 送審資料.....	17
7.2 點雲密度檢核.....	17
7.3 掃瞄路線相對誤差檢查（內部精度檢查）.....	18
8. 向量圖層檢核.....	19
8.1 送審資料.....	19
8.2 向量圖層幾何精度檢核.....	19

8.3 SHP 資料屬性格式檢查.....	29
附錄 A (規定) 高精地圖屬性.....	31
參考資料.....	47
版本修改紀錄.....	48

前言

本指引係依台灣資通產業標準協會(TAICS)之規定，經技術管理委員會審定，由協會公布之產業指引。

本指引並未建議所有安全事項，使用本指引前應適當建立相關維護安全與健康作業，並且遵守相關法規之規定。

本指引之部分內容，可能涉及專利權、商標權與著作權，協會不負責任何或所有此類專利權、商標權與著作權之鑑別。

引言

隨著智慧運輸系統(Intelligent Transport System, ITS)的發展，自動駕駛車將成為未來全新的交通方式。先進駕駛車輛安全研究指出：若要使用自動駕駛車輛層級的導航系統，需將導航成果的精度提升至次公尺級以上。基於安全需求及硬體成本考量，除配備 INS/GNSS 定位定向整合系統及其他空間感知元件，使用具備車輛導航資訊之高精地圖(High Definition Maps, HD Maps)提供可靠的已知環境資訊，是自動駕駛技術運行的重要關鍵。高精地圖品質良窳與實際應用成效息息相關，為確保繪製成果於自駕車行駛過程中能滿足安全性之最終目的，需建立精度檢核及品質管控流程，作為評鑑測繪產業繪製高精地圖之根據。本驗證指引以 107 年度臺中水湳與臺南沙崙二自駕車場域之自駕車用地圖製作及檢核成果彙整，檢查項目包括作業規劃檢核、控制測量檢核、作業成果檢核、點雲密度及向量圖層成果檢核，並以此提供各項細部檢核方式、及其相對之檢核條件以作為通過標準之參考。確保產出圖資滿足平面 20 公分與三維 30 公分精度的精度需求，並支持我國混合車流型態的交通文化，有效鏈結自動駕駛應用需求。

1. 適用範圍

本指引之驗證作業，針對測繪業者依據「高精地圖製圖作業指引」使用車載行動測繪系統進行高精地圖產出，訂定品質檢核流程參考，適用之高精地圖供應鏈架構範圍如圖1虛線框列所示。其檢核流程包含測繪作業規劃檢核、控制測量成果檢核、作業成果及點雲與向量圖層檢核，目的係有效控管高精地圖之圖資品質。

本指引不包括高精地圖之測製程序、格式轉換、高精地圖圖資內容流通之資料標準、分析應用等議題。



圖 1 高精地圖供應鏈架構

2. 引用標準

下列法規、標準或文件因本指引所引用，引用章節之內容成為本指引之一部分。
如所列標準標示年版者，則僅該年版標準予以引用。未標示年版者，則依其最新版本
(含補充增修)適用之。

TAICS TR-0010 v2.0 2019 高精地圖製圖作業指引 v2

TAICS TS-0024 v0.3:2019 高精地圖圖資內容標準

3. 用語及定義

下列用語及定義適用於本指引。

3.1 測繪產業(Land Surveying and Mapping Industry)

指依國土測繪法經營測繪業務之技師事務所、公司或技術顧問機構。至於測繪業務之範疇，「測量」指以地為標的，對地表及其上下具空間分布特性之地理資料，進行蒐集、分析、計算、加值、整合、管理等相關之處理；而依據測量成果，展現地貌、地物或各類自然或人文資料之處理即為「製圖」。

3.2 高精地圖(High Definition Maps, HD Maps)

指靜態之基本底圖數據，提供自動駕駛技術運作之可靠穩健的環境先驗資訊，輔助車載電腦進行駕駛決策，其圖資內容、圖層類別、特徵、屬性、詮釋資料均能完整被車輛導航系統所使用，且位置幾何必須滿足平面小於 20 公分，三維精度小 30 公分的精度條件。

3.3 全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)

指覆蓋全球的自主授時及空間定位系統，使用者藉由自有衛星訊號接收機，即時獲取衛星資訊以計算當下所在位置（經度、緯度和高度）及精確時間。範疇包含美國的全球定位系統(GPS)、俄羅斯的格洛納斯系統(GLONASS)、歐洲的伽利略定位系統(Galileo)、中國的北斗衛星導航系統(BeiDou)等覆蓋全球的定位系統，以及日本(QZSS)和印度(IRNSS)等國的區域衛星定位系統。

3.4 慣性測量元件(Inertial Measurement Unit, IMU)

慣性測量元件為測量物體三軸姿態角速率及加速度等慣性觀測量的裝置，包含三軸陀螺儀和三軸加速度計等。

3.5 慣性導航系統(Inertial Navigation System, INS)

慣性導航系統為慣性測量元件與計算單元組成的整合系統，直接即時解算物體的相對位置及姿態訊息等導航資訊。

3.6 內政部國土測繪中心即時動態定位系統(e-GNSS)

為內政部國土測繪中心建構之高精度之電子化全球衛星即時動態定位系統名稱，基本定義為架構於網際網路通訊及無線數據傳輸技術之衛星即時動態定位系統。即時動態定位，指採用多個連續衛星觀測主站組成的聯合網路進行涵蓋地區內之定位誤差估算，移動站藉由鄰近的主站觀測資料及估算資訊，執行誤差修正之即時定位技術。主站係指實體地面基準站，執行連續靜態衛星定位測量任務；而移動站，為相對於主站而持續移動之坐標待求點位。

3.7 虛擬基準站之網路化即時動態定位(Virtual Base Station RTK, VBS-RTK)

指採用多個衛星定位基準站所組成的 GNSS 網路來評估基準站涵蓋地區之定位誤差，再配合最鄰近的實體基準站觀測資料，產製一個虛擬的基準站做為 RTK 主站，藉以計算出任一移動站附近之虛擬基準站的相關資料，進行超短基線 RTK 定位解算。

3.8 後處理定位(Post Processed Kinematic, PPK)

指聯合實測衛星觀測資料及即時動態定位系統所觀測之各級基本控制點 VBS 虛擬衛星觀測資料，以 On-The-Fly (OTF) 整數週波未定值求解技術，進行 RTK 後處理動態定位坐標解算。

3.9 位置精度因子(Position Dilution of Precision, PDOP)

用以衡量觀測衛星的空間幾何分佈對定位精度的影響，即觀測當下衛星幾何分佈越理想，位置精度因子之數值越小，理論上的定位精度則越高。

3.10 光達(Light Detection and Ranging, LiDAR)

為光學遙感技術的一種，指透過脈衝雷射光及其反射訊號的時間間隔計算感測器與物體的精確間距，加上脈衝雷射光的發射角度可計算物點的相對二維或三維坐標，其產出成果一般稱為點雲(Point Cloud)。

3.11 輪速計(Odometer)

輪速計又稱為里程計，指基於輪胎轉數計算載體速度之感測器，用以計算車輛行駛距離。

3.12 全測站(Total Station)

全稱為全站式電子速距儀，是一種集經緯儀、電子測距儀及計算機系統為一體的現代光學電子測量儀器，可直接測得觀測點至觀測目標間的角度差值與距離，包含水平角、垂直角、距離、高程差等觀測量。

3.13 檢核點(Check Points)

檢核點為測繪作業中已知坐標但未納入製圖作業解算的點位，以製圖誤差計算及精度分析為使用目的。

3.14 控制點(Control Points)

控制點為測繪作業中已知坐標且有納入製圖作業解算的點位，以提供絕對坐標及約制測量誤差為使用目的。

3.15 點之記(Description of Station)

在測繪學中記載大地點位情況的資料圖表，其內容包含該點位之點名、成果資料、施測日期、施測單位、所在地點、點位略圖及周遭環境等。

3.16 絕對精度(Absolute Accuracy)

觀測解算結果和已知真值的差值稱為誤差，誤差越大者精度越低，反之亦然。絕對精度為上述誤差經統計分析後的結果。

3.17 相對精度(Relative Accuracy)

觀測解算結果和已知真值的差值稱為誤差，誤差越大者精度越低，反之亦然。相對精度為上述誤差和觀測量經比值計算的結果。

3.18 形狀檔(Shapefile, SHP)

ESRI Shapefile (SHP)，簡稱 Shapefile，為地理資訊系統之商業格式，屬於一種向量圖形格式，用於描述幾何體物件之點、折線與多邊形等位置資訊，同時可儲存物件屬性資訊。

3.19 道路(Road)

提供車輛行駛之道路。

3.20 車道(Lane)

指以劃分島、護欄或標線劃定道路之部分，及其他供車輛行駛之道路。

3.21 車道線(Lane Strip)

用以劃分各線車道，指示車輛駕駛人循車道行駛。

3.22 車道中心線(Lane Center Line)

以車道左右兩側的車道線所推算出之中心線。

3.23 路面邊緣(Road Edge)

道路路面之邊緣，指柏油路面之邊緣，若是有緣石的道路，以緣石外側視為路面邊緣。

3.24 行人穿越道(Crosswalk)

指在道路上以標線劃設，供行人穿越道路之地方。

3.25 停止線(Stop Line)

用以指示行駛車輛停止之界限，車輛停止時，其前懸部分不得伸越該線。

3.26 停車格(Parking Space)

用以指示車輛駕駛人停放車輛之位置與範圍，以車輛停放線劃設。

3.27 標誌(Sign)

指管制道路交通，表示警告、禁制、指示，而以文字或圖案繪製之標牌。

3.28 號誌(Signal)

指管制道路交通，表示行進、注意、停止，而以手勢、光色、音響、文字等指示之訊號。

3.29 標線(Sign Stripe)

指管制道路交通，表示警告、禁制、指示，而在路面或其他設施上劃設之線條、圖形或文字。

3.30 交通島(Traffic Island)

交通島為車道間之特定區域，用以區分行車方向、分隔快慢車道、導引車流、提供行人臨時庇護及設置交通管制設施。可採凸島、凹降、標記、緣石、標線或其他設置方式。交通島依功能區分為以下四類：分隔島(又稱分向島)、槽化島、庇護島、圓環中心島。

3.31 隧道(Tunnel)

以人工建造方法，使交通路線或導水溝渠貫穿於地下之通道，如山區隧道，地下隧道，海底隧道等。其目的在於避免路線之陡峻坡度及過大彎曲，且可縮短距離。路線隧道之淨高應依車輛之最大限為準，並應有 0.2% 之最小坡度，以利排水。較長之隧道須有通風設計。

4. 作業規劃檢核

資料獲取工作項目之檢核，包含 INS/GNSS 定位定向整合系統性能檢核、作業規劃書檢查。檢查項目以下依序說明各項目檢查工作之送審資料、檢查內容及方法及通過標準。

4.1 送審資料

受檢單位應繳交施測場域的測繪車作業計畫書，其內容所應包含之說明如下：

1. 測繪車掃瞄儀器設備型式與規格說明，包含 IMU、GNSS、LiDAR、相機。
2. INS/GNSS 定位定向整合系統性能測試及率定書面報告須提供 IMU 與 GNSS 的規格、系統參數以及實測成果的精度。
3. 掃瞄範圍規劃圖。
4. 各規劃路線之掃瞄設定參數，包含雷射測點密度、視角角度大小、雷射發射頻率、掃瞄頻率。
5. 使用之 GNSS 基站分佈及 GNSS 接收儀器檢校資料。

4.2 檢查內容及方法

1. 測繪車掃瞄儀器設備：每次儀器經拆卸後之首次掃瞄作業前，均需進行光達系統率定。率定報告至少需包含系統率定方法、日期、地點、原始率定資料、計算過程記錄（含關鍵之軟體處理畫面）及成果精度說明等相關資料並檢查其型式與規格是否詳列於報告書中，而 IMU 可透過慣性測量儀測試與率定流程進行規格絕對精度檢測，GNSS 可利用靜態測試基線場進行絕對定位精度驗證。
2. 掃瞄範圍及雷射測點密度：檢查掃瞄範圍是否涵蓋測區，雷射測點密度依照業主不同定位精度需求而定。
3. GNSS 幾何條件評估：檢查 GNSS 基站分佈與規劃之 GNSS 衛星觀測時段之幾何條件是否符合要求。每條掃瞄路線至少應有 2 個 GNSS 基站同步接收 GNSS 觀測量。所用之 GNSS 接收儀須為雙頻儀器，每秒至少接收 1 筆數據。地面 GNSS 基站之 PDOP/VDOP 需小於 3。

4.3 通過標準

所有資料須全數符合上述規定，否則洽詢受檢單位修正。

5. 控制測量成果檢核

採用內政部國土測繪中心建構之 e-GNSS 即時動態定位系統、後處理定位或全測站 (Total Station) 辦理檢核。依據內政部國土測繪中心公告之精度成果，採用虛擬基準站即時動態定位 (VBS-RTK) 服務，其定位精度可達公分等級，可滿足自駕車製圖精度需求，故於透空度良好區域可直接採用 e-GNSS 即時動態定位系統進行成果檢核。控制測量成果檢核項目以下依序說明各項目檢核工作之送審資料、檢核內容及方法及通過標準。

5.1 送審資料

控制測量成果報告書，內容應包含：控制測量施測說明、控制測量外業紀錄表、控制點及檢核點坐標成果 (含.xls 檔)、控制點與檢核點之點之記和分佈圖。

5.2 檢核樣本單元及數量

所有書面資料全數檢查。控制測量驗收數量以受檢單位繳交之控制測量成果報告中之數量為計算基準：

1. 控制點：抽驗實際控制點成果數量之 50%。
2. 檢核點：高精地圖圖資測製單位於場域內佈設之控制點，需有 20% 作為檢核點並進行點雲成果精度內部檢核。其使用之檢核點坐標，將全數檢驗。
3. 實際檢核點數以不少於應檢核數量為原則。
4. 檢核數量可依場域大小或使用及資料品質需求彈性調整。

5.3 檢核標準、內容與方法

1. 精度需求與規範：
 - (1) 控制點其絕對平面精度須小於 10 公分，絕對三維精度須小於 15 公分。
 - (2) 檢核點需平均分布於測區，其絕對平面精度須小於 20 公分，絕對三維精度須小於 30 公分。
2. 檢核方法：
 - (1) 採用 e-GNSS 即時動態定位系統或後處理定位或全測站辦理檢核，若測區透空度良好，以 e-GNSS 即時動態定位系統為優先；若測區透空度不佳，則輔以全測站進行施作。



- (2) 坐標轉換與套合：e-GNSS 定位系統其坐標系統與台灣法定坐標系統不同，故須進行轉換。為節省坐標系統轉換之繁複程序，內政部國土測繪中心分別將轉換 7 參數、殘差網格修正模型與網格內插計算方法傳送給接收站，提供 VBS-RTK 測量成果即時轉換至法定坐標系統（僅支援 RTCM 3.1 以上版本。若未支援，可於國土測繪中心網頁採線上後處理方式獲得轉換坐標）。為確保測量成果品質，建議依照下列作業方式辦理：
- (3) 七參數轉換：採用七參數轉換加坐標網格殘差修正法，理論上無需另行檢核作業，惟為確保品質，仍可於測區周圍選定至少 3 個已知點進行施測比較，確認是否符合精度需求，作業步驟如表 1 所示。

表 1、七參數轉換之步驟說明

步驟	說明
測區周圍選定至少 3 個具有公告坐標之已知控制點，以可包覆測區為原則。	以 VBS-RTK 定位技術配合七參數轉換加坐標網格殘差修正獲得轉換後之實測坐標。
若公告坐標與檢測坐標其較差量級與方向性一致，表示僅存在系統誤差，可將測量成果轉換後直接平移加上較差量。	若較差量級與方向性不一致，表示成果除了存在系統誤差，可能另含已知控制點位移量，建議採用坐標轉換與最小二乘配置之方法，排除有問題的已知控制點，再進行坐標轉換與套合，獲得法定坐標系統測量成果。

3. 測設臨時控制點輔助檢核測量：若測點因透空度不佳或其他因素影響，導致衛星定位無法獲得固定解(Ambiguity Fix)之較高精度定位成果，得以 VBS-RTK 定位技術設置臨時控制點，並配合全測站進行施測：
 - (1) 依內政部國土測繪中心「內政部國土測繪中心採用虛擬基準站即時動態定位技術辦理加密控制及圖根測量作業手冊」之「圖根測量作業」規定辦理 VBS-RTK 定位技術辦理圖根點等級測量設置臨時控制點。
 - (2) 全測站法配合臨時控制點施測點位坐標，可以輻射法及導線法施測，若以導線法施測其整體水平角閉合差不得大於 $20''\sqrt{N}$ ，N 為導線總點數（待測點位），位置閉合差須小於五分之一。

5.4 通過標準

所有資料須全數符合上述規定，否則洽詢受檢單位修正。

6. 作業成果檢核

此章節描述資料獲取工作項目之檢核，包含資料前處理成果檢核。以下依序說明各項目檢查工作之送審資料、檢查內容及方法及通過標準。

6.1 送審資料

1. 測繪車掃瞄報告書：包含掃瞄參數、GNSS 軌跡（含坐標、時間，其中時間記錄格式應為 GPS WEEK、GPS TIME，且儲存為 ASCII 檔或其他通用格式）、GNSS 基站分佈圖、GNSS 基站衛星觀測 PDOP 圖。
2. 掃瞄儀器所下載未經處理前之資料：包含 INS、GNSS、輪速計原始資料、車載雷射掃瞄儀測距資料以及影像原始資料。

6.2 檢查內容及方法

1. GNSS 幾何條件：檢查 GNSS 基站分佈與 GNSS 衛星觀測時段之幾何條件與時間記錄是否符合要求。每條掃瞄路線至少應有 2 個 GNSS 基站同步接收 GNSS 觀測量。所用之 GNSS 接收儀須為雙頻儀器，每秒至少接收 1 筆數據。
2. 掃瞄日期及時間：依據各原始檔案檢查施測日期及時間。
3. 作業實施軌跡與規劃軌跡一致性：依據各原始檔案檢查施測路線是否與規劃路線一致。

6.3 通過標準

所有資料須全數符合上述規定，否則洽詢受檢單位修正。

7. 點雲密度及平差檢核

此章節描述測繪點雲成果檢核，針對點雲資料後處理成果品質之檢核設計，檢查項目以下依序說明各項目檢查工作之送審資料、檢查內容及方法及通過標準。

7.1 送審資料

測繪點雲資料：經平差處理點雲之 LAS 格式檔，若受檢單位的點雲資料無法提供 LAS 格式，則需提供能處理該格式資料的軟體及使用方法。資料內容應包含各掃瞄點的地面三維坐標值、反射強度值等資料，所繳交之點雲資料應已經剔除不合理點群，且依實際運用需求決定是否以相片真實色彩影像著色。

7.2 點雲密度檢核

全面檢查點雲密度以確保受檢單位所繳交的光達點雲資料之點雲分佈密度符合要求，點雲密度依照不同精度需求，分為三個等級，詳細如表 2。低於此原則的網格數（低密度區域）應小於作業區全部網格數的 5%。若檢查不通過，應洽詢受檢單位補充掃瞄路線。

表 2、點雲密度等級分類

點雲密度等級	應用場景 (三維定位精度)	點雲密度值 (pt/m ²)
第一級	主動控制(Active Control) (0.1 公尺)	2500-10000
第二級	車道內(Where in Lane) (0.5 公尺)	400-2500
第三級	車道級(Which Lane) (1.5 公尺)	100-400

1. 檢查內容及方法：以點雲密度進行檢核，樣本單位以 1×1 平方公尺之點雲，檢查所有樣本，資料檢核範圍以道路邊緣線(Road Edge) 向外延伸 1 公尺為界。

2. 通過標準：測區內不合格網格數目比例應低於 5%，否則將洽詢受驗單位補充掃瞄路線。

7.3 掃瞄路線相對誤差檢查（內部精度檢查）

為確保點雲平差結果已有效修正各掃瞄路線點雲之系統誤差，應執行點雲相對誤差檢查，以驗證修正後之點雲內部幾何精度應優於 10 公分。若檢查不通過，應洽詢受檢單位修正。

1. 檢查內容及方法：
 - (1) 掃瞄路線相對高程偏差量計算：於測區每隔 100 公尺取一個對應路面位置為檢核位置，以各檢核位置為中心取 5x5 平方公尺的小區域，擷取各重疊此區域之路面點雲，進而計算點雲之最適平面，以此平面中心位置高程為推估之高程，如此可計算得每條掃瞄路線同一位置之推估高程，以計算掃瞄路線之相對高程偏差量。若為兩條掃瞄路線之重疊位置，則兩條掃瞄路線之推估高程差為相對高程偏差量；若為多條掃瞄路線之重疊位置，則以推估高程最大及最小值之差為相對高程偏差量。以上述方法進行全測區之相對高程偏差量估算。
 - (2) 點雲剖面圖展示：於測區內隨機選取 5 處檢核位置，以各檢核位置為中心取 5x5 平方公尺的小區域，擷取各重疊此區域之路面點雲，以點雲剖面圖展示，量測掃瞄路線之相對高程偏差量。
 - (3) 內部精度估計：測區之內部幾何精度應優於 10 公分，即所有有效的檢核位置之掃瞄路線相對高程偏差量估計值應小於 10 公分。
2. 通過標準：測區之內部幾何精度應優於 10 公分，否則洽詢受檢單位修正。

8. 向量圖層檢核

此章節描述向量圖層成果檢核，針對高精地圖向量圖層資料成果品質之檢核設計，檢查項目以下依序說明各項目檢查工作之送審資料、檢查內容及方法及通過標準。

8.1 送審資料

交付高精地圖向量檔案，須為 3D 向量圖檔 SHP。需繳交圖層項目參照附錄 A 以及「高精地圖圖資內容標準」。

8.2 向量圖層幾何精度檢核

向量圖層之幾何精度檢核，包含幾何精度以及數化合理性。檢查內容如下：

1. 檢查標準：

確定向量物件範圍及形狀是否正確，檢查絕對或相對位置精度，平面位置較差須小於 20 公分，且三維較差須小於 30 公分視為合格。

2. 檢查項目：

下列僅列舉向量圖層幾何精度檢核之項目名稱及示意圖，各項目之定義須詳見附錄 A 以及「高精地圖圖資內容標準」所訂定之內容。

- (1) 道路：包含車道線、路面邊緣（圖 2）以及中央分隔島（圖 3）。
- (2) 車道：包含車道中心線，如圖 2。
- (3) 標線：包含停止線、停車格、標線、標線範圍以及標字圖形（圖 4）。標線範圍包含指向線（圖 5）、行人穿越道（圖 6）、禁止停車區、平交道（圖 7）。
- (4) 標誌、號誌（圖 8）、燈號、桿。

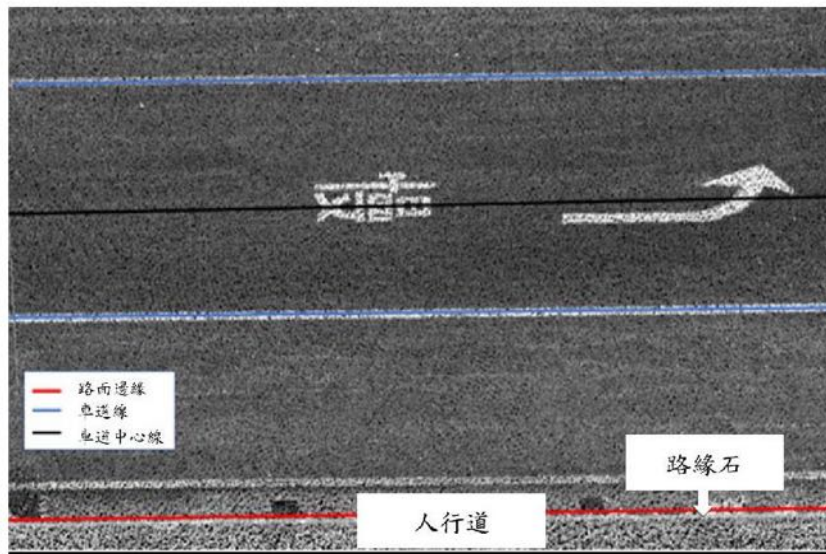


圖 2 車道線、路面邊緣以及車道中心線示意圖



圖 3 中央分隔島示意圖

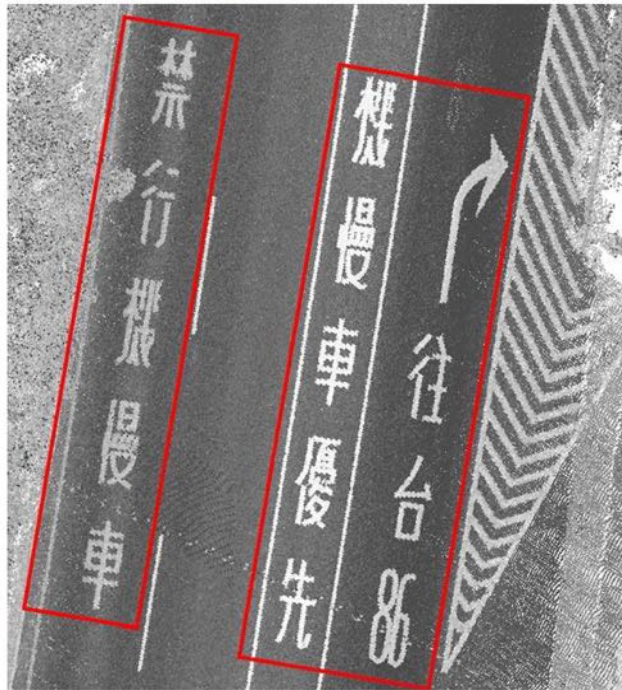


圖 4 標字圖形示意圖

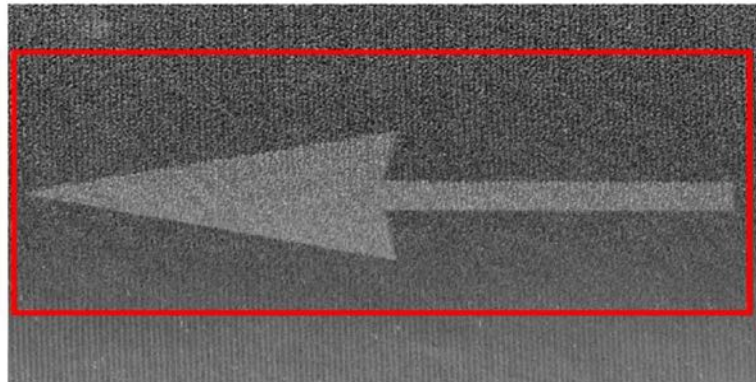


圖 5 指向線示意圖

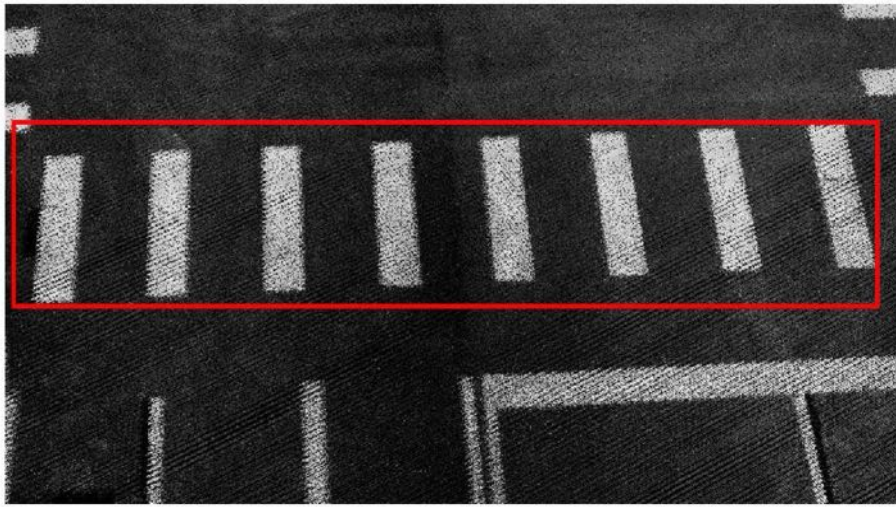


圖 6 行人穿越道示意圖



圖 7 禁止停車區、平交道示意圖



圖 8 標誌、號誌示意圖

3. 檢核方法：

- (1) 道路—車道線：檢核方式同路面邊緣線，受驗方所數化之車道線與點雲中展現之車道線位置比較較差，檢核是否滿足精度需求，如圖 9。
- (2) 道路—路面邊緣：道路邊緣線為路線石下方之邊界線，紅線為受驗方數化成果，藍線則是道路邊緣線於點雲中展現之位置。量測兩者之較差，以檢核是否符合精度要求，如圖 10。
- (3) 道路—中央分隔島：數化物件與實測物件比較，比較端點或是線形較差，檢核是否符合精度要求，如圖 11。
- (4) 車道—車道中心線：選取 1 處待測車道，該車道數化約 20 公尺長的矩形，再利用細化得出車道中心線，並與受驗方所數化之車道中心線比較較差，檢核是否滿足精度需求，如圖 12。
- (5) 標線—停止線：選取 1 處停止線並數化矩形，再利用細化的方式得出停止線，並與受驗方所數化之停止線比較較差，檢核是否滿足精度需求，如圖 13。
- (6) 標線—停車格：檢核外業實測面狀範圍與數化面狀範圍是否在精度需求內，如圖 14。同時輔以點雲檢核數化面狀範圍之合理性。
- (7) 標線—指向線：檢核數化實型特徵角點與外業實測之差異是否在精度需求內，如圖 15。同時輔以點雲檢核數化面狀範圍之合理性。
- (8) 標線—行人穿越道：檢核外業實測面狀範圍與數化面狀範圍是否在精度需求內，如圖 16。同時輔以點雲檢核數化面狀範圍之合理性。
- (9) 標線—禁止停車區：以點雲檢核數化位置之精度及數化位置之合理性。
- (10) 標線—平交道：以點雲檢核數化位置之精度及數化位置之合理性。
- (11) 標線—標線範圍：以點雲檢核數化位置之精度及數化位置之合理性。
- (12) 標線—標字圖形：檢核數化實型特徵角點與外業實測之差異是否在精度需求內，如圖 17。同時輔以點雲檢核數化面狀範圍之合理性。
- (13) 標誌、號誌、燈號、桿：以點雲檢核數化位置之精度及數化位置之合理性，如圖 18、圖 19。

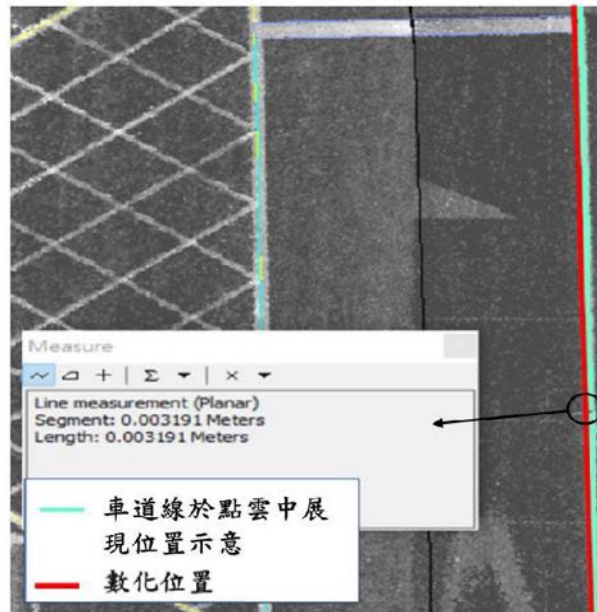


圖 10 車道線檢核示意圖



圖 9 路面邊緣檢核示意圖

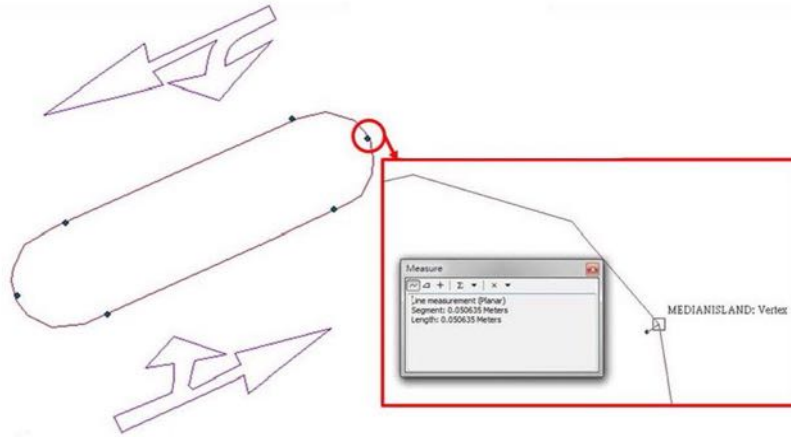


圖 11 中央分隔島檢核示意圖

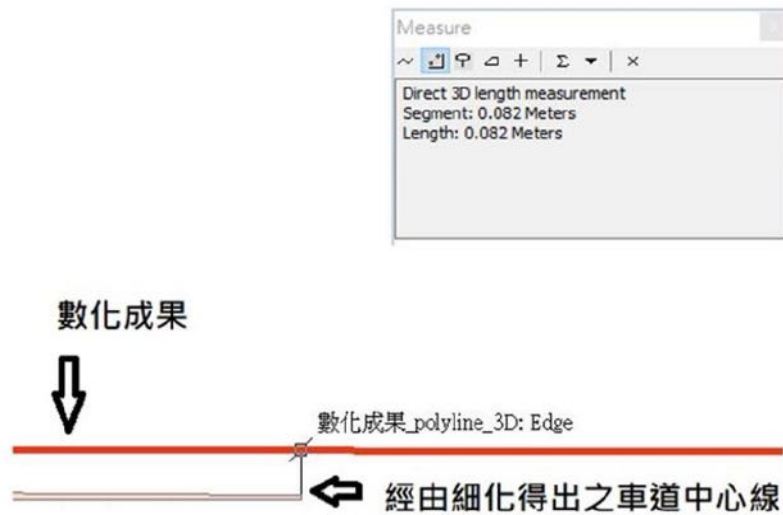


圖 12 車道中心線檢核示意圖

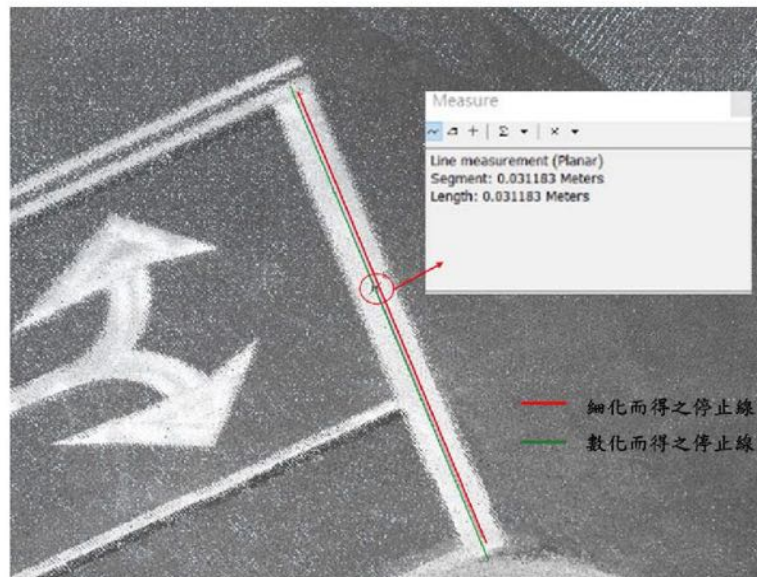


圖 13 停止線檢核示意圖

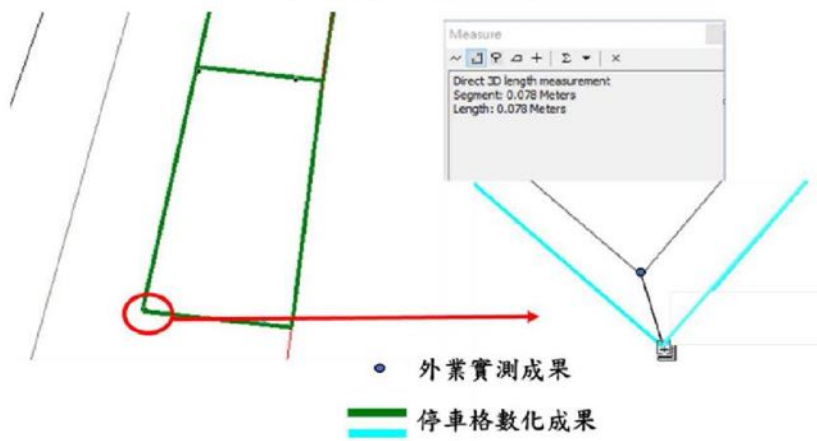


圖 14 停車格檢核示意圖

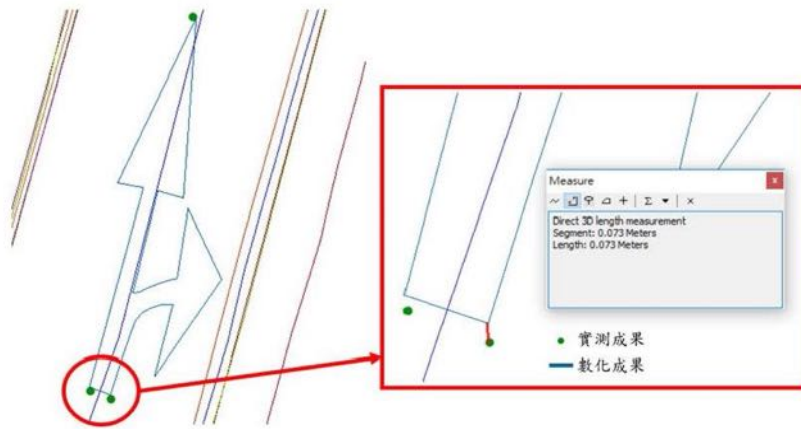


圖 15 指向線檢核示意圖



圖 16 行人穿越道檢核示意圖

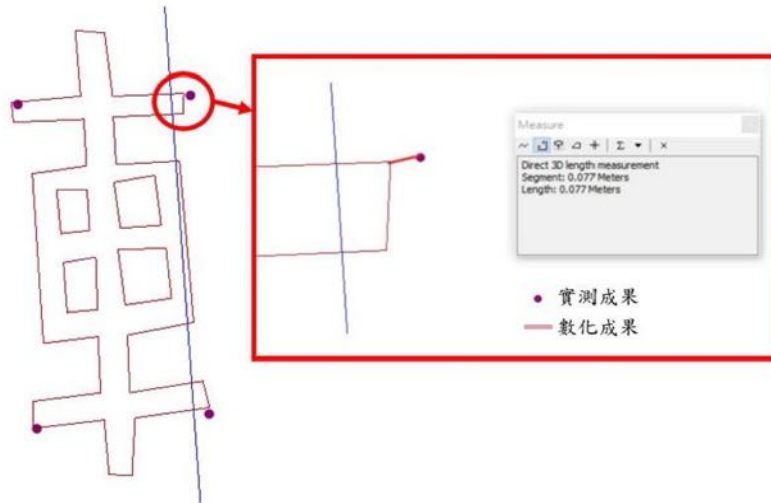


圖 17 標字圖形檢核示意圖

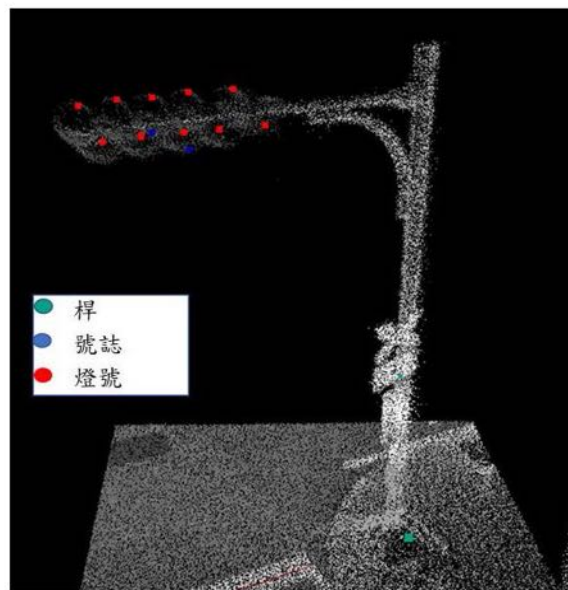


圖 18 號誌、燈號、桿數化位置示意圖

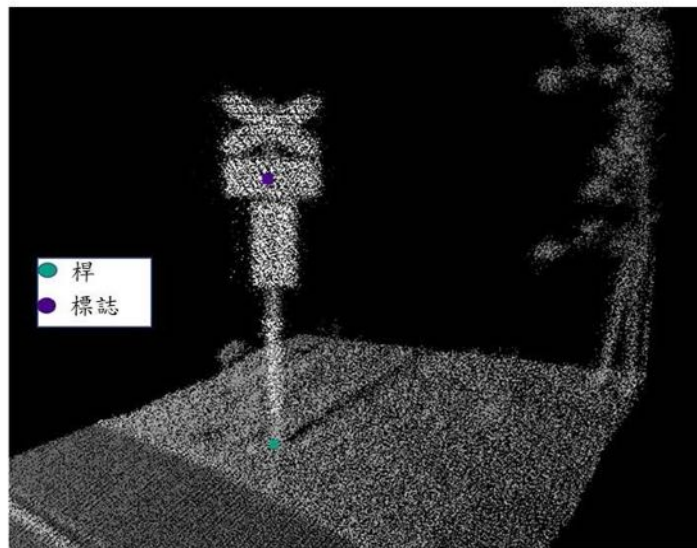


圖 19 標誌、桿數位化位置示意圖

8.3 SHP 資料屬性格式檢查

為確保針對受檢單位提送之 SHP 資料檔案符合「高精地圖圖資內容標準」所訂定之內容格式，SHP 檔案須經過檢查，檢查資料是否包含以下內容，詳細內容與說明參照附錄 A。

1. 檢查 SHP 檔案是否包含以下屬性資料：
 - (1) 道路圖層屬性內容：
 - i. 道路參考線：識別碼(id)、交叉路口(junction)、規則(rule)、前參考線識別碼(predecessor)、後參考線識別碼(successor)、道路等級類型(type)、起始節點(startNode)、結束節點(endNode)。
 - ii. 路面邊緣：識別碼(id)、起始節點(startNode)、結束節點(endNode)。
 - iii. 車道線：識別碼(id)、車道線種類(type)、車道線顏色(color)、車道線樣式(style)、車道線寬度(width)、起始節點(startNode)、結束節點(endNode)。
 - iv. 節點：識別碼(id)。



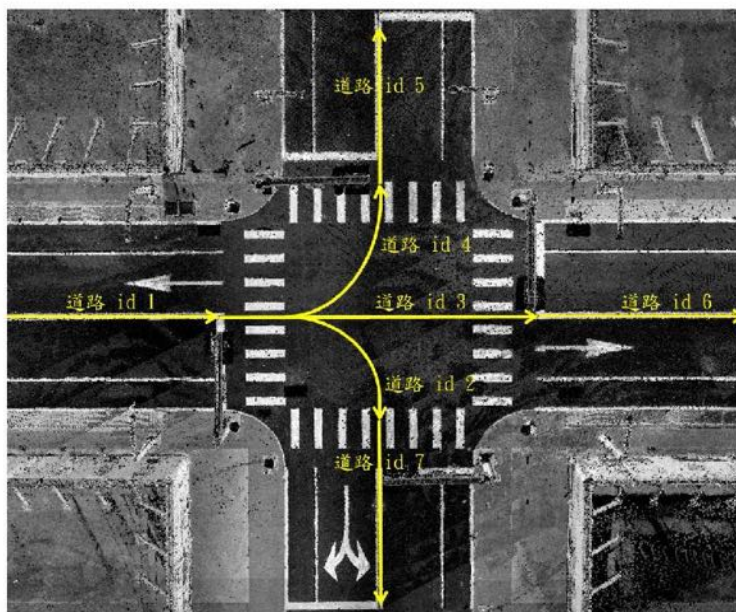
- (2) 車道圖層屬性內容：
 - i. 車道中心線：識別碼(id)、種類(type)、車道寬度(width)、前一車道識別碼(predecessor)、下一車道識別碼(successor)、起始節點(startNode)、結束節點(endNode)。
 - ii. 車道中心線節點：識別碼(id)。
 - (3) 標線圖層屬性內容：
 - i. 停止線：識別碼(id)、標線代碼(code)、行車號誌識別碼(signalid)、停止線寬度(width)。
 - ii. 停車格(Parking)：識別碼(id)、標線代碼(code)、停車格的使用規定(access)、停止線寬度(width)。
 - iii. 標線：識別碼(id)、標線代碼(code)、標線顏色(color)、標線寬度(width)。
 - iv. 標線範圍：識別碼(id)、標線代碼(code)。
 - v. 標線圖形：識別碼(id)、標線代碼(code)、標線顏色(color)、標線寬度(width)。
 - (4) 物體圖層屬性內容：
 - i. 物體：識別碼(id)、物體種類(type)、動態物體(dynamic)、物體底部範圍(extent)、物體頂點 z 坐標(zTop)。
 - (5) 隧道圖層屬性內容：
 - i. 隧道：識別碼(id)、隧道類型(type)。
 - (6) 橋梁圖層屬性內容：
 - i. 橋梁(Bridge)：識別碼(id)。
 - (7) 標誌圖層屬性內容：
 - i. 標誌：識別碼(id)、桿識別碼(poleid)、標誌種類(code)、標誌牌面角度(angle)、包圍矩形左下坐標(bboxMin)、包圍矩形右上坐標(bboxMax)。
 - (8) 號誌圖層屬性內容：
 - i. 號誌：識別碼(id)、桿識別碼(poleid)、號誌種類(code)。
 - (9) 燈號圖層屬性內容：
 - i. 燈號：識別碼(id)、關聯號誌識別碼(signalId)、燈號意義(code)、燈號鏡面角度(angle)、包圍矩形左下坐標(bboxMin)、包圍矩形右上坐標(bboxMax)。
 - (10) 桿圖層屬性內容：
 - i. 桿：識別碼(id)、桿柱種類(type)、桿頂部 z 坐標(zTop)。
2. 通過標準：所有 SHP 檔案須全數符合規定，否則洽詢受檢單位修正。

附錄 A (規定) 高精地圖屬性

A.1 道路

A.1.1 道路參考線

道路由道路路段組成，道路在車道屬性或車道數量有變化時，或是連接到停止線，須切割劃分成不同之道路路段。每一道路路段須記錄一個道路參考線，具有起始節點及結束節點，為具有方向性的三維空間線。在交叉路口處，路面雖沒有繪製車道線，仍須繪製可行駛道路路段之道路參考線及車道。以下圖為例，id 1 之道路參考線欲連結至 id 5、id 6、id 7 之道路參考線，須繪製 id 4、id 3、id 2 之道路參考線。





另外，在切割各路段時，須連同道路參考線、路面邊緣及車道線一起切割劃分¹。在道路測繪時，可依實際道路情形選擇道路參考線，例如以道路中央之方向限制線、行車方向線作為道路參考線，道路中央有分隔島時，可以選擇靠近分隔島之車道線作為參考線，在單向道路時可由路面邊緣或車道線作為參考線。

表 A-1、道路參考線屬性

項次	類別	名稱	中文名稱	說明	資料型別	填寫說明	選填條件
1.	Reference Line (道路參考線)	name	名稱	道路參考線的名稱	Char		選填
2.		length	長度	道路參考線的xy平面長度	Char	公尺	選填
3.		id	識別碼 ²	道路參考線的識別碼	Char		必填
4.		junction	交叉路口	記錄道路參考線位於交叉路口或一般道路	Char	road junction	必填
5.		rule	規則	記錄車輛靠右行駛或靠左行駛	Char	RHT LHT	必填
6.		predecessor	前參考線識別碼	前一參考線的識別碼	Char		必填
7.		successor	後參考線識別碼	下一參考線的識別碼	Char		必填
8.		type	道路等級類型	道路等級類型	道路類型代碼	表 11-6 ³	必填
9.		speed	速限	道路速度上限	Integer	單位 km/h	選填

1 此規定是為了符合後續轉換為 OpenDRIVE 之需求。

2 目前尚未針對各圖層之識別碼規則做定義，各圖層之識別碼須在此場域內保持唯一。

3 填寫說明欄位的「表 11-x」，為「高精地圖圖資內容標準之代碼」，請參閱該標準。



項次	類別	名稱	中文名稱	說明	資料型別	填寫說明	選填條件
10.		startNode	起始節點	道路參考線的起始節點識別碼。	Char	對應到 Node 圖層的識別碼	必填
11.		endNode	結束節點	道路參考線的結束節點識別碼。	Char	對應到 Node 圖層的識別碼	必填
12.		geometry ⁴	幾何坐標	記錄道路參考線三維線狀坐標。	3D Shapes linestring、 curve		必填

A.1.2 路面邊緣

道路路面之邊緣，指柏油路面之邊緣，若是有路線石的道路，以路線石外側視為路面邊緣。

表 A-2、路面邊緣屬性

項次	類別	英文名稱	中文名稱	說明	資料型別	填寫說明	選填條件
1.	RoadEdge (路面邊緣)	id	路面邊緣識別碼	路面邊緣之識別碼	Char		必填
2.		geometry	幾何坐標	記錄路面邊緣三維線狀坐標。	3D Shapes linestring 、 curve		必填
3.		startNode	起始節點	路面邊緣的起始節點識別碼。	Char	對應到 Node 圖層的識別碼	必填

4 各圖層之 geometry 屬性為空間資料欄位，不需要建立為屬性欄位

項次	類別	英文名稱	中文名稱	說明	資料型別	填寫說明	選填條件
4.		endNode	結束節點	路面邊緣的結束節點識別碼。	Char	對應到 Node 圖層的識別碼	必填

A.1.3 車道線

車道線具有寬度、顏色及樣式，以三維線坐標作為其幾何坐標，在道路測繪時取車道線的中心線。依據交通部之法規，不同顏色及樣式代表不同之行車規定。

表 A-3、車道線屬性

項次	類別	英文名稱	中文名稱	說明	資料型別	填寫說明	選填條件
1.	LaneLine (車道線)	id	車道線識別碼	車道線的識別碼	Char		必填
2.		type	車道線種類	車道線的種類。	標線代碼	表 11-3	必填
3.		color	車道線顏色	車道線的標線顏色。	道路標記顏色代碼	表 11-9	必填
4.		style	車道線樣式	車道線的標線樣式	道路標記類型代碼	表 11-7	必填
5.		material	車道線材質	車道線的標線材質。	Char		選填
6.		width	車道線寬度	車道線的寬度。	Double	公尺	必填
7.		startNode	起始節點	車道線的起始節點識別碼。	Char	對應到 Node 圖層的識別碼	必填
8.		endNode	結束節點	車道線的結束節點識別碼。	Char	對應到 Node 圖層的識別碼	必填
9.		geometry	幾何坐標	記錄車道線的中心線三維線狀坐標。	3D Shapes linestring、curve		必填

A.1.4 節點

表 A-4、節點屬性

項次	類別	英文名稱	中文名稱	說明	資料型別	填寫說明	選填條件
1.	Node (節點)	id	識別碼	節點的識別碼	Char		必填
2.		geometry	幾何坐標	記錄節點的三維點坐標。	3D Shapes point		必填

A.2 車道

A.2.1 車道中心線

車道中心線是具有方向性的三維空間線，具有起始節點及結束節點，是一虛擬線，在道路測繪時以車道兩側的車道線取中心線。車道中心線記錄內容尚包括道路路面材質、速限、寬度、高度等各種屬性，並記錄起始節點、結束節點。

表 A-5、車道中心線屬性

項次	類別	名稱	中文名稱	說明	資料型別	填寫說明	選填條件
1.	LaneCenterLine (車道中心線)	id	車道識別碼	車道識別碼。	Char		必填
2.		type	車道種類	車道的種類。	車道類型代碼	表 11-10	必填
3.		predecessor	前一車道識別碼	前一車道的識別碼	Char		必填
4.		successor	下一車道識別碼	下一車道的識別碼	Char		必填
5.		width	車道寬度	車道的寬度。	Double	公尺	必填
6.		material	車道路面材質	車道路面材質	Char		選填
7.		speed	車道速限	車道的速限	Integer	單位 km/h	選填
8.		restriction	車道使用限制	車道的行駛或使用限制	Char	表 11-14	選填



項次	類別	名稱	中文名稱	說明	資料型別	填寫說明	選填條件
9.		height	高度限制	車道的高度限制	Double	公尺	選填
10.		weight	重量限制	車道的重量限制	Double	公斤	選填
11.		startWaypoint	起始節點	車道中心線的起始節點識別碼。	Char	對應到WayPoint圖層的識別碼	必填
12.		endWaypoint	結束節點	車道中心線的結束節點識別碼。	Char	對應到WayPoint圖層的識別碼	必填
13.		dir	方位角強度	北方到車道中心線的向量之間所夾的角度強度	Double	強度	選填
14.		geometry	幾何坐標	記錄車道中心線的三維線狀坐標。	3D Shapes linestring		必填

A.2.2 車道中心線節點

每一車道中心線具有起始節點與結束節點，記錄三維點坐標及識別碼。

表 A-6、車道中心線節點屬性

項次	類別	英文名稱	中文名稱	說明	資料型別	填寫說明	選填條件
1.	WayPoint (車道中心線節點)	id	識別碼	節點的識別碼	Char		必填
2.		velocity	速度	行車速度	Double	單位 km/h	選填
3.		stoplineid	停止線識別碼	停止線之識別碼	Char		選填
4.		geometry	幾何坐標	記錄節點的三維點坐標。	3D Shapes point		必填

A.3 標線

交通部「道路交通標誌標線號誌設置規則」所定義之所有標線，依特性被設計為數個不同之圖層(資料類別)。停止線及停車格因具有特殊屬性，將獨立以兩個不同的圖層記錄。另外，其餘的所有標線，可區分為2種類型的空間圖層來記錄，說明如下：

A.3.1 停止線

依「道路交通標誌標線號誌設置規則」之規定，停止線用以指示行駛車輛停止之界線，車輛停止時，其前懸部分不得伸越該線。停止線以三維線記錄，取停止線之中心線，須配合具有寬度之記錄內容。

表 A-7、停止線屬性

項次	類別	英文名稱	中文名稱	說明	資料型別	填寫說明	選填條件
1.		id	停止線識別碼	停止線的識別碼	Char		必填
2.		code	標線代碼	標線代碼	標線代碼	表 11-3 固定填寫 PH001	必填
3.	StopLine (停止線)	signalid	行車號誌識別碼	與停止線有關聯的行車號誌識別碼	Char		必填
4.		width	停止線寬度	停止線的寬度	Double	公尺	必填
5.		geometry	幾何坐標	停止線的三維線坐標	3D Shapes linestring		必填

A.3.2 停車格

停車格為車輛之停放位置，由「道路交通標誌標線號誌設置規則」之車輛停止線劃設其範圍。停車格之空間範圍，由具有三維坐標的角點定義，角點序列滿足閉合條件。

表 A-8、停車格屬性

項次	類別	英文名稱	中文名稱	說明	資料型別	填寫說明	選填條件
1.	Parking (停車格)	id	停車格識別碼	停車格的識別碼	Char		必填
2.		code	標線代碼	標線代碼	標線代碼	表 11-3 固定填寫 IA014	必填
3.		access	停車格的使用規定	停車格的使用規定限制	Char	all car women handicapped bus truck electric residents	必填
4.		width	車輛停止線寬度	車輛停止線的寬度	Double	公尺	必填
5.		geometry	幾何坐標	停車格的三維空間範圍	3D Shapes polygon		必填

除了停止線及停車格，其餘的所有標線，可區分為 2 種類型的空間圖層來記錄。

A.3.3 標線

以一條線作為標線之代表位置，並具有寬度，例如各種車道線、禁止停車線、禁止臨時停車線...等，此類別記錄識別碼、標線代碼及其三維線狀位置。

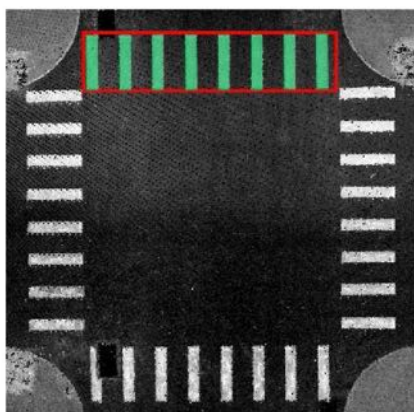
表 A-9、標線屬性

項次	類別	英文名稱	中文名稱	說明	資料型別	填寫說明	選填條件
1.	MarkLine (標線)	id	標線識別碼	標線的識別碼	Char		必填
2.		code	標線代碼	標線代碼	標線代碼	表 11-3	必填
3.		color	標線顏色	標線顏色	道路標記 顏色代碼	表 11-9	必填
4.		width	標線寬度	標線的寬度	Double	公尺	必填
5.		geometry	幾何坐標	標線的三維線坐標	3D Shapes linestring、 curve		必填

A.3.4 標線範圍及標線圖形

以一個面狀範圍為標線之代表位置，例如近障礙物線、路旁障礙物體線、槽化線、網狀線、車種專用車道線、機車優先車道線、機慢車停等區線...等標線，其作用範圍不是一條線，而是一個範圍。

各種類之行人穿越道、自行車穿越道、機慢車停等區線及平交道，其標線外圍形成之空間具有明確且重要之邊界，須同時繪製標線範圍(MarkArea)和標線圖形(MarkGraph)，以下圖之行人穿越道為例，MarkArea 繪製紅色之範圍。MarkGraph 繪製綠色範圍。若行人穿越路徑為 X 型，則此 X 型繪製視為一個行人穿越道，而非兩個。



其他以面狀範圍做為代表位置之標線，以標線圖形(MarkGraph)記錄實際之線形圖形，例如下圖指向線之綠色範圍。用以輔助說明的道路上的標字，以標線圖形(MarkGraph)繪製，並且整合成一個物件後，輸入對應文字。例如「禁止機車」之標字，應以數個三維空間範圍記錄其筆畫，再整合成一筆資料，於 character 屬性填寫「禁止機車」。

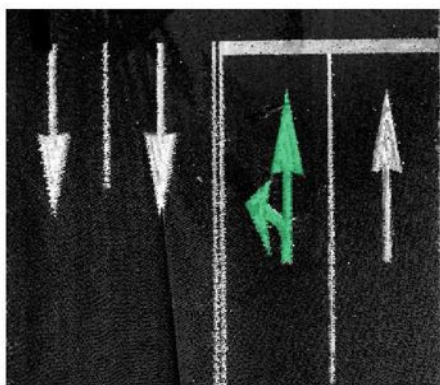


表 A-10、標線範圍屬性

項次	類別	英文名稱	中文名稱	說明	資料型別	填寫說明	選填條件
1.	MarkArea (標線範圍)	id	標線範圍識別碼	標線範圍的識別碼	Char		必填
2.		code	標線代碼	標線代碼	標線代碼	表 11-3	必填
3.		geometry	幾何坐標	標線範圍的三維空間範圍	3D Shapes polygon		必填

表 A-11、標線圖形屬性

項次	類別	英文名稱	中文名稱	說明	資料型別	填寫說明	選填條件
1.	MarkGraph (標線圖形)	id	標字圖形識別碼	標字圖形的識別碼	Char		必填
2.		code	標線代碼	標線代碼	標線代碼	表 11-3	必填
3.		color	標線顏色	標線顏色	道路標記顏色代碼	表 11-9	必填
4.		character	標字	以文字記錄標字	Char	當繪製標字時必須填寫	選填
5.		geometry	幾何坐標	標線或標字的三維空間範圍	3D Shapes polygon		必填

A.4 物體

除了桿狀物體的其他各種路面或路邊物體，可記錄其底部三維空間範圍及橢球高。樹木不用繪製。

表 A-12、物體屬性

項次	類別	英文名稱	中文名稱	說明	資料型別	填寫說明	選填條件
1.	Object (物體)	type	物體種類	物體的種類	Char	物體代碼	必填
2.		dynamic	動態物體	物體是否為動態	Boolean		必填
3.		name	物體名稱	物體的名稱	Char		選填
4.		id	物體識別碼	物體的識別碼	Char		必填
5.		extent	物體底部範圍	物體的底部範圍	3D Shapes polygon	以此作為空間屬性欄位	必填
6.		point	物體底部中心坐標	物體底部中心點坐標或是基座之中心點三維坐標	WKT ⁵		選填
7.		zTop	物體頂點 z 坐標	物體頂點的橢球高	Double	公尺	必填

A.5 隧道

隧道以空間範圍記錄車道被遮蔽之範圍，由具有三維坐標的角點定義，角點序列滿足閉合條件。並記錄名稱及相關車道。

5 WKT 為 OGC 組織所定義之坐標記錄方式



表 A-13、隧道屬性

項次	類別	英文名稱	中文名稱	說明	資料型別	填寫說明	選填條件
1.	Tunnel (隧道)	id	隧道識別碼	隧道的識別碼	Char		必填
2.		laneid	車道識別碼	隧道所在車道中心線的識別碼	Char		選填
3.		name	隧道名稱	隧道的名稱	Char		選填
4.		geometry	幾何坐標	隧道的三維空間範圍	3D Shapes polygon		必填
5.		access	限制車種	隧道的限制車種	Char		選填
6.		limitHeight	限制車高	隧道的限制車高	Char	公尺	選填
7.		limitWeight	限制車重	隧道的限制車重	Char	公斤	選填
8.		type	隧道類型	隧道類型	隧道類型代碼	表 11-12	必填

A.6 橋梁

橋梁以一個三維空間範圍記錄其涵蓋範圍，由具有三維坐標的角點定義，角點序列滿足閉合條件。並記錄名稱及相關車道。

表 A-14、橋梁屬性

項次	類別	英文名稱	中文名稱	說明	資料型別	填寫說明	選填條件
1.	Bridge (橋梁)	id	橋梁識別碼	橋梁的識別碼	Char		必填
2.		laneid	車道識別碼	橋梁所在車道中心線的識別碼	Char		選填
3.		name	橋梁名稱	橋梁的名稱	Char		選填
4.		geometry	幾何坐標	橋梁的三維空間範圍	3D Shapes polygon		必填



項次	類別	英文名稱	中文名稱	說明	資料型別	填寫說明	選填條件
5.		access	限制車種	隧道的限制車種	Char		選填

A.7 標誌

標誌以一個三維點坐標記錄其牌面中心位置，並記錄其標誌牌面法向量與正北之角度、標誌所關連之桿柱及標誌種類。另需要記錄可涵蓋標誌的包圍矩形左下及右上坐標。

表 A-15、標誌屬性

項次	類別	英文名稱	中文名稱	說明	資料型別	填寫說明	選填條件
1.	Mark (標誌)	id	標誌識別碼	標誌的識別碼	Char		必填
2.		poleid	桿識別碼	標誌桿的識別碼	Char		必填
3.		code	標誌種類	標誌種類	標誌代碼	表 11-4	必填
4.		angle	標誌牌面角度	標誌牌面法向量與正北方之夾角角度 ⁶	Double	強度	必填
5.		geometry	幾何坐標	標誌的中心點三維空間坐標	3D Shapes point		必填
6.		bboxMin	包圍矩形左下坐標	包圍矩形左下三維坐標	WKT		必填
7.		bboxMax	包圍矩形右上坐標	包圍矩形右上三維坐標	WKT		必填

6 由上往下俯瞰，法向量與北方的夾角角度，由北方開始順時針計算。

A.8 號誌

每一個號誌須獨立記錄一筆資料，記錄對象是號誌之燈頭，號誌之燈架以桿柱記錄。號誌以一個三維點坐標表示其燈頭中心點坐標，並記錄其號誌識別碼、桿識別碼、號誌種類。號誌的每一個燈號則以 SignalData 記錄。

表 A-16、號誌屬性

項次	類別	英文名稱	中文名稱	說明	資料型別	填寫說明	選填條件
1.	Signal (號誌)	id	號誌識別碼	號誌的識別碼	Char		必填
2.		poleid	桿識別碼	號誌桿的識別碼	Char		必填
3.		code	號誌種類	號誌種類	號誌代碼	表 11-5	必填
4.		geometry	幾何坐標	號誌燈頭的中心點三維空間坐標	3D Shapes point		必填

A.9 燈號

每一個燈號須獨立記錄一筆資料，以一個三維點坐標表示其幾何坐標，並記錄其燈號意義、燈號鏡面之半徑、關連之號誌識別碼。

表 A-17、燈號屬性

項次	類別	英文名稱	中文名稱	說明	資料型別	填寫說明	選填條件
1.	SignalData (燈號)	id	燈號識別碼	燈號的識別碼	Char		必填
2.		signalId	關聯號誌識別碼	關聯號誌的識別碼	Char		必填
3.		code	燈號意義	燈號意義	燈號代碼	表 11-2	必填



項次	類別	英文名稱	中文名稱	說明	資料型別	填寫說明	選填條件
4.		angle	燈號鏡面角度	燈號鏡面法向量與正北方之夾角角度 ⁷	Double	經度	必填
5.		radius	半徑	可涵蓋燈號的半徑長度	Double	公尺	選填
6.		geometry	幾何坐標	燈號的中心點三維空間坐標	3D Shapes point		必填
7.		bboxMin	包圍矩形左下坐標	燈號的包圍矩形左下三維坐標	WKT		必填
8.		bboxMax	包圍矩形右上坐標	燈號的包圍矩形右上三維坐標	WKT		必填

7 由上往下俯瞰，法向量與北方的夾角角度，由北方開始順時針計算。

A.10 桿

用以表示標誌、號誌、路燈或其他物體之桿柱。須記錄其桿的底部坐標及橢球高。

表 A-18、桿屬性

項次	類別	英文名稱	中文名稱	說明	資料型別	填寫說明	選填條件
1.	Pole (桿)	id	桿識別碼	桿的識別碼	Char		必填
2.		code	桿柱種類	記錄桿柱的種類	Char	01:路燈桿 02:標誌桿 03:號誌桿 04:電線桿 05:警示柱 06:公車客運站牌 07:未知	必填
3.		geometry	桿底部中心坐標	桿底部的中心三維空間坐標	3D Shapes point		必填
4.		zTop	桿頂部 z 坐標	桿的橢球高	Double	公尺	必填
5.		lamp	路燈燈面中心坐標	路燈燈面中心坐標	3D Shapes point	繪製路燈時必須填寫	選填



參考資料

- [1] 台灣資通產業標準協會 (2018)。高精地圖製圖作業指引。
- [2] 內政部地政司。內政部車載製圖系統作業手冊研擬草案，未出版。
- [3] 內政部地政司。高精地圖圖資內容標準草案，未出版。
- [4] 內政部地政司 (2016-2017)。LiDAR 技術更新數值地形模型成果檢核與監審工作案 (105-106)。
- [5] 內政部國土測繪中心 (2010)。內政部國土測繪中心採用虛擬基準站即時動態定位技術辦理加密控制及圖根測量作業手冊。
- [6] 內政部國土測繪中心 e-GNSS 即時動態定位系統入口網站，
<http://www.egps.nlsc.gov.tw/index.html>
- [7] 經濟部工業局(2018)。高精地圖資料檢核驗收。
- [8] 經濟部中央地質調查所(2010-2012)。莫拉克災區 LiDAR 高解析度數值地形製作之檢核與監審。
- [9] 經濟部中央地質調查所(2013-2015)。非莫拉克災區與特定事件(颱風豪雨或地震等事件)後 LiDAR 高解析度數值地形製作之檢核與監審。
- [10] 財團法人資訊工業策進會(2019)。HD MAP 測量驗證專業服務採購案。

版本修改紀錄

版本	時間	摘要
v0.1	2019/12/02	第一次專家會議書面審閱版本

附錄四

「高精地圖圖資內容標準」

高精地圖圖資內容標準(草案)

HD Maps Data Contents and Formats Standard

出版日期: 2020/mm/dd

終審日期: 2020/mm/dd

此文件之著作權歸台灣資通產業標準協會所有，
非經本協會之同意，禁止任何形式的商業使用、重製或散佈。

Copyright© 2019 Taiwan Association of Information
and Communication Standards. All Rights Reserved.

目錄

目錄.....	1
前言.....	3
引言.....	4
1. 適用範圍.....	6
2. 引用標準.....	7
3. 用語及定義.....	8
4. 特性分析.....	14
4.1 坐標參考系統.....	14
4.2 幾何表示.....	15
4.3 道路.....	16
4.4 車道.....	16
4.5 標線.....	17
4.6 標誌.....	19
4.7 號誌.....	21
4.8 物體.....	22
4.9 隧道.....	23
4.10 橋梁.....	23
4.11 交叉路口.....	23
5. 應用綱要.....	25
5.1 坐標參考系統.....	25
5.2 ROAD(道路)應用綱要.....	26
5.3 LINK 相關類別.....	30
5.4 TYPE 相關類別.....	31
5.5 PLANVIEW 相關類別.....	31
5.6 ELEVATIONPROFILE 相關類別.....	33
5.7 LATERALPROFILE 相關類別.....	34
5.8 LANESECTION 相關類別.....	35
5.9 LANE 相關類別.....	37
5.10 OBJECT 相關類別.....	39
5.11 TUNNEL 相關類別.....	40



5.12 BRIDGE 相關類別	41
5.13 SIGNAL 相關類別	42
5.14 CONTROLLER 相關類別及 JUNCTION 相關類別	43
5.15 USERDATA 類別	46
5.16 MARKLINE 相關類別	47
5.17 LANECENTERLINE 相關類別	49
6. 資料典	51
7. 資料格式編碼	68
7.1 擴充屬性	68
7.2 擴充類別	68
附錄 A(規定) 本標準自訂代碼	70
附錄 B(規定) OpenDRIVE 代碼	124
附錄 C(規定) 擴充設計類別 XML 綱要	128
參考資料	134
版本修改紀錄	135

前言

本標準係依台灣資通產業標準協會(TAICS)之規定，經理事會審定，由協會公布之產業標準。

本標準並未建議所有安全事項，使用本標準前應適當建立相關維護安全與健康作業，並且遵守相關法規之規定。

本標準之部分內容，可能涉及專利權、商標權與著作權，協會不負責任何或所有此類專利權、商標權與著作權之鑑別。

引言

自駕車為具備感知、決策及控制等功能之智慧載具，是近年汽車產業主要發展趨勢之一。自駕車可在各種方面帶來正面影響，包括減少車禍及交通阻塞、降低空氣污染、提昇駕駛安全、有效應用能源、協助無法駕駛人員、擴展服務範圍等。長遠發展更包括智慧型運輸系統及智慧城市之結合，改變駕駛行為或商業模式，發展出智慧生態系統。目前歐、美、亞洲等許多國家之政府及汽車產業，莫不在近年投入大量資本於自駕車科技之研發，形成一股活絡的推動能量，預估未來七年之市場成長率將可高達 40%。

自駕車產業可帶來巨大之經濟效益，且並不僅侷限於汽車產業本身，延伸之產業鏈包括資通、晶片、感測器、軟體、地圖、機電等各類產業。例如自駕車必須高度仰賴衛星定位、陀螺儀、攝影機、雷達等感測器進行即時的定位與判讀，因此高精度及高更新速率的感測器技術研發將是關鍵因素之一；先進駕駛輔助系統中包含大量即時資料處理，須仰賴更智慧且即時的演算法與決策機制，且須透過良好的機電及資訊系統才得以正確執行。因此自駕車相關產業之發展有極大的潛力，彼此之間的技术整合亦息息相關，有效營造一個跨域技術整合的發展環境，也將成為我國後續推動之重要挑戰。

有鑑於無人載具帶來嶄新之應用模式，對現行模式及法規帶來新的挑戰，我國於民國 108 年頒布「無人載具科技創新實驗條例」，以監理沙盒為核心，透過法規鬆綁及建構安全實驗環境，鼓勵國內外相關產業投入無人載具技術與應用之研發，期許透過實務驗證確保研發成果，進而促進新型態商業服務模式的開拓。為積極推動自駕車之技術研發及圖資生產，包含經濟部、科技部、內政部、交通部也挹注經費，規劃包括自駕車原型開發測試、校驗場設置、圖資規格、交通號誌標準化等相關計畫，藉以營造更具競爭力之產業研發環境。

高精地圖(HD Maps)為自駕車所使用之地圖，與提供人類觀看的地圖要求不同。高精地圖必須具有極高的道路位置精度，在圖資之豐富度、識別性及正確性皆具有極高要求，方可輔助自駕車進行即時研判及分析決策。在自駕車所需之地圖架構中，除由高精地圖所代表之靜態圖資外，還包括半靜態、半動態及動態圖資，愈動態之資訊愈需要即時之更新。高精地圖之發展至少涉及圖資之設計、測製、流通及應用等四個層

面，其發展可由單一車廠承擔所有任務，專注於其本身獨有之系統開發；也可由不同單位或產業各自負擔不同角色，並透過合作模式建立產業之鏈結，甚至可由國家主導特定之角色，帶動相關產業之整體發展。

有鑑於高精地圖之測製成本高昂，但所有後續應用端均期待可獲得大範圍之資料，我國之推動機制有必要由共享資源之觀點，透過「高精地圖圖資內容標準」(以下簡稱本標準)之制定，建立相關產業之共識，促成高精地圖之協同合作發展機制，使不同來源之高精地圖內容可彼此分享使用，避免圖資重複建置。在高精地圖圖資內容明確界定之後，可帶動感測器、模擬器、決策機制、機電系統、車聯網、資通網路等各領域之後續發展或整合應用，標準本身及符合標準之地圖內容因此在自駕車相關產業中扮演跨領域橋接之關鍵角色。為考量與國際標準接軌，本標準參考由 ASAM (Association for Standardization of Automation and Measuring Systems)所維護之 OpenDRIVE 標準架構，並加入我國之發展需求而設計。

本標準明確規定我國自駕車高精地圖之圖資內容及資料格式，具體目標歸結如下：

1. 奠定我國自駕車高精地圖資料流通機制之共同基礎，滿足自駕車導航地圖規劃所需。
2. 提供一致之圖資內容及資料格式，可供我國測繪廠商參考，提昇資料品質及避免不一致性。
3. 發展開放及具有互操作性之分享模式，減少產業重複投資，提昇資料可用性，促進整體產業之技術升級與服務提昇。
4. 促進我國道路資訊系統與其他領域之多目標創新應用，擴展跨領域整合應用之可能績效。

1. 適用範圍

本標準設定範疇為自駕車高精地圖的圖資內容及編碼格式，包含各級車用道路、道路設施、交通號誌、標誌、標線，以提供自駕車決策使用，屬性及代碼係依我國交通相關法規制定。本標準於自動駕駛技術之供應鏈架構之適用範圍如圖 1 紅框處所示。本標準不包括高精地圖之測製程序、品質驗證、格式轉換、分析應用等課題之規定。



圖 1 高精地圖於自動駕駛技術之供應鏈架構

2. 引用標準

下列法規、標準或文件因本規範所引用，引用章節之內容成為本規範一部份。如所列標準標示年版者，則僅該年版標準予以引用。未標示年版者，則依其最新版本(含補充增修)適用之。

OpenGIS Implementation Standard for Geographic information - Simple feature access - Part 1: Common architecture , version 2.1.2 , 2011.

OpenDRIVE , version 1.5 , 2019.

3. 用語及定義

下列用語及定義適用本標準。

3.1 公路(Highway)

指國道、省道、市道、縣道、區道、鄉道、專用公路及其用地範圍內之各項公路有關設施。

3.2 道路(Road)

提供車輛行駛之道路。

3.3 車道(Lane)

指以劃分島、護欄或標線劃定道路之部分，及其他供車輛行駛之道路。

3.4 車道線(Lane Strip)

用以劃分各線車道，指示車輛駕駛人循車道行駛。

3.5 車道中心線(Lane Center Line)

以車道左右兩側的車道線所推算出之中心線。

3.6 交通島(Traffic Island)

交通島為車道間之特定區域，用以區分行車方向、分隔快慢車道、導引車流、提供行人臨時庇護及設置交通管制設施。可採凸島、凹降、標記、緣石、標線或其他設置方式。交通島依功能區分為以下四類：分隔島(又稱分向島)、槽化島、庇護島、圓環中心島。

3.7 路肩(Shoulder)

鄰接車道外側之路幅，稱為路肩。依其鋪面之不同，區分為瀝青鋪面、石子鋪面及草皮鋪面等三種。

3.8 路面邊緣(Road Edge)

道路路面之邊緣，指柏油路面之邊緣，若是有緣石的道路，以緣石外側視為路面邊緣。

3.9 人行道 (Sidewalk)

指為專供行人通行之騎樓、走廊，及劃設供行人行走之地面道路，與人行天橋及人行地下道。

3.10 行人穿越道(Crosswalk)

指在道路上以標線劃設，供行人穿越道路之地方。

3.11 停止線(Stop Line)

用以指示行駛車輛停止之界限，車輛停止時，其前懸部分不得伸越該線。

3.12 停車格(Parking Space)

用以指示車輛駕駛人停放車輛之位置與範圍，以車輛停放線劃設。

3.13 標誌(Sign)

指管制道路交通，表示警告、禁制、指示，而以文字或圖案繪製之標牌。

3.14 號誌(Signal)

指管制道路交通，表示行進、注意、停止，而以手勢、光色、音響、文字等指示之訊號。

3.15 標線(Sign Stripe)

指管制道路交通，表示警告、禁制、指示，而在路面或其他設施上劃設之線條、圖形或文字。

3.16 隧道(Tunnel)

以人工建造方法，使交通路線或導水溝渠貫穿於地下之通道，如山區隧道，地下隧道，海底隧道等。其目的在於避免路線之陡峻坡度及過大彎曲，且可縮短距離。路線隧道之淨高應依車輛之最大限為準，並應有 0.2% 之最小坡度，以利排水。較長之隧道須有通風設計。

3.17 橋梁(Bridge)

指路線跨越河川、水道、鐵路、公路、市區道路及高架道路之橋梁及高架道路之橋梁部分，凡以橋台、橋墩及梁組成者。

3.18 坐標參考系統(Coordinate Reference System)

透過指定參考基準而與物件產生關聯之坐標系統，通常用以定義地理參考資料位於地表上的位置。用以指定如何設定各點在空間上位置之數學法則，其設計必須包括原點、坐標軸、量度單位等要素。

3.19 慣性坐標系統(Inertial Coordinates System)

一物體在空間固定不動或做等速直線運動之坐標系統，但當慣性力消失時，則遵循牛頓第二運動定律，即該物體之動量變化率與作用力成正比，且動量變化發生在該力之方向上。

3.20 精度(Accuracy)

所量之結果與真值接近之程度。精度之高低，不僅涉及獲得結果之操作性質，抑與結果之準確性攸關，易言之，精度應包含精密與精確兩特性，惟大部份情況下，真值均不得知，亦即精度無法作明確之認定，一般僅能寄望于精密度高之觀測，冀能獲得精度亦高之測量結果，並以精密度之高低，視同精度之高低。但精密度高之觀測量，可能但不一定必然表示其精度亦高。例如以一 30 公尺鋼卷尺往返測量一段距離，其結果分別為 137.340 公尺與 137.342 公尺，其精密度高達 1/70,000，但事後發現該尺之實長與標準尺之長相差 0.10 公尺，全長因而有 0.46 公尺之誤差，故該測量之結果，精密度雖高，但精度則甚低。因此實際測量作業，須特別注意錯誤與系統誤差之防範與消除，並作嚴密完善之觀測，能如此，則精密度與精度在實質上所代表之意義相同，此時，最或是值可取代真值，標準誤差之大小可用作衡量精度之高低，而精密度亦可視同精度，應用于各種不同之場合。

3.21 互操作性(Interoperability)

使用者得以在兩個或多個系統間進行系統相關功能的理解、程式的執行、資料交換與資訊使用之能力。

3.22 可用性(Availability)

- (1)當需要處理數據時，資訊系統或資源處於可用狀態的程度。
- (2)在給定的期間內，網路處理設備正確完成服務的時間百分比。

3.23 攝影機(Camera)

為拍攝像片而設計之儀器。通常由裝有透鏡、快門、光圈之鏡箱，和可安裝感光底片之暗匣等件組成。攝影機依其用途，可分為航空攝影機、太空攝影機、地面攝影機、像框攝影機、連續帶狀攝影機、測量用攝影機、複製用攝影機、多光譜攝影機等。

3.24 雷達(Radar)

雷達一詞為英文 radio detection and ranging 之縮寫音譯。是藉發射並接收反射的無線電波(微波)，以偵察物體之存在及其位置之儀器。一般雷達具有發射器與接收器。發射器播送某方向上帶脈衝之窄波；接收器接收並放大反射回的訊號。經量測往返訊號間之相位差或時間差，可求出發射天線到待測物體間的距離。於指向操作時，大型雷達架設台可記錄測距方向之方位角與仰角。雷達亦能利用反射訊號的都卜勒頻移，求出物體之相對速度變化。

3.25 全球衛星定位系統(Positioning System)

為美國國防部所發射的衛星導航定位系統，每顆衛星全天候播送信號，在地面或空中的接收器接收信號之後，轉算成衛星至接收器之間的距離。可同時接收三顆以上衛星的空間距離，即可交會定點得到接收器的三度空間坐標。

3.26 國際標準組織(International Organization for Standardization, ISO)

1947年2月成立於瑞士日內瓦，專為制定全世界工商業國際標準之標準建立機構。其成員包括162個會員國，該組織定義為非政府組織，使用之官方語言為英語、法語及俄語。主要參與者含各會員國之國家標準機構及主要公司，其中與負責電子設備標準之國際電工委員會(IEC)有密切合作。

3.27 開放地理空間聯盟(Open Geospatial Consortium, OGC)

成立於 1994 年，係一個國際化、自願協商之標準化組織。內部有 490 個多個來自世界各地的商業組織、政府機構、非盈利組織和研究性機構，尋求空間資料共識的過程中合作，致力發展和執行地理資訊之開放標準、地理空間資料之內容、服務，方便地理資訊系統之資料處理與共享。

3.28 橫麥卡托投影(Transverse Mercator, TM)

用於描述地圖投影之方法，是一種等角的橫向圓柱形之地圖投影法。可假想一平面捲成圓筒狀套於球體外面，而圓柱之中心軸線通過地球的中心且與赤道面夾角為零，球面上一子午線與圓柱面相切。為了減少因投影展為平面而變形，又發展為 2° 分帶 3° 分帶與 6° 分帶投影。

3.29 統一塑模語言(Unified Modeling Language, UML)

是一種圖形呈現方式，用來表示軟體系統之圖表架構。其不是一種程式語言，係經由相關圖形來規範、架構軟體系統，是目前分析、物件導向軟體系統設計經常使用之工具。UML 規範在 1994 年由 Grady Booch, James Rumbaugh 和 Ivar Jacobson 制定，目前由 Object Management Group(OMG)，負責規格的維護。

3.30 可擴充式標記語言(eXtensible Markup Language, XML)

係一種標記式語言，其中標記可由電腦所能理解之資訊符號，透過標記，電腦之間可以處理各式各樣的文章、資訊。選定之標記可透過國際通用之標記式語言(如 HTML)，亦可由 XML 相關專業人士自由決定之語言，此為 XML 之可延伸性。

4. 特性分析

依本標準所界定之資料範疇，本章分析自駕車高精地圖之主要特性，以作為本標準應用綱要設計之依據。

4.1 坐標參考系統

為正確描述現象位置之空間關係，所有自駕車高精地圖之空間描述都必須明確指定其坐標參考系統，並須於資料供應時一併說明。本標準依據 OpenDRIVE 架構設計，OpenDRIVE 具有軌跡坐標系統(Track System)及慣性坐標系統(Inertial System)，慣性坐標系統可以指定坐標參考系統，例如 TWD97 坐標系統、WGS84 坐標系統，以提供三維坐標之空間參考。軌跡坐標系統則為 OpenDRIVE 之坐標系統，以道路之參考線(Reference Line)為核心，表現出道路及各種資料之位置、屬性軌跡。參考線及軌跡坐標系統之概念說明如下：

1. 道路以參考線為核心，組成道路資料模式。參考線以線形記錄，線形之幾何表示具有 5 種。例如圖 2 之範例，紅色線為參考線，以直線之線形記錄。
2. 參考線可以一個以上之線形記錄而成，例如以 2 個直線連結，表現一個參考線。圖 2 之範例為以一個線形記錄道路之參考線。
3. 參考線之線形僅考慮慣性坐標系統之 xy 平面，參考線起點具有慣性坐標系統之(x,y)坐標，參考線之高程以另外方式記錄。
4. 參考線之線形具有方向性，前進方向為 s 軸，參考線之線形起點可設 $s=0$ 。線形具有長度，假設長度為 10，則線形之終點 s 為 10；若某一線形之起點 s 不為 0，代表此線形以前一個線形之 s 終點作為起點，接續記錄。
5. t 軸為參考線之橫移方向，h 為縱軸，軌跡坐標系統(s、t、h)為一個右手坐標系統。
6. 參考線之線形記錄一個方位角度 hdg，以東方起算，以記錄線形往哪一個方向前進，請參見圖 3 之示意圖。

7. 道路之車道及其他所有資料，以參考線之軌跡坐標系統為基準，記錄相對於參考線之 s 、 t 、 h 坐標，由參考線之慣性坐標系統三維坐標而可間接推算出車道及其他所有資料之三維坐標。
8. 參考線的高程變化，以兩種方式記錄，一為沿著道路縱斷面之變化，一為道路橫斷面之變化。

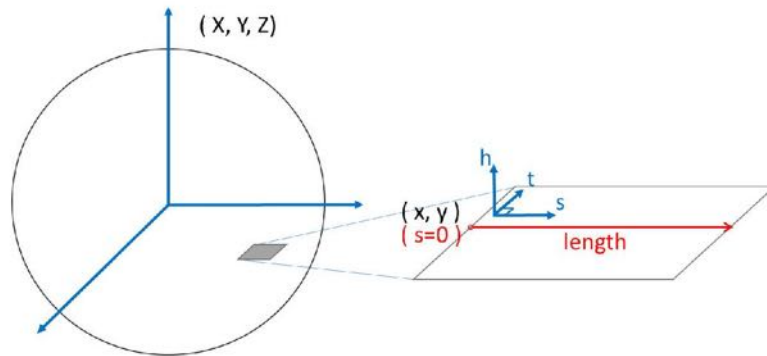


圖 2 慣性坐標系統與軌跡坐標系統

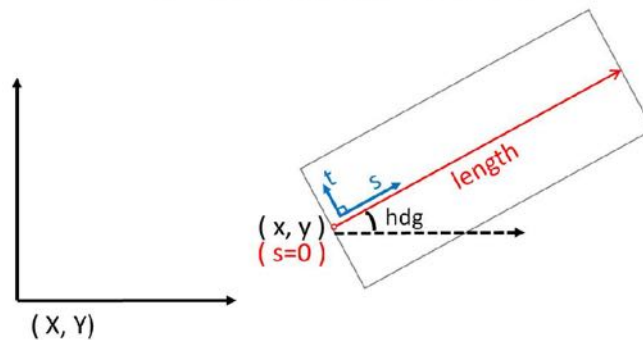


圖 3 軌跡坐標系統

4.2 幾何表示

為描述各現象之空間位置，本標準說明各種現象及資料之幾何表示方式及其意義。

1. 單點：記錄單點之三維點坐標。

2. 代表位置：以單點代表三維物體之近似位置，例如三維物體之中心點位置坐標。
3. 實形：現象之形狀或範圍。例如標線於道路之三維實際形狀，路邊物體的三維實際形狀。
4. 外包範圍：以外包(Bounding)之概念建立三維物體之輪廓，僅為近似位置，與實形有落差。

4.3 道路

依據「道路交通管理處罰條例」之定義，道路指公路、街道、巷術、廣場、騎樓、走廊或其他供公眾通行之地方。本標準所稱之道路設定為提供車輛行駛之道路，其描述包括道路之三維地理位置及道路名稱、道路類型、路面材質…等屬性。道路之空間範圍可涵蓋多個車道，並可與相關之設施建立關聯。其他各類現象與設施則以對應之類別記錄。

4.4 車道

依據「道路交通管理處罰條例」之定義，車道指以劃分島、護欄或標線劃定道路之部分，及其他供車輛行駛之道路。本標準採用此定義，其描述包括車道之三維地理位置及車道限速、路面材質、車道類型、車道寬、高度限制、重量限制…等屬性，須記錄於車道之設計類別。

車道可透過車道線之劃設而定義，由兩條依交通部「道路交通標誌標線號誌設置規則」所定義之標線定義其範圍，或以中心線代表其位置及走向。車道線具有寬度、顏色及樣式，可決定車道之類型及行車規定，車道線之三維地理位置及屬性須記錄於車道線之設計類別。

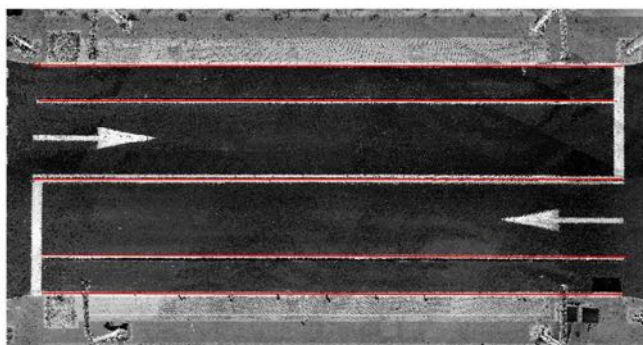


圖 4 車道線示意圖

本標準以車道中心線記錄車道之三維地理位置及屬性，車道中心線是具有方向性的三維空間線，須參考單一車道兩側的車道線，取其中心點並沿車道行進方向測製。每一車道中心線具有起始節點與結束節點，節點記錄三維點坐標及識別碼，可依此建立前後連結之關係，因此具有方向性，可提供自駕車行車控制之用。

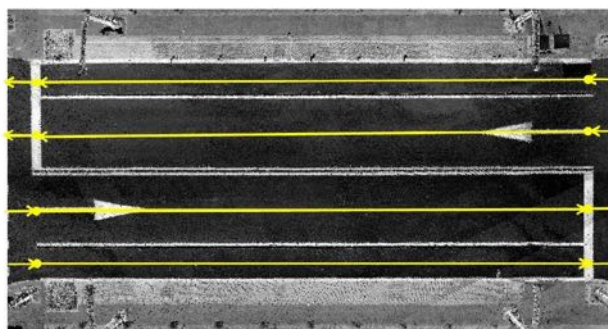


圖 5 車道中心線示意圖

4.5 標線

依交通部「道路交通標誌標線號誌設置規則」之規定，道路上劃設之各種標線為表示警告、禁制、指示之標識，以線條、圖形、標字或其他導向裝置劃設於路面或其他設施上，用以管制交通。標線依功能性可區分為警告標線、禁制標線及指示標線，依劃設方式則可區分為縱向標線、橫向標線、輔助標線及標字。本標準納入「道路交通標誌標線號誌設置規則」所規定之所有標線，並給予代號，使自駕車可直接識別標

線之意義。標線有顏色之特性及樣式，完整標線種類及代碼表 A.3。以下以實例說明幾種不同之標線。

圖 6 之紅色線條為停止線，為一種禁制標線，用以指示行駛車輛停止之界限，車輛停止時，其前懸部分不得伸越該線。其地理位置以三維線表示。

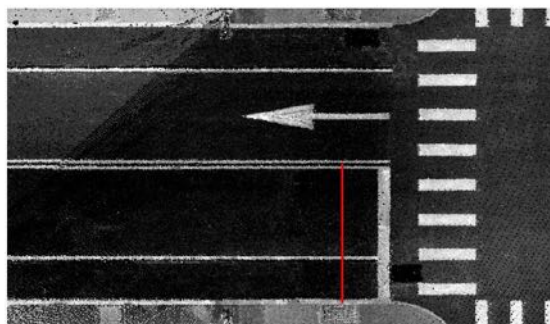


圖 6 停止線

圖 7 之紅色線條為分向限制線，為一種禁制標線，以雙白實線表示，用以劃分路面成雙向車道，禁止車輛跨越行駛，並不得迴轉。其地理位置以三維線表示。



圖 7 分向限制線

圖 8 為指向線，為一種指示標線，用以指示車輛行駛方向，設置於交岔路口方向專用車道上與禁止變換車道線配合使用時，車輛須循序前進，並於進入交岔路口後遵照所指方向行駛。指向線具有四種樣式，直線箭頭指示直行、弧形箭頭指示轉彎、直線與弧形合併之分岔箭頭指示指示直行與轉彎、弧形虛線箭頭指示轉出車道。指向線之地理位置可以兩種幾何表示記錄，分為外包範圍及實形。外包範圍以三維角點序列表示，如圖 8 中紅色線條，實形以三維角點序列表示，如圖 8 中綠色線條。

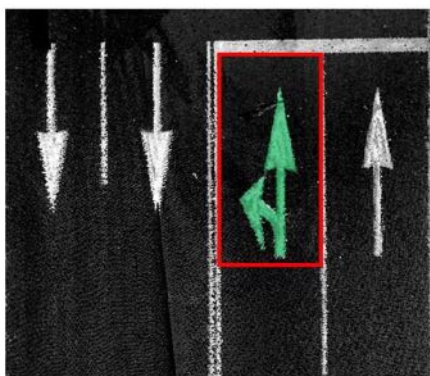


圖 8 指向線

圖 9 為枕木紋行人穿越道線，為一種指示標線，常設於交岔路口，其地理位置可以兩種幾何表示記錄，分別為外包範圍及實形。外包範圍以三維角點序列表示，如圖 9 中紅色線條，實形以三維角點序列表示，如圖 9 中綠色線條。

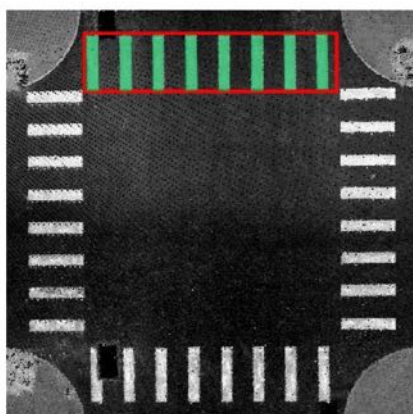


圖 9 枕木紋行人穿越道線

4.6 標誌

依交通部「道路交通標誌標線號誌設置規則」之規定，道路上設置之各種標誌可區分為警告標誌、禁制標誌、指示標誌及輔助標誌。標誌之結構可區分為標牌及支撐標牌用之物體。標誌設置於適當之地點，用以預告或管制前方路況，促使車輛駕駛人與行人注意，必須遵守之交通管制設施。標牌依其目的而具有不同顏色及形狀，以下為標誌之舉例。

圖 10 為單線鐵路平交道標誌之實景圖，為一種遵行標誌，用以告示車輛駕駛人及行人必須暫停、看、聽，確認安全後方得通過。標誌資料之記錄包含支撐標牌的物體及標牌本身，本標準設計相關類別記錄此兩種資料，標誌之地理位置亦分為標牌及標誌桿，標牌以外包範圍表示，以三維角點序列記錄其外包範圍，標牌牌面之面對方位亦須記錄。標誌桿則記錄其底部中心點三維點坐標及高度



圖 10 單線鐵路平交道標誌

圖 11 為圓環標誌之實景圖，用以促使車輛駕駛人注意慢行，讓內環車輛優先通行，視需要設於圓環將近之處。



圖 11 圓環標誌

由於交通部「道路交通標誌標線號誌設置規則」未給予各標誌唯一代碼，為便利快速參照，須針對各標誌設計唯一代碼，記錄於設計類別內，供自駕車解讀。完整之標誌種類及代碼請參見表 A.4。

4.7 號誌

依交通部「道路交通標誌標線號誌設置規則」之規定，道路上設置之號誌可區分為行車管制號誌、行人專用號誌及特種交通號誌。號誌係一由電力運轉之交通管制設施，通常設於交岔路口或其他必要地點，以紅、黃、綠三色燈號或輔以音響，指示車輛及行人停止、注意與行進。自駕車須可及時辨識其顯示狀態而決定停止或行進。每一號誌之燈號數目及種類不同，本標準納入「道路交通標誌標線號誌設置規則」之號誌，並給予代碼，完整號誌種類及代碼請參見表 A.5。號誌之結構可區分為燈頭、燈架、控制器及線路，本標準記錄燈頭、控制器及燈架之資料，分別記錄於三個設計類別。圖 12 為行車管制號誌之實景圖。為提供車輛進行辨識，號誌須記錄屬性資訊及燈頭之代表位置，以三維點坐標表示。



圖 12 行車管制號誌

燈頭之組成如圖 13 所示，包含燈箱、罩簷、鏡面，每一鏡面顯示不同之燈號。每一燈號之記錄資訊包括鏡面之代表位置、鏡面面對之方位、半徑及燈號類型。鏡面代表位置以三維點坐標表示。

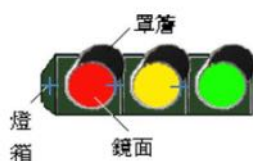


圖 13 燈頭的組成

此外，為了交通控制，停止線須與相關之號誌建立關聯性。號誌之控制器用以控制號誌，在交叉路口中，停止線、號誌控制器與車道連結關係是整合之資訊，須於標準架構中建立關聯，以提供自駕車辨識使用。最後，燈架須記錄桿柱之底部基座中心點三維點坐標以及高度。

4.8 物體

物體可為道路路段上或側邊之物體，包括路燈、路樹、桿柱、牆、電信箱…等，皆可視為一種物體。路燈、桿柱、號誌與標誌之支撐桿等物體，分別記錄基座中心點之三維坐標及長、寬，及頂點高度，不處理複雜形狀，以直立桿狀物記錄。路樹記錄路樹底部中心點之三維坐標及長、寬，及頂點高度。牆、電信箱、分向島及其他非桿狀之物體，以三維角點序列繪製其底部範圍，並記錄一頂點高度，以外包範圍之概念，簡化其幾何表示。圖 14 為路燈之實景圖。



圖 14 路燈

4.9 隧道

本標準定義相關類別記錄隧道之代表位置，並設計相關屬性記錄隧道之必要資訊，包含隧道名稱、長度、高度限制、是否有具有照明、限制車種等屬性。隧道須依附於道路資料一併記錄，隧道內之道路及車道之記錄方式與其他道路相同，隧道資料僅記錄代表位置及屬性，使得自駕車可辨識行駛之車道位於隧道內。

4.10 橋梁

依交通部「公路橋梁設計規範」之規定，橋梁結構應能承受各種載重，並達成使用性與安全性之目標。本標準定義相關類別記錄橋梁之位置，採代表位置記錄，並設計相關屬性記錄橋梁之必要資訊，包含橋梁名稱、允許載重、車道識別碼等屬性，設計屬性參考「公路橋梁設計規範」之規定。橋梁須依附於道路資料一併記錄，橋梁上之道路及車道之記錄方式與其他道路相同，橋梁資料僅記錄代表位置及屬性及橋梁上之車道識別碼，使得自駕車可辨識行駛之車道位於橋梁上。

4.11 交叉路口

依交通部「公路路線設計規範」，交叉路口之正式名稱為公路交叉，其型式可分為平面交叉及立體交叉，高速公路與各級路相交，均應採用立體交叉。設計速率 80 公里/小時以上之公路與各級路相交，宜採用立體交叉。其他公路交叉須考量路口交通特性、肇事率、幾何條件等因素決定型式。

交叉路口內之道路在現實世界沒有劃設車道線，但遵循本標準之圖資仍須依據可行進之車道連結關係，記錄道路、車道、車道中心線、車道中心線節點，並記錄各道路及車道之連結關係，方可建構完整之交通路網。依據前述之設計，交叉路口得設置號誌控制、停止線及車道連結關係，以提供自駕車整合交通控制所需之資訊。圖 15 為各道路於交叉路口之連結關係示意圖，黃色箭頭顯示部分之道路連結關係，交叉路口須記錄 id 1 之道路可連結至 id 2、id 3、id 4 之道路，依此類推，記錄交叉路口內所有連結關係。以道路連結關係為基礎，再進行車道連結關係。

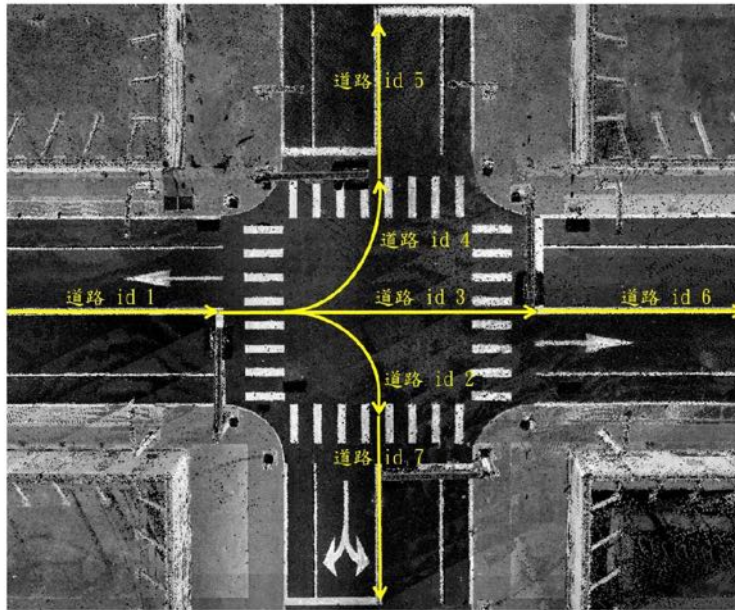


圖 15 交叉路口

5. 應用綱要

本標準之目的為規定自駕車高精地圖流通之資料模型，包括概念資料模型及實際流通之資料格式內容。本章設計自駕車高精地圖之 UML 應用綱要，包括類別及屬性設計，提供概念資料模型。本標準 UML 應用綱要遵循 OpenDRIVE 1.5 標準之 XML 綱要而設計，並依我國之需求加以擴充設計。

5.1 坐標參考系統

本節說明本標準使用之坐標參考系統，供各類別及屬性之描述使用。

5.1.1 慣性坐標系統

慣性坐標系統可指定坐標參考系統，以表示絕對位置，具有平面坐標(x,y)及高程(z)，x 為東方、y 為北方、z 為高程。三個旋轉角分別為 heading、pitch 及 roll。heading 圍繞 z 軸，pitch 圍繞 y 軸，roll 圍繞 x 軸。OpenDRIVE 僅參考線直接記錄慣性坐標系統之坐標。

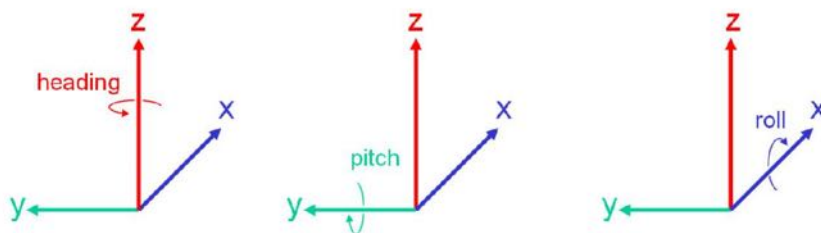


圖 16 慣性坐標系統的旋轉角

5.1.2 軌跡坐標系統

軌跡坐標系統為一右手坐標系統，係依道路之行進方向而定義之坐標系統。參考線之前進方向為 s 軸，t 軸為參考線之橫移方向，h 為縱軸，軌跡坐標系統(s、t、h)為一個右手坐標系統。OpenDRIVE 以此軌跡坐標系統描述車道及其他各種物體相對於參考線之位置，僅參考線具有慣性坐標系統的坐標，其他資料皆以軌跡坐標系統之坐標記錄。此設計與地理資訊系統常用地理坐標或慣性坐標之方式不同，本標準因此採取雙

軌並行之方式設計，在滿足 OpenDRIVE 規定下另行提供地理坐標，使用者可在取得資料後依其需求而抽取合適之資料。

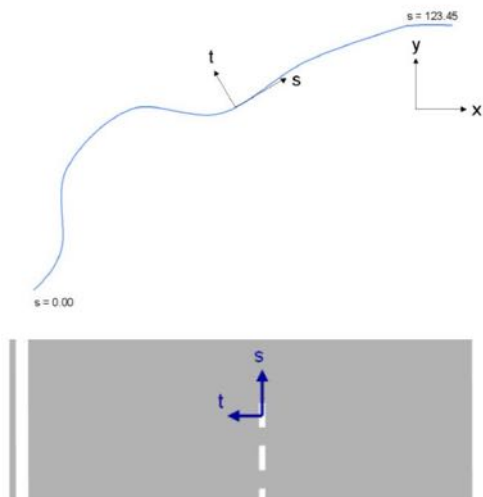


圖 17 OpenDRIVE 的軌跡坐標系統

以軌跡坐標系統描述各類別之三個旋轉角，分別為 heading、pitch 及 roll。heading 圍繞 h 軸，pitch 圍繞 t 軸，roll 圍繞 s 軸，請參見圖 18。

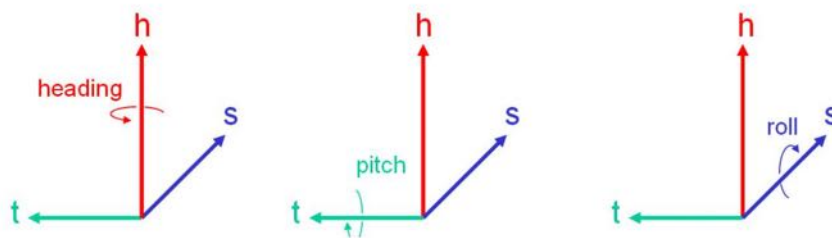


圖 18 軌跡坐標系統的旋轉角

5.2 road(道路)應用綱要

本標準 UML 之主架構符合 OpenDRIVE 1.5 標準，道路以「road」類別設計，其下可記錄 9 個類別，包括「link」、「type」、「planView」、「elevationProfile」、「lateralProfile」、「lanes」、「objects」、「signal」及「userdata」，皆引用 OpenDRIVE 之「Road records」，UML 請參見圖 19。userdata 為 OpenDRIVE 設計之類別，用以記錄

OpenDRIVE 未定義之資料，使其具有擴充性。本標準基於我國國情擴充設計之類別，
可以本標準規定之 XML 綱要(請參見附錄 C)，記錄於 userdata 內。

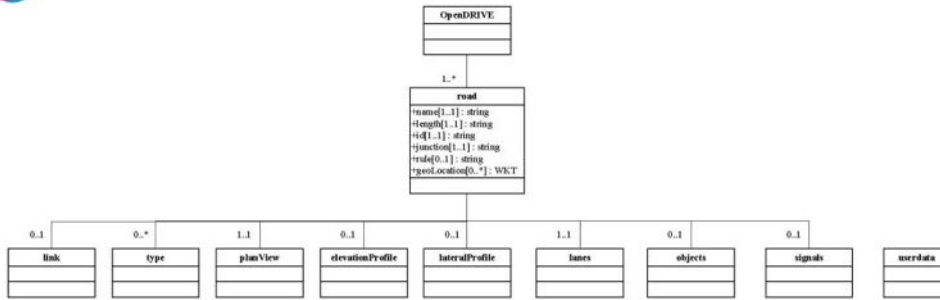


圖 19 高精地圖標準之應用綱要

road 類別記錄 name、length、id、junction、rule 及 geoLocation 等 6 項屬性，前 5 個屬性引用自 OpenDRIVE，name 記錄道路之名稱，length 記錄道路參考線長度，id 記錄道路之識別碼，junction 記錄道路屬於一般道路或是交叉路口，rule 記錄道路是左駕系統或右駕系統。geoLocation 為本標準擴充之屬性，為選擇屬性，以 WKT 型別記錄道路參考線線形在慣性坐標系統之三維線坐標。

依據圖 19 之架構，道路可分為不同道路路段，一個道路路段以一個 road 類別記錄。road 類別之特性說明如下：

1. road 類別僅有一個參考線，可以一個或兩個以上之線形表示，線形以 planView 類別之 geometry 類別記錄。
2. road 類別於停止線、交叉路口須切割劃分，並記錄完整路網之道路路段連結關係。
3. road 類別除了在停止線、交叉路口須切割劃分，在線形具有變化時，可隨著線形變化而切割劃分，以圖 20 為例，具有兩個道路參考線，一個道路參考線記錄直線線形，一個道路參考線記錄弧線線形。
4. 每一個 road 類別視為獨立之軌跡坐標系統，參考線之線形起點設 $s=0$ ；若具有第二個線形，其起點 s 為前一個線形終點 s 位置，接續記錄。
5. road 類別內之各種資料，包括道路及車道之坐標及屬性、交叉路口之車道連結關係、各種物件(路燈、路樹、隧道、橋梁...)，以及道路上的標線、標誌、號誌，均以參考線之軌跡坐標系統為基準，記錄相對之 s 坐標、 t 坐標、 h 高程及各種屬性。

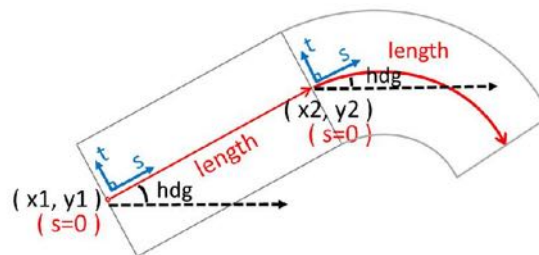


圖 20 前後連結之參考線，具有不同線形

5.3 link 相關類別

link 類別記錄 road 類別與其他 road 類別的連結關係，引用自 OpenDRIVE。以圖 22 為例，圖中有 7 個以 road 類別記錄之道路。在描述道路 2 之 road 類別資料時，可以 predecessor 類別記錄道路 1，而道路 2 前進之方向具有 3 個連結道路，分別是 3、4、5，使用 successor 類別記錄。以此類推，建構出道路路網。處於交叉路口的道路，例如圖中的 3、4、5，在 OpenDRIVE 裡稱為虛擬道路，而 1、2、6、7、8 則為實體道路，3、4、5 在現實世界不具有清楚標示之車道線，因此做為區隔。

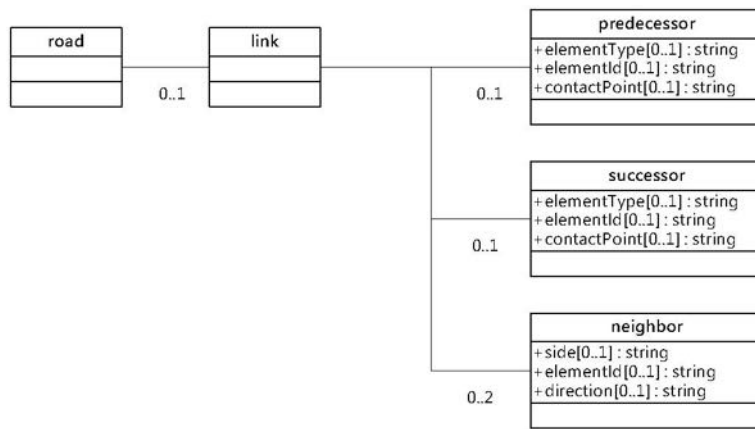


圖 21 link 類別及相關類別

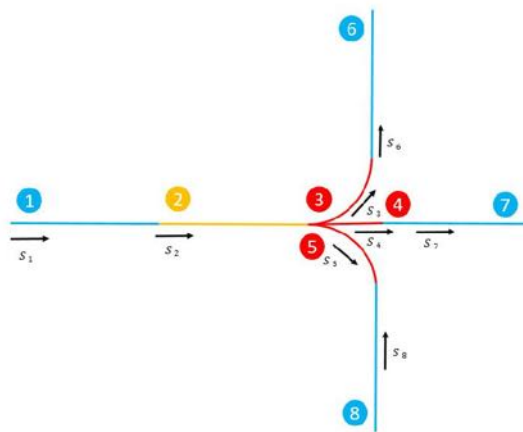


圖 22 道路前後關係

前後連結關係以 predecessor 與 successor 記錄，左右則以 neighbor 記錄。predecessor 記錄前一個連結元素，successor 記錄下一個連結元素，兩者具有相同屬性。elementType 記錄道路屬於一般道路或交叉路口，elementId 記錄道路的識別碼，contactPoint 記錄連結道路之起點或終點。neighbor 提供左右相鄰 road 類別之資訊，包括 side、elementId 與 direction。side 敘述相對方位，elementId 記錄連結元素的識別碼，direction 則是敘述相鄰 road 的方向。各屬性之填寫內容可參見資料典之說明。

5.4 type 相關類別

type 記錄 road 的類型，引用自 OpenDRIVE，每個 type 屬性包括 s、type 及 country，皆為必要屬性。type 類別可以記錄多次，以 s 坐標位置作為區分。屬性 type 是道路類型，此屬性在 OpenDRIVE 以 Road Type 代碼表示，本標準引用其代碼，請參見表 B.1。country 是國家代碼，speed 類別限速，max 文字填寫限速規定或數值，unit 記錄單位，皆為選擇屬性。

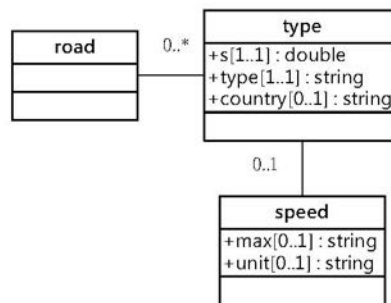


圖 23 type 類別及相關類別

5.5 planView 相關類別

planView 記錄 road 類別之參考線平面位置，引用自 OpenDRIVE。參考線的線形以一個 geometry 類別記錄，可以依序記錄多個 geometry。每一個 geometry 之屬性皆為必要屬性，包括 s、x 與 y(慣性坐標系統的 x、y 坐標)、hdg、length，表現一個線形之空間位置，請參見圖 24。

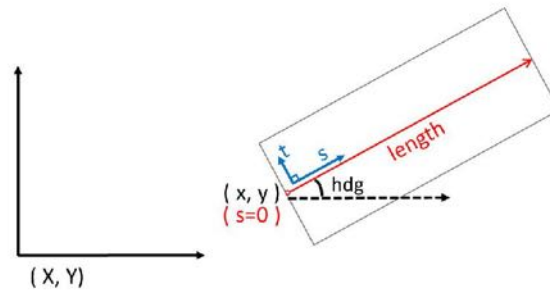


圖 24 geometry 類別記錄參考線之線形空間位置

geometry 類別記錄之線形除了直線，還包括其他 4 種線形，總計有 5 種線形，請參考圖 25。geometry 類別僅可擇一記錄，各種線形定義說明如下：

1. line：記錄直線，curvature(曲率)為 0，為必要屬性，不需額外記錄其他資訊。
2. spiral：記錄螺旋線，以 curvStart(起始曲率)與 curvEnd(結束曲率)來定義螺旋線，皆為必要屬性，另外，起始曲率與結束曲率之間的變化為線性關係。
3. arc：記錄弧線，以 curvature(曲率)記錄弧線的曲率，為必要屬性，值為常數。
4. cubic polynomial：記錄三次多項式之線形，利用 local u/v coordinate system 來表示起始點，每個坐標可以透過以下公式計算，將三次多項式的參數記錄於 poly3 類別內的 a、b、c、d 屬性，所有屬性為必要屬性：

$$v_{local} = a + b * du + c * du^2 + d * du^3$$

5. parametric cubic polynomial：記錄參數立方曲線，參數立方曲線使用的坐標系統為 local u/v，參數立方曲線由兩個三次多項式組成，以共同參考系數 p 來描述 local u/v 坐標系統，由 paraPoly3 類別之屬性記錄兩個三次多項式之計算參數，所有屬性為必要屬性。

$$u_{local} = a_u + b_u * p + c_u * p^2 + d_u * p^3$$

$$v_{local} = a_v + b_v * p + c_v * p^2 + d_v * p^3$$

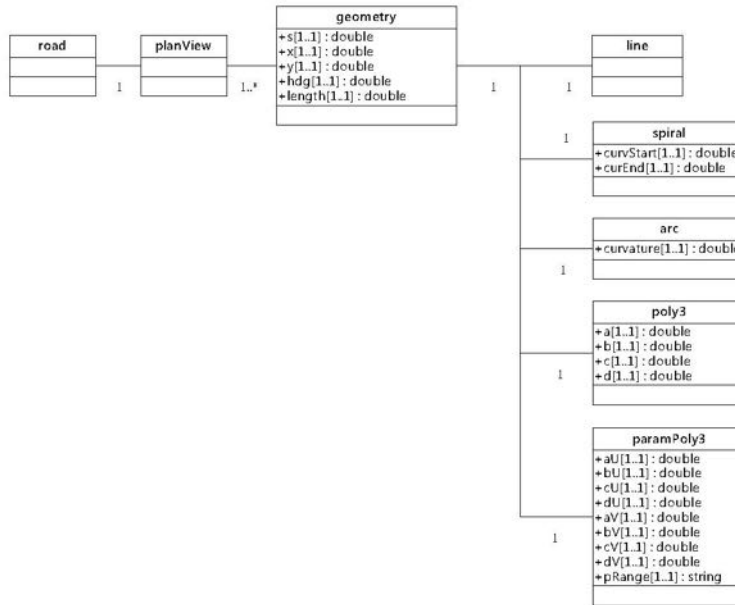


圖 25 planView 類別及相關類別

5.6 elevationProfile 相關類別

elevationProfile 類別記錄 road 類別的縱斷面高程變化，引用自 OpenDRIVE。elevationProfile 可記錄多個 elevation 類別，每一個 elevation 類別指定起始 s 坐標，前進 ds 距離之高程值 elev 則可以三次多項式表示，將三次多項式的參數記錄於 elevation 類別內的 a、b、c、d 屬性，每一屬性皆為必要屬性，elev 三次多項式如下：

$$\text{elev} = a + b * ds + c * ds^2 + d * ds^3$$

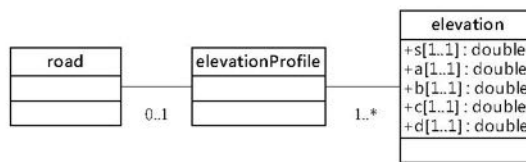


圖 26 elevationProfile 類別及相關類別

5.7 lateralProfile 相關類別

lateralProfile 類別記錄 road 類別的橫斷面高程變化，引用自 OpenDRIVE，包括傾斜角度或道路平面表示，分為 superelevation、crossfall 及 shape 等三種類別。請參見圖 27。

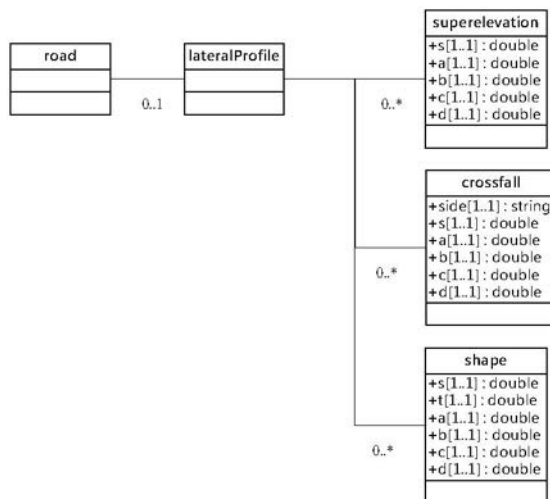


圖 27 lateralProfile 類別及相關類別

superelevation 類別記錄道路平面沿著 s 軸的傾斜角(圖 16 的 roll)，角度為正代表道路向右沉下，反之則向左抬升，圖 28 為應用 superelevation 後之示意圖，圖中 superelevation 為負值。在指定的 s 坐標起算，前進距離 ds 之傾斜角 sElev 以三次多項式表示，此三次多項式之參數記錄於 superelevation 類別的 a、b、c、d 之屬性，每一屬性皆為必要屬性。

$$sElev = a + b * ds + c * ds^2 + d * ds^3$$

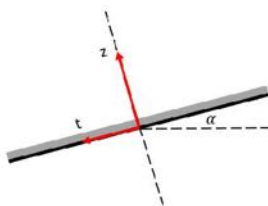


圖 28 superelevation 示意圖

crossfall 類別記錄道路平面與 t 軸之間的角度(弧度)，可分別記錄道路兩側，屬性 side 填寫 left 代表左側，right 代表右側，both 代表兩側。數值為正代表角度向下落下，如圖 29 所示。在指定 s 坐標，前進 ds 距離之 crfall 角度值，以三次多項式描述，每一屬性皆為必要屬性。

$$crfall = a + b * ds + c * ds^2 + d * ds^3$$

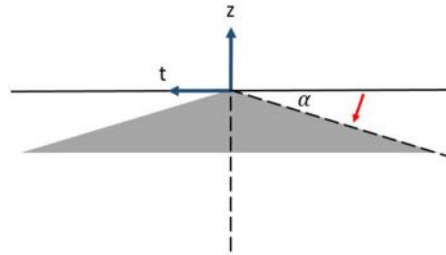


圖 29 crossfall 示意圖

shape 類別記錄道路橫斷面的路面曲線。在指定 s 坐標之橫移 dt 之 hshape 可使用以下三次多項式表示，將參數記錄於 shape 類別之 a、b、c、d 屬性，每一屬性皆為必要屬性。

$$h_{shape} = a + b * dt + c * dt^2 + d * dt^3$$

可以多個 shape 類別記錄道路橫斷面變化，而 shape 之間的變化則以內插表現。此外，shape 類別可與 superelevation 整合使用，但不可與 crossfall 整合使用。



圖 30 shape 示意圖

5.8 laneSection 相關類別

laneSection 可記錄道路路段內的車道，引用自 OpenDRIVE，一個 road 可記錄多個 laneSection 類別。車道以 lane 類別記錄，並有 center、left、right 之區分。center 記錄的車道為 OpenDRIVE 之參考線，設定其車道 id 為 0，與 t 軸同方向稱為 left，id 為正，記錄整數，由 1 開始遞增，反方向為 right，id 為負，由 -1 開始遞減，示意圖請參見圖 31。

UML 圖請參見圖 32。laneSection 之屬性 s 記錄 laneSection 之起始 s 坐標，屬性 singleSide 用以記錄 laneSection 是單向或是雙向車道。

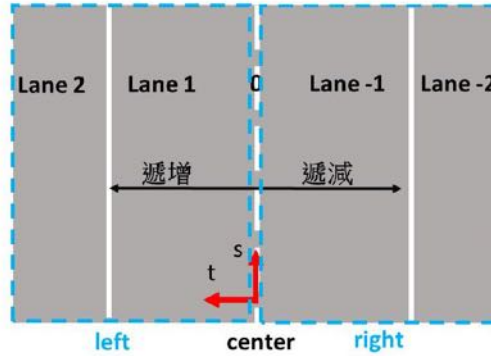


圖 31 laneSection 示意圖

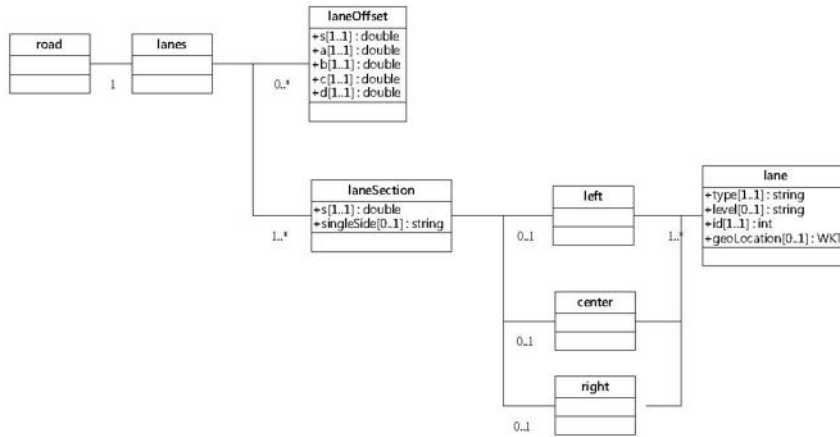


圖 32 laneSection 類別與相關類別

圖 33 之道路以三個 laneSection 記錄，section A 部分之參考線線形以直線表示，section B 部分之參考線線形以 spiral 表示，section C 部分之參考線線形以直線表示，三個 laneSection 分別記錄 center、left、right 內之車道資料。

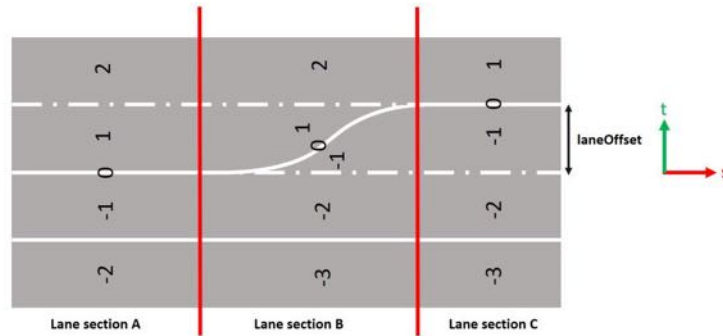


圖 33 道路路段內有三個 laneSection 示意圖

laneOffset 類別可用以記錄參考線線形的橫向位移，依據圖 33 之情形，若 section B、section C 之參考線線形以圖中白色直線虛線記錄(由 section A 之參考線往前延伸)，可運用 laneOffset 將參考線位置進行位移，形成圖中之道路。laneOffset 在指定 s 坐標，前進距離 ds 之位移值 Offset 參數可以下列三次多項式表示，各參數值須記錄於 laneOffset 類別之 a、b、c、d 屬性：

$$\text{Offset} = a + b * ds + c * ds^2 + d * ds^3$$

5.9 lane 相關類別

lane 類別及相關類別用以記錄一個車道的各種資訊，引用自 OpenDRIVE，請參見圖 34。center 內之 lane 類別，OpenDRIVE 設定為參考線，不能記錄 width 類別，僅能記錄 link 類別、roadmark 類別及 border 類別。left 及 right 類別內之 lane 類別則能記錄 lane 類別內之各類別。lane 類別屬性包括 type、level、id 及 geoLocation，type 記錄車道類型，此屬性 OpenDRIVE 以 Lane Type 代碼表示，請參見表 B.5。level 記錄車道是否忽略高程變化，id 記錄車道編碼。geoLocation 為本標準擴充之屬性，以 WKT 資料型別記錄車道外側邊界在慣性坐標系統之三維線坐標。

lane 類別可以 link 類別記錄單一車道連結關係，predecessor 記錄連結的前一車道編碼，successor 記錄連結的下一車道編碼。lane 類別可以 width 類別或 border 類別記錄車道的空間位置，在 width 類別及 border 類別中擇一記錄，以表示車道的空間位置。width 類別以三次多項式表示車道外側邊界到內側邊界之 t 軸位移量(即為車道寬度)；border 類別

別則以三次多項式表示車道外側邊界到參考線之 t 坐標。兩種類別皆可表示車道外側邊界的空間位置。

前進距離 ds 之車道寬度以三次多項式來計算 $width$ ：

$$width = a + b * ds + c * ds^2 + d * ds^3$$

前進距離 ds 之車道邊界(t 坐標)之三次多項式為：

$$t_{border} = a + b * ds + c * ds^2 + d * ds^3$$

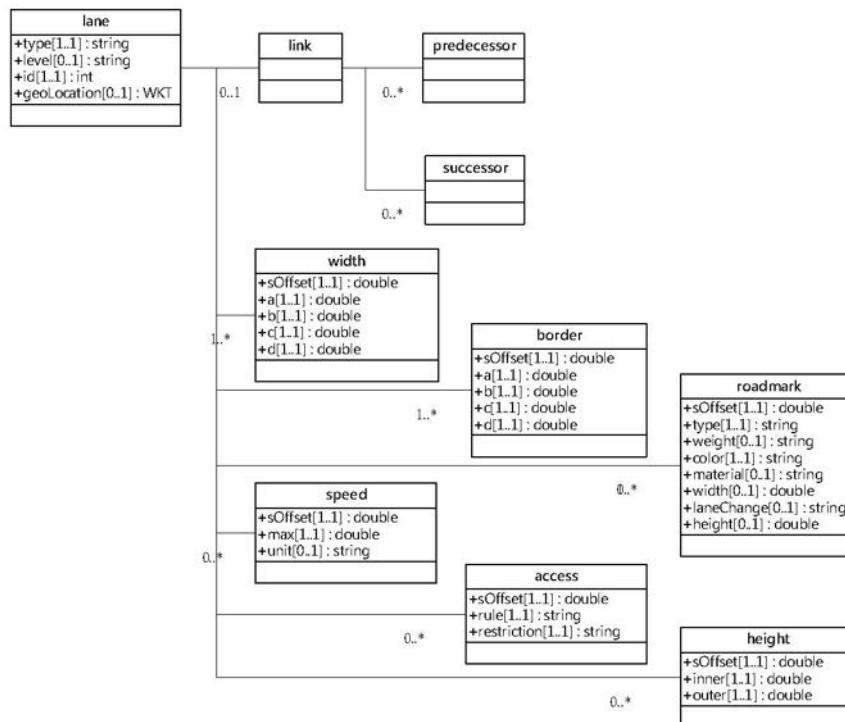


圖 34 lane 類別及相關類別

roadmark 類別用以表示每一個 lane 類別的車道邊界(亦等於車道線)的樣式， $sOffset$ 為 s 軸位移量。 $type$ 為車道線類型，以 Road Mark Type 代碼表示，請參見表 B.2。 $weight$ 為車道線之粗細，以 Road Mark Weight Type 代碼表示，請參見表 B.3。 $color$ 為車道線之顏色，以 Road Mark Color Type 代碼表示，請參見表 B.4。 $material$ 為車道線材質， $width$ 為車道線本身寬度，單位為公尺， $laneChange$ 記錄是否允許改變車道。 $height$ 記錄車道線標線高度。

speed 類別記錄限速資訊，sOffset 為 s 軸位移量，max 為最高速限，unit 記錄單位。
 access 類別記錄車道限用資訊，sOffset 為 s 軸位移量，rule 記錄 allow 或 deny，restriction 則填寫車輛種類，以 Access Restriction Types 代碼表示，請參見表 B.9。height 類別記錄車道的高度，sOffset 為 s 軸位移量，inner 代表車道內側高度，outer 記錄外側高度。

5.10 object 相關類別

objects 類別可用以記錄各種物體，引用自 OpenDRIVE，包括路面上及路旁之物體，包括 object 類別、tunnel 類別或 bridge 類別，object 類別的相關類別請參見圖 35。

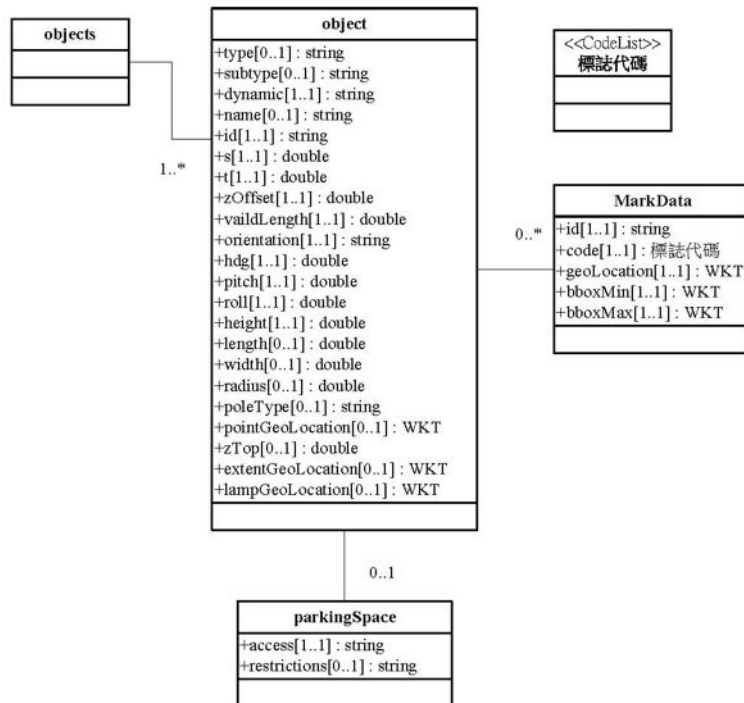


圖 35 object 類別及相關類別

object 類別之屬性 type 記錄物體類型，此屬性以 Road Mark Type 代碼表示，請參見表 B.6。subtype 記錄物體子類型，dynamic 記錄是否為動態，name 記錄物體名稱，id 記錄物體的識別碼，s 為物體之 s 坐標、t 為物體之 t 坐標，zOffset 為物體位於軌跡坐標系統上的 z 軸位移量，validLength 記錄物體投影至 s 軸上的長度，orientation 用以記錄物

體在方向上的有效性。hdg 記錄 heading 角，pitch 記錄 pitch 角，roll 記錄 roll 角，此三個角度皆為強度。height 記錄物體高度，length、width 則用以描述物體在 x、y 平面的長度、寬度。radius 則記錄物體在 x、y 平面的半徑。

其他 5 個屬性為本標準所擴充之屬性，poleType 僅適用於桿狀物體，記錄桿柱之類型。另外 4 個屬性則記錄物體在慣性坐標系統之坐標，皆為選擇屬性。pointGeoLocation 以 WKT 型別記錄物體底部中心之三維點坐標，zTop 記錄物體最高點之橢球高，extentGeoLocation 以 WKT 型別記錄物體底部範圍之位置，以三維角點序列坐標記錄，lampGeoLocation 以 WKT 型別記錄路燈之燈具表面中心點之三維點坐標。

當以 object 類別記錄停車格時，須另外再關聯 parkingSpace 類別記錄停車的限制資訊，可記錄 access 與 restrictions 等兩個屬性，access 記錄停車格類型，restrictions 則以文字描述停車格限制。

標誌分為標牌牌面及標誌桿兩部分，標誌桿可以 object 類別記錄，牌面則以本標準擴充之 MarkData 類別記錄，其屬性 id 為識別碼，code 為標誌代碼，此屬性以本標準設計之「標誌代碼」表示，請參見表 A.4，另 3 個屬性記錄牌面中心點、牌面之包圍矩形左下點位及右上點位之坐標，皆以慣性坐標系統之坐標記錄，geoLocation 以 WKT 型別記錄牌面中心點之三維點坐標。bboxMin 記錄牌面包圍矩形的左下點位三維坐標，bboxMax 記錄牌面包圍矩形的右上點位三維坐標。

5.11 tunnel 相關類別

tunnel 類別用以記錄隧道，引用自 OpenDRIVE，objects 類別內可以記錄多個 tunnel 類別。tunnel 類別僅記錄代表位置，屬性 s 記錄 tunnel 之起點 s 坐標，length 則是隧道在 s 軸上的有效長度，name 為隧道名稱，id 為隧道之識別碼，type 為隧道類型，此屬性 OpenDRIVE 以 Tunnel Type 代碼表示，請參見表 B.7。lighting 記錄隧道人工照明程度，daylight 則為自然照明程度。OpenDRIVE 之 validty 類別則記錄隧道的有效車道範圍，fromLane 記錄車道起始編號(對應至 laneSection 內之車道 id)，toLane 記錄車道結束編號。geoLocation 為本標準擴充屬性，以 WKT 型別記錄隧道之空間範圍的慣性坐標系統三維角點序列坐標。

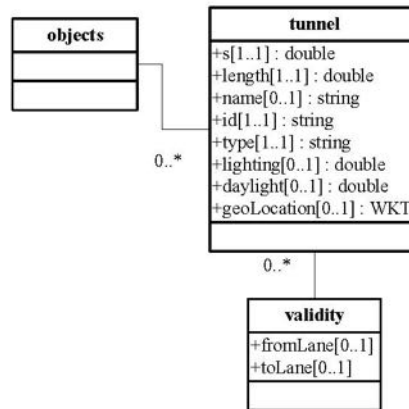


圖 36 tunnel 類別及相關類別

5.12 bridge 相關類別

bridge 類別記錄橋梁，引用自 OpenDRIVE，bridge 類別僅記錄代表位置，其屬性 s 記錄橋梁之起點 s 坐標，length 則是橋梁在 s 軸上的有效長度，name 為橋梁名稱，id 為橋梁之識別碼，type 為橋梁類型，以 Bridge Type 代碼表示，請參見表 B.8。OpenDRIVE 之 validity 類別為則記錄橋梁的有效車道範圍，fromLane 記錄車道起始編號(對應至 laneSection 內之車道 id)，toLane 記錄車道結束編號。geoLocation 為本標準擴充屬性，以 WKT 型別記錄橋梁之空間範圍的慣性坐標系統三維角點序列坐標。

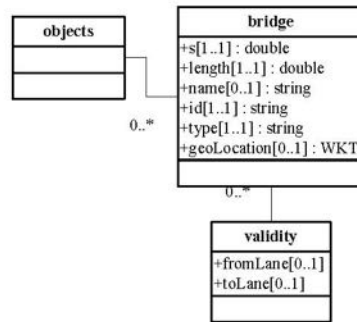


圖 37 bridge 類別及相關類別

5.13 signal 相關類別

號誌分為燈頭及燈柱兩個部分，燈柱以 object 類別記錄，燈頭則以 OpenDRIVE 之 signal 類別記錄。signal 類別及相關類別請參見圖 38。

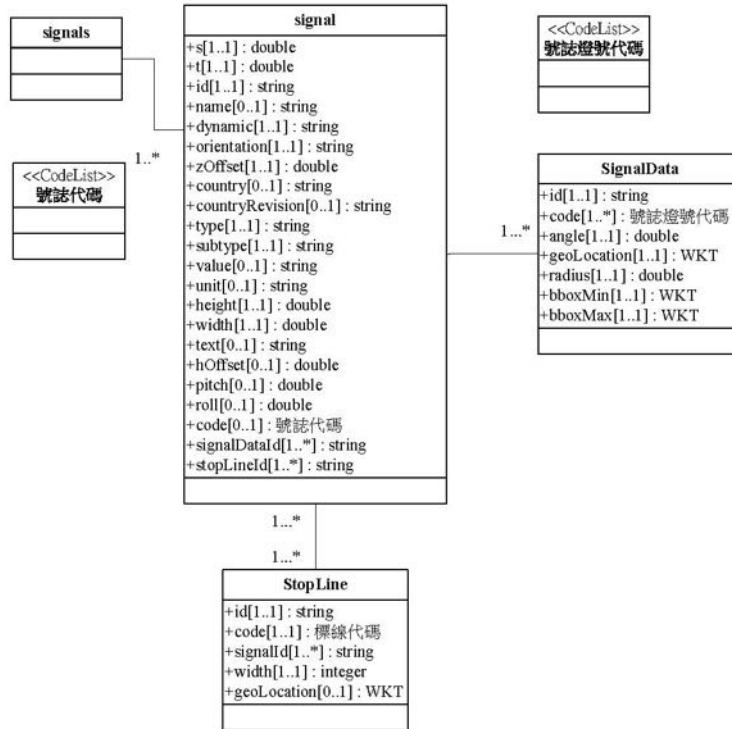


圖 38 signal 類別及相關類別

燈頭由 signal 類別記錄，燈號由本標準擴充之 SignalData 類別記錄，號誌燈頭可以關聯一到多個燈號。signal 類別之屬性 s 記錄號誌燈頭中心點之 s 坐標，屬性 t 記錄號誌燈頭中心點之 t 坐標，id 為號誌識別碼。name 為號誌名稱，dynamic 填寫號誌是否為動態資訊，orientation 填寫號誌燈頭之方向，zOffset 為號誌位於軌跡坐標系統上的 z 軸位移量，country 為國家代碼，countryRevision 為版本，type 及 subtype 為 OpenDRIVE 設計之號誌類型。value 及 unit 描述號誌之值，height 記錄號誌燈頭高度，width 則用以描述號誌在 s、t 平面的寬度，text 為文字敘述，hOffset 記錄 heading 角度的強度(以 orientation 屬性為基準)，pitch 記錄 pitch 角，roll 記錄 roll 角，此三個角度皆為強度。

燈頭之個別燈號以本標準擴充之 SignalData 類別記錄，其屬性 id 為燈號識別碼，code 為號誌燈號代碼，此屬性以本標準設計之代碼表示「號誌燈號代碼」，請參見表 A.2。angle 記錄燈號鏡面法向量與正北方之夾角角度，geoLocation 為燈號中心點之慣性坐標系統三維坐標。radius 記錄燈號之半徑，bboxMin 記錄燈號包圍矩形的左下點位慣性坐標系統三維坐標，bboxMax 記錄燈號包圍矩形的右上點位慣性坐標系統三維坐標。

停止線以本標準擴充之 StopLine 類別記錄，其屬性 id 為識別碼，code 為標線代碼，此屬性以本標準設計之代碼「標線代碼」表示，請參見表 A.3。signalId 則記錄與停止線關聯的號誌識別碼，width 記錄停止線之寬度，geoLocation 以 OGC WKT 格式記錄停止線的中心線三維坐標。

為使自駕車依據號誌行駛或停止，須記錄號誌與停止線之關係，本標準將號誌燈頭之 signal 類別與停止線之 StopLine 類別建立關聯性關係。號誌燈頭可關聯到多個停止線，停止線可以關聯到多個號誌燈頭。

5.14 controller 相關類別及 junction 相關類別

OpenDRIVE 以 junction 類別建立交叉路口內各車道的連結關係，以建構出完整的路網，並在 junction 類別裡以 controller 類別提供相關之號誌控制資訊，整合各交叉路口之車道連結及號誌控制，提供自駕車完整之資訊。controller 相關類別及 junction 相關類別請參見圖 39。

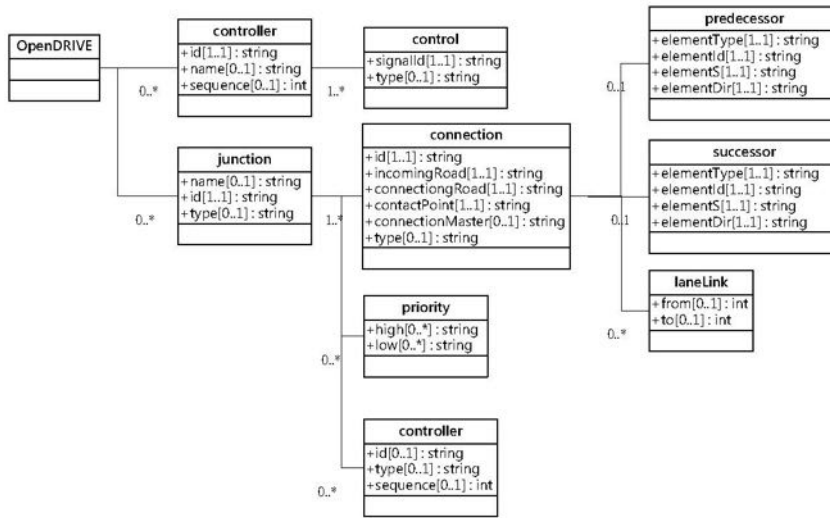


圖 39 junction 類別及相關類別

controller 類別記錄一組號誌，單一號誌以 control 類別記錄，請參見圖 40。controller A 記錄一組號誌，這組號誌以一個 control 記錄 signal 1，另一個 control 記錄 signal 3。controller 類別屬性 id 記錄識別碼，name 記錄名稱，sequence 用以記錄同一個交叉路口內 controller 之優先次序。control 類別屬性 signalId 則記錄單一號誌之識別碼，type 記錄 control 的類型，可用以記錄號誌類型。

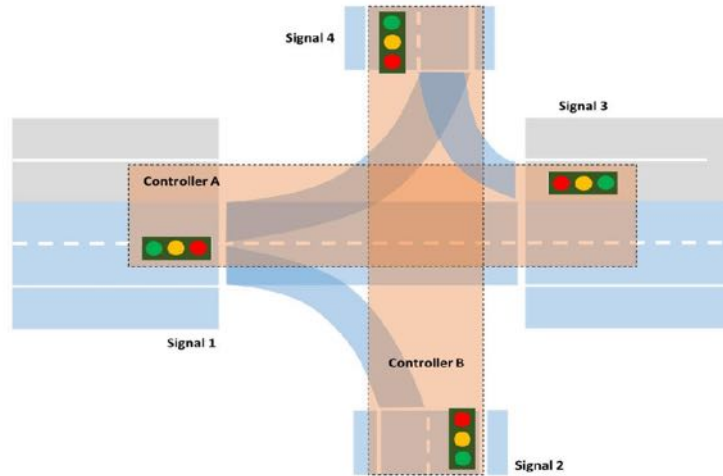


圖 40 controller 和 signal 示意圖



交叉路口以一個或多個 junction 類別記錄，並以 connection 類別記錄每一個道路車道連結關係。junction 類別屬性 name 記錄交叉路口名稱，id 為識別碼，type 為交叉路口類型，填寫 default 代表預設之交叉路口，填寫 virtual 代表包含私人道路之交叉路口。

connection 類別之屬性 id 為識別碼，incomingRoad 為連結關係之起始道路，connectingRoad 則是連結道路，contactPoint 是連結道路的連結端點。connectionMaster 則記錄主要連結關係之識別碼，type 為車道連結關係類型，填寫 default 代表預設之連結關係，填寫 virtual 代表兩車道之間沒有正式定義之連結關係，但具有可能性之車道連結關係。

connection 類別以 predecessor、successor 類別記錄前一車道、後一車道之資訊，或以 laneLink 記錄車道的連結關係。predecessor 與 successor 之屬性設計相同。elementType，在此必須記錄「road」，elementId 識別碼須填寫道路之識別碼，elementS 則為 connection 起始點之 S 坐標，elementDir 記錄方向。laneLink 記錄方式以屬性 from 記錄起始的車道編號，屬性 to 記錄連結之車道編號。

圖 41 顯示交叉路口內道路及車道之連結關係範例，以 connection 及 laneLink 記錄 Road 10 與 Road 20 之連結關係，則 connection 之 id 為識別碼，incomingRoad 為「Road 10」，connectionRoad 為「Road 20」，contactPoint 填寫 connectionRoad 之端點，即為「start」。type 填寫「default」。此車道連結關係可以記錄兩個 laneLink，一個 laneLink 屬性 from 為「-1」，to 為「-1」，另一個 laneLink 之屬性 from 為「-2」，to 為「-2」。此連結說明 Road 10 之車道編號-1 連結到 Road 20 之車道編號-1，Road 10 之車道編號-2 連結到 Road 20 之車道編號-2。

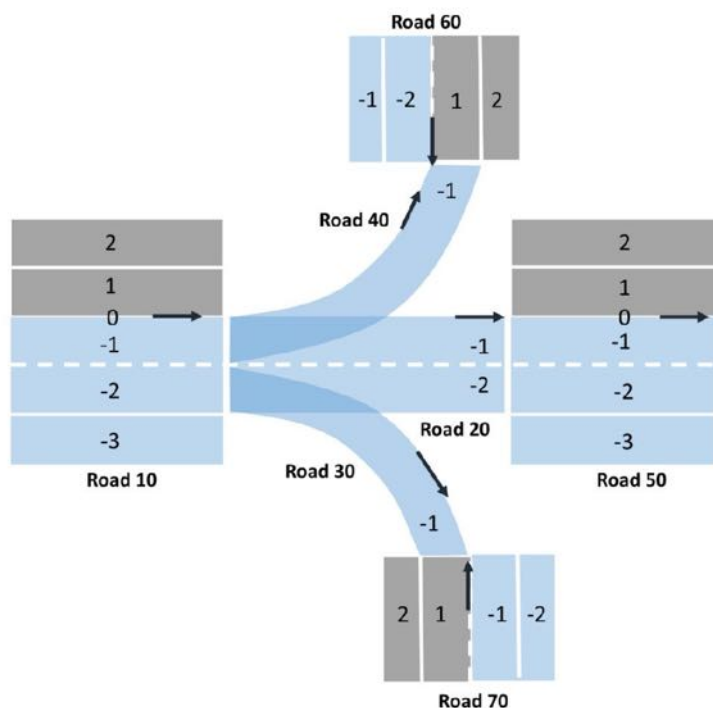


圖 41 交叉路口內道路及車道連結關係範例

5.15 userdata 類別

userdata 為 OpenDRIVE 設計之類別，可提供記錄 OpenDRIVE 未包括但使用者所需之描述對象。為符合 OpenDRIVE 規定，本標準擴充之類別記錄於 road 類別內之 userdata 類別。每一個 road 以一筆 userdata 類別記錄擴充類別資料，屬性 code 為描述對象，統一填寫「hdmap」，屬性 value 為內容，統一填寫「xml」，any 類別以本標準擴充設計類別 XML 綱要(請參見附錄 C)記錄。

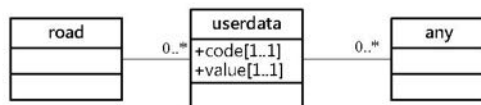


圖 42 userdata 類別

5.16 MarkLine 相關類別

標線用線條劃設，依標線所對應之空間位置，可區分為線及空間範圍，例如停止線劃設之空間位置為三維線，而指向線則劃設出一個指示車輛行駛方向之三維空間範圍。

本標準將標線對應之空間位置區分為三維線及三維空間範圍，並依此原則設計擴充類別，用以記錄交通部所定義之各種標線。由於交通部「道路交通標誌標線號誌設置規則」未給予各標線唯一代碼，本標準另定義各標線之「標線代碼」，請參見表 A.3，記錄於設計類別內，供自駕車解讀。

依「道路交通標誌標線號誌設置規則」所定義之各種標線，本標準設計 3 個對應類別，包括 MarkLine 類別、MarkArea 及 MarkGraph 類別。請參見圖 43。

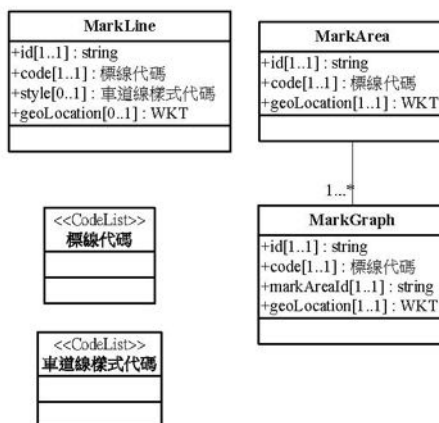


圖 43 MarkLine 類別及相關類別

所有標線之劃設方式包括線形、複雜圖形及標字，且標線具有不同樣式及顏色，須記錄為屬性，以提供自駕車參考。所有標線請參見表 A.3，可用寬度、樣式繪製之標線，以 MarkLine 類別記錄，例如停止線、車道線、路面邊線、轉彎線...等標線，以 MarkLine 類別記錄，MarkLine 使用三維線表示標線之中心線位置。MarkLine 類別之 id 屬性記錄標線之識別碼，code 記錄標線代碼，屬性 style 記錄車道線樣式代碼，僅車道線需要記錄，此屬性以本標準設計之代碼填寫，請參見表 A.1。geoLocation 屬性以 OGC WKT 格式記錄標線之中心線三維坐標。

具複雜圖形的標線及標字則以 MarkGraph 記錄，MarkGraph 以三維空間範圍表示標線的圖形及標字，例如網狀線、槽化線、近障礙物線...等標線中的圖形，無法直接使用線表示空間範圍時，則以 MarkGraph 類別記錄。各種標字，例如禁止臨時停車線的標字，以 MarkGraph 類別記錄。MarkGraph 類別之屬性 id 為識別碼，markareaId 屬性則用以關聯 MarkArea 類別，geoLocation 則以 WKT 型別記錄標線或標字實形空間範圍的三維角點序列坐標。例如枕木紋人行穿越道之標線，須以圖 44 中綠色的實形，記錄所有標線實形之空間範圍。

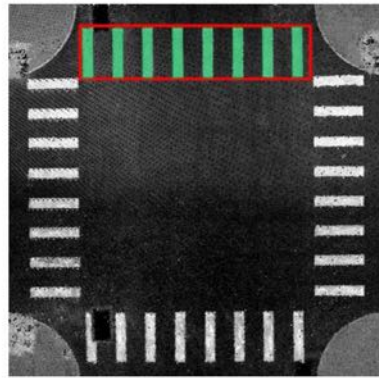


圖 44 MarkGraph 類別記錄枕木紋人行穿越道

有幾種類型之標線對於駕駛行為有關，且可能出現於車道內或路肩，須表示其空間範圍以提供自駕車參考，包括停車格、網狀線、行人穿越道、機慢車待轉區，這幾種標線除了以 MarkGraph 記錄之外，還必須以 MarkArea 類別記錄其標線的外包範圍。圖 45 是枕木紋人行穿越道，共有 4 筆資料，以 MarkArea 類別記錄紅色多邊形之外包範圍。MarkArea 類別之 id 屬性記錄標線之識別碼，code 記錄標線代碼，請參見表 A.3，geoLocation 屬性以 OGC WKT 格式記錄標線劃設之空間範圍之三維角點序列坐標。

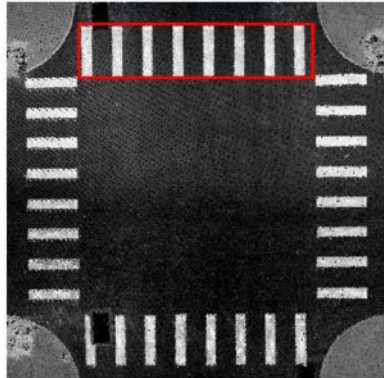


圖 45 MarkArea 類別記錄枕木紋人行穿越道

5.17 LaneCenterLine 相關類別

本標準擴充 LaneCenterLine 類別，用以記錄道路中心線，另擴充 Waypoint 類別記錄道路中心線節點，兩類別建立關聯性關係，道路中心線具有方向性，記錄起點及結束之道路中心線節點，請參見圖 46。圖中之 StopLine 類別已於 5.13 節說明。

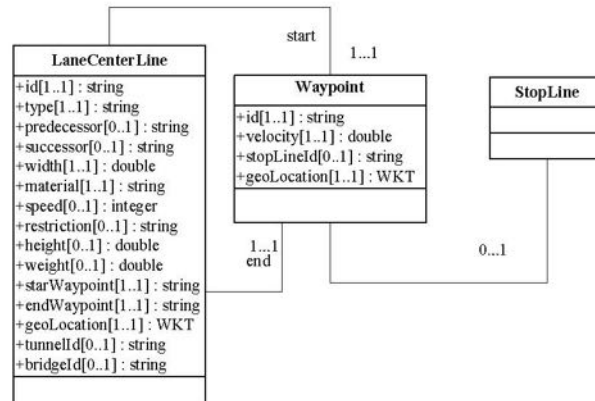


圖 46 LaneCenterLine 類別及相關類別

LaneCenterLine 類別記錄車道中心線，其屬性 id 記錄車道中心線識別碼，type 為車道類型代碼，predecessor 記錄前一車道中心線識別碼，successor 記錄下一車道中心線識別碼，width 記錄車道寬度，material 記錄車道路面材質，speed 記錄車道速限，單位每小時公里，restriction 記錄車道使用限制，height 記錄高度限制，單位為公尺，weight 記錄重量限制，單位為公斤。startWaypoint 記錄起始道路中心線節點之識別碼，

endWaypoint 記錄道路中心線結束節點之識別碼，geoLocation 以 WKT 型別記錄道路中心線三維線坐標。tunnelID、bridgeId 則用以記錄道路中心線所在之隧道、橋梁的識別碼。

Waypoint 類別記錄道路中心線節點，屬性 id 記錄識別碼，velocity 記錄車輛速度，stopLineId 記錄節點所在之停止線識別碼，geoLocation 以 WKT 型別記錄道路中心線節點之三維坐標。

6. 資料典

本章說明應用綱要中各類別之屬性或關係、說明、選填條件、最多發生次數、資料型別、值域及附註之規定，選填條件及最多發生次數係以實際供應資料內容為考量設計。表 1 說明資料典各項目之格式及規定，表 2 為本標準之資料典。資料典中之屬性，灰色網底為本標準擴充之屬性，其他為 OpenDRIVE 所定義之屬性。

表 1 資料典定義說明

項目	說明
類別	類別名稱。
屬性或關係	類別屬性之名稱或類別之間的關係，分為英文名稱及中文名稱。
說明	以文字方式說明該屬性或關係代表之意義。
選填條件	屬性之填寫與否可區分為「必要屬性」(Mandatory, M)、「條件屬性」(Conditional, C)及「選擇屬性」(Optional, O)等三類情形。
最多發生次數	單一屬性或關係可出現之最多次數。
資料型別	說明該屬性型別或關係之種類。
值域	屬性或關係之值域範圍。
附註	額外說明屬性或關係之約制條件或特殊事項。

表 2 資料典

項次	類別	屬性或關係		說明	選擇條件	最多發生次數	資料型別	值域	附註
		英文名稱	中文名稱						
1.	road	name	名稱	道路名稱	M	1	string	文字	
2.		length	長度	參考線的 xy 平面(s 軸)長度	M	1	string	文字	單位 m
3.		id	識別碼	道路的識別碼	M	1	string	文字	
4.		junction	交叉路口	記錄道路是否在交叉路口	M	1	string	文字	road 代表不在交叉路口之範圍內；junction 代表在交叉路口
5.		rule	規則	記錄左駕系統或右駕系統	O	1	string	文字	RHT 代表車輛靠右手邊行駛；LHT 代表車輛靠左手邊行駛
6.		geoLocation	地理位置	記錄道路參考線線形三維線之坐標	O	1	WKT	文字	以 WKT 記錄道路參考線線形在慣性坐標系統之三維線形坐標。
7.	predecessor	elementType	元件類型	連結道路類型	O	1	string	文字	road 代表不在交叉路口之範圍內；junction 代表在交叉路口
8.		elementId	元件識別碼	連結道路識別碼	O	1	string	文字	
9.		contactPoint	連結端點	記錄連結端點	O	1	string	文字	start 代表連結至起點，end 代表連結至終點
10.	successor	elementType	元件類型	連結道路類型	O	1	string	文字	road 代表不在交叉路口之範圍內；junction 代表在交叉路口
11.		elementId	元件識別碼	連結道路識別碼	O	1	string	文字	
12.		contactPoint	連結端點	記錄連結端點	O	1	string	文字	start 代表連結至起點，end 代表連結至終點

52

項次	類別	屬性或關係		說明	選擇條件	最多發生次數	資料型別	值域	附註
		英文名稱	中文名稱						
13.	neighbor	side	相對方位	敘述相對方位	O	1	string	文字	左側填寫 left，右側填寫 right
14.		elementId	元件識別碼	相鄰道路識別碼	O	1	string	文字	
15.		direction	行駛方向	敘述相鄰道路的行駛方向與本身的異同	O	1	string	文字	與自己相同填寫 same；相反填寫 opposite
16.	type	s	s 坐標	s 軸坐標	M	1	double	數值	單位 m
17.		type	類型	道路類型	M	1	string	文字	參見表 B.1
18.		country	國家	國家代碼	O	1	string	文字	填寫 Taiwan
19.	speed	max	最大限速	記錄最大限速	O	1	string	文字	no limits 代表無限制；undefined 代表尚未指定；以數字填寫限速數值
20.		unit	單位	記錄單位	O	1	string	文字	單位 km/h
21.	geometry	s	s 坐標	s 軸坐標	M	1	double	數值	單位 m
22.		x	x 坐標	慣性坐標系統 x 軸坐標	M	1	double	數值	單位 m
23.		y	y 坐標	慣性坐標系統 y 軸坐標	M	1	double	數值	單位 m
24.		hdg	航向角	以東方為起點，記錄為強度	M	1	double	數值	單位 rad
25.	spiral	length	長度	參考線在 s 軸之長度	M	1	double	數值	單位 m
26.		curvStart	起始曲率	起始曲率	M	1	double	數值	單位 1/m
27.		curvEnd	結束曲率	結束曲率	M	1	double	數值	單位 1/m
28.	arc	curvature	曲率	曲率	M	1	double	數值	單位 1/m
29.	Poly3	a	參數 a	記錄三次多項式之線形幾何所需之參數 a	M	1	double	數值	單位 m
30.		b	參數 b	記錄三次多項式之線形幾何所需之參數 b	M	1	double	數值	

53

項次	類別	屬性或關係		說明	選擇條件	最多發生次數	資料型別	值域	附註	
		英文名稱	中文名稱							
31.	paramPoly3	c	參數 c	記錄三次多項式之線形幾何所需之參數 c	M	1	double	數值	單位 1/m	
32.		d	參數 d	記錄三次多項式之線形幾何所需之參數 d	M	1	double	數值	單位 1/m ²	
33.		aU	參數 aU	記錄參數立方曲線所需之參數 aU	M	1	double	數值	單位 m	
34.		bU	參數 bU	記錄參數立方曲線所需之參數 bU	M	1	double	數值		
35.		cU	參數 cU	記錄參數立方曲線所需之參數 cU	M	1	double	數值	單位 1/m	
36.		dU	參數 dU	記錄參數立方曲線所需之參數 dU	M	1	double	數值	單位 1/m ²	
37.		aV	參數 aV	記錄參數立方曲線所需之參數 aV	M	1	double	數值	單位 m	
38.		bV	參數 bV	記錄參數立方曲線所需之參數 bV	M	1	double	數值		
39.		cV	參數 cV	記錄參數立方曲線所需之參數 cV	M	1	double	數值	單位 1/m	
40.		dV	參數 dV	記錄參數立方曲線所需之參數 dV	M	1	double	數值	單位 1/m ²	
41.		pRange	參數 pRange	記錄參數立方曲線所需之參數 pRange	M	1	string	文字	arcLength normalized	
42.		elevation	s	s 坐標	s 軸坐標	M	1	double	數值	單位 m
43.			a	參數 a	記錄高程所需之參數 a	M	1	double	數值	單位 m
44.			b	參數 b	記錄高程所需之參數 b	M	1	double	數值	
45.	c		參數 c	記錄高程所需之參數 c	M	1	double	數值	單位 1/m	

54

項次	類別	屬性或關係		說明	選擇條件	最多發生次數	資料型別	值域	附註	
		英文名稱	中文名稱							
46.	superelevation	d	參數 d	記錄高程所需之參數 d	M	1	double	數值	單位 1/m ²	
47.		s	s 坐標	s 軸坐標	M	1	double	數值	單位 m	
48.		a	參數 a	記錄道路橫斷面傾斜角所需之參數 a	M	1	double	數值	單位 rad	
49.		b	參數 b	記錄道路橫斷面傾斜角所需之參數 b	M	1	double	數值	單位 rad/m	
50.		c	參數 c	記錄道路橫斷面傾斜角所需之參數 c	M	1	double	數值	單位 rad/m ²	
51.		d	參數 d	記錄道路橫斷面傾斜角所需之參數 d	M	1	double	數值	單位 rad/m ³	
52.		crossfall	side	側邊	記錄傾斜角之方位	M	1	string	文字	left 代表左側, right 代表右側, both 代表兩側
53.			s	s 坐標	s 軸坐標	M	1	double	數值	單位 m
54.			a	參數 a	記錄道路橫斷面傾斜角所需之參數 a	M	1	double	數值	單位 rad
55.			b	參數 b	記錄道路橫斷面傾斜角所需之參數 b	M	1	double	數值	單位 rad/m
56.			c	參數 c	記錄道路橫斷面傾斜角所需之參數 c	M	1	double	數值	單位 rad/m ²
57.			d	參數 d	記錄道路橫斷面傾斜角所需之參數 d	M	1	double	數值	單位 rad/m ³
58.		shape	s	s 坐標	s 軸坐標	M	1	double	數值	單位 m
59.			t	t 坐標	t 軸坐標	M	1	double	數值	單位 m
60.	a		參數 a	記錄道路橫斷面線形所需之參數 a	M	1	double	數值	單位 m	

55

項次	類別	屬性或關係		說明	選擇條件	最多發生次數	資料型別	值域	附註
		英文名稱	中文名稱						
61.		b	參數 b	記錄道路橫斷面線形所需之參數 b	M	1	double	數值	
62.		c	參數 c	記錄道路橫斷面線形所需之參數 c	M	1	double	數值	單位 1/m
63.		d	參數 d	記錄道路橫斷面線形所需之參數 d	M	1	double	數值	單位 1/m ²
64.		s	s 坐標	s 軸坐標	M	1	double	數值	單位 m
65.		a	參數 a	記錄 laneOffset 所需之參數 a	M	1	double	數值	單位 m
66.	laneOffset	b	參數 b	記錄 laneOffset 所需之參數 b	M	1	double	數值	
67.		c	參數 c	記錄 laneOffset 所需之參數 c	M	1	double	數值	單位 1/m
68.		d	參數 d	記錄 laneOffset 所需之參數 d	M	1	double	數值	單位 1/m ²
69.		s	s 坐標	s 軸坐標	M	1	double	數值	單位 m
70.	laneSection	singleSide	單向	道路是否單向	O	1	string	文字	ture 代表單向道路，false 代表雙向道路
71.		type	類型	車道類型	M	1	string	文字	參見表 B.5
72.	lane	level	水平	車道是否水平	O	1	string	文字	true 代表水平，使得 elevationProfile、lateralProfile 失效；false 代表 elevationProfile、lateralProfile 為有效
73.		id	識別碼	車道識別碼	M	1	Int	數值	

56

項次	類別	屬性或關係		說明	選擇條件	最多發生次數	資料型別	值域	附註
		英文名稱	中文名稱						
74.		geoLocation	地理位置	車道外側邊界(車道線)之三維線坐標	O	1	WKT	文字	以 WKT 記錄車道外側邊界之三維線坐標
75.		sOffset	s 軸位移量	s 軸位移量	M	1	double	數值	單位 m
76.		a	參數 a	記錄寬度所需之參數 a	M	1	double	數值	單位 m
77.	width	b	參數 b	記錄寬度所需之參數 b	M	1	double	數值	
78.		c	參數 c	記錄寬度所需之參數 c	M	1	double	數值	單位 1/m
79.		d	參數 d	記錄寬度所需之參數 d	M	1	double	數值	單位 1/m ²
80.		sOffset	s 軸位移量	s 軸位移量	M	1	double	數值	單位 m
81.		a	參數 a	記錄邊界所需之參數 a	M	1	double	數值	單位 m
82.	border	b	參數 b	記錄邊界所需之參數 b	M	1	double	數值	
83.		c	參數 c	記錄邊界所需之參數 c	M	1	double	數值	單位 1/m
84.		d	參數 d	記錄邊界所需之參數 d	M	1	double	數值	單位 1/m ²
85.		sOffset	s 軸位移量	s 軸位移量	M	1	double	數值	單位 m
86.		type	類型	車道線類型	M	1	string	文字	參見表 B.2
87.		weight	粗細	車道線粗細	O	1	string	文字	參見表 B.3
88.		color	顏色	車道線顏色	M	1	string	文字	參見表 B.4
89.		material	材質	車道線材質	O	1	string	文字	
90.		width	寬度	車道線寬度	O	1	double	數值	單位 m
91.	roadmark	laneChange	車道改變	是否允許改變車道	O	1	string	文字	increase 代表可往道路外側改變車道；decrease 代表可往道路內側改變車道；both 代表可往兩側改變車道；none 代表不能改變車道

57

項次	類別	屬性或關係		說明	選擇條件	最多發生次數	資料型別	值域	附註
		英文名稱	中文名稱						
92.		height	高度	車道線標線高度	O	1	double	數值	單位 m
93.	speed	sOffset	s 軸位移量	s 軸位移量	M	1	double	數值	單位 m
94.		max	最大限速	車道最大限速	M	1	double	數值	
95.		unit	單位	限速單位		O	1	string	文字
96.	access	sOffset	位移量	s 軸位移量	M	1	double	數值	單位 m
97.		rule	規則	記錄行駛規則	M	1	string	文字	記錄 allow 或 deny
98.		restriction	限定對象	記錄規則的限定對象	M	1	string	文字	參見表 B.9
99.	height	sOffset	s 軸位移量	s 軸位移量	M	1	double	數值	單位 m
100.		inner	內側	車道內側高度	M	1	double	數值	單位 m
101.		outer	外側	車道外側高度	M	1	double	數值	單位 m
102.	object	type	物體類型	物體類型	O	1	string	文字	參見表 B.6
103.		subtype	物體子類型	物體子類型	O	1	string	文字	如有需要，以文字描述進一步區分物體類型
104.		dynamic	動態物體	物體是否為動態	M	1	string	文字	yes 代表物體為動態；no 代表物體為靜態
105.		name	物體名稱	物體名稱	O	1	string	文字	
106.		id	識別碼	物體識別碼	M	1	string	文字	
107.		s	s 坐標	物體 s 坐標	M	1	double	數值	單位 m
108.		t	t 坐標	物體 t 坐標	M	1	double	數值	單位 m
109.		zOffset	z 軸位移量	物體位於軌跡坐標系統上的 z 軸位移量	M	1	double	數值	單位 m
110.	validLength	有效長度	記錄物體投影至 s 軸上的有效長度	M	1	double	數值	單位 m	

58

項次	類別	屬性或關係		說明	選擇條件	最多發生次數	資料型別	值域	附註
		英文名稱	中文名稱						
111.		orientation	方向有效性	記錄物體在方向上的有效性	M	1	string	文字	+代表與 s 同方向有效，-代表與 s 反方向有效，none 則為皆有效
112.		hdg	航向角	記錄物體航向角	M	1	double	數值	單位 rad
113.		pitch	俯仰角	記錄物體俯仰角	M	1	double	數值	單位 rad
114.		roll	滾動角	記錄物體滾動角	M	1	double	數值	單位 rad
115.		height	高度	記錄物體高度(z 軸)	M	1	double	數值	單位 m
116.		length	長度	記錄物體長度(xy 平面)	O	1	double	數值	單位 m
117.		width	寬度	記錄物體寬度(xy 平面)	O	1	double	數值	單位 m
118.		radius	半徑	記錄物體半徑(xy 平面)	O	1	double	數值	單位 m
119.		poleType	桿柱類型	記錄桿柱之類型	O	1	string	文字	僅適用於桿狀物體，記錄值之意義如下 01：路燈桿；02：標誌桿； 03：號誌桿；04：電線桿； 05：警示柱；06：公車客運站牌；07：未知
120.		pointGeoLocation	點地理位置	記錄物體底部中心點之三維點坐標	O	1	WKT	文字	以 WKT 記錄三維點坐標
121.		zTop	物體頂點 z 坐標	物體最高點的橢球高	O	1	double	數值	單位 m
122.		extentGeoLocation	底部範圍地理位置	記錄物體之底部外包範圍之三維角點序列	O	1	WKT	文字	以 WKT 記錄底部範圍之三維角點序列坐標

59

項次	類別	屬性或關係		說明	選填條件	最多發生次數	資料型別	值域	附註
		英文名稱	中文名稱						
123.		lampGeoLocation	路燈地理位置	路燈燈具表面中心點之三維點坐標	O	1	WKT	文字	以 WKT 記錄三維點坐標
124.		id	識別碼	標誌識別碼	M	1	string	文字	
125.		code	代碼	標誌代碼	M	1	class	標誌代碼	參見表 A.4
126.	MarkData	geoLocation	地理位置	以 WKT 型別記錄牌面中心點的三維點坐標	M	1	WKT	文字	以 WKT 記錄三維點坐標
127.		bboxMin	包圍矩形左下點位	記錄牌面包圍矩形的左下點位三維空間坐標	M	1	WKT	文字	以 WKT 記錄三維點坐標
128.		bboxMax	包圍矩形右上點位	記錄牌面包圍矩形的右上點位三維空間坐標	M	1	WKT	文字	以 WKT 記錄三維點坐標
129.	parkingSpace	access	使用	記錄停車格類型	M	1	string	文字	all car women handicapped bus truck electric residents
130.		restrictions	限制	以文字描述停車格限制	O	1	string	文字	
131.	tunnel	s	s 坐標	隧道之起點 s 坐標	M	1	double	數值	單位 m
132.		length	長度	隧道於 s 軸之長度	M	1	double	數值	單位 m
133.		name	名稱	隧道名稱	O	1	string	文字	
134.		id	識別碼	隧道識別碼	M	1	string	文字	
135.		type	類型	隧道類型	M	1	string	文字	參見表 B.7
136.		lighting	人工照明	記錄隧道人工照明程度	O	1	double	數值	
137.	daylight	自然照明	自然照明程度	O	1	double	數值		

60

項次	類別	屬性或關係		說明	選填條件	最多發生次數	資料型別	值域	附註
		英文名稱	中文名稱						
138.		geoLocation	地理位置	隧道三維空間範圍的慣性坐標系統坐標	O	1	WKT	文字	以 WKT 記錄隧道空間範圍的三維角點序列坐標
139.	validity	fromLane	車道起始編號	記錄隧道範圍內之車道起始編號	O	1	double	數值	
140.		toLane	車道結束編號	記錄隧道範圍內之車道結束編號	O	1	double	數值	
141.	bridge	s	s 坐標	橋梁之起點 s 坐標	M	1	double	數值	單位 m
142.		length	長度	橋梁於 s 軸之長度	M	1	double	數值	單位 m
143.		name	名稱	橋梁名稱	O	1	string	文字	
144.		id	識別碼	橋梁識別碼	M	1	string	文字	
145.		type	類型	橋梁類型	M	1	string	文字	參見表 B.8
146.		geoLocation	地理位置	橋梁三維空間範圍的慣性坐標系統坐標	O	1	WKT	文字	以 WKT 記錄橋梁空間範圍的三維角點序列坐標
147.	validity	fromLane	車道起始編號	記錄橋梁範圍內之車道起始編號	O	1	double	數值	
148.		toLane	車道結束編號	記錄橋梁範圍內之車道結束編號	O	1	double	數值	
149.	signal	s	s 坐標	記錄號誌燈頭中心點 s 坐標	M	1	double	數值	單位 m
150.		t	t 坐標	記錄號誌燈頭中心點 t 坐標	M	1	double	數值	單位 m
151.		id	識別碼	記錄號誌燈頭識別碼	M	1	string	文字	
152.		name	名稱	記錄號誌燈頭名稱	O	1	string	文字	
153.		dynamic	動態	記錄號誌燈動態	M	1	string	文字	yes 代表號誌為動態； no 代表號誌為靜態

61

項次	類別	屬性或關係		說明	選擇條件	最多發生次數	資料型別	值域	附註
		英文名稱	中文名稱						
154.		orientation	方向	記錄號誌燈頭方向	M	1	string	文字	+代表與 s 同方向有效，-代表與 s 反方向有效，none 則為皆有效
155.		zOffset	z 位移量	z 軸位移量	M	1	double	數值	單位 m
156.		country	國家	國家代碼	O	1	string	文字	填寫 Taiwan
157.		countryRevision	版本	國家代碼版本	O	1	string	文字	
158.		type	類型	記錄號誌燈頭類型	M	1	string	文字	填寫none
159.		subtype	子類型	記錄號誌燈頭子類型	M	1	string	文字	填寫none
160.		value	值	號誌屬性資料	O	1	string	文字	
161.		unit	單位	號誌屬性資料單位	O	1	string	文字	
162.		height	高度	記錄號誌燈頭高度	M	1	double	數值	單位 m
163.		width	寬度	記錄號誌燈頭寬度	M	1	double	數值	單位 m
164.		text	文字	額外描述號誌之文字	O	1	string	文字	
165.		hOffset	h 位移量	h 軸位移量偏移量	O	1	double	數值	單位 rad
166.		pitch	俯仰角	號誌俯仰角	O	1	double	數值	單位 rad
167.		roll	滾動角	號誌滾動角	O	1	double	數值	單位 rad
168.		code	代碼	號誌代碼	O	1	Class	號誌代碼	參見表 A.5
169.		signalDataId	燈號識別碼	記錄個別燈號之識別碼	M	N	string	文字	
170.		stopLineId	停止線識別碼	號誌關聯之停止線識別碼	M	N	string	文字	
171.	SignalData	id	識別碼	燈號識別碼	M	1	string	文字	
172.	SignalData	code	代碼	號誌燈號代碼	M	N	class	號誌燈號代碼	參見表 A.2

62

項次	類別	屬性或關係		說明	選擇條件	最多發生次數	資料型別	值域	附註
		英文名稱	中文名稱						
173.		angle	角度	號誌燈號鏡面法向量與北方之夾角角度，由北方往順時針方向計算	M	1	double	數值	單位 rad
174.		geoLocation	地理位置	燈號中心點之三維點坐標	M	1	WKT	文字	以 WKT 填寫三維點坐標
175.		radius	半徑	燈號之半徑	M	1	double	數值	填寫三維空間之半徑
176.		bboxMin	包圍矩形左下點位	燈號包圍矩形的左下點位三維空間坐標	M	1	WKT	文字	以 WKT 記錄三維點坐標
177.		bboxMax	包圍矩形右上點位	燈號包圍矩形的右上點位三維空間坐標	M	1	WKT	文字	以 WKT 記錄三維點坐標
178.	StopLine	id	識別碼	停止線識別碼	M	1	string	文字	
179.		code	代碼	標線代碼	M	1	class	文字	參見表 A.3
180.		signalId	號誌識別碼	對應號誌識別碼	M	N	string	文字	
181.		width	寬度	停止線寬度	M	1	double	數值	單位 m
182.		geoLocation	地理位置	停止線之三維線坐標	M	1	WKT	文字	以 WKT 填寫三維線坐標
183.	controller	id	識別碼	號誌控制器識別碼	M	1	string	文字	
184.		name	名稱	號誌控制器名稱	O	1	string	文字	
185.		sequence	序列	號誌控制器序列	O	1	int	數值	
186.	control	signalId	號誌識別碼	控制之號誌識別碼	M	1	string	文字	
187.		type	號誌類型	控制之號誌類型	O	1	string	文字	
188.	junction	id	識別碼	交叉路口識別碼	M	1	string	文字	
189.		name	名稱	交叉路口名稱	O	1	string	文字	

63

項次	類別	屬性或關係		說明	選擇條件	最多發生次數	資料型別	值域	附註
		英文名稱	中文名稱						
190.		type	類型	交叉路口類型	O	1	string	文字	default 代表預設之交叉路口；virtual 代表包含私人道路之交叉路口。例如通往家庭院、停車場的交叉路口。
191.	connection	id	識別碼	識別碼	M	1	string	文字	
192.		incomingRoad	連結之來源道路	連結之來源道路識別碼	M	1	string	文字	
193.		connectionRoad	連結之目標道路	連結之目標道路識別碼	M	1	string	文字	
194.		contactPoint	連結點	連結來源道路之連結點	M	1	string	文字	start 代表連結至起點；end 代表連結至終點
195.		connectionMaster	主要連結	主要連結關係之識別碼	O	1	string	文字	
196.		type	類型	連結關係類型	O	1	string	文字	default 代表預設之連結關係；virtual 代表兩車道之間沒有正式定義之連結關係，但具有可能性之車道連結關係
197.	predecessor	elementType	元件類型	連結道路類型	M	1	string	文字	Road
198.		elementId	元件識別碼	連結道路識別碼	M	1	string	文字	
199.		elementS	元件 s 起始點	連結道路起始坐標 s	M	1	string	文字	
200.		elementDir	元件方向	連結道路行駛方向	M	1	string	文字	+代表與 s 同方向，-代表與 s 反方向

64

項次	類別	屬性或關係		說明	選擇條件	最多發生次數	資料型別	值域	附註
		英文名稱	中文名稱						
201.	successor	elementType	元件類型	連結道路類型	M	1	string	文字	Road
202.		elementId	元件識別碼	連結道路識別碼	M	1	string	文字	
203.		elementS	元件 s 起始點	連結道路起始坐標 s	M	1	string	文字	
204.		elementDir	元件方向	連結道路行駛方向	M	1	string	文字	+代表與 s 同方向，-代表與 s 反方向
205.	lanelink	from	從	從某一車道開始連結	O	1	int	數值	車道編碼
206.		to	至	至某一車道結束連結	O	1	int	數值	車道編碼
207.	priority	high	高	優先度高	O	N	string	數值	道路識別碼
208.		low	低	優先度低	O	N	string	數值	道路識別碼
209.	controller	id	識別碼	控制器識別碼	M	1	string	文字	
210.		type	類型	控制器類型	M	1	string	文字	
211.		sequence	序列	控制器序列	M	1	int	數值	
212.	userdata	code	名稱	名稱	M	1	string	文字	填寫「hdmap」
213.		value	內容	內容	M	1	string	文字	填寫「xml」
214.	Markline	id	識別碼	標線識別碼	M	1	string	文字	
215.		code	代碼	標線代碼	M	1	Class	標線代碼	參見表 A.3
216.		style	車道線代碼	車道線樣式代碼	C	1	Class	車道線樣式代碼	僅車道線需要記錄，參見表 A.1
217.		geoLocation	地理位置	標線之三維線坐標	M	1	WKT	文字	以 WKT 填寫三維線坐標
218.	MarkArea	id	識別碼	標線範圍之識別碼	M	1	string	文字	
219.		code	代碼	標線代碼	M	1	Class	標線代碼	參見表 A.3
220.		geoLocation	地理位置	標線之空間範圍或外包範圍之三維角點序列坐標	M	1	WKT	文字	以 WKT 填寫三維角點序列坐標
221.	MarkGraph	id	識別碼	標線圖形之識別碼	M	1	string	文字	

65

項次	類別	屬性或關係		說明	選填條件	最多發生次數	資料型別	值域	附註
		英文名稱	中文名稱						
222.		code	代碼	標線代碼	M	1	Class	標線代碼	參見表 A.3
223.		markAreald	標線範圍代碼	關聯之標線範圍識別碼	M	1	string	文字	
224.		geoLocation	地理位置	標線實形之空間範圍的三維角點序列坐標	M	1	WKT	文字	以 WKT 填寫三維角點序列坐標
225.	LaneCenterLine	id	車道識別碼	車道識別碼。	M	1	string	文字	
226.		type	車道類型	車道的類型。	M	1	string	文字	參見表 B.5
227.		predecessor	前一車道識別碼	前一車道的識別碼	O	1	string	文字	
228.		successor	下一車道識別碼	下一車道的識別碼	O	1	string	文字	
229.		width	車道寬度	車道的寬度。	M	1	double	數值	單位 m
230.		material	車道路面材質	車道路面材質	M	1	string	文字	
231.		speed	車道速限	車道的速限	O	1	integer	數值	單位 km/h
232.		restriction	車道使用限制	車道的行駛或使用限制	O	1	string	文字	
233.		height	高度限制	車道的高度限制	O	1	double	數值	單位 m
234.		weight	重量限制	車道的重量限制	O	1	double	數值	單位 kg
235.		startWaypoint	起始節點	車道中心線的起始節點識別碼。	M	1	string	文字	
236.	endWaypoint	結束節點	車道中心線的結束節點識別碼。	M	1	string	文字		
237.	geoLocation	地理位置	車道中心線三維線坐標。	M	1	WKT	文字	以 WKT 填寫三維線坐標，此坐標須以兩點連線之直線記錄。	

項次	類別	屬性或關係		說明	選填條件	最多發生次數	資料型別	值域	附註
		英文名稱	中文名稱						
238.		tunnelId	隧道識別碼	車道中心線所在之隧道識別碼	O	1	string	文字	
239.		bridgeId	橋梁識別碼	車道中心線所在之橋梁識別碼	O	1	string	文字	
240.	Waypoint	id	識別碼	節點的識別碼	M	1	string	文字	
241.		velocity	速度	行車速度	M	1	double	數值	單位 km/h
242.		stopLineId	停止線識別碼	停止線之識別碼	O	1	string	文字	
243.		geoLocation	地理位置	節點的三維點坐標。	M	1	WKT	文字	以 WKT 填寫三維點坐標

7. 資料格式編碼

本標準遵循「OpenDRIVE version 1.5」之資料格式編碼規定，以 XML 作為資料格式，副檔名為.xodr。本標準以 OpenDRIVE 1.5 之 XML Schema 為本標準之 XML Schema，本標準擴充資料及屬性請以本章規定之方式寫入資料檔案。

7.1 擴充屬性

本標準於 OpenDRIVE 所定義的類別內而擴充之屬性，記錄於該類別之 userdata 內，例如 road 之擴充屬性，記錄於 road 類別之 userdata 內。各類別擴充屬性，設計同名之 XML 元素並給予資料型別，整理如表 3，資料記錄時可參考此表將資料寫入 xodr 檔案。擴充屬性之 XML 綱要請參見附錄 C。

表 3 擴充屬性之記錄

UML 類別	UML 類別屬性	設計 XML 元素		XML 資料型別
road	geoLocation	geoLocation		string
lane	geoLocation	geoLocation		string
object	poleType	objectAtts	poleType	string
	pointGeoLocation		pointGeoLocation	string
	zTop		zTop	double
	extentGeoLocation		extentGeoLocation	string
	lampGeoLocation		lampGeoLocation	string
tunnel	geoLocation	geoLocation		string
bridge	geoLocation	geoLocation		string
signal	code	signalAtts	code	string
	signalDataId		signalDataId	string
	stopLineId		stopLineId	string

7.2 擴充類別

本標準擴充之類別，記錄於 road 類別之 userdata 內，取代 any 類別。本節規定各擴充類別之 XML 資料型別，供資料記錄使用。所有擴充類別皆設計同名稱之 XML 資料型別及 XML 元素，且設計一 root 元素 HDMap 作為主架構，其內每一個元素是選擇性記錄，可填寫多次，但須依 XML 綱要之順序排列。擴充類別之 XML 綱要請參見附錄 C。

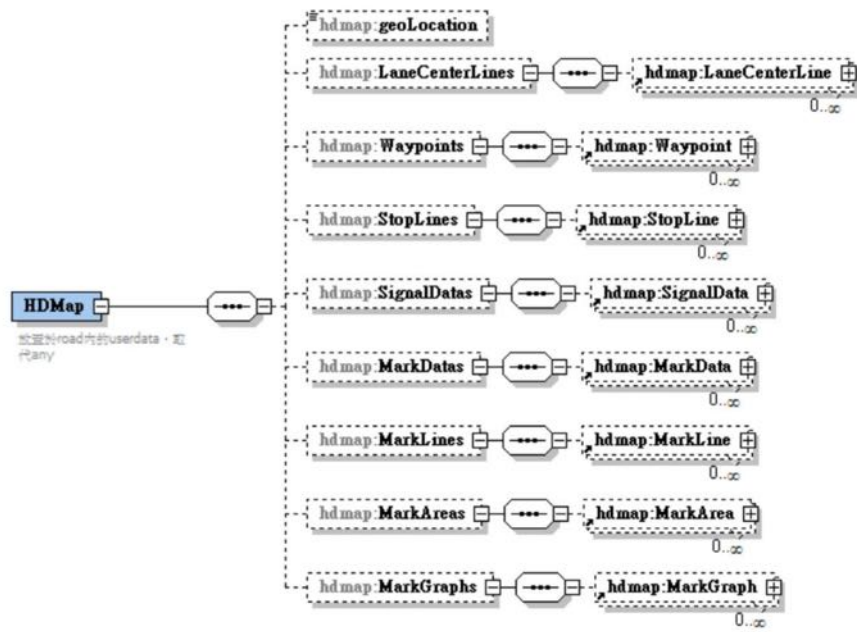


圖 47 擴充之 XML 網要架構

附錄 A

(規定)

本標準自訂代碼

表 A.1 車道線樣式代碼

項次	代碼	定義
1.	L01	白虛線
2.	L02	黃虛線
3.	L03	白實線
4.	L04	黃實線
5.	L05	紅實線
6.	L06	雙白虛線
7.	L07	雙白實線
8.	L08	雙黃實線
9.	L09	黃虛線與黃實線並列
10.	L10	白虛線與白實線並列

表 A.2 號誌燈號代碼

項次	代碼	定義	號誌類型
1.	S01	圓形綠燈	行車管制號誌
2.	S02	左轉箭頭綠燈	行車管制號誌
3.	S03	直行箭頭綠燈	行車管制號誌
4.	S04	右轉箭頭綠燈	行車管制號誌
5.	S05	閃光綠燈	行車管制號誌
6.	S06	圓形黃燈	行車管制號誌
7.	S07	圓形紅燈	行車管制號誌
8.	S08	行走行人綠色燈號	行人專用號誌
9.	S09	站立行人紅色燈號	行人專用號誌
10.	S10	垂直向下箭頭綠燈	車道管制號誌
11.	S11	叉型紅燈	車道管制號誌
12.	S12	對角線向左下箭頭黃燈	車道管制號誌
13.	S13	對角線向右下箭頭黃燈	車道管制號誌
14.	S14	雙蓋紅燈	鐵路平交道號誌
15.	S15	雙閃黃燈	行人穿越道號誌
16.	S16	閃光黃燈	特種閃光號誌
17.	S17	閃光紅燈	特種閃光號誌
18.	S18	倒數計時	未分類

表 A.3 標線代碼

分類一：警告標線:Warning / 禁制標線:Prohibit / 指示標線:Instruction

分類二：縱向標線:Vertical / 橫向標線:Horizontal / 輔助標線:Assist / 標字:Word

代碼	類型	圖示	說明	顏色	線型	尺寸(公尺)		備註
WV001	路寬變更線		警告車輛駕駛人路寬縮減或車道數減少，應謹慎行車，並禁止超車。	黃	實線	線寬	0.1	
				黃	虛線			
				黃	實線	雙向間隔	0.1	
WV002	近障礙物線		位於禁止超車線、行車分向線	黃	實線折線	線寬	0.1	
			位於分向限制線	黃	雙實線折線			
			位於車道線	白	實線折線	雙向間隔	0.1	

71

代碼	類型	圖示	說明	顏色	線型	尺寸(公尺)		備註	
			障礙物區塊	黃/白	斜紋線	線寬	0.2		
						間隔	0.3		
						傾斜方式	單向傾斜		
							單向傾斜		
							雙向傾斜		

72

代碼	類型	圖示	說明	顏色	線型	尺寸(公尺)		備註
PV001	分向限制線		用以劃分路面成雙向車道，禁止車輛跨越行駛，並不得迴轉。	黃	雙實線	線寬	0.1	
						間隔	0.1	
PV002	禁止超車線		用以表示禁止超車，分成雙向禁止超車線及單向禁止超車線	黃	雙實線	線寬	0.1	*實線一面禁止超車；虛線一面允許超車
						間隔	0.1	
				單向	實線虛線	線寬	0.1	
						間隔	0.1	

75

代碼	類型	圖示	說明	顏色	線型	尺寸(公尺)		備註
PV003	禁止變換車道線		用以禁止行車變換車道，分雙邊禁止變換車道線及單邊禁止變換車道線兩種。	白	雙實線	線寬	0.1	*實線一面禁止超車；虛線一面允許超車
						間隔	0.1	
				單邊	實線虛線	線寬	0.1	
						間隔	0.1	
PV004	禁止停車線		用以指示禁止停車路段	黃	實線	線寬	無	
					距離路面邊緣	0.3		
PV005	禁止臨時停車線		用以指示禁止臨時停車路段	紅	實線	線寬	無	
					距離路面邊緣	0.3		

76

代碼	類型	圖示	說明	顏色	線型	尺寸(公尺)		備註
PH001	停止線		用以指示行駛車輛停止之界限，車輛停止時，其前懸部分不得伸越該線。	白	實線	線寬	0.3~0.4	
IV001	行車方向線		以劃分路面成雙向車道，指示車輛駕駛人靠右行車，分向行駛。	黃	虛線	線段長	4.0	
						間距	6.0	
						線寬	0.1	



77

代碼	類型	圖示	說明	顏色	線型	尺寸(公尺)		備註
IV002	車道線		用以劃分各線車道，指示車輛駕駛人循車道行駛。	白	虛線	線段長	4.0	
						間距	6.0	
						線寬	0.1	
IV003	路面邊緣線		用以指示路肩或路面外側邊緣之界線。	白	實線	線寬	0.15	


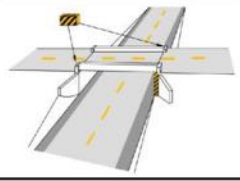
78

代碼	類型	圖示	說明	顏色	線型	尺寸(公尺)		備註
IV004	快慢車道分隔線		用以指示快車道外側邊緣之位置，劃分快車道與慢車道之界線。	白	實線	線寬	0.1	
IV005	左彎待轉區線		用以指示左彎車輛可在直行時相時段進入待轉區，等候左轉，左轉時相終止時，禁止在待轉區內停留。	白	雙虛線	線段長	0.5	得以白色變體之「左彎待轉區」標字標寫於待轉區內，用以指示左彎待轉區範圍。
						間距	0.5	
						線寬	0.1	
IH001	枕木紋行人穿越道線		設於交岔路口	白	實線 *枕木紋	線段長	2.0~8.0	

代碼	類型	圖示	說明	顏色	線型	尺寸(公尺)		備註
						間距	0.4~0.8	
						線寬	0.4	
IH002	對角線行人穿越道線		設於有行人專用時相之號誌路口	白	實線 *X字型平行	線寬	0.15	
						間隔	3.0~5.0	
IH003	斑馬紋行人穿越道線		設於道路中段行人穿越眾多之地點。	白	雙實線 枕木紋	線寬	0.1	
						間隔	3.0~8.0	
						線寬	0.4	
						間隔	0.4	
IH004	自行車穿越道線		用以指示自行車於交岔路口或路段中穿越道路的行駛範圍	白	實線	線寬	0.1	穿越道線的入口及出口處應分別繪設自行車圖案
						間隔	>1.2	

代碼	類型	圖示	說明	顏色	線型	尺寸(公尺)		備註
						線段長	間距	
IH005	公路行車安全距離辨識線		用以提供車輛駕駛人保持安全行車距離之參考，視需要設於公路上行車經常超速、易肇事或其他有需要之路段。	白	虛線	線段長	0.5	每五十公尺一條，三條為一組，組數視需要酌量增設。
						間距	0.5	
						線寬	0.15	
						間隔	50	
IH005	楔形安全距離辨識標線		高速公路及快速公路隧道路段基於行車安全需要而設置。	白	楔形線	線寬	0.25	每五十公尺一條，三條為一組，組數視需要酌量增設。
						外緣長	3.0	
						外緣寬	1.4	
						間隔	50	

81

代碼	類型	圖示	說明	顏色	線型	尺寸(公尺)		備註
WA001	路中障礙物體線		用以表示路上之障礙物體。	黃黑相間	斜紋線	線寬	0.1~0.3	
WA002	路旁障礙物體線		用以表示路旁之障礙物體。	黃黑相間	斜紋線	線寬	0.1~0.3	


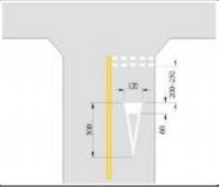
82

代碼	類型	圖示	說明	顏色	線型	尺寸(公尺)		備註
WA003	反光導標	<p>圖一 公路邊線上反光導標之設置</p>	設置於道路急彎處、危險土堤及路幅狹窄處順向標示	黃	無	直徑	0.075-0.2	見附件一
		<p>圖二 雙向車道邊線上反光導標之設置</p>	設置於道路急彎處、危險土堤及路幅狹窄處雙向標示	黃(順向) 紅(逆向)	無			
		<p>圖三 雙向車道曲線外側特殊危險之情況</p>	設置於高速公路單向匝道及山區急彎處順向標示	黃	無	間距	如附件一所示	
		<p>圖四 雙向車道曲線外側有特別危險之情況</p>	設置於高速公路單向匝道及山區之特殊危險急彎處雙向標示	黃(順向) 紅(逆向)	無			

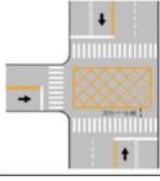
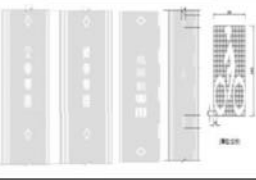

83

代碼	類型	圖示	說明	顏色	線型	尺寸(公尺)		備註
WA004	危險標記		設置於障礙物體之前端。	黃	長方形	直徑	0.075-0.2	
		<p>有中央分隔帶之狀況</p>		黃	長方形			
		<p>無中央分隔帶之狀況</p>		黃	正方形			

84

代碼	類型	圖示	說明	顏色	線型	尺寸(公尺)		備註
PA001	槽化線		用以引導車輛駕駛人循指示之路線行駛，並禁止跨越。	與其連接之行車分向線、分向限制線或車道線相同。	實線	線寬	0.15	
					Y型線	線寬	0.15	
					斜紋線	周圍線寬	0.15	
						線寬	0.2	
					間隔	0.3		
PA002	讓路線		用以警告車輛駕駛人前有幹道應減速慢行。	白	倒三角形	如圖所示，單位為公分		
PA003	網狀線		用以告示車輛駕駛人禁止在設置本標線之範圍內臨時停車，防止交通阻塞。	黃	長方形	外圍線寬	0.2	
					內線線寬	0.1		

85

代碼	類型	圖示	說明	顏色	線型	尺寸(公尺)		備註
						內線間隔	1~5	
PA004	車種專用車道線		用以指示僅限於某車種行駛之專用車道，其他車種及行人不得進入。	白	菱形	線寬	0.15	並於每兩個菱形中間，縱向標寫白色車種專用車道標字或圖示配合使用。
						對角線縱向長	2.5	
						對角線橫向長	1.0	
PA005	機車優先車道線		用以指示大型重型機車以外之機車優先行駛之車道，其他車種除起步、準備停車、臨時停車或轉向外，不得橫跨或占用行駛。	白	機車圖示	如圖所示，單位為公尺		於兩機車圖形間，縱向標寫白色「機車優先」標字配合使用。
PA006	機慢車停等區線		用以指示大型重型機車以外之機車駕	白	長方形	橫向(前後)線寬	0.2	視需要於機慢車停



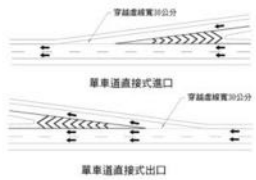
86

代碼	類型	圖示	說明	顏色	線型	尺寸(公尺)		備註
						縱向(二側)線寬	縱深長度	
			駛人、慢車駕駛人於紅燈亮時行駛停等之範圍，其他車種不得在停等區內停留。			0.1~0.15	2.5~6.0	等區內繪設機車及慢車圖案或白色標字
IA001	指向線		用以指示車輛行駛方向。指示直行。	白	直線箭頭	如圖所示，單位為公分		
IA002	指向線		用以指示車輛行駛方向。指示左轉。	白	弧線箭頭	如圖所示，單位為公分		
IA003	指向線		指示右轉。					
IA004	指向線		用以指示車輛行駛方向。指示直行與左轉。	白	直線與弧形合併之分岔箭頭。	如圖所示，單位為公分		
IA005	指向線		指示直行與右轉。					

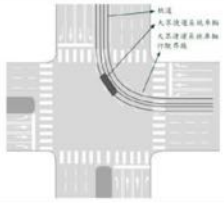
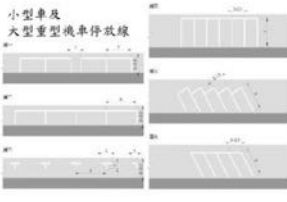
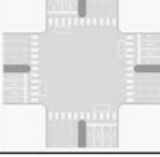
87

代碼	類型	圖示	說明	顏色	線型	尺寸(公尺)	備註	
IA006	指向線		用以指示車輛行駛方向。指示左轉與右轉。	白	弧線與弧線合併之分岔箭頭。	如圖所示，單位為公分		
IA007	指向線		用以指示車輛行駛方向。指示直行、左轉與右轉。	白	直線與弧形合併之分岔箭頭。	如圖所示，單位為公分		
IA008	指向線		用以指示轉出車道。	白	弧形虛線箭頭	如圖所示，單位為公分		
IA009	車道縮減標線		用以指示前方車道縮減，指引匯入鄰近車道。	白	箭頭	間隔	30~50	如圖所示

88

代碼	類型	圖示	說明	顏色	線型	尺寸(公尺)		備註
IA0010	自行車路線指示線		用以指示自行車編號路線之路線資訊、轉運站、補給站等方向及其距離。	底色: 白 圖案: 藍	長方形	線寬	0.2	
						間隔	1.5	
IA0011	轉彎線		用以指示車輛轉彎之界限, 依實際需要劃設之。	白	虛線	線段長	0.1	
						間距	0.5	
						線寬	0.5	
IA012	穿越虛線		供車輛匯入匯出時, 做為劃分主線車道與其他車道之用, 其他車道車輛應讓主線車道車輛先行。	白	虛線	線段長	1.0	
						間距	2.0	
						線寬	0.15 或 0.3	

89

代碼	類型	圖示	說明	顏色	線型	尺寸(公尺)		備註
IA013	大眾捷運系統車輛行駛界線		用於提供大眾捷運系統車輛通過時之運行範圍, 指示車輛及行人避讓, 視需要設於大眾捷運系統車輛行駛之交岔路口。	白	虛線	線段長	1.0	
						間距	2.0	
						線寬	0.1	
IA014	車輛停放線		用以指示車輛駕駛人停放車輛之位置與範圍。	白	實線	線寬	0.1	另有大型重型機車以外之機車、路邊大型客車、身心障礙者專用停車位及專用性停車位
IA015	機慢車左(右)轉待轉區線		用以指示大型重型機車以外之機車或慢車駕駛人分段行駛。	白	長方形	線寬	0.15	
WW001	「鐵路」		繪於「近鐵路平交」	白	如圖	長	2.0	

90

代碼	類型	圖示	說明	顏色	線型	尺寸(公尺)		備註
						寬	長	
			道線」			寬	0.7	
						間距	0.1	
WW002	「慢」		繪於 1.接近有柵門鐵路 平交道 2.接近斑馬紋行人 穿越道線 3.接近路寬邊更線 4.接近扶橋 5.臨海險路 6.其他必須必點	白	如圖	長	2.5	
						寬	1.0	
PW001	「禁止變換車道」		繪於「禁止行車變換車道」	黃	如圖	長	2.5	
						寬	1.0	
						間距	1.0	
PW002	「禁止停車」		繪於「禁止停車路段」	黃	如圖	長	0.3	每隔 20 公尺至 50 公尺橫寫一組
						寬	0.3	
						間距	0.3	
PW003	「禁止臨時停		繪於「禁止臨時停	紅	如圖	長	0.3	每隔 20

91

代碼	類型	圖示	說明	顏色	線型	尺寸(公尺)		備註
						寬	長	
	車」		車路段」			寬	0.3	公尺至 50 公尺橫寫一組
						間距	0.3	
PW004	「越線受罰」		繪於「停止線」前	黃	如圖	無		圖片來源： https://news.tvbs.com.tw/world/1046961
PW005	「停」		繪於停止線將近之處，用以指示車輛至此必須停車再開。	白	如圖	長	2.5	
						寬	1.0	
PW006	「禁行機車」		用以告示本車道禁止大型重型機車以外之機車通行。	黃	如圖	長	2.5	
						寬	1.0	
						間距	1.0	
PW007	車種專用車道標字		用於指示僅限於某種類型車輛行駛之專用車道，依規定行駛之車輛種類名稱標寫之。	白	如圖	長	2.5	
						寬	1.0	

92

代碼	類型	圖示	說明	顏色	線型	尺寸(公尺)		備註
						長	寬	
						間距	1.0	
PW008	行車方向專用車道標字		設於接近交岔路口之行車方向專用車道上，得視需要配合禁止變換車道線使用。用以指示該車道車輛行至交岔路口時，應遵照指定之方向左彎、右彎或直行。	白	如圖	長	2.5	
						寬	1.0	
						間距	1.0	
PW009	速限標字		設於以標誌或標線規定最高速限路段起點及行車管制號誌路口遠端適當距離處	黃	如圖	長	2.5	
						寬	1.0	
IW001	「左彎待轉區」		標寫於「左彎待轉區」內，用以指示左彎待轉區之範圍。	白	如圖	長	1.5	
						寬	1.0	
						間距	0.5	

93

代碼	類型	圖示	說明	顏色	線型	尺寸(公尺)		備註
						長	寬	
IW002	地名、路名方向指示標字		用以指示行車車道可通往之地點、道路之方向。設於路段中或路口將近之處。	白	如圖	長	2.5	
						寬	1.0	
						間距	1.0	

94

表 A.4 標誌代碼

分類：警告標誌:Warning / 遵行標誌:Obey / 禁止標誌:Prohibit / 限制標誌:Restrict / 指示標誌:Instruction / 輔助標誌:Assist

代碼	規範編碼	類型	圖示	形狀	顏色	說明
W001	警 1	「右彎」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W002	警 2	「左彎」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W003	警 3	「連續彎路」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	第一彎道先向右者
W004	警 4	「連續彎路」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	第一彎道先向左者
W005	警 5	「險升波」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W006	警 6	「險降坡」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W007	警 7	「狹路」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W008	警 8	「右道縮減」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	設置附牌說明其距離
W009	警 9	「左道縮減」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W010	警 10	「狹橋」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W011	警 11	「岔路」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	九種岔路型態
W012	警 12	「岔路」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	

95

代碼	規範編碼	類型	圖示	形狀	顏色	說明
W013	警 13	「岔路」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W014	警 14	「岔路」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W015	警 15	「岔路」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W016	警 16	「岔路」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W017	警 17	「岔路」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W018	警 18	「岔路」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W019	警 19	「岔路」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W020	警 20	「右側岔道」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	得設置「右(左)側來車」 附牌
W021	警 21	「左側岔道」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W022	警 22	「分道」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W023	警 23	「注意號誌」		正等邊三角形	白底 紅邊 紅、黃、綠、黑四色圖文	
W024	警 24	「圓環」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W025	警 25	「有柵門鐵路平交道標誌」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	

96

代碼	規範編碼	類型	圖示	形狀	顏色	說明
W026	警 26	「無柵門鐵路平交道標誌」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W027	警 27	「近鐵路平交道」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	設於距離入口處 150 至 200 公尺間適當地點
W028	警 28	「近鐵路平交道」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	設於上述距離三分之一處附近
W029	警 29	「近鐵路平交道」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	設於上述距離三分之一處附近
W030	警 30	「路面顛簸」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W031	警 31	「路面高突」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W032	警 32	「路面低窪」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W033	警 33	「路滑」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W034	警 34	「當心行人」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W035	警 35	「當心兒童」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W036	警 36	「當心身心障礙者」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W037	警 37	「當心動物」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	

代碼	規範編碼	類型	圖示	形狀	顏色	說明
W038	警 38	「當心台車」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W039	警 39	「當心自行車」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W040	警 40	「當心飛機」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W041	警 41	「隧道」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W042	警 42	「雙向道」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W043	警 43	「碼頭、堤岸」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W044	警 44	「右側斷崖」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W045	警 45	「左側斷崖」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W046	警 46	「右側落石」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W047	警 47	「左側落石」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W048	警 48	「注意強風」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W049	警 49	「慢行」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	設附牌標英文或說明慢行原因
W050	警 50	「危險」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	

代碼	規範編碼	類型	圖示	形狀	顏色	說明
W051	警 51	「當心大眾捷運系統車輛」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
W052	警 52	「測速取締」		正等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	
O001	遵 1	「停車再開」		八角形	紅底 白細邊 白色圖文	視需要以附牌標繪英文說明
O002	遵 2	「讓路」		倒等邊三角形	白底 紅邊 黑色圖文	視需要以附牌標繪英文說明
O003	遵 3	「停車檢查」		圓形	白底 紅邊 黑色圖文	
O004	遵 4	「關卡停車」		圓形	白底 紅邊 黑色圖文	
O005	遵 5	「停車繳費」		圓形	白底 紅邊 黑色圖文	
O006	遵 6	「貨車過磅」		圓形	白底 紅邊 黑色圖文	
O007	遵 7	「僅准直行」		圓形	藍底 白色圖文	道路進行方向僅限於指定車輛者，應將車輛之圖案繪於標誌內 圖例為大貨車僅准右轉通行
O008	遵 8	「僅准右轉」		圓形	藍底 白色圖文	
O009	遵 9	「僅准左轉」		圓形	藍底 白色圖文	
O010	遵 10	「僅准右轉及左轉」		圓形	藍底 白色圖文	
O011	遵 11	「車道僅准直行」		方形	藍底 白色圖文	

代碼	規範編碼	類型	圖示	形狀	顏色	說明
O012	遵 12	「車道僅准右轉」		方形	藍底 白色圖文	
O013	遵 13	「車道僅准左轉」		方形	藍底 白色圖文	
O014	遵 14	「車道僅准直行及右轉」		方形	藍底 白色圖文	
O015	遵 15	「車道僅准直行及左轉」		方形	藍底 白色圖文	
O016	遵 16	「單行道」		方形	藍底 白色圖文	牌面與單行道平行者
O017	遵 17	「單行道」		方形	藍底 白色圖文	牌面與單行道垂直者
O018	遵 18	「靠右行駛」		圓形	藍底 白色圖文	
O019	遵 19	「靠左行駛」		圓形	藍底 白色圖文	
O020	遵 20	「機慢車兩段左轉」		圓形	藍底 白色圖文	
O021	遵 20.1	「機慢車兩段右轉」		圓形	藍底 白色圖文	
O022	遵 21	「圓環進行方向」		圓形	藍底 白色圖文	
O023	遵 22	「行人專用」		圓形	藍底 白色圖文	
O024	遵 22-1	「行人及自行車專用」		圓形	藍底 白色圖文	其通行有其他規定者，應在附牌內說明之

代碼	規範編碼	類型	圖示	形狀	顏色	說明
O025	遵 23	「四輪以上汽車專行」		圓形	藍底 白色圖文	道路專行標誌
O026	遵 23.1	「四輪以上汽車及重型機車專行」		圓形	藍底 白色圖文	
O027	遵 23.2	「四輪以上汽車及重型機車專行」		圓形	藍底 白色圖文	
O028	遵 24	「機慢車及自行車專行」		圓形	藍底 白色圖文	
O029	遵 25	「大客車專行」		圓形	藍底 白色圖文	
O030	遵 26	「四輪以上汽車專行」		方形	藍底 白色圖文	車道專行車輛標誌
O031	遵 26.1	「四輪以上汽車及重型機車專行」		方形	藍底 白色圖文	
O032	遵 26.2	「四輪以上汽車及重型機車專行」		方形	藍底 白色圖文	
O033	遵 27	「機慢車及自行車專行」		方形	藍底 白色圖文	
O034	遵 28	「大客車專行」		方形	藍底 白色圖文	
O035	遵 28.1	「自行車專行」		方形	藍底 白色圖文	
O036	遵 28.2	「自行車專行」		方形	藍底 白色圖文	整立於應進入該車道將近處之路側

代碼	規範編碼	類型	圖示	形狀	顏色	說明
O037	遵 28.3	「大眾捷運系統車輛專行」		方形	藍底 白色圖文	
O038	遵 28.4	「高乘載車輛專行」		方形	藍底 白色圖文	
O039	遵 29	「輪胎加鏈」		圓形	藍底 白色圖文	
O040	遵 30	「按喇叭」		圓形	藍底 白色圖文	
O041	遵 30-1	「開亮頭燈」		圓形	藍底 白色圖文	
O042	遵 31	「單線鐵路平交道」		交叉型	白底 紅邊	
				方形	白底 黑邊 紅色圖文	
O043	遵 32	「雙線以上鐵路平交道」		交叉型	白底 紅邊	
				方形	白底 黑邊 紅色圖文	
O044	遵 33	「單線電化鐵路平交道」		交叉型	白底 紅邊	
				圓形	白底 紅色圖文	
				方形	白底 黑邊 紅色圖文	

代碼	規範編碼	類型	圖示	形狀	顏色	說明
O045	遵 34	「雙線以上電化鐵路平交道」		交叉型	白底 紅邊	
				圓形	白底 紅色圖文	
				方形	白底 黑邊 紅色圖文	
P001	禁 1	「禁止進入」		圓形	紅底 白色圖文	
P002	禁 2	「禁止汽車進入」		圓形	白底 紅邊 黑色圖文	
P003	禁 2.1	「禁止重型機車進入」		圓形	白底 紅邊 黑色圖文	汽缸總排氣量五百五十立方公分以上之大型重型機車
P004	禁 2.2	「禁止重型機車進入」		圓形	白底 紅邊 黑色圖文	
P005	禁 3	「禁止機慢車進入」		圓形	白底 紅邊 黑色圖文	
P006	禁 3.1	「禁止大客車進入」		圓形	白底 紅邊 黑色圖文	
P007	禁 4	「禁止大貨車及聯結車進入」		圓形	白底 紅邊 黑色圖文	
P008	禁 5	「禁止聯結車進入」		圓形	白底 紅邊 黑色圖文	
P009	禁 6	「禁止大客車、大貨車及聯結車進入」		圓形	白底 紅邊 黑色圖文	

代碼	規範編碼	類型	圖示	形狀	顏色	說明
P010	禁 7	「禁止空計程車進入」		圓形	白底 紅邊 黑色圖文	
P011	禁 9	「禁止三輪車進入」		圓形	白底 紅邊 黑色圖文	
P012	禁 10	「禁止自行車進入」		圓形	白底 紅邊 黑色圖文	
P013	禁 11	「禁止電動自行車進入」		圓形	白底 紅邊 黑色圖文	
P014	禁 12	「禁止獸力車進入」		圓形	白底 紅邊 黑色圖文	
P015	禁 13	「禁止三輪車及獸力車進入」		圓形	白底 紅邊 黑色圖文	
P016	禁 15	「禁止汽車及機車進入」		圓形	白底 紅邊 黑色圖文	
P017	禁 16	「車道禁止進入」		方形	白底 紅色圖文	
P018	禁 17	「禁止右轉」		圓形	白底 紅邊 黑色圖文	
P019	禁 18	「禁止左轉」		圓形	白底 紅邊 黑色圖文	
P020	禁 19	「禁止左右轉」		圓形	白底 紅邊 黑色圖文	
P021	禁 20	「禁止右轉及直行」		圓形	白底 紅邊 黑色圖文	
P022	禁 21	「禁止左轉及直行」		圓形	白底 紅邊 黑色圖文	
P023	禁 22	「禁止迴車」		圓形	白底 紅邊 黑色圖文	

代碼	規範編碼	類型	圖示	形狀	顏色	說明
P024	禁 23	「禁止超車」		圓形	白底 紅邊 紅、黑色圖文	
P025	禁 24	「禁止行人通行」		圓形	白底 紅邊 黑色圖文	
P026	禁 25	「禁止停車」		圓形	白底 紅邊 黑色圖文	
P027	禁 26	「禁止臨時停車」		圓形	藍底 紅邊 紅色圖文	
P028	禁 27	「禁止會車」		圓形	白底 紅邊 紅、黑色圖文	
R001	限 1	「車輛總重限制」		圓形	白底 紅邊 黑色圖文	
R002	限 2	「車輛寬度限制」		圓形	白底 紅邊 黑色圖文	
R003	限 3	「車輛高度限制」		圓形	白底 紅邊 黑色圖文	
R004	限 4	「車輛長度限制」		圓形	白底 紅邊 黑色圖文	
R005	限 4-1	「行車安全距離限制」		圓形	白底 紅邊 黑色圖文	
R006	限 5	「最高速限」		圓形	白底 紅邊 黑色圖文	
R007	限 6	「最低速限」		圓形	藍底 白邊 白色圖文	
I001	0	「觀光遊樂地區」		方形	棕底 白邊 白色圖文	設於交岔路口前，用以指示通往觀光遊樂地區之方向

105

代碼	規範編碼	類型	圖示	形狀	顏色	說明
I002	0.1	「觀光遊樂地區」		方形	棕底 白邊 白色圖文	設於「指0」上游，用以預告行車方向
I003	0.2	「觀光遊樂地區」		方形	棕底 白邊 白色圖文	設於交岔路口後或路段中，用以確認行車方向及距離
I004	0.3	「觀光遊樂地區」		方形	棕底 白邊 白色圖文	設於將抵達該觀光遊樂地區適當處，用以指示所在地點
I005	0.4	「自行車路線指示標誌」		方形	棕底 白邊 白色圖文	
I006	0.5	「自行車路線指示標誌」		方形	棕底 白邊 白色圖文	
I007	指 1	「國道路線編號」		梅花形	白底 綠邊 黑色圖文	
I008	指 2	「省道路線編號」		盾形	藍底 單藍雙白邊 白色圖文	
I009	指 2.1	「快速公路之省道路線編號」		盾形	紅底 單藍雙白邊 白色圖文	
I010	指 3	「縣道路線編號」		正方形	白底 黑邊 黑色圖文	有支線為方形
I011	指 4	「鄉道路線編號」		正方形	白底 黑邊 黑色圖文	有支線為方形
I012	指 4.1	「自行車路線編號標誌」		圓形	棕底 白邊 白色圖文	
I013	指 7	「路線方位」		方形	白底 黑邊 黑色圖文	
I014	指 8	「路線方位」		方形	白底 黑邊 黑色圖文	

106

代碼	規範編碼	類型	圖示	形狀	顏色	說明
I015	指 9	「路線方位」		方形	白底 黑邊 黑色圖文	
I016	指 10	「路線方位」		方形	白底 黑邊 黑色圖文	
I017	指 11	「直行方向」		方形	白底 黑邊 黑色圖文	
I018	指 12	「左右轉方向」		方形	白底 黑邊 黑色圖文	
I019	指 13	「右轉方向」		方形	白底 黑邊 黑色圖文	
I020	指 14	「右轉方向」		方形	白底 黑邊 黑色圖文	
I021	指 15	「左轉方向」		方形	白底 黑邊 黑色圖文	
I022	指 16	「左轉方向」		方形	白底 黑邊 黑色圖文	
I023	指 17	「直行後右轉方向」		方形	白底 黑邊 黑色圖文	
I024	指 18	「直行後右轉方向」		方形	白底 黑邊 黑色圖文	
I025	指 19	「直行後左轉方向」		方形	白底 黑邊 黑色圖文	
I026	指 20	「直行後左轉方向」		方形	白底 黑邊 黑色圖文	
I027	指 21	「地名」		方形	綠底 白邊 白色圖文	

107

代碼	規範編碼	類型	圖示	形狀	顏色	說明
I028	指 21.1	「地名」		方形	綠底 白邊 白色圖文	
I029	指 22	「地名方向」		方形	綠底 白邊 白色圖文	指示行車方向，路線編號之圖文及顏色與各級公路編號標誌一致
I030	指 22.1	「地名方向」		方形	綠底 白邊 白色圖文	預告行車方向，路線編號之圖文及顏色與各級公路編號標誌一致
I031	指 22.2	「地名方向」		方形	綠底 白邊 白色圖文	指示行車方向，路線編號之圖文及顏色與各級公路編號標誌一致
I032	指 22.3	「地名方向」		方形	綠底 白邊 白色圖文	預告行車方向，路線編號之圖文及顏色與各級公路編號標誌一致
I033	指 22.4	「地名方向」		方形	綠底 白邊 白色圖文	指示行車方向，路線編號之圖文及顏色與各級公路編號標誌一致
I034	指 22.5	「地名方向」		方形	綠底 白邊 白色圖文	配合道路狀況，使用豎立或懸掛式安裝，路線編號之圖文及顏色與各級公路編號標誌一致

108

代碼	規範編碼	類型	圖示	形狀	顏色	說明
I035	指 23	「地名里程」		方形	綠底 白邊 白色圖文	
I036	指 23.1	「地名里程」		方形	綠底 白邊 白色圖文	
I037	指 23.2	「地名里程」		方形	綠底 白邊 白色圖文	
I038	指 24	「方向里程」		箭頭形	綠底 白邊 白色圖文	如需要加繪路線編號，路線編號之圖案及顏色與各級公路編號標誌一致。
I039	指 25	「路名」		方形	綠底 白邊 白色圖文	路線編號之圖文及顏色與各級公路編號標誌一致。有中央分隔島者之標誌設置位置
I040	指 25.1	「路名」		方形	綠底 白邊 白色圖文	路線編號之圖文及顏色與各級公路編號標誌一致

代碼	規範編碼	類型	圖示	形狀	顏色	說明
I041	指 26	「爬坡道預告」		方形	白底 黑邊 黑色圖文	
I042	指 27	「慢速車靠右」		方形	白底 黑邊 黑色圖文	
I043	指 28	「大型車靠右」		方形	白底 黑邊 黑色圖文	
I044	指 29	「車道指示」		方形	綠底 白邊 白色圖文	
I045	指 30	「高(快)速公路指引」		方形	綠底 白邊 白色圖文	
I046	指 30.1	「高(快)速公路指引」		方形	綠底 白邊 白色圖文	
I047	指 30.2	「高(快)速公路指引」		方形	綠底 白邊 白色圖文	
I048	指 31	「高(快)速公路出口預告」		方形	綠底 白邊 白色圖文	設於交流道出口前方二公里適當處
I049	指 32	「高(快)速公路出口預告」		方形	綠底 白邊 白色圖文	設於交流道出口前方一公里適當處
I050	指 33	「高(快)速公路出口預告」		方形	綠底 白邊 白色圖文	設於出口減速車道起點至鼻端間之適當處，為必要之設置。
I051	指 33.1	「高(快)速公路出口預告」		方形	綠底 白邊 白色圖文	出口動線複雜者或有標示間接通達需要者
I052	指 33.2	「高(快)速公路出口預告」		方形	綠底 白邊 白色圖文	有標示間接通達需要者

代碼	規範編碼	類型	圖示	形狀	顏色	說明
I053	指 33-1	「高(快)速公路出口距離」		方形	綠底 白邊 白色圖文	
I054	指 33-1.1	「高(快)速公路出口距離」		方形	綠底 白邊 白色圖文	
I055	指 33-1.2	「高(快)速公路出口距離」		方形	綠底 白邊 白色圖文	
I056	指 33-2.1	「高(快)速公路高乘載車道起(終)點預告」		方形	綠底 白邊 白色圖文	
I057	指 33-2.2	「高(快)速公路高乘載車道起(終)點預告」		方形	綠底 白邊 白色圖文	設於高乘載車道起點前方一公里適當處
I058	指 33-2.3	「高(快)速公路高乘載車道起(終)點預告」		方形	綠底 白邊 白色圖文	設於高乘載車道起點前方五百公尺適當處，為必要之設置
I059	指 33-3.1	「高(快)速公路高乘載車道起(終)點預告」		方形	綠底 白邊 白色圖文	
I060	指 33-3.2	「高(快)速公路高乘載車道起(終)點預告」		方形	綠底 白邊 白色圖文	
I061	指 34	「高速公路出口處數」		方形	綠底 白邊 白色圖文	
I062	指 35	「高速公路出口處街名里程」		方形	綠底 白邊 白色圖文	

代碼	規範編碼	類型	圖示	形狀	顏色	說明
I063	指 36	「高(快)速公路交流道名稱」		方形	黃底 黑邊 黑色圖文	
I064	指 37	「高(快)速公路出口」		方形	綠底 白邊 白色圖文	
I065	指 38	「高速公路服務區預告」		方形		
I066	指 39	「高速公路服務區進口方向」		方形		
I067	指 40	「公路休息站預告」		方形		
I068	指 41	「公路休息站進口方向」		方形		
I069	指 42	「公路收費站預告」		方形		
I070	指 43	「路況廣播」		方形		
I071	指 44	「里程碑」		方形	上排 白底 黑色圖文 下排 黑底 白色圖文	設於一般公路
I072	指 45	「里程碑」		方形	綠底 白色圖文	設於高速公路、一般公路
I073	指 46	「停車處」		方形	藍底 白色圖文	得以附牌說明指示方向、車種、收費時

代碼	規範編碼	類型	圖示	形狀	顏色	說明
I074	指 47	「停車處」		方形	藍底 白色圖文	間、收費方式及停車場名稱 計時
I075	指 48	「停車處」		方形	藍底 白色圖文	視需要設於停車場五百公尺範圍內之適當地點
I076	指 48.1	「停車處」		方形	藍底 白色圖文	
I077	指 49	「身心障礙者停車位」		方形	藍底 白色圖文	
I078	指 52	「拖吊放置場」		方形	藍底 白色圖文	
I079	指 53	「運輸場」		方形	藍底 白、黑色圖文	捷運車站
I080	指 53.1	「運輸場」		方形	藍底 白、黑色圖文	航空站
I081	指 53.2	「運輸場」		方形	藍底 白、黑色圖文	港埠
I082	指 53.3	「運輸場」		方形	藍底 白、黑色圖文	鐵路車站

113

代碼	規範編碼	類型	圖示	形狀	顏色	說明
I083	指 53.4	「運輸場」		方形	藍底 白、黑色圖文	高速鐵路車站
I084	指 53.5	「運輸場」		方形	藍底 白、黑色圖文	公路汽車客運車站或轉運站
I085	指 53-5.1	「運輸場」		方形	藍底 白、黑色圖文	纜車站
I086	指 53-5.2	「運輸場」		方形	藍底 白、黑色圖文	若不同運具共用場站時，得以共面方式設置
I087	指 53-5.3	「運輸場」		方形	藍底 白、黑色圖文	得以文字說明該場站種類或場站名稱
I088	指 53-1	「機關(構)」		方形	藍底 白色圖文	
I089	指 54	「人行天橋」		方形	藍底 白色圖文	
I090	指 55	「人行地下道」		方形	藍底 白色圖文	
I091	指 56	「救護站」		方形	白底 藍邊 紅色圖文	
I092	指 57	「修理站」		方形	白底 藍邊 黑色圖文	

114

代碼	規範編碼	類型	圖示	形狀	顏色	說明
I093	指 58	「加油站」		方形	白底 藍邊 紅、黑色圖文	
I094	指 58-1	「加氣站」		方形	白底 藍邊 紅、黑色圖文	
I095	指 58-2	「充電站」		方形	白底 藍邊 紅、黑色圖文	
I096	指 59	「電話」		方形	白底 藍邊 黑色圖文	「緊急電話」為白底 紅色圖文
I097	指 60	「渡口」		方形	白底 藍邊 黑色圖文	
I098	指 61	「餐飲服務」		方形	白底 藍邊 黑色圖文	
I099	指 62	「學校」		方形	藍底 白色圖文	
I100	指 63	「醫院」		方形	藍底 白色圖文	
I101	指 64	「避車彎」		方形	藍底 白色圖文	
I102	指 65	「此路不通」		方形	藍底 紅、白色圖文	

115

代碼	規範編碼	類型	圖示	形狀	顏色	說明	
I103	指 66	「迴轉道」		方形	綠底 白邊 白色圖文		
I104	指 67	「繞道」		方形	綠底 白、黑色圖文	管制標誌其圖文及顏色應與原規定之管制標誌一致	
I105	指 68	「道路通阻指示」		方形	暢通	綠底 白色圖文	標牌(1)應以綠底白字書明「暢通」,途中阻斷時,以紅底白字書明「封閉」。標牌(2)為白底,表明途中應注意之事項:如「最高行車時速」、「當心落石」、「輪胎加鏈」標誌縮小圖案。標牌(3)在路線暢通時,以白底黑字書明「全線通行」,路線封閉時,應書明「可通至××」等字樣。
					封閉	紅底 白色圖文	
					備註	白底 黑色圖文	

116

代碼	規範編碼	類型	圖示	形狀	顏色	說明
I106	指 69	「替代路線指引」		方形	螢光黃綠底 黑邊 黑色圖文	指示通往地點之方向，設置於路口上游處
I107	指 69.1	「替代路線指引」		方形	螢光黃綠底 黑邊 黑色圖文	
I108	指 69.2	「替代路線指引」		方形	螢光黃綠底 黑邊 黑色圖文	
I109	指 69.3	「替代路線指引」		方形	螢光黃綠底 黑邊 黑色圖文	以指示通往地點之里程，設置於路口下游處或路段中，其公里數以整數計
A001	輔 1	「車道預告」		方形	藍底 白色圖文	
A002	輔 2	「安全方向導引」		方形	黃底 黑色圖文	
A003	輔 3	「調整車道分向線指示」		方形	黃底 黑邊 黑色圖文	
A004	拒 1	「道路施工」		方形	橙底 黑細邊 黑色圖文	
A005	拒 2	「車輛慢行」		方形	橙底 黑細邊 黑色圖文	
A006	拒 3	「道路封閉」		方形	橙底 黑細邊 黑色圖文	
A007	拒 4	「車輛改道」		方形	橙底 黑細邊 黑色圖文	

117

代碼	規範編碼	類型	圖示	形狀	顏色	說明
A008	拒 5	「交通管制」		方形	橙底 黑細邊 黑色圖文	
A009	拒 6	「車輛改道」		方形	橙底 黑細邊 黑、白色圖文	向右改道
A010	拒 7	「車輛改道」		方形	橙底 黑細邊 黑、白色圖文	向左改道
A011	施 1	「道路施工」		菱形	橙底 黑細邊 黑色圖文	前一公里
A012	施 2	「道路施工」		菱形	橙底 黑細邊 黑色圖文	前三百公尺
A013	施 3	「道路施工」		菱形	橙底 黑細邊 黑色圖文	
A014	施 4	「道路封閉」		菱形	橙底 黑細邊 黑、白色圖文	前一公里
A015	施 5	「道路封閉」		菱形	橙底 黑細邊 黑、白色圖文	前三百公尺
A016	施 6	「道路封閉」		菱形	橙底 黑細邊 黑、白色圖文	
A017	施 7	「右道封閉」		菱形	橙底 黑細邊 黑、白色圖文	前一公里
A018	施 8	「右道封閉」		菱形	橙底 黑細邊 黑、白色圖文	前三百公尺
A019	施 9	「右道封閉」		菱形	橙底 黑細邊 黑、白色圖文	
A020	施 10	「左道封閉」		菱形	橙底 黑細邊 黑、白色圖文	前一公里
A021	施 11	「左道封閉」		菱形	橙底 黑細邊 黑、白色圖文	前三百公尺

118

代碼	規範編碼	類型	圖示	形狀	顏色	說明
A022	施 12	「左道封閉」		菱形	橙底 黑細邊 黑、白色圖文	
A023	施 13	「中間封閉」		菱形	橙底 黑細邊 黑、白色圖文	前一公里
A024	施 14	「中間封閉」		菱形	橙底 黑細邊 黑、白色圖文	前三百公尺
A025	施 15	「中間封閉」		菱形	橙底 黑細邊 黑、白色圖文	
A026	施 16	「車輛改道」		菱形	橙底 黑細邊 黑、白色圖文	向左改道
A027	施 17	「車輛改道」		菱形	橙底 黑細邊 黑、白色圖文	向右改道
A028	施 18	「指示改道」		方形	橙底 黑細邊 黑色圖文	向左改道
A029	施 19	「指示改道」		方形	橙底 黑細邊 黑色圖文	向右改道
A030	施 20	「單線行車」		菱形	橙底 黑細邊 黑、白色圖文	
A031	無	固定行拒馬		方形	橙白相間底 或 白底 黑色圖文	
A032	無	交通錐		錐形	橙 或 橙白相間斜紋	
A033	無	車輛故障		正等邊三角 形	紅色中空	可移動

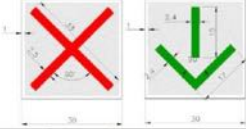


119

表 A.5 號誌代碼

分類：行車管制號誌: Vehicle /行人專用號誌: Pedestrian /特種交通號誌: Special

代碼	類型	圖示	說明	顏色	燈號形狀	尺寸(公尺)	
V001	定時號誌	<p>橫排者</p> <p>直排者</p>	用於交通量穩定或變化有規律之地點，按預定時制表，依序顯示各種燈號。	紅 黃 綠 綠色箭頭	圓形	直徑	0.2 或 0.25 或 0.3
V002	交通感應號誌		用於交通量變化顯著且無規律，或幹支道交通量懸殊之地點				
V003	交通調整號誌		係以偵測器蒐集直行與轉向交通量，及行車速率等交通資料，以計算出最佳之控制計畫，使號誌控制能即時反應交通變化。				
P001	定時號誌		用於交通量穩定或變化有規律之地點，按預定時制表，依序顯示各種燈號。	紅 綠	方形	邊長	0.2 或 0.25 或 0.3

120

代碼	類型	圖示	說明	顏色	燈號形狀	尺寸(公尺)	
P002	行人觸動號誌		應指示按鈕位置，並註明使用方法。				
S001	車道管制號誌		分派車道之使用權，設於道路中段或收費站。另可於道路上搭配增設箭頭圖案之方形黃色燈號，以警告接近之車輛變換車道。	紅 綠	方形	邊長	0.3
S002	鐵路平交道號誌		禁止行人、車輛穿越鐵路平交道，設於鐵路平交道前。	紅	圓形	直徑	0.2 或 0.25 或 0.3
S003	行人穿越號誌		警告接近之車輛應減速慢行，如有行人穿越須暫停讓行人優先穿越街道，設於斑馬紋行人穿越道標線前。	黃	圓形	直徑	0.2 或 0.25 或 0.3

121

代碼	類型	圖示	說明	顏色	燈號形狀	尺寸(公尺)	
S004	特種閃光號誌		警告接近之車輛注意前方路況，應先暫停或減速慢行，再視路況以定行，設於交岔路口或危險路段前。	紅 黃	圓形	直徑	0.2 或 0.25 或 0.3
S005		以音響告知盲人可通行之方向及警告車輛駕駛人有盲人通過。視需要設於盲人搭乘集中地點附近之交岔路口或路段。	無	無	無	無	
S006	匝道儀控號誌		管制車輛在入口匝道上之行止，以達到限制車輛進入高(快)速公路主線之目的。設於入口匝道與加速車道連接之位置。	紅 綠	圓形	直徑	0.2 或 0.25 或 0.3

122

代碼	類型	圖示	說明	顏色	燈號形狀	尺寸(公尺)	
S007	大眾運輸系統聲光號誌		警告接近之車輛及行人應暫停讓大眾捷運系統車輛優先通行。 設於接近大眾捷運系統車輛經過之交岔路口或路段。	紅	方形	無	無

附錄 B

(規定)

OpenDRIVE 代碼

本節以表格條列 OpenDRIVE 1.5 之代碼，本標準擴充部分以灰底顯示。

表 B.1 道路類型代碼(Road Type) 灰底部分為本標準擴充

項次	代碼	說明
1.	unknown	未知
2.	rural	鄉道
3.	motorway	高速公路
4.	town	市道
5.	lowSpeed	慢車道，限速 30 公里
6.	pedestrian	行人專用道
7.	bicycle	自行車專用道
8.	TownExpressway	高速公路
9.	TownCollector	聯絡道路
10.	TownArterial	市區幹道
11.	TownPrivate	私人道路
12.	TownLocal	區道
13.	TownPlaystreet	兒童街道
14.	national highway	國道
15.	provincial highway	省道
16.	county highway	縣道

表 B.2 道路標記類型代碼 (Road Mark Type)

項次	代碼	定義
1	none	無
2	solid	實線
3	broken	虛線
4	solid	雙實線
5	solid broken	一實一虛
6	broken solid	一虛一實
7	broken	雙虛線
8	botts dots	點
9	grass	草地的邊緣
10	curb	限制
11	custom	自訂，子標籤中有詳細描述



項次	代碼	定義
12	edge	道路邊緣

表 B.3 道路標記寬度類型代碼 (Road Mark Weight Type)

項次	代碼	定義
1	standard	標準
2	bold	加寬

表 B.4 道路標記顏色類型代碼 (Road Mark Color Type)

項次	代碼	定義
1	standard	標準，通常為白色
2	blue	藍色
3	green	綠色
4	red	紅色
5	white	白色
6	yellow	黃色
7	orange	橘色

表 B.5 車道類型代碼 (Lane Type) 灰底部分為本標準擴充

項次	代碼	定義
1	none	無
2	driving	車道
3	stop	禁止進入
4	shoulder	路肩
5	biking	自行車道
6	sidewalk	人行道
7	border	邊界，車道之間的界線
8	restricted	限制
9	parking	路邊停車帶
10	bidirectional	雙向行駛之車道，通常為狹窄道路的情況
11	median	中央分隔帶
12	special1	特殊 1
13	special2	特殊 2
14	special3	特殊 3
15	roadWorks	道路施工
16	tram	輕軌電車專用道
17	rail	鐵路
18	entry	入口
19	exit	出口
20	offRamp	出口閘道



項次	代碼	定義
21	onRamp	入口開道
22	connectingRamp	連結開道
23	bus	公車專用道
24	taxi	計程車專用道
25	HOV	高乘載車道
26	lowSpeed	慢車道，限速 30 公里
27	barrier	隔欄
28	inner shoulder	內路肩
29	outer shoulder	外路肩
30	island	分向島
31	bus parking	客運停車彎
32	public utilities	公共設施帶

表 B.6 物體類型代碼 (Object Type) 灰底部分為本標準擴充

項次	代碼	定義
1	none	未知
2	obstacle	障礙，任何未進一步分類之事物
3	pole	電線杆
4	tree	樹木
5	vegetation	植被
6	barrier	隔欄
7	building	建物
8	parkingspace	停車位
9	patch	區域
10	railing	欄杆
11	trafficIsland	分向島
12	crosswalk	行人穿越道
13	streetLamp	路燈
14	gantry	跨軌信號架(龍門)
15	soundBarrier	隔音牆
16	deceleration	減速帶(減速丘)
17	drainCover	水溝蓋
18	manholeCover	人孔蓋
19	hydrant	消防栓
20	speedCamera	測速照相
21	redLightCamera	闖紅燈測速照相
22	trafficPole	交通桿
22	delineator	反光導標



表 B.7 隧道類型代碼 (Tunnel Type)

項次	代碼	定義
1	standard	一般情況
2	underpass	地下道

表 B.8 橋梁類型代碼 (Bridge Type)

項次	代碼	定義
1	concrete	混凝土
2	steel	鋼
3	brick	磚
4	wood	木

表 B.9 限制類型代碼 (Access restriction Type)

項次	代碼	定義
1	simulator	模擬器
2	autonomousTraffic	自駕車用道路
3	pedestrian	行人
4	passengerCar	客車
5	bus	公車
6	delivery	貨運
7	emergency	緊急情況
8	taxi	計程車
9	throughTraffic	穿越道路
10	truck	卡車
11	bicycle	自行車
12	motorcycle	機車
13	none	無通行限制

表 B.10 邊界類型代碼 (Border Type)

項次	代碼	定義
1	concrete	混凝土
2	curb	緣石

附錄 C

(規定)

擴充設計類別 XML 綱要

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!-- edited with XMLSpy v2013 (http://www.altova.com) by () -->
<xs:schema xmlns:hdmmap="https://www.land.moi.gov.tw/hdmap/1.0"
xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" targetNamespace="https://www.land.moi.gov.tw/hdmap/1.0"
elementFormDefault="qualified" attributeFormDefault="unqualified">
  <xs:element name="HDMMap">
    <xs:annotation>
      <xs:documentation>放置於 road 內的 userdata，取代 any</xs:documentation>
    </xs:annotation>
    <xs:complexType>
      <xs:sequence>
        <xs:element name="geoLocation" type="xs:string" minOccurs="0"/>
        <xs:element name="LaneCenterLines" minOccurs="0">
          <xs:complexType>
            <xs:sequence>
              <xs:element ref="hdmmap:LaneCenterLine" minOccurs="0"
maxOccurs="unbounded"/>
            </xs:sequence>
          </xs:complexType>
        </xs:element>
        <xs:element name="Waypoints" minOccurs="0">
          <xs:complexType>
            <xs:sequence>
              <xs:element ref="hdmmap:Waypoint" minOccurs="0"
maxOccurs="unbounded"/>
            </xs:sequence>
          </xs:complexType>
        </xs:element>
        <xs:element name="StopLines" minOccurs="0">
          <xs:complexType>
            <xs:sequence>
```



```
maxOccurs="unbounded"/>
    <xs:sequence>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="SignalDatas" minOccurs="0">
  <xs:complexType>
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="hdmmap:SignalData" minOccurs="0"
maxOccurs="unbounded"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="MarkDatas" minOccurs="0">
  <xs:complexType>
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="hdmmap:MarkData" minOccurs="0"
maxOccurs="unbounded"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="MarkLines" minOccurs="0">
  <xs:complexType>
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="hdmmap:MarkLine" minOccurs="0"
maxOccurs="unbounded"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="MarkAreas" minOccurs="0">
  <xs:complexType>
    <xs:sequence>
      <xs:element ref="hdmmap:MarkArea" minOccurs="0"
maxOccurs="unbounded"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="MarkGraphs" minOccurs="0">
  <xs:complexType>
```



```

                <xs:sequence>
                    <xs:element ref="hdmapi:MarkGraph" minOccurs="0"
maxOccurs="unbounded" />
                </xs:sequence>
            </xs:complexType>
        </xs:element>
    </xs:sequence>
</xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="MarkData" type="hdmapi:MarkArea" />
<xs:element name="SignalData" type="hdmapi:SignalData" />
<xs:element name="StopLine" type="hdmapi:StopLine" />
<xs:element name="MarkLine" type="hdmapi:MarkLine" />
<xs:element name="MarkArea" type="hdmapi:MarkArea" />
<xs:element name="MarkGraph" type="hdmapi:MarkGraph" />
<xs:element name="LaneCenterLine" type="hdmapi:LaneCenterLine" />
<xs:element name="Waypoint" type="hdmapi:Waypoint" />
<xs:complexType name="MarkData">
    <xs:sequence>
        <xs:element name="id" type="xs:string" />
        <xs:element name="code" type="xs:string" />
        <xs:element name="geoLocation" type="xs:string" />
        <xs:element name="bboxMin" type="xs:string" />
        <xs:element name="bboxMax" type="xs:string" />
    </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="SignalData">
    <xs:sequence>
        <xs:element name="id" type="xs:string" />
        <xs:element name="code" type="xs:string" maxOccurs="unbounded" />
        <xs:element name="angle" type="xs:double" />
        <xs:element name="geoLocation" type="xs:string" />
        <xs:element name="radius" type="xs:double" />
        <xs:element name="bboxMin" type="xs:string" />
        <xs:element name="bboxMax" type="xs:string" />
    </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="StopLine">
    <xs:sequence>

```



```
<xs:element name="id" type="xs:string"/>
<xs:element name="code" type="xs:string"/>
<xs:element name="signalId" type="xs:string" maxOccurs="unbounded"/>
<xs:element name="width" type="xs:double"/>
<xs:element name="geoLocation" type="xs:string"/>
</xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="MarkLine">
  <xs:sequence>
    <xs:element name="id" type="xs:string"/>
    <xs:element name="code" type="xs:string"/>
    <xs:element name="geometry" type="xs:string"/>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="MarkArea">
  <xs:sequence>
    <xs:element name="id" type="xs:string"/>
    <xs:element name="code" type="xs:string"/>
    <xs:element name="geometry" type="xs:string"/>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="MarkGraph">
  <xs:sequence>
    <xs:element name="id" type="xs:string"/>
    <xs:element name="code" type="xs:string"/>
    <xs:element name="markAreaId" type="xs:string"/>
    <xs:element name="geometry" type="xs:string"/>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="LaneCenterLine">
  <xs:sequence>
    <xs:element name="id" type="xs:string"/>
    <xs:element name="type" type="xs:string"/>
    <xs:element name="predecessor" type="xs:string" minOccurs="0"/>
    <xs:element name="successor" type="xs:string" minOccurs="0"/>
    <xs:element name="width" type="xs:string"/>
    <xs:element name="material" type="xs:string"/>
    <xs:element name="speed" type="xs:integer" minOccurs="0"/>
    <xs:element name="restriction" type="xs:string" minOccurs="0"/>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
```



```
<xs:element name="height" type="xs:double" minOccurs="0"/>
<xs:element name="weight" type="xs:double" minOccurs="0"/>
<xs:element name="startWaypoint" type="xs:string"/>
<xs:element name="endWaypoint" type="xs:string"/>
<xs:element name="geoLocation" type="xs:string"/>
<xs:element name="tunnelId" type="xs:string" minOccurs="0"/>
<xs:element name="bridgeId" type="xs:string" minOccurs="0"/>
</xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="Waypoint">
  <xs:sequence>
    <xs:element name="id" type="xs:string"/>
    <xs:element name="velocity" type="xs:double"/>
    <xs:element name="stoplineId" type="xs:string" minOccurs="0"/>
    <xs:element name="geoLocation" type="xs:string"/>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:element name="geoLocation" type="xs:string">
  <xs:annotation>
    <xs:documentation>放置於 lane、tunnel、bridge 內的 userdata，取代
any</xs:documentation>
  </xs:annotation>
</xs:element>
<xs:element name="objectAtts">
  <xs:annotation>
    <xs:documentation>放置於 object 內的 userdata，取代 any</xs:documentation>
  </xs:annotation>
  <xs:complexType>
    <xs:sequence>
      <xs:element name="poleType" type="xs:string"/>
      <xs:element name="pointGeoLocation" type="xs:string"/>
      <xs:element name="zTop" type="xs:double"/>
      <xs:element name="extentGeoLocation" type="xs:string"/>
      <xs:element name="lampGeoLocation" type="xs:string"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
</xs:element>
<xs:element name="signalAtts">
  <xs:annotation>
```



```
<xs:documentation>放置於 signal 內的 userdata，取代 any</xs:documentation>
</xs:annotation>
<xs:complexType>
  <xs:sequence>
    <xs:element name="code" type="xs:string"/>
    <xs:element name="signalDataId" type="xs:string"/>
    <xs:element name="stopLineId" type="xs:string"/>
  </xs:sequence>
</xs:complexType>
</xs:element>
</xs:schema>
```

參考資料

- [1]公路法，民國 106 年 1 月 4 日。
- [2]公路路線設計規範，民國 104 年 12 月 4 日。
- [3]公路隧道設計規範，民國 107 年 2 月 6 日。
- [4]公路橋梁設計規範，民國 98 年 12 月 31 日。
- [5]道路交通標誌標線號誌設置規則，民國 106 年 6 月 14 日。
- [6]市區道路及附屬工程設計規範，民國 104 年 7 月 22 日。
- [7]道路交通管理處罰條例，民國 100 年 8 月 1 日。

版本修改紀錄

版本	時間	摘要
v0.1	2018/10/04	第一次專家會議書面審閱版本
v0.2	2018/11/26	第一次專家會議後修正版本
v0.3	2019/12/02	第二次專家會議書面審閱版本

附錄五

「高精地圖檢核報告書」

108 年度自駕車用地圖標準 及移動測繪技術發展工作案

高精地圖檢核報告書 (沙崙、歸仁校區及沙崙外圍道路場域)

計畫主持人：江凱偉 教授
協同主持人：曾義星 教授
洪榮宏 教授
郭重言 教授
王驥魁 教授
呂學展 副教授

委託單位：內政部

執行單位：國立成功大學

目錄

目錄.....	1
圖目錄.....	3
表目錄.....	4
一、 作業規劃檢核.....	5
1.1 送審資料.....	5
1.2 檢查內容及方法.....	5
1.3 檢查成果.....	6
1.4 結論.....	9
二、 控制測量成果檢核.....	10
2.1 送審資料.....	10
2.2 檢查內容及方法.....	10
2.3 檢查結果.....	11
2.4 結論.....	14
三、 作業成果檢核.....	15
3.1 送審資料.....	15
3.2 檢查內容及方法.....	15
3.3 檢查成果.....	16
3.4 結論.....	22
四、 點雲密度.....	23
4.1 送審資料.....	23
4.2 檢查內容及方法.....	23
4.3 檢查成果.....	23
4.4 結論.....	27
五、 向量圖層幾何精度檢核.....	28

5.1 送審資料	28
5.2 檢查標準	28
5.3 檢查項目	28
5.4 檢查方式	31
5.5 結論	37
附件一 測繪車掃瞄儀器設備型式與規格	38
附件二 RIEGL VMX-250 原廠率定報告書	40
附件三 控制測量檢核成果	41

圖目錄

圖 1-1 RIEGL VMX-250 系統.....	7
圖 1-2 掃瞄路線規劃 (沙崙場域)	7
圖 1-3 掃瞄路線規劃 (沙崙外圍道路場域)	8
圖 1-4 GNSS 接收品質預估.....	9
圖 2-1 沙崙場域控制點檢驗施測照.....	12
圖 2-2 歸仁校區及沙崙外圍道路場域控制點檢驗施測照.....	12
圖 2-3 沙崙場域檢核點檢驗施測照.....	13
圖 2-4 歸仁校區及沙崙外圍道路場域檢核點檢驗施測照.....	13
圖 3-1 掃瞄參數規劃.....	16
圖 3-2 基站位置圖.....	17
圖 3-3 GNSS 基站接收頻率示意圖	18
圖 3-4 車載掃瞄軌跡 (沙崙場域)	18
圖 3-5 車載掃瞄 PDOP 值 (沙崙場域)	19
圖 3-6 點雲資料展點圖 (沙崙場域)	19
圖 3-7 車載掃瞄軌跡 (沙崙外圍道路、歸仁校區場域)	20
圖 3-8 車載掃瞄 PDOP 值 (沙崙外圍道路、歸仁校區場域)	21
圖 3-9 點雲資料展點圖 (沙崙外圍道路、歸仁校區場域)	22
圖 4-1 點雲密度計算成果 (沙崙場域)	24
圖 4-2 點雲密度不足區域 (沙崙場域)	25
圖 4-3 點雲密度計算成果 (歸仁校區場域)	25
圖 4-4 點雲密度計算成果 (沙崙外圍道路)	26
圖 5-1 車道線、路面邊緣圖、車道中心線、標線、停止線示意圖	29
圖 5-2 中央分隔島示意圖.....	29
圖 5-3 指向線示意圖.....	30

圖 5-4 行人穿越道示意圖.....	30
圖 5-5 交通號誌、標誌示意圖.....	31
圖 5-6 路面邊緣檢核示意圖.....	32
圖 5-7 車道線檢核示意圖.....	33
圖 5-8 中央分隔島檢核示意圖.....	33
圖 5-9 車道中心線檢核示意圖.....	34
圖 5-10 停止線檢核示意圖.....	34
圖 5-11 指向線檢核示意圖.....	35
圖 5-12 行人穿越道檢核示意圖.....	35
圖 5-13 號誌、燈號、桿檢核示意圖.....	36
圖 5-14 標誌、桿檢核示意圖.....	36

表目錄

表 4-1 點雲密度計算成果統計（沙崙場域）.....	24
表 4-2 點雲密度計算成果統計（歸仁校區場域）.....	26
表 4-3 點雲密度計算成果統計（沙崙外圍道路）.....	26

一、 作業規劃檢核

1.1 送審資料

受檢單位應繳交施測的測繪車作業計畫書，其內容所應包含各項說明如下：

- (1) 測繪車掃瞄儀器設備型式與規格說明：包含 IMU、GNSS、LiDAR、相機。
- (2) 定位定向系統(POS)性能測試及率定書面報告：須提供 IMU 與 GNSS 的規格、系統參數以及實測成果的精度。
- (3) 掃瞄範圍規劃圖：需檢附 SHP、CAD 或其他通用之流通格式範圍圖檔。
- (4) 各規劃路線之掃瞄設定參數：包含雷射測點密度、視角角度大小、雷射發射頻率、掃瞄頻率。

1.2 檢查內容及方法

- (1) 測繪車掃瞄儀器設備：受檢單位需於作業規畫階段交付測繪車掃瞄儀器率定報告書。率定報告至少需包含系統率定方法、日期、地點、原始率定資料、計算過程記錄（含關鍵之軟體處理畫面）及成果精度說明等相關資料並檢查其型式與規格是否詳列於報告書中，而 IMU 可透過慣性測量儀測試與率定流程進行規格絕對精度檢測，GNSS 可利用靜態測試基線場進行絕對定位精度驗證。

- (2) 掃瞄範圍及雷射測點密度：檢查掃瞄範圍是否涵蓋測區，雷射測點密度依照業主不同定位精度需求而定。
- (3) GNSS 幾何條件評估：檢查 GNSS 基站分佈與規劃之 GNSS 衛星觀測時段之幾何條件是否符合要求。每條掃瞄路線至少應有 2 個 GNSS 基站同步接收 GNSS 觀測量。所用之 GNSS 接收儀須為雙頻儀器，每秒至少接收 1 筆數據。地面 GNSS 基站之 PDOP/VDOP 需小於 3。

1.3 檢查成果

針對上述四個檢查項目逐一檢查，檢查成果如下：

- (1) 測繪車掃瞄儀器設備型式與規格說明：車載光達使用 RIEGL 公司的 RIEGL VMX-250，同時搭載 GPS 及 IMU 感測器，如圖 1-1 所示，規格詳如附件一。
- (2) 定位定向系統(POS)性能測試及率定書面報告：受檢單位提供原廠於 2017 年 RIEGL VMX-250 商用車儀器出廠時所進行率定之報告書，如附件二。
- (3) 掃瞄範圍規劃圖：受檢單位於沙崙場域(臺灣智駕測試實驗室)規劃 7 條掃瞄路線作業，如圖 1-2 所示。沙崙外圍道路則分為四條掃瞄路線來回掃瞄，如圖 1-3 所示。成功大學歸仁校區需於掃瞄作業當天由校方決定路線，故無法進行路線規劃。



圖 1-1 RIEGL VMX-250 系統



圖 1-2 掃瞄路線規劃 (沙崙場域)



圖 1-3 掃瞄路線規劃 (沙崙外圍道路場域)

- (4) 各規劃路線之掃瞄設定參數：掃瞄參數規劃為測點頻率 300KHz 及掃瞄頭旋轉速率 100 line/sec，車速則設定為 30km/h。
- (5) GNSS 幾何條件評估：GNSS 基站採用國土測繪中心之 CKSV 基站、氣象局之 ZEND 及 NCKU 基站。GNSS 衛星觀測時段之幾何預估如圖 1-4。

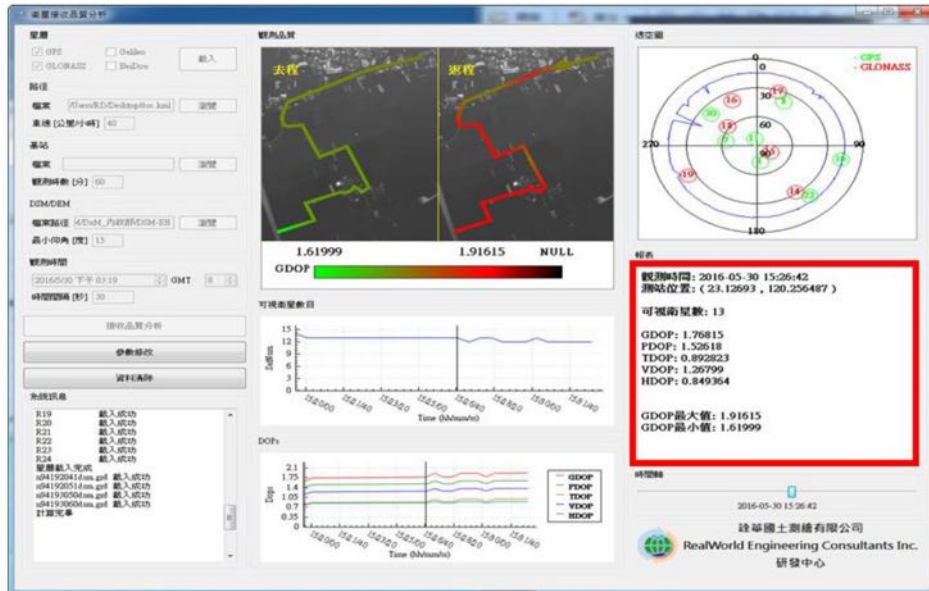


圖 1-4 GNSS 接收品質預估

1.4 結論

本案「作業規劃檢核」項目於 108 年 08 月 16 日完成檢核。資料全數符合規定，檢核結果為「通過」。

二、 控制測量成果檢核

採用內政部國土測繪中心建構之 e-GNSS 定位系統即時定位或後處理定位辦理檢核。依據內政部國土測繪中心公告之精度成果，採用虛擬基準站即時動態定位(VBS-RTK)服務，其定位精度可達公分等級，優於計畫需求精度，故採用此 e-GNSS 技術進行成果檢核。檢查項目以下依序說明各項目檢查工作之送審資料、檢查內容及方法及通過標準。

2.1 送審資料

施測場域的控制測量成果報告書，其內容所應包含之各項說明如下：

- (1) 作業方法、坐標成果（含.xls 檔）、控制點與檢核點點之記和分佈圖。

2.2 檢查內容及方法

本案施測場域為沙崙、歸仁校區及沙崙外圍道路場域，其中沙崙場域去年度已施測完成並佈設已知點，此次沙崙場域引用已知點供全站儀施測進行檢驗，歸仁校區及沙崙外圍道路場域則採用虛擬基準站即時動態定位(VBS-RTK)。

- (1) 精度需求：控制點其精度需達公分等級，其絕對平面精度須小於 10 公分，絕對三維精度須小於 15 公分。檢核點需平均分布於場域內，其絕對平面精度須小於 20 公分，絕對三維精度須小於 30 公分。
- (2) 坐標轉換與套合：內政部國土測繪中心 e-GNSS 即時動態定位系統，其坐

標系統為 e-GNSS 坐標，與台灣法定坐標系統不同，故須進行轉換。為節省坐標系統轉換之繁複程序，內政部國土測繪中心分別將轉換七參數、殘差網格修正模型與網格內插計算方法傳送給接收站，提供 VBS-RTK 測量成果即時轉換至法定坐標系統或後續上傳至內政部國土測繪中心網站進行轉換。

- (3) 測設臨時控制點輔助檢核測量：若測點因透空度不佳或其他因素影響，導致衛星定位無法獲得固定解(Ambiguity Fix)之較高精度定位成果，得以 VBS-RTK 定位技術設置臨時控制點，並配合全測站(Total Station)進行施測。

2.3 檢查結果

- (1) 控制點：控制點之目的為提供提升高精地圖精確度之用途，增設之控制點與實測數據絕對平面精度須小於 10 公分，絕對三維精度須小於 15 公分，檢驗比例需達 50%以上。此次沙崙場域設置 40 點控制點，隨機抽驗 22 點控制點，歸仁校區及沙崙外圍道路場域共設置 40 點控制點，抽驗其中 27 點，檢驗比例皆達 50%以上，各場域檢核結果均符合精度要求。控制點檢驗施測照片如圖 2-1 及圖 2-2 所示，詳細檢驗成果見附件三。
- (2) 檢核點：檢核點作為製圖誤差計算及精度分析之使用，檢驗比例需達 100%。此次沙崙場域、歸仁校區及沙崙外圍道路場域各設置 10 點檢核點，總計 20

點檢核點，其中歸仁校區及沙崙外圍道路場域於檢驗時有 3 點檢核點因道路施工等因素導致減失而無法檢核。檢核點檢核結果均符合絕對平面精度須小於 20 公分，絕對三維精度須小於 30 公分之精度要求。檢核點檢驗施測照片如圖 2-3 及圖 2-4 所示，詳細檢驗成果見附件二。



圖 2-1 沙崙場域控制點檢驗施測照



圖 2-2 歸仁校區及沙崙外圍道路場域控制點檢驗施測照



圖 2-3 沙崙場域檢核點檢驗施測照



圖 2-4 歸仁校區及沙崙外圍道路場域檢核點檢驗施測照

2.4 結論

沙崙、歸仁校區及沙崙外圍道路場域之控制測量檢核，經檢驗全數符合控制點其絕對平面精度須小於 10 公分且絕對三維精度須小於 15 公分，檢核點之絕對平面精度須小於 20 公分且絕對三維精度須小於 30 公分之精度要求。本案「控制測量成果檢核」項目於 108 年 08 月 16 日完成檢核沙崙場域，並於 108 年 10 月 30 日完成檢核歸仁校區及沙崙外圍道路場域。控制點與檢核點之絕對精度全數符合規定，檢核結果為「通過」。

三、 作業成果檢核

3.1 送審資料

受檢單位需於執行掃瞄後繳交原始測繪車掃瞄數據與測繪車掃瞄報告書：

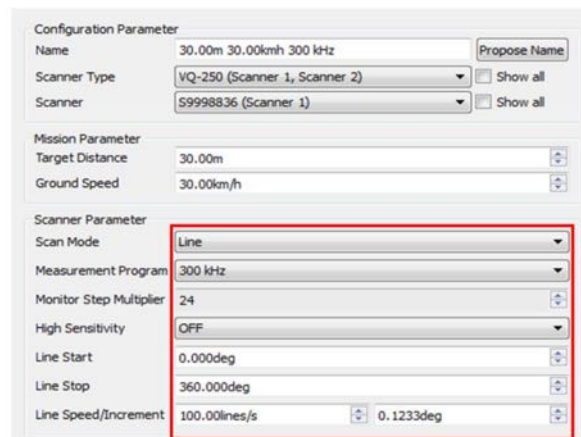
- (1) 測繪車掃瞄報告書：包含掃瞄路線圖、掃瞄參數、GNSS 軌跡（含坐標、時間，其中時間記錄格式應為 GPS WEEK、GPS TIME，且儲存為 ASCII 檔或其他通用格式）、GNSS 基站分佈圖、GNSS 基站衛星觀測 PDOP 圖、車載雷射掃瞄儀檢定報告書。
- (2) 掃瞄儀器所下載未經處理前之資料：包含 GPS、IMU 與車載雷射掃瞄儀測距資料、經初步處理後之 LAS 格式檔，若受檢單位的點雲資料無法提供 LAS 格式，則需提供能處理該格式資料的軟體及使用方法。

3.2 檢查內容及方法

- (1) GNSS 幾何條件：檢查 GNSS 基站分佈與 GNSS 衛星觀測時段之幾何條件與時間記錄是否符合要求。每條掃瞄路線至少應有 2 個 GNSS 基站同步接收。所用之 GNSS 接收儀須為雙頻儀器，每秒至少接收 1 筆數據。
- (2) 掃瞄日期及時間：依據各原始檔案檢查施測日期及時間。
- (3) 作業實施軌跡與規劃軌跡一致性：依據各原始檔案檢查施測路線是否與規劃路線一致。

3.3 檢查成果

測繪車掃瞄報告書：沙崙場域作業於 108 年 5 月 14 日完成車載光達掃瞄，沙崙外圍道路則於 108 年 6 月 5 日完成掃瞄作業。掃瞄參數設定為測點頻率 300KHz 及掃瞄頭旋轉速率 100 line/sec，車速則設定為 30km/h，如圖 3-1 所示。GNSS 基站採用基站採用國土測繪中心之 CKSV 基站、氣象局之 ZEND 及 NCKU 基站進行解算，其分佈如圖 3-2 所示，且每秒接收一筆資料，基站接收頻率如圖 3-3 所示。沙崙場域掃瞄作業之軌跡如圖 3-4 所示，施測當下衛星定位接收 PDOP 值如圖 3-5 所示。沙崙外圍道路、成大歸仁校區之掃瞄軌跡如圖 3-7 所示，施測當下衛星定位接收 PDOP 值如圖 3-8 所示。沙崙場域光達點雲展點圖如圖 3-6 所示。沙崙外圍道路、成大歸仁校區點雲展點圖如圖 3-9 所示。



Configuration Parameter	
Name	30.00m 30.00kmh 300 kHz
Scanner Type	VQ-250 (Scanner 1, Scanner 2)
Scanner	S9998836 (Scanner 1)
Mission Parameter	
Target Distance	30.00m
Ground Speed	30.00km/h
Scanner Parameter	
Scan Mode	Line
Measurement Program	300 kHz
Monitor Step Multiplier	24
High Sensitivity	OFF
Line Start	0.000deg
Line Stop	360.000deg
Line Speed/Increment	100.00lines/s 0.1233deg

圖 3-1 掃瞄參數規劃



圖 3-2 基站位置圖

19 05 14 0 0 1.0000000	0	19G	3G14G16G22G25G26G27G29G31G32R	3R	4	.000000000
23615856.664			R 5R14R15R16R17R23R24			
96703025.992	6	20.900	124102140.617	5	39.500	23615867.492
20428900.063			107354660.845	6	44.700	20428907.316
83652952.907	8	36.300	111768828.138	6	44.100	21268908.402
21268901.750			123518646.088	5	40.100	23504845.824
87092613.564	7	32.100	134381590.117	1	28.300	
23504840.859			107032100.500	7	40.500	20367557.855
96248402.284	6	21.800	12778029			792.273
25569505.664			12292805			54.180
			11307166			40.574
			11091391			25.844
			12017342			23.191
			104681556.402	7	47.200	19548495.164
			112346658.259	7	46.300	21017328.621
			115719608.574	6	44.400	21614909.742
			112643995.696	7	46.300	21079804.859
			27196464.028	1	32.000	
			121290762.310	5	40.000	22666081.566
			127838080.014	2	33.700	
			119940166.958	3	35.100	
19 05 14 0 0 2.0000000	0	19G	3G14G16G22G25G26G27G29G31G32R	3R	4	.000000000

每秒接收一筆資料

圖 3-3 GNSS 基站接收頻率示意圖



圖 3-4 車載掃瞄軌跡 (沙崙場域)

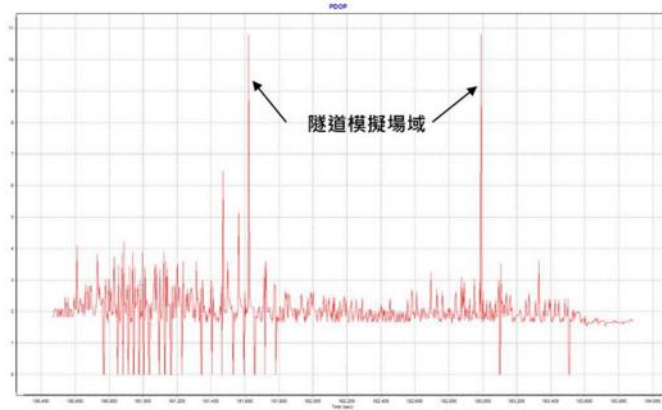


圖 3-5 車載掃瞄 PDOP 值 (沙崙場域)

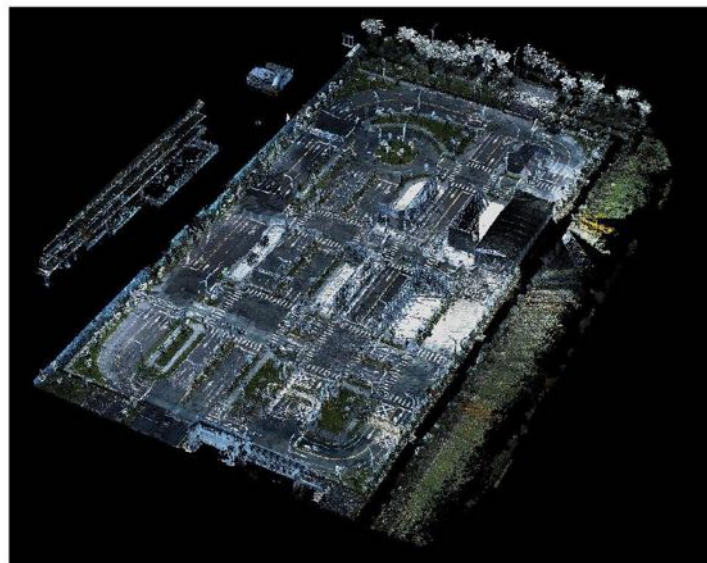


圖 3-6 點雲資料展點圖 (沙崙場域)

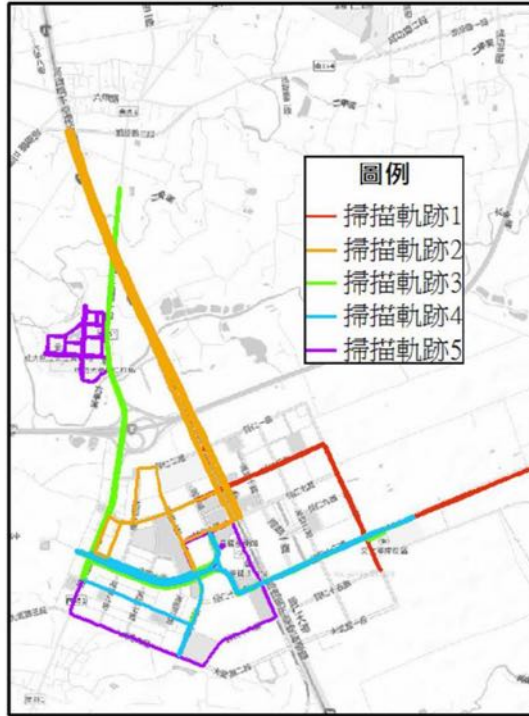


圖 3-7 車載掃瞄軌跡（沙崙外圍道路、歸仁校區場域）

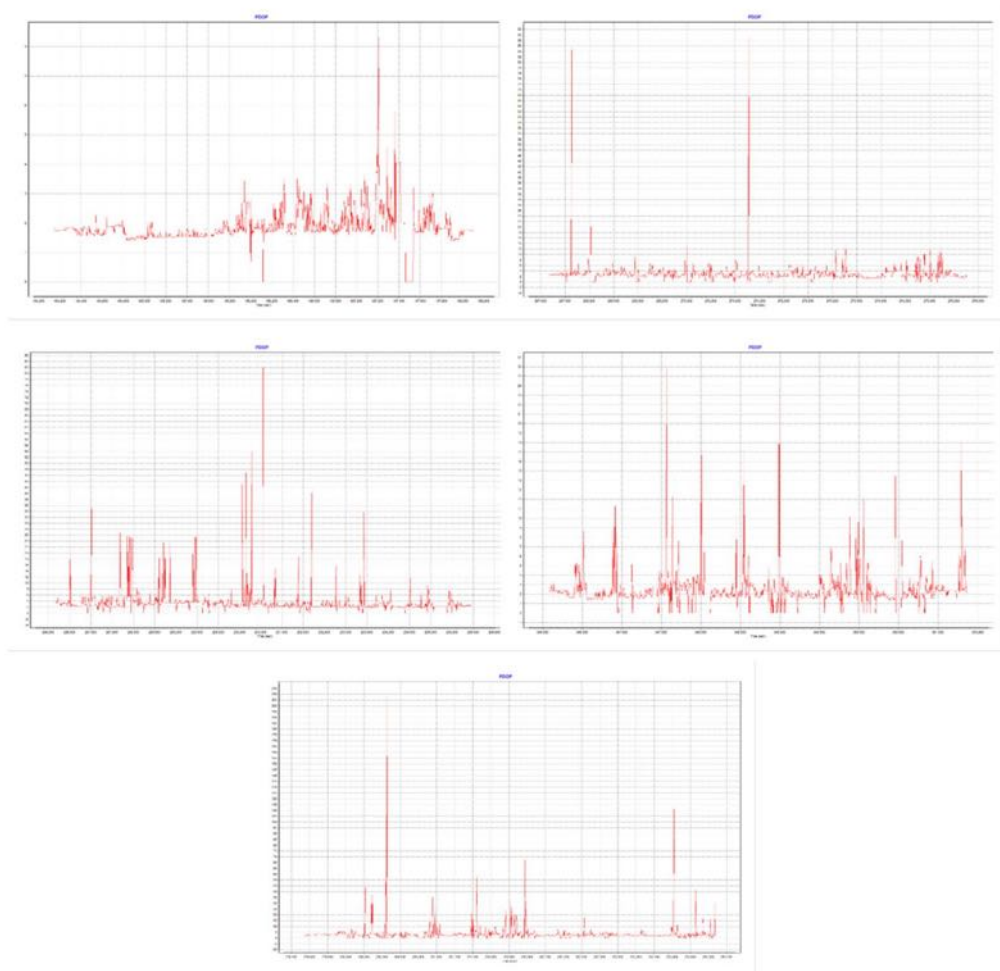


圖 3-8 車載掃瞄 PDOP 值 (沙崙外圍道路、歸仁校區場域)

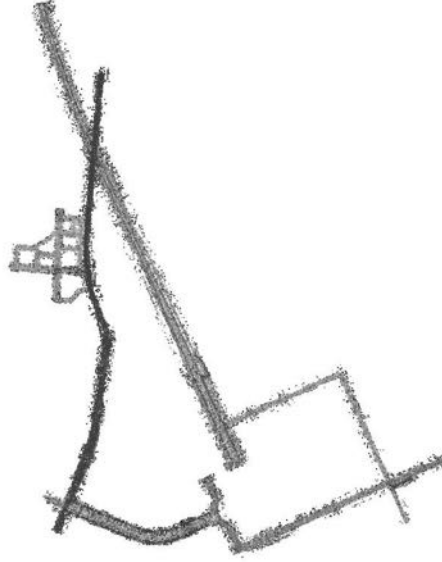


圖 3-9 點雲資料展點圖 (沙崙外圍道路、歸仁校區場域)

3.4 結論

本案「作業成果檢核」項目於 108 年 08 月 16 日完成檢核沙崙場域，並於 108 年 10 月 30 日完成檢核歸仁校區及沙崙外圍道路場域。資料全數符合規定，檢核結果為「通過」。

四、點雲密度

4.1 送審資料

- (1) 測繪點雲資料：經平差處理點雲之 LAS 格式檔，若受檢單位的點雲資料無法提供 LAS 格式，則需提供能處理該格式資料的軟體及使用方法。資料內容應包含各掃瞄點的地面三維坐標值、反射強度值等資料，所繳交之點雲資料應已經剔除不合理點群。

4.2 檢查內容及方法

- (1) 以點雲密度進行檢核：樣本單位以 1×1 平方公尺之點雲，檢查所有樣本，資料檢核範圍以道路邊緣線(Road Edge) 向外延伸 1 公尺為界。點雲密度須滿足第一級主動控制應用場景之點雲密度($2500-10000 \text{ pts/m}^2$)
- (2) 通過標準：測區內不合格網格數目比例應低於 5%，否則將洽詢受檢單位補充掃瞄路線。

4.3 檢查成果

以整個測區之點雲資料，以點雲密度計算程式，以 1×1 平方公尺為單位統計點雲密度，並擷取測區範圍內道路邊緣線向外沿伸一公尺之範圍，將點雲密度 $>10000 \text{ pts/m}^2$ 以綠色展示， $<10000 \text{ pts/m}^2$ 以平均點雲密度以紅色展示，檢核成果如圖 4-1、4-3、4-4 所示，數據統計成果統計如表 1、表 2、表 3 所示。



圖 4-1 點雲密度計算成果（沙崙場域）

表 4-1 點雲密度計算成果統計（沙崙場域）

總格數	合格格數 (大於 1.0/cm ²)	不合格格數 (小於 1.0/cm ²)
10936	10563	373

- 每一網格面積為 1 公尺×1 公尺
- $\frac{\text{不合格格數}}{\text{總格數}} = \frac{373}{10936} = 0.0341 = 3.4\%$

測區點雲密度不足之部份，如圖 4-2 紅框處。主要為公車停靠處以及停車格兩部分。然而不合格的比例小於 5% 的要求，故此項目（沙崙場域）檢核合格。

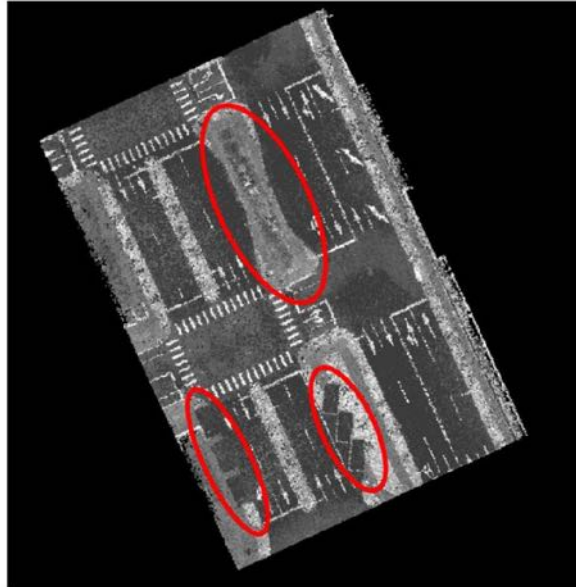


圖 4-2 點雲密度不足區域 (沙崙場域)

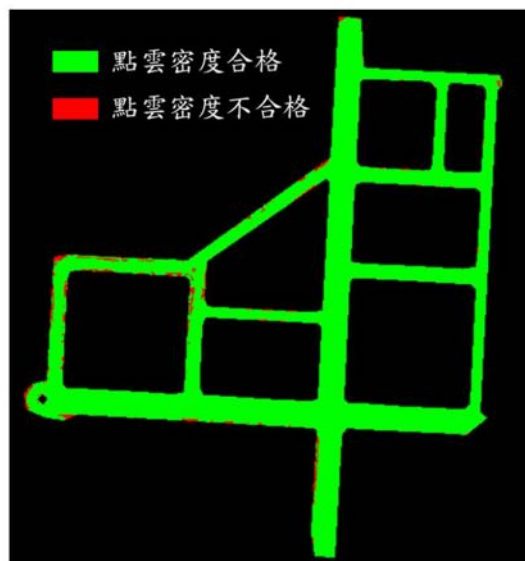


圖 4-3 點雲密度計算成果 (歸仁校區場域)

表 4-2 點雲密度計算成果統計（歸仁校區場域）

總格數	合格格數 (大於 1.0/cm ²)	不合格格數 (小於 1.0/cm ²)
34466	33513	953

- 每一網格面積為 1 公尺×1 公尺
- $\frac{\text{不合格格數}}{\text{總格數}} = \frac{953}{34466} = 2.7\%$

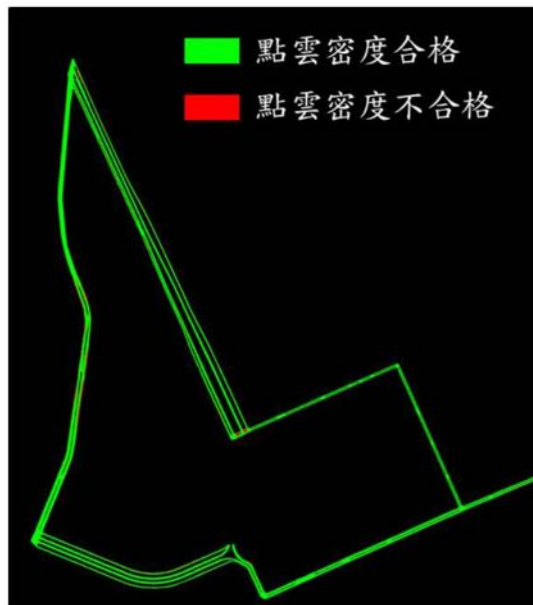


圖 4-4 點雲密度計算成果（沙崙外圍道路）

表 4-3 點雲密度計算成果統計（沙崙外圍道路）

總格數	合格格數 (大於 1.0/cm ²)	不合格格數 (小於 1.0/cm ²)
183535	174385	9150

- 每一網格面積為 1 公尺×1 公尺
- $\frac{\text{不合格格數}}{\text{總格數}} = \frac{9150}{183535} = 4.9\%$

沙崙外圍道路、歸仁校區場域之點雲密度不足區域皆低於 5%，檢核結果為「通過」。

4.4 結論

本案「點雲密度檢核」項目於 108 年 07 月 01 日完成檢核沙崙場域，不合格比例合於本案要求（小於 5%），並檢核「通過」。沙崙外圍道路、歸仁校區場域於 108 年 12 月 19 日完成檢核，點雲密度不足區域皆低於 5%，不合格比例合於本案要求（小於 5%），並檢核「通過」。

五、 向量圖層幾何精度檢核

5.1 送審資料

- (1) 交付高精地圖向量檔案，須為 3D 向量圖檔 SHP。需繳交圖層項目參照「高精地圖圖資內容標準(草案)」。

5.2 檢查標準

確定向量物件範圍及形狀是否正確，檢查絕對或相對位置精度，平面位置較差須小於 20 公分，且三維較差須小於 30 公分視為合格。

5.3 檢查項目

下列僅列舉向量圖層幾何精度檢核之項目名稱及示意圖，各項目之定義參照「高精地圖圖資內容標準(草案)」所訂定之內容。

- (1) 道路：包含車道線、路面邊緣(圖 5-1)及中央分隔島(圖 5-2)。
- (2) 車道：包含車道中心線，如圖 5-1 所示。
- (3) 標線：包含停止線(圖 5-1)、標線(圖 5-1)、標線範圍。標線範圍包含指向線(圖 5-3)、行人穿越道(圖 5-4)。
- (4) 標誌、號誌、燈號、桿：如圖 5-5 所示。

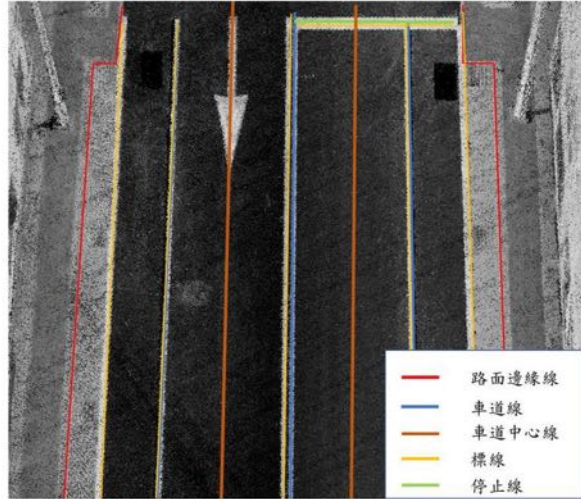


圖 5-1 車道線、路面邊緣圖、車道中心線、標線、停止線示意圖

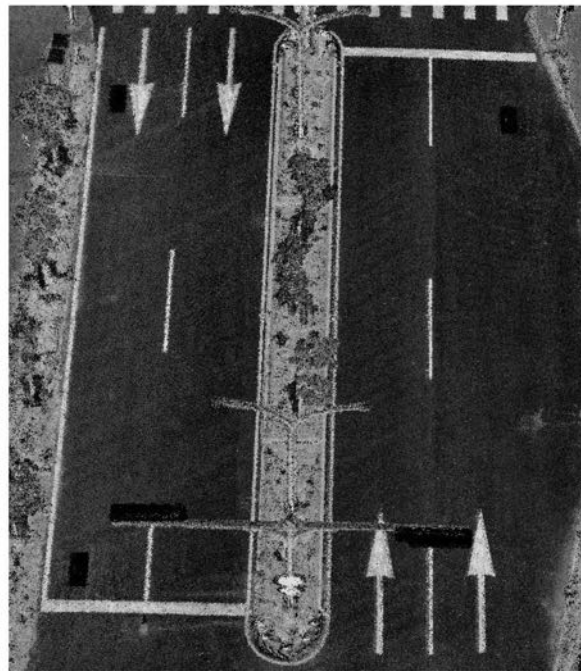


圖 5-2 中央分隔島示意圖

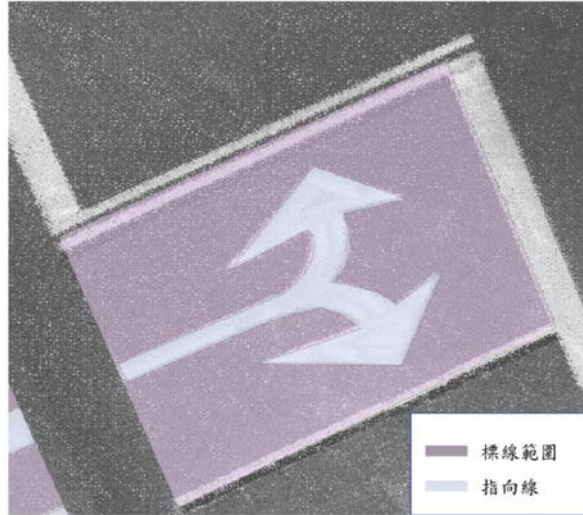


圖 5-3 指向線示意圖

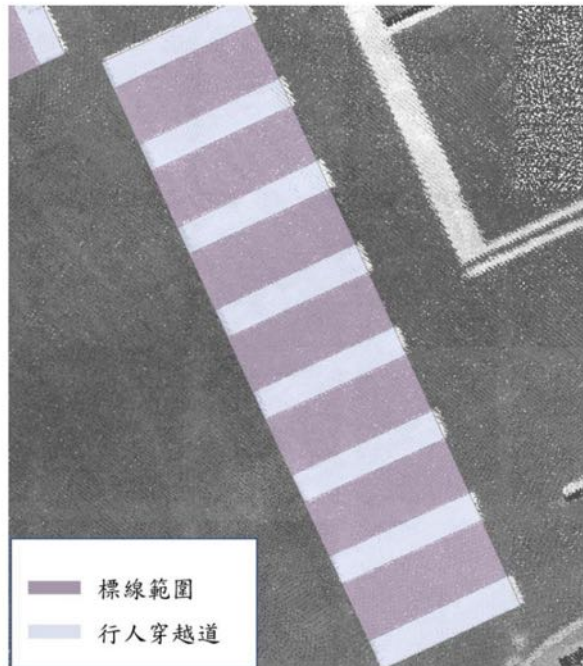


圖 5-4 行人穿越道示意圖



圖 5-5 交通號誌、標誌示意圖

5.4 檢查方式

- (1) 道路—路面邊緣：路面邊緣線為路緣石下方之邊界線，圖 5-6 箭頭所指處為點雲中展現之路面邊緣之位置，藍線為受檢單位數化成果。量測兩者之較差，以檢核是否符合精度要求。
- (2) 道路—車道線：檢核方式同路面邊緣線，受檢單位所數化之車道線與點雲中展現之車道線位置比較較差，檢核是否滿足精度需求，如圖 5-7 所示。
- (3) 道路—中央分隔島：數化物件與實測物件比較較差，比較端點或是線型較差，檢核是否符合精度要求，如圖 5-8 所示。同時輔以點雲檢核數化面狀範圍之合理性。
- (4) 車道—車道中心線：選取待測車道，該車道數化約 20 公尺長的矩形，再利用細化得出車道中心線，並與受檢單位所數化之車道中心線比較較差，檢

核是否滿足精度需求，如圖 5-9 所示。

- (5) 標線—停止線：選取待測停止線並數化矩形，再利用細化的方式得出停止線，並與受檢單位所數化之停止線比較較差，檢核是否滿足精度需求，如圖 5-10 所示。
- (6) 標線—指向線：檢核數化實型特徵角點與外業實測之差異是否在精度需求內，如圖 5-11 所示。同時輔以點雲檢核數化面狀範圍之合理性。
- (7) 標線—行人穿越道：檢核外業實測面狀範圍與數化面狀範圍是否在精度需求內，如圖 5-12 所示。同時輔以點雲檢核數化面狀範圍之合理性。
- (8) 標誌、號誌、燈號、桿：以點雲檢核數化位置之精度及數化位置之合理性，如圖 5-13 及圖 5-14 所示。

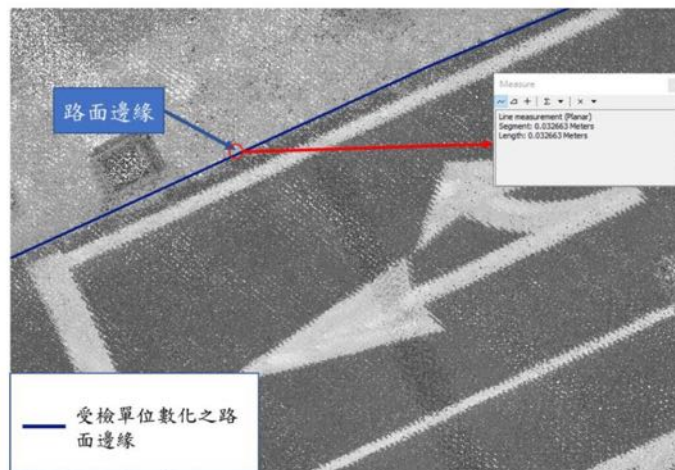


圖 5-6 路面邊緣檢核示意圖

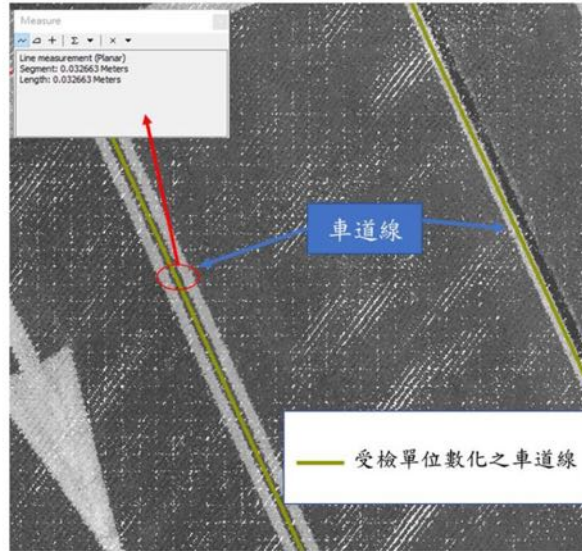


圖 5-7 車道線檢核示意圖

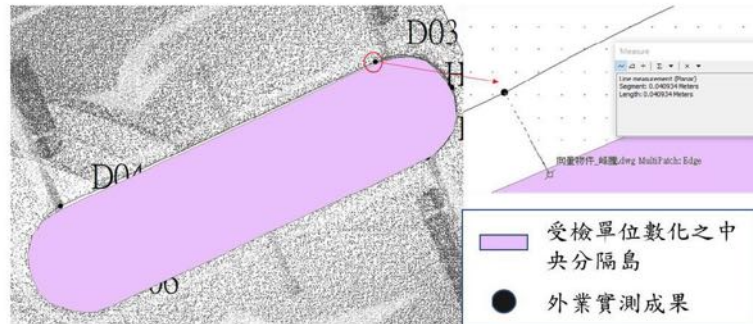


圖 5-8 中央分隔島檢核示意圖

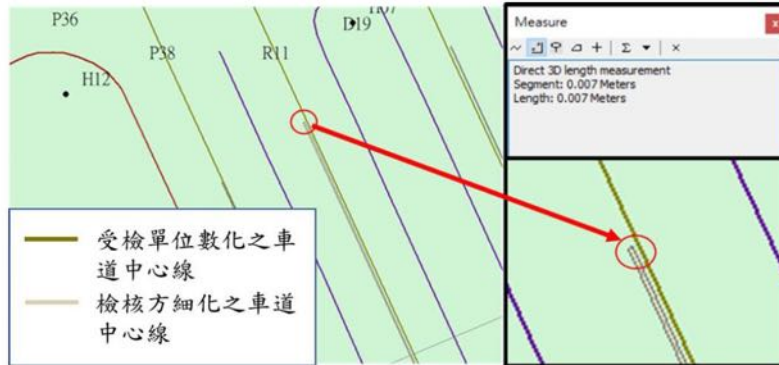


圖 5-9 車道中心線檢核示意圖

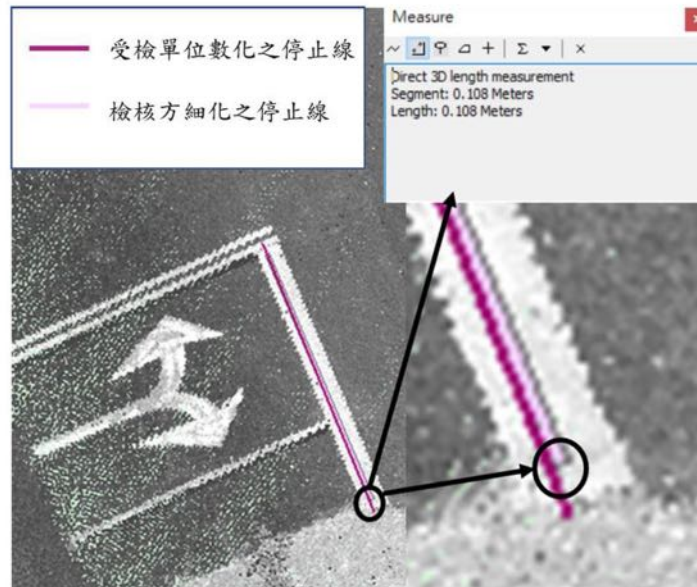


圖 5-10 停止線檢核示意圖

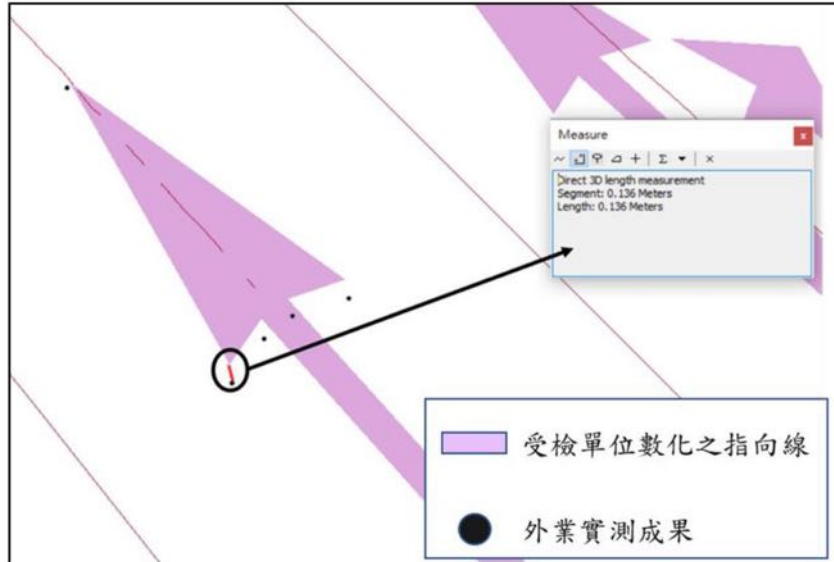


圖 5-11 指向線檢核示意圖

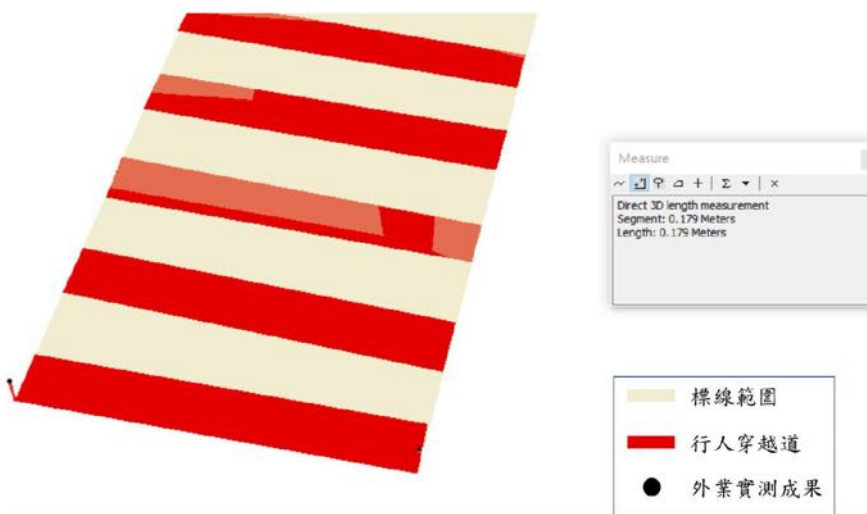


圖 5-12 行人穿越道檢核示意圖

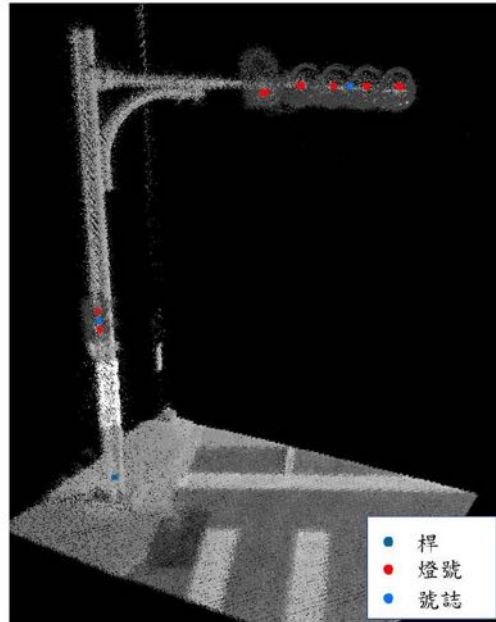


圖 5-13 號誌、燈號、桿檢核示意圖

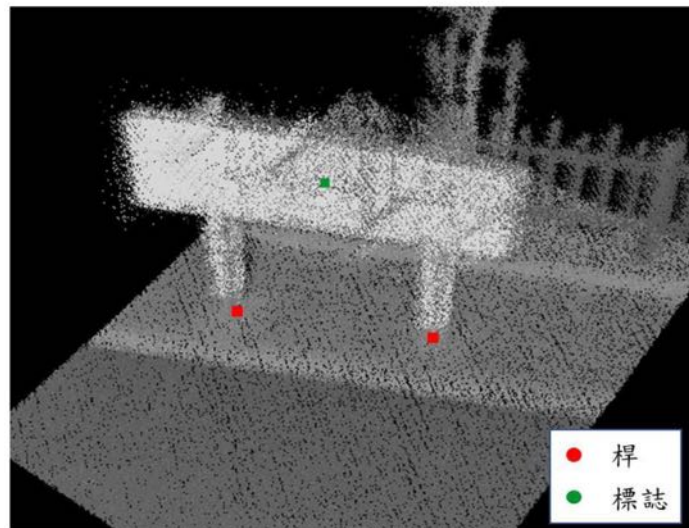


圖 5-14 標誌、桿檢核示意圖

5.5 結論

本案「向量圖層幾何精度檢核」項目採全面檢核，於 108 年 09 月 11 日完成檢核沙崙場域，檢核結果為「通過」。且於 108 年 11 月 27 日完成檢核沙崙外圍道路、歸仁校區場域，並檢核通過。

附件一 測繪車掃瞄儀器設備型式與規格

■ RIEGL VMX-250



GNSS/IMU/DMI

Position (absolute)*	20-50 mm
Position (relative)**	10 mm

* One sigma values, no GNSS outage, with DMI option, post-processed using base station data.
 ** With a control point spacing < 100 m.


Scanners— VQ250

PRR	600 khz (Max.)
LPS	Up to 200
Accuracy	10 mm
Precision	5 mm

Cameras— CS6

Resolution	2452×2056
Pixel size	3.45×3.45 μm ²
Field of View	80°×65° (H×V)
Exposure	38μs~60s

■ GNSS 儀器:

Specifications	Trimble Zephyr Model 2 Antenna
	
Frequencies	Trimble Zephyr™ Model 2 Antenna GPS/QZSS/SBAS L1, BDS B1, 1551-1585 MHz GLN G1, 1590-1614 MHz GPS/QZSS L2, GLN G2, 1217-1257MHz GPS/QZSS/SBAS L5, GAL E5, BDS B2, 1164-1214 MHz GAL E6, QZSS LEX, 1260-1300 MHz MSS (OmniSTAR, RTX), 1555-1559 MHz (PN 77970-00) MSS (OmniSTAR, RTX), 1525-1559 MHz (PN 57970-00)
Signal Tracking	GPS, Glonass, Beidou, Galileo, QZSS, MSS (OmniSTAR ¹ , RTX), SBAS
Dimensions	dia 15.2 cm x 7.4 cm H (dia 6" x 2.9" H)
Weight	0.59 kgs (1.3lbs)
Antenna cable connector	TNC. Sealed
Mounting	5/8"-11 UNC thread mount
Operation temperature	-40 °C to +70 °C (-40 °F to 158 °F)
Storage temperature	-55 °C to +85 °C (-67 °F to 185 °F)
Environmental	MIL-810-F Figure 514.5c-17 Vibration levels on each axis Shock tested table MIL-810-F Table 516.5-1 2m drop, bouyant
Humidity	100% humidity proof, fully sealed
Feed	4 point
LNA(Low Noise Amplifier) input	3.3 V DC – 12 V DC (100 mA)
LNA(Low Noise Amplifier) gain	L1 50 dB / L2 50 dB
Power handling	
Antenna compliance	CE
Phase stability	<2 mm
L1, Antenna Phase Centre (APC)	
Notes:	1. Optimised for regional L-Band signal reception. Check that the tracked L-Band frequency is suitable for the OmniSTAR service you wish to use. PN 77970-00 will receive OmniStar transmissions over USA and Canada only. PN 57970-00 is recommended for all regions other than USA and Canada © 2008, Trimble Navigation Limited. All rights reserved. Trimble, and the Globe & Triangle logo are trademarks of Trimble Navigation Limited, registered in the United States and in other countries. Zephyr is a trademark of Trimble Navigation Limited. All other trademarks are the property of their respective owners. PN 022482-1494
Specifications subject to change without notice.	

附件二 RIEGL VMX-250 原廠率定報告書



System Test and Calibration Protocol

RIEGL VMX-250 ND S/N 9999141
System Test and Calibration Protocol

Author: RIEGL Laser Measurement Systems GmbH
 Harald Teufelsbauer, Markus Nowotny, Daniela Maier
 Customer: Linkfast Technology Co., Ltd (Taiwan)
 Date: March 29, 2017
 Issue: 01
 Pages: 19

Copying of this document, and giving it to others and the use or communication of the contents thereof, is forbidden without express authority. Offenders are liable to the payment of damages. All rights are reserved in the event of the grant or the registration of a utility model or design.

CONTENT

1	SYSTEM CONFIGURATION	2
2	RECORDED DATA AND TEST CONDITIONS	3
2.1	Trajectory analysis	3
3	SOFTWARE USED	5
4	SYSTEM DESCRIPTION	5
5	SYSTEM CALIBRATION	6
5.1	IMU/GNSS calibration parameters.....	6
5.2	Scanner 1 calibration parameters	6
5.3	Scanner 2 calibration parameters	7
5.4	Checking calibration parameters in RiACQUIRE/RiPROCESS	8
6	QUALITY CHECK/ASSURANCE.....	12
6.1	Visual assessment in RiPROCESS.....	12
6.2	Analysis with Scan Data Adjustment in RiPROCESS.....	14

附件三 控制測量檢核成果

沙崙場域控制點：

點名	成果提交 (公尺)			查驗成果 (公尺)			精度分析 (公分)				
	N	E	h	N	E	h	dN	dE	dh	平面 差值	三維 差值
B01	2535879.451	177037.583	44.626	2535879.458	177037.585	44.635	0.007	0.002	0.009	0.007	0.012
B03	2535865.307	177032.953	44.658	2535865.313	177032.958	44.672	0.006	0.005	0.014	0.008	0.016
B04	2535875.107	177028.435	44.651	2535875.108	177028.437	44.667	0.001	0.002	0.016	0.003	0.016
B06	2535865.765	177002.472	44.687	2535865.760	177002.477	44.686	-0.005	0.005	-0.001	0.007	0.007
B08	2535879.815	176993.051	44.628	2535879.806	176993.051	44.638	-0.009	0.000	0.010	0.009	0.014
B19	2535868.047	177052.107	44.730	2535868.056	177052.115	44.723	0.009	0.008	-0.007	0.012	0.014
B21	2535841.036	177060.038	44.654	2535841.040	177060.055	44.656	0.004	0.017	0.002	0.017	0.017
B22	2535843.870	177075.388	44.678	2535843.888	177075.400	44.695	0.018	0.012	0.017	0.022	0.028
B23	2535846.695	177083.239	44.697	2535846.719	177083.252	44.716	0.024	0.013	0.019	0.027	0.033
B24	2535857.571	177090.678	44.697	2535857.602	177090.683	44.702	0.031	0.005	0.005	0.031	0.032
B26	2535860.960	177024.507	44.668	2535860.965	177024.508	44.690	0.005	0.001	0.022	0.005	0.023
B27	2535858.006	177031.155	44.642	2535858.010	177031.156	44.666	0.004	0.001	0.024	0.004	0.025
B28	2535836.625	177042.882	44.645	2535836.624	177042.882	44.641	-0.001	0.000	-0.004	0.001	0.004
B29	2535835.230	177058.294	44.651	2535835.230	177058.293	44.651	0.000	-0.001	0.000	0.001	0.001
B31	2535844.131	177093.193	44.754	2535844.148	177093.194	44.782	0.017	0.001	0.028	0.017	0.033
B34	2535823.678	177087.020	44.601	2535823.693	177087.029	44.638	0.015	0.009	0.037	0.018	0.041
B36	2535831.888	177051.763	44.618	2535831.887	177051.764	44.636	-0.001	0.001	0.018	0.002	0.018
B37	2535821.434	177047.763	44.632	2535821.432	177047.762	44.666	-0.002	-0.001	0.034	0.002	0.034
B38	2535825.632	177037.409	44.661	2535825.632	177037.407	44.671	0.000	-0.002	0.010	0.002	0.010
B39	2535822.700	177020.109	44.630	2535822.700	177020.109	44.623	0.000	0.000	-0.007	0.000	0.007
B43	2535813.793	177078.907	44.728	2535813.798	177078.917	44.759	0.005	0.010	0.031	0.011	0.033
B44	2535816.234	177087.625	44.627	2535816.244	177087.637	44.658	0.010	0.012	0.031	0.015	0.035

*平面差值 = $\sqrt{dN^2 + dE^2}$

*三維差值 = $\sqrt{dN^2 + dE^2 + dh^2}$

沙崙場域檢核點：

點名	成果提交 (公尺)			查驗成果 (公尺)			精度分析 (公分)				
	N	E	h	N	E	h	dN	dE	dh	平面 差值	三維 差值
B05	2535869.638	177016.358	44.656	2535869.637	177016.363	44.606	-0.001	0.005	-0.050	0.005	0.050
B10	2535894.235	177014.229	44.655	2535894.233	177014.224	44.668	-0.002	-0.005	0.013	0.005	0.014
B15	2535906.700	177060.921	44.677	2535906.701	177060.920	44.677	0.001	-0.001	0.000	0.002	0.002
B20	2535851.963	177069.961	44.686	2535851.980	177069.971	44.708	0.017	0.010	0.022	0.020	0.029
B25	2535843.507	177091.913	44.738	2535843.538	177091.930	44.761	0.031	0.017	0.023	0.036	0.043
B30	2535835.422	177078.935	44.619	2535835.435	177078.938	44.646	0.013	0.003	0.027	0.014	0.031
B35	2535827.420	177069.091	44.694	2535827.429	177069.095	44.718	0.009	0.004	0.024	0.010	0.026
B40	2535812.989	177024.580	44.616	2535812.986	177024.580	44.641	-0.003	0.000	0.025	0.003	0.025
B45	2535808.703	177102.438	44.627	2535808.705	177102.437	44.630	0.002	-0.001	0.003	0.003	0.004
B50	2535772.410	177045.027	44.659	2535772.408	177045.027	44.650	-0.002	0.000	-0.009	0.002	0.010

*平面差值 = $\sqrt{dN^2 + dE^2}$

*三維差值 = $\sqrt{dN^2 + dE^2 + dh^2}$

歸仁校區及沙崙外圍道路場域控制點：

點名	成果提交 (公尺)			查驗成果 (公尺)			精度分析 (公分)				
	N	E	h	N	E	h	dN	dE	dh	平面 差值	三維 差值
B51	2536325.111	175928.698	40.066	2536325.111	175928.680	40.125	0.000	-0.018	0.059	0.018	0.062
B54	2536616.593	176043.377	41.864	2536616.610	176043.344	41.955	0.017	-0.033	0.091	0.037	0.099
B56	2536526.165	176184.131	43.150	2536526.179	176184.082	43.209	0.015	-0.049	0.059	0.051	0.078
B57	2536405.543	176245.103	42.814	2536405.566	176245.075	42.889	0.023	-0.028	0.075	0.037	0.083
B59	2536188.590	176356.186	43.687	2536188.628	176356.130	43.752	0.038	-0.056	0.065	0.067	0.093
B61	2535953.843	176463.534	43.508	2535953.857	176463.501	43.564	0.014	-0.033	0.056	0.036	0.067
B62	2535775.354	176474.699	44.086	2535775.364	176474.658	44.136	0.010	-0.041	0.050	0.042	0.065
B63	2535844.378	176737.101	44.093	2535844.417	176737.066	44.176	0.039	-0.035	0.083	0.053	0.098
B64	2535860.126	176695.592	44.051	2535860.157	176695.545	44.095	0.031	-0.047	0.044	0.056	0.071
B76	2538113.612	175861.798	38.442	2538113.576	175861.759	38.579	-0.036	-0.039	0.137	0.053	0.147
B77	2537888.591	175976.381	38.506	2537888.581	175976.348	38.587	-0.010	-0.033	0.081	0.035	0.088
B78	2537455.091	176176.057	37.228	2537455.067	176176.032	37.302	-0.024	-0.025	0.074	0.035	0.081
B81	2536365.229	175813.250	39.395	2536365.209	175813.251	39.368	-0.020	0.001	-0.027	0.020	0.034
B82	2536134.738	175747.573	38.946	2536134.711	175747.548	38.927	-0.026	-0.025	-0.019	0.036	0.041
B83	2536617.567	175906.753	40.325	2536617.526	175906.730	40.321	-0.041	-0.023	-0.004	0.047	0.047
B84	2536835.507	175931.115	40.417	2536835.469	175931.069	40.450	-0.038	-0.046	0.033	0.059	0.068
B86	2537443.932	175850.008	36.617	2537443.893	175849.941	36.703	-0.039	-0.067	0.086	0.078	0.116
B87	2537762.656	175691.472	34.602	2537762.636	175691.456	34.648	-0.020	-0.016	0.046	0.025	0.052
B89	2537477.057	175547.085	34.388	2537477.004	175547.064	34.465	-0.053	-0.021	0.077	0.057	0.096
B91	2537351.806	175546.597	34.294	2537351.782	175546.543	34.406	-0.024	-0.054	0.112	0.059	0.127
B92	2536217.536	177572.046	44.430	2536217.545	177571.988	44.482	0.009	-0.058	0.052	0.058	0.078
B93	2536524.107	177449.784	45.315	2536524.14	177449.754	45.396	0.033	-0.030	0.081	0.045	0.093
B94	2536852.648	177309.233	44.890	2536852.629	177309.217	44.861	-0.019	-0.016	-0.029	0.025	0.038
B96	2536512.240	177083.583	43.749	2536512.258	177083.564	43.776	0.018	-0.019	0.027	0.026	0.038
B97	2536285.894	177158.930	43.791	2536285.913	177158.895	43.800	0.019	-0.035	0.009	0.040	0.041
B98	2536428.804	176898.376	44.162	2536428.817	176898.343	44.195	0.013	-0.033	0.033	0.035	0.048
B99	2536288.687	176529.384	44.141	2536288.701	176529.358	44.153	0.014	-0.026	0.012	0.029	0.032

*平面差值 = $\sqrt{dN^2 + dE^2}$

*三維差值 = $\sqrt{dN^2 + dE^2 + dh^2}$

歸仁校區及沙崙外圍道路場域檢核點：

點名	成果提交 (公尺)			查驗成果 (公尺)			精度分析 (公分)				
	N	E	h	N	E	h	dN	dE	dh	平面 差值	三維 差值
B55	2536711.626	176152.915	43.654	2536711.641	176152.880	43.718	0.015	-0.035	0.064	0.038	0.074
B60	2536001.385	176407.352	43.461	2536001.399	176407.320	43.537	0.014	-0.032	0.076	0.035	0.084
B65	2535895.537	176847.769	44.044	2535895.550	176847.713	44.146	0.013	-0.056	0.102	0.057	0.117
B70	2536590.330	176643.588	43.463	現地已滅失							
B75	2538172.476	175896.660	38.574	現地已滅失							
B80	2536797.575	176453.909	44.338	現地已滅失							
B85	2537091.221	175956.048	40.691	2537091.179	175956.010	40.693	-0.042	-0.038	0.002	0.057	0.057
B90	2537346.107	175645.268	34.484	2537346.093	175645.255	34.563	-0.014	-0.013	0.079	0.019	0.081
B95	2536722.485	176963.895	43.335	2536722.487	176963.871	43.364	0.002	-0.024	0.029	0.024	0.038
B100	2536586.555	176391.945	43.672	2536586.571	176391.925	43.716	0.016	-0.020	0.044	0.026	0.051

*平面差值 = $\sqrt{dN^2 + dE^2}$

*三維差值 = $\sqrt{dN^2 + dE^2 + dh^2}$

附錄六

「會議紀錄」

提供莊老師研究團隊自駕車用地圖諮詢與媒合服務

日期：108 年 1 月 31 日

■ 地點：測量系館 2F 圖書室

■ 出席人員：

成功大學測量系	江凱偉 教授	洪榮宏 教授
	林政安 博士	楊錦松
	張清鴻	
成功大學電機系	莊智清 教授	
詮華國土測繪	彭翊雁	高瑋男

■ 討論大綱：

- (1) 說明莊老師研究團隊的圖資需求
- (2) 媒合詮華國土測繪並討論配合工項
- (3) 綜合討論

■ 會議照片：



日期：108 年 3 月 12 日

■ 地點：測量系館 2F 圖書室

■ 出席人員：

內政部地政司	吳俊毅 科員		
成功大學測量系	江凱偉 教授	王驥魁 教授	李佩玲 博士
	楊錦松	黃芸玟	張清鴻
	徐珮晴	林敬翔	劉瑋哲
	盧奕璇		
成功大學電機系	莊智清 教授	林景富 博士	鄭富澤
	汪聖倫	陳侑炘	陳威廷
詮華國土測繪	彭德熙 經理	彭翊雁	

■ 會議照片：



日期：108 年 3 月 28 日

■ 地點：測量系館 1F 會客室

■ 出席人員：

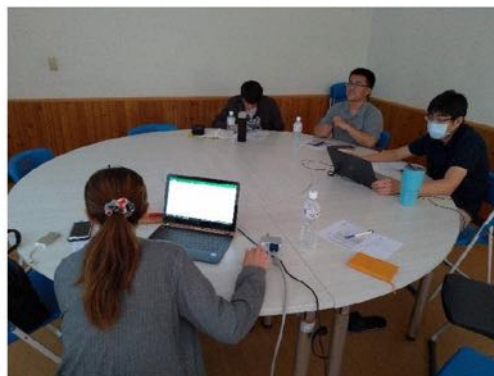
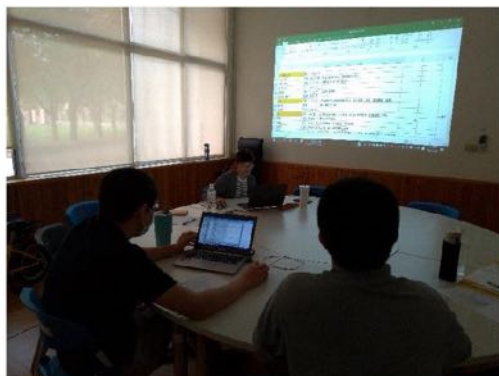
成功大學測量系	李佩玲 博士	林政安 博士	楊錦松
成功大學電機系	林景富 博士	鄭富澤	

■ 討論大綱：

(1) 需求與圖資格式說明

(2) 綜合討論

■ 會議照片：



提供宏碁自駕車用地圖諮詢與媒合服務

日期：108 年 1 月 25 日

■ 地點：測量系館 1F 會客室

■ 出席人員：

成功大學測量系	江凱偉 教授	林政安 博士
	張清鴻	曾芷晴
宏碁股份有限公司	周豫新 處長	
經緯航太科技 股份有限公司	吳建億	洪子敏

■ 會議大綱：

- (1) 說明宏碁之圖資需求
- (2) 媒合經緯航太並討論未來自駕車用地圖之合作模式
- (3) 綜合討論

■ 會議照片：



日期：108 年 4 月 11 日

■ 地點：宏碁股份有限公司會議室

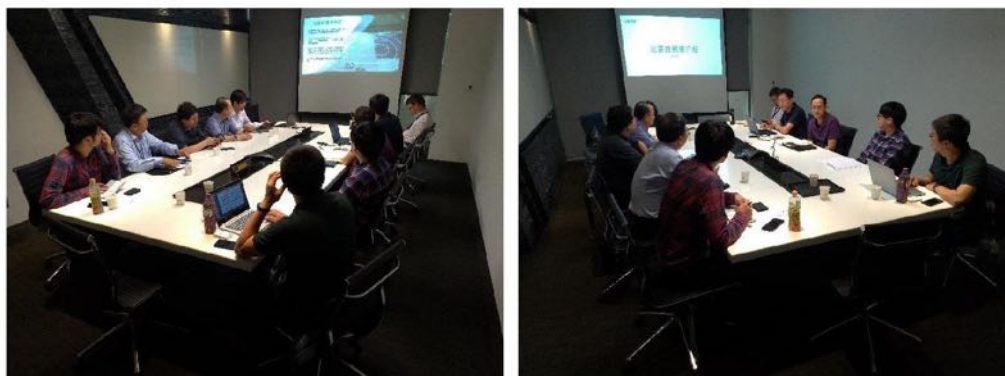
■ 出席人員：

內政部地政司	吳俊毅 科員	
成功大學測量系	江凱偉 教授	林政安 博士
	楊錦松	張清鴻
宏碁股份有限公司	周豫新 處長	研究團隊人員
經緯航太科技 股份有限公司	張瑞隆 副總	

■ 會議大綱：

- (1) 宏碁自駕車系統之介紹
- (2) 實證場域簡介
- (3) 自駕車用地圖內容說明
- (4) 綜合討論

■ 會議照片：



興創知能工作會議

日期：108 年 3 月 4 日

■ 地點：測量系館 2F 圖書室

■ 出席人員：

成功大學測量系	江凱偉 教授	郭重言 教授	王驥魁 教授
	李佩玲 博士	楊錦松	張清鴻
興創知能 股份有限公司	鄭錦桐 總經理	卓文韜 博士	廖玲琬

■ 會議大綱：

- (1) 未來高精地圖事務說明
- (2) 合作意向討論
- (3) 圖資格式交流
- (4) 綜合討論

日期：108 年 8 月 6 日

■ 地點：測量系館 2F 圖書室

■ 出席人員：

成功大學測量系	江凱偉 教授	李佩玲 博士	林政安 博士	楊錦松
	黃芸玟	張清鴻	徐珮晴	林敬翔
	曾芷晴	王翊銘		
成功大學電機系	莊智清 教授	林景富 博士	鄭富澤	王昱翔
	黃奕豪	黃詩惠		
詮華國土測繪	彭德熙 經理			
興創知能 股份有限公司	鄭錦桐 總經理	車文韜 博士	岡田泰征	廖玲琬
	蕭詩涵			

■ 討論大綱：

- (1) 介接機制與高精地圖格式說明
- (2) 格式轉換之討論
- (3) 綜合討論

■ 會議照片：



日期：108 年 11 月 8 日

■ 地點：高精地圖研究發展中心會議室

■ 出席人員：

成功大學測量系	江凱偉 教授	王驥魁 教授	李佩玲 博士	林政安 博士
	黃芸玟	徐珮晴	曾芷晴	
成功大學電機系	林景富 博士	鄭富澤	黃奕豪	王昱翔
興創知能 股份有限公司	車文韜 博士	岡田泰征	蕭詩涵	

■ 討論大綱：

- (1) 高精地圖格式說明
- (2) Autoware 格式說明
- (3) 格式轉換操作
- (4) 綜合討論

ZENRIN 工作會議

日期：108 年 8 月 28 日

■ 地點：測量系館 2F 圖書室

■ 出席人員：

成功大學測量系	洪榮宏 教授	李佩玲 博士	林政安 博士
	楊錦松	黃芸玟	徐珮晴
	曾芷晴		
ZENRIN	吳玉玲		
AISAN	平尾一樹	室山晉也	

■ 會議大綱：

- (1) 臺灣高精地圖標準說明
- (2) Autoware 格式說明
- (3) 圖資格式交流
- (4) 綜合討論
- (5) 現地參訪沙崙測試實驗室

■ 會議照片：



日期：108 年 10 月 1 日

■ 地點：測量系館 2F 圖書室

■ 出席人員：

內政部地政司	吳俊毅 科員		
成功大學測量系	江凱偉 教授	洪榮宏 教授	王驥魁 教授
	林政安 博士	楊錦松	黃芸玫
	林敬翔	曾芷晴	
成功大學電機系	林景富 博士	鄭富澤	王昱翔
	賴柏翔		
ZENRIN	首藤將友	吳玉玲	
AISAN	平尾一樹	松岡秀太郎	

■ 會議大綱：

- (1) Autoware 格式說明
- (2) 圖資展示與操作
- (3) 綜合討論

會議照片：



工作進度會議

日期：108 年 3 月 12 日

■ 地點：測量系館 2F 圖書室

■ 出席人員：

內政部地政司	吳俊毅 科員	
成功大學測量系	江凱偉 教授	洪榮宏 教授
	曾義星 教授	郭重言 教授
	王驥魁 教授	呂學展 副教授
	李佩玲 博士	林政安 博士
	楊錦松	張清鴻
	高煥欽	林冠穎
	林敬翔	洪紹倫
	邱靜梅	曾芷晴
	洪漢芹	王翊銘

■ 討論大綱：

- (1) 工作案之進度報告
- (2) 各工作項目之規劃說明
- (3) 綜合討論

日期：108 年 4 月 24 日

■ 地點：測量系館 2F 圖書室

■ 出席人員：

內政部地政司 (線上會議)	吳俊毅 科員	
	江凱偉 教授	郭重言 教授
成功大學測量系	呂學展 副教授	李佩玲 博士
	林政安 博士	楊錦松
	高煥欽	林冠穎
	林敬翔	洪紹倫
	邱靜梅	曾芷晴
	洪漢芹	王翊銘

■ 討論大綱：

- (1) 工作案之進度報告
- (2) 各工作項目之規劃說明
- (3) 綜合討論

日期：108 年 5 月 29 日

■ 地點：測量系館 2F 圖書室

■ 出席人員：

內政部地政司 (線上會議)	吳俊毅 科員	
成功大學測量系	江凱偉 教授	郭重言 教授
	呂學展 副教授	李佩玲 博士
	林政安 博士	楊錦松
	高煥欽	林冠穎
	林敬翔	洪紹倫
	邱靜梅	曾芷晴
	洪漢芹	王翊銘

■ 討論大綱：

- (1) 工作案之進度報告
- (2) 各工作項目之規劃說明
- (3) 綜合討論

日期：108 年 6 月 21 日

■ 地點：內政部地政司會議室

■ 出席人員：

內政部地政司	黃鉅富 科長	吳俊毅 科員
成功大學測量系	江凱偉 教授	洪榮宏 教授
	李佩玲 博士	林政安 博士
	楊錦松	張清鴻

■ 討論大綱：

- (1) 工作案之進度報告
- (2) 各工作項目之規劃說明
- (3) 綜合討論

■ 會議照片：



日期：108 年 7 月 22 日

■ 地點：測量系館 2F 圖書室

■ 出席人員：

內政部地政司	吳俊毅 科員	
成功大學測量系	江凱偉 教授	呂學展 副教授
	李佩玲 博士	林政安 博士
	高煥欽	洪紹倫
	林敬翔	徐珮晴
	邱靜梅	黃翊銘
	曾芷晴	洪漢芹

■ 討論大綱：

- (1) 工作案之進度報告
- (2) 各工作項目之規劃說明
- (3) 綜合討論

■ 會議照片：



日期：108 年 9 月 19 日

■ 地點：高精地圖研究發展中心會議室

■ 出席人員：

內政部地政司	吳俊毅 科員	
成功大學測量系	江凱偉 教授	郭重言 教授
	呂學展 副教授	李佩玲 博士
	林政安 博士	楊錦松
	高煥欽	林冠穎
	黃翊銘	曾芷晴
	洪漢芹	張桂華

■ 討論大綱：

- (1) 工作案之進度報告
- (2) 各工作項目之規劃說明
- (3) 國際研討會之籌辦事宜討論
- (4) 綜合討論

日期：108 年 11 月 15 日

■ 地點：高精地圖研究發展中心會議室

■ 出席人員：

內政部地政司	黃鉅富 科長	吳俊毅 科員
成功大學測量系	江凱偉 教授	曾義星 教授
	郭重言 教授	王驥魁 教授
	呂學展 副教授	李佩玲 博士
	林政安 博士	林敬翔
	楊錦松	高煥欽
	張清鴻	黃翊銘
	曾芷晴	洪漢芹
	涂嘉濠	

■ 討論大綱：

- (1) 工作案之進度報告
- (2) 各工作項目之成果說明
- (3) 明年度工作項目之討論
- (4) 綜合討論

附錄七

「研究成果發表文稿」

Assessment for INS/GNSS/Odometer/Barometer Integration in Loosely-Coupled and Tightly-Coupled Scheme in a GNSS-Degraded Environment

Kai-Wei Chiang, Hsiu-Wen Chang, Yu-Hua Li, Guang-Je Tsai, Chung-Lin Tseng, Yu-Chi Tien and
Pei-Ching Hsu

Abstract—With the increasing demands for seamless land-vehicle navigation, systems with robust performance are required in highly urbanized areas. The traditional INS/GNSS integration is widely applied to solve this issue. However, the system still suffers from bad GNSS signal reception and INS time accumulated errors that seamlessness and stability are difficult to maintain. In this study, the performance of the low cost INS/GNSS with aiding sensors, such as an odometer and barometer, was evaluated for both the loosely-coupled (LC) scheme and tightly-coupled (TC) scheme. Moreover, considering barometric error accumulation, a vehicle-behavior based drift control method has been proposed. An experiment was conducted under harsh GNSS-degraded scenarios to assess the characteristics and performance for different sensor combinations, using single constellation (GPS) with single-frequency (L1 band) measurement. Overall, the TC scheme without additional strategies in detecting abnormal measurement encounters more challenges to achieve stable performance. In an INS/GNSS/barometer system with the proposed drift control method, error accumulation under unpredictable environmental changes was successfully mitigated in both schemes. The proposed method can maintain a height accuracy of 2-meter level root mean square even after a long term operation. In an INS/GNSS/odometer combination, improvements were observed in the horizontal and vertical direction for both schemes. According to statistical analysis, an INS/GNSS/odometer/barometer combination shows 16.57% and 6.11% in the horizontal, and 30.71% and 71.28% in the vertical for the LC scheme and TC scheme, compared with an INS/GNSS combination.

Index Terms—Loosely coupled (LC), tightly coupled (TC), inertial navigation system and global navigation satellite system (INS/GNSS), non-line-of-sight (NLOS), odometer, barometer

I. INTRODUCTION

THE market of land vehicle navigation has been rapidly increasing, and thus, studies are recently conducted to achieve high-accuracy and robustness of on-vehicle guidance.

An inertial navigation system (INS) is a self-contained system that provides continuous position and velocity measurements by integrating raw measurements obtained from inertial measurement units (IMU) [1]. It is a dead-reckoning (DR) system that is being able to provide navigation without external information. With the development of micro-electro-mechanical systems (MEMS), low-cost IMUs have been prevalently applied. However, these low-cost IMUs contains several systematic errors such as in-run bias, turn-on bias and non-linearity errors, which generate significant errors over short time intervals [2][3]. By contrast, the global navigation satellite system (GNSS) can provide absolute navigation information and good long-term accuracy without error accumulation. However, its availability and reliability degrade significantly in the presence of signal blockage. Because of complementarity, the integration of the INS and GNSS is the most commonly applied technique for seamless navigation applications [4].

The most prevalently used INS/GNSS integration strategy is the loosely-coupled (LC) scheme. In this scheme, GNSS has its own filter to provide the navigation solution, such as position and velocity. This solution is used as a measurement update to a central fusion filter, such as extended Kalman filter (EKF). In EKF, the solutions from INS mechanization are used for prediction stage and GNSS position and velocity solutions are used as update measurements to estimate navigation [5][6]. However, the effectiveness of this INS/GNSS integration technique is limited because of frequent GNSS outages in urbanized areas. When the number of the GNSS satellite is less than four, the INS/GNSS integration system is equivalent to an INS standalone solution. On the other hand, the tightly-coupled (TC) integration scheme employs only one EKF to integrate GNSS raw measurements (pseudorange and pseudorange rates) with INS solution, and therefore it does not require the need to have more than four tracking satellites. The TC scheme is

Manuscript received July X, 2019. (Corresponding author: Yu-Hua Li.)
K.-W. Chiang, Y.-H. Li, G.-J. Tsai, C.-L. Tseng, Y.-C. Tien and P.-C. Hsu are with the Department of Geomatics, National Cheng Kung University, 701, Tainan, Taiwan (e-mail: Li.YHPublic@gmail.com).

Color versions of one or more of the figures in this paper are available online at <http://ieeexplore.ieee.org>.

H.-W. Chang is with Allystar Technology Co. Limited, 518129, Shenzhen, China (e-mail: seawing1984@gmail.com).

particularly advantageous under hostile environments, such as downtown areas, where satellite signal reception is difficult because of obstruction. However, the TC scheme may have severe limitations because of the direct use of GNSS raw measurements, particularly for low-cost GNSS receiver and low-cost MEMS IMUs [7]. In GNSS-degraded areas, the error from non-line-of-sight (NLOS) reception is generally in tens of meters and potentially unlimited. Signals received from the reflection of tall buildings can exhibit errors higher than a kilometer [8]. This behavior is generally observed despite the use of motion constraints, such as zero velocity update (ZUPT), zero-integrated heading rate (ZIHR), and non-holonomic constraints (NHC) [3][13].

To enhance positioning performance, an additional aiding source is generally applied for measurement updates at such instances. A self-contained odometer is a velocity sensor, which can continuously provide uninterrupted velocity information, and therefore it can be used to maintain significant navigation accuracy even during GNSS-hostile environment. It generally provides more accurate and frequent velocity measurements than GNSS [9][10]. For modern land-vehicle designs, an external odometer is no longer needed due to built-in sensors in vehicles can transmit forward speed through an OBD II interface [11]. The use of OBDII in the INS/GNSS/odometer integrated system can further improve the effectiveness of ZUPT and ZIHR and eventually provide more accurate navigation solution. However, velocity measurements from odometer are obtained on the v-frame, not navigation frame (n-frame). Similar to the use of NHC, the relation between the body frame (b-frame) and v-frame should be carefully calibrated. If the zero-value assumptions of a cross track and vertical speed are violated, odometer-aiding measurements can result in inaccurate velocity corrections to state estimation [12][13]. On the other hand, this speed measurement is also a kind of constraint in the vertical direction to mitigate the drifting problem and the effect of other outliers but not as a direct approach for the measurement update of position estimation. Therefore, the accuracy of height might not meet the requirements of some applications.

A barometer is a commonly applied and cheap sensor for height determination based on the measurements of atmospheric pressure. The improvement in positioning performance by using the barometer is highly sensitive, which is a problem because of uncertain factors, such as fluctuation in ambient temperature or ventilation [13][14][15]. An unstable environmental condition can quickly generate a drift of a few meters per hour in terms of the height [14]. This phenomenon will be presented in Section IV. For improved performance, [13] and [14] used differential barometry to improve the altitude solution. However, this performance was affected by the distance between the rover and the base barometer and by the local disturbance of the rover barometer under a vehicular environment. Many studies have implemented the GNSS height solution to estimate the barometer error, which is generally modeled as white Gaussian noise, first-order Markov process bias, or random constant scale factor error [16][17][18]. In these studies, the quality of GNSS results evaluated by dilution of

precision (DOP) is critical in maintaining the accuracy. In [19], an EKF-based architecture fused GNSS and barometric height solution is described clearly. The previously mentioned barometric error sources, however, are generally non-Gaussian, and thus, precise modeling in real-time is difficult [20]. On the other hand, good-quality GNSS rarely exists in the urban canyon because of signals obstacle, NLOS signal, and false-trusted DOP values.

There were many studies for developing and discussing various motion constraint or aiding sensors, but the analysis for the effects of selection of these constraints and aiding sensors in a harsh GNSS-degraded environment was rarely found. To evaluate an appropriate seamless navigation solution for land vehicle applications, this study aimed to (1) integrate INS/GNSS/odometer/barometer sensors in the LC and TC scheme, (2) propose a robust barometer drift control method depended on the vehicle behavior without the use of GNSS information, and (3) comprehensively assess the performances with the motion constraint during a long-term operation for the different aiding sensor combinations under highly urbanized scenarios. It is worth mentioning that the goal of this paper is not to demonstrate which integration scheme (TC/LC) is better but exhibit the respective characteristics for the different aiding combinations with the fundamental motion constraint in GNSS-degraded environments. The major contribution of this paper is to provide a detailed analysis of various algorithms for the evaluation of selection application. The basic fault detection and exclusion (FDE) and satellite selection methods for both schemes are implemented in this study.

II. METHODOLOGY

A. INS/GNSS Integration

In the INS/GNSS integration, measurements provided by the GNSS are considered updated information. Because of the structural difference between the LC and TC scheme, the design of measurement models Z_{LC} and Z_{TC} , error state δx , and design matrices H_{LC} and H_{TC} are discussed. For the detailed description of INS mechanization and discrete system model, refer to [3][13]:

- LC Scheme

In this study, a 21-state filtering is designed. The error state vector is shown using (1) as follows:

$$\delta x_{21 \times 1} = [\delta r \quad \delta v \quad \delta \epsilon \quad b_{gyro} \quad s_{gyro} \quad b_{acce} \quad s_{acce}]^T \quad (1)$$

where δr , δv , $\delta \epsilon$, b_{gyro} , s_{gyro} , b_{acce} , and s_{acce} denote position errors, velocity errors, attitude errors, gyroscope bias errors, gyroscope scale factor errors, accelerometer bias errors, and accelerometer scale factor errors, respectively. Each of them is a 3x1 vector. The LC scheme is also known as "decentralized" since the raw measurements from different sensors are not estimated in one filter [21]. The EKF implemented with the LC scheme employs the difference between the filter-predicted solution and GNSS solution to form an error state. The measurement model of the LC scheme are shown using (2) and (3) as follows:

$$Z_{LC} = \begin{bmatrix} r_{INS}^n - r_{GNSS}^n \\ v_{INS}^n - v_{GNSS}^n \end{bmatrix}_{6 \times 1} \quad (2)$$

$$H_{LC} = \begin{bmatrix} I_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & A_{LC} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 6} \\ 0_{3 \times 3} & I_{3 \times 3} & B_{LC} & C_{LC} & D_{LC} & 0_{3 \times 6} \end{bmatrix}_{6 \times 21} \quad (3)$$

with

$$\begin{aligned} A_{LC} &= C_b^n l_{GNSS}^b \times, \\ B_{LC} &= -(\omega_{in}^n \times) C_b^n (l_{GNSS}^b \times) - C_b^n (l_{GNSS}^b \times \omega_{ib}^b) \times, \\ C_{LC} &= C_b^n (l_{GNSS}^b \times), D_{LC} = C_b^n (l_{GNSS}^b \times) \omega_{ib}^b \end{aligned}$$

where subscripts INS and GNSS indicate the solutions obtained by INS and GNSS, respectively, whereas superscript "n" indicates the vector in the n-frame. r and v are the position and velocity vector, respectively. C_b^n is the direction cosine matrix (DCM) from the b-frame to n-frame, whereas l_{GNSS}^b is the lever-arm vector in the b-frame. \times denotes cross product. ω_{in}^n is the combination of the earth's rotation and the transport rate in the n-frame. ω_{ib}^b is the gyro output. In this study, r_{GNSS}^n and v_{GNSS}^n are calculated from the least square (LS) with a regular satellite elevation-based weighting strategy and a residual-based FDE method with a certain threshold, which can be obtained using (4). The covariance matrix P_{GNSS}^n of r_{GNSS}^n and v_{GNSS}^n and the satellite elevation-based weighting matrix R_{GNSS} can be obtained using (5) as follows:

$$r_i = |z_{GNSS,i} - H x_{GNSS}|, z_{GNSS,i} \begin{cases} \text{accepted, } r_i \leq r_{thre.} \\ \text{rejected, } r_i > r_{thre.} \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} P_{GNSS}^n &= (H^T R_{GNSS}^{-1} H)^{-1} \\ R_{GNSS} &= \sigma_0^2 \begin{bmatrix} \frac{1}{\sin^2(e_{l_1})} & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \frac{1}{\sin^2(e_{l_n})} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (5)$$

where r_i , $z_{GNSS,i}$, H , x_{GNSS} , $r_{thre.}$, σ_0^2 and e_{l_i} are the corresponding residual, measurements including pseudorange and pseudorange rate from the i^{th} satellite, the geometric matrix comprising the LOS unit, position and velocity state in the GNSS domain, given threshold, a priori variance factor, and the elevation angle of the i^{th} satellite with respect to the rover, respectively. The measurement covariance matrix R_{LC} in the LC scheme was derived using P_{GNSS}^n . The analysis for the elevation based weighting method in urbanized areas can refer to [22].

It is worth mentioning that the computed positions and velocity used in (2) from INS and the one from GNSS LS method were based on different locations, which involved the compensation term calls the lever arm effect. The effect should be compensated and considered in the measurement model, otherwise the result from (2) will include the incorrect difference because the lever-arm vector intervened and affected the EKF state estimation. The modified (2) can be expressed as follows:

$$Z_{LC} = \begin{bmatrix} r_{INS}^n - r_{GNSS}^n + C_b^n l_{GNSS}^b \\ v_{INS}^n - v_{GNSS}^n - \omega_{in}^n \times (C_b^n l_{GNSS}^b) - C_b^n (l_{GNSS}^b \times) \omega_{ib}^b \end{bmatrix}_{6 \times 1} \quad (6)$$

- TC Scheme

In addition to the elements of (1), the error state in the TC scheme included the estimation of the receiver clock bias and clock drift using (7) as follows:

$$\begin{aligned} \delta x_{23 \times 1} &= \\ [\delta r \quad \delta v \quad \delta \epsilon \quad b_{gyro} \quad s_{gyro} \quad b_{acce} \quad s_{acce} \quad c\delta t_{cb} \quad c\delta t_{cd}] \end{aligned} \quad (7)$$

where δt_{cb} and δt_{cd} denote the receiver clock bias and clock drift, whereas c is the speed of light. This design is because the GNSS raw measurements (pseudorange ρ_{GNSS} and pseudorange rate $\dot{\rho}_{GNSS}$) are directly used in the TC scheme. The theoretical range $(\rho_{INS})_i$ and range rate $(\dot{\rho}_{INS})_i$ between satellites and rover must be calculated before forming the measurement model as follows:

$$\begin{aligned} (\rho_{INS})_i &= \|r_{INS}^e - r_{SV,i}^e\| \\ (\dot{\rho}_{INS})_i &= C_e^n (e_i (v_{INS}^e - v_{SV,i}^e)) \end{aligned} \quad (8)$$

where C_e^n , r_{INS}^e , $r_{SV,i}^e$, v_{INS}^e and $v_{SV,i}^e$ indicate DCM from the e-frame to n-frame, the position and velocity vectors of the vehicle and the i^{th} satellite in the earth frame (e-frame), respectively. $\|\cdot\|$ is the Euclidean norm. The line-of-sight vector is defined as:

$$e_i = \frac{1}{(\rho_{INS})_i} [(X_{INS} - X_{SV,i}) \quad (Y_{INS} - Y_{SV,i}) \quad (Z_{INS} - Z_{SV,i})]_{1 \times 3} \quad (9)$$

According to (8) and (9), the measurement model can be written as follows:

$$Z_{TC} = \begin{bmatrix} (\rho_{INS})_i - (\rho_{GNSS})_i \\ (\dot{\rho}_{INS})_i - (\dot{\rho}_{GNSS})_i \end{bmatrix}_{2n \times 1} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} H_{TC} &= \\ \begin{bmatrix} A_{TC} & 0_{n \times 3} & B_{TC} & 0_{n \times 3} & 0_{n \times 3} & 0_{n \times 6} & 1_{n \times 1} & 0_{n \times 1} \\ 0_{n \times 3} & A_{TC} & C_{TC} & D_{TC} & E_{TC} & 0_{n \times 6} & 0_{n \times 1} & 1_{n \times 1} \end{bmatrix}_{2n \times 23} \end{aligned} \quad (11)$$

with

$$\begin{aligned} A_{TC} &= C_e^n (e_i)_{n \times 3}, B_{TC} = C_e^n (e_i)_{n \times 3} A_{LC}, C_{TC} = C_e^n (e_i)_{n \times 3} B_{LC}, \\ D_{TC} &= C_e^n (e_i)_{n \times 3} C_{LC}, E_{TC} = C_e^n (e_i)_{n \times 3} D_{LC} \end{aligned}$$

Considering the lever arm effect, the modified (10) is as follows:

$$Z_{TC} = \begin{bmatrix} (\rho_{INS})_i - (\rho_{GNSS})_i + \|C_b^n l_{GNSS}^b\| \\ (\dot{\rho}_{INS})_i - (\dot{\rho}_{GNSS})_i + \dot{\rho}_l \end{bmatrix}_{2n \times 1} \quad (12)$$

with

$$\dot{\rho}_l = C_e^n e_i (-\omega_{in}^n \times (C_b^n l_{GNSS}^b) - C_b^n (l_{GNSS}^b \times) \omega_{ib}^b)$$

where C_e^n is DCM from the b-frame to e-frame. The measurement covariance R_{TC} is the same as R_{GNSS} in (5). Compared with the GNSS domain, a conventionally innovation-based FDE strategy was applied to reject the outlier in the TC scheme as follows:

$$\begin{aligned} inno_i &= \|Z_{TC,i} - H_{TC,i} \delta x_{23 \times 1}\|, \\ inno_i &\begin{cases} \text{accepted, } inno_i \leq inno_{thre.} \\ \text{rejected, } inno_i > inno_{thre.} \end{cases} \end{aligned} \quad (13)$$

B. Implementation of Motion Constraint and Odometer Aiding for Integration

In the presence of the GNSS outages and sensor accumulated error, the additional aids according to the physical facts of the land-vehicle motion are essential to enhance stability. In this section, mathematical models and equation related to the ZUPT/ZIHR and NHC are discussed.

- ZUPT/ZIHR

ZUPT and ZIHR are techniques that apply the static motion of vehicles to constrain error accumulation [23]. The ZUPT bounds the error accumulation by assigning the velocity to be

zero in any direction when the vehicle is stationary. The measurement model is written as follows:

$$Z_{ZUPT} = [v_{INS}^n - 0_{3 \times 1}]_{3 \times 1} \quad (14)$$

$$H_{LC,ZUPT} = [0_{3 \times 3} \quad I_{3 \times 3} \quad 0_{3 \times 15}]_{3 \times 21} \quad (15)$$

$$H_{TC,ZUPT} = [0_{3 \times 3} \quad I_{3 \times 3} \quad 0_{3 \times 17}]_{3 \times 23} \quad (16)$$

where $H_{LC,ZUPT}$ and $H_{TC,ZUPT}$ indicate the design matrix for ZUPT in the LC and TC schemes, respectively. The ZUPT is only activated when static motion is detected, and the use of odometer can provide precise constraints, compared with the use of the velocity information from the GNSS or an accelerometer. For the ZIHR, the heading angle computed using the INS can be updated by the stored heading at the beginning of ZUPT. The detailed derivation of the ZIHR measurement model can be found in [13][24]. The implementation is as follows:

$$Z_{ZIHR} = [\hat{\psi} - \psi] \quad (17)$$

$$H_{LC,ZIHR} = \begin{bmatrix} 0_{1 \times 10} & \frac{\sin \phi}{\cos \theta} \Delta t & \frac{\cos \phi}{\cos \theta} \Delta t & 0_{1 \times 9} \end{bmatrix}_{1 \times 21} \quad (18)$$

$$H_{TC,ZIHR} = \begin{bmatrix} 0_{1 \times 10} & \frac{\sin \phi}{\cos \theta} \Delta t & \frac{\cos \phi}{\cos \theta} \Delta t & 0_{1 \times 11} \end{bmatrix}_{1 \times 23} \quad (19)$$

where $\hat{\psi}$, ψ , ϕ , θ and Δt are the present heading, stored heading, roll angle, pitch angle, and the time interval that the roll and pitch are considered as constants, respectively. In this study, the activity of the ZUPT/ZIHR was determined using the estimated velocity and the given threshold.

- Odometer aiding/NHC

The NHC indicates that unless the vehicle is off the ground or slides on the ground, and the velocity of the vehicle in the plane perpendicular to the forward direction is almost zero [11]. To implement idea of the NHC, the virtual velocity measurement in the v-frame is designed as update to EKF. Because the odometer provides the forward speed of the vehicle, the forward speed in the v-frame can be provided using (20) as follows:

$$v^{vehicle} = [v \quad 0 \quad 0]^T \quad (20)$$

where the lateral and vertical speeds are presumed to be zero. The relation between the velocity on the wheel and the INS velocity can be modeled as [13]:

$$v_{wheel}^{vehicle} = C_b^v C_n^b v_{INS}^n + C_b^v (\omega_{nb}^b \times) l_{wheel}^b \quad (21)$$

where C_b^v , ω_{nb}^b , and l_{wheel}^b indicate the DCM from the b-frame to v-frame, the angular velocity from b-frame to n-frame given in the b-frame, and lever arm vector of the odometer with the respect to the inertial sensor, respectively. To estimate the error state, the perturbation of (21) was established using (22), and an alternative model of the v-frame velocity can be expressed using (23) as follows[13]:

$$\hat{v}_{wheel}^{vehicle} \approx v_{wheel}^{vehicle} + C_b^v C_n^b \delta v_{INS}^n - C_b^v C_n^b (v_{INS}^n \times) \delta \epsilon - C_b^v (l_{wheel}^b \times) \delta \omega_{nb}^b \quad (22)$$

$$\hat{v}_{wheel}^{vehicle} = v_{wheel}^{vehicle} + e_v \quad (23)$$

where \hat{v} , \bar{v} and e_v indicate the estimated velocity, the measured velocity, and the velocity measurement noise. According to (22) and (23), the v-frame velocity error measurement equation is shown as (24), and thus, the measurement model of NHC can be presented using (25) and (26) [13]. Similarly, the measurement model of the odometer can be obtained.

$$Z = \hat{v}_{wheel}^{vehicle} - \bar{v}_{wheel}^{vehicle} = C_b^v C_n^b \delta v_{INS}^n - C_b^v C_n^b (v_{INS}^n \times) \delta \epsilon - C_b^v (l_{wheel}^b \times) \delta \omega_{nb}^b - e_v \quad (24)$$

$$Z_{NHC} = \begin{bmatrix} v_y^v - 0 \\ v_z^v - 0 \end{bmatrix}_{2 \times 1} \quad (25)$$

$$H_{NHC}(4:9) = \begin{bmatrix} C_{12} & C_{22} & C_{32} & A & B & C \\ C_{13} & C_{23} & C_{33} & D & E & F \end{bmatrix}$$

with

$$\begin{aligned} A &= -v_D C_{22} + v_E C_{32}, B = v_D C_{12} - v_N C_{32}, \\ C &= -v_E C_{12} + v_N C_{22}, D = -v_D C_{23} + v_E C_{33} \\ E &= v_D C_{13} - v_N C_{33}, F = -v_E C_{13} + v_N C_{23} \end{aligned} \quad (26)$$

where H_{NHC} is the design matrix for NHC in the LC and TC schemes; C_{ij} is the element of DCM C_v^n from the i^{th} row and j^{th} column; and v_E , v_N , and v_D are velocity in the north, east, and downward directions, respectively. Equation (24) is defined in the v-frame, and C_b^v must be carefully calibrated before. The coarse determination of C_b^v , including the identity matrix, can further deteriorate state estimation when (25) is used for obtaining frequent measurement updates with high weighting. The concept of the calibration of misalignment relation C_v^n implemented in this study were referred from [25] [26].

C. Barometric Height and Drift Control by Vehicle Behavior

Without the knowledge of the local sea level pressure, the barometric height does not produce absolute height information. The normal air pressure on the sea level was approximately 101300 Pa; however, it locally varied depending on the weather [14]. To reduce the effect of the local weather condition in the absolute height resolution, the relative barometric height was applied in this study. Equation (27) shows the conversion equation [18]:

$$\Delta h = \frac{T_0}{T_{gradient}} \left(1 - \left(\frac{P}{P_0} \right)^{T_{gradient} \frac{G_c}{g}} \right) \quad (27)$$

where T_0 and $T_{gradient}$ are the absolute temperature measured at the initial point and the temperature change over altitude, which was constant at 0.0065 °K/m (i.e., the temperature decrease by 0.0065° when the altitude increased by 1 meter). P and P_0 denoted the pressure measured at the vehicle position and initial position, respectively (measured in Pascal). Finally, G_c is the gas constant (287.052 J/K.kg), and g is the normal gravity. K and J are the units of absolute temperature and energy.

The height information of a land vehicle should only change with the change in the pitch angle. The use of this fact can limit barometric height drifting when no significant change in pitch angle is detected in the INS/GNSS integration scheme as shown using (28). According to the proposed detection algorithm, the vehicle behavior in the vertical direction can be further categorized as “height changing” or “height resting”. Once the “height resting” behavior is detected, the moving average (MA)

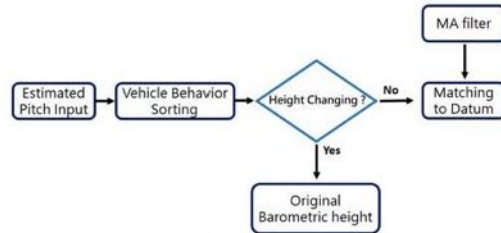


Fig. 1. Flowchart of the proposed barometric drift control.

filter is implemented to smoothen the barometric height and thus mitigate the barometric noise. When the given window size of the MA filter and set number of moving epoch are reached, the current output of the MA filter is stored and recognized as the current height datum, which forces the measured barometric height equal to the datum value until the vehicle behavior is switched to "height changing." Fig. 1 shows the flowchart of the proposed method.

$$h_k = \begin{cases} \bar{h}, & |\theta| \leq \theta_{thres.} \\ h_k, & |\theta| > \theta_{thres.} \end{cases} \quad (28)$$

Where h_k and \bar{h} are the barometric height at epoch k and the value as the current height datum from the MA filter, respectively. θ indicates the pitch angles. $\theta_{thres.}$ is the threshold for determining whether the height should be sorted as the "height changing." $\theta_{thres.}$ is based on INS specification and the corresponding precision of vehicle behavior detection. Finally, (29) shows the measurement update equation comprises the ellipsoidal height obtained using the INS (h_{INS}) and barometric height (h_{Baro}).

$$Z_{Baro} = [h_{INS} - h_{Baro}] \quad (29)$$

The proposed method is a conditional expressions design, without the additional state or subsidiary EKF for barometric bias estimation. It can reduce the computation burden and provide faster processing speed. This is a very important point for low-cost sensor applications. On the other hand, GNSS information is not required for constraining barometric error accumulation so that relative robust height solution can be obtained in GNSS-degraded environments.

D. INS/GNSS/Odometer/Barometer Sensor Fusion Solution

Fig. 2 illustrates the architecture that integrates information from the INS, GNSS, odometer, and barometer in the LC and TC schemes. The INS mechanization uses specific force and angular rate measurements from the IMU to compute the navigation states. External navigation-related aiding sources,

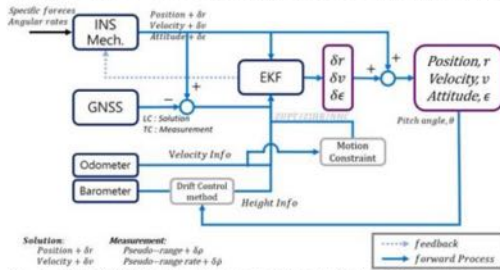


Fig. 2. INS/GNSS/Odometer/Barometer LC and TC integration scheme.

TABLE I
PERFORMANCE CHARACTERISTIC

SPAN-LCI		
	Accelerometer	Gyroscope
Bias Instability	≤ 0.1 mg	0.05 °/hr
Random Walk Noise	0.0588 m/s/√Hz	≤ 0.012 °/√hr
Sensor STIM 300		
	Accelerometer	Gyroscope
Bias Instability	0.05 mg	0.5 °/hr
Random Walk Noise	0.07 m/s/√Hz	0.15 °/√hr



Fig. 3. (a) NovAtel SPAN® LCI (b) NovAtel SPAN® SE GNSS receiver (c) Sensor STIM 300 (d) Mensor CPT 6100 (e) NovAtel ProPak6 GNSS receiver (f) NovAtel GPS 702-GG GNSS antenna (g) Nemicon AEW model

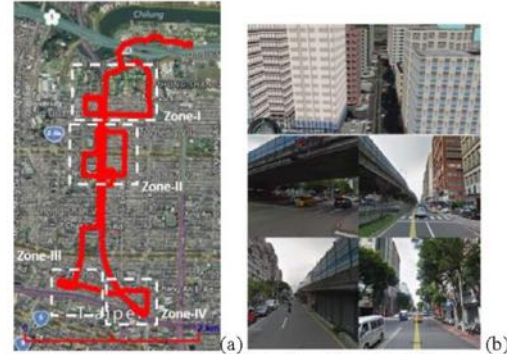


Fig. 4. (a) Experimental route. (b) Street views of experimental route.

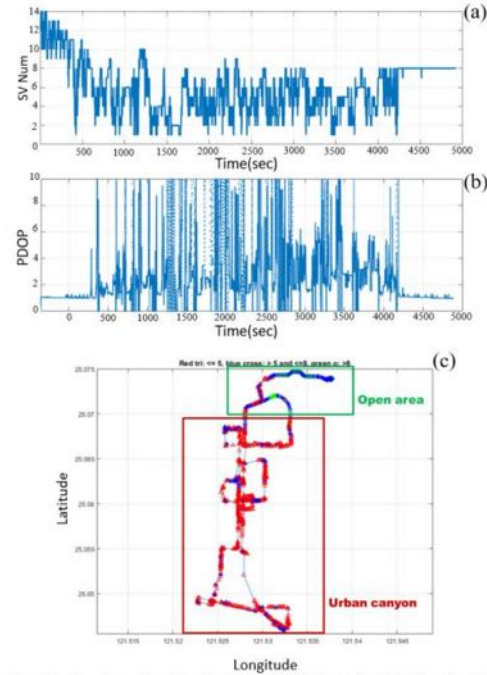


Fig. 5. (a) Number of satellites in view. (b) PDOPs. (c) Availability of satellite solution (green: number of satellites more than 8, blue: between 8 and 5, red: less than 4).

including the GNSS, odometer, and barometer, provide the solution (or raw measurements) as measurement updates to the central EKF. After the navigation errors are estimated, the feedback loop is enabled to improve the navigation solution. The motion constraint and barometric drift control automatically intervene in the condition mentioned in Section II to enhance the performance.

III. EXPERIMENT

In the experiments, the reference system comprises the high-tactical grade INS (NovAtel SPAN[®] LCI) and GNSS receiver (SPAN[®] SE) [Figs. 3 (a) and (b)], whereas the evaluated system uses a low-tactical grade MEMS IMU (Sensor or STIM 300), barometer (Mensor CPT 6100), odometer (Nemicon AEW model), and NovAtel ProPak6 GNSS receiver to form the INS/GNSS/odometer/barometer integrated system [Figs. 3 (c), (d), (e), and (f)]. The barometer is not equipped with a thermometer and therefore is relatively sensitive to the environment changes. Table I shows the specifications of LCI and STIM 300.

To evaluate the seamless navigation solution with different combinations in both schemes, the experimental route (red trajectory) was designed under the harsh GNSS-hostile environment in Taipei city [Fig. 4 (a)]. Fig. 4 (b) shows the highly urbanized spot throughout this area. In consideration of the evaluated receiver (ProPak6) with relatively sophisticated ability to track normal GNSS signals, a single constellation (GPS) was used with single-frequency (L1 band) measurement. In this condition, the evaluated system exhibited significantly unsatisfactory observability of satellite signals and NLOS reception. Fig. 5 shows three aspects to express the severity of the availability of the GNSS solution in the experiment. The total experiment duration was approximately 1.5 h, and the visible satellites were lower than 6 or sometimes less than 4. Fig. 5 (c) shows that the number of available satellites significantly declines after entering the urban canyon.

IV. RESULTS AND ANALYSIS

The reference solution was generated using the reference system in a GPS + GLONASS carrier-phase-based differential mode with commercial software (Inertial Explorer from NovAtel), and raw IMU measurements were integrated in a post-processed tightly-coupled smoothing mode with an odometer when required. The evaluated system processed only pseudorange measurements in a single-point-positioning (SPP) mode as well as the integrated odometer and barometer measurements in the LC and TC schemes, respectively. The analysis of the barometric results among the raw barometric height, EKF-based GNSS/barometer height solution [19], and proposed drift control method were implemented. The evaluations for the aforementioned integration are divided into four sections: INS/GNSS, INS/GNSS/barometer, INS/GNSS/odometer, and INS/GNSS/odometer/barometer combination, and the representative zones I–IV are discussed with scenarios A–J (Zone I: scenarios A and B; Zone II: scenarios C, D, E and J; Zone III: scenarios F, G and H; Zone IV: scenario I).

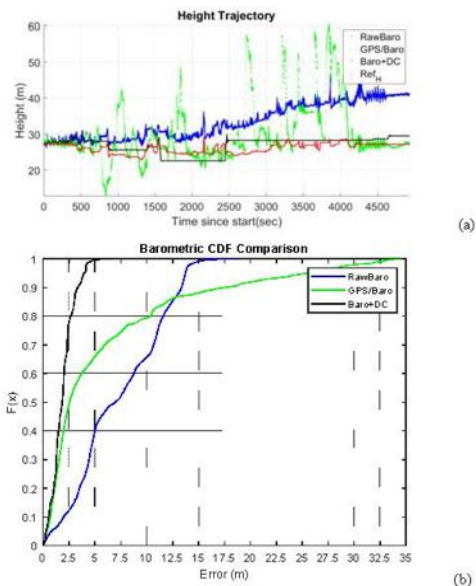


Fig. 6. (a) Comparison of barometric trajectory (blue: raw barometry, green: KF based GNSS/Barometer fusion method given by [19], black: the proposed method, red: reference height). (b) CDF for the different barometry results.

A. Analysis of Barometric Height

Fig. 6 shows the height performance of the different methods, and Table II shows the statistical analysis. The raw barometric height solution (blue) directly derived using (27) shows the error accumulation in the long term caused by unpredictable environmental changes. The performance of the GNSS/barometer height solution (green) represents an accurate result at the beginning of the trajectory, that is, the open area. However, the green line fluctuates during the entire urban canyon area, thus generating a maximum error of 34.52 m, whereas in the proposed method, which is indicated using the black line, error accumulation was effectively constrained [Fig. 6 (a)]. Fig. 6 (b) presents the empirical cumulative distribution function (CDF) for the three barometry results. The proposed method, which includes barometric drift control with the vehicle behavior, exhibits errors lower than 5 m. By contrast, because the GNSS/barometer integration has degraded GNSS solution, the error of the GNSS/barometer integrated results is higher than 10% of 15 m. Although the sophisticated height solution is lost because of the threshold setting of the detection for “height changing”, the proposed method exhibited a mean

TABLE II
BAROMETRIC PERFORMANCE ANALYSIS

Unit: m	Raw Barometry	GNSS/Barometer	Barometric Drift Control
Mean	6.92	5.24	0.85
Max	18.76	34.52	4.79
STD	4.41	7.83	1.92
RMSE	8.20	9.42	2.10
Improvement			74.4%

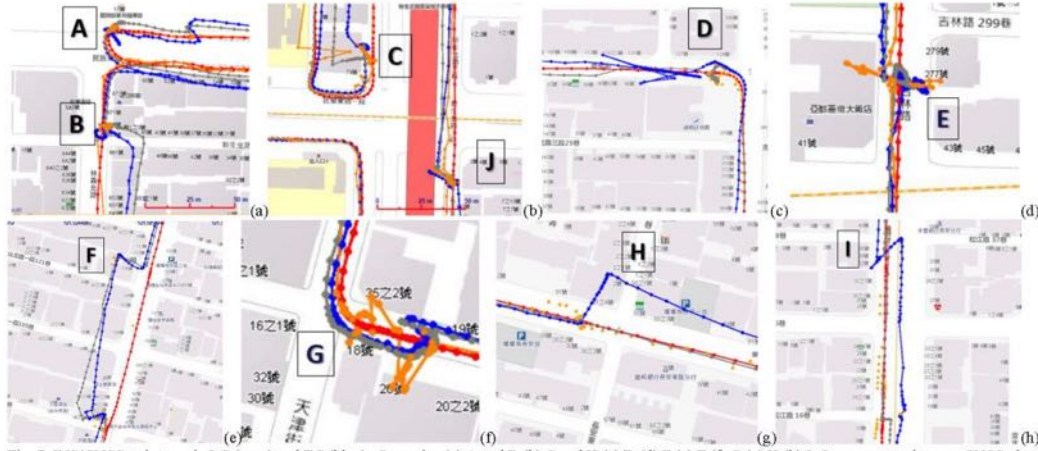


Fig. 7. INS/GNSS trajectory in LC (gray) and TC (blue). Scenarios (a) A and B (b) C and H (c) D (d) E (e) F (f) G (g) H (h) I. Orange waypoints are GNSS-alone solutions.

of 0.85 m, a maximum error of 4.79 m, an STD of 1.92 m, and an RMSE of 2.10 m. An improvement of approximately 74.4% was achieved after using the proposed method, compared with the raw barometric result. The overall result shows that the proposed method is relatively robust in the GNSS-degraded environment. The following analysis was conducted for the sensor integrated with the barometer by using the barometric drift control method.

B. Performance of INS/GNSS/Odometer/Barometer Integration

INS/GNSS performance was first evaluated. Fig. 7 shows the trajectory, and Fig. 8 shows the corresponding line chart of errors with the gray and the blue curves. The following indications are observed: 1. In most harsh GNSS scenarios (A, B, C, E, F, I, and J), the benefits from the ZUPT did not emerge. 2. In some places (D and H), the ZUPT was advantageous to the position state in the LC scheme; however, it is not much effective in the TC scheme. 3. The TC scheme is relatively vulnerable to degraded-GNSS measurements, particularly in the vertical direction (A, B, E, F, and J). For example, in scenario J, the TC solution reached around 40 meters error while LC reached around 10 meters error only.

To analyze indications 1 and 2, the ZUPT exhibited a less effective performance. This phenomenon is observed because the position and velocity solution from the degraded GNSS output as a measurement update, already deteriorated state estimation (including δv , b_{gyro} , and b_{acce}), when the vehicle is non-static. Therefore, using the estimated velocity to activate ZUPT is not accurate. In this situation, when the vehicle is stationary and ZUPT is inactivated, multipath/NLOS-contaminated signals were continuously received. Table III exhibits the related analysis when the vehicle is stationary. The degraded outcome of the state estimation not only generated an invalid ZUPT but also depreciated position accuracy, particularly height accuracy. Indications 2 and 3 also implies that the residual-based FDE was relatively suitable to exclude

abnormal signals in the LC scheme. When the majority of the signals are LOS signals, multipath/NLOS-contaminated measurements can be detected based on its inconsistency. By contrast, the solution from the TC scheme was frequently affected by the abnormal signals. If a path delay from NLOS reception is contained in one of the received measurements, it will affect the correctness of the EKF estimation. This presents the innovation-based FDE in the TC scheme was less capable of finding abnormal measurements. On the other hand, the weighting indicator of the GNSS solution as a measurement update in the LC scheme was based on P_{GNSS}^n in (5). The central EKF can estimate states by considering the geometric effect on the GNSS solution during the Kalman gain process. Although the weighting indicator was based on the satellite elevation-based strategy in the TC scheme, it primarily focused on the range domain. The statistical analysis in Table IV shows the RMSEs of 7.00 and 7.53 m in the horizontal direction, of 4.07 and 10.03 m in the vertical directions, and of 8.01 and 12.55 m in three-dimensional position for the LC and TC schemes, respectively. The problem of lower height accuracy in the TC can be addressed in two difficult views: (1) GNSS lower observability and (2) GNSS clock parameter. The first issue comes from the phenomenon that when the received satellites are less than four, it is usually a place that the quality of received signals cannot be guaranteed and GNSS geometry is also weak. Without proper protection and covariance of received signals, the error propagates faster to other states of EKF, such as the

TABLE III
PERFORMANCE ANALYSIS FOR STATIONARY CONDITION

Combinations	LC / TC		ZUPT Success Rate
	(RMSE, unit: m)		
	Horizontal	Vertical	
INS/GNSS	8.03/9.56	6.55/11.14	75.1%/67.0%
INS/GNSS/Baro	5.89/8.01	2.97/4.81	75.1%/67.2%
INS/GNSS/Odo	4.82/7.57	5.94/7.47	99.8%/99.8%
INS/GNSS/Odo/Baro	5.14/5.92	2.50/3.65	99.8%/99.8%

Baro = barometer, Odo=Odometer

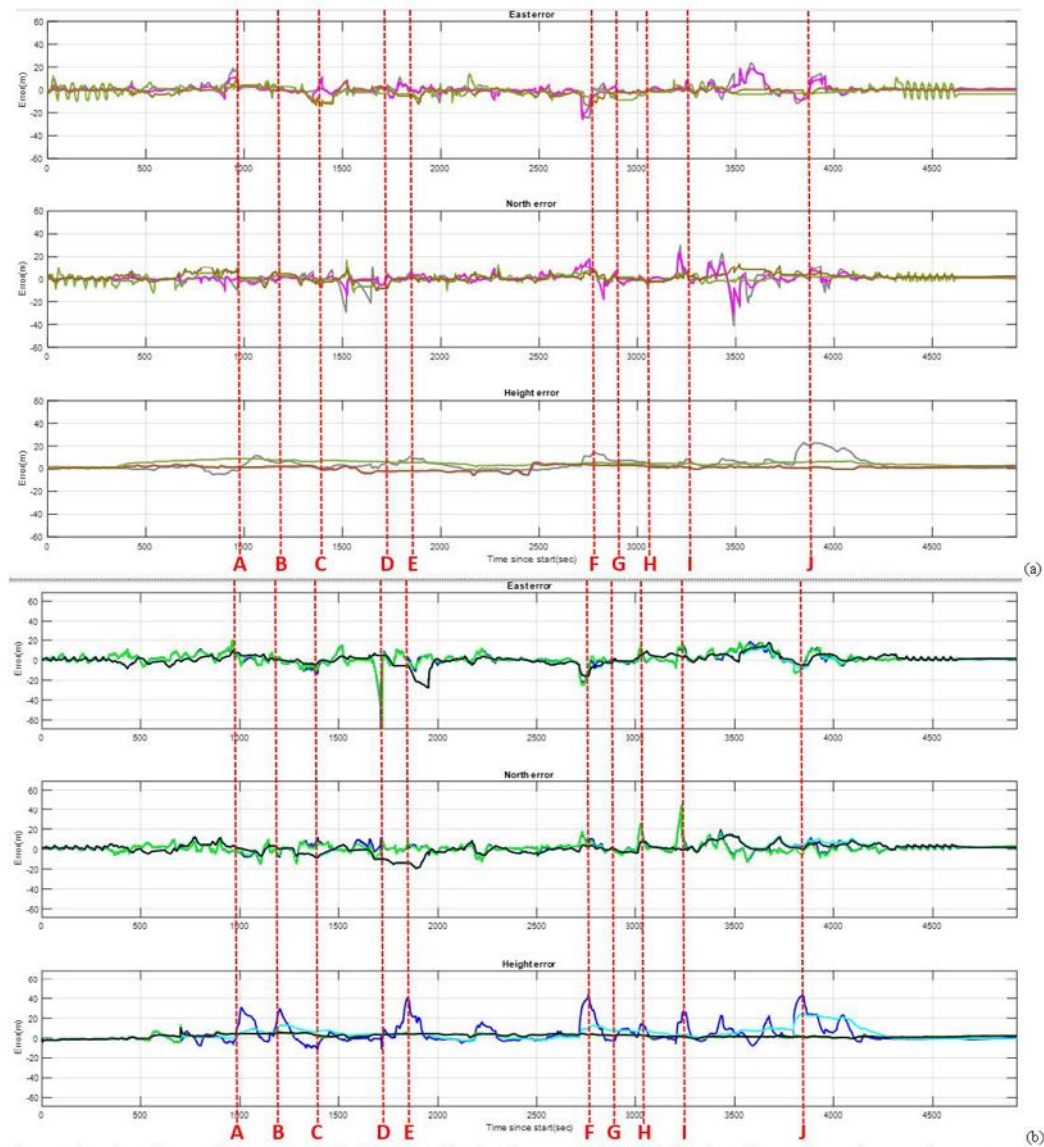


Fig. 8. Line chart of errors for comparison of different combinations in E, N and vertical direction. (a) LC scheme (gray: INS/GNSS, magenta: INS/GNSS/Barometer, teal: INS/GNSS/Odometer, brown: INS/GNSS/Odometer/Barometer) (b) TC scheme (blue: INS/GNSS, green: INS/GNSS/Barometer, cyan: INS/GNSS/Odometer, black: INS/GNSS/Odometer/Barometer).

estimated bias of IMU. It is worth mentioning that the experimental road test has less than 30% of the time in good GNSS conditions, namely that has continuous harsh GNSS environments (see Fig. 5 (c)). If there is no better GNSS to correct it back in the middle, the TC-EKF becomes worse compare to the LC who has the smoothed updated measurements from the GNSS LS filter. The second issue is the

imperfect estimation of GNSS clock relative parameters. It is well-known that the height accuracy of GNSS heavily relies on clock estimation. In our research, all the bad height solutions exist during GNSS harsh environment. It shows that if there is no good quality of GNSS signals between harsh environments, then the TC failed to estimate a good clock estimation and degrade the height solution. From this result, it shows that

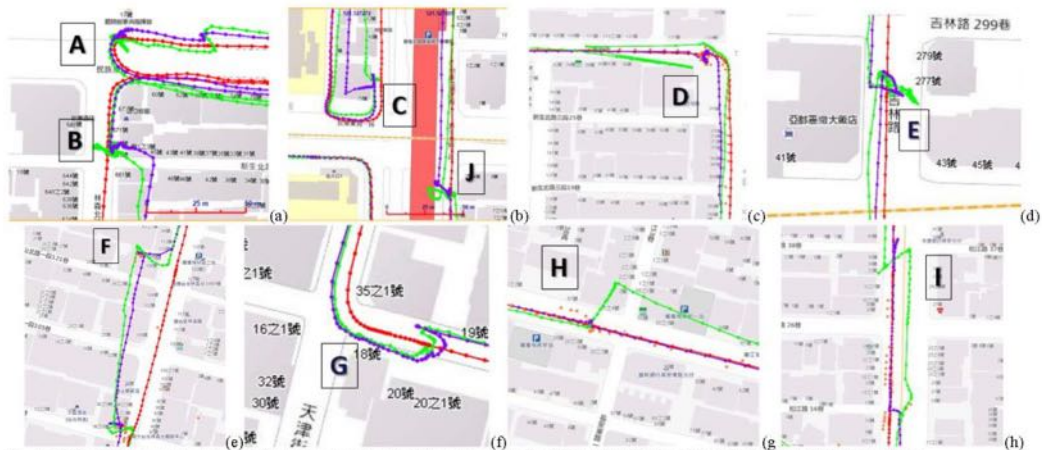


Fig. 9. INS/GNSS/Barometer trajectory in LC (magenta) and TC (green). Scenarios (a) A and B (b) C and H (c) D (d) E (e) F (f) G (g) H (h) I.

additional strategies to exclude abnormal signals in the TC scheme when no other aiding sources were included is more important than the LC scheme.

In the measurement model of the barometric height (29), the measurement update only corresponded to the height error state. An aggressive height constraint has the possibility that degrades horizontal accuracy, and therefore, the performance of the INS/GNSS/barometer must be evaluated. Figs. 8 and 9 show the corresponding line chart of errors (the magenta and the teal curves) and the trajectory. The horizontal errors are similar to the one before barometer aids, but less height deviation was observed. According to Table IV, the accuracy of the INS/GNSS/barometer in terms of the vertical direction were 2.86 m (LC) and 2.85 m (TC) with approximately 29.73% (LC) and 71.59% (TC) improvement in RMSE, respectively. In Table III, the improvement also emerged when ZUPT is inactivated. The vertical errors were reduced about 54.7% for the LC (from 6.55 m to 2.97 m) and 56.8% for the TC (from

11.14 m to 4.81 m). It proves that the barometer aiding algorithm can significantly mitigate the degradation in height from faulty GNSS measurements, and thus the TC showed obvious improvement in comparison. The statistical analysis further validates that the horizontal performance of the INS/GNSS/barometer was not degraded by implementing the proposed barometric drift control method. The achieved accuracy in the vertical direction was almost the same for the LC and TC. However, this aggressive constraint in EKF for both LC and TC changed the trend of the estimated height state significantly.

The significant benefit to reduce the degradation by the GNSS outlier were observed after integrating odometer measurement [Figs. 8 and 10]. The improvements for both schemes are shown in Table IV. For example, at scenario J, which was subjected to the waiting period of the traffic sign, the evaluated system comprised the MEMS-level IMU, which was vulnerable to NLOS-contaminated signals, where time duration

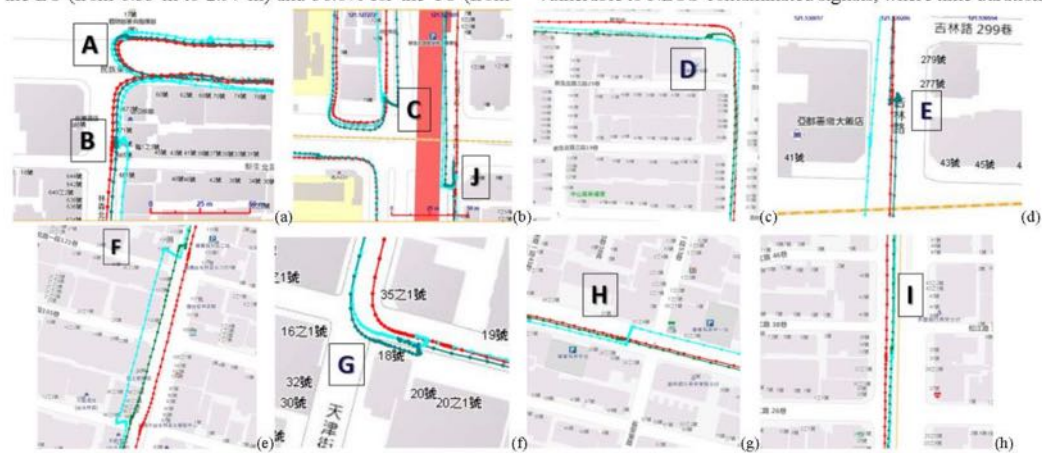


Fig. 10. INS/GNSS/Odometer trajectory in LC (teal) and TC (cyan). Scenarios (a) A and B (b) C and H (c) D (d) E (e) F (f) G (g) H (h) I.

was up to 120 s. After the INS/GNSS/odometer combination was introduced, the ZUPT effects were maximized through precise activation, where the vehicle velocity information was directly obtained from the odometer. Based on Table III, the ZUPT success rates were all significantly increased for both schemes, with 99.8%. The position accuracies for the stationary condition were also improved due to the ZUPT. On the other hand, the impact of the sensitivity to abnormal measurements in the TC scheme is also observed after the odometer aids. The advantages of using odometer were relatively less apparent for the TC scheme due to undetected multipath/NLOS-affected measurements can not be addressed with the aids of odometer. In addition, except the forward speed, the contribution of NHC and odometer velocity is similar for the cross-track direction in the v-frame. The feedback of NHC already improved the INS/GNSS in the horizontal direction. In this condition, the benefit in aiding the odometer is relatively less evident. The result shown that the odometer aiding made the E-component worse in both schemes. This can be traced to the odometer applied in this study is an external sensor, which mounts on the wheel bearing and locks against the inner of the wheel. The velocity based on measuring wheel can be distorted due to the technical limitation of installation after long-term usage. In this situation, the forward speed of odometer in the v-frame is partially propagated into the lateral direction, and the actual frame will contain the deviation from the theoretical definition of vehicle frame. The b-frame to the v-frame matrix C_b^v , which was calibrated by the use of the GNSS solution in the open sky, cannot be the perfect estimation of the true angles in such a condition. The measurement model of odometer in (24) can include some of the false propagation in the n-frame which is corresponding to the lateral direction in the v-frame. Since the travel route of this experiment is mainly in the northern and southern directions, this propagation will dominantly influence the performance of the eastern and western direction, and thus such degradation has shown in both schemes after odometer aids. However, the overall improvement in the horizontal is

positive. It reveals that the odometer aiding in this case is still beneficial to the INS/GNSS integration in the GNSS-degraded environment. Another phenomenon in the TC scheme indicates that the improvement in the height accuracy induced by the barometer is more significant than that from the odometer. Equations (20)–(26) indicate that the linearized v-frame measurement model primarily corresponded to the velocity error state. In other words, using the v-frame velocity as a measurement update is an indirect approach to affect position error state estimation. Compared with the TC, an opposite situation can be observed. For the LC scheme, the improvement in the vertical direction induced by the barometer with the proposed method was less than the aid of odometer. This reflected that the proposed barometric drift control method has a limitation if higher height accuracy is required. A difficulty in tuning a precise pitch threshold can be traced to the condition of the estimated gyro bias and the low-cost INS specification.

The performance of the INS/GNSS/odometer/barometer can be summarized as the combination of the INS/GNSS/barometer and INS/GNSS/odometer. Figs. 8 and 11 show that aiding sensors, including the odometer and barometer, provide a complementary association. The combination of the barometer is sufficient to mitigate the effect of abnormal measurements in the vertical direction. In the horizontal direction, the odometer aids provide the precise forward velocity information and optimize the ZUPT availability. Table IV shows the improvement in the INS/GNSS/odometer/barometer exhibited 16.57% and 6.11% in the horizontal direction, and 30.71% and 72.28% in the vertical direction, for the LC and TC, respectively. The overall 3-D RMSEs of the INS/GNSS/odometer/barometer integration for the performance of both schemes was relatively similar compared with the INS/GNSS integration.

V. CONCLUSION

To evaluate the robust seamless navigation solution, this study analyzes four different algorithms, including INS/GNSS

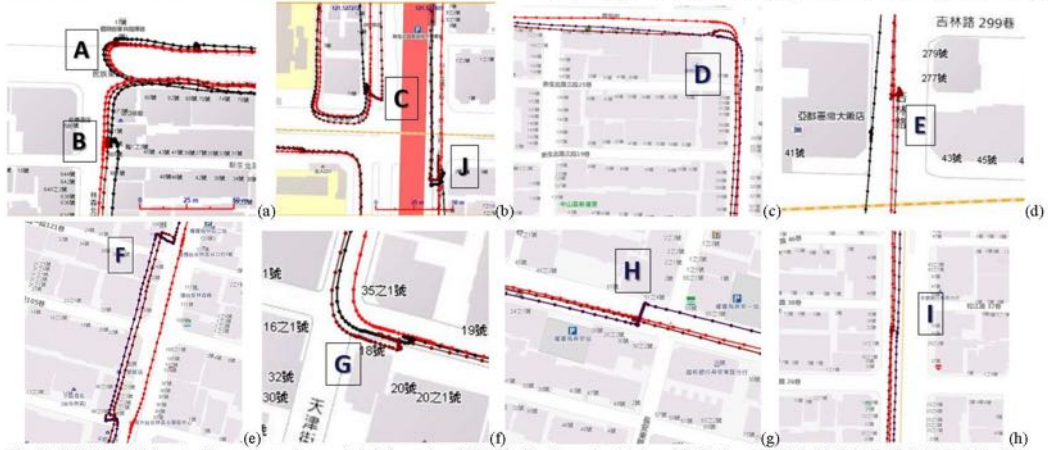


Fig. 11. INS/GNSS/Odometer/Barometer trajectory in LC (brown) and TC (black). Scenarios (a) and B (b) C and H (c) D (d) E (e) F (f) G (g) H (h) I. Orange line is GNSS-alone solution.

TABLE IV
MULTI-SENSOR FUSION PERFORMANCE ANALYSIS

Combination	LC / TC (RMSE, unit: m)					LC / TC (Improvement)		
	E	N	Horizontal	Vertical	3D	Horizontal	Vertical	3D
INS/GNSS	3.62/4.77	5.99/5.83	7.00/7.53	4.07/10.03	8.01/12.55			
INS/GNSS/Baro	4.01/4.51	5.96/5.98	7.18/7.49	2.86/2.85	7.73/8.02	-2.57%/0.53%	29.73%/71.59%	3.50%/36.10%
INS/GNSS/Odo	4.57/5.28	3.65/4.98	5.85/7.26	2.16/7.07	6.23/10.14	16.43%/3.59%	46.93%/29.51%	22.22%/19.20%
INS/GNSS/Odo/Baro	4.57/4.90	3.64/5.11	5.84/7.07	2.82/2.78	6.49/7.60	16.57%/6.11%	30.71%/72.28%	18.98%/39.44%

Baro = barometer, Odo=Odometer

with/without odometer and barometer with the LC or TC schemes under a harsh GNSS-hostile environment. In the INS/GNSS, the effectiveness of motion constraint algorithms, such as the ZUPT, was not significant when abnormal signals are prevalent. Because the activation of the ZUPT was based on the estimated velocity of EKF, the results of the velocity state estimation in multipath/NLOS-contaminated hotspot areas generate invalid ZUPT. The phenomenon reflects the risk of ZUPT detection based on integrated solution, especially when no other aiding velocity sources were included. The detection of the ZUPT based on the raw measurement from IMU (e.g., specific force) with a converged bias estimation can be more stable but involved the estimation of system errors of IMU, which should be studied in the future. The statistical analysis exhibited that the implementation of the residual-based FDE and weighting matrix considering the satellite geometric effect in the LC scheme contributed to state estimation during the central EKF process. By contrast, in this harsh environment, the basic method (innovation-based FDE) is relatively ineffective in the TC scheme. The current result reflects that, in GNSS-degraded environments, the effectiveness of the TC scheme only emerges when the use of normal signals and the mitigation of multipath/NLOS reception are secured. Without the high-grade GNSS or under very harsh GNSS environment, additional strategies to abnormal signals checking were relatively essential for the INS/GNSS integration with the TC.

To reduce the sensitivity of the barometer to the uncertainty factors, such as the fluctuation of the ambient temperature, this study proposed a drift control method using the vehicle behavior. On the basis of the MA filter and detection of the variation of the pitch estimation, height drifting was significantly limited. Based on the proposed method, the INS/GNSS with barometer aiding in the vertical direction exhibited RMSE 2.86 m (LC) and 2.85 m (TC) with improvement 29.73% and 71.59% respectively, without degrading the horizontal accuracy. It can solve the height issue in the TC scheme when the innovation-based FDE was ineffective. However, the result reflected the effectiveness to mitigate the NLOS effect in height, the sophisticated trend of the estimated height state changed.

According to the forward velocity estimated from the odometer, the ZUPT was accurately activated and advantageous to mitigate the abnormal measurement update from the degraded GNSS solution. The experimental result also showed that the effectiveness of the FDE will influence the contribution of the odometer aiding. The needs and importance of installation angles in motion constraints and the use of external sensors were demonstrated in this paper. To address

the solution, it will be future work as a special research topic. In summary, the INS/GNSS/odometer/barometer integration without additional FDE methods, the outcome of the TC and LC schemes were similar. The result validated that the aiding source with the odometer and barometer provided a complementary association. However, by considering the condition of the estimated gyro bias and the low-cost MEMS INS specification, the precision of the height-changing detection is limited. The accuracy of barometer aiding with the proposed drift control method can be further improved by investigating proper barometer derived models.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would acknowledge the partial financial support provided by the Department of Land Administration, Ministry of Interior, Executive Yuan, Taiwan (ROC).

REFERENCES

- [1] S. Godha, "Performance Evaluation of Low Cost MEMS-based IMU Integrated with GPS for Land Vehicle Navigation Application," M.S. thesis, Dept. Geomatics Eng., Calgary Univ., Alberta, Canada, 2006.
- [2] O. S. Salychev *et al.*, "Low cost INS/GPS integration: Concepts and testing," in *Proc. IONNTM2000*, pp. 98-105. [Online]. Available: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.568.5811&rep=rep1&type=pdf>
- [3] E. H. Shin, "Accuracy Improvement of Low Cost INS/GPS for Land Applications," M.S. thesis, Dept. Geomatics Eng., Calgary Univ., Alberta, Canada, 2001.
- [4] C. Yang, W. Shi, and W. Chen, "Adaptive Unscented Kalman Filtering based on Correlated Inference with Application in GNSS/IMU integrated Navigation," *GPS Solutions*, 22:100, 2018, DOI: 10.1007/s10291-018-0766-2
- [5] D. H. Titterton and J. L. Weston, "Strapdown Inertial Navigation Technology", 2nd ed., vol. 17, Stevenage, UK: IET, 2004, pp. 378-379.
- [6] R. M. Rogers, "Applied Mathematics in Integrated Navigation Systems", 3rd ed., Reston, VA, USA: AIAA, 2007, pp. 272.
- [7] K. W. Chiang, and Y.W. Huang, "An intelligent navigator for seamless INS/GPS integrated land vehicle navigation applications," *Appl. Soft Comput.*, pp. 722-733, 8, 2008.
- [8] P. D. Groves *et al.*, "A Portfolio Approach to NLOS and Multipath Mitigation in Dense Urban Areas," in *Proc. ION GNSS 2013*, Nashville, TN, 2013.
- [9] J. Seo *et al.*, "Lever Arm Compensation for GPS/INS/Odometer Integrated System," *Int. J. Control, Autom., Syst.*, vol. 4, no. 2, Apr. 2006, pp. 247-254.
- [10] M. Aftatah, A. Lahrech, and A. Abounada, "Fusion of GPS/INS/Odometer measurements for land vehicle navigation with GPS outage," in 2016 2nd International Conference on Cloud Computing Technologies and Applications (CloudTech), May 2016, pp. 48-55.
- [11] J. Georgy, A. Noureldin, and M. Bayoumi, "Mixture Particle Filter for Low Cost INS/Odometer/GPS Integration in Land Vehicles," in *Proc. Vehicular Technology Conference*, Barcelona, Spain, 2009, pp. 1-5.
- [12] S. Sukkarieh, "Low Cost, High Integrity, Aided Inertial Navigation Systems for Autonomous Land Vehicles," Ph.D. dissertation, Australian Centre for Field Robotics, Dept. Mechanical and Mechatronic Eng., Sydney Univ., Sydney, Australia, 2000.

- [13] E. H. Shin, "Estimation Techniques for Low-Cost Inertial Navigation," Ph.D. dissertation, Dept. Geomatics Eng., Calgary Univ., Alberta, Canada, 2005.
- [14] M. Tanigawa *et al.*, "Drift-free dynamic height sensor using MEMS IMU aided by MEMS pressure sensor," Presented at WPNC 2008. 5th Workshop. [Online]. Available: https://www.mikrocontroller.net/attachment/197056/Makoto_wpnc08_fullpaper_final.pdf
- [15] J. Parviainen, J. Kantola, J. Collin, "Differential barometry in personal navigation," in Proc. IEEE/ION Position, Location and Navigation Symp., Monterey CA, USA, 2008, pp. 148-152. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Jussi_Collin/publication/4350668_Differential_barometry_in_personal_navigation/links/545a01300cf26d5090ad407f.pdf
- [16] J. Zhang, E. Edwan, J. Zhou, W. Chai, and O. Loffeld, "Performance investigation of barometer aided GPS/MEMS-IMU integration," in Proc. PLANS, Apr. 2012, pp. 598-604.
- [17] J. Seo, J. G. Lee, and C. G. Park, "Bias suppression of GPS measurement in inertial navigation system vertical channel," in Proc. PLANS, Monterey, CA, USA, Apr. 2004, pp. 143-147.
- [18] J. Park, D. Lee, and C. Park, "Implementation of Vehicle Navigation System using GNSS, INS, Odometer and Barometer," *Journal of Positioning, Navigation, and Timing*, vol. 4, no. 3, pp. 141-150, 2015.
- [19] S. W. Yen, F. van Graas, M. U. de Haag, "Positioning with two satellites and known receiver clock, barometric pressure and radar elevation," *GPS solutions* 20, pp. 885-899, 2016.
- [20] B. Ho, P. D. Martin, P. Swaminathan, and M. B. Srivastava, "From Pressure to Path: Barometer-based Vehicle Tracking," in *Embedded Systems for Energy-Efficient Built Environments - BuildSys*. ACM, 2015, pp. 65-74.
- [21] A. Angrisano, "GNSS/INS integration methods," Ph.D. dissertation, Università degli Studi di Napoli Parthenope.
- [22] L. T. Hsu, "Analysis and modeling GPS NLOS effect in highly urbanized area," *GPS solutions*, 22:7, 2018, DOI: 10.1007/s10291-017-0667-9
- [23] K. W. Chiang, T. Duong, and J. K. Liao, "The Performance Analysis of a Real-Time Integrated INS/GPS Vehicle Navigation System with Abnormal GPS Measurement Elimination," *Sensors*, vol. 13, pp. 10599-10622, 2013.
- [24] P. G. Savage, "Strapdown analytics", vol. 2, Maple Plain, MN, USA: Strapdown Associates, 2000, pp. 3-57.
- [25] E. Vinande, P. Axelrad, and D. Akos, "Mounting-angle estimation for personal navigation devices," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 59:3, 2010, 1129-1138.
- [26] A. O. Salycheva, and M. E. Cannon, "Kinematic azimuth alignment of INS using GPS velocity information," in *Proceedings of NTM 2004 Conference*, San Diego, CA, USA, Jan. 2004, pp. 26-28.



Kai-Wei Chiang is currently a professor in the Department of Geomatics at National Cheng Kung University, Taiwan. He has a Ph.D. from the Department of Geomatics Engineering at the University of Calgary and holds B.Sc. and M.Sc. in Geomatics Engineering from National Cheng Kung University. With 13-years of experience in Geomatics Engineering as a surveying engineering, his expertise include multisensor systems, mobile mapping systems, real-time static and kinematic positioning, and digital photogrammetry and their applications in mapping and geospatial information systems.



Hsiu-Wen Chang is an engineering consultant at Allystar Inc. She was an assistant professor at the Department of Geomatics in National Cheng Kung University until 2018. She received her Ph.D. in Geomatics Engineering from the University of Calgary, Canada in 2014. She received her B.Sc. and M.Sc. degrees from the Department of Geomatics at the National Cheng-Kung University, Taiwan. She is interested in developing sensor-integrated algorithms for navigation systems, autonomous vehicle navigation, and artificial intelligence. Her previous research included development in deep learning and self-growing neural networks for vehicle/pedestrian applications based on GPS/INS/Camera integration solutions.



Yu-Hua Li received his master's degree from the Department of Geomatics, National Cheng Kung University, Taiwan. He is currently a Ph.D. candidate in the Positioning, Orientation, and Integrated Navigation Technologies Lab in National Cheng Kung University under the supervision of Dr. Kai-Wei Chiang. He has been worked in the development of GNSS positioning with the NLOS mitigation algorithm, INS/GNSS/Odometer/Barometer/HDmaps positioning and orientation integration in the LC/TC scheme, and mobile multisensor systems.



Guang Je Tsai is a Ph.D. candidate at the Department of Geomatics, National Cheng Kung University, Taiwan. He has a bachelor's degree from the Department of Geomatics Engineering at National Cheng Kung University. He is interested in the next-generation navigation and positioning technologies, such as inertial navigation, Simultaneous Localization and Mapping (SLAM), and mobile multisensor systems



Chung-Lin Tseng received his bachelor's and master's degrees at the Department of Geomatics, National Cheng Kung University, Taiwan. He majored in the field of vehicle navigation and is interested in the integration applications of the Global Navigation Satellite System and Inertial Navigation.



Yu-Chi Tien graduated from the National Cheng Kung University, Taiwan with the bachelor's degree in geomatics in June 2017. He is currently a graduate student in the Department of Geomatics at National Cheng Kung University. He undertakes a research in land vehicle navigation and INS/GNSS integration systems under the supervision of Dr. Kai-Wei, Chiang.



Pei-Ching Hsu received her bachelor's degree from the Department of Geomatics, National Cheng Kung University, Taiwan. She is currently a graduate student in the Positioning, Orientation, and Integrated Navigation Technologies Lab at National Cheng Kung University under the supervision of Dr. Kai-Wei Chiang. She has been conducted research in using HD maps to improve the accuracy of GNSS positioning by using the NLOS mitigation algorithm and INS/GNSS positioning and orientation integration with the LC scheme.



Article

On-line smoothing and error modelling for integration of GNSS and visual odometry

Thanh Trung Duong ¹, Kai-Wei Chiang ² and Dinh Thuan Le ^{2*}

¹ Department of Geomatics and Land-administration, Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam; duong_trung2004@yahoo.com

² Department of Geomatics, National Cheng Kung University, Tainan 701, Taiwan; kwchiang@mail.ncku.edu.tw; lehuudinhthuan@gmail.com

* Correspondence: lehuudinhthuan@gmail.com; Tel.: +886-6-237-0876

Received: date; Accepted: date; Published: date

Abstract: Global navigation satellite systems (GNSSs) are commonly applied for navigation and mapping applications. However, in GNSS-hostile environments, where the GNSS signal is noisy or blocked, the navigation information provided by a GNSS is inaccurate or unavailable. To overcome these issues, this study proposes a real-time visual odometry (VO)/Global Positioning System (GPS) integrated navigation system. An on-line smoothing method based on the extended Kalman filter (EKF) and the Rauch-Tung-Striebel smoother is proposed. VO error modelling is also proposed to estimate the VO error and compensate the incoming measurements. Field tests are performed in various GNSS-hostile environments, including under a tree canopy and an urban area. An analysis of the test results indicates that with the EKF used for data fusion, the root-mean-square error of the three-dimensional position is about 80 times lower than that of the VO-only solution. The on-line smoothing and error modelling make the results more accurate, allowing seamless on-line navigation information. The efficiency of the proposed methods in terms of cost and accuracy compared to the conventional INS/GPS integrated system is demonstrated.

Keywords: GNSS; INS; Integration; Navigation; Visual Odometry; On-Line Smoothing; Error Modelling

1. Introduction

Global navigation satellite systems (GNSSs) are commonly applied for positioning and navigation. The positioning solution is accurate and continuous if direct signals from more than four satellites are received. However, in GNSS-hostile environments, where signals are reflected and blockage, the availability and accuracy of GNSS-based vehicle navigation systems are degraded significantly [1]. To overcome this issue, the integration of a GNSS and another navigation system has been proposed. The most common integration is a GNSS and an inertial navigation system (INS). Even though INS/GNSS integrated system can improve navigation capability in GNSS-denied environments, it depends deeply on the cost of used inertial sensors and period of time that GNSS signals are outage [2]. Tactical-grade or higher inertial systems can compensate to obtain appropriate positioning accuracy and sustainability during long-term GNSS signal unavailability [3]. For instance, in case of GNSS outage lasting one minute, system with high-grade inertial sensors can achieve real-time positioning accuracy less than three meters. Nevertheless, the using of these sophisticated inertial sensors is limited for applications such as the primary navigation module for general land vehicles caused by their price and government regulation [1, 2]. Low-cost microelectromechanical systems (MEMS) inertial sensors are thus applied as potential complementary component. However, the positioning error of integrated system drifts quickly when GNSS signals blockages due to poor performance of these inertial sensors.

Visual odometry (VO) using a camera is an alternative or supplemental navigation solution in GNSS-hostile environments [4, 5]. VO estimates the ego-motion of an agent given consecutive images captured by one or more cameras. The output of VO is the relative translation and rotation of the carrier platform in the initial camera frame. Compared with wheel odometry, VO is not affected by wheel slip in uneven terrain or other adverse conditions [6]. VO utilizes low-cost sensors, and the frames captured by a camera can provide a large amount of information that can be used for different purposes, including navigation [7, 8]. However, its performance depends on the illumination of the environment, the texture of the static scene, and the overlap between consecutive frames [6]. The present study integrates VO and GNSS to utilize the advantages and overcome the limitations of each system in stand-alone mode.

In the literature, the integration of VO and GNSS has been investigated. Dusha and Mejias [9] introduced a loosely coupled GPS/VO integration. Their method was demonstrated using numerical simulations and evaluated using real flight data. However, they mainly focused on the observability properties of the GPS/VO filtering instead of optimal estimation or real-time navigation performance. Moreover, in real experiments, they used down-ward looking camera, which is different in context to forward-facing camera applying popularly in navigation. Schreiber, Königshof [10] presented a method for integrating GNSS measurements from low-cost receiver with a locally accurate visual odometry obtained from an on-board low-cost stereo camera system. Although their system had robust localization, the achieved accuracy was insufficient for autonomous driving. Chen, Hu [11] investigated the integration of measurements from low-cost GNSS and monocular camera measurements in a simultaneous localization and mapping (SLAM) system. The proposed system can perform in real-time and achieve absolute position, attitude, and metric scale of the vehicle. However, this system is mainly based on ORB-SLAM framework with optimization-based algorithms, so it is unable to apply smoother in order to improve the accuracy of navigation performance. The scale is initialized in the beginning instead of being included in the state for estimation. Furthermore, they experiment with available KITTI dataset, which ORB-SLAM system has been successful working with, instead of real experiments with their own configurations.

In this research, we propose a real-time VO/GPS integrated navigation system that utilizes on-line smoothing based on the extended Kalman filter (EKF) and the Rauch-Tung-Striebel (RTS) smoother. VO error modelling is also proposed to estimate the VO error and compensate the incoming measurements. The contributions addressed herein is that, firstly, the result of this work contributes to confirm the advancement of VO/GNSS integration, which can be comparable to conventional INS/GNSS approach. Secondly, on-line smoothing and error modelling were applied to enhance the performance that makes the system capable of robust ground vehicle navigation. Finally, the integrated system is validated through two live sets of data were collected in various GNSS-hostile environments (e.g., under a tree canopy, urban area) together with centimeter-accuracy of reference system to demonstrate performance of the proposed system.

The remaining of the paper is organized as follows: Section 2 provides overview of VO. Section 3 presents the design of integrated architecture, system model and measurement model. Section 4 describes data fusion strategies. The experimental results and discussion are presented in Section 5. Finally, some concluding remarks and a brief outline for future research are presented in Section 6.

2. Visual Odometry

2.1. General Concept of VO

VO can be divided into monocular or stereo VO. Monocular VO uses a single camera to derive ego-motion based on feature matching (or feature tracking) between consecutive images, whereas stereo VO uses a pair of cameras. Compared to monocular VO, stereo VO is more accurate but has a higher computational burden [12]. Therefore, monocular VO is the first choice for real-time applications [13]. The flowchart of VO is described in Figure 1.

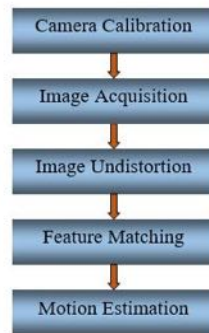


Figure 1. Flowchart of visual odometry

2.2. Camera Calibration

Camera calibration is used to determine the camera's intrinsic and distortion parameters. The camera's intrinsic parameters are usually presented in the form of a matrix that includes the camera's focal length and principle point. The distortion parameters are usually expressed in terms of tangential distortion and radial distortion coefficients of the lenses. The camera calibration can be implemented using commercial software or free tools such as Bouget's Matlab Camera Calibration Toolbox [14] or OpenCV [15]. Several calibration processes have been proposed [16, 17]. In this research, OpenCV with a checkerboard pattern is used for camera calibration.

2.3. Image Acquisition and Undistortion

A sequence of images is obtained from the camera at a certain frame rate. For real-time applications, the frame rate is critical. It should be small enough to implement in real time, but large enough to have overlap for deriving a VO solution. The frame rate is adjusted depending on the size of the image and the moving speed of the vehicle. For example, for an image size of 808×608 pixels and an average vehicle speed of 2 m/s, the frame rate should be 3 frames per second for real-time applications [18].

The camera lens can distort images. Objects in distorted images look different than they do in reality (e.g., straight lines become curved). The magnitude of distortion increases from the center to the edges of images and varies with view point. Based on the distortion parameters determined from camera calibration, a distorted image can be corrected to improve the performance of subsequent image processing. Figure 2 compares a distorted image and its correction.

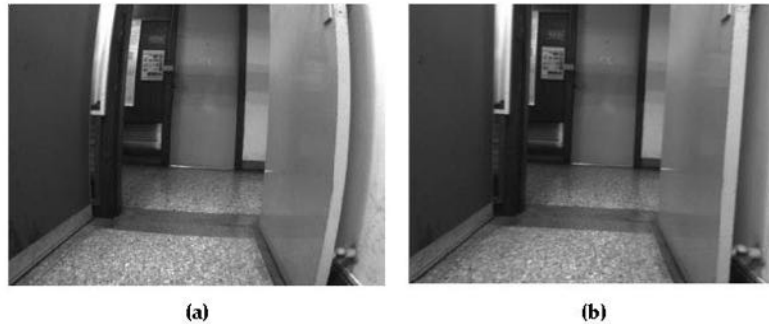


Figure 2. (a) Distorted image and (b) its correction

2.4. Feature Matching

To derive a VO solution based on a feature-based method, feature points between consecutive images must be matched or tracked. This process commonly has two stages. In the first stage, feature detection is used to find key points that are the most suitable for matching to features in other images [19]. Various feature detection algorithms have been proposed [20]. According to Fraundorfer and Scaramuzza [20], point-feature detectors can be divided into two groups, namely corner detectors and blob detectors. The representatives for corner detectors are FATS, Harris, Shi-Tomasi, Moravec, and Forstner, whereas SIFT, SURF, and CENSURE are typical algorithms for blob detectors. Each algorithm has its own advantages and disadvantages. In general, blob detectors are more distinctive and better localized in scale, but corner detectors are fast to compute and better localized in image position. In the second stage, the corresponding feature is looked for in the subsequent images. This process is called feature matching or tracking. In this research, the SIFT [21] feature matching algorithm is applied. The most power of SIFT algorithm is in its robust descriptor, which is stable against changes in illumination, rotation, and scale. Figure 3 illustrates feature matching of two images.

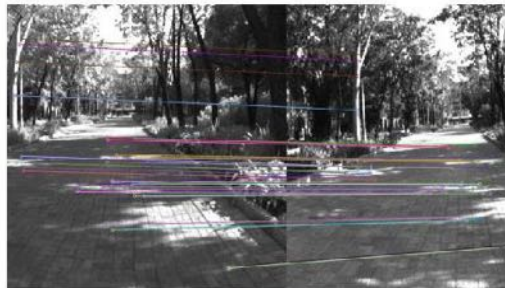


Figure 3. Illustration of feature matching

2.5. Motion Estimation

Motion estimation is used to determine camera transformation between the current image and previous image. The mathematical principle of motion estimation is based on an epipolar constraint [6]. In Figure 4, a camera undergoes motion from C1 to C2 with rotation R and translation t . Given a three-dimensional (3D) point X , the projection of X in the image plane at C1 is u and the corresponding image point at C2 is v . The epipolar constraint equation is formed as:

$$u^T E v = 0 \quad (1)$$

where $E = [t] \times R$ is essential matrix.

Equation (1) can be rewritten in the form:

$$Ae = 0 \quad (2)$$

where A represents the components u and v and e represents the components of E .

To solve (2), eight point correspondences are normally required [22]. Fewer point correspondences are required if additional constraints are used in the motion condition [6, 23]. Equation (2) is solved based on the principle of minimizing the projection error to determine R and t .

$$\text{Argmin} \|Ae\| \quad (3)$$

Note that (2) is satisfied with static points. However, a real scenario may contain a moving object and erroneous conditions, thus outlier removal is thus necessary. The RANSAC algorithm is commonly used for this task [24]. After outlier removal using RANSAC, the number of inliers is determined. A larger number of inliers usually leads to more reliable solution in motion estimation. Therefore, in this research, a number of inliers is used to build the error model of VO.

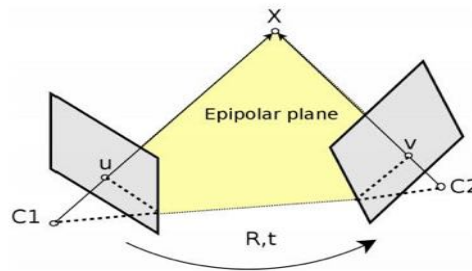


Figure 4. Principle of epipolar constraint in VO

Equation (2) with condition (3) is solved utilizing singular value decomposition (SVD) to determine essential matrix E . Rotation matrix R and translation vector t are then determined [23].

Let $E = U\Sigma V^T$ be the SVD of E . Then:

$$[t]_{\times} = VW\Sigma V^T \quad (4)$$

$$R = UW^T V^T \quad (5)$$

$$W = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

and $[t]_{\times}$ is skew matrix of the translation vector t [25].

Given the determined translation vector t and rotation matrix R , the transformation of camera at time k is formed as:

$$T_k = \begin{bmatrix} R_p & t_p \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Then, the pose of camera at time k can be determined using a concatenated equation:

$$C_k = C_{k-1} T \quad (8)$$

where C_k and C_{k-1} are the poses of the camera at times k and $k-1$, respectively. The solution of VO is the pose of the camera, expressed in the initial camera frame. Its error will accumulate over time if no external constraint is applied.

3. Integration Architecture

3.1. General Architecture Design

In this system, a loosely coupled scheme for VO/GPS integration is designed. The images taken by the camera are processed by a VO mechanization to derive translation and rotation in camera frame. GPS provides absolute position as the major measurement update. An EKF is designed for multi-sensor

data fusion and an RTS smoother is applied to provide more accurate navigation solutions. The integration scheme is shown in Figure 5.

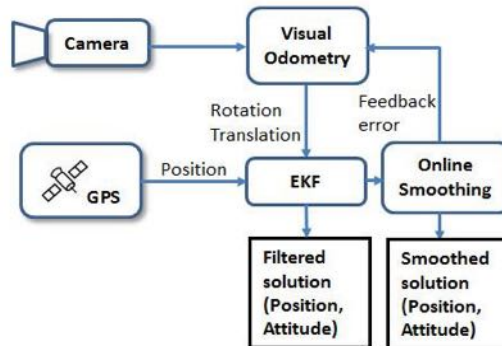


Figure 5. Proposed VO/GPS integration scheme

3.2. Model Design

System and measurement models are needed for fusing data with an estimation tool such as the EKF [1, 3]. In this research, the principle ego-motion of the VO is utilized to create a system model for the EKF. The measurements from GPS are used to form measurement models.

The system model is created by error analysis utilizing perturbation methods of VO. The details of the derivation can be found in the study of Dusha and Mejias [9]. The time-continuous VO error model is formed as:

$$\begin{bmatrix} \delta \dot{\lambda} \\ \delta \dot{r}^n \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \mathbf{0}_{1 \times 3} & \mathbf{0}_{1 \times 3} \\ \tilde{R}_b^n \tilde{T}^b & \mathbf{0}_{3 \times 3} & -\dot{\lambda} [\tilde{R}_b^n \tilde{T}^b]_{\times} \\ \mathbf{0}_{3 \times 1} & \mathbf{0}_{3 \times 3} & \mathbf{0}_{3 \times 3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta \lambda \\ \delta r^n \\ \psi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & \mathbf{0}_{1 \times 3} & \mathbf{0}_{1 \times 3} \\ \mathbf{0}_{3 \times 1} & \tilde{\lambda} \tilde{R}_b^n & \mathbf{0}_{3 \times 3} \\ \mathbf{0}_{3 \times 1} & \mathbf{0}_{3 \times 3} & \tilde{R}_b^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \delta \tilde{T}^b \\ \delta \omega_{nb}^b \end{bmatrix} \quad (9)$$

where $\delta \dot{\lambda}$, $\delta \dot{r}^n$, and $\dot{\psi}$ are continuous-time derivatives of length scale factor, position, and attitude in local-level frame (n-frame), respectively. \tilde{R}_b^n is estimated rotation matrix from body frame (b-frame) to the n-frame. \tilde{T}^b is estimated translation expressed in the b-frame. $\delta \tilde{T}^b$ and $\delta \omega_{nb}^b$ are translation and rotation errors in the b-frame, respectively.

Equation (9) can be presented in continuous-time system model:

$$\dot{x} = Fx + Gu \quad (10)$$

Equation (10) can be transformed into a discrete-time form [1, 26]:

$$x_{k+1} = \Phi_k x_k + w_k \quad (11)$$

where $x_k = [\delta \lambda \ \delta r^n \ \psi]^T_{7 \times 1}$ is state vector at time (epoch) k , Φ_k is the discrete-time transition matrix from epoch k to epoch $k+1$, and w_k is process noise [27, 28].

Measurement model for EKF is expressed as:

$$z_k = Hx_k + v_k \quad (12)$$

where H is the design matrix or geometry matrix, z_k and v_k are measurement and its noise, respectively.

For positional measurement provided by GPS, the measurement model for the EKF is formed as:

$$z = r_{VO}^e - r_{GPS}^e = HR_e^n x_k + \varepsilon_r \quad (13)$$

where r_{VO}^e and r_{GPS}^e are the positional vectors provided by VO and GPS in the Earth-centered Earth-fixed frame (e-frame), respectively, and R_e^n is rotation matrix from e-frame to n-frame.

$$H = [0 \quad I_{1 \times 3} \quad O_{1 \times 3}] \quad (14)$$

H is measurement mapping matrix describing relationship between measurement vector and state vector. ε_r is position noise of GPS measurements.

4. Data Fusion Strategies

4.1. Estimation with Extended Kalman Filter

EKF equations are divided into two groups; time prediction and measurement update. The time prediction equations convert state and covariance from the current epoch state (k) to next epoch (k+1) [27].

$$\hat{x}_{k+1}^- = \Phi_k \hat{x}_k^+ \quad (15)$$

$$P_{k+1}^- = \Phi_k P_k^+ \Phi_k^T + Q_k \quad (16)$$

where (*) denotes estimation, (-) and (+) denote the estimated values after prediction and update, respectively.

When GPS measurements are observed, the measurement update equations are activated:

$$K_k = P_k^- H_k^T (H_k P_k^- H_k^T + R_k)^{-1} \quad (17)$$

$$\hat{x}_k^+ = \hat{x}_k^- + K_k (z_k - H_k \hat{x}_k^-) \quad (18)$$

$$P_k^+ = (I - K_k H_k^T) P_k^- \quad (19)$$

where K_k is the Kalman gain, R_k is covariance matrix of GPS measurements. All noise terms are considered to be white with known covariance and uncorrelated with each other.

4.2. On-line Smoothing

In this research, on-line smoothing is applied. The remaining time in each epoch is utilized to perform smoothing during operation time to increase capability of the system in terms of accuracy. Following Chiang, Duong [29], on-line smoothing is originated from RTS smoother algorithm. The principle of this algorithm is introduced below.

According to Rauch, Tung [30], smoothing is targeted to estimate probability density function (PDF) of the states based on all measurements from time k to time N, where $k \leq N$:

$$P(x_k, x_{k+1} | z_N) = P(x_{k+1} | x_k) P(x_k | z_k) P(z_{k+1}, \dots, z_N | x_{k+1}) P(z_k) \quad (20)$$

The RTS smoother finds optimal estimation by applying maximum likelihood of state vectors based on aiding measurements vectors:

$$\max L(x_k, x_{k+1} | z_N) = \max \log P(x_k, x_{k+1} | z_N) \quad (21)$$

where $L(x_k, x_{k+1} | z_N)$ is likelihood of x_k, x_{k+1} based on z_N .

The estimated and covariance of states are achieved by resolving criteria in Equation (21):

$$\hat{x}_{k|N} = \hat{x}_k + C_k (\hat{x}_{k+1|N} - \hat{x}_{k+1}) \quad (22)$$

$$P_{k|N} = P_k + C_k (P_{k+1|N} - P_{k+1}) C_k^T \quad (23)$$

where $\hat{x}_{k|N}$ and $P_{k|N}$ are smoothed states and covariance at time k based on information up to time N ($k \leq N$), respectively, \hat{x}_k and P_k are estimated states and covariance provided by the EKF at time k, respectively, and C_k is cross covariance, calculated as following equation:

$$C_k = P_k \Phi_{k,k+1}^T P_{k+1}^{-1} \quad (24)$$

With on-line smoothing, the processing scheme can be done with real-time data. Figure 6 indicates processing principle and error performance of on-line smoothing. The integrated scheme with on-line smoothing of VO/GPS is described in Figure 7.

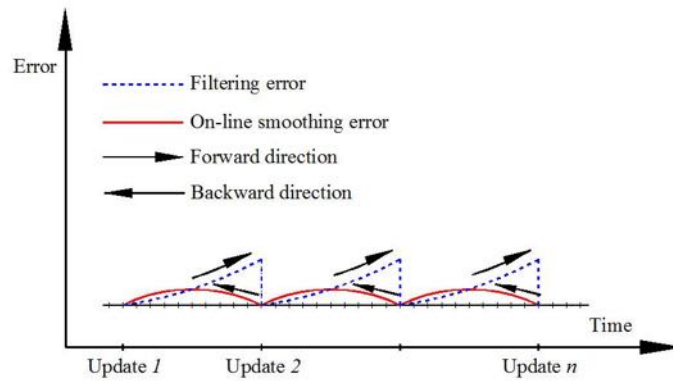


Figure 6. Error illustration of on-line smoothing

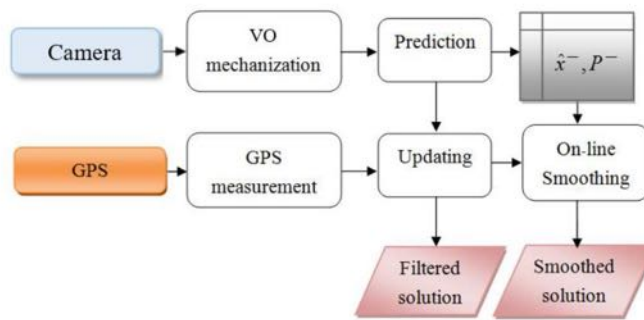


Figure 7. Flowchart of filtering and on-line smoothing

4.3. Error Modelling with On-line Smoothing

Error modelling in VO/GPS integration includes VO noise modelling, the length scale factor, and heading drift. It is assumed that the estimates from the smoother are better in quality and provide more output solutions compared to the EKF; therefore, the output from the smoothing solutions in each smoothing window is used for modelling error.

$$Q_k = [\varepsilon \varepsilon^T] \quad (25)$$

$$\varepsilon_k = x_{k|N} - \hat{x}_k^- \quad (26)$$

where $x_{k|N}$ is the smoothing solution and \hat{x}_k^- is the prediction of the EKF.

Q_k is the system error model at time k. It is used as the error model for the next estimation step at time k+1.

With this scheme, the system error model is updated every updating step of the EKF whenever the GPS measurement is available.

In the VO/GPS integration, the position and the length scale factor of VO are updated continuously based on GPS data. However, it is no longer updated because GPS does not provide an attitude parameter. Consequently, the position of the system drifts quickly during GPS outages due to the drift of the heading, especially during turning. Thus, heading error modelling is used to estimate the heading error based on on-line smoothing as:

$$\Delta h_k = \text{mean}(h_{k|N} - h_k^-) \quad (27)$$

where $h_{k|N}$ is the smoothed heading and h_k^- is the predicted heading by EKF at time k. The heading at time k+1 is then estimated.

$$h_{k+1} = h_k + \Delta h_k/2 \quad (28)$$

5. Experiment and Discussion

The testing system comprised a monoband camera (Blackfly, Point Grey) with a resolution of 808×608 (0.5 MP). GPS data was provided by a double-frequency GPS receiver (ProPak V3, NovAtel). The original GPS output data rate was 1 Hz (one data record per second); however, for testing, the GPS data rate was decreased to 0.05 Hz (one data record every 20 seconds).

The system for generating reference composed a medium tactical-grade inertial measurement unit (IMU) (C-MIGII) and a dual-frequency geodetic-grade GPS receiver (ProPak V3, NovAtel). Some additional ground control points in the GPS-denied environment were included to guarantee that the reference solution was at the centimeter level of accuracy. The system was set up on a platform for testing, as shown in Figure 8. The reference trajectories were generated using tightly coupled integration with a smoothing algorithm using the commercial IMU/GPS processing software Inertial Explore. A testing software module was written and designed in C++ programming language to acquire and process data.

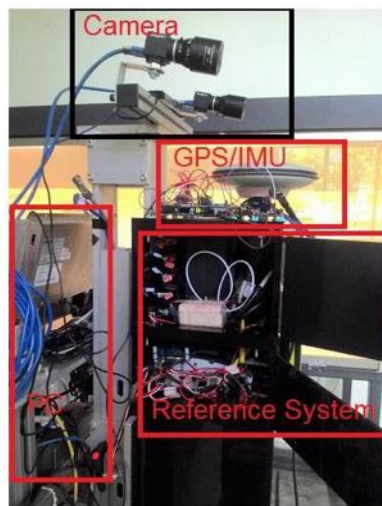


Figure 8. Testing and reference descriptions

In the first test, the testing field was carried out at a GPS-hostile environment at a campus of National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan. The testing trajectory is displayed in Figure 9. For performance evaluation, the solutions provided by pure VO, VO/GPS using original EKF, and VO/GPS with on-line smoothing were analyzed. Figure 9 shows the positions of these solutions on the map, and Figure 10 indicates a graphical comparison of positional error between solutions. The numerical statistics in terms of positional root-mean-square error (RMSE) are shown in Table 1.



Figure 9. Positions of various solutions on the map

Table 1. Comparison of positional RMSE for the first test

RMSE (m)	Pure VO	VO/GPS EKF	VO/GPS on-line smoothing
North	6.689	2.054	0.522
East	15.601	1.195	0.525
Up	12.933	2.933	1.454
3D	21.340	3.775	1.632
Improvement (%)	-	82.3	92.4

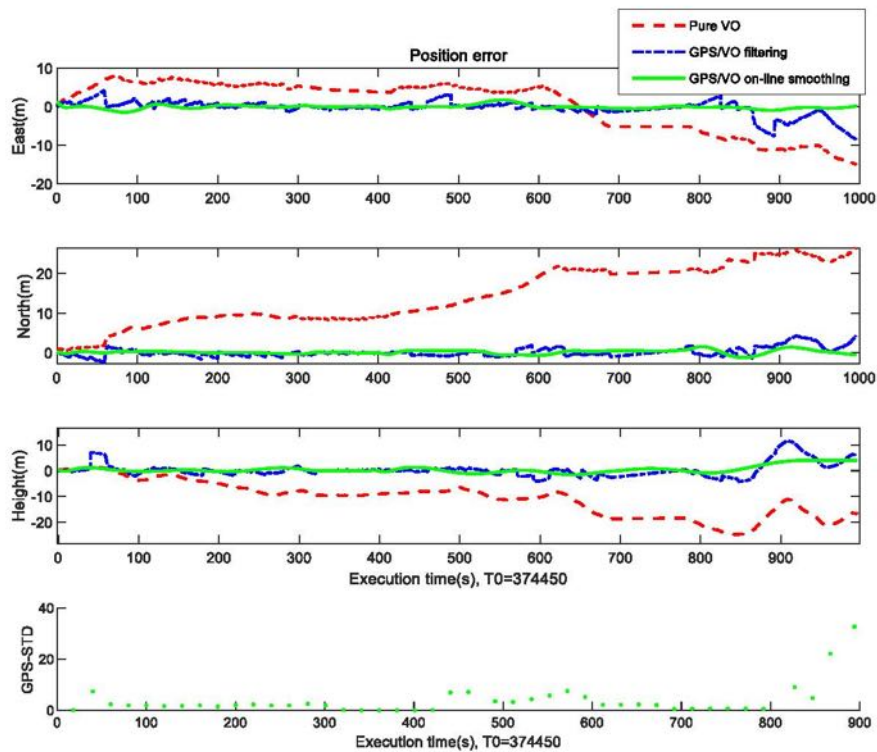


Figure 10. Graphical comparison of positional error between various solutions

It can be seen from the results that the positional error of the pure VO grows quickly over time. For VO/GPS fusion using EKF, the VO position is constrained by GPS, and thus its accuracy improves significantly (by 82.3%) compared to that for pure VO. Moreover, the integrated solution can provide seamless navigation even with GPS outages. With on-line smoothing, the smoother is activated whenever an updating measurement is found. Smoothing is performed backward from current to previous updating time utilizing data which stores in temporary dynamic arrays. The navigation solution with smoothing is more accurate (by 92.4%) compared to that for pure VO.

For the second test, the data set was collected at the Kuei-Jen Campus, National Cheng Kung University, where the GPS satellite is good for evaluation, as show in Figure 11. In this test, the testing equipment was similar to that in the first test. Two simulated GPS outages were generated. The performance analysis focuses on the VO/GPS solution with EKF, on-line smoothing, and on-line smoothing and error modelling. The comparison between the three solutions in terms of the ground trajectory and a graph are shown in Figures 12 and 13, respectively. The numerical analysis results in terms of the positional RMSE are shown in Table 2.

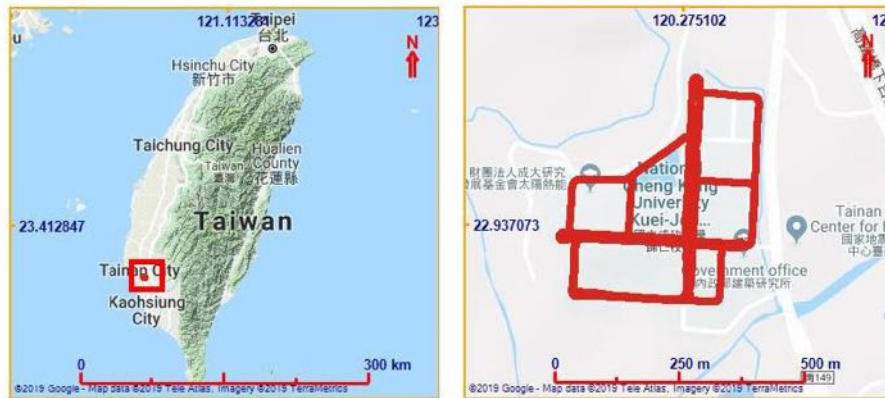


Figure 11. Second test scenario

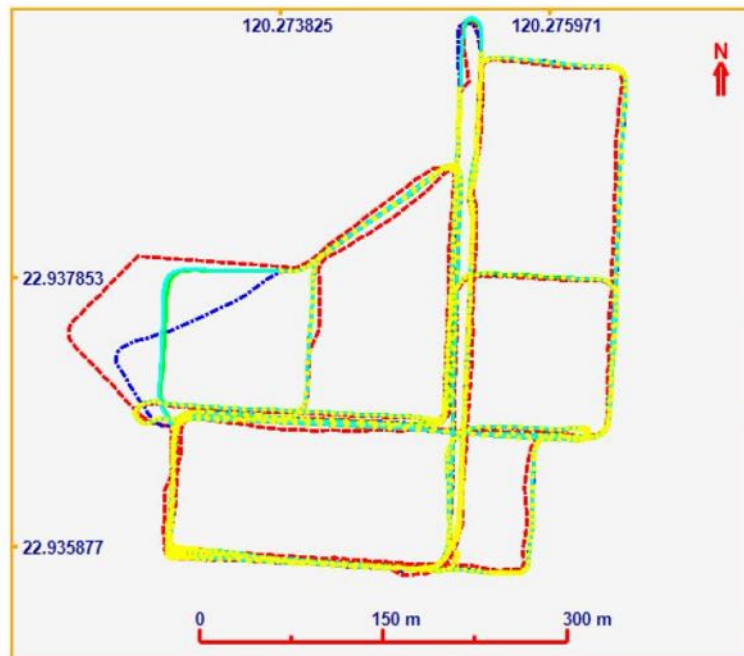


Figure 12. Ground trajectories

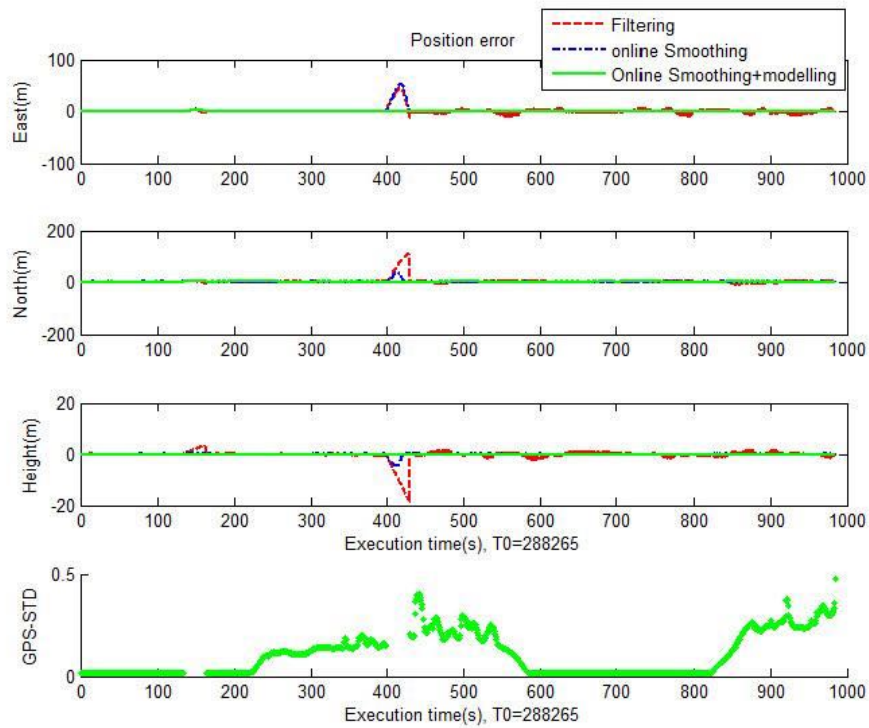


Figure 13. Graphical comparison of positional error between solutions in the second test

Table 2. Comparison of positional RMSE for the second test

RMSE (m)	VO/GPS EKF	On-line smoothing	On-line smoothing and error modelling
North	5.606	5.994	0.255
East	12.535	3.612	0.339
Up	1.980	0.458	0.322
3D	13.874	7.013	0.533
Improvement (%)	-	49.5	96.2

According to the statistics in Table 2, the estimation accuracy in terms of position for smoothing is much better than that for EKF. With on-line smoothing, the improvement in RMSE is about 50%. The heading error, however, still drifts over time, leading to a large position error, particularly during GPS outages. For on-line smoothing and error modelling, the heading error was estimated; the accuracy improvement was 96.2% compared to that of EKF.

6. Conclusions

This study proposed an integrated scheme of VO and GPS with on-line smoothing and error modelling based on the EKF and the RTS smoother to overcome the issues of GPS in GPS-challenging environments and the problem of unbounded error in VO. A system that included a camera, a GPS receiver, and an IMU was combined for testing and reference generation, and a console program written in C++ based on OpenCV was implemented to evaluate the proposed method.

The testing results indicate that with EKF used for data fusion, the RMSE of the 3D position is about 80 times lower compared to that for the VO-only solution. With on-line smoothing and error modelling, the predicted and updated information from the EKF were smoothed and the heading error was estimated. The results were thus more accurate and provide seamless on-line navigation information.

In feature-based approach, the static salient and repeatable features are tracked across the sequence images. Therefore, in future work, an algorithm that adopts outlier removal and more robust feature tracking to deal with complex environments (e.g., urban roads with many moving vehicles) will be developed. Non-linear, non-Gaussian filtering and a smoothing algorithm will be applied in the VO/GPS integrated system to overcome the limitation of the EKF in terms of error modelling and highly dynamic movement.

Acknowledgments: The authors acknowledge the financial support of the Ministry of Science and Technology (MOST 107-2221-E-006-125-MY3) and the Minister of Interior, Executive Yuan of Taiwan, through National Cheng Kung University.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Chiang, K.-W., T.T. Duong, and J.-K. Liao, *The performance analysis of a real-time integrated INS/GPS vehicle navigation system with abnormal GPS measurement elimination*. *Sensors*, 2013. **13**(8): p. 10599-10622.
2. Shin, E.-H., *Accuracy improvement of low cost INS/GPS for land applications*. 2001: MSc Thesis, Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Alberta, Canada.
3. Titterton, D. and J. Weston, *Strapdown inertial navigation technology*. Vol. 17. 2004: MIT Press.
4. Maimone, M., Y. Cheng, and L. Matthies, *Two years of visual odometry on the mars exploration rovers*. *Journal of Field Robotics*, 2007. **24**(3): p. 169-186.
5. Nistér, D., O. Naroditsky, and J. Bergen, *Visual odometry for ground vehicle applications*. *Journal of Field Robotics*, 2006. **23**(1): p. 3-20.
6. Scaramuzza, D. and F. Fraundorfer, *Visual odometry, Part 1*. *IEEE robotics & automation magazine*, 2011. **18**(4): p. 80-92.
7. Aqel, M.O., et al., *Review of visual odometry: types, approaches, challenges, and applications*. SpringerPlus, 2016. **5**(1): p. 1897.
8. Tardif, J.-P., et al. *A new approach to vision-aided inertial navigation*. in *Intelligent Robots and Systems (IROS), 2010 IEEE/RSJ International Conference*. 2010. IEEE.
9. Dusha, D. and L. Mejias, *Error analysis and attitude observability of a monocular GPS/visual odometry integrated navigation filter*. *The International Journal of Robotics Research*, 2012. **31**(6): p. 714-737.
10. Schreiber, M., et al. *Vehicle localization with tightly coupled GNSS and visual odometry*. in *Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2016 IEEE*. 2016. IEEE.
11. Chen, X., et al., *Integration of low-cost gnss and monocular cameras for simultaneous localization and mapping*. *Sensors*, 2018. **18**(7): p. 2193.
12. Howard, A. *Real-time stereo visual odometry for autonomous ground vehicles*. in *Intelligent Robots and Systems, 2008. IROS 2008. IEEE/RSJ International Conference*. 2008. IEEE.
13. Yousif, K., A. Bab-Hadiashar, and R. Hoseinnezhad, *An overview to visual odometry and visual SLAM: Applications to mobile robotics*. *Intelligent Industrial Systems*, 2015. **1**(4): p. 289-311.
14. Bouguet, J.-Y., *Matlab camera calibration toolbox*. Caltech Technical Report, 2000.
15. Bradski, G. and A. Kaehler, *OpenCV*. Dr. Dobb's journal of software tools, 2000. **3**.
16. Zhang, Z., *A flexible new technique for camera calibration*. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 2000. **22**.

17. Geiger, A., et al. *Automatic camera and range sensor calibration using a single shot*. in *Robotics and Automation (ICRA), 2012 IEEE International Conference*. 2012. IEEE.
18. Zhang, J. and S. Singh, *Laser-visual-inertial odometry and mapping with high robustness and low drift*. *Journal of Field Robotics*, 2018. **35**(8): p. 1242-1264.
19. Chakraborty, M. *Feature Descriptor for Performing Visual Odometry*. 2013. *International Conference on Engineering and Technology*.
20. Fraundorfer, F. and D. Scaramuzza, *Visual odometry, Part 2*. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 2012. **19**(2): p. 78-90.
21. Lowe, D.G., *Distinctive image features from scale-invariant keypoints*. *International journal of computer vision*, 2004. **60**(2): p. 91-110.
22. Longuet-Higgins, H.C., *A computer algorithm for reconstructing a scene from two projections*. *Nature*, 1981. **293**(5828): p. 133.
23. Nistér, D., *An efficient solution to the five-point relative pose problem*. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 2004. **26**(6): p. 756-770.
24. Fischler, M.A. and R.C. Bolles, *Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography*. *Communications of the ACM*, 1981. **24**(6): p. 381-395.
25. Jian, Y.-D. and C.-S. Chen, *Two-view motion segmentation with model selection and outlier removal by ransac-enhanced dirichlet process mixture models*. *International Journal of Computer Vision*, 2010. **88**(3): p. 489-501.
26. Shin, E.-H., *Estimation techniques for low-cost inertial navigation*, in *UCGE report*. 2005, PhD Dissertation, Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Alberta, Canada.
27. Gelb, A., *Applied optimal estimation*. 1974: MIT press.
28. Brown, R.G. and P.Y. Hwang, *Introduction to random signals and applied Kalman filtering*. Vol. 3. 1992: Wiley New York.
29. Chiang, K.-W., et al., *On-line smoothing for an integrated navigation system with low-cost MEMS inertial sensors*. *Sensors*, 2012. **12**(12): p. 17372-17389.
30. Rauch, H.E., F. Tung, and C. Striebel, *Maximum likelihood estimates of linear dynamic systems*. *AIAA journal*, 1965. **3**(8): p. 1445-1450.



© 2019 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



1 Article

2 **Integration of Convolution Neural Network and**
3 **Error Correction for Indoor Positioning**4 **Eric Hsueh-Chan Lu ^{1,*} and Jing-Mei Ciou ²**5 ¹ Department of Geomatics, National Cheng Kung University, Taiwan; luhc@mail.ncku.edu.tw6 ² Department of Geomatics, National Cheng Kung University, Taiwan; p66064049@mail.ncku.edu.tw7 * Correspondence: luhc@mail.ncku.edu.tw

8 Received: date; Accepted: date; Published: date

9 **Abstract:** With the rapid development of surveying and spatial information technologies, people
10 pay more and more attention to positioning. In outdoor environments, people can easily obtain
11 positioning services through the GPS. In indoor environment, GPS signal is often lost, while other
12 positioning problems such as dead reckoning and wireless signal will face accumulated error and
13 signal interference. Therefore, we use image to realize positioning service. The main concept is to
14 establish the model of indoor field image and its coordinate information, and to judge its position
15 by image eigenvalue matching. Based on the architecture of PoseNet, we set various image size to
16 input 23-layer convolutional neural network, train end-to-end location identification tasks, and
17 regress the three-dimensional position vector of the camera. The experimental data are from the
18 underground parking lot and the Palace Museum. The preliminary experimental results show that
19 the new method designed by us can effectively improve the accuracy of indoor positioning by about
20 20 to 30%. In addition, we also discuss other architectures, field sizes, camera parameters and error
21 correction for the system of neural network. The preliminary experimental results show that the
22 angle error correction method designed by us can effectively improve about 20%.

23 **Keywords:** Indoor positioning; image registration; convolutional neural network; deep learning;
24 computer vision
25

26 **1. Introduction**27 *1.1. Background*

28 With the rapid development of surveying and spatial information technology, more and more
29 attention has been paid to the research and application of positioning. In outdoor environment,
30 people can get accurate information of ground position through GPS and GNSS. The emergence of
31 global positioning system (GPS) has also resulted in more convenient Location-Based Services (LBS)
32 in many fields, such as satellite navigation system, intelligent parking system and various geodetic
33 surveys. Although GPS brings convenience to people's livelihood, when the satellite signal is
34 obscured, the application of GPS will also fail at the same time. For example, indoors or basements
35 are where signals are most likely to be lost. Once the signals are obscured, GPS will not be able to
36 continue to provide positioning services. Therefore, how to continuously calculate the location after
37 the failure of satellite signals makes indoor positioning technology a hot research topic. Indoor
38 positioning is widely used and has high commercial value. Common application fields include route
39 guidance of station, AR interaction of art galleries, intelligent guide of department stores or cargo
40 monitoring of factories, etc. Therefore, more and more scholars are discussing the related technology
41 of indoor positioning

42 *1.2. Motivation*

43 Indoor positioning technology can be roughly divided into three categories: dead reckoning,
 44 wireless signal positioning and image positioning, but the first two have their own shortcomings.
 45 After dead reckoning is used for a period of time, error propagation will continue to expand, resulting
 46 in poor positioning accuracy. In large-scale complex space, the position accuracy of wireless signals
 47 is unsatisfactory because of the unstable factors such as interference and obstruction. Therefore, we
 48 will focus on the third image positioning technology as the main research axis. In the field of
 49 computer vision, whether monocular or binocular camera technology, applications of deep learning
 50 in positioning issues have been widely discussed and studied. We refer to an architecture proposed
 51 by Alex Kendall *et al.* and the architecture is known as PoseNet [13]. When users use mobile phones
 52 to shoot an image somewhere, the architecture can estimate the position and orientation of the image
 53 through the trained model. Mobile phones are easily accessible devices for the public. This method
 54 not only considers the universality of the public, but also eliminates the interference problems that
 55 other signal locations will encounter. In addition, in the thesis related to positioning with other deep
 56 learning applications, the accuracy of this method will be stable in the performance of harsh
 57 environment. However, according to our initial research results, the accuracy of PoseNet in a more
 58 complex indoor environment is indeed not high; we think there are three reasons, but also our
 59 motivation. First, it is inconsistent with our emphasis on position from the loss function of PoseNet,
 60 so the loss function needs to be modified appropriately. Secondly, they only cut the middle part of
 61 the training image, which will result in information loss of the whole image. Finally, if the training
 62 image data and the actual positioning image are from different cameras, it is easy to cause errors
 63 between different platforms. As far as we know, there is no literature to discuss the errors between
 64 different shooting platforms, so overcoming this problem is one of the motivations of this thesis.

65 1.3. Problem

66 Human can rapidly and easily distinguish the moving object and three-dimensional structure of
 67 the scene they see through their eyes, and then calculate their position and orientation. Image indoor
 68 positioning technology is to replace human eyes with camera lens as the main core concept, to
 69 identify the position of people in indoor space, how to estimate people's position in indoor space as
 70 accurately as possible is one of the problems to be discussed in the field of computer vision. In the
 71 past, many literatures on deep neural networks have studied large data and predicted the accuracy
 72 of attributes in classification images, and the accuracy has also been improved to more than 90%. In
 73 recent years, deep neural networks have been used to predict spatial position accuracy. Deep neural
 74 networks are classified into many types, including well-known convolutional and recurrent neural
 75 networks. In the field of image recognition, CNN is most commonly used. CNN has two
 76 characteristics: local features and weight sharing. In image processing and video recognition, CNN
 77 can extract important feature values from local images through filters. Weight sharing can reduce the
 78 complexity of network in multi-dimensional vector image computation. In order to achieve image-
 79 based indoor positioning, for example, in Figure 1, when walking indoors, the user can take an image
 80 in a certain direction, extract the feature value of the image through CNN, and finally calculate the
 81 user's position at that time. Our goal is to predict the position as accurately as possible, so we refer to
 82 PoseNet, which best meets our situational needs, and we further adjust the architecture of deep
 83 learning to explore images scaling, cross-camera simulated mobile phones and error correction.



84 Figure 1. Sketch map of indoor positioning application.

85 1.4. Contribution

- 86 1. Re-planning 23-layer CNN architecture suitable for indoor environment, adjusting the weight
87 of loss function, focusing on accurate prediction of indoor positioning.
- 88 2. Before the training stage, we change the size of the image to preserve the whole image as the
89 input value of CNN.
- 90 3. In practical indoor positioning applications, most of the indoor images come from cameras on
91 different platforms. We first discuss the angle error correction of the position prediction results
92 between the cross-platform.
- 93 4. The mobile cartographic platform with positioning system and mapping system is used to collect
94 dataset of the underground parking lot and the South Palace Museum, including image and
95 geographic location information, which can be used for related research in the future.
- 96 5. The preliminary experimental results of changing image size show that the proposed method
97 can effectively improve the indoor positioning accuracy by about 20-30%. After changing the
98 loss function, the indoor positioning accuracy can be improved by about 80-90%. Preliminary
99 experimental results show that our error correction method can effectively improve the indoor
100 positioning accuracy by about 20%.

101 2. Related Work

102 In this section, we review some important studies related to positioning issues. All related work
103 can be divided into three parts including indoor positioning, image positioning and convolution
104 neural network.

105 2.1. Indoor Positioning

106 Dead reckoning, wireless signal positioning and image positioning are common indoor
107 positioning technologies. The first one is based on IMU technology. Li *et al.* [16] uses hand-held
108 mobile devices for indoor positioning. First, step size and azimuth angle are estimated according to
109 the trajectory of user, then particle filter algorithm is used and plane is added. In this way, the initial
110 estimate is corrected and the final position is obtained. Particle filter is a non-parametric Bayesian
111 estimation, which is often used in dynamic tracking and computer vision to calculate the position of
112 the next moment. Lan *et al.* [15] proposed an indoor positioning system using sensors in hand-held
113 mobile devices to collect available information. They apply indoor positioning in parking lots and
114 use Pedestrian Dead Reckoning (PDR) system to track the trajectory of user, in order to detect when
115 the user leaves the parking space, so that the next user can use the handheld mobile device to get the
116 location service of querying the parking space. Based on PDR, they abandon magnetometers and use
117 accelerometers and gyroscopes only to detect the pace of user and calculate the step size and azimuth
118 of user. In addition, they also calibrate the orientation errors caused by using only gyroscopes to
119 obtain azimuth.

120 The second common type of wireless signal positioning includes infrared, WiFi and Bluetooth.
121 The calculation method includes proximity positioning, intersection method and feature matching.
122 The proximity positioning usually uses Bluetooth Low Energy (BLE) device as a signal transmitter
123 and transmits the recognition signal to the nearby handheld mobile device. The intersection method
124 uses the information obtained from the distance between the signal transmitter with multiple known
125 coordinates and other sensors, and then uses the concept of resection method to obtain the desired
126 sensor coordinates. Feature matching, also known as fingerprinting technology, is mainly divided
127 into two stages. The first stage produces training data. It first measures the signal intensity of the
128 position of multiple signal transmitters in an indoor space, and records the received signal intensity
129 and the location mark of the transmitter to complete a radio map. The second stage is to locate the
130 sensor which wants to measure the point position, that is to say, to compare with the feature map
131 of the first stage after measuring the signal intensity of the sensor, and finally get the position of the
132 sensor. Grossmann *et al.* [8] set up Access Point (AP) of Wireless Local Area Networks (WLAN) in
133 the exhibition hall of the museum and used Received Signal Strength Index (RSSI) to get position

134 information. Subhan *et al.* [25] estimates the position of the indoor positioning system based on the
135 Bluetooth using feature comparison. The accuracy of indoor positioning system depends largely on
136 the parameters of the alignment and the measurement results of the surrounding environment. They
137 mentioned that external environmental factors include temperature, signal reflection, obstacle
138 interference. All these are the reasons for the increasing accuracy of feature matching. So before
139 getting fingerprinting results, they proposed a method to measure wireless signals, which called the
140 standard radio propagation model, and used this method to estimate the real distance between
141 Bluetooth and devices. Thereafter, the intersection method of trilateration is used to obtain the
142 coordinate of position, which is constrained as the input of filter to reduce the position error of
143 fingerprint.

144 The third image positioning technology is based on photogrammetry. The relative relationship
145 between camera and image control points is calculated through indoor control points. The camera
146 position is calculated by geometric principle. This part will be explained in detail in section 2.2.

147 2.2. Image Positioning

148 The problem of image positioning can be solved in two ways: feature matching positioning
149 technology and machine learning positioning technology. Simultaneous Localization and Mapping
150 (SLAM), Scale Invariant Feature Transform (SIFT), Structure from Motion (SfM) and other common
151 methods of feature matching positioning technology are used. SLAM locates the pose and position
152 by repeatedly collecting map features in the process of motion, and then constructs and locates it
153 according to its own position. Incremental maps are used to achieve real-time location and map
154 construction. Engel *et al.* [5] proposed a direct (non-feature) monocular SLAM algorithm, which
155 allows large-scale construction of environmental maps. On the basis of high precision attitude
156 estimation based on image alignment, they reconstruct three-dimensional environment space into
157 attitude map with semi-dense depth. SIFT is used to detect and describe local features in images. It
158 is mainly used in machine vision with sensory vision instruments. It searches for key points in scale
159 space and extracts information such as position, scale and rotation invariants as SIFT-like points.
160 These SIFT-like points can be used for object identification. Later, some papers have been published.
161 Discuss the positioning problem. Liang *et al.* [17] and Hao *et al.* [9] use SIFT for map feature matching
162 and location information, but the disadvantage of SIFT is that it requires many feature databases and
163 effective sifting of SIFT-like points. The huge amount of computation will make it difficult for indoor
164 location services to achieve real-time.

165 SfM represents scenes through reconstructed three-dimensional motion, and Agarwal *et al.* [1],
166 Snavely *et al.* [24], Wu *et al.* [29] and Kendall *et al.* [14] show that they use motion recovery structure
167 algorithms to collect image postures, i.e. positions and directions. People can find matches from
168 continuous 2D images in the brain, and use them to find three-dimensional information of moving
169 objects. Matching is the corresponding point, through the difference between the matching points;
170 the corresponding depth information can be obtained. SfM gets 3D information from time series 2D
171 images without input of any camera parameters. Camera parameters can be deduced by matching
172 features between 2D images. By establishing the corresponding relationship between a set of features
173 and their 3D coordinates, the complete 6-DoF camera attitude of the corresponding image can be
174 obtained.

175 Machine learning includes many theories, such as decision tree, random forest, deep learning
176 and so on. J. Shotton *et al.* [23] raised scene coordinates to reposition the returned based on RGB-D
177 images. They used image scene coordinates with depth information. This method converted the
178 coordinate information of depth images from the camera to the whole area, and then input these
179 coordinates to train the regression forest model, and model regression to locate the camera.
180 Furthermore, it trains the random forest model to predict the position of pixels in the image, and
181 estimates the camera attitude by creating 2D-3D matching instead of relative position. In-depth
182 learning subdivides many kinds of neural networks, such as Artificial Neural Network (ANN),
183 Convolutional Neural Network (CNN), Recurrent Neural Network (RNN), and so on. For image

184 recognition, CNN is the most widely discussed technology. The next section will discuss CNN-based
185 positioning technology in detail.

186 2.3. Convolutional Neural Network

187 Convolutional neural network CNN [19] is effective useful image identification algorithm,
188 which is widely used in pattern recognition, object detection and image positioning. The
189 convolutional neural network has three strengths in image processing: (1) It can extract high-
190 resolution feature values from local areas through filters. (2) Weight sharing structure can reduce the
191 training parameters, thus reducing the complexity of the network. (3) Both feature extraction and
192 predictive classification can be implemented simultaneously. CNN models such as AlexNet,
193 GoogLeNet [26], ResNet [10] are all well-known network architectures in the field of image
194 recognition. AlexNet is the champion of the ImageNet ILSVRC competition in 2012, and also a model
195 that has attracted CNN's attention. GoogLeNet is the winner of ILSVRC classification competition in
196 2014. He uses the Inception Module to reduce training parameters, which will be detailed in section
197 4.3.2. ResNet is the champion of ILSVRC competition in 2015. He *et al.* found that if the number of
198 network layers reaches a certain number, the accuracy of training will begin to decline, that is to say,
199 if the network is too deep, it will become difficult to train. They design a residual network to improve
200 the gradient vanishing problem in the training process, through which the input value can be
201 approximated to the output value, which greatly reduces the error rate of training. In this section,
202 CNN-based positioning is discussed for two purposes: depth estimation for generating depth maps
203 and regression pose estimation. Depth map is a 2D image and each pixel on the image records the
204 distance from the perspective of viewer to the surface of object. Here, the object refers to the object
205 generated by shadow. Godard *et al.* [7] proposed a model and showed that no depth data was needed,
206 but synthetic depth maps were directly trained as intermediate values. Furthermore, this model is
207 unsupervised monocular depth estimation. Its purpose is to estimate binocular stereo images using
208 a single image. It has a new training loss value for image reconstruction, which can enhance left-right
209 consistency in the neural network, and finally generate disparity depth maps. Zhou *et al.* [31]
210 proposed an unsupervised learning model, which uses continuous images to estimate self-motion
211 and scene reconstruction. Their models use single image depth network and multi-image attitude
212 network. The loss function calculates the loss between image and target from the estimated depth
213 and attitude, and finally generates the predicted depth map of single image.

214 In addition, there are also literatures on positioning in combination with a variety of indoor
215 positioning technologies. Ashraf *et al.* [2] combined with mobile phone sensor data and CNN to
216 predict the current position of pedestrians, with the purpose of reducing the dependence of device
217 in magnetic field positioning system. Firstly, a CNN model is trained to recognize indoor scenes,
218 which helps to identify specific floors and reduce search space. Then a modified K Nearest Neighbor
219 (mKNN) is proposed to calculate the current position of pedestrian as the starting point of PDR, and
220 then Extended Kalman Filter (EKF) is implemented from the position of PDR and database, and the
221 final position is obtained. Kang *et al.* [11] proposed a new architecture to improve PDR performance.
222 Segmented signal frame was used to learn pedestrian speed for CNN and RNN, and the walking
223 distance was estimated by calculating speed and moving time. Wang *et al.* [28] extracted channel state
224 information (CSI) data from WiFi as input to deep convolutional neural networks to predict the
225 position of mobile devices. Mittal *et al.* [18] also use WiFi data. They propose a method of
226 transforming WiFi signatures into images to build a convolutional neural network with an extensible
227 fingerprint recognition framework. Niitsoo *et al.* [20] and Bregar *et al.* [4] use the latest wireless signal
228 UWB. They propose a CNN framework to estimate the absolute position of labels by learning channel
229 impulse response (CIR) data.

230 In order to regress the pose of monocular camera accurately, Kendall *et al.* [13] raised CNN
231 model which called PoseNet in 2015 to regress the pose estimation. They use the SfM algorithm of
232 Furukawa *et al.* [6] to get the required position information. During the training phase, they scaled in
233 455 × 256 pixels for color images and cut the center into 224 × 224 pixels, then input them into the
234 model for training. The theses proposed by Bengio *et al.* [3], Oquab *et al.* [21] and Razavian *et al.* [22]

235 have shown the feasibility of transfer learning. Kendall *et al.* learned the weights of other models
 236 before training based on transfer learning. It shows that loading pre-training model can accelerate
 237 the convergence of training process and help neural networks to learn local features quickly. In
 238 addition, they also show that the model can be applied in the dataset without over-fitting. Finally,
 239 the training model regress the 7-dimensional pose vector to achieve the camera positioning. Kendall
 240 *et al.* [12] used Bayesian CNN to estimate the uncertainty of the model next year, to detect the presence
 241 of scenes in the input image, and to improve the positioning accuracy of large-scale outdoor dataset.
 242 Kendall *et al.* [13] adjusted the loss function of PoseNet estimation orientation in 2017 to improve the
 243 performance of the model. Walch *et al.* [27] proposed a new architecture based on PoseNet model,
 244 which combines CNN with Long Short-Term Memory (LSTM). LSTM is a kind of neural network for
 245 processing sequential data. Its advantage is that the model can preserve the weights of the previous
 246 layers to ensure that useful features are not lost during training. Their intuition is that PoseNet
 247 estimates pose from high dimensions, and placing Full connected layer is not a good choice. The high
 248 dimension of Full connection output may lead to over-fitting of training, so they designed LSTM after
 249 Full connection to reduce the structural dimension and select useful features for pose estimation. For
 250 this article, PoseNet is not entirely suitable for indoor location. Although Kendall *et al.* have continued
 251 to update the model, because we focus on position accuracy, it is inevitable to adjust the internal loss
 252 function. Furthermore, PoseNet has not discussed the position error issues of different image sizes,
 253 field sizes, cross-platform, etc. Therefore, this thesis discusses them in depth.

254 3. Problem Statement

255 In order to clearly explain the problems and objectives of this thesis, we formally define some
 256 terms used in this thesis, and then specify the problem statement in this section. Table 1 summarizes
 257 the symbols used in this study.

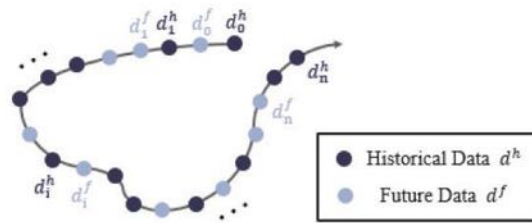
258

Table 1. The symbols used in this thesis.

Symbol	Description
I	RGB Images
p^v	Position vector
d	A data
D	A series of d compose a dataset
S	Several datasets compose a scene.

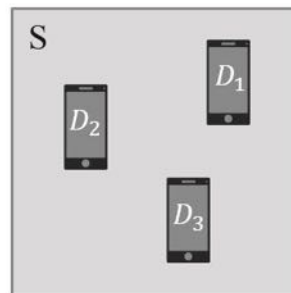
259 **Definition 1. A Data.** Parameter D represents a data, and a data contains a set of $N \times M$ pixels of RGB
 260 image information. A data can be divided into historical data and future data. Historical data is a
 261 data type with known data, which is used in training samples needed for model learning. For a
 262 historical data $d^h = \{I, P^v\}$, it will contain the observed three-dimensional position vector P^v . On the
 263 contrary, future data is a data type with unknown data, which is used in test samples needed for
 264 model prediction. For a future data $d^f = \{I, null\}$, the P^v value is unknown. We will evaluate the
 265 position vector P^v during the CNN model.

266 **Definition 2. A Dataset of a camera device.** Use a camera device to collect one or more trajectory
 267 data $D = \{d_0, d_1, d_2, \dots, d_n\}$ with image information. We will divide the trajectory data into
 268 historical data (training samples) and future data (test samples). The test samples need to be covered
 269 by training samples so that the CNN model can effectively predict the position vector P^v of future
 270 data. Figure 2 shows a series of data compose a dataset, and each camera device has a dataset.



271 **Figure 2.** The concept of a dataset D .

272 **Definition 3. A Scene.** A scene $S = \{D_1, D_2, D_3, \dots, D_n\}$ can be composed of one or more datasets.
 273 Figure 3 shows an example of a scenario in which there can be many camera devices.



274 **Figure 3.** An example of a scene.

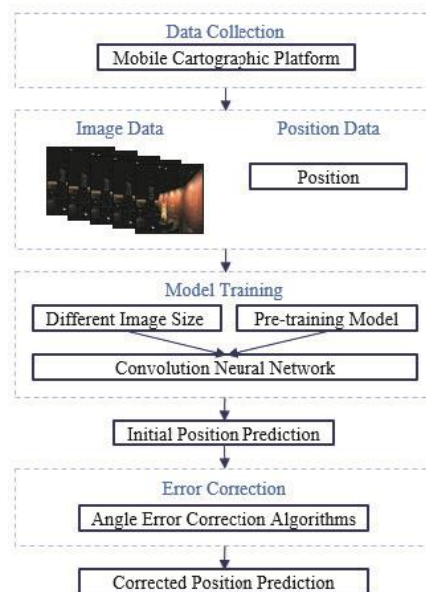
275 **Research Objective.** In this research, we focus on the prediction of camera position. We are going to
 276 use I and P^v in the dataset d^h as input values and let the CNN train the model. Finally, the model
 277 is used to predict the position vector P^v of each d^f . We attempt to minimize the median of the
 278 predicted position error (m). Further, many test samples are predicted and all the errors of these
 279 samples are collected to evaluate the median error according to the ground truth of the dataset. We
 280 also attempt to use different camera devices (datasets) as training and test samples in the same
 281 scenario to achieve cross-platform camera positioning.

282 4. Methodology

283 This section will introduce the proposed methodology for deep learning model to regress camera
 284 positioning in the indoor scene.

285 4.1. Framework

286 The steps and processes of the overall architecture are shown in Figure 4. Based on the PoseNet
 287 model, we design a convolution neural network for indoor positioning, and discuss the range of the
 288 main convolutional models for indoor data collection, adjustment and training, as well as the error
 289 correction between different camera parameters. Indoor data mainly use mobile cartographic
 290 platform to collect the image and position information needed by the model. Before actual operation,
 291 the image collected by mobile cartographic platform will be simulated as mobile phone image. The
 292 structure and loss function of the convolutional model are adjusted, and different image size
 293 matching pre-training models are designed before the training stage. In addition, we also consider
 294 the high errors that cross-platform may bring, and design an angle error correction algorithm to
 295 correct the position errors. Following is a detailed description of the research steps of each part.



296 **Figure 4.** The framework of the methodology.

297 4.2. Data Preparation

298 Our thesis adopts supervised learning, which requires data and corresponding truth labels. In
 299 the problem of position, we use image positioning recognition way with geographic coordinates. In
 300 recent years, many datasets have been used in image processing to deal with classification or outdoor
 301 scene positioning. For datasets used in indoor environments, most of them are room-sized spaces. If
 302 you want to experiment with some specific areas, you must collect data by yourself. In order to cope
 303 with the large-scale and long-term purpose, we use indoor mobile cartographic platform to collect
 304 indoor scene data. This mobile cartographic platform is offered by mobile platform survey and
 305 mapping technology development plan [32]. The mobile cartographic platform uses electric
 306 agricultural machinery and carries precision instruments. As shown in Figure 5, the platform is
 307 equipped with an electric switch to control the forward or backward movement. In addition, it has
 308 an automatic braking device, which can automatically start the braking function even if the platform
 309 is stationary on the slope without causing danger. Because the platform requires manual operation
 310 to control direction, it takes a lot of time to collect data sets. Precision instruments are equipped on
 311 the platform to collect the data needed for the experiment. Precision instruments are divided into
 312 positioning system and mapping system. The positioning system uses INAV-RQH-10018-IMAR,
 313 including GNSS satellite receiver and IMU inertial measurement instrument. The mapping system is
 314 a LadyBug5 camera. The camera is equipped with six-angle lenses to take photos at the same time
 315 and form a panoramic image output. Considering the universality of life and the application of indoor
 316 positioning technology, we pre-process the panorama captured by LadyBug5 camera through the
 317 program, and simulate the images with different mobile phone parameters. We use LadyBug5
 318 camera with five angles besides zenith angle camera, and simulate several kinds of mobile phone
 319 images through program. These simulated mobile phone images all have their own geographic
 320 reference position information.



321 **Figure 5.** Mobile cartographic platform.

322 4.3. CNN Model Training

323 In this section, we will introduce the CNN model based on camera position, and explain in detail
 324 how to re-adjust the architecture of 23-layer convolutional neural network, so that the model can
 325 learn new loss function to update the weight, and finally output the position vector. The following
 326 three sections describe camera positioning, CNN architecture and loss function.

327 4.3.1. Camera Positioning

328 Camera positioning is based on the relative relationship between image control points and
 329 cameras, and the geometric principle is used to calculate the position of cameras. In addition to good
 330 image and precise position coordinate information, how to extract important features from the image
 331 and how to regress the positioning accuracy close to the true value is the most important goal of this
 332 thesis for indoor positioning based on convolutional neural network. This thesis refers to architecture
 333 of PoseNet and makes some minor adjustments, using CNN to calculate the camera position directly
 334 from the image training model. CNN outputs position vectors, i.e. three-dimensional position
 335 information, as shown in Formula (1):

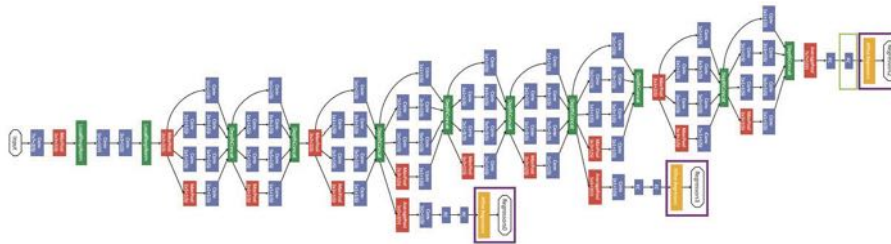
$$P = [x, y, z] \quad (1)$$

336 4.3.2. CNN Architecture

337 The architecture of PoseNet also refers to the 22 layers CNN of GoogLeNet [26], which used to
 338 be the champion of the Large Dataset ImageNet Challenge (ILSVRC14). Although it has a 22 layers
 339 deep network structure, the size of parameters is much smaller than other networks with fewer layers
 340 (such as the VGG or AlexNet network we know well). In order to increase the number of layers and
 341 reduce the number of parameters, only sparse connection can be used, but most of the algorithms are
 342 based on the dense matrix. Therefore, in order to achieve high computational performance, only the
 343 stacking of neurons in the human brain can be simulated, and the sparse matrix can be aggregated
 344 into the dense matrix to achieve the goal. GoogLeNet proposes a network structure called Inception
 345 Modules to build a sparse and highly computational network structure. Inception Modules groups
 346 the filters in the convolution layer. That is to say, in the same layer, filters with different scales are
 347 used to obtain better and more useful eigenvalues. Kendall *et al.* compared the effectiveness of
 348 AlexNet and GoogLeNet architectures and finally decided on the GoogLeNet architecture. Figure 6

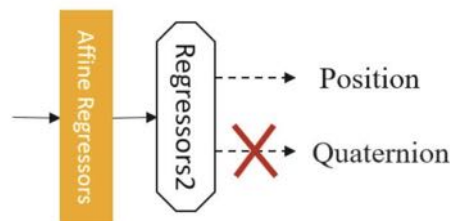
349 is revised architecture of PoseNet based on GoogLeNet. The main adjustments are marked with
 350 purple and light green boxes.

- 351 • Purple box: Replace three multi-classifiers with regression affine. Each final full-connection layer
 352 outputs seven-dimensional pose, including three-dimensional position and four-dimensional
 353 quaternion.
- 354 • Light green box: Insert a full connection layer with a feature size of 2048 before the final affine
 355 regenerator to form a 23 layers' architecture. This is to generate a location vector that can be
 356 explored by PoseNet.



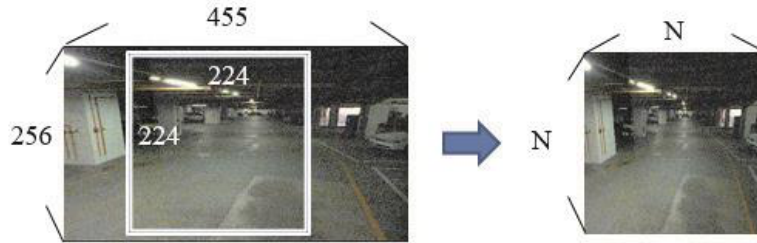
357 **Figure 6.** The architecture of PoseNet.

358 We have also made some adjustments to the architecture of PoseNet. The final output of the
 359 PoseNet model is position and orientation information, but orientation is not necessary for our goal.
 360 Our ultimate goal is to let users use mobile phones for image positioning, focusing on position
 361 accuracy. Mobile phone has accelerometer, gyroscope and magnetometer three-axis sensor by itself.
 362 We only need to grasp the information of gyroscope in mobile phone to know the orientation angle,
 363 so we don't need to use CNN to estimate the orientation. That is to say, as shown in Figure 7, our
 364 CNN model discards the orientation at last and only outputs position information.



365 **Figure 7.** CNN model just outputs position vector.

366 In addition, in the image pre-processing part before the training stage, PoseNet scales 455×256
 367 pixels for the input color image, and then crops the center into 224×224 pixels. We believe that
 368 although this method of image cutting can't deform the image, it will result in the loss of important
 369 features of the surrounding local environment. Especially for indoor environment, every pixel value
 370 of each image is very important, and it is an important basis for CNN to calculate the position. As
 371 shown in Figure 8, we remove the cropping method and allow the color image to be scaled directly
 372 to $N \times N$ pixels as input values to preserve the integrity of the image. In addition to image pre-
 373 processing, PoseNet also uses pre-training model before the training stage. The pre-training model
 374 enables CNN model to learn initial weights and makes model training converge quickly. For example,
 375 it's like learning English letters (pre-training model), giving children basic knowledge (weight), and
 376 then learning words or conversations through training is faster than learning English first. The
 377 experimental results of the pre-training model for scaling size matching will be described in detail in
 378 Section 4.



379 **Figure 8.** Adjust the input size of image preprocessing.

380 4.3.3. Loss Function

381 The architecture of the CNN model has been described in the previous section. In this section, if
 382 the loss function calculates orientation loss, it will affect the accuracy of position prediction. Our
 383 research focuses on the accuracy of position, so we do not consider using orientation to predict.
 384 Because we abandon the orientation of estimation, so the loss function needs to be adjusted together.
 385 We use the Stochastic Gradient Descent (SGD) algorithm in the training process to obtain the
 386 Euclidean loss so as to return to the camera position. The loss function is shown in Equation (2),
 387 where \hat{P} and P are position predicted values and truth values respectively. For the classification
 388 problems, each output label includes at least one training sample, but in the regression problems, the
 389 tags of output are mainly continuous or infinite. Many image recognition datasets are trained as
 390 feature explores in advance, and then the pre-training model is loaded into other models for training.
 391 This method helps to converge to a lower loss in less training time. We used the pre-training model,
 392 which called GoogLeNet, and experimented with the same settings as Kendall *et al.*

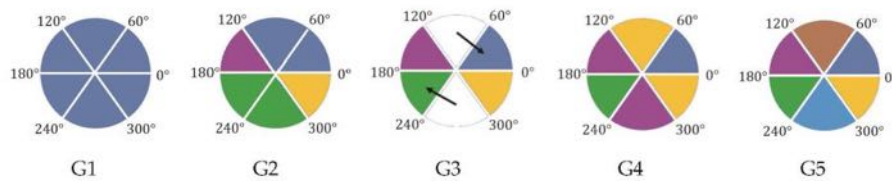
$$\text{loss}(l) = \| \hat{P} - P \| \quad (2)$$

393 4.4. Error Correction

394 In this section, an error correction method is introduced to correct the initial position predictions
 395 from the deep learning model. From the preliminary experimental results, we know that the position
 396 estimation between the cross-camera simulated mobile phones may have a large position error, and
 397 the median position error of the measured results can be as high as 3 to 4 meters, using one simulated
 398 mobile phone as the training sample for model training and another simulated mobile phone as the
 399 test sample for regression position. This kind of high error estimation can't be used for indoor
 400 positioning at all, so we design a method to use known angle to cluster. Because we find different
 401 angles of the test samples, the error results will have different distributions of displacement. After
 402 preliminary experimental tests, we divide the possible fixed distribution into a group, and subtract
 403 the three-axis position prediction value from the true value of each group of images to get the three-
 404 axis position error value. Then we average the error average $P_{\text{error}}[x, y, z]$ of each group, as shown
 405 in Formula (3). After calculating the average error of each group, the initial position error will be
 406 corrected according to the angle of the shooting at that time, and according to which angle the angle
 407 falls in the group, using the average error just calculated. The calculation method is to subtract the
 408 average error from the initial predicted value and get the corrected position predicted value $C[x, y, z]$,
 409 as shown in Formula (4).

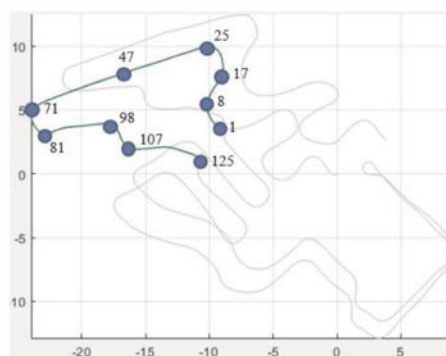
$$P_{\text{error}}[x, y, z] = \frac{\sum_{i=1}^N (\hat{P} - P)}{N} \quad (3)$$

$$C[x, y, z] = \hat{P} - P_{\text{error}} \quad (4)$$



410 **Figure 9.** Five angle grouping combinations for error correction.

411 Five kinds of angle grouping combinations with error correction are designed (Fig. 9). The
 412 average number of samples for each angle grouping combination should not be too small and the
 413 sampling range should not be too centralized. The best way is to average the whole trajectory. If the
 414 above conditions are satisfied, the average error can be obtained to correct the initial prediction
 415 position effectively. For example, as shown in Figure 10, the dataset uses a cutting area of circle
 416 trajectory. The training sample is simulated Zenfone2 mobile phone image, totaling 5,500, while the
 417 test sample is simulated R11s mobile phone image, totaling 1,250. Using 10 random position points,
 418 each position point has 10 directional images. A total of 100 samples are grouped and averaging. The
 419 experimental results will be described in detail in section 5.7.



420 **Figure 10.** Average the number of samples for the grouping combinations.

421 As shown in Figure 9, G1 is an intuitive method, all angles are averaged together. The design
 422 concept of G2 to G4 is based on the preliminary experimental results. It is found that after the test
 423 samples in the range of 60 to 120 degrees and 240 to 300 degrees are regressed through the CNN
 424 model; their estimated positions have no fixed distribution in space relative to the true values.
 425 Therefore, three different clusters are designed to carry out the experiment. G5 does not divide the
 426 60 to 120 degrees and 240 to 300 degrees into any one area, and it is a cluster. Details of each angle
 427 grouping are described below:

- 428 • **G1:** The first one is non-clustering, and the average error values of all angles are made together.
 429 This combination is the most intuitive, and the efficiency is less than other combinations.
- 430 • **G2:** Each color is a group, for example, the angle between 0 to 120 degrees is a group. There are
 431 four groups in total, and the average error values of each group are calculated.
- 432 • **G3:** It is also divided into four groups. In particular, the angles between 60 to 120 degrees and
 433 between 240 to 300 degrees do not calculate the average error. However, the angle of these two
 434 intervals will be corrected by using the average error values calculated from 0 to 60 degrees and
 435 from 180 to 240 degrees.
- 436 • **G4:** Each color is a group, such as the angles between 60 and 120 degrees and between 300 and
 437 0 degrees. There are four groups in total, and the average error values of each group are
 438 calculated.

- 439 • G5: 60 to 120 degrees and 240 to 300 degrees are clustered, respectively. So, there are six groups
440 in total, each group calculates its average error value.

441 5. Experimental Evaluation

442 This section collects images and geographic position information through the indoor mobile
443 cartographic platform, and simulates various simulated mobile phone images. Underground parking
444 lot and the South Palace Museum were chosen as the experimental sites. We experimented on the
445 position accuracy of convolution neural networks with different image sizes, and discussed the issues
446 of field size, cross-platform and error correction. All the experiments were carried out on Tensorflow
447 platform. There are three hardware devices used in this thesis, Geforce GTX 1080 TI, Geforce GTX
448 1080 and Geforce GTX 2080 TI GPU display cards, which accelerated the convolution neural networks,
449 and we trained 30,000 iterations.

450 5.1. Experimental Design

451 The experiment used a pre-trained model called GoogLeNet, using the Places database [30],
452 which includes about 7 million images and 476 scene categories, and the model is trained 800
453 iterations. We initialized the architecture and imported the pre-trained model to obtain the random
454 initial weight of the neural network. The experimental field collected the dataset of underground
455 parking lot and the South Palace Museum. The 23-layer convolutional neural network structure was
456 used to train the end-to-end location identification task and regress to the camera positioning. This
457 thesis collects the images of the indoor scene and geographic position information through indoor
458 mobile cartographic platform [31] acquired for the experiment of model training, we choose the
459 underground parking lot behind the Engineering Department Hall of Cheng Kung Campus of
460 National Cheng Kung University and the South Courtyard of National Palace Museum as the
461 experimental field. The specifications and other experimental designs are described in detail in the
462 following sections.

463 The experimental results are presented as errors, for each test image, the Euclidean distance is
464 calculated after subtracting the corrected predicted value from the true value, and the final error
465 value $Error_i$ is obtained, as shown in Formula (5).

$$466 Error_i = \sqrt{(P[x_i] - C[x_i])^2 + (P[y_i] - C[y_i])^2 + (P[z_i] - C[z_i])^2} \quad (5)$$

467 There are two main methods for evaluating experiments, one is median error and the other is
468 accuracy. The median error is used to find the median value of N ordered numbers in the dataset.
469 The formula is $(N + 1)/2$. Further, for odd values, the intermediate number is given, and for even
470 values, the intermediate point between two intermediate values is given. For example, for five values,
471 the formula will give an index of 3.5 and average the second (upper) and third (lower) values to take
the intermediate values, as shown in Formula (6):

$$472 Median(x) = \frac{x^{upper}[(N + 1)/2] + x^{lower}[(N + 1)/2]}{2} \quad (6)$$

473 The method of calculating accuracy is to design a threshold T. In N test samples, the position
474 error is obtained by subtracting the truth value P from the position predicted value \hat{P} . If the position
475 error is less than the threshold set by us, it is regarded as accurate positioning. Finally, the percentage
476 of accuracy is calculated by dividing the accurate number by the total number. The formula (7) is as
follows:

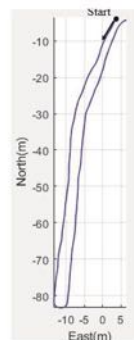
$$477 \left\{ \begin{array}{l} \text{count} = \text{count} + 1, \text{ if } \hat{P} - P < T \\ \text{Accuracy} = \sum \frac{\text{count}}{N} \times 100\% \end{array} \right. \quad (7)$$

477 5.1.1. Underground Parking Lot

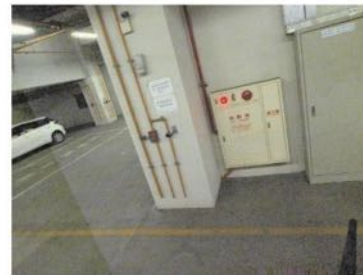
478 The underground parking lot behind the Engineering Department Hall of Cheng Kung Campus
 479 of National Cheng Kung University covers an area of about 80x15 square meters. Its trajectory is
 480 shown in Figure 11(a), starting from the starting point to the bottom, then turning left to return to the
 481 starting point. Figure 11(b) is one of the image samples, totaling 135,240 images, including 230
 482 positions, and each with 588 orientation angles. The orientation angle of the image is generated by
 483 the program when it simulates the mobile phone image. The details are as follows:

- 484 • **Roll:** $-45^{\circ} \sim 45^{\circ}$ (There are 7 types of images generated every 15 degrees)
- 485 • **Pitch:** $-18^{\circ} \sim 18^{\circ}$ (There are 7 types of images generated every 6 degrees)
- 486 • **Yaw:** $-180^{\circ} \sim 150^{\circ}$ (There are 12 types of images generated every 30 degrees)

487 Underground parking lot environment is monotonous and moving objects such as cars and
 488 locomotives occupy a large area of the image. In harsh environments, convolutional neural networks
 489 can only locate users by obvious features such as fire hydrants, pipelines and escape gates, which is
 490 a challenging experiment.



(a)



(b)

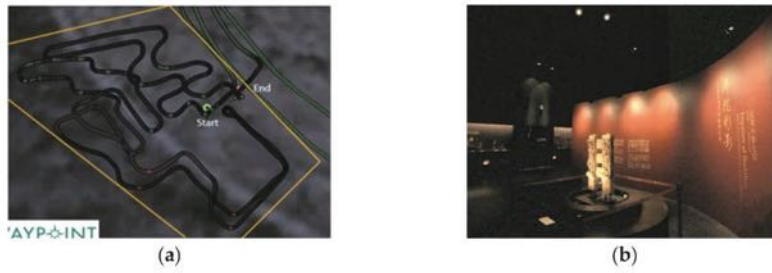
491 **Figure 11.** (a) Trajectory of underground parking lot; (b) Simulated mobile phone image.

492 5.1.2. Palace Museum

493 The South Courtyard of the National Palace Museum covers an area of about 25 x 35 square
 494 meters. Its trajectory is shown in Figure 12(a). It circles the whole exhibition hall from the beginning,
 495 then turns left and turns back to the origin once. Figure 12(b) is one of the image samples. There are
 496 totally 46,548 images, including 862 positions, and each with 54 orientation angles. The orientation
 497 angle of the image is generated by the program when it simulates the mobile phone image. The details
 498 are as follows:

- 499 • **Roll:** $-45^{\circ} \sim 45^{\circ}$ (There are 3 types of images generated every 45 degrees)
- 500 • **Pitch:** $-6^{\circ} \sim 6^{\circ}$ (There are 3 types of images generated every 6 degrees)
- 501 • **Yaw:** $-180^{\circ} \sim 150^{\circ}$ (There are 6 types of images generated every 60 degrees)

502 Compared with other small areas, such as offices, kitchens and other indoor environments, the
 503 Southern Palace Museum is dim and some exhibits have problems of reflecting light. Like the
 504 underground parking lot mentioned in the preceding section, it belongs to a harsh environment. It is
 505 difficult to estimate the location of a convolutional neural network, so it is also very probable as an
 506 experiment.



507 **Figure 12.** (a) Trajectory of exhibition hall; (b) Simulated mobile phone image.

508 5.1.3. Different Types of Simulate Mobile Phone and Cutting Area

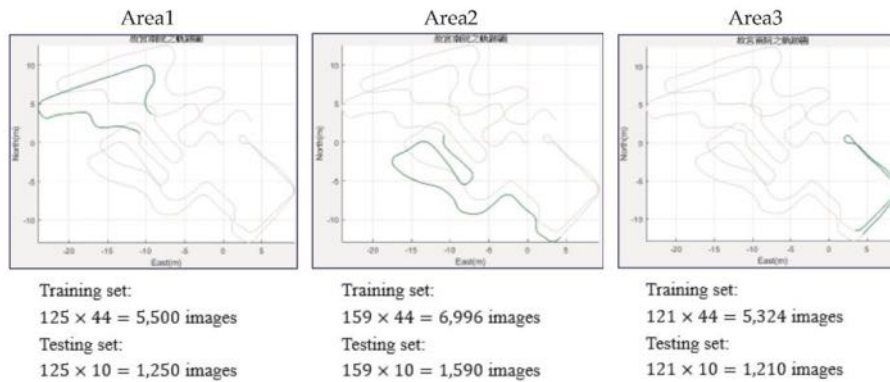
509 Considering the image size and focal length of different simulated mobile phone models, we
 510 simulate four different mobile phone models. The image of simulated mobile phone is shown in
 511 Figure 13. The name, focal length and image size of simulated mobile phone are described below:

- 512 • **Zenfone2:** Focal length is 3.8, and the image size is 4096×3072 pixels.
- 513 • **R11s:** Focal length is 4.10, and the image size is 1920×1080 pixels.
- 514 • **Tango:** Focal length is 3.38, and the image size is 3840×2160 pixels
- 515 • **Zenfone3:** Focal length is 4.04, and the image size is 3840×2160 pixels.



516 **Figure 13.** Images of four different simulated mobile phone.

517 This thesis also considers that the learning model of small area will be more accurate. Therefore,
 518 three kinds of regional cutting are made for the field of the South Courtyard of the Palace Museum.
 519 The trajectories of circle, bend walking and back-and-forth are considered respectively, as shown in
 520 Figure 14.

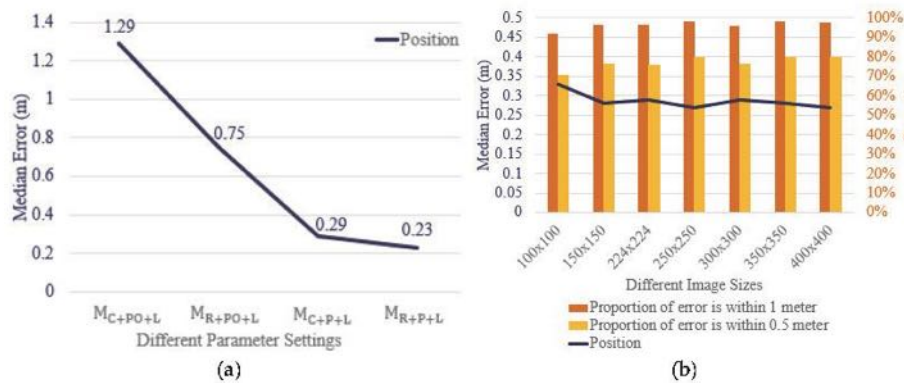


521 **Figure 14.** Circle, bend walking and back-and-forth trajectories.

522 5.2. Impact of Various Image Sizes

523 Before the training stage, we set different sizes of input images to analyze and discuss the
 524 accuracy errors between different sizes. For fairness, the loss function of PoseNet not only adjusts to
 525 the settings in this thesis, but also retains the original version of loss function. The following shows
 526 the meaning of each character, M represents the architecture of PoseNet that we use. C and R
 527 represent the image processing: C represents the image size resizing to 455 × 256 pixels, then center
 528 crop to 224 × 224 pixels, and R represents directly resizing to 224 × 224 pixels. Loss functions are
 529 divided into P and PO. P means only calculating position loss, while PO means calculating position
 530 and orientation loss. Finally, L stands for the loading pre-training model. The following details
 531 describe the settings of each image size. The experiments in the following two fields all use the cross-
 532 validation method to cut the data into five alternate training and testing, so the images of each size
 533 will be trained five times to get five models, and then averaged to achieve data fairness.

- 534 • M_{C+PO+L} : Setting up the original thesis. This model uses image processing method crop into 224
 535 × 224 pixels, loss function calculates position and orientation, and then loads pre-training model.
 536 • M_{R+PO+L} : This model uses image processing method directly resize into 224 × 224 pixels, loss
 537 function calculates position and orientation, and then loads pre-training model.
 538 • M_{C+P+L} : This model uses image processing method crop into 224 × 224 pixels, loss function
 539 calculates position, and then loads pre-training model.
 540 • M_{R+P+L} : This model uses image processing method directly resize into 224 × 224 pixels, loss
 541 function calculates position, and then loads pre-training model.
 542 • $N \times N$: The image is directly resized $N \times N$, where N is the edge length of rectangular image.



543 **Figure 15.** Dataset is underground parking lots: (a) Position median errors of different parameter
 544 settings; (b) Position median errors and proportion of different image sizes.

545 The dataset of underground parking lots totals 135,240 images, including 230 positions, each
 546 position point has 588 orientations. We cut 588 orientations into five equal parts, each with about 118
 547 orientation angles. 108,330 images were trained and 26,910 images were tested. In Figure 15, we
 548 analyze the experiments of different parameter settings (a) and different image sizes (b). In Figure
 549 15(a), the x-axis represents different parameter settings, and the y-axis represents median error (unit:
 550 meters). When the pre-training model is loaded and the image size is 224 × 224 pixels, M_{R+P+L} gets
 551 the best position median error, which is about 0.23 meters. When the loss function is adjusted to the
 552 calculated position only, the position median error of M_{R+P+L} model is about 0.06 meters smaller
 553 than that of M_{C+P+L} model, and the improvement rate is about 20.6%. Compared with the model
 554 M_{C+PO+L} that setting in the original thesis, the position median error of M_{R+P+L} is smaller, about 1.06
 555 meters, and the improvement rate is as high as 82.2%. In Figure 15(b), the x-axis represents different
 556 image sizes, the y-axis is biaxial, the broken-line map compares the median error on the left, and the
 557 bar chart compares the proportion on the right. The results show that the median error between 100

558 $\times 100$ and 400×400 pixels is not much different, about 0.3 meters, and the proportion of the error is
 559 almost the same. The proportion of error in 1 meter is about 97%, and the proportion of error in 0.5
 560 meters is about 75%.

561 The dataset of the Palace Museum contains 46,548 images, including 862 positions, each position
 562 point has 54 orientations. We cut 54 orientations into 5 equal parts, each of which has about 11
 563 orientation angles. The training samples were 37,928 images and the test samples were 8,620 images.
 564 In Figure 16, we analyze the experiments of different parameter settings (a) and different image sizes
 565 (b). In Figure 16(a), the x-axis represents different parameter settings, and the y-axis represents
 566 median error (unit: meters). When the pre-training model is loaded and the image size is 224×224
 567 pixels, M_{R+P+L} gets the best position median error, which is about 0.42 meters. When the loss
 568 function is adjusted to the calculated position only, the position median error of M_{R+P+L} model is
 569 about 0.2 meters smaller than that of M_{C+P+L} model, and the improvement rate is about 32.6%.
 570 Compared with the model M_{C+PO+L} that setting in the original thesis, the position median error of
 571 M_{R+P+L} is smaller, about 4.48 meters, and the improvement rate is as high as 92%. In Figure 16(b),
 572 the x-axis represents different image sizes, the y-axis is biaxial, the broken-line map compares the
 573 median error on the left, and the bar chart compares the proportion on the right. The results show
 574 that the median error between 100×100 and 400×400 pixels is not much different, about 0.71 meters,
 575 and the proportion of the error is almost the same. The proportion of error in 1 meter is about 71%,
 576 and the proportion of error in 0.5 meters is about 30%.



577 **Figure 16.** Dataset is Palace Museum: (a) Position median errors of different parameter settings; (b)
 578 Position median errors and proportion of different image sizes.

579 5.3. Impact of Various Architecture

580 **Table 2.** Position median error and error proportion under different architectures.

Architecture	Position error (m)	Proportion (<1m)	Proportion (<0.5m)
ResNet50	11.27	0.3%	0%
GoogLeNet (PoseNet)	1.13	43.3%	13%
GoogLeNet (Ours)	0.82	63.3%	23%

581 In this section, we discuss the position accuracy of training models under different architectures.
 582 In addition to the PoseNet architecture used in this thesis, we find another model, ResNet50, and
 583 modify the output position error of the architecture to compare with our model. ResNet is divided
 584 into several layers for scholars to use. We choose ResNet50 of 50 layers, because the full connection
 585 layer of the last layer is 2048, the same size as full connection layer of PoseNet. The following Table
 586 2 compares the position error and error ratio of resnet50, PoseNet and our model. The database uses
 587 the zenfone2 simulation image of the South Palace Museum for 30000 iterations. In order to be fair,

588 PosNet and our model do not load the pretrained model. The results show that the position error of
 589 our model is much smaller than resnet50.

590 5.4. Impact of Various Area Sizes

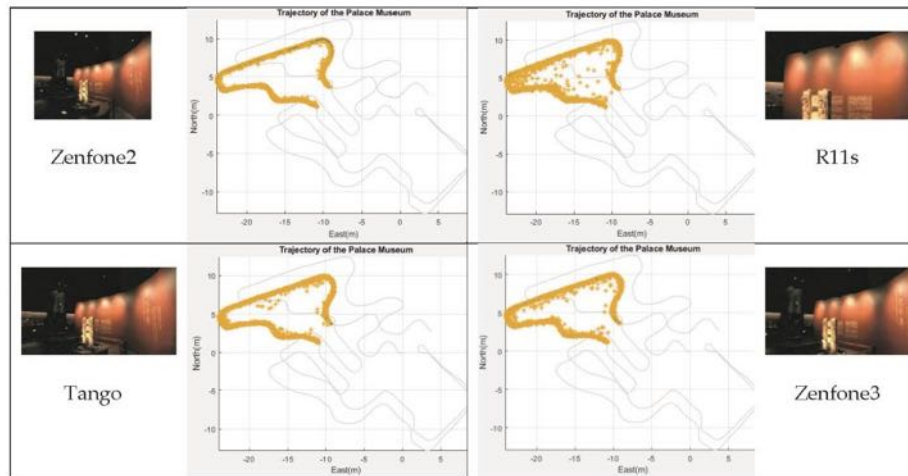
591 The experimental results of Section 5.2 show that M_{R+P+L} is the best image input size before the
 592 training stage. Then we discuss the accuracy errors of various simulated mobile phones in the Palace
 593 Museum field. We experiment the whole field and the cutting area respectively. The cutting area
 594 chooses the first circle trajectory to present the experimental results. Finally, the cross-platform error
 595 accuracy of different simulated mobile phones is tested in the cutting area. Table 3 provides training
 596 for each simulated mobile phone image to test the median error of the location of the same simulated
 597 mobile phone (in meters). From the results of four simulated mobile phones testing the whole field,
 598 we know that the median error of simulated Zenfone2 mobile phone location is the smallest, the error
 599 is 0.42 meters, 91.3% of the test sample error is within 1 meter, while the error of simulated R11s
 600 mobile phone is the largest, the error is 1.14 meters, only 43.6% of the test sample error is within 1
 601 meter. The reason may be related to the size and focal length of the simulated mobile phone image.
 602 The image of simulated Zenfone2 mobile phone is far away from the object and contains a lot of
 603 information. The CNN model can calculate the precise location based on useful information.
 604 Conversely, the image of the simulated R11s mobile phone is too close to the object, sometimes only
 605 the local area of the object is captured. It is difficult for the CNN model to calculate the accurate
 606 position based on these local features.

607 Then we compare the results of the three cutting areas and the whole path in the table, and we
 608 can see that reducing the field range can reduce the overall position error by about 60%. In the
 609 experiment of four different simulated mobile phones testing the same platform, no matter the
 610 trajectory of circle, bend walking or back-and-forth trajectory, the position median error between the
 611 three cutting areas does not fluctuate too much. Therefore, we believe that when collecting images
 612 and geographic position information, we don't need to design a specific trajectory. The test sample
 613 only needs to be encapsulated in the training sample to obtain a high position accuracy.

614 **Table 3.** Results of mobile simulated phones testing on the same platform.

Training model	Position error (m)				Proportion (< 1m)			
	Area1	Area2	Area3	All	Area1	Area2	Area3	All
Zenfone2	0.15	0.17	0.12	0.42	99.0 %	98.7 %	97.4 %	91.3 %
R11s	0.31	0.37	0.40	1.14	87.3 %	77.7 %	77.7 %	43.6 %
Tango	0.19	0.17	0.14	0.47	97.8 %	95.4 %	96.7 %	87.3 %
Zenfone3	0.18	0.20	0.18	0.58	94.7 %	92.3 %	92.6 %	80.2 %

615 In Figure 17, it shows the position prediction value of the same camera simulated mobile phone
 616 based on each simulated mobile phone as a training model, and yellow is the position prediction
 617 value of all test samples. We used the Area1 as the dataset, and tested a total of 1,250 images. From
 618 the figure, we can see that the position prediction of simulated Zenfone2 phones is almost close to
 619 the real track, and that of simulated Tango and Zenfone3 phones are mostly close to the track, only a
 620 few of the test samples have large error. Compared with the other three simulated mobile phones,
 621 the position prediction value of R11s is much farther from the real trajectory, resulting in an increase
 622 in the median position error. This error may be due to the fact that the image of the simulated R11s
 623 mobile phone contains too few useful features, too few objects in the image, and it is difficult for the
 624 neural network to judge the complete position information. Therefore, some test samples are
 625 misestimated and the overall median error increases.



626 **Figure 17.** Using four simulated mobile phones as training model, calculating the position prediction
 627 value of mobile phones on the same camera.

628 This section explores how to re-divide the dataset into training samples and test samples by
 629 different sampling methods. In the part of data collection, we simulate images in various orientations
 630 from each position information in the trajectory. In this thesis, the main sampling methods are
 631 divided into training and testing samples according to the orientation, but considering the impact of
 632 other sampling methods on the neural network, we design the following two sampling methods for
 633 experiments:

- 634 • **Random_division:** All images are randomly divided.
- 635 • **Position_division:** Sampling is based on position. Four of the five positions are used as training
 636 samples and one as testing samples.

637 We use the image of simulated zenfone2 mobile phone to experiment, and select the whole field
 638 as the dataset. According to the way of using orientation to sample, the median error of position is
 639 0.42 meters. From the experimental results in Table 4, we can see that the position errors will not
 640 differ too much whether sampling is based on orientation, randomness or position. So, in the
 641 following experiments, we still use the way of sampling according to the orientation.
 642

Table 4. Position median error and error proportion under different sampling ways.

Training model	Position error (m)	Proportion (< 1m)	Proportion (< 0.5m)
Random_division	0.32	97.3 %	77.5 %
Position_division	0.35	93.9 %	73.0 %

643 5.5. Impact of Cross Camera

644 Table 5 shows that each simulated mobile phone image is trained by cutting area as a dataset to
 645 test the median position error (in meters) between cross-camera simulated mobile phones. From the
 646 results, we know that there is no significant difference in the median error of position between
 647 simulated Zenfone2, Tango and Zenfone3 phones in cross-platform testing, but the error of position
 648 increases to 3–4 meters when testing the image of the simulated R11s mobile phone. On the contrary,
 649 using the simulated R11s mobile phone as the training model, the images of the other three simulated
 650 mobile phones tested also rose to 3–4 meters. The reason for this error may be that the image of the
 651 simulated R11s mobile phone is too different from that of the other three simulated mobile phones,
 652 that is to say, the image contains too much feature information. Using three simulated mobile phones
 653 as the training model, the neural network learns the complete image area, but the image of the

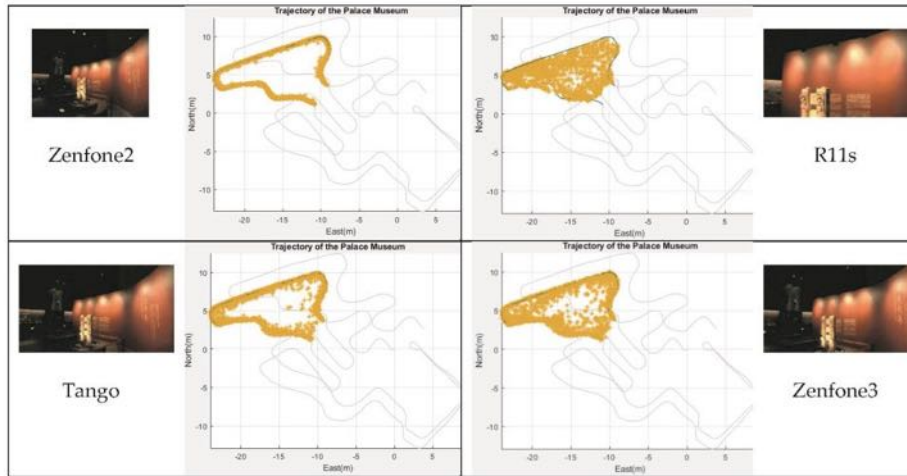
654 simulated R11s mobile phone is too local, and the neural network is difficult to match its features, so
 655 the error increases. Conversely, with the simulated R11s mobile phone as the training model, the
 656 neural network can only learn those local features at most, so it is difficult to distinguish the larger
 657 range of images and positions.

658 **Table 5.** Using cutting area as dataset, the results of simulated mobile phones testing on the cross-
 659 camera,

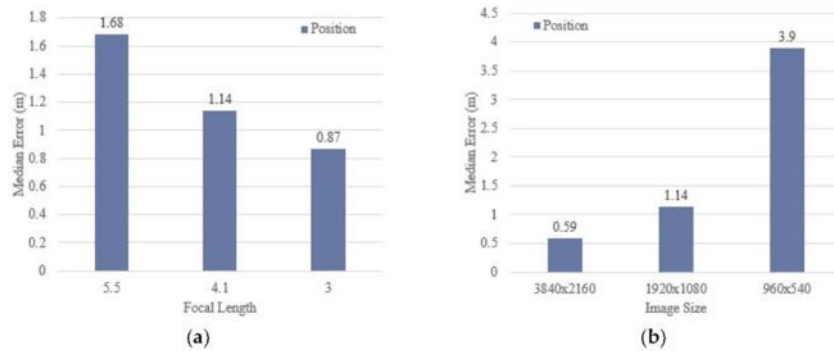
Training model	Test data	Position error (m)	Proportion (< 1m)	Proportion (< 0.5m)
Zenfone2	Zenfone2	0.15	98.4 %	92.2 %
	R11s	4.31	7.7 %	2.5 %
	Tango	0.36	87.0 %	65.1 %
	Zenfone3	1.01	49.4 %	24.6 %
R11s	Zenfone2	4.18	4.6 %	1.4 %
	R11s	0.36	80.9 %	62.3 %
	Tango	3.95	6.1 %	1.6 %
	Zenfone3	3.14	11.7 %	4.2 %
Tango	Zenfone2	0.26	94.1 %	77.4 %
	R11s	3.89	9.4 %	4.0 %
	Tango	0.17	96.6 %	88.9 %
	Zenfone3	0.55	76.7 %	46.4 %
Zenfone3	Zenfone2	0.77	62.2 %	31.7 %
	R11s	3.41	11.8 %	4.4 %
	Tango	0.47	82.9 %	52.7 %
	Zenfone3	0.19	93.2 %	83.4 %

660 We present a small part of the experiment in Table 5 with the position prediction map of all the
 661 test samples. Figure 18 shows that the position prediction values of four simulated mobile phones
 662 are calculated using simulated Zenfone2 mobile phone as the training model. Simulated Zenfone2
 663 mobile phone position prediction values are almost close to the real track, simulated Tango and
 664 Zenfone3 mobile phone position prediction values are mostly close to the track. Because the images
 665 of simulated R11s phone differ too much from that of other three simulated mobile phones, the
 666 position prediction errors of many test samples are very large.

667 In addition, we have done some experiments to compare with simulated R11s mobile phone, in
 668 order to test the influence of focal length and image size on CNN. The focal length of simulated R11s
 669 is 4.10, and the image size is 1920 × 1080 pixels. Figure 19(a) is an experiment of fixing the image size
 670 and adjusting the focal length. Experiments show that the larger the focal length is, the closer the
 671 distance between the image and the object is, and the worse the position prediction of model is. Figure
 672 19(b) is an experiment in which the focal length is fixed and the image size is adjusted. The
 673 experiment shows that the image size adjustment is helpful to improve the accuracy of neural like
 674 position prediction. On the contrary, the worse the position prediction.



675 **Figure 18.** Using simulated Zenfone2 mobile phone as training model, calculating the position
676 prediction values of four simulated mobile phones.



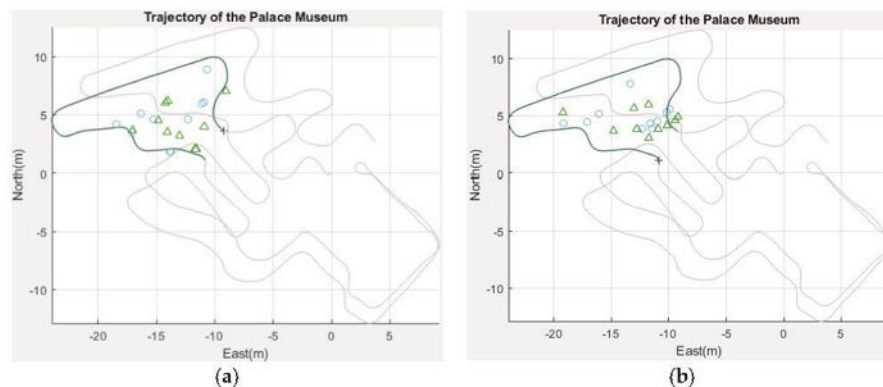
677 **Figure 19.** (a) Position median errors of different focal length; (b) Position median errors of different
678 image size.

679 **5.6. Impact of Error Correction**

680 As Table 5.3 above shows that the error accuracy of cross-platform testing will increase, we
681 design an error correction method to correct the initial position predictions from the CNN model
682 output. The known angles are 30, 90, 150, 210, 270 and 330 degrees. According to the previous
683 experiment, the dataset is chosen a cutting area Area1, the training sample is the image of simulated
684 Zenfone2 mobile phone, and the test sample is the image of simulated R11s mobile phone. Random
685 10 positions are used, and 10 orientation images are taken from each position point, so the total
686 samples are 100. We use these samples to do grouping averaging, and the initial position error is 4.73
687 meters. Five kinds of angle grouping are designed for experiments. The experimental results are as
688 follows:

- 689 • G1 : The corrected median error of position is 4.44 meters, and the improvement rate is 6.1%.
- 690 • G2 : The corrected median error of position is 3.74 meters, and the improvement rate is 20.8%.
- 691 • G3 : The corrected median error of position is 3.73 meters, and the improvement rate is 21.1%.
- 692 • G4 : The corrected median error of position is 3.97 meters, and the improvement rate is 16%.
- 693 • G5 : The corrected median error of position is 3.72 meters, and the improvement rate is 21.3%.

694 In Figure 20, we forecast the position of 10 test images of two positions respectively, and correct
 695 the error using G5 method. The Figure 20(a) is the experimental result of the starting point of the
 696 trajectory, while the Figure 20(b) is the experimental result of the end point of the trajectory. The
 697 black plus sign is the value of the starting and ending points, the blue is the initial position prediction
 698 value, and the green is the position prediction value after the error correction. From the figure, we
 699 can find the position prediction value after error correction, and the overall result is close to the
 700 threshold value, which proves that our error correction method can effectively correct the position
 701 prediction value.



702 **Figure 20.** Using G5 method to do the error correction for: (a) initial position prediction of start point;
 703 (b) initial position prediction of end point.

704 5.7. Experimental Summary

705 The original settings of PoseNet are the regression position and orientation, so the loss function
 706 calculates the loss of position and orientation at the same time. In order to get a good position and
 707 orientation at the same time, they must balance the weight between the two, so the position error
 708 must be higher than the position error which only calculates the position loss. We believe that the
 709 simulated mobile phone that the user holds has a sensor itself, and the orientation angle can be
 710 obtained by the gyroscope in the sensor, so there is no need to specially use a neural network to
 711 predict the orientation. For this reason, we adjust the CNN architecture so that the loss function only
 712 calculates the weight of the position, and finally predicts the user's position. Experiments with
 713 different image sizes show that our new method can effectively improve the positioning accuracy by
 714 about 20-30%. Compared with the original setup of PoseNet, our new method can effectively improve
 715 the positioning accuracy by about 80-90%. In the experiment of cutting field, the field reduction of
 716 dataset can help to reduce the overall position error, and we don't think that it is necessary to design
 717 a special trajectory to collect data. In addition, considering the problem that most of the images come
 718 from different types of simulated mobile phones in practical application, if the training image data
 719 and the actual positioning image are taken from different simulated mobile phones, it is easy to cause
 720 errors between different cameras. In cross-camera experiments, we find that the size and focal length
 721 of the image have a great influence on the neural network. The objects and areas covered in the image
 722 are the main reasons for the increase of position error. Finally, in order to further reduce the position
 723 error, we propose an error correction algorithm. Through angle grouping, the error of initial position
 724 error in each group is calculated and averaged to correct the error. Experiments show that the
 725 proposed five angle clustering methods can effectively reduce the error, and the optimal angle
 726 clustering method can reduce the position error by about 20%.

727 6. Discussion

728 In this thesis, we re-design the 23-layer CNN architecture suitable for indoor environment, and
729 adjust the weight of loss function so that the loss function only calculates the weight of position,
730 focusing on accurate prediction of indoor positioning. Before the training phase, we keep the
731 complete image and resize the size directly as the input value of CNN. Experiments on different
732 image sizes show that the proposed method can effectively improve the positioning accuracy by
733 about 20-30% under the same condition of only calculating the position loss. Compared with the
734 original setup of PoseNet, our new method can effectively improve the positioning accuracy by about
735 80-90%. Through the mobile cartographic platform with positioning system and mapping system, we
736 have completed the collection of datasets of underground parking lot and the South Palace Museum,
737 which can be used for related research in the future. In practical indoor positioning applications,
738 users mostly use cameras of different platforms. This thesis first discusses the indoor positioning
739 accuracy between different cameras. The experimental results show that the image size and focal
740 length have a great influence on the convolution neural network. The objects and areas covered in
741 the image are the main reasons for the increase of position errors. We also integrate convolutional
742 neural network and angle error correction for the first time. Experiments show that the proposed five
743 angle grouping methods can effectively reduce the error, and the best angle grouping method can
744 effectively improve the indoor positioning accuracy of about 20%.

745 In the future, we can think about all kinds of methods such as image collection, image processing,
746 architecture of deep learning model, so that indoor positioning technology can develop more
747 accurately. In the aspect of image collection, this thesis uses manual method to collect image data and
748 geographic position data needed by deep learning model through mobile cartographic platform. For
749 all supervised learning, how to obtain a large number of correct training materials is the first key.
750 Scholars often spend a lot of time collecting image data in the process of research. At present, there
751 is no automatic and effective data collection mechanism. In the future, we can consider using
752 surveillance cameras, Unmanned Aerial Vehicles (UAV) or customized devices of Arduino to
753 automate data collection for images. Research on identification and deep learning will also bring a
754 high degree of convenience. In the aspect of image processing, this thesis doesn't deal with the
755 moving objects that may appear in the training images. The common moving objects in indoor scenes
756 are cars and people. These moving objects are unnecessary feature learning for deep neural networks,
757 and therefore will inevitably cause a decline in accuracy. We can take a look at them in the future. In
758 addition, neural networks such as YOLO or Mask RCNN are used to detect moving objects, and the
759 feature of this part is not learnt through modification to solve the problem of moving objects in
760 images. In the aspect of deep learning model, mobile phone photography contains many valuable
761 parameters, such as sensor value, three-axis attitude, focal length aperture, etc. This thesis doesn't
762 integrate this information as a basis for prediction. In the future, we can consider the use of some
763 information and combine the position predictions from the CNN model in this thesis, and train a
764 neural network model like a fully connected neural network or LSTM to get more accurate position.
765 In addition, dataset can also increase the number of samples through image rotation or data noise, so
766 that the learning of neural networks can be more comprehensive. Field selection also has a great
767 impact on the neural network, such as light and shade, environmental complexity or the number of
768 eigenvalues. In the future, we can also experiment different fields to test whether the neural network
769 model can effectively achieve indoor positioning. Efficient indoor positioning may be applied to
770 indoor intelligent parking or intelligent city in the future, and it may also be combined with
771 augmented real-world applications. It is also expected to bring positive help to spatial information
772 applications.

773 7. Patents

774 **Acknowledgments:** The authors would like to acknowledge the financial support of the Minister of Interior,
775 Executive Yuan of Taiwan, through National Cheng Kung University.

776 References

- 777 1. Agarwal, S.; Furukawa, Y.; Snavely, N.; Simon, I.; Curless, B.; Seitz, S.M.; Szeliski, R. Building Rome in A
778 Day. *Communications of the ACM* **2011**, *Volume 54*, *Number 10*, pp. 105-112.
- 779 2. Ashraf, I.; Hur, S.; Park, Y. Application of Deep Convolutional Neural Networks and Smartphone Sensors
780 for Indoor Localization. *Applied Sciences* **2019**, *Volume 9*, *Number 11*, p. 2337.
- 781 3. Bengio, Y.; Courville, A.; Vincent, P. Representation learning: A Review and New Perspectives. *IEEE*
782 *TPAMI* **2013**, *Volume 35*, *Number 8*, pp. 1798-1828.
- 783 4. Bregar, K.; Mohorčič, M. Improving Indoor Localization Using Convolutional Neural Networks on
784 Computationally Restricted Devices. *IEEE Access* **2018**, *Volume 6*, pp. 17429-17441.
- 785 5. Engel, J.; Schöps, T.; Cremers, D. LSD-SLAM: Large-Scale Direct Monocular SLAM. *ECCV*; Publisher:
786 Springer, Cham, 2014; pp. 834-849.
- 787 6. Furukawa, Y.; Curless, B.; Seitz, S.M.; Szeliski, R. Towards Internet-Scale Multi-View Stereo. *IEEE Computer*
788 *Society Conference on CVPR* **2010**, pp. 1434-1441.
- 789 7. Godard, C.; Aodha, O.M.; Brostow, G.J. Unsupervised Monocular Depth Estimation with Left-Right
790 Consistency. *Proceedings of the IEEE Conference on CVPR* **2017**, pp. 270-279.
- 791 8. Grossmann, U.; Gansemer, S.; Suttrop, O. RSSI-Based WLAN Indoor Positioning Used within A Digital
792 Museum Guide. *International Journal of Computing* **2014**, *Volume 7*, *Number 2*, pp. 66-72.
- 793 9. Hao, O.; Cai, R.; Li, Z.; Zhang, L.; Pang, Y.; Wu, F. 3D Visual Phrases for Landmark Recognition. *IEEE*
794 *Conference on CVPR* **2012**, pp. 3594-3601.
- 795 10. He, K.; Zhang, X.; Ren, S.; Sun, J. Deep Residual Learning for Image Recognition. In *Proceedings of the IEEE*
796 *Conference on CVPR* **2015**, pp. 770-778.
- 797 11. Kang, J.; Lee, J.; Eom, D.S. Smartphone-Based Traveled Distance Estimation Using Individual Walking
798 Patterns for Indoor Localization. *Sensors* **2018**, *Volume 18*, *Number 9*, p. 3149.
- 799 12. Kendall, A.; Cipolla, R. Modelling Uncertainty in Deep Learning for Camera Relocalization. *IEEE ICRA*
800 **2016**, pp. 4762-4769.
- 801 13. Kendall, A.; Cipolla, R. Geometric Loss Functions for Camera Pose Regression with Deep Learning.
802 *Proceedings of the IEEE Conference on CVPR* **2017**, pp. 5974-5983.
- 803 14. Kendall, A.; Grimes, M.; Cipolla, R. PoseNet: A Convolutional Network for Real-Time 6-DOF Camera
804 Relocalization. *Proceedings of the IEEE ICCV* **2015**, pp. 2938-2946.
- 805 15. Lan, K.C.; Shih, W.Y. An Indoor Locationtracking System for Smart Parking. *International Journal of Parallel,*
806 *Emergent and Distributed Systems* **2014**, *Volume 29*, *Number 3*, pp. 215-238.
- 807 16. Li, F.; Zhao, C.; Ding, G.; Gong, J.; Liu, C.; Zhao, F. A Reliable and Accurate Indoor Localization Method
808 Using Phone Inertial Sensors. *Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing* **2012**, pp. 421-
809 430.
- 810 17. Liang, J.Z.; Corso, N.; Turner, E.; Zakhor, A. Image-Based Positioning of Mobile Devices in Indoor
811 Environments. *Multimodal Location Estimation of Videos and Images*; Publisher: Springer, Cham, 2015; pp. 85-
812 99.
- 813 18. Mittal, A.; Tiku, S.; Pasricha, S. Adapting Convolutional Neural Networks for Indoor Localization with
814 Smart Mobile Devices. *Proceedings of the 2018 on GLSVLSI, ACM* **2018**, pp. 117-122.
- 815 19. Ng, A.; Ngiam, J.; Foo, C.Y.; Mai, Y.; Suen, C.; Coates, A.; Maas, A.; Hannun, A.; Huval, B.; Wang, T.;
816 Tandon, S. Convolutional Neural Networks. <http://ufldl.stanford.edu/tutorial/supervised/ConvolutionalNeuralNetwork/>, 2013.
- 817 20. Niitsoo, A.; Edelhäuser, T.; Mutschler, C. Convolutional Neural Networks for Position Estimation in
818 TDoA-Based Locating Systems. *International Conference on IPIN, IEEE* **2018**, pp. 1-8.
- 819 21. Oquab, M.; Bottou, L.; Laptev, I.; Sivic, J. Learning and Transferring Mid-Level Image Representations
820 Using Convolutional Neural Networks. *Proceedings of the IEEE Conference on CVPR* **2014**, pp. 1717-1724.
- 821 22. Razavian, A.S.; Azizpour, H.; Sullivan, J.; Carlsson, S. CNN Features Off-the-Shelf: An Astounding Baseline
822 for Recognition. *Proceedings of the IEEE Conference on CVPRW* **2014**, pp. 806-813.
- 823 23. Shotton, J.; Glocker, B.; Zach, C.; Izadi, S.; Criminisi, A.; Fitzgibbon, A. Scene Coordinate Regression Forests
824 for Camera Relocalization in RGB-D Images. *Proceedings of the IEEE Conference on CVPR* **2013**, pp. 2930-2937.
- 825 24. Snavely, N.; Seitz, S.M.; Szeliski, R. Photo Tourism: Exploring Photo Collections in 3D. *ACM TOG* **2006**,
826 *Volume 25*, *Number 3*, pp. 835-846.
- 827 25. Subhan, F.; Hasbullah, H.; Rozyyev, A.; Bakhsh, S.T. Indoor Positioning in Bluetooth Networks Using
828 Fingerprinting and Lateration Approach. *IEEE ICISA* **2011**, pp. 1-9.
- 829

- 830 26. Szegedy, C.; Liu, W.; Jia, Y.; Sermanet, P.; Reed, S.; Anguelov, D.; Erhan, D.; Vanhoucke, V.; Rabinovich, A.
831 Going Deeper with Convolutions. *Proceedings of the IEEE Conference on CVPR* **2015**, pp. 1-9.
- 832 27. Walch, F.; Hazirbas, C.; Leal-Taixé, L.; Sattler, T.; Hilsenbeck, S.; Cremers, D. Image-Based Localization
833 Using LSTMs for Structured Feature Correlation. *Proceedings of the IEEE ICCV* **2017**, pp. 627-637.
- 834 28. Wang, X.; Wang, X.; Mao, S. Deep Convolutional Neural Networks for Indoor Localization with CSI Images.
835 *IEEE Transactions on Network Science and Engineering* **2018**.
- 836 29. Wu, C. Towards Linear-Time Incremental Structure from Motion. *IEEE International Conference on 3D*
837 *Vision-3DV* **2013**, pp. 127-134.
- 838 30. Zhou, B.; Lapedriza, A.; Xiao, J.; Torralba, A.; Oliva, A. Learning Deep Features for Scene Recognition Using
839 Places Database. *Proceedings of the 27th International Conference on Neural Information Processing Systems* **2014**,
840 *Volume 1*, pp. 487-495.
- 841 31. Zhou, T.; Brown, M.; Snavely, N.; Lowe, D.G. Unsupervised Learning of Depth and Ego-Motion from Video.
842 *Proceedings of the IEEE Conference on CVPR* **2017**, pp. 1851-1858.
- 843 32. 江凱偉, 曾義星, 呂學展. 107 年度移動載台測量製圖技術發展工作案期末報告. 內政部地政司, 2018.



© 2019 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

844

HIGH DEFINITION MAP AIDED TO DETECT AND IMPROVE VEHICLE MULTI-CONSTELLATION POSITIONING AND ORIENTATION SYSTEM IN URBAN AREA

P.C. Hsu ^{1*}, Y.H. Li ¹, L.T. Hsu ², K.W. Chiang ¹

¹ Dept. of Geomatics, National Cheng-Kung University, Taiwan - p66064015@mail.ncku.edu.tw

² Interdisciplinary Division of Aeronautical and Aviation, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong

KEY WORDS: High Definition Maps, Pseudorange Error Detection, GNSS Height Constraint, Positioning and Orientation system, Urban area

ABSTRACT:

Advanced Driver Assistance System (ADAS) technology is increasingly expanding recently, which primary core is to get accurate location information of vehicles. Positioning and Orientation System (POS), which integrates Global Navigation Satellite System (GNSS) and Inertial Navigation System (INS), is widely used to complete outdoor navigation mission. However, GNSS positioning is sensitively affected by multipath effects and Non-Line-Of-Sight (NLOS) influences in urban area. The satellite shielding and signal reflection by buildings or other obstacles cause the pseudorange error. The low accuracy GNSS results would affect the performance of POS after integrating INS information, mostly in vertical dimension. In addition, the error model of those influences is significantly varied with surroundings and cannot be reduced entirely by physical or mathematical methods. The experiment implemented in this research utilizes the sophisticated Mobile Mapping System (MMS) to establish High-Definition Maps (HD Maps) as reference information. The relatively high precision 3D map is used to give the vertical information. Then, geometric distance from the satellite to the user is calculated to remove the error pseudorange measurements due to NLOS influences. Moreover, the correction can feedback to navigation process by height constraint system, which can significantly improve the horizontal and vertical accuracy. The experiment data uses commercial GPS/BeiDou receiver to select data in urban area and process the code differential positioning. Then, integrate GNSS with INS information by Extended Kalman Filter (EKF) to get the seamless navigation results, which the optimized GNSS can provide reliable update measurements. The pre-process HD maps provide better navigation accuracy, which makes autonomous driving positioning more robust and feasible in GNSS-hostile environments.

1. INTRODUCTION

With the development of the Intelligent Transportation System (ITS), the vehicles with ADAS are highly anticipated in recent years. The Society of Automotive Engineers (SAE) International set up a category of driving automation into 6 levels shown in Figure 1. Level 0 is no automation driving which driver needs to handle the entire driving task. Level 2 partial automation driving applies ADAS to help the driver drive more comfortably and safely. To bring ADAS driving mission more practicable, one of the challenges addressed is the capability of vehicle to localize itself with high accuracy. Different types of solutions require different levels of positioning performance, which mainly depend on the level of detailed (Clausen, 2015). According to advanced driving vehicle safety research shown in Figure 2, the vehicular navigation system applied today is expected to meet 5 meters horizontal positioning accuracy to distinguish at which road it is. If the lane information is required, the horizontal accuracy of the vehicle is expected to reach 1.5 meters (Stephenson, 2011). On the other hand, apart from the assessment of positioning accuracy, GNSS-based localization system also considers other quality indicators, such as availability and continuity, which are relevant to the performance evaluation of a positioning terminal (Feng, 2018). Last but not least, due to the commercial vehicle production restriction, there are several premises for the navigation mission. For instance, commercial-grade sensors are demanded to ubiquitous in every vehicle, real-time calculation is prerequisite for assisting driver directly, and an accurate

positioning module is needed to indicate current location information of the vehicle. In addition, the delivered location information is expected to retain 3D spatial information with height information for advanced ITS application such as energy saving, fuel using estimation, and the speed control in the Highly Automated Driving (HAD) vehicles.



Figure 1. SAE automation levels (NHTSA)

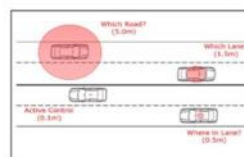


Figure 2. Vehicular navigation accuracy requirements (Stephenson, 2011)

* Corresponding author

1.1 Multipath interference and NLOS reception

GNSS is considered the primary technology for positioning and navigation applications in the past decades. By transmitting signals through satellites, GNSS provides users three-dimensional position information with global-coverage, which makes it the most common way to implement the outdoor vehicular navigation mission. GNSS is affected by errors such as satellite and receiver clock biases, satellite orbit errors, and atmospheric errors (Kaplan, 2005). Table 1 illustrates an example of the GPS positioning error budgets in different GPS position scheme (Hsu, 2018). Most satellite positioning systematic errors can be mitigated by physical or mathematical models such as differential scheme. However, the errors come from signal shielding and reflection cannot be removed systematically, which is well-known as multipath interference and NLOS reception.

positioning error	Conventional GPS (WLS)	Differential GPS (DGPS)	Real Time Kinematic (RTK)
Satellite clock error	2m	0.0m	0.0m
Satellite orbit error	2m	0.1m	0.0m
Ionospheric delay	2~10m	0.2m	0.0~0.1m
Tropospheric delay	2.5m	0.2m	0.0m
Receiver noise	0.5m	0.5m	0.1m
Multipath and NLOS	0.5~1.0m (open sky area)	0.5~1.0m (open sky area)	0.1~0.5m (open sky area)
	0.5m~unlimited (urban area)	0.5m~unlimited (urban area)	0.5m~unlimited (urban area)

Table 1. GPS Positioning Error Budgets (Hsu, 2018)

The multipath interference occurs when the direct Line-of-Sight (LOS) signals, which transmits directly from the satellite to the user, interfere with the reflected signals. Owing to multipath interference, the signal transmission direction, amplitude, polarization, and phase would be changed and affected phase shift pseudorange errors. On the contrary, if the direct LOS signals are blocked and only reflected signals are received and misjudged as LOS, this case is NLOS reception. The errors of pseudorange are equal to the path delay caused by the reflection, which must be positive. Such NLOS errors result in the geometric relationship between obstacles and signals, in which path delays are theoretically unlimited and greatly exaggerate. Figure 3 illustrates the impact of multipath interference and NLOS reception occurring in dense urban area, in which the green line represents the direct LOS signal and the red line is the reflected signal. Although the causes and effects of those phenomena are different, they often occur together in urban area with tall buildings. If direct LOS signals are blocked but several reflected signals are received, the ranging errors would come from the sum of NLOS reception by the strong multipath signals. On the contrary, if the direct LOS signals are weaker than the reflected signals, the receiver would determine the reflected signals as LOS, causing NLOS errors, and the original direct LOS signals are regarded as multipath interference (Groves, 2013). These effects would cause the untrustworthy position for users that would result in unsafety driving decision.

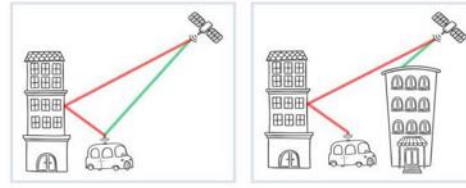


Figure 3. Multipath interference (left) and NLOS reception (right)

There are many multipath interference detection and mitigation strategies. One of them is based on antenna design, such as multiple antennas for reflected signals attenuation, choke-ring antennas to attenuate low and negative elevation signals, or dual-polarization antennas to receive the right-handed circular polarization (RHCP) signals. However, these antennas cannot mitigate NLOS reception unless attenuate the signals, because the ranging errors are not entirely related to the signal received strength or direction. In addition, certain receiver signal processing design can be implemented to separate the direct and reflected signal components, such as narrow correlator spacing, double-delta discriminator, and the gated correlator, etc. Despite, none of these existing schemes can improve NLOS reception since no direct LOS signals are available to the receiver for optimizing calculation (Groves, 2013). The other strategy is data processing such as elevation-based or C/N0-based selection and weighting. These schemes can improve the GNSS performance but not mitigate the NLOS reception completely, especially when NLOS signals from medium elevation satellites are nearly strong as the directly LOS signals. As for the carrier-smoothing code and doppler domain multipath mitigation, those post-receiver techniques can decline most of the code multipath errors by average for kinematic applications. Nevertheless, the ranging errors from carrier-phase measurements due to NLOS is similar to pseudorange error, thus it could further degrade GNSS positioning if NLOS signals are not recognized (Brefler, 2016). Using measurement quality check such as consistency check and receiver autonomous integrity monitoring (RAIM) can be applied to deal with NLOS. Notwithstanding, the NLOS reception cannot be corrected if the direct LOS signals are rejected as false measurements when the error signals are in large proportion, and the loss of the positioning accuracy is further expanded (Jiang, 2012). Therefore, multipath interference and NLOS reception should be regarded as two separate phenomena based on the essential difference. Notwithstanding there are many schemes for multipath interference mitigation, most of those cannot eradicate NLOS reception (Groves, 2013). Accordingly, establishing a set of reliable reference information to assist in judging and improving measurements with large NLOS reception errors is a key to robust high accuracy navigation for GNSS-hostile environments.

1.2 Maps aided navigation process

The map-matching algorithm is one of the conventional schemes to improve the performance of navigation function in ITS services. Its concept is to match the positioning data, such as GNSS solution, with known spatial road network information to identify the correct link on which vehicle is traveling and determine the location of vehicle on the road network. Common map-matching approaches include geometric analysis, topological analysis, and probability theory such as fuzzy logic

and particle filter. Although the existing map-matching technologies can significantly improve the positioning consequences, these schemes are not always capable for all applications, especially in complex environments such as urban area with tall buildings and large mansions. For example, the insufficient accuracy and resolution of the original maps would lead to a large error in map-matching results. In addition, digital maps do not retain height information for three-dimensional positioning requirements, and the algorithm sometimes over-trust the matched results (Quddus, 2007). Those existing map-matching algorithms are not implemented as a part of sensor fusion scheme. Therefore, the new generation maps for ADAS and HAD vehicles, the High Definition maps (HD maps) are used to fulfill the key challenge of autonomous driving applications (Seif, 2016). Apart from digital maps which are made for human, HD maps are established for machines to see the outside world. Because the human brain can make decisions in response to changes around during driving, such digital maps are relatively simply designed in low accuracy. The transform of map users from people to machines brings new challenges to both mapping and navigation technologies. Even if machine has much higher computation efficiency and storage capacity than human brain, it does not have the ability to make decision independently. Thus, to meet the ultimate goal of driving safety, the preliminary conditions required for HD maps include follows: The spatial information demands better than sub-meter level accuracy, all information needs to be in three-dimension with high resolution, the maps contain extremely precise and sufficient information, the scale of the maps are consistent with the real world, and every information required to be shared in real-time for vehicle to make driving decisions directly (Harsha, 2017). Accordingly, the advantages of proposed HD maps aided navigation scheme are shown in Table 2.

Map-Matching Algorithm	HD Maps Aided Scheme
Result performances depend on original spatial road network data quality	HD Maps accuracy better than 30 cm
Cannot satisfy all ITS applications in different scenes	No need for subsequent processing and training, executable in wide area
Lack of height information for 3D matching	3D spatial information with high resolution
Improper use of different map-matching algorithm and excessive trust results	Remove or constraint the errors without replacing the positioning results

Table 2. The advantages of HD maps aided navigation scheme

Recently, 3D mapping aided (3DMA) algorithm as the reference information combining with ray-tracing or shadow matching scheme in urban area gets much attention. The 3D building model is established from a 2D maps containing with building height information. Assuming that the surfaces of buildings are flat planes to obey the laws of reflection, 3DMA can simulate the signal reflection environments in dense urban area. Many various approaches have been demonstrated. For example, use the distributing candidate positions to evaluate the adopted position by likelihood calculation (Hsu, 2016), or use the reflection environments to correct, discard or downweight those signals predicted as NLOS (Groves, 2018). By using 3DMA, the prediction and correction of blockage and reflection of multipath and NLOS errors are theoretically possible, but it requires an adequate accurate model to sense the path delay of reflected signals (Groves, 2013). Besides, the usage of 3D building model requires airborne LiDAR constructions in

specific area, which is more complicated for data establishing and updating. Compared to 3DMA, HD maps aided navigation scheme doesn't require building model but only apply the existing maps for autonomous vehicle to complete the navigation process. Furthermore, the proposed scheme in this research does not need system training or ray-tracing process, which is executable for high-efficiency positioning in wide area real-time navigation mission.

The INS/GNSS integration schemes can overcome the limitation of availability and continuity of GNSS for land vehicular navigation applications. Although the integration scheme can utilize the strengths of each system and overcomes the weaknesses for the respective system, the performance of the integration scheme in the urban area still faces the difficulties. This research concentrates on developing HD maps aided navigation scheme to improve the automotive-grade INS/GNSS integration scheme in GNSS-hostile environments. First, HD maps are applied as the reference information to detect and remove the contaminated measurements and positions owing to signal shielding and reflection. Then the height information is sent into height constraint algorithm to improve the GNSS vertical positioning performances. In the integration scheme, zero velocity updates (ZUPT) and non-holonomic constraints (NHC) are implemented accordingly to improve the positioning accuracy. The methodology of HD maps aided GNSS optimization and INS/GNSS integration scheme and information about the experiments are illustrated in the following sections.

2. METHODOLOGY

2.1 Establishment of HD maps

The establishment of HD maps for this research follows the results of HD maps operation guideline that is under developing for future HAD vehicles. The sophisticated Mobile Mapping System (MMS) is applied to complete the mapping process, which includes navigation-grade INS/GNSS integrated system, wheel-mounted Distance Measuring Indicator (DMI), cameras and LiDAR sensors. The specification of the sensors applied in this research is illustrated in Figure 4. The 3D positioning accuracy and resolution of those point cloud data provided is 30 centimeters and 10000 pt/m² respectively, which is sufficient for providing reference information in land vehicular navigation applications.



Figure 4. Sensor specification for this research

After acquiring the HD point cloud data, the vectorization method is applied to convert the spatial road information from point clouds to 3D vector maps, as shown in Figure 5. Since the boundary and center line of each lane is rigorously defined, the 3D road grid maps proposed in this research can be produced automatically, in which the grid size is 20 centimeters. The height information of road grid maps is gotten from interpolation method from the boundary line of each lane in HD vector maps. Next, the height smoothing is processed to obtain the continuous results. Finally, alignment every height information into ellipsoid height, which should be same frame as defined in GNSS. Figure 6 is the flow chart of establishing grid maps from HD maps. The HD maps are regarded as the reference information to detect and remove the positioning errors due to signal blocked and reflection in dense urban area.

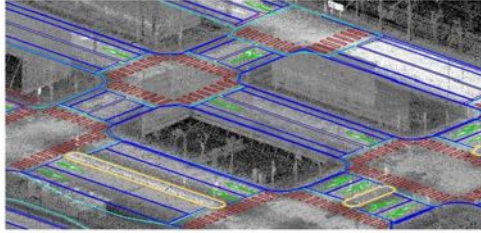


Figure 5. Vectorization of point cloud data

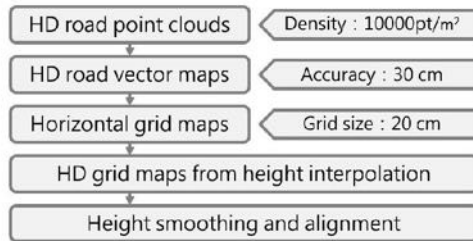


Figure 6. The Flow chart of establishing HD grid maps

2.2 HD maps aided GNSS optimization scheme

GNSS uses the pseudorange from four or more satellite signals to calculate user's 3D positions and the receiver clock bias. The satellite positioning code pseudorange observation equation is shown in Equation (1). In this research, weighted least square (WLS) method is used as the satellite positioning calculation, while satellite elevation angle is used for weight determination. Besides, multi-constellation GNSS is used in this research, which intern system bias between different constellation is required. The WLS observation equation is shown in Equation (2) (Kaplan, 2005). Besides, the HDOP value and the consistency check are adopted to improve the performance of GNSS.

$$P = \rho + ct + c(dt - dT) + d_{iono} + d_{trop} + \varepsilon \quad (1)$$

$$Y + v = AX = \begin{bmatrix} X_{GPS} - X_0 & Y_{GPS} - Y_0 & Z_{GPS} - Z_0 & 1 & 0 \\ \rho_0 & \rho_0 & \rho_0 & \rho_0 & \rho_0 \\ X_{BDS} - X_0 & Y_{BDS} - Y_0 & Z_{BDS} - Z_0 & 1 & 1 \\ \rho_0 & \rho_0 & \rho_0 & \rho_0 & \rho_0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X_0 \\ \Delta Y_0 \\ \Delta Z_0 \\ \Delta cdt_0 \\ ISB_{BDS}^{GPS} \end{bmatrix} \sim P \left(\frac{1}{\sin^2(ele)} \right) \quad (2)$$

where P = pseudorange measurements
 ρ = true geometric distance
 c = the speed of light
 t = the transition time
 dT = the receiver clock bias
 dt = the satellite clock bias
 d_{iono} = ionosphere effect error
 d_{trop} = troposphere effect error
 ε = the sum of other errors such as multipath interference and NLOS reception
 ISB = intern system bias between GPS and BDS
 ele = satellite elevation angle in local level frame

To remove the systematic errors in GNSS, a continuously observed base station is used for code-based differential GNSS (DGNSS). The reliable solution of the base station can transfer the corrections computed for each satellite as the difference between the geometric range and the measured pseudorange to the rover station, and one-meter-level positioning accuracy can be achieved theoretically in open sky area. Revising the code pseudorange observation equation shown in Equation (1) into DGNSS mode into Equation (3). DGNSS positioning can improve positioning accuracy and robustness with signal redundancy. However, DGNSS cannot mitigate multipath interference and NLOS reception in urban area, because the ranging errors are not systematic but due to the geometry of obstacles and signals. The navigation scheme of applying external information to detect and improve those errors are required.

$$\begin{aligned} P_1 &= \rho_1 + c(dt_1 - dT) + d_{iono} + d_{trop} + \varepsilon_1 \\ P_2 &= \rho_2 + c(dt_2 - dT) + d_{iono} + d_{trop} + \varepsilon_2 \end{aligned} \quad (3)$$

After the first DGSS results are received, the height information can be applied once the 3D position fits the reference maps. The geometric distance from the satellite to the receiver is then calculated to remove the contaminated pseudorange measurements due to multipath and NLOS reception. In addition, the reliable positional information can then be feedback to navigation process by height constraint algorithm to improve the positioning accuracy in vertical components. The flow chart of proposed HD maps aided GNSS optimization scheme is shown in Figure 7.

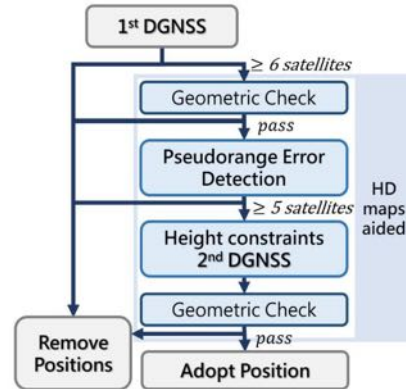


Figure 7. HD maps aided GNSS optimization scheme

As depicted in Figure 7, one of the strategies in proposed HD maps aided GNSS optimization scheme is to detect and remove the contaminated pseudorange measurements due to multipath and NLOS reception. Theoretically, the satellite positioning error in vertical direction is larger than horizontal direction, so as the poor height performance due to the effect of multipath and NLOS. Based on the error performance mentioned above, the revise of height in position can drastically provide more reliable reference location. After getting the reference height information from the HD maps, the theoretical geometric distance from the satellite to the user can be obtained. The designated pseudorange measurements due to NLOS reception would be removed once the difference between the pseudorange measurement and theoretical geometric distance is larger than the threshold, as indicated in Equation (4). The schematic diagram of pseudorange error detection scheme proposed in this research is illustrated in Figure 8.

$$P_{kick\ measurements} = \{ \rho \in P \mid |\rho - \rho_{geometric}| > threshold \} \quad (4)$$

where P = original pseudorange measurements
 $\rho_{geometric}$ = calculated geometric distance
 $\rho_{kick\ measurements}$ = removed pseudorange measurements

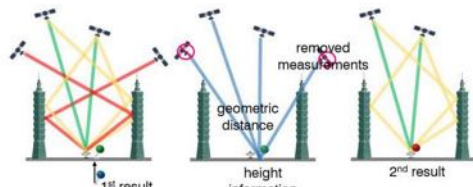


Figure 8. Pseudorange error detection scheme

After removing the contaminated pseudorange measurements, the height constraint algorithm is applied to improve the performance in terms of positioning accuracy in vertical direction. The reference height derived from HD maps can be regarded as redundant observations to constrain the vertical errors. The height constraint WLS observation equation is shown in Equation (5). In this research, after solving the initial WLS process, the solution is imported into the statistical test and the pseudorange error detection. The accurate HD maps are used to eliminate or mitigate the degraded measurements. Then, the second round of WLS process with additional height constraint algorithm is adopted to improve the positioning accuracy.

$$Y + v = Ax = \begin{bmatrix} -\frac{X_{GPS} - X_0}{\rho_0} & -\frac{Y_{GPS} - Y_0}{\rho_0} & -\frac{Z_{GPS} - Z_0}{\rho_0} & 1 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -\frac{X_{HD} - X_0}{\rho_0} & -\frac{Y_{HD} - Y_0}{\rho_0} & -\frac{Z_{HD} - Z_0}{\rho_0} & 1 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{(N+1) \times 5} \quad x \sim \begin{bmatrix} P_{GNSS} & 0 \\ 0 & P_{maps} \end{bmatrix} \quad (5)$$

where P_{GNSS} = accuracy of GNSS (satellite elevation angle)
 P_{maps} = accuracy of HD maps

2.3 HD maps aided INS/GNSS integration scheme

Although the proposed HD maps aided GNSS optimization scheme can detect and remove both measurement and position errors caused by multipath interference and NLOS reception, this algorithm would have consequences for reducing the

availability to actual continuous driving demanded. The INS, which provides full navigation states at high sampling rate, is appropriate for short-term aid during GNSS outage. Consequently, INS is widely used in conjunction with GNSS for seamless vehicular navigation. The Kalman Filter (KF) is a conventional technique which carries out a series of predictions and measurement updates to obtain optimal estimates in numerous INS/GNSS integration schemes. The optimal solutions from KF are based on the accurate assumption of the statistical characteristics of the system model, measurement model, and noise. This research applies the Extended Kalman filter (EKF) for integration. The EKF is a common option to handle non-linear kinematic system under the assumption of Gaussian errors, which implements KF to satisfy the linearization assumption used in Taylor series expansion (Shin, 2005). The HD maps aided INS/GNSS integration scheme is implemented in a Loosely-Coupled (LC) architecture shown in Figure 9. Two main characteristics of LC integration are simplicity and redundancy. The architecture is simple as it can be used with any INS and any GNSS user equipment, making it particularly suited to retrofit applications (Groves, 2013). Since the GNSS results has been optimized by the HD maps aided scheme, the integration results would be more accurate and smoother. In this research, zero velocity update (ZUPT) and non-holonomic constraint (NHC) are implemented for vehicular navigation application. By comparing the navigation solutions provided by INS mechanization with those solutions provided by GNSS, the integrated navigation solutions can be estimated.

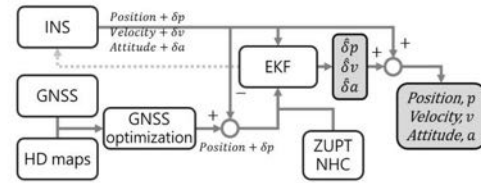


Figure 9. HD maps aided INS/GNSS integration scheme

3. EXPERIMENT

3.1 Experiment setup

To evaluate the performance of the proposed scheme, the field test is implemented with land vehicle navigation scenarios in Tainan downtown. The vehicular test platform receives the reference data and testing data at the same time. The reference data is collected by navigation-grade integrated system iMAR iNAV-RQH-10018. The reference trajectory is processed with commercial software (Inertial Explorer from NovAtel), which uses carrier phase measurements with double differencing and smoothed mode and the Rauch-Tung-Striebel (RTS) smoother for INS/GNSS integration process. The testing GNSS receiver is an automotive-grade receiver from Allystar technology, which can receive GPS/BDS L1 signals. In addition, the testing IMU is Epson G320, which is tactical-grade sensors for most HAD vehicular navigation application recently. The specifications of RQH-10018 and Epson G320 IMU are illustrated in Table 3.

Physical Characteristics		RQH-10018 (reference)	Epson G320 (testing)
Output rate		300 Hz	125 Hz
Gyro	Bias Instability	0.002°/hr	3.5°/hr
	Random Walk Noise	0.0015°/√hr	0.1°/√hr
Accelerometer	Bias Instability	0.01μg	0.1mg
	Random Walk Noise	0.01μg/√Hz	0.5m/s/√hr

Table 3. Specification of experiment equipments

For the examination of multipath interference and NLOS reception detection and mitigation scheme, the influences between constantly changing environments during a kinematic driving are highly complex in dense urban area. Hence, the experiment in this research implements a field test in urban area to examine the performance of proposed scheme. The experiment trajectory is shown in Figure 10. The travel distance is 8 kilometers and the experiment duration is about 40 minutes. The number of satellites and PDOP is shown in Figure 11. In the middle of the trajectory, a smaller number of satellites and higher PDOP value illustrate the experiment environments are challenged during the dense urban area. Not to mention that some of the selected satellites are NLOS reception, thus the practical LOS measurements would be less than the chart below.

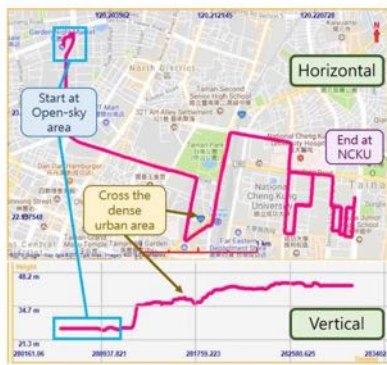


Figure 10. Experiment trajectory in urban area

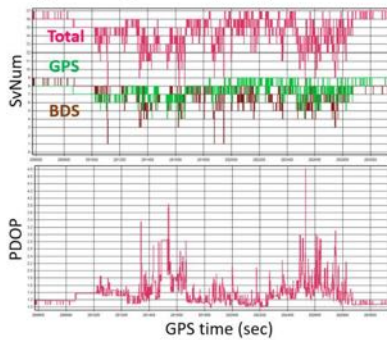


Figure 11. Number of satellites and PDOP

3.2 HD maps aided GNSS optimization scheme

For inspection the performance of HD maps aided GNSS optimization scheme proposed in this research, four terms of error illustration and statistical analysis are applied. The experimental results include pseudorange error calculation for inspection the performance of measurement detection scheme, the error of various GNSS for inspection the performance of position detection schemes, height performance as the result of height constraint, and overall numerical analysis for accuracy and availability analysis. First is the error of pseudorange measurement before and after the pseudorange error detection scheme, as shown in Figure 12. In the left of Figure 12, most pseudorange errors occurs in middle of the trajectory, where is in dense urban area. On the other hand, conspicuous measurement errors are positive and tremendous, which corresponds the definition of NLOS that is owing to the signal reflection. After the pseudorange error detection, most large measurement errors are detected and removed. Compare to measurement quality check scheme such as consistency check, the proposed method can prevent the case when the error signals are in large proportion. Since the pseudorange error detection scheme is based on the calculation of theoretical geometric distance from the satellite to the user after revise of height in position, this method would less affected by the ratio of error distribution.

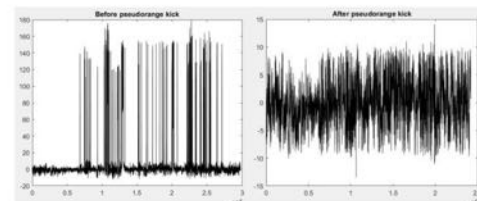


Figure 12. The pseudorange error before (left) and after (right) error detection scheme (Unit: Meter)

Next, since there are twice DNSS to be solved during the process, the algorithm can record all position during error detection. The experiment marks position results due to various error detection mode. Then use the results to calculate the errors in local level frame (east, north and height direction) shown in Figure 13. The red points are the errors of final corrected and adopted positions, and points in other colors are the removed positions by the detection mode such as geometric check and pseudorange error detection. Figure 13 shows that the detected errors often occur in the middle of the trajectory, which means the large errors affected by multipath interference and NLOS reception caused by tall buildings can be detected correctly. In horizontal results (east and north errors), the blunder positions with about 10 meters error are detected and removed in HD maps aided process, while the height blunder up to 40 meters can also be eliminated.

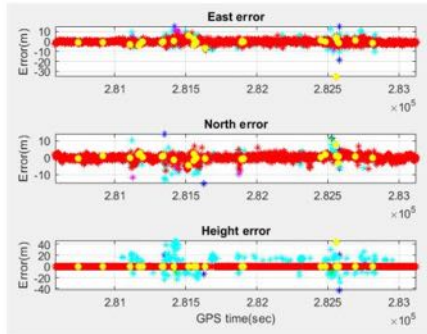


Figure 13. The error of various GNSS error detection schemes (red: adopted positions, others: removed positions)

As for the performance of height constraint scheme, the vertical dimension of HD maps aided GNSS results are shown in Figure 14, in which pink points are the trajectory of reference, green points are the trajectory of pure DGNSS, and orange points are the trajectory of HD maps aided GNSS optimization scheme. The results can expound that the pure DGNSS height trajectory is wholly detached from the reference and cannot be used. On the contrary, after high accuracy maps aided as the height constraint information, the improvement on height results is significant from almost unusable to almost coincide with the reference trajectory.

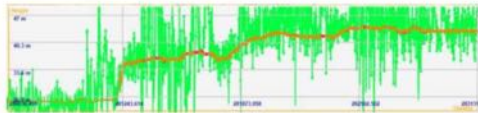


Figure 14. Vertical dimension of HD maps aided GNSS optimization scheme in urban area (pink: reference, green: pure DGNSS, orange: HD maps aided)

The GPS/BDS L1 code measurements are used for DGNSS calculation. Using reference as the true value, the error can be calculated and illustrated by numerical analysis. The statistical analysis shown in Table 4 is applied to demonstrate the improvement of the proposed scheme, which includes mean errors, max errors, STDs and RMSEs. Except for the rate of improvement of statistical values, the analysis also calculates the availability from the experiment duration. The percentage of availability is applied to check whether the usable navigation results are enough for navigation application or not. It can be seen from statistical analysis that due to the multipath interference and NLOS reception, the RMSE of pure DGNSS is about 3.5 meters in horizontal and worse than 7 meters in vertical. In comparison, HD maps aided GNSS optimization scheme can improve horizontal accuracy to 2.1 meters, which is 40% improvement. The vertical accuracy is optimized to less than half a meter, which errors are almost entirely mitigated. It is worth mentioning that, only code DGNSS is applied in this experiment. If the process adopts carrier phase smoothing and RTK method, the HD maps aided GNSS optimization scheme would achieve better positioning results. On the other hand, the availability is 78% after the HD maps aided error detection and constraint, which is still sufficient for the INS/GNSS integration process.

Unit: meter		East	North	Up	Horizontal	Vertical	Distance
Mean Error	Pure DGNSS	-0.52	-0.16	1.73	0.54	1.73	1.82
	HD maps aided	-0.57	-0.06	0.01	0.58	0.01	0.58
Max Error	Pure DGNSS	40.62	23.92	65.18	41.19	65.18	65.24
	HD maps aided	10.50	10.27	0.42	12.19	0.42	12.19
STD	Pure DGNSS	2.70	2.20	7.06	3.48	7.06	7.87
	HD maps aided	1.50	1.36	0.09	2.03	0.09	2.03
RMSE	Pure DGNSS	2.74	2.21	7.27	3.52	7.27	8.08
	HD maps aided	1.60	1.37	0.09	2.11	0.09	2.11

Table 4. Accuracy analysis of HD maps aided GNSS optimization scheme in urban area

3.3 HD maps aided INS/GNSS integration scheme

The performance of the proposed HD maps aided INS/GNSS integration scheme is shown in Figure 15, in which pink points are the trajectory of reference, green points are the trajectory of pure INS/GNSS, and brown points are the trajectory of HD maps aided INS/GNSS integration scheme. In this research, only forward filter without smoothing method is used to simulate the real-time vehicular navigation applications. The result indicates that although the INS/GNSS integration can manifest amend the performance in horizontal, the height solution is still affected by poor GNSS results of signal blocked and reflection. In contrast, after satellite positioning error detection and integration height constraint by HD maps, the height trajectory can coincide with the reference trajectory smoothly and continuously.



Figure 15. Trajectory of HD maps aided INS/GNSS integration scheme in urban area

Table 5 is the statistical analysis of INS/GNSS integration and the HD maps aided INS/GNSS integration scheme, and Table 6 shows the rate of improvement calculations. During the dense urban area, the RMSEs of INS/GNSS integration to horizontal and vertical are 1.5 meters and 1.9 meters, respectively. There is a great improvement through the HD maps aided INS/GNSS integration scheme, can achieve 38.8% improvement compared to the pure INS/GNSS integration. The proposed integration scheme performs sub-meter level accuracy in vertical dimension. This is because the degraded GNSS are detected and removed from the proposed HD maps aided process, and the height constraint can significantly improve the accuracy in vertical direction.

Unit: meter		East	North	Up	Horizontal	Vertical	Distance
Mean Error	Pure DGNSS	-0.17	0.04	1.29	0.17	1.29	1.30
	HD maps aided	-0.31	0.10	-0.14	0.32	-0.14	0.35
Max Error	Pure DGNSS	7.99	4.45	6.15	8.60	6.15	8.80
	HD maps aided	6.34	9.61	1.53	9.62	1.53	9.62
STD	Pure DGNSS	1.12	1.01	1.40	1.51	1.40	2.06
	HD maps aided	0.98	1.06	0.16	1.44	0.16	1.45
RMSE	Pure DGNSS	1.13	1.01	1.91	1.52	1.91	2.43
	HD maps aided	1.02	1.06	0.21	1.48	0.21	1.49

Table 5. Accuracy analysis of HD maps aided INS/GNSS integration scheme in urban area

Unit: %	Horizontal	Vertical	Distance
Mean Error	-87.9	89.4	73.2
Max Error	-11.8	75.1	-9.3
STD	4.4	88.5	29.5
RMSE	2.6	88.9	38.8

Table 6. Rate of improvement of HD maps aided INS/GNSS integration scheme in urban area

To demonstrate the performance of results in ADAS navigation demands. This research uses the cumulative distribution function (CDF) to show the tendency of error in different process. Figure 16 is the error CDF of pure INS/GNSS integration and HD maps aided INS/GNSS integration scheme, which the yellow, red, and blue line are the error CDF of horizontal, vertical, and 3D, respectively. First, the error in pure INS/GNSS integration is poor in both horizontal and vertical owing to the degraded GNSS results from multipath interference and NLOS reception. To explain in detail, the vertical performance is worse than horizontal on account of the GNSS limitation of satellite geometry. In contrast, the errors in HD maps aided INS/GNSS integration scheme show that the errors in vertical are correctly mitigated. The 3D error mostly depends on horizontal performances, which can further improvement by other method such as integration of odometer. To sum up, the reference maps for urban navigation process can effectively remove the error caused by signal reflection and interference mostly in vertical direction but also improve the overall performance.

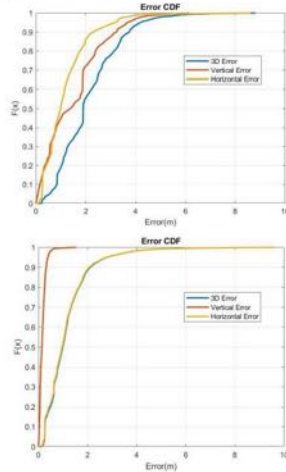


Figure 16. Error CDF of pure INS/GNSS integration (upper) and HD maps aided INS/GNSS integration (lower)

The detailed trajectory is performed to illustrate the ability of proposed navigation scheme mitigate the error of multipath interference and NLOS reception caused by tall buildings. The research selects two GNSS-hostile urban environments illustrated in Figure 17. The surrounding obstacles in each area are presented by images of street views. Both DGNSS and integration process maintained in this research are depicted in horizontal direction, while only integration results are depicted in vertical direction. If the signals are blocked or reflected by buildings, the DGNSS would perform in poor accuracy and then effect the measurement updates to the INS EKF. The figure illustrates that the bounder of contaminated GNSS measurements is corrected or removed after appending HD maps as reference information, then the performance of integration results becomes smoother and more accurate. Therefore, the additional reference maps for detecting and mitigating such errors is a key for vehicular navigation in urban area.

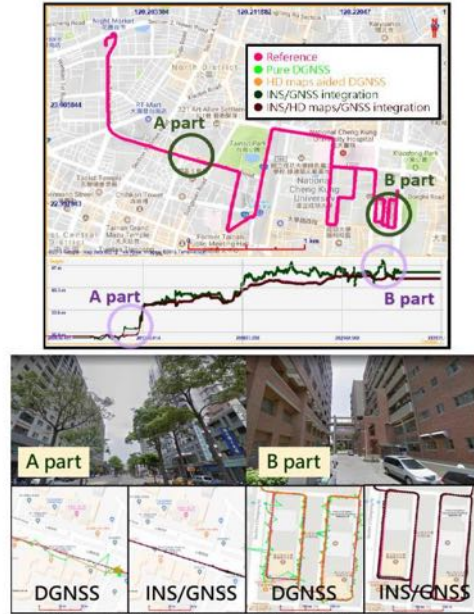


Figure 17. Navigation results in GNSS-hostile urban environments

4. CONCLUSION

Since the position of the user is prerequisite for ITS applications, the accurate vehicular navigation attracts much attention. To achieve the goal of ADAS driving, it is necessary to reduce the effect of multipath interference and NLOS reception in GNSS-hostile urban environments for apposite navigation performance. This research contributes to the HD maps aided GNSS to show advantages of new maps application in vehicular navigation process. The GNSS optimization scheme is developed to reduce the contaminated GNSS measurements from signal shielding and reflection and provide the reliable height constraint process, then the INS/GNSS integration process can provide the continuous and seamless navigation results. The result indicates that in dense urban area, the performance of HD maps aided automotive-grade code

INS/GNSS integrated kinematic positioning is about 38.8% improvement compared to the pure INS/GNSS integration process, especially in vertical components. The accuracy in horizontal direction is 1.48 meters in terms of RMSE, while the accuracy in vertical direction is better than sub-meter level. For the future work, the carrier phase smoothing for GNSS and odometer collections for the integration process can be applied to promote overall navigation performances. The goal of this research is to provide a starting point regarding future HD maps aided navigation process. HD maps aided INS/GNSS integration scheme can make vehicular navigation more robust and feasible in GNSS-hostile urban area. Widely established HD maps will provide effective spatial assistance information, which can contribute to the realization of a system that supports the navigation requirements of ITS services with a high degree of accuracy and availability in different operational environments.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to sincerely appreciate Allystar Technology for providing the automotive-grade GNSS receiver applied in this research and the HD maps provided by the Ministry of Interior, Executive Yuan in Taiwan.

REFERENCES

- Clausen, P., Gilliéron, P. Y., Perakis, H., Gikas, V., & Spyropoulou, I., 2015. Positioning accuracy of vehicle trajectories for road applications. In *Proceedings of the 22nd ITS World Congress*.
- Stephenson, S., Meng, X., Moore, T., Baxendale, A. and Ford, T., 2011. Accuracy requirements and benchmarking position solutions for intelligent transportation location-based services. *Proceedings of the 5th International Symposium on Location-Based Services*.
- Feng, Yanming, Wang, Charles, Karl, Charles, 2018. Determination of Required Positioning Integrity Parameters for Design of Vehicle Safety Applications. *Proceedings of the 2018 International Technical Meeting of The Institute of Navigation, Reston, Virginia*, pp. 129-141.
- National Highway Traffic Safety Administration. <https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/automated-vehicles-safety>
- Kaplan, E., Hegarty, C., 2005. *Understanding GPS: principles and applications*, Artech house.
- Hsu, Li-Ta, 2018. Solutions of GNSS Multipath Effect and NLOS Reception.
- Groves, P. D., 2013. GNSS solutions: Multipath vs. NLOS signals. How does Non-Line-of-Sight reception differ from multipath interference? *Inside GNSS Magazine*, 8(6), 40-42.
- Groves, P. D., Jiang, Z., Rudi, M., & Strode, P., 2013. A portfolio approach to NLOS and multipath mitigation in dense urban area, *The Institute of Navigation*.
- Brefler, J., Reisdorf, P., Obst, M., & Wanielik, G., 2016. GNSS positioning in non-line-of-sight context—A survey, *Intelligent Transportation Systems (ITSC), IEEE*, pp. 1147-1154.
- Jiang, Z., & Groves, P. D., 2012. GNSS NLOS and multipath error mitigation using advanced multi-constellation consistency checking with height aiding.
- Quddus, M. A., Ochieng, W. Y., & Noland, R. B., 2007. Current map-matching algorithms for transport applications: State-of-the art and future research directions, *Transportation research part c: Emerging technologies*, 15(5), 312-328.
- Seif, H. G. & Hu, X., 2016. Autonomous driving in the iCity—HD maps as a key challenge of the automotive industry, *Engineering*, 2.2: 159-162.
- Harsha V., 2017. HD maps: New age maps powering autonomous vehicles, *Geospaial world*.
- Hsu, L. T., Gu, Y., & Kamijo, S., 2016. 3D building model-based pedestrian positioning method using GPS/GLONASS/QZSS and its reliability calculation, *GPS solutions*, 20(3), 413-428.
- Groves, P. D., Adjrad, Mounir, 2018. Multi-Epoch 3D Mapping Aided GNSS using a Grid Filter, *Proceedings of the 31st International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS+ 2018)*, Miami, Florida, pp. 3335-3356.
- Shin, E. H., 2005. Estimation techniques for low-cost inertial navigation, *UCGE report 20219*.
- Groves, P. D., 2013. *Principles of GNSS, inertial, and multisensor integrated navigation systems*. Artech house.

高精地圖製圖作業指引

林政安¹ 李育華² 江凱偉³ 郭重言⁴ 王驥魁⁵ 李佩玲⁶ 王靚琇⁷ 黃鉅富⁸ 吳俊毅⁹

摘要

隨著智慧型運輸系統的發展，自駕車將成為未來全新的交通方式，根據國際汽車工程師學會提出的相關分類方法，將自駕車系統分成六個層級(Level 0-5)，現行導入先進駕駛輔助系統(Advanced Driver Assistance Systems, ADAS)的市售車輛為第二級(Level 2)，而完全不需人為操控的全自動駕駛為第四級(Level 4)以上。

依先進駕駛車輛安全研究指出，獲取車輛在道路上的精確位置資訊是首要核心技术，須將車輛導航精度提升至次公尺級以上。由於衛星定位技術於都市地區容易受限遮蔽或反射訊號的影響，無法準確將自駕車定位於車道內，基於安全及硬體成本考量，除了整合相機、光達、全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)、慣性導航系統(Inertial Navigation System, INS)等感測元件，使用具備車輛導航資訊之高精地圖(High Definition Map, HD Map)，亦稱之為自駕車用地圖，提供可靠之環境先驗資訊已是自動駕駛技術運行的重要關鍵。

因此，本指引考量國內外既有製圖技術及高精地圖精度需求，針對專業化車載行動測繪系統(Mobile Mapping System, MMS)搭載光達之圖資蒐集作業平台，提供產製高精地圖之系統平台要求硬體規格，與測繪任務執行前、測繪任務執行當下、後續內業任務之作業程序流程及檢核評估等原則性參考實施措施。

適用範圍

本指引為使用車載行動測繪系統進行高精地圖之資料蒐集、製作、品管及驗證作業程序(如測繪產業)，適用之高精地圖供應鏈架構範圍如圖1虛線框列所示。目的在於確保產製的高精地圖具備平面20公分與三維30公分之精度[1][2]。

關鍵字：高精地圖、製圖作業指引、自駕車、MMS。

¹國立成功大學測量及空間資訊學系 博士候選人

²國立成功大學測量及空間資訊學系 博士候選人

³國立成功大學測量及空間資訊學系 教授

⁴國立成功大學測量及空間資訊學系 教授

⁵國立成功大學測量及空間資訊學系 教授

⁶國立成功大學測量及空間資訊學系 研究員

⁷中華民國內政部地政司 司長

⁸中華民國內政部地政司測量科 科長

⁹中華民國內政部地政司測量科 科員



圖1. 高精地圖供應鏈架構

製圖作業之硬體規格建議

根據產製高精地圖的精度要求及實施作業環境，規格要求如表1；建議之慣性測量儀等級規格與地面控制點輔助密度如表2；慣性測量儀等級分類如表3；點雲密度等級分類如表4。

表1. 高精地圖製圖作業之車載行動測繪系統規格要求

實施即時動態定位技術之移動站及地面控制主站之衛星接收機規格		需為測量級多星系多頻接收機，至少支援雙星系雙頻載波相位接收
慣性測量儀	等級	參考表 2
	陀螺儀漂移穩定性	
	加速度計漂移穩定性	
慣性測量儀、衛星接收機、光達及相機規格驗證		必要
慣性測量儀採樣頻率		> 100 Hz
無衛星訊號脫落且無輪速計輔助之定位定向精度(1σ)	水平定位精度	< 3 公分
	垂直定位精度	< 5 公分
	俯仰角定向精度	< 0.002 度
	航向角定向精度	< 0.005 度
搭配輪速計之水平定位精度(無 GNSS 訊號)		< 0.05%DT (系統精度行走漂移率)
點雲密度		至少符合表 4 之第二級點雲密度要求
地面控制點輔助		參考表 2
零速更新實施頻率	GNSS 訊號品質良好區域	原則每 10 分鐘實施 1 分鐘
	GNSS 訊號失鎖或品質不佳區域	原則每 2 分鐘實施 1 分鐘

表2. 建議之慣性測量儀等級規格與配合地面控制點輔助密度

規格	陀螺漂移與加速度計漂移	建議地面控制點輔助間隔
導航等級 INS	<ul style="list-style-type: none"> ● 陀螺漂移穩定性：0.01-0.001 度/小時 ● 加速度計漂移穩定性：50-100μg 	每 500 公尺
高階戰術等級 INS	<ul style="list-style-type: none"> ● 陀螺漂移穩定性：1-0.1 度/小時 ● 加速度計漂移穩定性：100-300μg 	每 300 公尺
中階戰術等級 INS	<ul style="list-style-type: none"> ● 陀螺漂移穩定性：10-1 度/小時 ● 加速度計漂移穩定性：300-1000μg 	每 100 公尺
其他等級	<ul style="list-style-type: none"> ● 陀螺漂移穩定性：>1 度/小時 ● 加速度計漂移穩定性：>2mg 	每 30 公尺

表3. 慣性測量儀等級分類[3][4]

效能	戰略等級 INS	導航等級 INS	戰術等級 INS	微機電等級 IMU
定位誤差 (純慣性導航模式)	<30 公尺/小時	2-4 公里/小時	20-40 公里/小時	50-500 公尺/分鐘
陀螺漂移 (度/小時)	0.0001	0.01-0.001	0.1-10	10-3600
加速度漂移	1 μ g	50-100 μ g	100-1000 μ g	0.1-0.5g

表4. 點雲密度等級分類

點雲密度等級	應用場景 (三維定位精度)	點雲密度值 (pt/m ²)
第一級	主動控制(Active Control) (0.1 公尺)	2500-10000
第二級	車道內(Where in Lane) (0.5 公尺)	400-2500
第三級	車道級(Which Lane) (1.5 公尺)	100-400

高精地圖作業程序及檢核機制

利用MMS產製高精地圖的作業程序如圖2所示，各子項內容之注意事項與實施措施都於本指引中說明，而針對定位定向成果與直接地理定位成果之自我檢核如圖3所示。



圖2. 高精地圖製圖作業流程

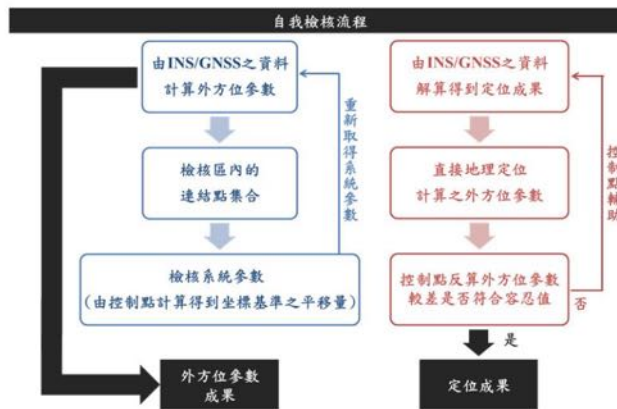


圖3. MMS自我檢核機制

參考文獻

- [1] Dynamic Map (2017). An Introduction to Dynamic Map Platform Co., Ltd. SIP-adus Workshop 2017.
- [2] Farrell, J. A., Todd, M., & Barth, M. (2016). *Best practices for surveying and mapping roadways and intersections for connected vehicle applications*.
- [3] El-Sheimy, N. (1996). *The development of VISAT: a mobile survey system for GIS applications*. University of Calgary.
- [4] Titterton, D., Weston, J. L., & Weston, J. (2004). *Strapdown inertial navigation technology* (Vol. 17). IET.

致謝

本指引承蒙內政部108年度自駕車用地圖標準及移動測繪技術發展工作案之資助下完成，特此感謝。

台灣自駕車用高精地圖檢核

Quality Control of Taiwan Autonomous Car used HD-MAP

江凱偉¹ 王驥魁² 郭重言³ 林敬翔⁴ 李佩玲⁵ 王靚琇⁶ 黃鉅富⁷ 吳俊毅⁸

Kai-Wei Chiang Chi-Kuei Wang Chung-Yen Kuo Ching-Hsiang Lin Pei-Ling Li

Jing-Shiou Wang Ju-Fu Huang Jyun-Yi Wu

摘要

國際汽車工程師學會(Society of Automotive Engineers International) 將自駕車系統分成六個層級(Level 0-5), 無須人為操控的全自動駕駛為第四級(Level 4)以上。為達到第四級以上的安全功能, 獲取車輛行駛的精確位置是相當重要, 因此需要使用擁有豐富道路資訊的高精地圖用於輔助精確導航。因此, 如何嚴格的檢核高精地圖之特徵區塊, 確保向量物件絕對位置精度達平面精度20cm、三維精度30cm, 極為重要。本文以台中水滴、台南沙崙自駕車試驗場為例, 說明高精地圖成果檢核之方式。台中水滴自駕車試驗場主要經由林蔭大道全長2.5km, 台南沙崙自駕車試驗場則為總長200m, 寬100m之封閉自駕車試驗場域。檢核方式主要分為控制測量、點雲密度以及向量圖層檢核。控制測量分為控制點與檢核點, 控制點須達平面精度10cm, 高程精度10cm。而檢核點則是平面精度須小於20公分, 三維精度須小於30公分。點雲密度依照不同精度需求, 以主動控制精度(0.1m)為例, 需達到每平方公尺2500-10000點。

關鍵詞：高精地圖、自駕車、圖資檢核

Abstract

According to the Society of Automotive Engineers International (SAE), the intelligence level and the automation capabilities are divided by 6 levels ranking from 0 to 5. The full automatically driving without human manipulations requires at least level 4 or higher. HD-MAP which is rich in the lane information is helpful for accurate navigation. Therefore, the way to conduct Quality Control (QC) is important to make

¹ 國立成功大學測量及空間資訊學系 教授

² 國立成功大學測量及空間資訊學系 教授

³ 國立成功大學測量及空間資訊學系 教授

⁴ 國立成功大學測量及空間資訊學系 碩士

⁵ 國立成功大學測量及空間資訊學系 研究員

⁶ 中華民國內政部地政司 司長

⁷ 中華民國內政部地政司測量科 科長

⁸ 中華民國內政部地政司測量科 科員

sure the accuracy requirement for HD-MAP of 20cm in 2D and 30cm in 3D is fulfilled. In this paper, the method of QC processes of creating HD-MAP in Shuinan, Taichung and Shalun, Tainan is introduced. The experiment field of autonomous car in Shuinan, Taichung is 2.5km mileage in total, while there is the other experiment field with the length of 200m and the width of 100m which is locate in Shalun, Tainan. The specification of the QC includes control survey, point density and the shape files of the HD-MAP. Control survey includes the control points and the check points. The accuracy of 10cm in 2D and 10cm of the height are required for control points, while the check points demand the accuracy of 20cm in 2D and 30cm in 3D. The requirement of the point density depends on the accuracy demands. For example, 2500-10000 points/m² is needed for the active control with 0.1m positioning accuracy.

Keyword: HD-MAP, Autonomous Car, QC

自駕車用地圖標準之制訂

洪榮宏¹ 楊錦松² 王靚琇³ 黃鉅富⁴ 吳俊毅⁵

摘要

工業化時代的發展造就每年均會有上千萬的車輛出廠與買賣，雖然帶來許多民生便利，但也無可避免衍生交通方面的負面影響，尤其以駕駛及乘客的安全問題最為嚴重。根據聯合國統計，每年有五千多萬人在車禍中受傷，其中大多是人為所致，有鑑於此，眾多廠牌的汽車系統開始導入先進駕駛輔助系統(Advanced Driver Assistance Systems, ADAS)，提供駕駛者有關車輛的工作情形與外部環境變化等資訊，進而輔助駕駛者本身判斷周遭情況，同時藉由預先發出危險狀況的警告智能，讓駕駛者及早反應，從而採取相對的因應措施。基於智慧型無人載具的興起，發展自駕車技術的同時須具備自駕車用地圖，亦可稱之為高精地圖，以此作為圖資基底才能夠確保自駕車運行於正確的路徑上。

我國目前針對自駕車用地圖及其相關建置規範尚未明確訂定，為了開拓測繪及自駕車產業之發展，行政院科技會報指定內政部地政司為自駕車用地圖之主管機關，統籌規劃自駕車用地圖規格制訂、製作程序與成果檢核等相關項目。為此，內政部地政司規劃「108年度自駕車用地圖標準及移動測繪技術發展工作案」，期望建立國家層級之自駕車用地圖標準與指引，提升圖資產製效率及正確性，確保自駕車產業可以安全無虞的製作、使用高精地圖。本文為「108年度自駕車用地圖標準及移動測繪技術發展工作案」之部分成果，標準之名稱及內容以最後公布版為準，特此誌謝。

關鍵字：自駕車用地圖、高精地圖、自駕車、移動測繪、慣性導航。

一、前言

自駕車提供先進駕駛輔助系統，確保能正確且安全的行駛於規劃之路徑，無論是靜態的地圖資料，包括車道、交通號誌、道路的幾何關係，以及動態的資訊，包括自駕車定位，感測器感測的行人及其他物體的動態資料，甚至是即時的交通資訊，都需要納入到先進駕駛輔助系統，從而滿足安全駕駛的最終目的。此種全新型態的地圖，國際相關組織稱為高精地圖(High Definition Maps, HD Maps)，其維度、內容、精度等內涵均與傳統二維電子地圖有所不同，原有的二維傳統圖資內容已不能滿足其應用需求。自駕車先進駕駛輔助系統實際上涵蓋靜態地圖及各類動態資訊，且必須具備相當之精度等級，遠比現有國家層級的基本圖及電子地圖複雜，然而國內對於自駕車用地圖的圖資內容、繪製方法、數據通用性、互操作性、維護更

¹成功大學測量及空間資訊學系 教授

²成功大學測量及空間資訊學系 博士生

³中華民國內政部地政司 司長

⁴中華民國內政部地政司測量科 科長

⁵中華民國內政部地政司測量科 科員

新等各層面之議題，尚未具有共同標準及應用策略，使得彼此間的資料及介面無法轉換共用及介接，急需建立共同的資料標準及各類可互相串連的應用程式介面 (Application Programming Interface, API) 標準來解決。因此，為了加速自駕車產業的發展，建立高精度的靜態自駕車用地圖標準，以達成以下目標：

- 明確規定自駕車須納入的靜態地圖內容，使得測繪廠商可以據以生產並更新維護此標準所定義的圖資。
- 使得國內自駕車相關應用領域具有標準地圖內容，廠商可以開發程式進行資料轉換，進而於自駕車產業內進行圖資流通交換。
- 不僅參考遵循國際相關規格或標準，並同時兼顧適地性之法規，引用國內交通法規之標線標誌號誌，使得圖資內容可獲得產業支持。
- 靜態地圖標準為先進輔助駕駛系統之基礎，後續再配合各類感測器資訊及即時交通資訊等動態資訊之後，可與車聯網等新興技術高度結合，進而加快自駕車應用產業的發展。

二、遵循標準

國際間已有許多自駕車用地圖之相關標準，以解決自駕車用地圖的圖資內容、繪製方法、數據通用性、兼容性之差異問題。由VIRES公司所主導之OpenDRIVE開放資料格式已為許多自駕車地圖廠商所採用，OpenDRIVE是公開且適用於自駕車用地圖的交換標準，目前已交由ASAM(Association for Standardization of Automation and Measuring Systems)管理發展，其主要內容為透過XML Schema定義道路之車道、車道標線、道路設施及交通號誌之相關內容，使得不同車廠之間之圖資傳輸具有共同規格。

OpenDRIVE將道路切分成許多路段，每一個道路以road之XML元素記錄。道路中心線是OpenDRIVE的核心架構，每一條道路使用二維空間的向量表現出道路中心線的位置，再配合道路高度，而具有三維空間坐標。此道路中心線在OpenDRIVE內稱為參考線(reference line)。由此參考線往左右兩側，分別依序推算出車道的空間位置(外圍邊界)而構成車道，再加上車道標線，成為OpenDRIVE對車道資料的核心架構。在特徵物部分，OpenDRIVE則包含了停車空間、隧道及橋樑。依據OpenDRIVE 1.5之架構，其UML主要資料架構如圖1.所示。

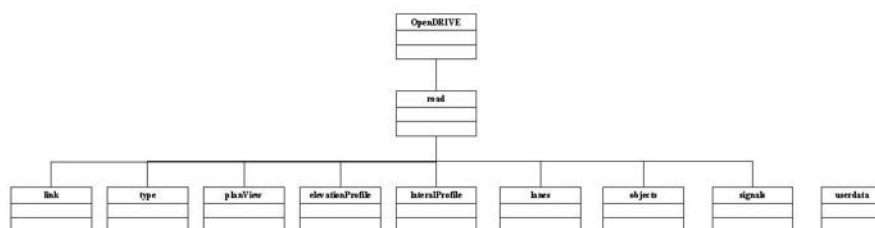


圖1. OpenDRIVE 1.5主要資料架構

三、應用綱要

本文遵循OpenDRIVE 1.5之標準，建立自駕車用地圖標準的高精度靜態地圖的圖徵及屬性。以下分別說明具重要性之圖徵類別：

(一) 道路路段、參考線、車道、路面邊緣：

道路可切分為許多道路路段，每一道路路段以一個或多個前後相連的參考線(reference line)為核心，記錄道路路段內的各種圖徵。路面邊緣為道路路面之邊緣，指柏油路面之邊緣，若是有緣石的道路，以緣石外側視為路面邊緣。道路路面可繪製車道線，車道線為交通部所定義之標線，具有寬度、顏色及樣式，以不同顏色及樣式繪製為不同之標線。示意圖如圖2所示。

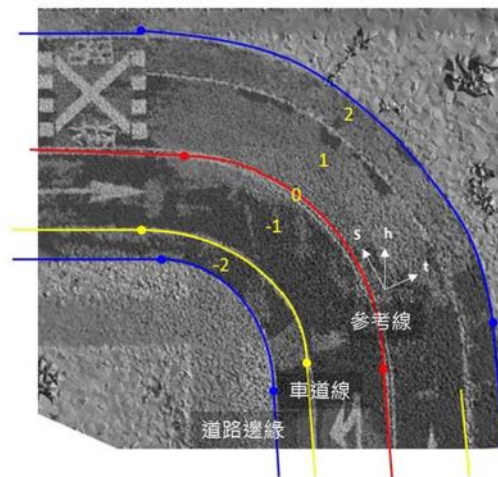


圖2. 參考線、車道線及路面邊緣

道路路段在車道性質改變、車道數量變化、交叉路口及停止線，皆須切割劃分，使道路成為不同的道路路段。

(二) 車道：

一個道路路段可記錄多個車道段(laneSection)，一個車道段內的車道(lane)，各具有編號，並以center、left、right區分。center車道之id為0，以s方向為前方，t方向則為left車道，由1依次推算。與t反方向為right車道，由-1依次推算。由參考線記錄車道編號及車道寬度(width)，則可依次推算出各車道的車道線，配合記錄車道高度資訊，形成車道的三維空間。車道寬度在OpenDRIVE是以三階多項式函數a、b、c、d表現車道寬度，為考量後續之需求，自駕車用地圖標準目前以符合OpenDRIVE標準之方式保留直接坐標記錄的彈性。

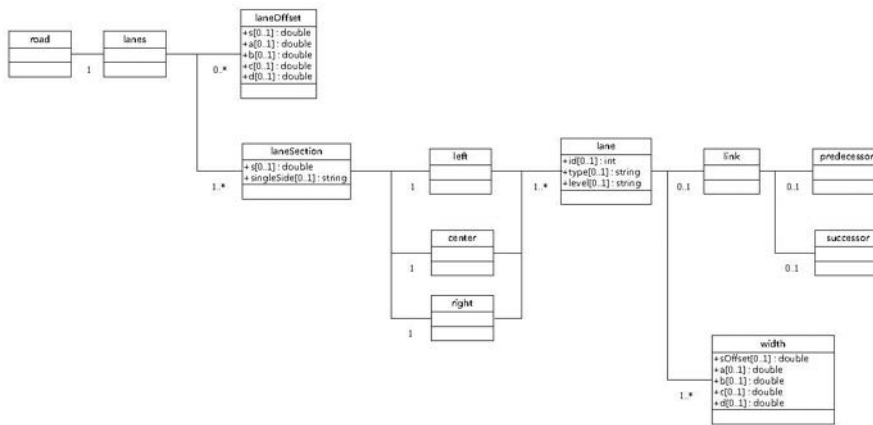


圖3. 參考線與車道之架構

(三) 車道中心線與車道中心線節點：

車道中心線是具有方向性的三維空間線，具有起始節點及結束節點，是一虛擬線，在道路測繪時以車道兩側的車道線取中心線。車道中心線記錄內容尚包括道路路面材質、速限、寬度、高度等各種屬性，並記錄起始節點、結束節點。車道中心線節點則記錄三維點坐標及識別碼。

(四) 標線、標誌、號誌、路燈、物體：

道路上所有標線、標誌、號誌，可對應至以OpenDRIVE之object、signal之部分，以object、signal類別進行記錄。另本標準擴充其他類別用以記錄OpenDRIVE不足之部分，以表現複雜標線及具桿柱之物體及號誌標誌意涵。每一標線、標誌、號誌皆依據交通部「道路交通標誌標線號誌設置規則」之內容給予一個代碼。

(五) 隧道、橋梁：

車道中心線是具有方向性的三維空間線，具有起始節點及結束節點，是一虛擬線，在道路測繪時以車道兩側的車道線取中心線。車道中心線記錄內容尚包括道路路面材質

四、結論

自駕車用地圖標準可提供自駕車用地圖靜態地圖之圖徵及屬性，使得標準所規定之地圖內容可使用於不同車廠所生產的自駕車，奠定我國自駕車產業之地圖生產及應用發展之基礎。有鑑於OpenDRIVE可能不完全適用於我國高度混流交通文化，因此在制定適用於我國自駕車用地圖標準時，參照我國交通部的道路交通標誌標線號誌設置規則，在符合OpenDRIVE 1.5標準之前提下，適當擴充類別，並定義資料項目及代碼，以符合我國適地性之應用需求。

高精地圖產置之點雲車道標線萃取評估

The Assessment of Lane Boundary Extraction for HD Maps

曾芷晴¹ 蔡光哲² 江凱偉³ 王靚琇⁴ 黃鉅富⁵ 吳俊毅⁶

Jhih-Cing Zeng Guang-Je Tsai Kai-Wei Chiang

Jing-Shiou Wang Ju-Fu Huang Jyun-Yi Wu

摘要

近年來自動駕駛技術持續穩定發展，並深受國內外業界與學界重視，而高精地圖在自動駕駛技術發展上扮演不可或缺的角色，即便機器擁有遠優於人腦的計算能力與效率，仍需經過一連串複雜的計算處理才能回應當下環境的刺激，因此必須為自駕車量身打造一套新的地圖，即為高精地圖。高精地圖不僅能提供豐富的三維環境空間資訊，也能在導航過程中提供先驗資訊，自駕車本身的位置與道路屬性，如車道邊界、交通號誌、道路幾何關係，都須被精確定義，因此高精地圖為自動駕駛技術提供額外的輔助資訊。一般而言，自駕車或測繪車上會搭載許多感測器，如光達、相機，以掃描周遭的環境同時獲取資料，本研究使用移動式測繪系統所擷取的資料建置高精地圖中的靜態地圖，並針對光達點雲資料進行後處理，點雲資料為沙崙自駕車測試場，利用點雲後處理演算法萃取控車所需的道路環境特徵，本研究著重於車道標線的萃取，以建置高精地圖。為了降低資料處理所花費的運算時間並得到較好的成果，本研究對點雲資料進行雜訊過濾之前處理程序，並將道路點雲資料體素化(voxelization)，依據道路與車道標線幾何以及點雲的回波特性，萃取車道標線，最後對萃取成果進行演算法的可行性分析與評估。

關鍵詞：自動駕駛、高精地圖、點雲、車道標線

¹ 國立成功大學測量及空間資訊學系 碩士生

² 國立成功大學測量及空間資訊學系 博士生

³ 國立成功大學測量及空間資訊學系 教授

⁴ 中華民國內政部地政司 司長

⁵ 中華民國內政部地政司測量科 科長

⁶ 中華民國內政部地政司測量科 科員

Abstract

In recent years, autonomous driving techniques have steadily developed and attracted numerous interests from industry and academia. High definition maps (HD Maps) play an indispensable role in autonomous driving. Although robots have advantages on computation ability and efficiency, they still require a series of complicated processing to respond to different traffic scenarios. It is essential to build exclusive maps, which mean HD Maps, for autonomous vehicle. HD Maps not only provide numerous geospatial information in three-dimensional environment but also supply the prior information for navigation applications. The position of autonomous vehicle and road attributions, such as lane boundary, traffic sign, road geometry, need to be accurately defined in HD Maps. Therefore, HD Maps can offer extra environmental assisted information for autonomous driving techniques. Generally, there are many sensors, such as LiDAR and camera, mounted on the autonomous vehicles or mobile mapping vehicles to scan the surrounding environment and collect data. This paper proposes to build the static maps of HD Maps by using point clouds data collected by high accurate mobile mapping system (MMS). The experimental area is located at Taiwan autonomous vehicle proving ground. In this paper, we only focus on point cloud processing. This paper conducts point cloud post-processing to extract the basic road elements for autonomous vehicle control, such as lane boundary, to build the HD Maps. In addition, the whole processing is implemented by C++ with Point Cloud Library (PCL). In order to reduce the computational time and improve the final results, we pre-process the point clouds to remove the outliers to avoid noise interference. To extract the lane boundary, this paper voxelizes the point clouds and select the candidate lane boundary based on the geometry of road and lane boundary and the character of echoes in LiDAR. Finally, the detailed analysis is given to assess the availability of proposed methods.

Keyword: autonomous driving, HD Maps, point cloud, lane boundary

基於深度類神經網路之室內定位

Indoor Positioning Based on Deep Neural Networks

邱靜梅¹ 呂學展² 王靚琇³ 黃鉅富⁴ 吳俊毅⁵

Jing-Mei Ciou Hsueh-Chan Lu Jing-Shiou Wang Ju-Fu Huang Jyun-Yi Wu

摘要

隨著測量及空間資訊技術的快速發展，與定位有關之研究與應用越發受到人們的重視。在室外環境中，人們可藉由全球衛星定位系統便利地、快速地取得定位服務。在室內環境時，過去常用基於航位推算與無線訊號的定位方式，但是會面臨累積誤差與訊號干擾等問題，其定位問題仍有很大的改進空間。因此本研究思考另一方向，使用影像去實現定位服務，其主要概念先建立室內場域影像之模型與其座標資訊，透過影像特徵值匹配判斷自身的位置。本研究提出基於深度類神經網路的影像定位技術，卷積神經網路能夠感知影像的局部區域，發現其中高分辨率的局部特徵，並以此特徵構成人類視覺的基礎，成為提高定位識別率的有效手段。我們基於 PoseNet 之架構，使用 23 層卷積神經網路架構，在訓練階段前，設置不同尺寸的輸入影像，訓練端到端的位置識別任務，推算相機的三維位置向量。實驗數據採用故宮南院之場域，本團隊將分析與探討不同影像尺寸對於影像定位的誤差，其初步實驗成果顯示本團隊設計的新方法能夠有效提升約三成的室內定位精度。

關鍵字: 室內定位、影像定位、卷積神經網路

Abstract

With the rapid development of surveying and spatial information technologies, more and more attentions have been paid to the research and application of positioning. In outdoor environments, people can easily and quickly obtain positioning services through the Global Positioning System (GPS). In indoor environments, the positioning method based on dead reckoning and wireless signals was commonly used in the past, but it will face the problems of cumulative error and signal interference. There is still much space for improvement in positioning problems. Therefore, this research thinks about another idea using images to achieve positioning services. The main concept is to establish the model of indoor field image and its coordinate information, and to judge its position by

¹ 國立成功大學測量及空間資訊學系 碩士生

² 國立成功大學測量及空間資訊學系 副教授

³ 中華民國內政部地政司 司長

⁴ 中華民國內政部地政司測量科 科長

⁵ 中華民國內政部地政司測量科 科員

image eigenvalue matching. This research proposes a deep neural network based image registration technology. Convolutional Neural Network (CNN) can perceive local areas of images and find high-resolution local features, which form the basis of human vision and become an effective means to improve the recognition rate of positioning. Based on the architecture of PoseNet, we use a 23-layer convolutional neural network to set different sizes of input images before the training stage, train end-to-end location identification tasks, and regress the three-dimensional position vector of the camera. The experimental data are from the field of the Southern Branch of the National Palace Museum. We will analyze and discuss the errors of different image sizes in image registration. The preliminary experimental results show that the new method designed by our team can effectively improve the accuracy of indoor positioning by about 30%.

Key words: Indoor positioning, Image registration, Convolutional neural network

類神經網路輔助影像室內定位

Indoor positioning based-on image aided by Artificial Neural Networks

洪漢芹¹ 廖振凱² 江凱偉³ 王靚琇⁴ 黃鉅富⁵ 吳俊毅⁶

Mei-Chin Hung Jhen-Kai Liao Kai-Wei Chiang

Jing-Shiou Wang Ju-Fu Huang Jyun-Yi Wu

摘要

近年來，隨著適地性服務(Location-Based Service, LBS)之重要性以及智慧型手機普及率的提升，透過手機裝置實踐室內導航日趨流行。慣性導航領域中，常使用行人航位推算法(Pedestrian Dead Reckoning, PDR)透過慣性感測器解決室內GNSS訊號接收不穩定的狀況，該演算法隨時間累積誤差的缺點，在考量外部成本以及室內定位精度之需求，本研究採用影像光線交會幾何原理協助使用者位置之更新。

基於手機內嵌式感測器進行影像定位演算法預先利用室內移動製圖系統先行產製具備絕對座標的高精度圖資，透過影像辨識演算法獲取標誌位於影像中之位置，影像匹配完成即可得到標誌於物空間之座標，接續透過階層關聯式神經網路(Cascade Correlation neural Networks, CCNs)以影像中標誌變形量推估使用者與標誌間距離，利用其自行調整結構參數之架構特性進行學習。同時獲取三個以上的標誌物空間座標結合利用CCNs推估出使用者與標誌間的距離，透過三邊定位即可計算出使用者位置，本研究方法整體平面定位精度約為0.5公尺，後續預期結合PDR可望推出更完善的室內定位導航系統。

關鍵詞：適地性服務、行人航位推算法、階層關聯式神經網路、三邊定位

¹ 國立成功大學測量及空間資訊學系 碩士生

² 國立成功大學測量及空間資訊學系 博士

³ 國立成功大學測量及空間資訊學系 教授

⁴ 中華民國內政部地政司 司長

⁵ 中華民國內政部地政司測量科 科長

⁶ 中華民國內政部地政司測量科 科員

Abstract

Recently, with the increasing of Location-Based Service (LBS) and smartphone's popularity rate, using a smartphone to apply indoor navigation becomes more and more popular. In the field of inertial navigation, Pedestrian Dead Reckoning (PDR) is the most common algorithm to do indoor positioning, which can deal with the situation of the GNSS signal unstable. Because of the shortcoming, the error accumulated with time, considering the cost and the necessity of the indoor positioning accuracy, this study utilizes the image based algorithm to aid updating user's position.

The image-based algorithm employs an indoor mobile mapping system to generate a high accuracy floor plan in advance. Worth to mention that, the self-designed marker pasted up the wall will be scanned to get the object space coordinated at the same time. Through the image processing algorithm, we can obtain the place of the marker in image. After that, the self-designed marker is matched with the database constructed previously to get the coordinate in object space. Then, this study proposes that utilizing Cascade Correlation neural Networks (CCNs) to estimate the distance between the camera and the self-designed marker. One of the main advantages of using this kind of neural network is that the unique algorithm can adjust the architecture of the network. That is the user doesn't need to set the number of the neurons or the layers. In other words, this kind of neural networks not only can help the user to save time but also if the data become larger, this neural network can grow up to a suitable one automatically. As soon as at least three markers' coordinates and the distances can be obtained, the location of the user can be calculated by the trilateration method. The position accuracy can achieve 0.5 meters in this study. In the future, combining PDR with image-based positioning method is expected to release a more complete indoor navigation system.

Keyword: LBS, PDR, CCNs, trilateration

低功耗藍牙差分系統與行人航位推算於 室內定位應用之研究

Improved Indoor Positioning Using BLE Differential Distance Correction and Pedestrian Dead Reckoning

湯雅瑋¹ 郭昫慈² 廖振凱³ 江凱偉⁴ 王靚琇⁵ 黃鉅富⁶ 吳俊毅⁷

Ya-Tang Tang Yun-Tzu Kuo Jhen-Kai Liao Kai-Wei Chiang

Jing-Shiou Wang Ju-Fu Huang Jyun-Yi Wu

摘要

隨著科技進步，取代以往傳統地圖，使用全球導航系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)進行室外定位已是日常生活的一部份，人們對於室內定位的需求也開始逐漸增加，但礙於室內環境遮蔽，必須使用其他無線訊號替代GNSS訊號；考量低功耗藍牙(Bluetooth Low Energy, BLE)省電、低成本的優點，將藍牙裝置(Beacon)所發送之接收訊號強度(Received Signal Strength Indicator, RSSI)轉換為估計距離，再進行三邊交會(Trilateration)得到定位解是一種常用的方法。而RSSI值會受到環境因子影響，導致轉換距離及後續定位成果不佳，因此引入類似差分全球定位系統(Differential Global Navigation Satellite System, DGNSS)的方法來實作差分距離校正(Differential Distance Correction, DDC)，以期獲得更為精準的定位解。除了無線訊號外，亦可使用行人航位推算(Pedestrian Dead Reckoning, PDR)來進行室內定位，PDR是以感測器資料基於前一時刻位置推算下一時刻位置的定位方法，當行走距離越長，誤差會隨著時間累積越大。藍牙差分定位及行人航位推算各有其優缺點，前者和時間無關，長期來說可得到較好的結果，但訊號易受環境影響，且取樣頻率低；後者雖會隨著時間累積誤差，但短期內可以得到不錯的成果，也不受訊號影響。故本研究提出使用藍牙差分定位解更新PDR定位解，結合兩種方法將能大幅降低訊號因環境影響、或感測器隨時間累積誤差之問題，進而推求出更佳之室內定位解，其提升率在29%到66%之間。

關鍵詞：室內定位、低功耗藍牙、差分距離校正、行人航位推算

¹ 國立成功大學測量及空間資訊學系 碩士生

² 國立成功大學測量及空間資訊學系 碩士

³ 國立成功大學測量及空間資訊學系 博士

⁴ 國立成功大學測量及空間資訊學系 教授

⁵ 中華民國內政部地政司 司長

⁶ 中華民國內政部地政司測量科 科長

⁷ 中華民國內政部地政司測量科 科員

Abstract

Recently, indoor positioning becomes a popular issue because of its corresponding location-aware applications. Owing to the limits of the sheltered signal the satellite positioning process in indoor environments, the alternative scheme is Bluetooth Low Energy (BLE) technology. BLE device broadcasts the Received Signal Strength Indicator (RSSI) for distance estimation and further positioning. However, in a complex indoor environment, the reflection, fading and multipath effect of BLE make the variable RSSI and may lead to poor quality of RSSI. In this study, the proposed concept called Differential Distance Correction (DDC) is similar to the Differential Global Navigation Satellite System (DGNSS). This method can eliminate some residuals and further improve the results with corrected distance. On the other hand, Pedestrian Dead Reckoning (PDR) is another common indoor positioning method. PDR can propagate the next position from the current position by the implemented of inertial sensors. Despite that, the error of inertial sensors would accumulate with time and walking distance, which position update is required for restraining the drift. Accordingly, the two indoor positioning methods have their strong and weak point. BLE-based positioning is an absolute positioning, which obtains higher positions in the long term and is time-independent. However, the variation of the signal is a significant defect. As for PDR, it is a relative positioning, of which error accumulates over time, but it's self-contained because of no signal interfered. This study proposes a concept that combines the two methods. The pedestrian receives the RSSI and records the information from inertial sensors simultaneously. Once the pedestrian stops, the current position of the pedestrian would be updated using BLE with DDC, which would change the next position because of the propagating behaviour of PDR. Through the complementary of two methods, the positioning results would be improved from 29% to 66% according to different travelled distance.

Keyword: indoor positioning, BLE, differential distance correction (DDC), PDR

發展地籍測量移動製圖技術

王翊銘¹ 林冠穎² 曾義星³ 江凱偉⁴ 王靚琇⁵ 黃鉅富⁶ 吳俊毅⁷

摘要

前言

地籍測量作業是一種調查和測定地籍要素、建置地籍圖及管理地籍系統之技術，其主要業務為地籍圖重測及土地複丈。目前地籍測量作業之主要施測方法多仰賴衛星定位測量及導線測量以完成控制測量，再透過全測站儀實施界址點位測定。現時之地籍測量作業成果已能產製界址點位坐標、土地面積及地籍圖，然而觀測現場的現況及觀測員所觀測之標地點，皆無法被保存紀錄。若日後有所爭議，將難以追溯當時的現場觀測情況，如在複丈時經常會有界址點位未知、指界不一致，或是圖根點遺失之情況，除此之外現時之地籍測量程序需耗費大量之施測時間以及人力於外業上。

目前之移動製圖技術已經可達到與傳統地籍測量相當的點位精度，而其優點如下：首先是快速取得現地資訊，而且只需少數控制點即可達此成效，大幅縮短外業測量時間及人力；由於是透過影像的方式記錄觀測現場的實際狀況及所觀測之點位，資料將能永久保存，除了有助於釐清土地產權之爭議外，若需要重新測量亦十分方便；最後則是影像之直觀性，一般大眾透過影像較容易理解及觀察資訊，而不受專業測量知識之限制。

鑒於上述之原因，本研究持續進行人員攜帶式移動製圖技術之發展，目前已研發出一套可攜式全景影像測繪系統(Portable Panoramic Image Mapping System, PPIMS)，能同時拍攝八張影像，並以e-GNSS系統來定位，透過其拍攝的八張影像形成球形環景影像(spherical panorama image, SPI)，應用於光束法平差及攝影測量定位理論上，以此求得影像上任一點位之坐標值。而在內業方面則透過自身開發的測繪軟體系統MAPS(Measurement and Adjustment on Panorama System)來進行處理，該軟體將整合全景影像拼接、球形全景影像量測、多測站球形影像平差等功能，以方便處理、觀測並解算。流程及準確度等相關細節也以台南市地籍測量案例進行測試，盼能提升觀測之效率及精度。

¹國立成功大學測量及空間資訊學系 碩士生

²國立成功大學測量及空間資訊學系 博士生

³國立成功大學測量及空間資訊學系 教授

⁴國立成功大學測量及空間資訊學系 教授

⁵中華民國內政部地政司 司長

⁶中華民國內政部地政司測量科 科長

⁷中華民國內政部地政司測量科 科員

研究架構及流程

目前本研究研發的PPIMS輔助於測繪工作之架構及流程如下(如圖1.所示)，關於率定之部分，因PPIMS是由八台高解析度單眼相機，以環狀的排列方式固定於平台上，平台上設置同時曝光之機制，使的八台相機能同時成像並以此拼接成環景影像，而在平台上可設置e-GNSS天線，以獲得曝光時之平台中心位置(如圖2.所示)，故須先透過系統率定，以確定相機與平台中心的相對位置及方位關係。率定步驟包括相機內方位率定及系統率定。平台系統率定則是應用一個四周佈滿標點的室內率定場，求得平台與八部相機之相對位置及方位關係。

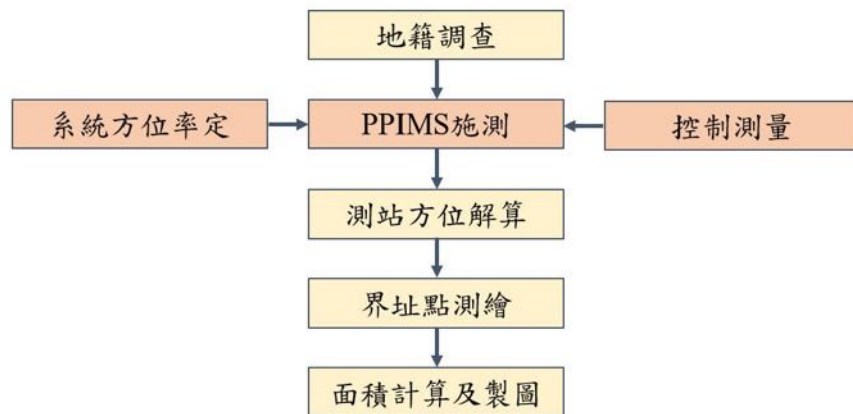


圖1. 移動製圖技術輔助於地籍測量作業之規劃流程



圖2. PPIMS整體外觀

經過內方位及系統率定並求得相機之間相對方位關係後，只要能夠解算每個測站的平台方位，即可求得每張影像的外方位元素。而在實務上可利用多測站的連結關係解算平台方位，若各個測站之e-GNSS訊號皆能接收完善，則可不加入控制點，只要能在不同測站的重疊影像量取足量的共軛點之影像坐標，即可透過光束法平差進行平台方位的解算，進而計算每張影像的外方位參數；反之，若e-GNSS訊號不佳，則需加入控制點於光束法平差模型中同步解算。完成外方位解算後，即可透過多張影像進行前方交會之測繪，然而，PPIMS每架設一站進行觀測，即同時獲得多張影像，當一個測區架設多個測站後，即意味著獲得大量之影

像。於大量影像中尋找目標影像進行量測時，必須於不同測站的重疊影像上量測共軛點位，由於每個測站產生多張影像，當點位是多測站的交會時，觀測者不易於大量的影像中找尋目標影像，相當容易混淆。為解決此問題，本研究發展出 MAPS(Measurement and Adjustment on Panorama System)此套軟體(如圖3.所示)，其不僅能將同一測站的多張影像合併為球形環景影像，還含括了球形全景影像量測、多測站球形影像平差之功能。使用者透過此系統介面將能展示、瀏覽並量測相關的球形全景影像，亦可透過人機互動介面量測點位獲得地物點對應之影像坐標，並將觀測結果儲存進行多測站平差，最後展示測站、控制點與連結點於地圖上，冀望依此建立地籍測量觀測成果資料庫，以供查詢及輔助土地複丈內外業。

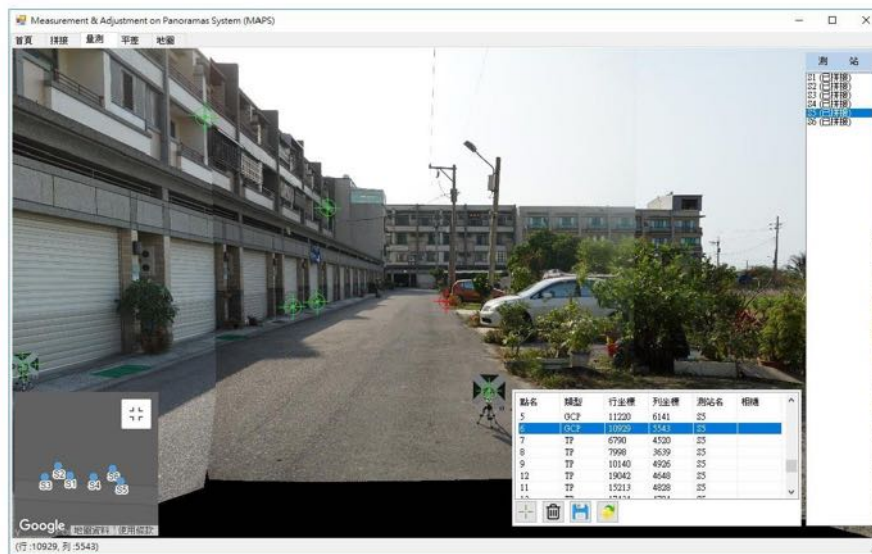


圖3. MAPS使用介面-量測頁籤操作展示畫面

實驗成果

整個測製流程可分為外業及內業兩部分，外業部分為實地勘察環境以決定合適之測站擺設位置，再架設PPIMS拍攝影像並以e-GNSS加以定位，內業之部分則為依據各測站整理其影像並加以分類，再匯入至MAPS軟體中進行拼接各測站對應之球形全景影像以進行量測，獲得所需之觀測量後將進行光束法平差解算。

在外業之部分，本研究選定安南重測區總安街一段146巷105弄做為測試場域，該區域較少建物遮蔽、透空良好，因此測站能夠穩定接收e-GNSS之訊號來加以定位，且該區域部分界址點之噴漆記號依舊存在，各測站通視情形亦相當理想。相關點位分布如下(如圖4.所示)。

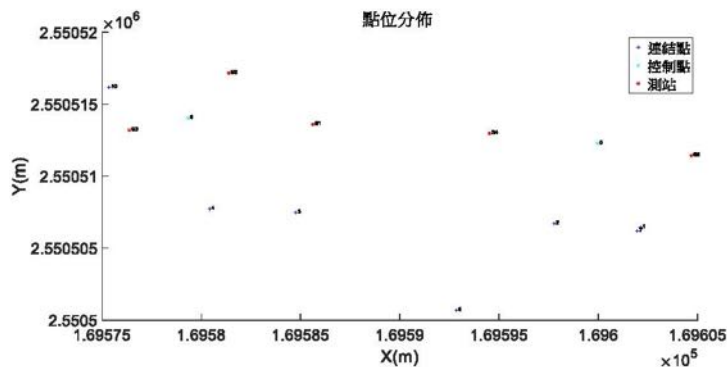


圖4. 測站、控制點與連結點分布圖

成果分析

在檢核部分，為檢視控制點之影響，移除其約制來進行比較，檢核成果如表1所示。在連結點幾何分布理想之情況下，解算之成果相當精準，證實本研究發展之可攜式測繪系統在理想之透空及通視條件下，可達到合乎地籍測量市地之規範，即標準誤差兩公分內。透過此實驗亦證實控制點之約制以及測站與連結點之交會幾何之重要性。

	原始觀測量		移除控制點之約制		
	X方向	Y方向	X方向	Y方向	
平均誤差	-0.012	-0.007	-0.020	-0.020	
均方根誤差	±0.016	±0.008	±0.023	±0.022	
界址點					
標準差	編號	X方向	Y方向	X方向	Y方向
	1212	±0.010	±0.015	±0.010	±0.015
	1215	±0.011	±0.013	±0.011	±0.013
	1222	±0.010	±0.013	±0.011	±0.013
	1224	±0.010	±0.013	±0.011	±0.013

表1. 安南測試區域檢核成果

針對地籍測量作業之應用，除發展可攜式移動製圖技術之實施方法及規劃流程外，尚須考量誤差是否有符合地籍測量實施規則所訂定之限制，而對於誤差之來源可能包含相機內方位率定、系統相對方位率定、e-GNSS定位誤差以及影像量測誤差。除此之外，於實際外業中，測站分布、影像交會幾何、控制點之精度與有無控制點等皆對解算成果有一定程度之影響，因此本研究亦針對上述之相關誤差來源與其於影響因素給予詳細分析與討論。

關鍵字：地籍測量、移動製圖技術、可攜式全景影像測繪系統、光束法平差。

基於手機等級感測器之室內外無縫定位解決方案研究

指導老師：江凱偉 學生：林承賢、李廣興

一、 創意

近年來手機軟硬體的蓬勃發展，歸功於半導體、微機電系統 (Microelectromechanical Systems, MEMS) 感測器與精密機械加工等電子、資訊、通訊、機械、人因等工程合力應用，使得智慧型手機得越來越人性化，應用在日常生活中也越來越生活化、普及化。

使用手機進行定位服務，於城市高樓林立常有定位不佳的問題，目前已有雙頻定位 GNSS 之模組，但是對於整合性的問題仍有限制，例如：室內室外無縫定位、車載及行人模式銜接...等。若能在現有發展之技術，提出整合性問題的可行解以及運算模組，不就能夠在人為操作的情境下，包括人行走於室內外及人駕駛車輛於室內外的情況下去做一個結合。

故本研究將會針對以上室內外各情境的不同，作各別不同解決的方法作測試及評估分析，包括透過經驗公式的轉換利用及不同技術得結合使用做一個整理，進而去剔除感測器或是接收器所蒐集到的錯誤資訊，並於最後留下較好的定位成果來研究。

二、 目的

時下的人手一支的手機，其所內建許多的零件，包含可檢測手機的運動的加速度計和陀螺儀、測量環境光和溫度、壓力和濕度感測器、具有連線功能的藍芽及 WiFi 感測器、GNSS 接收器，以上這些零件大多都是微機電系統 (MEMS)，在透空良好的場域已經可以大約五公尺的定位精度，但是當進入到大樓林立的都市地區或是地下室等衛星訊號遭到遮蔽時，會使得定位精度大幅度地下降。故為了解決衛星訊號品質不佳甚至中斷導致衛星定位解算出不連續的窘境下，我們選擇利用行人航位推算法 (Pedestrian Dead Reckoning, PDR)、全球導航衛星定位系統 (Global Navigation Satellite System, GNSS) 與車載慣性感測系統 (Inertial Navigation System, INS) 三者應用的互補關係，並研究如何整合 PDR、INS 與 GNSS 各自的優點，以期能夠達成手機能夠在衛星訊號遮蔽之地區輔助車輛及行人無縫定位的目標。

本研究將採用行人航位推算法之經驗模型公式、GNSS 定位服務技術、雙頻定位服務技術及 GNSS 與感測器之結合技術，並搭配手機低成本高效能的感測器元件包含陀螺儀、加速度計、磁力計，且再加上雙頻衛星接收器，研究於室內外無縫定位的解決處理方式。

三、 原理

1. GNSS 定位原理

所謂定位，就是在求解某物體在三維空間下的各別坐標值，而 GNSS 定位原理即為透過衛星的測距方式來接此達到定位。每顆 GNSS 衛星都會朝向地面使用者發送訊號，這些衛星訊號主要是用來計算該衛星與使用者使用接收器的距離關係，而透過衛星位置為已知的情況下，可以透過接收器接收三個以上的衛星訊號，藉此透過三個衛星訊號組成三條測距的方程式，進而求解其中代表接收器的位置分別為 (X, Y, Z) ；在實務上，因為求解的過程中，衛星與接受器端的時間會有系統性的誤差，因此若要消除時間的系統性誤差，其衛星接收器必須要接收到四顆以上的衛星訊號才能完成精準的定位，如下圖所示。

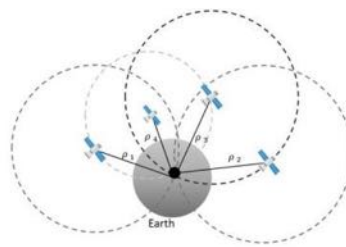


圖 1、GNSS 定位之基本原理圖

2. 雙頻 GNSS 接收原理

GNSS 目前主流頻段有三，L1、L2、L5 等波段：L1 作業波段： $1575.42\text{MHz} \pm 10.23\text{MHz}$ 、L2 作業波段： $1227.60\text{MHz} \pm 1.023\text{MHz}$ 、L5 作業波段： $1176.45\text{MHz} \pm 10.23\text{MHz}$ 。現在的行動裝置已開發出可同時使用 L1 及 L5 波段的接收器來進行定位，可稱為雙頻定位技術。使用雙頻定位可以有效的提升定位精度，是因為 L5 的碼率較高於 L1、L2 的碼率，且其為 L1 的十倍之高，在僅考慮單顆衛星定位時，其分辨率換算於距離的成果約為 30 公尺與 300 公尺的差別。在真實接收訊號時，其分辨率應可提升至一定程度，即可大幅降低其精度。

在現今城市當中，多處高層建築物林立密集的環境，在接收衛星訊號的時候，往往會因為透空範圍的遮蔽，加上衛星訊號經過大樓的反射後，會造成直射的訊號與折射的訊號同時被接收，進而形成多路徑效應，而衛星訊號 L5 碼率較高的控制下，同時使得其頻譜的密度較為集中，可以使得感測器在接收訊號時，不易形成新的頻譜，以致使得在解算時可以較容易找到無反

射後的衛星訊號；由 L1 與 L5 的訊號時間差，可進而推估出電離層誤差，藉以達到消除誤差。

3. 行人航位推算法(Pedestrian Dead Reckoning, PDR)

本研究使用之行人航位推算法(PDR)，其中主要目的為把三維世界資料簡化成二維平面，推算法的計算避開了加速度的積分運算，即為排除因積分運算而造成雜訊誤差放大的困擾，藉以建構適合人類之慣性導航系統。此推算法是基於 K 時刻已知位置 (E_K, N_K) 來進而預測 K+1 時刻之未知點位置 (E_{K+1}, N_{K+1}) 的方法，內容包含步長估算、方位角偵測、步長偵測。承上述各估算資訊，可利用行動裝置中的微機電慣性感測器收集推算法所需的感測訊號，來計算出行人在行走情境時的定位位置。微機電系統感測器的組成分別由三軸加速度計、三軸陀螺儀、三軸磁力計、各類微控制器等所組成。

- (1) 加速度計：量測物體運動時的加速度及重力加速度值，偵測使用者於走路行為模式下的步伐變化。
- (2) 陀螺儀：量測物體運動時的相對旋轉角速度，偵測使用者於走路行為模式下的轉彎程度變化。
- (3) 磁力計：量測與地球磁場變化，偵測使用者於走路行為模式下相對於地球磁場偏轉的程度變化。

由收集到的加速度計資料，將其使用者之身高與行走頻率代入經驗公式以推估步長 SL ；由陀螺儀與磁力計所收集之角速度資料，透過兩者變化的差值推算出方位角 φ 的偏移量，即可得到二維空間位置資訊。

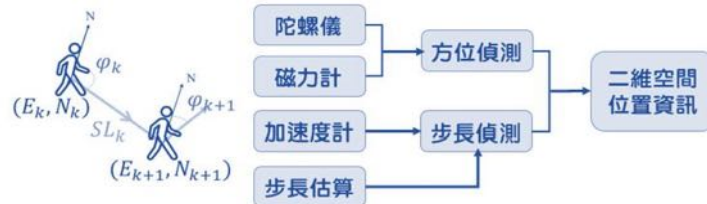


圖 2、行人航位推算法示意圖

行人航行推算系統公式：

$$N_{k+1} = N_k + SL_k \times \cos\varphi_k \quad (1)$$

$$E_{k+1} = E_k + SL_k \times \sin\varphi_k \quad (2)$$

經驗模型步伐長度推估公式：

$$SL = \left[0.7 + a(H - 1.75) + b \left(\frac{(SF - 1.79)H}{1.75} \right) \right] k \quad (3)$$

為推估的行人步伐頻率 SF ，為使用者的高度 H ，個人使用因素常數 k 。

4. GNSS 與 INS 技術結合

GNSS 的優勢在於無訊號遮蔽的環境可以給定較穩定的導航定位成果，因此可用來降低 INS 隨時間所累積的定位誤差；但相對的缺點則是容易受到訊號遮蔽影響、低採樣頻率、周波脫落等問題。INS 結合了慣性感測元件 (Inertial measurement unit, IMU) 及電腦運算的導航公式，其運作原理如下圖所示：

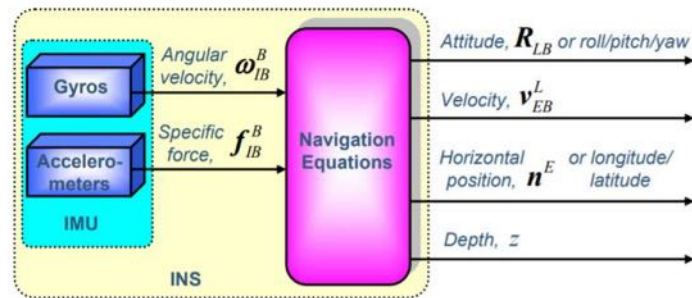


圖 3、INS 示意圖

INS 具備有高採樣頻率、短時間內有高定位精度以及姿態的精度，因此足以追蹤載體的運動，並提供 GNSS 所無法提供的姿態參數，然而 INS 的缺點在於獨自運作時的誤差會與時間的平方成正比。因此，基於此兩系統的互補特性進行整合式定位，除了可以克服單一系統之缺點外，亦可以提供更加穩定的連續導航及定位成果。

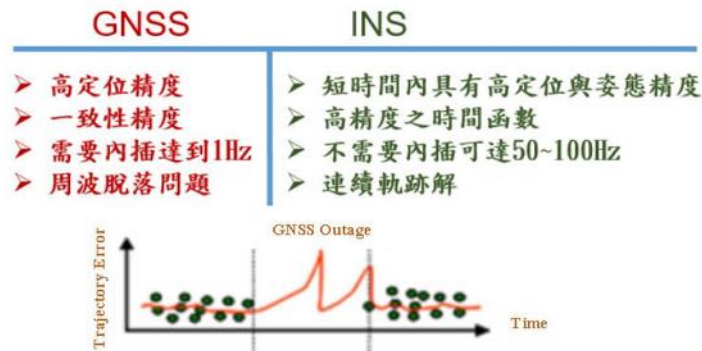


圖 4、GNSS/INS 優勢比較圖

5. Android GNSS Measurements API

Android GNSS Measurements API 利用手機的 GNSS Logger 來接收衛星的原始資料，協助學者以及業餘玩家可以取得 GNSS 原始觀測資訊，再透過科學計算軟體(Matlab)的運算進行後續的處理及應用，其運作之基本原理如下圖所示：

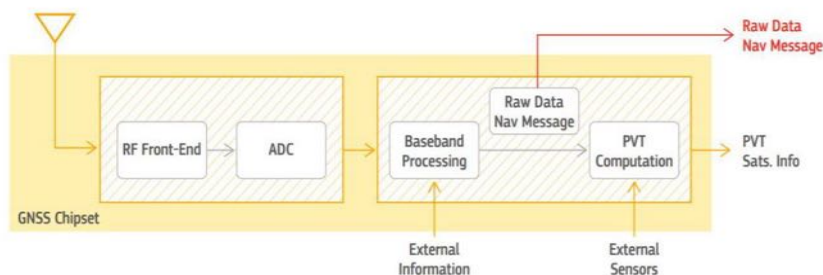


圖 5、Android GNSS Measurements API 運作原理示意圖

本實驗擬利用小米 8 接收雙頻資料，接著使用 GNSS Logger 進行原始資料的傳輸，最後利用 Matlab 進行後處理以及精度分析。

四、 使用材料

本研究主要使用小米 8 手機並安裝 GNSS Logger 及 Androsensor 輔助取得資料，其選用原因如下列介紹：

1. 小米 8 手機：由於小米 8 手機是少數具備有接收雙頻 GNSS 訊號之手機，可以取得精度較高的定位解，並且雙頻的訊號有利於後續的訊號處理。
2. GNSS Logger：此 API 遵照歐盟所發布之 "USING GNSS RAW MEASUREMENTS ON ANDROID DEVICES" 文件撰寫，其目的在於取得 GNSS 原始觀測量，方便使用者取用資料以進行後續的分析。
3. Androsensor：手機內建許多的感測器，利用此軟體的讀取，將所有內建的微機電系統的資訊做紀錄，包含：重力感測器(G-Sensor)，透過壓電效應來實現，即重力感測器內部有一塊重物與壓電片整合在一起，透過正交兩個方向產生的電壓大小，來計算出水平的方向；加速度感測器 (Accelerometer Sensor)，作用原理與重力感測器相同，但透過三個維度來確定加速度方向，功耗小但精度低，將其運用在手機中可用來計步、判斷手機朝向的方向；磁場感測器(Magnetism Sensor)，透過測量電阻變化來確定磁場強度，通常運用於指南針、地圖導航；陀螺儀(Gyroscope)，陀螺儀主要是由一個位於軸心且可旋轉的轉子構成，其主要是一種基於

角動量守恆的理論，用來感測與維持方向的裝置，由於轉子的角動量，陀螺儀一旦開始旋轉，就有抗拒方向改變的趨向，進而得到角動量。

五、 方法

本研究擬利用手機等級感測器探討室內外無縫定位之解決方案，因此行為模式分為車載、行人，測試場景為室內以及室外，其流程如下圖所示。

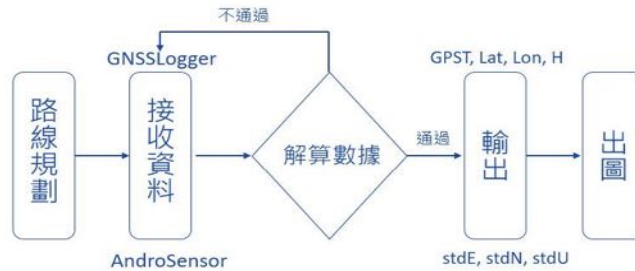


圖 6、車載 GNSS 與 INS 整合演算法示意圖

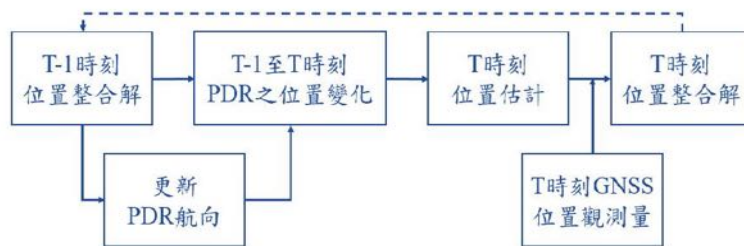


圖 7、行人 GNSS 與 PDR 整合演算法示意圖

根據圖 6、7 流程圖，實際操作分為二種模式進行，分述如下：

一、車載室內外接收流程：

在花園夜市之空曠地打開 GNSS Logger 以及 AndroSensor 進行一段時間的靜態初始化後，通過台南市中心區抵達成功大學，預計路徑為：花園夜市→海安路三段→海安路二段→海安路一段→府前路一段→東門路一段→林森路三段→大學路→成功大學自強校區，實驗路線約為 7.4 公里。

二、行人室內外接收流程：

於國立成功大學自強校區操場之空曠地打開 GNSS Logger 以及 AndroSensor 進行一段時間的靜態初始化後，預計路徑為：自強校區操場外圍→國立成功大學測量系館，實驗路線約 850 公尺。

基於室內外之無縫定位，除了上述的兩個模式以外，本研究擬額外增加兩種行為模式的測試以達到更近於實際情況的場景。一、室外場景由行人模式轉為車載模式。二、室內場景由行人模式轉為車載模式。此兩種行為模式，透過資料的後處理，取出特定時段的定位成果，並進行精度分析以及設計偵錯機制，如此方可將行人以及車載行為模式進行整合，以期達到夠為實用的整合式定位。

六、 成果

1. 車載室內外無縫定位成果：

本研究利用 GNSS Logger 以及 Androsensor 搭配車載裝置蒐集資料，並將得到的 GNSS 原始觀測量做進一步的後處理，初步成果如圖 8 所示。

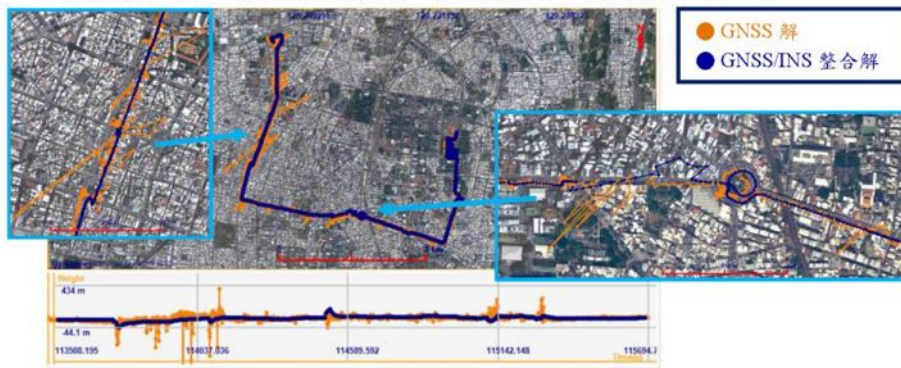


圖 8、車載定位成果展示圖

在圖 8 之成果圖中，橘線為純 GNSS 訊號之定位解，而藍線為 GNSS/INS 整合解，整體而言純 GNSS 相對於 GNSS/INS 整合解是較不穩定的，部分地方會呈現跳動的狀態，而 GNSS/INS 整合解基本上可以展現顯示車子行經的路徑，雖然部分區域會有些微的跳動，但路徑大致仍按照轉彎的方向行進。此外，高程定位誤差有幾處波動稍大的地方，對照實際的街景其附近有較多的高樓以及遮蔽，但倚靠著 GNSS/INS 整合解可將成果平穩化，因此本研究擬利用 GNSS/INS 之整合解進行室內外無縫定位之探討，並加入偵錯機制以更完美方便的定位成果。

2. 行人室內外無縫定位成果：

本研究利用以及 Androsensor 蒐集使用者於行人行走時的各感測器資料，並搭配行人航位推算法，能夠進而推算得知行人於室內外行走時之定位解，以期能加入 GNSS Logger 的資料，即可獲得 GNSS 原始觀測量，最後將以整合出 GNSS 與 INS 之整合解，其實驗路線規劃如圖 9 所示。



圖 9、行人航位推算路線圖

使用上述材料及方法進行行人航位推算實驗，成果如下圖 10 所示，藍線為由陀螺儀所偵測紀錄之資料經由推算法所推估出的行人行經路徑，綠線為磁力計、加速度計所偵測紀錄之資料經由推算法所推估出的行人行經路徑。

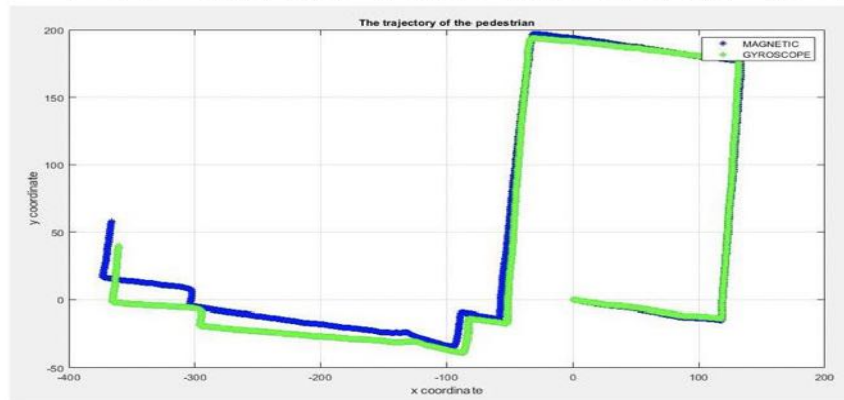


圖 10、行人航位推算定位成果展示圖

在圖 10 之成果圖當中，目前已是相當穩定，再整合加上 GNSS Logger 解算之 GNSS 會跳動不穩定之定位解成果，即可提升整體精度，亦達到完整的行人定位服務，本研究擬利用 GNSS 與 PDR 之整合解進行行人之室內外無縫定位之探討，最後加入偵錯機制以呈現更完美、方便的定位成果。

最後，為呈現 PDR 在沒有 GNSS 輔助時的效能，設計實驗為行人步行於成功大學測量及空間資訊學系館一樓內，實驗路徑如圖 11 左側所示，室內使手機完全無法接收到 GNSS 訊號，僅依靠 PDR 推算之成果，最後將以適當合理的經驗參數呈現更完整之行人定位解算如圖 11 右側所示。

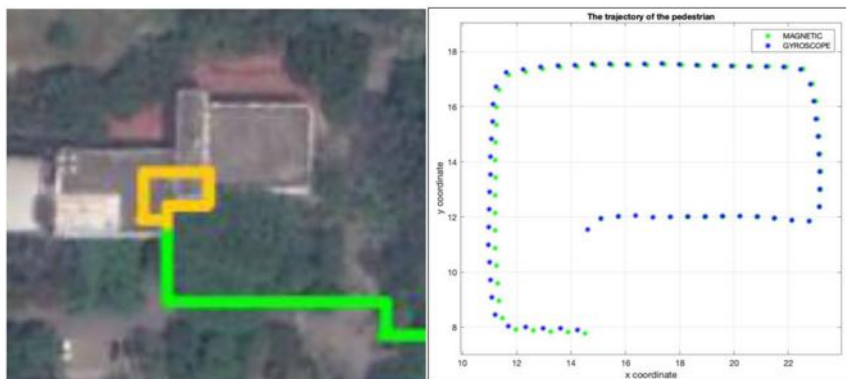


圖 11、行人航位推算室內定位路線圖（左圖）及成果展示圖（右圖）

上圖展示之成果中，顯示所提出的機制可完整手機等級感測器紀錄行人於室內之定位成果。最後，本研究後續會針對行人及車載的無縫式定位系統的鏈接及除錯機制進行探討，利用手機平台來完成行人與車載室內外無縫模式之導航定位，提升更好整合定位成效，藉以滿足現在生活上之定位應用需求。

七、 參考資料

- [1] Chiang, K.W., Duong, T. T., Liao, J.-K. The Performance Analysis of a Real-Time Integrated INS/GPS Vehicle Navigation System with Abnormal GPS Measurement Elimination. *Sensors* 2013, 13, 10599-10622.
- [2] C.Michael J.Dunn, Global Positioning Systems Directorate Systems Engineering and Integration, Interface Specification IS-GPS-200, 2013.
- [3] Grip, H.F., Fossen, T.I., Johansen, T.A., & Saberi, A.. Attitude Estimation Using Biased Gyro and Vector Measurements With Time-Varying Reference Vectors. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 57, 2012, 1332-1338.
- [4] Kaplan, E., Hegarty, C. *Understanding GPS: principles and applications*. Artech house, 2005.
- [5] El-Diasty, M. An Accurate Heading Solution using MEMS-based Gyroscope and Magnetometer Integrated System (Preliminary Results), *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information*, 2014, Sciences, Vol. II-2, pp. 75-78.
- [6] Kaplan, E., Hegarty, C., 2005. *Understanding GPS: principles and applications*. Artech house.

- [7] Groves, P. D., 2013. GNSS solutions: Multipath vs. NLOS signals. how does Non-Line-of-Sight reception differ from multipath interference. Inside GNSS Magazine, 40-42.
- [8] Ho, N.H., Truong, P.H., and Jeong, G.M. (2016): Step-Detection and Adaptive Step-Length Estimation for Pedestrian Dead-Reckoning at Various Walking Speeds Using a Smartphone, Sensors, Vol. 16, Issue. 9.
- [9] Chiang, K.W..INS/GPS Integration Using Neural Networks for Land Vehicular Navigation Applications, Department of Geomatics Engineering, the University of Calgary, Calgary, Canada, UCGE Report No. 20209, 2004.
- [10] Chang, H.W. The Development of self-growing Neural Network Embedded POS Determination Scheme for MEMS INS/GPS Integrated Systems, Master's thesis, Department of Geomatics, National Cheng Kung University, 2009.
- [11] Tsung-Hsiao Yang. Pedestrian Indoor Navigation By Mobile Sensors Integration Aided PDR With Arbitrary Orientation, Department of Geomatics, National Cheng Kung University, 2017.
- [12] Ho, N.H., Truong, P.H., and Jeong, G.M. Step-Detection and Adaptive Step-Length Estimation for Pedestrian Dead-Reckoning at Various Walking Speeds Using a Smartphone, Sensors, Vol. 16, Issue.9., 2016.
- [13] 張秀雯,江凱偉.發展自成長類神經網路嵌入式低成本 MEMS INS/GPS 整合式定位定向演算法。地籍測量：中華民國地籍測量學會會刊, 2010.
- [14] 張秀雯, 發展自成長類神經網路嵌入式低成本 MEMS INS/GPS 整合式定位定向演算法。碩士論文, 測量及空間資訊學系,國立成功大學, 2009.

附錄八

「專案人員簽到表」

【專案人員至內政部協助辦理自駕車用地圖相關事宜-出勤紀錄表】

專案人員姓名			高煥欽			期間		108年2月	
日	上午時段			日	下午時段			合計 時數	
	簽到 時間	簽退 時間	簽名		簽到 時間	簽退 時間	簽名		
11	8:30	12:30	高煥欽	11	13:30	17:30	高煥欽	8	
12	8:30	12:30	高煥欽	12	13:30	17:30	高煥欽	8	
13	8:30	12:30	高煥欽	13	13:30	17:30	高煥欽	8	
18	8:30	12:30	高煥欽	18	13:30	17:30	高煥欽	8	
19	8:30	12:30	高煥欽	19	13:30	17:30	高煥欽	8	
25	8:30	12:30	高煥欽	25	13:30	17:30	高煥欽	8 (台崩)	
本表總計協助天數： 6 天									
內政部 承辦簽名		吳俊毅			檢視 日期		108. 3. 6		

【專案人員至內政部協助辦理自駕車用地圖相關事宜-出勤紀錄表】

專案人員姓名			張清鴻			期間		108年2月	
日	上午時段			日	下午時段			合計 時數	
	簽到 時間	簽退 時間	簽名		簽到 時間	簽退 時間	簽名		
14	08:30	12:30	張清鴻	14	13:30	17:30	張清鴻	8	
15	08:30	12:30	張清鴻	15	13:30	17:30	張清鴻	8	
21	08:30	12:30	張清鴻	21	13:30	17:30	張清鴻	8	
22	08:30	12:30	張清鴻	22	13:30	17:30	張清鴻	8	
23	08:30	12:30	張清鴻	23	13:30	17:30	張清鴻	8	
25	08:30	12:30	張清鴻	25	13:30	17:30	張清鴻	8 (台南)	
本表總計協助天數： 6 天									
內政部 承辦簽名		吳俊毅			檢視 日期		108. 3. 6		

【專案人員至內政部協助辦理自駕車用地圖相關事宜-出勤紀錄表】

專案人員姓名			高煥欽			期間		108年3月	
日	上午時段			日	下午時段			合計 時數	
	簽到 時間	簽退 時間	簽名		簽到 時間	簽退 時間	簽名		
				5	13:30	17:30	高煥欽	4 (外出)	
6	08:30	12:30	高煥欽	6	13:30	17:30	高煥欽	8	
7	08:30	12:30	高煥欽	7	13:30	17:30	高煥欽	8	
8	08:30	12:30	高煥欽	8	13:30	17:30	高煥欽	8	
18	08:30	12:30	高煥欽	18	13:30	17:30	高煥欽	8	
19	08:30	12:30	高煥欽	19	13:30	17:30	高煥欽	8	
20	08:30	12:30	高煥欽					4	
本表總計協助天數： 6 天									
內政部 承辦簽名		吳俊毅			檢視 日期		108. 3. 20		

【專案人員至內政部協助辦理自駕車用地圖相關事宜-出勤紀錄表】

專案人員姓名			張清濤			期間		108年3月	
日	上午時段			日	下午時段			合計 時數	
	簽到 時間	簽退 時間	簽名		簽到 時間	簽退 時間	簽名		
14	08:30	12:30	張清濤	14	13:30	17:30	張清濤	8	
15	08:30	12:30	張清濤	15	13:30	17:30	張清濤	8	
21	08:30	12:30	張清濤	21	13:30	17:30	張清濤	8	
22	08:30	12:30	張清濤	22	13:30	17:30	張清濤	8	
28	08:30	12:30	張清濤	28	13:30	17:30	張清濤	8	
29	08:30	12:30	張清濤	29	13:30	17:30	張清濤	8	
本表總計協助天數： 6 天									
內政部 承辦簽名		黃銘安			檢視 日期		108.3.29		

【專案人員至內政部協助辦理自駕車用地圖相關事宜-出勤紀錄表】

專案人員姓名			高煥欽			期間		108年4月	
日	上午時段			日	下午時段			合計 時數	
	簽到 時間	簽退 時間	簽名		簽到 時間	簽退 時間	簽名		
3	8:30	12:30	高煥欽	3	13:30	17:30	高煥欽	8	
8	8:30	12:30	高煥欽	8	13:30	17:30	高煥欽	8	
9	8:30	12:30	高煥欽	9	13:30	17:30	高煥欽	8	
26	8:30	12:30	高煥欽	26	13:30	17:30	高煥欽	8	
29	8:30	12:30	高煥欽	29	13:30	17:30	高煥欽	8	
30	8:30	12:30	高煥欽	30	13:30	17:30	高煥欽	8	
本表總計協助天數： 6 天									
內政部 承辦簽名		吳俊毅			檢視 日期		108.4.30		

座談會

【專案人員至內政部協助辦理自駕車用地圖相關事宜-出勤紀錄表】

專案人員姓名			張清鴻			期間		108年4月	
日	上午時段			日	下午時段			合計 時數	
	簽到 時間	簽退 時間	簽名		簽到 時間	簽退 時間	簽名		
11	08:30	12:30	張清鴻	11	13:30	17:30	張清鴻	8	
12	08:30	12:30	張清鴻	12	13:30	17:30	張清鴻	8	
18	08:30	12:30	張清鴻	18	13:30	17:30	張清鴻	8	
19	08:30	12:30	張清鴻	19	13:30	17:30	張清鴻	8	
25	08:30	12:30	張清鴻	25	13:30	17:30	張清鴻	8	
26	08:30	12:30	張清鴻	26	13:30	17:30	張清鴻	8 (座談會)	
本表總計協助天數：6 天									
內政部 承辦簽名		吳俊毅			檢視 日期		108.4.30		

【專案人員至內政部協助辦理自駕車用地圖相關事宜-出勤紀錄表】

專案人員姓名			高煥欽			期間		108年5月	
日	上午時段			日	下午時段			合計 時數	
	簽到 時間	簽退 時間	簽名		簽到 時間	簽退 時間	簽名		
6	08:30	12:30	高煥欽	6	13:30	17:30	高煥欽	8	
7	08:30	12:30	高煥欽	7	13:30	17:30	高煥欽	8	
8	08:30	12:30	高煥欽	8	13:30	17:30	高煥欽	8	
20	08:30	12:30	高煥欽	20	13:30	17:30	高煥欽	8	
21	08:30	12:30	高煥欽	21	13:30	17:30	高煥欽	8	
22	08:30	12:30	高煥欽	22	13:30	17:30	高煥欽	8	
本表總計協助天數： 6 天									
內政部 承辦簽名		吳俊毅			檢視 日期		108.5.22		

【專案人員至內政部協助辦理自駕車用地圖相關事宜-出勤紀錄表】

專案人員姓名			張清源			期間		108年5月	
日	上午時段			日	下午時段			合計 時數	
	簽到 時間	簽退 時間	簽名		簽到 時間	簽退 時間	簽名		
9	08:30	12:30	張清源	9	13:30	17:30	張清源	8	
10	08:30	12:30	張清源	10	13:30	17:30	張清源	8	
23	08:30	12:30	張清源	23	13:30	17:30	張清源	8	
24	08:30	12:30	張清源	24	13:30	17:30	張清源	8	
30	08:30	12:30	張清源	30	13:30	17:30	張清源	8	
31	08:30	12:30	張清源	31	13:30	17:30	張清源	8	
本表總計協助天數： 6 天									
內政部 承辦簽名			吳俊毅			檢視 日期		108. 5. 30	

【專案人員至內政部協助辦理自駕車用地圖相關事宜-出勤紀錄表】

專案人員姓名			高煥欽			期間		108年6月	
日	上午時段			日	下午時段			合計 時數	
	簽到 時間	簽退 時間	簽名		簽到 時間	簽退 時間	簽名		
6	08:30	12:30	高煥欽	6	13:30	17:30	高煥欽	8	
10	08:30	12:30	高煥欽	10	13:30	17:30	高煥欽	8	
11	08:30	12:30	高煥欽	11	13:30	17:30	高煥欽	8	
				17	13:30	17:30	高煥欽	4	
18	08:30	12:30	高煥欽	18	13:30	17:30	高煥欽	8	
19	08:30	12:30	高煥欽	19	13:30	17:30	高煥欽	8	
20	08:30	12:30	高煥欽					4	
本表總計協助天數： 6 天									
內政部 承辦簽名		吳俊毅			檢視 日期		108.6.26		

下午
(公出)

(公出)

【專案人員至內政部協助辦理自駕車用地圖相關事宜-出勤紀錄表】

專案人員姓名			張清彥			期間		108年6月	
日	上午時段			日	下午時段			合計 時數	
	簽到 時間	簽退 時間	簽名		簽到 時間	簽退 時間	簽名		
13	08:30	12:30	張清彥	13	13:30	17:30	張清彥	8	
14	08:30	12:30	張清彥	14	13:30	17:30	張清彥	8	
20	08:30	12:30	張清彥	20	13:30	17:30	張清彥	8	
21	08:30	12:30	張清彥	21	13:30	17:30	張清彥	8	
26	08:30	12:30	張清彥	26	13:30	17:30	張清彥	8	
27	08:30	12:30	張清彥	27	13:30	17:30	張清彥	8	
本表總計協助天數： 6 天									
內政部 承辦簽名		吳俊毅			檢視 日期		108. 6. 26		

【專案人員至內政部協助辦理自駕車用地圖相關事宜-出勤紀錄表】

專案人員姓名			高煥欽			期間		108年7月	
日	上午時段			日	下午時段			合計	
	簽到時間	簽退時間	簽名		簽到時間	簽退時間	簽名	時數	
1	08:30	12:30	高煥欽	1	13:30	17:30	高煥欽	8	
2	08:30	12:30	高煥欽	2	13:30	17:30	高煥欽	8 (上午)	
24	08:30	12:30	高煥欽	24	13:30	17:30	高煥欽	8	
25	08:30	12:30	高煥欽	25	13:30	17:30	高煥欽	8 (下午)	
26	08:30	12:30	高煥欽	26	13:30	17:30	高煥欽	8 (下午)	
29	08:30	12:30	高煥欽	29	13:30	17:30	高煥欽	8	
本表總計協助天數： 6 天									
內政部 承辦簽名		吳俊毅			檢視 日期		108.7.29		

【專案人員至內政部協助辦理自駕車用地圖相關事宜-出勤紀錄表】

專案人員姓名			張清漢			期間		108年7月	
日	上午時段			日	下午時段			合計 時數	
	簽到 時間	簽退 時間	簽名		簽到 時間	簽退 時間	簽名		
10	08:30	12:30	張清漢	10	13:30	17:30	張清漢	8	
11	08:30	12:30	張清漢	11	13:30	17:30	張清漢	8	
18	08:30	12:30	張清漢	18	13:30	17:30	張清漢	8	
19	08:30	12:30	張清漢	19	13:30	17:30	張清漢	8	
25	08:30	12:30	張清漢	25	13:30	17:30	張清漢	8	
26	08:30	12:30	張清漢	26	13:30	17:30	張清漢	8	
本表總計協助天數： 6 天									
內政部 承辦簽名		吳俊毅			檢視 日期		108. 7. 26		

【專案人員至內政部協助辦理自駕車用地圖相關事宜-出勤紀錄表】

專案人員姓名			林政守			期間			108年8月	
日	上午時段			日	下午時段			合計		
	簽到時間	簽退時間	簽名		簽到時間	簽退時間	簽名	時數		
1	08:30	12:30	林政守	1	13:30	17:30	林政守	8		
2	08:30	12:30	林政守	2	13:30	17:30	林政守	8		
8	08:30	12:30	林政守	8	13:30	17:30	林政守	8		
15	08:30	12:30	林政守	15	13:30	17:30	林政守	8		
16	08:30	12:30	林政守	16	13:30	17:30	林政守	8		
26	08:30	12:30	林政守	26	13:30	17:30	林政守	8 (公出)		
本表總計協助天數： 6 天										
內政部 承辦簽名			吳俊毅			檢視 日期		108. 8. 26		

【專案人員至內政部協助辦理自駕車用地圖相關事宜-出勤紀錄表】

專案人員姓名		徐珮晴		期間		108年8月		
日	上午時段			日	下午時段			合計 時數
	簽到 時間	簽退 時間	簽名		簽到 時間	簽退 時間	簽名	
12	8:30	12:30	徐珮晴	12	13:30	17:30	徐珮晴	8
13	8:30	12:30	徐珮晴	12	13:30	17:30	徐珮晴	8
21	8:30	12:30	徐珮晴	21	13:30	17:30	徐珮晴	8
22	8:30	12:30	徐珮晴	22	13:30	17:30	徐珮晴	8
23	8:30	12:30	徐珮晴	23	13:30	17:30	徐珮晴	8
26	8:30	12:30	徐珮晴	26	13:30	17:30	徐珮晴	8
本表總計協助天數： 6 天								
內政部 承辦簽名		吳俊毅		檢視 日期		108. 8. 26		

(上午)
(公出)
(全日)
(公出)

【專案人員至內政部協助辦理自駕車用地圖相關事宜-出勤紀錄表】

專案人員姓名			林政守			期間		108年9月	
日	上午時段			日	下午時段			合計	
	簽到時間	簽退時間	簽名		簽到時間	簽退時間	簽名	時數	
6	08:30	12:30	林政守	6	13:30	17:30	林政守	8	
9	08:00	12:00	林政守	9	13:30	17:30	林政守	8 (公出)	
25	08:30	12:30	林政守	25	13:30	17:30	林政守	8	
26	08:30	12:30	林政守	26	13:30	17:30	林政守	8	
27	08:30	12:30	林政守	27	13:30	17:30	林政守	8 (上午公出)	
本表總計協助天數： 5 天									
內政部 承辦簽名		吳俊毅			檢視 日期		108.10.1		

註：原訂9月30日出勤，因米塔颱風來襲，9月30日台北停止上班，

故挪至10月補回出勤紀錄。

【專案人員至內政部協助辦理自駕車用地圖相關事宜-出勤紀錄表】

專案人員姓名		徐珮晴		期間		108年9月		
日	上午時段			日	下午時段			合計
	簽到時間	簽退時間	簽名		簽到時間	簽退時間	簽名	時數
9	08:30	12:30	徐珮晴	9	13:30	17:30	徐珮晴	8 (公出)
10	08:30	12:30	徐珮晴	10	13:30	17:30	徐珮晴	8
11	08:30	12:30	徐珮晴	11	13:30	17:30	徐珮晴	8
12	08:30	12:30	徐珮晴	12	13:30	17:30	徐珮晴	8 (下午)
20	08:30	12:30	徐珮晴	20	13:30	17:30	徐珮晴	8 (公出)
23	08:30	12:30	徐珮晴	23	13:30	17:30	徐珮晴	8
本表總計協助天數： 6 天								
內政部 承辦簽名		吳俊毅		檢視 日期		108.9.27		

【專案人員至內政部協助辦理自駕車用地圖相關事宜-出勤紀錄表】

專案人員姓名			林政守			期間		108年10月	
日	上午時段			日	下午時段			合計	
	簽到時間	簽退時間	簽名		簽到時間	簽退時間	簽名	時數	
3	08:30	12:30	林政守	3	13:30	17:30	林政守	8	
4	08:30	12:30	林政守	4	13:30	17:30	林政守	8 (公出)	
5	08:30	12:30	林政守	5	13:30	17:30	林政守	8 (公出)	
7	08:30	12:30	林政守	7	13:30	17:30	林政守	8 (上午公出)	
8	08:30	12:30	林政守	8	13:30	17:30	林政守	8	
28	08:30	12:30	林政守	28	13:30	17:30	林政守	8 (公出)	
29	08:30	12:30	林政守	29	13:30	17:30	林政守	8 (公出)	
本表總計協助天數： 7 天									
內政部 承辦簽名		吳俊毅			檢視 日期		108.11.4		

註：原訂9月30日出勤，因米塔颶風來襲，9月30日台北停止上班，故

10月補回出勤一天。

【專案人員至內政部協助辦理自駕車用地圖相關事宜-出勤紀錄表】

專案人員姓名		徐珮晴		期間		108年10月		
日	上午時段			日	下午時段			合計 時數
	簽到 時間	簽退 時間	簽名		簽到 時間	簽退 時間	簽名	
14	08:30	12:30	徐珮晴	14	13:30	17:30	徐珮晴	8
15	08:30	12:30	徐珮晴	15	13:30	17:30	徐珮晴	8
16	08:30	12:30	徐珮晴	16	13:30	17:30	徐珮晴	8
17	08:30	12:30	徐珮晴	17	13:30	17:30	徐珮晴	8
28	08:30	12:30	徐珮晴	28	13:30	17:30	徐珮晴	8 (備)
29	08:30	12:30	徐珮晴	29	13:30	17:30	徐珮晴	8 (備)
本表總計協助天數： 6 天								
內政部 承辦簽名		吳俊毅		檢視 日期		108.11.4		

【專案人員至內政部協助辦理自駕車用地圖相關事宜-出勤紀錄表】

專案人員姓名			林政安			期間		108年11月	
日	上午時段			日	下午時段			合計 時數	
	簽到 時間	簽退 時間	簽名		簽到 時間	簽退 時間	簽名		
4	08:30	12:30	林政安	4	13:30	17:30	林政安	8	
5	08:30	12:30	林政安	5	13:30	17:30	林政安	8	
6	08:30	12:30	林政安	6	13:30	17:30	林政安	8	
19	08:30	12:30	林政安	19	13:30	17:30	林政安	8	
21	08:30	12:30	林政安	21	13:30	17:30	林政安	8 (出)	
28	08:30	12:30	林政安	28	13:30	17:30	林政安	8	
本表總計協助天數： 6 天									
內政部 承辦簽名		吳俊毅			檢視 日期		108.11.28		

【專案人員至內政部協助辦理自駕車用地圖相關事宜-出勤紀錄表】

專案人員姓名		徐珮晴		期間		108年11月		
日	上午時段			日	下午時段			合計 時數
	簽到 時間	簽退 時間	簽名		簽到 時間	簽退 時間	簽名	
20	08:30	12:30	徐珮晴	20	13:30	17:30	徐珮晴	8
21	08:30	12:30	徐珮晴	21	13:30	17:30	徐珮晴	8
22	08:30	12:30	徐珮晴	22	13:30	17:30	徐珮晴	8
25	08:30	12:30	徐珮晴	25	13:30	17:30	徐珮晴	8
26	08:30	12:30	徐珮晴	26	13:30	17:30	徐珮晴	8
27	08:30	12:30	徐珮晴	27	13:30	17:30	徐珮晴	8
本表總計協助天數： 6 天								
內政部 承辦簽名		吳俊毅		檢視 日期		108.11.28		

(註)

附錄九

「國內自駕車和高精地圖相關單位」

中央部會/政府部門	<ol style="list-style-type: none"> 1. 行政院科技會報辦公室 2. 國家發展委員會 3. 經濟部工業局 4. 經濟部技術處 5. 交通部科技顧問室 6. 交通部運輸研究所 7. 科技部前瞻及應用科技司 8. 內政部國土測繪中心 9. 科技部前瞻及應用科技司 10. 亞洲·矽谷計畫執行中心 11. 中華民國國家發展委員會 12. 科技計畫首席評議專家室 13. 無人載具科技創新實驗計畫辦公室
公營協會/法人單位	<ol style="list-style-type: none"> 1. 財團法人車輛安全審驗中心 2. 財團法人車輛研究測試中心 3. 財團法人資訊工業策進會智慧系統研究所 4. 財團法人資訊工業策進會智慧網通系統研究所 5. 財團法人國家實驗研究院高速網路與計算中心 6. 財團法人工業技術研究院 7. 財團法人中技社 8. 財團法人中華顧問工程司 9. 台灣智駕測試實驗室 10. 台灣車聯網產業協會 11. 台灣資通產業標準協會 12. 中華智慧運輸協會 13. 中華民國航空測量及遙感探測學會 14. 中國工程師學會 15. 中華測繪聯合會 16. 中華民國地圖學會 17. 台灣地理資訊學會 18. 中華民國測繪業商業同業公會 19. 國家中山科學研究院
產業界	<ol style="list-style-type: none"> 1. 詮華國土測繪有限公司 2. 台灣世曦股份有限公司 3. 經緯航太科技股份有限公司 4. 自強工程顧問有限公司 5. 勤崑國際科技股份有限公司 6. 中興測量有限公司 7. 日陞空間資訊股份有限公司 8. 達雲科技有限公司

產業界

9. 亞新國土科技股份有限公司
10. 亞興測量有限公司
11. 峰騰測繪股份有限公司
12. 康鷹空間資訊有限公司
13. 群立科技股份有限公司
14. 北極星測繪科技有限公司
15. 正興測繪工程有限公司
16. 永璋測繪有限公司
17. 育祥國土測繪有限公司
18. 振東國土測繪有限公司
19. 陶林數值測量工程有限公司
20. 幀衡國土測繪有限公司
21. 新陸國土測繪有限公司
22. 環球測繪有限公司
23. 競豪國土測繪有限公司
24. 全球測繪科技股份有限公司
25. 和富測繪有限公司
26. TomTom
27. HERE
28. ZERZIN
29. Civil Maps
30. NVIDIA
31. 國際航業株式会社感知事業開發部
32. 理立系統股份有限公司
33. 興創知能股份有限公司
34. 知識力科技股份有限公司
35. 台灣國際航電股份有限公司(Garmin)
36. 宏碁股份有限公司
37. 華創車電技術中心股份有限公司
38. 緯創資通股份有限公司
39. 星瑞林股份有限公司
40. 瑞竣科技
41. 銳佛科技
42. 迅聯光電有限公司
43. 啟碁科技股份有限公司
44. 研鼎智能
45. 景翊科技
46. 晶復科技
47. 拓璞科技股份有限公司
48. 台灣智慧駕駛股份有限公司

<p style="text-align: center;">產業界</p>	<p>49. 台灣海克斯康測量儀器股份有限公司 50. 北宸科技股份有限公司 51. 森泰儀器有限公司 52. 台灣儀器行 53. 宏遠儀器有限公司 54. 邁威實業有限公司</p>
<p style="text-align: center;">學術研究單位</p>	<p>1. 國立成功大學測量及空間資訊學系 2. 國立成功大學電機系 3. 國立臺灣大學資訊工程學系 4. 國立臺灣大學土木工程學系 5. 國立交通大學土木工程學系 6. 高苑科技大學 7. 國立台北大學電機學系 8. 國立台北大學車電研發中心 9. 國立臺灣大學先進公共運輸研究中心 10. 國立臺灣大學網路與多媒體研究所 11. 國立臺灣大學高效能與科學運算中心 12. 國立臺灣大學地理環境資源學系 13. 國立政治大學地政學系 14. 國立臺灣師範大學地理學系 15. 國立中央大學土木工程學系 16. 國立中興大學土木工程學系 17. 逢甲大學都市計畫與空間資訊學系 18. 國防大學理工學院環境資訊與工程學系</p>