

107 年度移動載台測量製圖技術 發展工作案

期末報告書修正版

計畫主持人：江凱偉 教授
協同主持人：曾義星 教授
呂學展 助理教授

委託單位：內政部
執行單位：國立成功大學

中 華 民 國 107 年 12 月 19 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，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。攝影測量製圖的技術與精密整合式定位定向系統結合，搭配多種感測器來收集空間資料，能夠實現快速即時移動式測量及蒐集空間資料之移動載台製圖技術。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，進而推動空間資訊產業之成長。另一方面，車載及無人控制載具的直接定位技術，能夠即時監控、定位及量測環境，對災害防救的緊急應變措施有極大的效益。加上目前備受矚目的行動裝置，發展低成本的室內移動製圖與行人導航定位技術，能夠與其他載台構築聯合作業模式，應用在防災與資源調查領域，尤其對在室內環境中發展防減災應用有極大的助益。此外相應而生的適地性服務，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。同時針對物聯網技術與智慧城市之發展願景，預期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，將支撐適地性服務(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持續自主研發適用不同移動載台之製圖技術，並獲致相當之成果，冀望於本案能夠在既有成果上持續更進一步探討，並往應用面推廣，包含下列與移動載台製圖系統相關之議題。**發展移動裝置通用之室內外定位技術**項目中，完成了公尺等級的可攜式光達室內製圖酬載，並且進一步提升藍芽定位，運用本團隊歷年開發的定位技術在故宮南院實踐擴增實境的適地性服務。**發展地籍測量移動製圖技術**項目中，發展新一代可攜式全景影像測繪系統，改善原先系統率定之問題，於適地性服務案例試辦中，證實本系統在理想之透空與通視條件下，可達到合乎地籍測量市地之規範。**探討高精地圖及即時動態地圖規格、作業方法及精度評估**項目中，彙整高精地圖及即時動態地圖之本質內涵，以文獻回顧進行可行性評估，蒐集整理光達與影像資料間的處理及整合方法。**協助推動國際測量事務交流合作**項目中，與印尼及日本 DMP 進行交流，交流整合式定位定向技術並提供諮詢外，協助推動測繪與高精地圖之相關的國際事務，落實國內外空間資訊交流。

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. The innovative technologies have ability to represent the real-world and their benefits rely on the timeliness and accuracy of spatial and attribute data. 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. Objects of interest can be directly measured and mapped from images that have been georeferenced using POS sensors. The collected spatial data from the mobile mapping system enables the government to plan national land development in a quicker and more effective way. In addition, the vehicle-based mobile mapping technology has great benefits for real-time monitoring, positioning and measurement of environment for emergency response and disaster prevention. With the development of mobile devices, the indoor mobile mapping and navigation technologies can make a teamwork with vehicle-based systems for the applications, especially in indoor environments. 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 LBS (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 mobile mapping technologies applied for various platforms can be considered as the ultimate objective of geomatics communities around the globe. This project aims at developing several core technologies concerning multi-platform mobile mapping systems including indoor mobile mapping and navigation technologies, mobile mapping application for cadastre survey as well as the discussion of high definition map. In addition, this project enhances Taiwan's capability of development for advanced mobile mapping technologies which make it comparable to international geomatics. 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

第壹章、前言	1
1.1 本案執行主軸.....	5
1.2 背景分析.....	10
1.3 工作項目	52
第貳章、發展移動裝置通用之室內外定位技術	56
2.1 研發公尺級低成本之可攜式光達室內製圖系統	56
2.2 研發室內定位技術在室內災害的人流導引應用	73
2.3 深度類神經網路增強室內外定位與製圖之整合方案	76
2.4 研發藍芽(低功耗)差分演算法，提升交會定位之精準度	85
2.5 建置移動裝置端之空間資訊系統應用於適地性服務	97
2.6 本章小結.....	112
第參章、發展地籍測量移動製圖技術	115
3.1 評估地面光達、環景影像及新型全測站等新式移動製圖技術於地籍測量作業之優缺點，並整理成報告	116
3.2 應用移動製圖技術精進地籍測量作業，並規劃移動製圖技術納入地籍測量作業相關流程及準則	120
3.3 適地性服務案例試辦，試辦區之選定需經內政部同意	130
3.4 本章小結.....	138
第肆章、探討高精地圖及即時動態地圖規格、作業方法及精度評估	139
4.1 高精地圖、即時動態地圖文獻回顧及標準建立作業規劃	140
4.2 AI 技術特徵辨識輔助高精地圖文獻回顧及整理作業規劃	153
4.3 高精地圖管理及供應平台先期評估作業規劃	160
4.4 高精地圖研討會舉辦.....	167
4.5 高精地圖於自駕車適地性服務案例試辦.....	174
4.6 本章小結.....	179
第伍章、協助國際事務事項與本案相關成果效益	181
5.1 協助國際測量事務交流合作	181
5.2 論文期刊.....	184
5.3 成果效益評估.....	185
5.4 定期召開工作會議	188
第陸章、結論與建議	190

6.1 結論.....	190
6.2 建議.....	191
參考文獻.....	192
附錄一.....	1-1
附錄二.....	2-1
附錄三.....	3-1
附錄四.....	4-1
附錄五.....	5-1
附錄六.....	6-1
附錄七.....	7-1
附錄八.....	8-1
附錄九.....	9-1

圖目錄

圖 1.1 移動遙測製圖系統可拓展之領域.....	2
圖 1.2 Google Project Tango 製圖手機.....	3
圖 1.3 團隊歷年多平台移動製技術案完成之工作項目目的及關係圖	4
圖 1.4 本案研擬之執行主軸.....	7
圖 1.5 衛星訊號遮蔽的效應.....	11
圖 1.6 環架式與固裝式 INS	12
圖 1.7 INS 之誤差行為慣性測量儀之比較	12
圖 1.8 直接定位技術之演進.....	13
圖 1.9 成功大學自主研發之影像級車載移動製圖系統-鷹眼平台	16
圖 1.10 Trimble 的室內製圖系統	17
圖 1.11 Trimble V10 Imaging Rover	18
圖 1.12 頭盔式穿戴裝置.....	19
圖 1.13 頭戴式的顯示器	19
圖 1.14 背包式穿戴儀器	20
圖 1.15 分散式穿戴儀器	20
圖 1.16 美國的智慧型手機普及率折線圖.....	21
圖 1.17 全球智慧型手機普平均價格圖表.....	21
圖 1.18 小米穿戴式手環.....	22
圖 1.19 穿戴式裝置預測圖	23
圖 1.20 Apple iWatch	23
圖 1.21 室內三維點雲圖資	25
圖 1.22 室內三維網格點圖資	25
圖 1.23 光達 SLAM 成果：(a)路基式平台(b)2D SLAM (c)3D SLAM.....	26
圖 1.24 光達之 3D SLAM 成果.....	26
圖 1.25 適應下水道環境之移動測繪系統與成果：(a)移動測繪系統酬載(b)3D SLAM.....	27
圖 1.26 航照影像與光達資料整合處理成果.....	27

圖 1.27 點雲建模程序	28
圖 1.28 Locally Fitted Surfaces(LoFS).....	28
圖 1.29 階層式圖形高度分析模型示意圖	29
圖 1.30 IndoorGML 中的幾何表示	30
圖 1.31 多層表示的概念	31
圖 1.32 結構空間模型	31
圖 1.33 結構空間模型的資料模式	32
圖 1.34 多層空間模型	33
圖 1.35 多層空間模型的	34
圖 1.36 多層空間模型的資料模式	35
圖 1.37 錨節點	35
圖 1.38 子空間的範例	36
圖 1.39 通過多層空間模型展示的層級結構	37
圖 1.40 IndoorGML 的模組化架構	38
圖 1.41 航位推算的定位技術概念示意圖	41
圖 1.42 傳統影像室內定位系統概念示意圖	42
圖 1.43 藍牙無線網絡連結星狀架構	43
圖 1.44 最短路徑樹	44
圖 1.45 最短路徑演算法流程	44
圖 1.46 Dijkstra 演算法與 A*演算法之比較	45
圖 1.47 寶可夢(Pokémon GO)遊戲介面	46
圖 1.48 AR 汽車導航 App 使用介面	47
圖 1.49 家具實景展示功能示意圖	47
圖 1.50 孕婦模型和擴增出來的胎兒寶寶和控制面板	48
圖 1.51 利用 AR 眼鏡可以看到肌膚內的脊椎以輔助手術的進行	49
圖 1.52 AR 測量之後的結果，可獲得不同角度之距離	49
圖 1.53 自駕車分類系統	51
圖 1.54 分月進度折線圖	55
圖 2.1 室內移動製圖平台	57

圖 2.2 軟體介面(直接地理定位量測及平面圖數化).....	58
圖 2.3 臺南市海安路地下停車場成果套疊.....	59
圖 2.4 初估作業程序及所需時間.....	59
圖 2.5 低成本光達系統平面圖建置流程.....	61
圖 2.6 製器人製圖演算法地圖展示.....	61
圖 2.7 網格式製圖演算法流程圖.....	62
圖 2.8 網格地圖示意.....	62
圖 2.9 布雷森漢姆直線演算法示意圖.....	63
圖 2.10 網格地圖屬性值-雙線性內插示意圖.....	64
圖 2.11 同步定位與製圖技術整合於移動製圖系統架構.....	65
圖 2.12 雷射掃描儀 UST-10LX/20LX.....	65
圖 2.13 雷射掃描儀 UST-10LX/20LX 掃瞄範圍.....	66
圖 2.14 室內移動製圖系統原型，室內機器人與室內無人機.....	67
圖 2.15 可攜式低成本光達移動製圖酬載.....	68
圖 2.16 手持式(左)與胸背式(右)低成本光達移動製圖酬載.....	68
圖 2.17 手持式(a)與胸背式(b)低成本光達系統實作.....	69
圖 2.18 室內無人機系統實作.....	69
圖 2.19 室內圖資評估驗證場.....	70
圖 2.20 室內平面圖產製成果:機器人(a)、無人機平台(b)、手持式(c)與胸背式(d)	71
圖 2.21 室內平面圖誤差分析長條圖:機器人(a)、無人機平台(b)、手持式(c)與胸 背式(d).....	72
圖 2.22 各停車街區分布範圍.....	75
圖 2.23 在不同查詢 TOD 下的 (a)平均行駛距離 (b)平均行走距離.....	75
圖 2.24 在不同 Std 下的 (a)平均行駛距離 (b)平均行走距離.....	76
圖 2.25 Inception Modules 架構圖.....	77
圖 2.26 Detectron 系統之類神經網路演進過程.....	78
圖 2.27 R-CNN 執行流程.....	79
圖 2.28 Fast R-CNN 使用 RoIPooling 共用特徵值.....	79

圖 2.29 Faster R-CNN 執行流程.....	80
圖 2.30 Mask R-CNN 屬性偵測.....	80
圖 2.31 RoIAlign 使用雙線性插值法使遮罩位置更加精準	81
圖 2.32 ORB-SLAM 主要流程	82
圖 2.33 ORB-SLAM 部分展示	83
圖 2.34 地下停車場之模擬手機影像.....	84
圖 2.35 故宮南院之模擬手機影像.....	84
圖 2.36 作業流程架構圖	85
圖 2.37 低功耗藍牙差分改正程序.....	85
圖 2.38 使用 LPF 後 RSSI 震盪的比較	86
圖 2.39 低功耗藍牙差分改正概念圖.....	87
圖 2.40 三邊交會	88
圖 2.41 低功耗藍牙差分改正實驗規劃.....	90
圖 2.42 實驗場環境.....	90
圖 2.43 待測點改正前後之定位成果.....	91
圖 2.44 待測點改正前後之 CDF	92
圖 2.45 三種定位成果之比較.....	95
圖 2.46 三種定位成果之 CDF	96
圖 2.47 App 介面圖	98
圖 2.48 展覽品擴增實境圖	98
圖 2.49 (左)USB 式 Beacon ; (右)電池式 Beacon.....	99
圖 2.50 Beacon(紅點)及展覽品(藍點)分佈圖	100
圖 2.51 率定程序示意圖	101
圖 2.52 用以獲得初始資訊方法之示意圖 (a)近似定位 (b)外接矩形	102
圖 2.53 行人航位推算流程圖.....	103
圖 2.54 行走時加速度值之震盪.....	103
圖 2.55 行人航位推算之示意圖.....	104
圖 2.56 Beacon 更新 PDR 之示意圖	105
圖 2.57 不同角度多張展物相片	106

圖 2.58 展物特徵值擷取圖	106
圖 2.59 App 介面圖	111
圖 2.60 使用者行走路徑圖	112
圖 2.61 資料庫過濾程式碼	112
圖 3.1 可攜式環景影像測繪系統	116
圖 3.2 地面光達-RIEGL VZ-400	117
圖 3.3 新式全站儀- Trimble SX10	117
圖 3.4 量測輔助標-實地擺設於地籍點	119
圖 3.5 可攜式環景影像測繪系統的(a)特製平台及(b)外觀	120
圖 3.6 應用 PPIMS 進行測繪之整體工作流程圖	121
圖 3.7 (a)相機內方位率定之可旋轉且布滿人造標的圓盤 (b) PPIMS 相對方位室內率定場	121
圖 3.8 (a)球形環景影像及其(b)展開之平面影像	122
圖 3.9 應用 PPIMS 的相機相對關係形成球形環景影像	122
圖 3.10 透過 SPI 的交會關係解算物空間點位坐標	123
圖 3.11 (a)新 PPIMS 之平台硬體設計 (b)新 PPIMS 整體外觀	124
圖 3.12 (a)系館一樓實驗場 (b)室內實驗場點位分佈圖	125
圖 3.13 (a) 自強校區之室外實驗場 (b)室外實驗場點位分佈圖	126
圖 3.14 MAPS-「拼接」頁籤之操作介面	127
圖 3.15 MAPS-「量測」頁籤之操作介面	128
圖 3.16 新增「匯出全景點圖」功能	128
圖 3.17 連結點於該測站之分佈圖範例	129
圖 3.18 新增小功能-點擊任一連結點，畫面自動跳至其對應之周遭影像	129
圖 3.19 移動製圖技術輔助於地籍測量作業之規劃流程	130
圖 3.20 測試區域位置圖	131
圖 3.21 測試區域地籍圖	131
圖 3.22 界址點、控制點與地籍範圍之 SHP 檔之展示圖	133
圖 3.23 安南區地籍重測範圍圖(正射影像)	133
圖 3.24 安南區測試區域-現地現存之界址點與控制點	134

圖 3.25 安南區之測試區域.....	134
圖 3.26 測站、控制點與連結點分佈圖.....	135
圖 3.27 測站、控制點與連結點分佈圖-移除交會幾何較差之連結點.....	136
圖 3.28 交會幾何分析-定位誤差說明.....	137
圖 4.1 高精地圖示意圖.....	139
圖 4.2 自動駕駛導航精度需求.....	141
圖 4.3 LDM 四層模型.....	142
圖 4.4 HERE HD Maps (左)及 CSV 技術(右).....	143
圖 4.5 TomTom RoadDNA Maps.....	143
圖 4.6 Civil HD Maps.....	143
圖 4.7 自駕車上的感測器系統.....	144
圖 4.8 車載行動測繪系統累積資料大小範例.....	145
圖 4.9 高精地圖製圖作業之車載行動測繪系統建議流程.....	147
圖 4.10 Cascade-AdaBoost classifier 演算法辨識道路車輛.....	154
圖 4.11 FCN 語意分割精度比較.....	155
圖 4.12 FCN 語意分割成果比較.....	155
圖 4.13 Lane Detection 後處理前後之成果.....	156
圖 4.14 不同種類車道辨識之精度成果.....	156
圖 4.15 利用 SIFT 與 SURF 進行特徵點萃取.....	157
圖 4.16 二值化後的影像.....	157
圖 4.17 地面光達分類成果.....	158
圖 4.18 道路標誌萃取成果.....	158
圖 4.19 轉移路徑產製的成果.....	158
圖 4.20 PointNet 語意分割成果.....	159
圖 4.21 高精圖資管理及供應平台系統架構.....	161
圖 4.22 自駕車基本功能.....	162
圖 4.23 平台與車輛之上傳下載資料交付模式.....	163
圖 4.24 高精度自動駕駛地圖標準組織.....	164
圖 4.25 Open Lane Model 1.0 框架.....	165

圖 4.26 Routing Building Block 範疇	166
圖 4.27 Lane Building Block 範疇	167
圖 4.28 HD Map 測繪業座談會之花絮	168
圖 4.29 「2018 自駕車高精地圖國際論壇」與會者之單位比例	170
圖 4.30 「台灣自駕車高精地圖產業標準化」啟動儀式及貴賓合影	171
圖 4.31 「移動載台測量製圖技術發展工作案」成果介紹	172
圖 4.32 「2018 自駕車高精地圖國際論壇」活動花絮	174
圖 4.33 台中水湳場域範圍示意圖	174
圖 4.34 搭載光達之車載行動測繪系統(RIEGL VMX-250)	175
圖 4.35 車載平差控制點點雲量測示意圖	176
圖 4.36 水湳自駕車測試場案例試辦高精向量圖產製成果	178
圖 5.1 完成台灣與印尼測繪合作協定簽屬	182
圖 5.2 簽屬典禮之出席貴賓合影	182
圖 7.1 政府研究資訊系統 GRB 登載結果-1	186
圖 7.2 政府研究資訊系統 GRB 登載結果-2	187
圖 7.3 政府研究資訊系統 GRB 登載結果-3	187
圖 7.4 政府研究資訊系統 GRB 登載結果-4	188

表目錄

表 1.1 本案初步規劃之中長期研究項目	8
表 1.2 多平台移動遙測製圖技術之優缺點	14
表 1.3 室內定位技術整理表	39
表 1.4 室內定位技術特性比較表	40
表 1.5 Beacon 傳送信息之內容	43
表 1.6 分月進度表	54
表 2.1 雷射掃描儀規格表	66
表 2.2 室內無人機規格表	67
表 2.3 室內平面圖評估統計分析	73
表 2.4 待測點之評估成果(單位：公尺)	93
表 2.5 待測點之評估成果(單位：公尺)	97
表 2.6 Beacon 傳送信息之內容	100
表 2.7 展物擴增文字內容	107
表 3.1 可攜式全景影像測繪系統相關規格	118
表 3.2 地面光達相關規格	118
表 3.3 新式全站儀相關規格	118
表 3.4 相關移動測繪儀器於地籍測量之評估簡表	119
表 3.5 歷次 PPIMS 系統方位率定差值(2 nd -1 st)	123
表 3.6 歷次 PPIMS 系統方位率定差值(3 rd -2 nd)	124
表 3.7 歷次新 PPIMS 系統方位率定差值(2 nd -1 st)	125
表 3.8 兩代 PPIMS 室內實驗場檢核成果	126
表 3.9 新 PPIMS 室外實驗場檢核成果	126
表 3.10 現地控制點平面坐標檢核成果	132
表 3.11 安南測試區域檢核成果	135
表 3.12 安南測試區域檢核成果-移除交會幾何較差之連結點	136
表 3.13 安南測試區域檢核成果-僅一半測站具定位資料	137
表 4.1 多感測器整合系統比較	144

表 4.2 車載行動測繪系統精度分級及對應之應用	146
表 4.3 靜態高精地圖車道線的分類方式	147
表 4.4 影像處理演算法統整表	159
表 4.5 點雲處理演算法統整表	160
表 4.6 引用標準/規範內容整理	164
表 4.7 「2018 自駕車高精地圖國際論壇」議程表	169
表 4.8 「2018 自駕車高精地圖國際論壇」報名統計表	169
表 4.9 「2018 自駕車高精地圖國際論壇」與會單位列表	170
表 4.10 水滷自駕車案例試辦—路面圖層資訊	177
表 4.11 水滷自駕車案例試辦—非路面圖層資訊	177
表 5.1 「SIP-adus Workshop 2018」議程	184
表 6.1 研發成果之提送狀況	185

第壹章、前言

內政部自 105 年起推動「空間測繪應用研究發展計畫」，規劃於既有先進航遙測技術基礎上，深化我國自主性之測繪科技研究，擴大各項測繪技術本土研發能量，進而吸引國內投入測繪科技之研發人才與經費，厚植測繪軟硬體實力。本案為 106 年度移動載台測量製圖技術發展工作案之後續擴充。故本案延續 105 與 106 年度成果，持續發展公尺級量測精度之光達室內移動製圖及多情境應用場景之移動定位等技術，及研發適用於地籍測量之移動測繪技術，以提升地籍測量作業流程等項目、多平台製圖系統測試及率定服務，並規劃籌組測量與空間資訊相關領域(含災害防救)產官學研專家諮詢團隊。此外配合自駕車研究，探討高精地圖及即時動態地圖之製圖規格與產製流程。並持續推動國際測量機關業務交流及產學研發展合作，期能持續帶領國內測繪產業蓬勃發展，與國際發展趨勢接軌，並培養國內科技專業人力，累積國內移動製圖能量，整體帶動國內空間資料產業之創新與發展。

現有空間資訊系統之效益建構在系統空間及屬性資料時效性以及正確性，並藉此發揮它的功能並表示真實世界的現象。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。近年來測量與空間資訊技術正在逐漸革新，攝影測量製圖的技術與精密整合式定位定向系統結合，搭配多種的數位影像感測器來收集空間資料，逐步實現快速即時移動式測量及空間資料之多平台製圖技術。這類技術整合衛星、飛機、直升機、船舶、汽機車等不同載具及多種高效率影像感測器，輔以全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)、慣性導航系統(Inertial Navigation System, INS)、機電整合及軟體工程模擬器等元件所形成之先進製圖技術。透過使用多平台製圖技術建置空間資料，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。尤其目前移動裝置之發展備受矚目，隨著硬體元件的逐年發展，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製圖平台，並具備將移動製圖的應用延伸至室內的可能性。因此，全球多平台製圖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，2014)，並繼續提升室外多平台移動製圖的效能，以推廣至更多的應用領域，像是快速防救災與其他傳統測繪業務等等，同時發展室內移動製圖技術與開發對應的市場潛力。

在空間資訊相關應用領域方面，多平台製圖系統的機動性以及對數位影像處理與蒐集的能力，可以顯著節省許多傳統測量所需要的人力及時間。在其他非傳統測量方面，如建立交通標誌資訊以規劃交通路線，或用來調查都市地區的基础公共建設，如人孔、變電箱、電線桿，甚至透過影像處理技術獲取路牌、招牌上所隱含的屬性資訊，更新導航電子地圖，整合並更進一步加值定位服務技術。

在載具結合上，透過無人控制載具，搭配直接定位技術滿足即時監控及救災需求，對災害防救的緊急應變措施有極大的效益。若更進一步整合人工智慧技術，開發無人自動駕駛車更能實質擴展到民生用途及軍事技術上。除傳統的空間資訊與測繪應用以外，隨著個人移動裝置普及所相應而生的適地性服務，空間資訊業者下一步目標將從戶外的廣大天地轉進建築物內，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。同時物聯網技術與移動式裝置之發展日漸普及，預期結合現有多平台移動製圖技術、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；故發展公尺級室內移動製圖技術(含圖資與興趣點)及結合移動裝置與室內外圖資的各式適地性應用(含災害防救)有其必要性。關於移動遙測製圖系統更廣泛之應用請參考圖 1.1，並標示出因移動裝置發展與近年防救災的高度需求所對應的本年度重點發展領域。

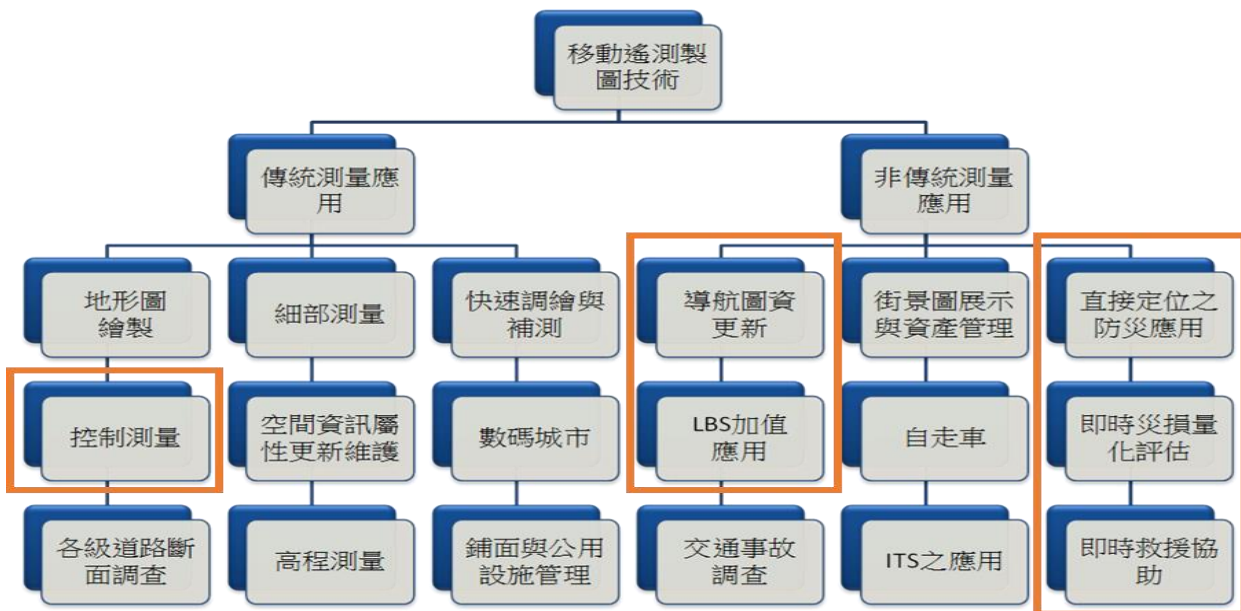


圖 1.1 移動遙測製圖系統可拓展之領域(江凱偉 等人，2011)

針對近年來逐漸興起室內移動製圖的相關應用，Google 除了發展基於傳統室外製圖應用的街景車以外，已於 2014 年初宣布推出 Project Tango，讓手機具備掃描與理解 3D 空間與動作的能力，開發了一部 5 吋原型手機，具備客製化的軟硬體以完整偵測手機的 3D 動作，並同時可以建立使用者周遭環境的地圖。這部手機具備每秒偵測 25 萬次 3D 測量的能力，可以即時更新手機的位置和方向，以建立使用者身處環境的 3D 地圖。此原型機具備慣性測量感測器晶片、GNSS 接收晶片、磁力計、氣壓計、相機與景深相機，圖 1.2 為 Tango 手機之外觀，由左至右分別是其搭載 120°廣角自拍鏡頭、400 萬像素的 RGB/IR 鏡頭以及 180°廣角的魚眼鏡頭，其中 RGB/IR 鏡頭即用於提供彩色影像與景深資訊以測繪環境。換言之，新世代基於移動裝置的移動製圖技術有三個重點：其一為應

用 GNSS 與各種感測器，滿足室內與室外兼顧的無縫製圖應用之需求，其二為使用超低成本且大量生產的感測器，其三則為載具無人化、行動化與個人化，以進一步降低作業成本，並拓展適定性服務與公眾/專家參與之防救災的應用市場。



圖 1.2 Google Project Tango 製圖手機

內政部自民國 100 年開始推動自主研發之多平台製圖技術，先期研究計畫對發展與應用多平台遙測製圖技術進行關鍵技術研發，並於民國 100 至 104 年年執行平台製圖技術工作案，自主發展各項核心關鍵技術並致力將此類技術推廣至空間資訊相關領域。本團隊首先於 100 年執行內政部辦理「100 年度發展與應用多平台遙測製圖技術工作案」，並順利完成包含「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」等工作項目。

本團隊於 101 年執行內政部辦理「101 年度多平台製圖技術工作案」，並順利完成包含「建置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」、「結合內政部 e-GNSS 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」等工作項目。

本團隊接續於 102 年執行內政部辦理「102 年度多平台製圖技術工作案」，並順利完成包含「建置多平台製圖系統測試及率定實驗室」、「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」等工作項目。

在 103 年度本團隊更進一步探討包含下列與多平台製圖系統與應用相關之關鍵技術：「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」等工作項目。同時藉由積極參與國外專業

領域各學會之研討會、參與論文競賽與發表高品質期刊論文持續加強專業人才訓練與先進多平台製圖技術之國際競爭力。

本團隊於 104 年度，除維護既有的率定實驗室與相關移動製圖技術以外，已開始著手評估室內移動製圖系統與穿戴或手持裝置的定位技術，完成之工作項目如下：「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」等工作項目。同時已發表 3 篇國內研討會文章與 1 篇 SCI 國際期刊論文。

連續五個年度執行內政部辦理「100 年度發展與應用多平台遙測製圖技術工作案」、「101 年度多平台製圖技術工作案」、「102 年度多平台製圖技術工作案」和「103 年度多平台製圖工作案」、「104 年度多平台製圖技術工作案」，並順利完成所有工作項目。這些工作成果之意義本不在於現有商用系統競爭，而是希望透過自主研發與設計之關鍵技術以擴大空間資訊專業人才訓練、落實測繪品質管理、強化年輕學者國際競爭力與提升國內空間資訊工程領域之技術水準，並符合國際最新的發展趨勢。圖 1.3 說明各年度工作項目之目的及延續關係。

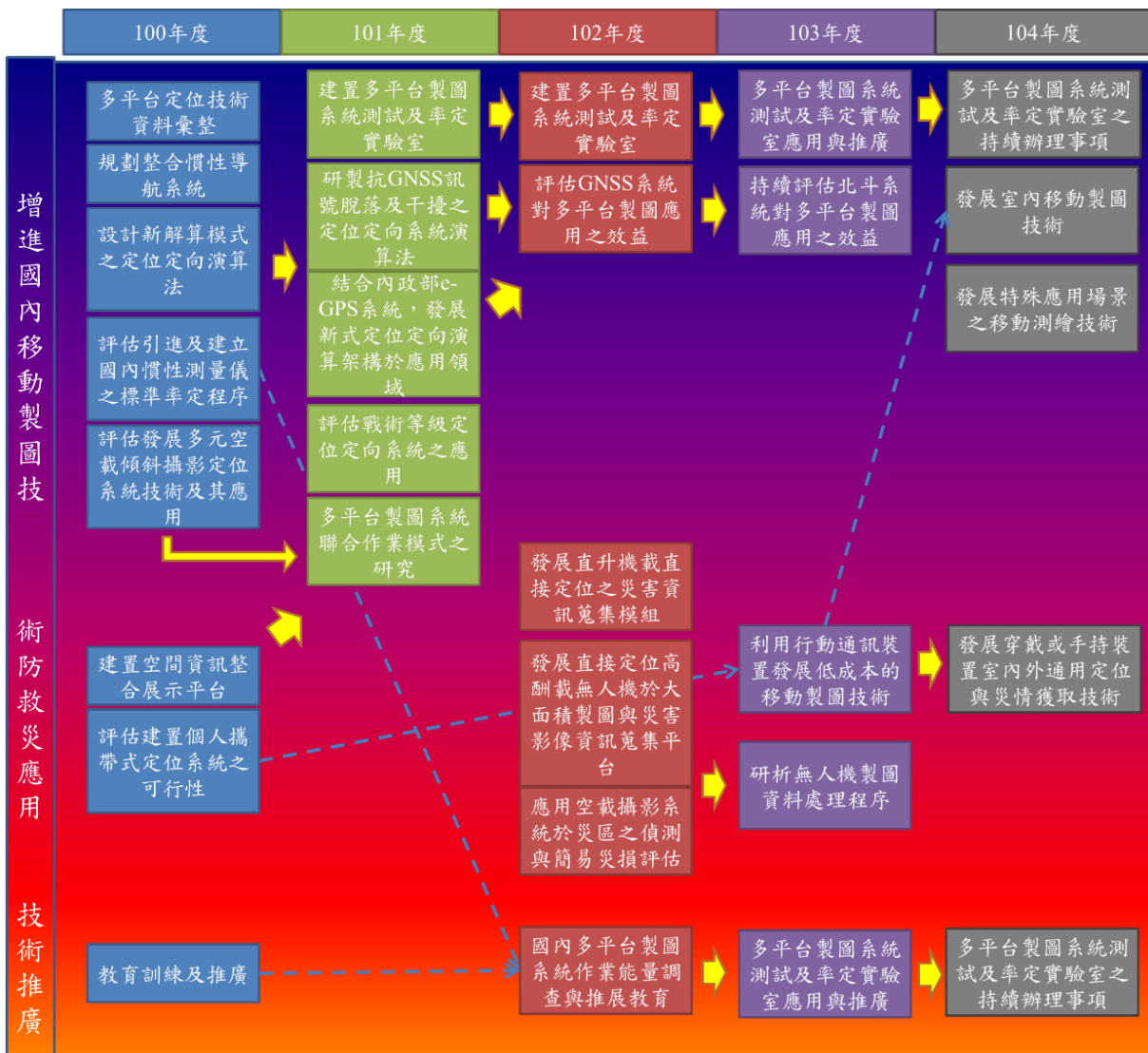


圖 1.3 團隊歷年多平台移動製技術案完成之工作項目目的及關係圖

1.1 本案執行主軸

本團隊於前年 105 年度，辦理內政部「105 年度移動載台測量製圖技術發展工作案」，基於 104 年度工作案中，穿戴式裝置定位技術的基礎下，進一步研發移動裝置通用之室內外定位技術，同時更評估發展環景與無人機應用於地籍測量作業上，完成之工作項目如下：「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」等工作項目。同時已發表 3 篇國內研討會文章與 1 篇 SCI 國際期刊論文，提送國內科普刊物文稿 1 篇、國內外實作或論文競賽 1 件，並技術轉移 1 件。

本團隊於去年 106 年度，辦理內政部「106 年度移動載台測量製圖技術發展工作案」，持續發展移動裝置通用之室內外定位技術，同時更評估發展環景影像應用於地籍測量作業上，完成之工作項目如下：「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」、「發展多平台製圖系統測試及率定服務」等工作項目。同時已發表 3 篇國內研討會文章與 1 篇 SCI 國際期刊論文，提送國內科普刊物文稿 1 篇、國內外實作或論文競賽 1 件，並技術轉移 1 件。

針對室內製圖部分規劃發展具備公尺級量測精度的室內光達移動製圖技術，配合內政部通用版電子地圖建置公尺級室內外聯合導航圖資(含興趣點)，室內圖資又被稱作「人的地圖」，為規劃人在室內走動路線故具有高度重要性。根據室內移動製圖技術發展無建築藍圖的室內圖資建置與高頻率的圖資更新技術，所得之物空間坐標得以提供室內製圖應用。105 年度中，11 月 3 日於臺南市海安路地下停車場進行總長約 400-500 公尺，歷時約 10-15 分鐘資料收集，並驗證及測試整體室內製圖程序，具備多圖層套套疊功能。並已完成研發具備公尺級量測精度之室內環景影像移動製圖技術，並可結合內政部臺灣通用電子地圖建置公尺級室內外聯合導航圖資(含興趣點)，且在室內場景以自製圖資和低功耗藍芽輔助定位，提升使用者使用移動裝置進行導航服務的精度。本團隊今年度也將評估發展利用室內圖資(直接地理定位影像)與現有移動裝置進行人員室內無縫定位與適地性服務試作，同時基於光達與同步定位與製圖演算法，快速自動化產製公尺級室內平面圖之技術，並引入移動裝置之增廣實境導引。106 年度中，已在臺南市東南地政事務所完成「基於公開資訊發展快速自動化產製公尺級室內平面圖之技術」、「發展自動化產製路網向量圖應用於導引服務」、「移動裝置之擴增實境導引功能開發」項目之功能驗證與適地性服務案例試辦。

災害防救應用科技方案中，持續提供都會區車載移動製圖系統結合 Google Earth 展示介面(1050926 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(如 1050206 臺南地震災害)。而發展災後快速製圖技術之另一重點為處理災害區域圖資之軟體服務，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。在緊急災害測繪啟動後，3~12 小時內提供已有測繪成果資料、24~36 小時內提供災後首批多平台載體原始影像與影像內外方位參數、36~48 小時內提供災區快速拼接正射影像解譯和災害區域土地/建物/地物測繪災情分析初步成果以及初步點雲模型、48~72 小時內提供特定災害區域 3D 建模模型，發佈至前台『緊急災害管理資訊系統』，為應急決策、搶險、救援等災害應急方面提供政府相關部門即時可靠的資料支援。

地籍測量作業包括地籍圖重測及土地複丈業務，目前多倚賴傳統測繪方法。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，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。人員攜帶式 (Portable) 的觀測系統較符合現場調查及觀測的概念，因此本案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。針對適地性服務案例試辦土地複丈與地籍調查，將以臺南市地籍測量案例進行測試。

而本年度新增高精地圖及即時動態地圖的相關文獻回顧與作業方式探討。在現今自駕車議題迅速延燒的環境下，為輔助內政部推動相關高精地圖及即時動態地圖的製作流程與後續延伸應用，特別探討給如自駕車等電腦操控的智慧型無人載具所看的新型態地圖，並使用自駕車試驗場進行服務性案例試辦，確保新訂定之作業流程及規範符合應用需求。同時也規劃相關議題研討會，邀請產官學界等相關人士參與，希望在高精地圖及即時動態地圖的製作上建立起溝通橋樑與相關標準的訂定，提升我國自駕車整體發展實力。而為確保多平台遙測製圖成果之品質，宜持續推廣適合臺灣環境之多平台製圖系統標準感測器測試程序與維護相關設施，提供國內多平台系統測試與率定分析之專業服務，協助確保系統穩定度與測繪成果之精度，持續推廣與滾動修正適用國內環境之車載製圖系統作業手冊，該項目同時併入高精地圖規範制定項目中。

我國的經濟發展與區域內許多國家具有高度關聯性，近年來東協國東協及南亞國家等新興市場國家迅速崛起，我國與東協國家間之雙邊關係益發重要。為配合政府的新南向政策，本工作案擬邀請數位國內產官學研之專家學者組成台灣空間資訊產業新南向策略小組(Taiwanese Geomatics Industry Advisory Networks Teaming up for Newsouthbound Strategy, TGIANT)，同時邀請部分東南亞國家之空間資訊領域專家擔任這個小組的諮詢顧問，共商國內空間資訊產業的南向發展策略與建構包含多方人員交流、經貿合作與產業交流、資源共享、並南向關鍵合作議題進行區域鏈結等重大事項。在此架構下，本工作案於去年暑假召開一個

關於建置國家坐標系統主題的論壇，除本國相關領域的產官學專家外，邀請至少包含來自印尼、泰國、越南與馬來西亞等國家中至少三個國家的專家參與這個論壇。於 106 年 7 月 10 日假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，召開「2017 新南向測繪及空間資訊國際論壇」(2017 ASEAN - Taiwan Forum on Land Surveying and Geomatics)，為了擴大論壇的參與力道、官方參與層級以及便於機關各項深化交流，論壇主軸除了原訂的國家坐標系統外，更延伸至防災與測繪相關議題。論壇中邀請臺灣、泰國、印尼、越南、菲律賓與馬來西亞的官方代表或專家學者參與發表。

故本年度工作案研擬之執行主軸如圖 1.4 所示。

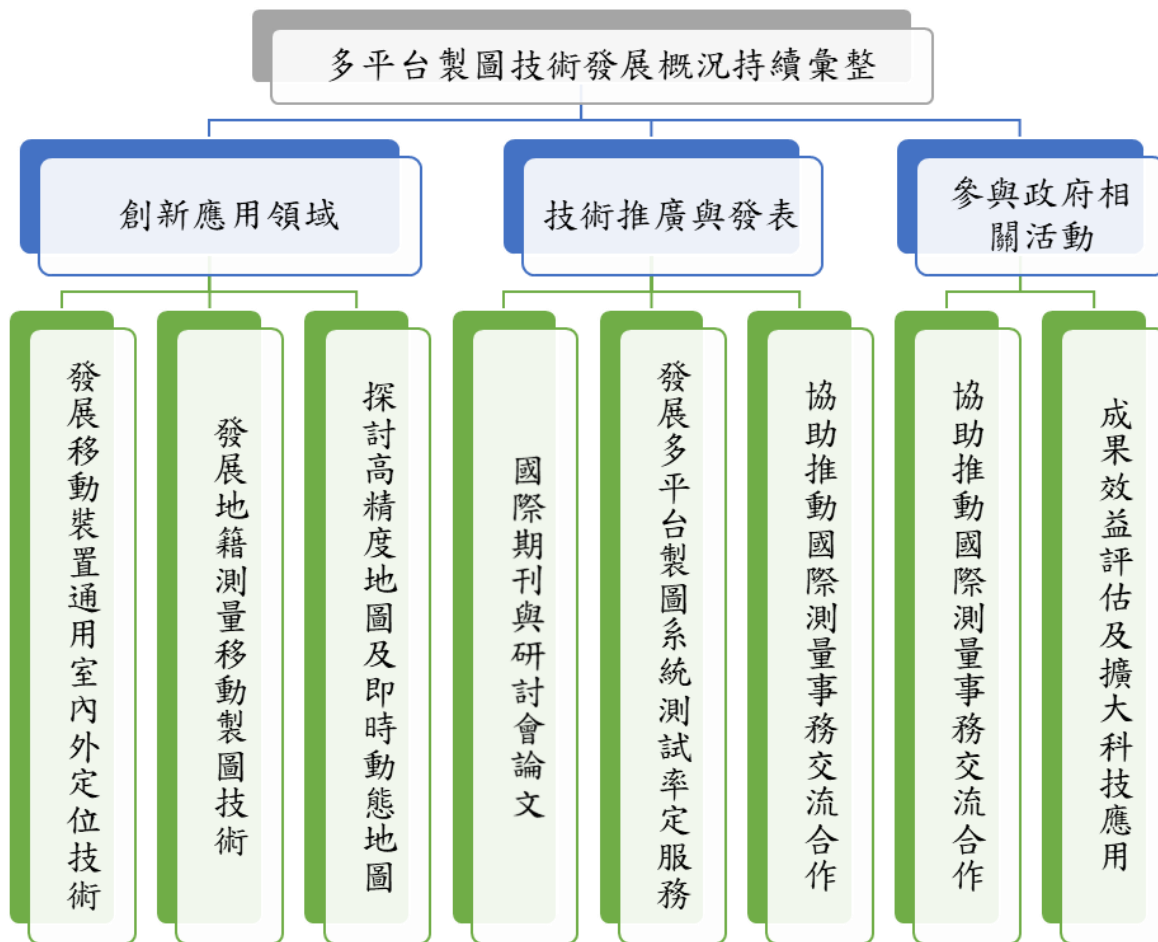


圖 1.4 本案研擬之執行主軸

此外，本年度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。尤其針對防救災的相關需求，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，並提供本團隊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移動定位技術之後，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。本年度將試做室內救災人流路線導引應用，作為本團隊第一個瞄準的適地性服務。透過本團隊所發展的室內移

動製圖技術，能夠準確且高效率地將室內空間平面圖與連通路網向量圖繪製且數化完成，雖然透過人工的方式繪製室內連通路網的向量圖是一種高精度的製圖方式，但是當室內空間太大時，利用人工的數化記錄處理路網向量圖將大幅提升人力成本與製圖的時間，因此自動化的路網向量圖產生技術便是本團隊的下一個目標，可行的做法包含兩種：第一種是透過影像辨識的技術，從已知的室內平面圖中，分辨線與平面之間的關係，自動產生節點，並且根據節點間是否存在線段，決定兩點間是否存在連通關係。這樣的做法優點是直接快速，無須額外的資訊，直接針對平面影像進行分析，產生對應的路網向量圖，但是若室內平面圖存在錯誤時，路網向量圖也會產生錯誤的連通關係，此外，若是室內平面圖的線條符號沒有統一的話，影像分析也會有符號混淆的問題。第二種作法是透過使用者過去的移動軌跡資料，自動探勘路網向量圖，使用者能夠產生的軌跡路線，代表兩節點之間存在連通關係，因此先將移動軌跡記錄套疊至室內平面圖，接著找出頻率較高的子路線，作為室內路網向量圖的萃取依據。未來將依循這兩種主要方向尋求快速自動化產製高正確率的路網向量圖。

當室內路網向量圖完成之後，行動裝置並可根據目前的位置與欲到達的目的地進行路徑規劃，未來將預計提升路徑規劃的正確性與運算效率。接著，如何導引使用者到達目的地也是本團隊的研究重點，擴增實境是近年來廣受矚目的研究議題，透過行動裝置所拍攝到的畫面，將導引路線以擴增的方式，呈現在顯示螢幕上，達到更方便的導引效果，並且透過影像中的物件推播相關物品介紹，這幾項將是本團隊的目標之一，未來除了利用行動裝置外，穿戴裝置也是可以考慮的硬體平台，如智慧眼鏡、智慧手錶等。本案初步規劃之中長期研究項目見下表 1.1：

表 1.1 本案初步規劃之中長期研究項目

發展移動裝置通用之室內外定位技術	
年度	工作項目
105 年度	<ol style="list-style-type: none"> 1. 研發具備公尺級量測精度之室內環景影像移動製圖技術，並可結合內政部電子地圖之內外聯合導航圖資。 2. 研發適用車載與行人模式、室內與室外等多情境應用場景之移動定位技術。 3. 適地性服務案例試辦。
106 年度	<ol style="list-style-type: none"> 1. 基於公開資訊發展快速自動化產製公尺級室內平面圖之技術。 2. 自動化產製路網向量圖應用於導引服務。 3. 優化移動裝置之擴增實境導引效能。 4. 研發移動裝置於製圖區之影像輔助慣性定位，減低環境設施布建之需求。 5. 配合內政部辦理 106 年度行政院災害防救應用科技方案(第 2 期)，協助災後快速製圖技術研發相關作業。

107 年度	<ol style="list-style-type: none"> 1. 研發公尺級低成本之可攜式光達室內製圖系統。 2. 研發室內定位技術在室內災害的人流導引應用。 3. 深度類神經網路增強室內外定位與製圖之整合方案。 4. 研發藍芽(低功耗)差分演算法，提升交會定位之精準度。 5. 建置移動裝置端之空間資訊系統應用於適地性服務。 6. 配合內政部辦理 107 年度行政院災害防救應用科技方案(第 2 期)，協助災後快速製圖技術研發相關作業。
108 年度	<ol style="list-style-type: none"> 1. 研擬室內製圖標準流程與相關作業手冊。 2. 建構全系統之完整定位導引解決方案，提供慣性、圖資、影像與低功耗藍芽的多情境整合切換。 3. 發展符合防減災應用的個人適定性服務技術。
發展地籍測量移動製圖技術	
105 年度	<p>可攜式平台之建立：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 多相機平台率定：包含相機內方位率定及平台系統率定。 2. 撰寫球形環景影像拼接程式：將多相機平台所獲取的多張影像合併為一幅球形環景影像 SPI。 3. 撰寫球形環景影像光束法平差程式：利用 SPI 的交會關係，以空中三角平差的概念解算 SPI 的外方位元素，並結合 SPI 幾何改正之多測站光束法平差。
106 年度	<p>應用移動製圖技術精進地籍測量作業：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 撰寫球形環景影像 SPI 瀏覽及觀測介面程式：設計並完成一個符合此測繪系統需求的 SPI 瀏覽及觀測介面雛形。 2. 球形環景影像測繪系統應用及測試：將系統應用於實際測繪案例，測試整體操作計算流程之流暢性。 3. 規劃移動製圖技術納入地籍測量作業相關流程及準則 4. 地籍測量案例測試。
107 年度	<p>整合可攜式平台與無人飛行載具(UAV)式觀測系統：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. UAV 觀測系統：建立適合地籍測量應用之 UAV 觀測系統。 2. 整合可攜式平台與 UAV 之地籍測量案例測試。 3. 適地性服務案例試辦。
108 年度	<p>建立標準工作流程及服務案例：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 觀測系統最佳化：調整兩種觀測系統並標準化其軟硬體介面。 2. 應用流程最佳化：針對地籍測量應用，調整應用工作流程及成果產製以適合實務工作。 3. 擴展適地性服務案例試辦。

發展災後快速製圖技術	
105 年度	<ol style="list-style-type: none"> 1. 整合研發快速獲取災害區域圖資之硬體設施。 2. 研發處理災害區域圖資之軟體服務。 3. 配合內政部辦理本年度行政院災害防救應用科技方案(第 2 期)相關作業依據行政院災害防救應用科技方案(第 2 期),我國持續面臨之災害問題包含。
探討高精地圖及即時動態地圖規格、作業方法及精度評估	
107 年度	<ol style="list-style-type: none"> 1. 高精地圖、即時動態地圖、AI 技術特徵辨識文獻回顧整理。 2. 多平台製圖技術測試與率定設施持續維護與更新。 3. 高精地圖管理及供應平台先期評估作業。 4. 舉辦高精地圖研討會 1 場。 5. 高精地圖於自駕車適地性服務案例試辦。
發展多平台製圖系統測試及率定服務	
105 年度	<ol style="list-style-type: none"> 1. 辦理「測試與率定設施之實作教育訓練」與「移動製圖技術於防救災應用之論壇」。 2. 現有各測試及率定實驗室更新,並針對車載製圖系統的率定場和檢核場進行更完善的場地規劃。 3. 完成單一相機內方位率定場與多組相機相對方位率定場的維護。 4. 利用車載及影像感測器之儀器進行測試與率定,分析系統誤差並針對誤差原因提出改正方式與修正多平台製圖系統誤差之演算法。 5. 推廣本團隊所提供的儀器率定服務。
106 年度	<ol style="list-style-type: none"> 1. 各測試及率定實驗室之維護。 2. 針對臺北環境建置車載製圖系統之率定場和檢核場。 3. 持續推廣本團隊所提供的儀器率定服務。 4. 根據所蒐集到各單位的成果資料,建立車載及影像感測器率定參考報告標準。 5. 辦理測試與率定設施之實作座談,協助評估前項測試及率定實驗室加入 TAF 認證之可行性。

1.2 背景分析

移動遙測製圖系統的觀念可溯及 20 世紀初航空攝影測量之始,以飛機為平台搭載相機,利用地面控制點及影像重疊共軛點量測反算影像方位,此種定位方式稱為間接式定位(Indirect Geo-referencing),此為移動遙測製圖系統的原始形式。而自 1980 年代起隨著衛星定位技術之發展,從早期使用美國 GPS (Global Positioning System)的單一系統,接下來伴隨俄羅斯的 GLONASS (GLObal

Navigation Satellite System)之發展提供早期多系統衛星定位技術之雛型，加上歐洲發展中的 Galileo (Galileo Positioning System) 與已於 2012 年底正式提供區域性服務的北斗系統 BDS (BeiDou Navigation Satellite System)，衛星定位之精度與幾何強度逐年提升。而航空攝影測量即透過結合多系統衛星動態定位技術，使得求解影像方位的過程僅需少量控制點，如此可大幅節省外業人事成本與提升作業效率。歐美的空間資訊工程相關研究機構於 1980 年代陸續提出來整合衛星定位技術及數位相機的車載移動遙測技術(El-Sheimy, 1996)，但在此階段車載移動遙測只侷限於可行性探討、雛型設計與系統整合及原型系統測試。但衛星定位技術在市區、地下道、隧道、森林等地區仍然會受到訊號遮蔽的效應所影響，一般來說，第一種狀況為使用者接收儀無法鎖定超過 4 顆衛星，故無法獲得定位解；而第二種狀況為使用者雖鎖定超過 4 顆衛星，但其觀測量品質不佳，導致定位精度不佳，如圖 1.5 所示。同時在空載系統之應用時亦常因劇烈的姿態變化而導致衛星失鎖而無法獲得定位解之狀況。

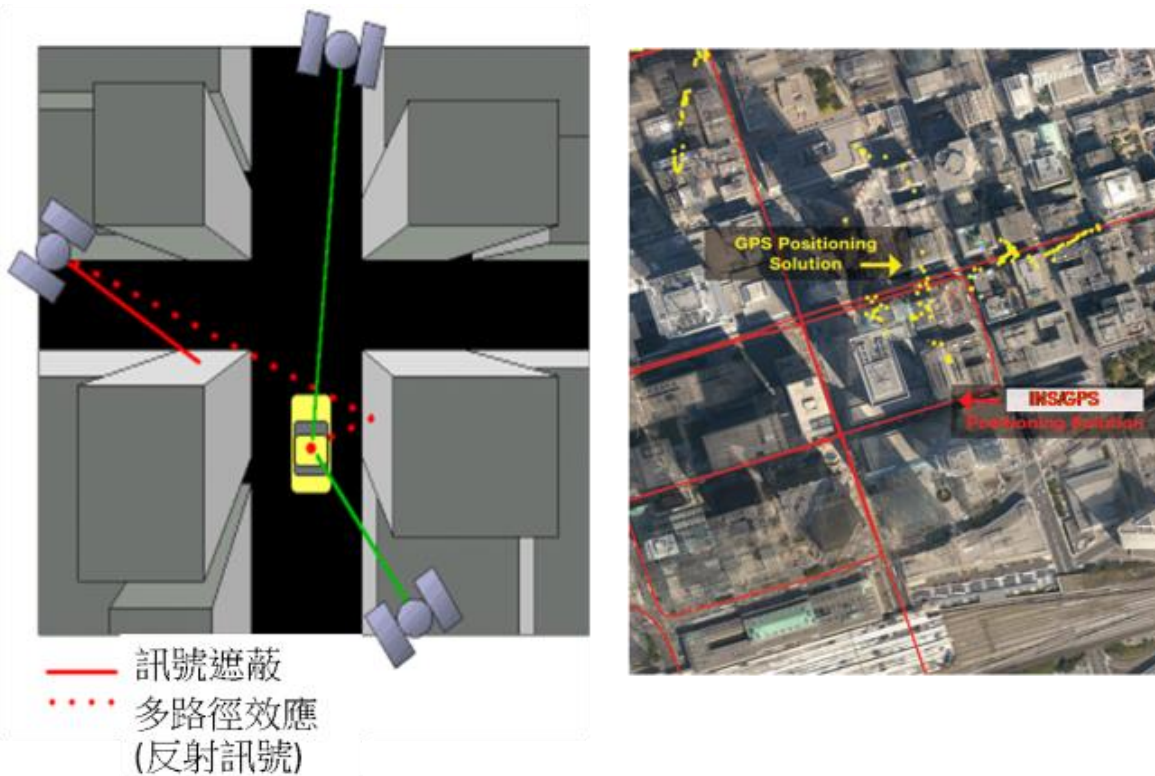


圖 1.5 衛星訊號遮蔽的效應

早期的慣性導航技術皆是為符合軍事平台之需求所建立的，一直被視為敏感度極高且受相關國家管制的導航系統，同時早期的 INS 使用機械環架式設計，其精度高但體積龐大，因此無法應用於移動遙測製圖中，如圖 1.6 左所示。自 1980 年起，固裝式(Strapdown)慣性測量儀(Inertial Measurements Unit, IMU)之發展因光學陀螺儀與石英加速度計技術發展普及而逐漸成為主流，這類慣性測量儀具備精度高與體積小等特性，如圖 1.6 右所示，故吸引歐美空間資訊領域研究學者深入探討將慣性導航技術引入移動遙測製圖技術之可行性。慣性導航技術需要初始的位置及姿態供加速度的轉換及積分運算，前者可以透過輔助感測器

(如衛星定位技術)給定，但姿態部分則需要一段 10 至 15 分鐘的初始對準 (Alignment) 的程序，初始的水平姿態可藉由加速度計在完全靜止的模式下的輸出來決定，而初始的方位角則要透過陀螺儀偵測地球自轉的速度，或磁力計感測的地球磁場來計算。因為地球自轉的速度很慢，所以需要較精密的陀螺儀(陀螺儀之飄移要小於 10 度/小時)才有辦法偵測。這個相對於載體及導航坐標系的初始姿態矩陣確定之後，整個 INS 可切換至自由導航模式。此時的 INS 不像衛星接收儀需要接收外來的信號進行導航，裝載有 INS 的載體可以進行自主導航 (Autonomous navigation)(Titterton and Weston, 2004)，慣性導航技術具有高採樣頻率及短時間內高精度之特性，所以可以被使用來解決衛星定位所遭遇諸如訊號遮蔽、低採樣頻率、週波脫落、易被干擾等限制。但 INS 在獨自運作的模式下其定位誤差在五分鐘之內約略與時間的平方成正比，如圖 1.7 所示。

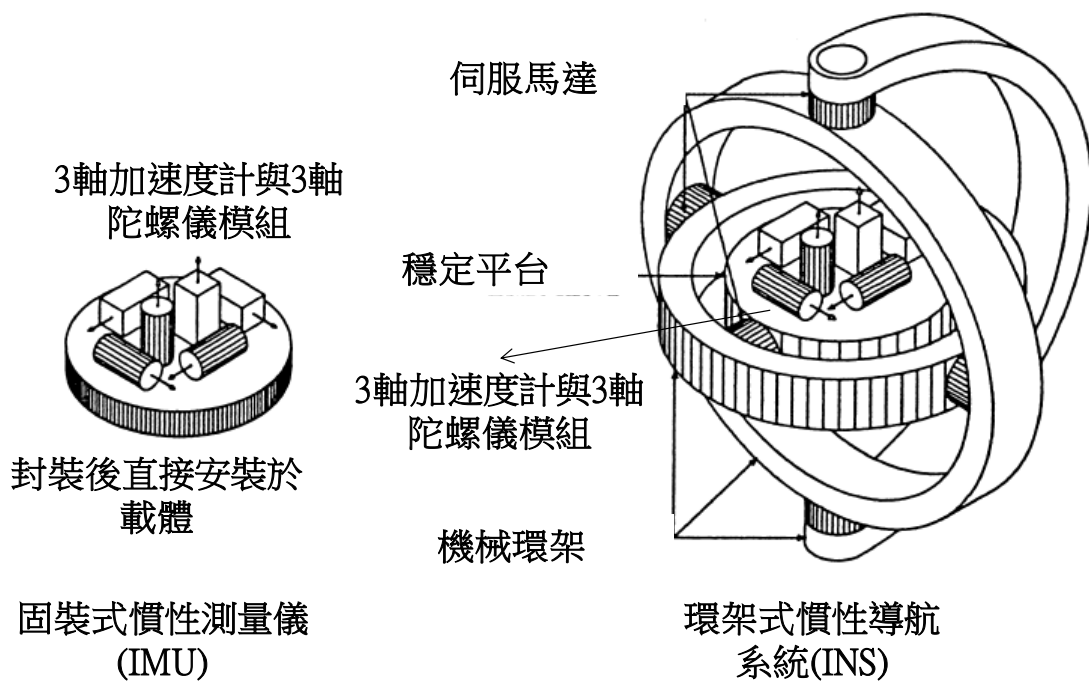


圖 1.6 環架式與固裝式 INS

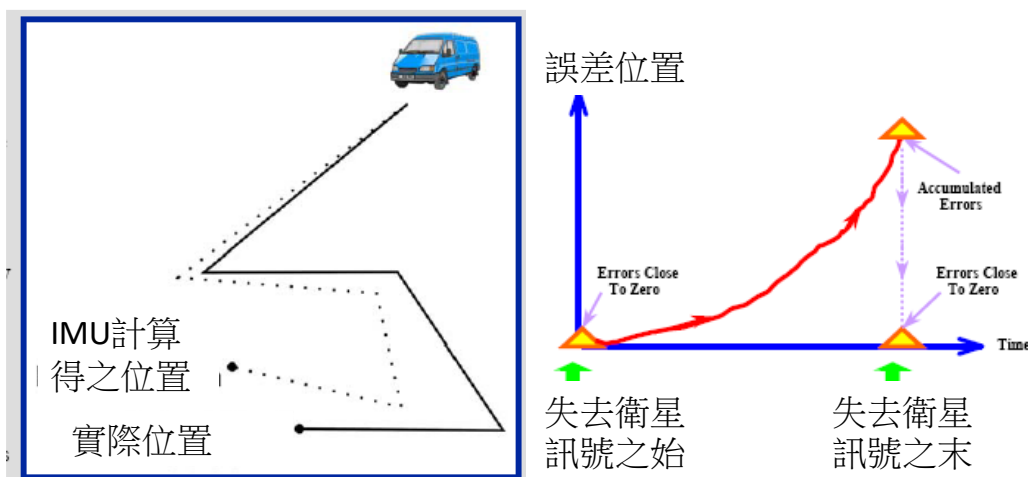


圖 1.7 INS 之誤差行為慣性測量儀之比較

整合式定位及定向系統能夠克服單一系統之缺點且提供更穩定的定位及定向成果，故目前不管在軍用或民用的整合系統發展皆趨向於使用慣性導航及衛星定位技術。主要的動機在於此二系統具有互補之特徵，衛星定位技術在無訊號遮蔽的環境下可以提供穩定的定位及導航資訊，故它可用來減低慣性導航因為積分加速度計及角速度之系統誤差所造成隨時間累積的定位誤差，對於高動態運動的物體而言，衛星定位技術無法提供足夠的採樣頻率來追蹤載體的運動。另外慣性導航技術可以提供衛星定位技術所無法提供的姿態參數。約於 1995 年前後，整合 INS 及 GNSS 的直接定位系統已經實現，並開始應用於飛機及汽車移動遙測製圖平台，1996 年加拿大 Applanix 公司所發展的 POS 系列產品是第一個商用的直接定位系統，圖 1.8 所示為直接定位技術的發展流程。

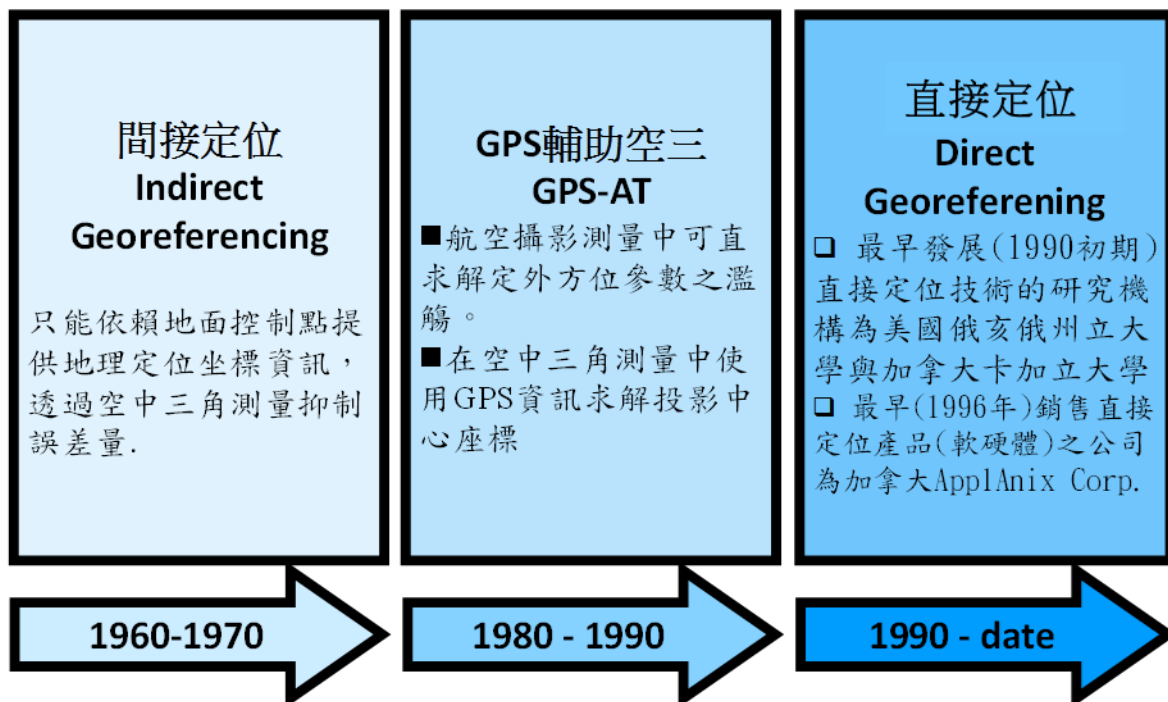


圖 1.8 直接定位技術之演進

如前所述，移動遙測製圖移動平台可以是衛星、飛機、直昇機、船舶、汽車人或各種新興的智慧移動裝置，所搭載的定位定向感測器可能包括 GNSS 接收儀、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、多光譜掃描儀或雷射掃描儀等。配合不斷進步之電腦運算能力與容量，搭配各類移動平台之機動性並考量各種需求，便能在相應的領域上發揮相應價值，移動遙測製圖的應用面也隨之更深更廣。與現有其他空間資訊擷取技術相較之下，多平台移動遙測製圖技術並不一定可以提供更好之定位精度，但仍持續向上提升，並具備如下表 1.2 之優點(Ellum, 2001)：

表 1.2 多平台移動遙測製圖技術之優缺點

優點	缺點
(1) 以遙測技術快速獲取空間與屬性資料 (2) 資料可以重複使用與更新 (3) 作業效率高 (4) 提昇製圖技術自動化之程度 (5) 大幅減少作業成本(泛指施測面積之單價) (6) 多平台操作模式 (7) 符合環保意識	(1) 硬體成本高 (2) 需要專業知識，特別是慣性導航系統與雷射掃描儀 (3) GNSS 訊號脫落之影響

如前所述，移動製圖技術可搭載於飛機上，但其可涵蓋作業範圍與天氣依賴性之缺點與傳統航測技術相似。與傳統測量技術相較之下，車載移動製圖技術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，同時車載系統可於較差天氣條件下運作，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。個人攜行的移動遙測製圖技術機動性遠較上述二者高，具備更佳的作業彈性，唯因個人負重的限制，所以其可攜帶的系統精度自然較上述二者為低。因應智慧移動裝置的興起，並隨著硬體與軟體效能的提升，穿戴或手持式的系統實現不再遙不可及。所以本案之目的除了移動遙測製圖技術核心技術外，更將著重於探討未來多平台移動遙測製圖技術之作業模式與其成果之聯合處理架構，近年尤針對室內測繪之應用多加著墨，對多平台移動製圖技未來的願景，將能夠達成陸海空、室內外與各式載具的無縫測繪，故本節首先針對多平台製圖技術之沿革歷程擇要提供精簡的回顧。

1.2.1 車載移動製圖技術回顧與現況

車載移動製圖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 台車載移動遙測製圖系統(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 年至 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 年起至迄今。為因應不同使用者之需求，車載移動遙測製圖技術在這 30 年來其定位定向系統與觀測系統皆有明顯的變化，下面就分這三個時期簡單介紹代表性的系統與參考文獻。前 INS 時代的第一個代表性系統為加拿

大亞伯達省政府與卡加利大學(University of Calgary)共同發展 Alberta MHIS。早期的車載移動製圖技術使用航位推算感測器，如陀螺儀(Gyroscopes)、加速度計(Accelerometers)及里程計速器 (Odometer) 等，利用相對定位的原理求取定位解。此時期所用的感測器多為類比式相機，所拍攝的照片詳實記錄公路設施的狀況，提供維修單位即時的公路資訊。而此時期第二個代表性系統為美國俄亥俄州立大學(The Ohio State University)製圖中心(Center for Mapping)研發車載移動製圖系統，稱為 GPSVan。該系統使用 GPS 及里程計數器提供導航參數，該系統主要感測器為兩部可動態連續拍攝立體像對的相機，透過近景攝影測量的原理可獲得特徵物的三維空間坐標，其定位精度界於 0.3 至 3 公尺間(Grejner-Brzezinska, 2001)。

後 INS 時代的代表系統為加拿大卡加利大學所研發的 VISAT 系列，該校投入車載移動製圖技術的研發已將近 30 年，首先於 1993 年順利將 INS/GPS 系統整合至 Alberta MHIS 中並發展出第一代的遙測技術架構，稱為 VISAT Van 第一代(Shin, 2005)。接下來提出的 VISAT 第二代整合了 INS/GPS、里程計數器、彩色 CCD 相機、攝影機等完整架構(El-Shiemy, 1996)。這套系統為全球首度引入使用環型雷射陀螺儀(Ring Laser Gyroscope, RLG)之導航等級 INS(陀螺飄移 <0.01 度/小時)之系統，其定位精度為 0.1 至 1 公尺。該系統具備可調式攝影間隔與較高的拍攝行車速度(100km/hr)。2003 年該系統亦獲得加拿大研究學會大筆研究資金，在 VISAT 第二代的基礎上，針對硬體及相關軟體性能進行升級並打造全新的車輛，稱為 VISAT 第三代。與 VISAT 第二代相較之下，除電力系統大幅升級之外，控制電腦體積也大幅縮小，CCD 相機之性能大幅提昇並使用更高等級的 INS/GPS 整合系統。後光達時期約自迄今，與前二個階段的遙測製圖技術相較之下，其主要差異在影像擷取感測器部分新增的車載光達。

國內關於車載移動製圖系統相關的完整研發工作始於 2008 年，成功大學於 2008 年自主研發影像級車載移動製圖技術(含軟硬體)，稱為鷹眼系統，如圖 1.9 所示。該平台實測成果顯示無控制點直接平面定位精度為 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 GNSS2010 年會發表並獲得最佳論文獎。本團隊自行研發了包含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、感測器率定與直接定位模組等自主研發的移動製圖關鍵技術，也成功為國家訓練相關的技術人才。其他國家之空間資訊領域學界與產業界在這段時間亦積極地發展車載影像級與光達級移動製圖技術，由這些發展趨勢可知，車載移動遙測製圖技術確實是能夠滿足空間資訊相關領域，日漸迫切需求的快速採集資料解決方案，而近年來國內外商用車載移動製圖技術之實例可參考(江凱偉 等人，2012)。國內目前無單位實際進行具備直接定位能力之車載光達移動測繪系統研製。而商用系統部分，國內空間資訊領域廠商自 2008 年起迄今陸續引進至少二套影像級的車載移動製圖系統，平均每套售價約在新臺幣 1500 萬元左右。同時另有其他廠商引入多達四套車載

光達級移動製圖系統，平均每套售價約在新臺幣 3000 萬左右。這些商用系統已陸續承接不少政府與私人公司委託之中大型計劃。故目前至少有 6 套車載移動製圖系統可以提供移動製圖服務，同時國內至少有超過 5 家的導航圖資公司擁有總數超過 20 台的路調車(無近景攝影測量功能)定期走訪全台更新導航圖資，以提升圖資更新效率。同時在 2013 年起國內公路單位在公路設施清查與水利單位之相關應用諸多大型計畫中亦陸續導入多平台移動製圖技術，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空間。而內政部國土測繪中心為公務機關之翹楚，率先於 2012 年執行中的通用版電子地圖工作案中以官方身分評估車載移動製圖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製圖系統。

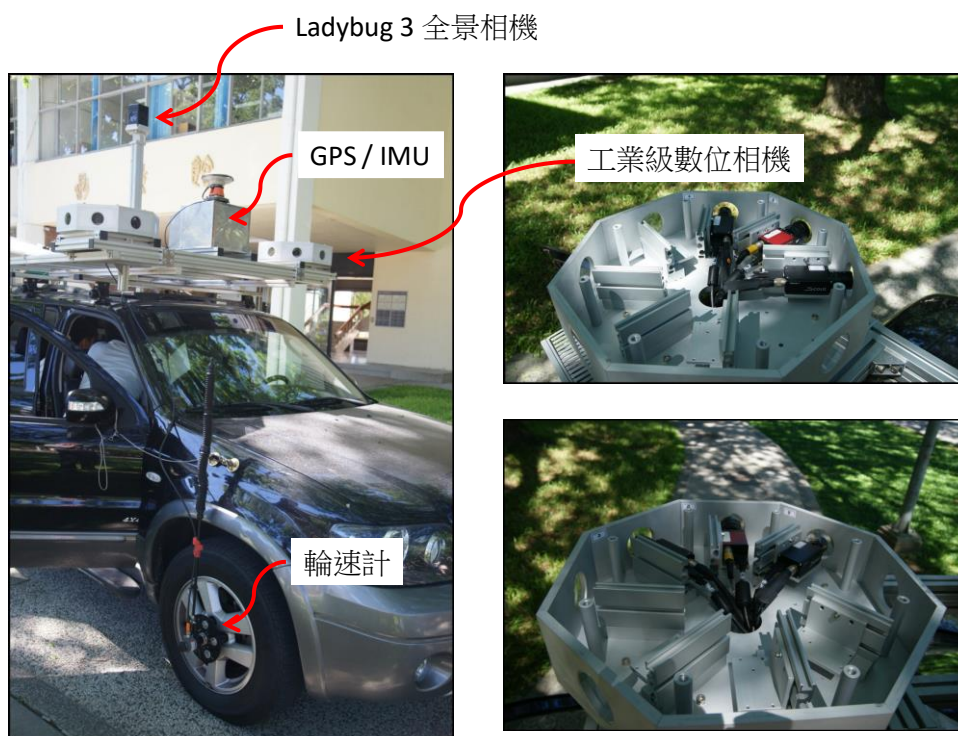


圖 1.9 成功大學自主研發之影像級車載移動製圖系統-鷹眼平台

1.2.2 個人攜行製圖技術回顧與現況

個人攜行移動製圖技術的發展可追溯自 2000 年代初期，加拿大卡加利大學空間資訊工程系發展出輕量且低成本之個人攜行移動製圖系統之原型，在相機與待測物距離維持 30 公尺之條件下，該系統無控制點平面直接定位精度為約為 20 公分，高程精度約為 10 公分。系統硬體成本在新臺幣 50 萬元以下，本原型只使用數位磁羅盤而非使用慣性測量系統提供姿態訊息，唯數位磁羅盤在都市地區易受磁場干擾而呈現不穩狀態，未來宜以慣性測量儀取而代之以提供更穩定之姿態訊息(Ellum, 2001)。個人攜帶式製圖系統尤其有利於災區之測量，於第一時間以人員攜帶系統進入災區蒐集空間資訊，以有效達到災損評估及災區域監控之目的。圖 1.10 所示為 Trimble 所發展的室內移動製圖系統(Trimble Indoor

Mobile Mapping Solution)，此系統搭載光達、全景相機、慣性測量儀與輪速計；因本系統強調室內製圖之應用，所以就不搭載 GNSS 接收機。



圖 1.10 Trimble 的室內製圖系統(摘自 <https://www.trimble.com>)

隨著移動測繪系統的發展，相機、GPS 接收儀、INS 等等被整合至各種的平台上，大部分的移動測繪系統會選擇運輸載具，例如車子做為其平台(El-Sheimy, 1996)，更方便地沿路收集資料，這些所蒐集到的影像序列或是環景影像可以用來進行移動物體與交通號誌的偵測(Sun et al., 2008；任志恆，2011)，或是道路邊界線萃取(Li, 2009)等應用。行人攜帶的後背式移動測繪系統(Backpacked Mobile Mapping System, BMMS) (Ellum, 2001)，則可提升移動測繪系統的可攜性與便利性，使其能應用在崎嶇地形、森林地區、狹窄巷弄等車子無法進入的地區。

可攜式移動測繪系統(Portable Panoramic Image Mapping System, PPIMS)配備 8 部高解析度單眼相機(曾義星等人，2014)，以環狀的排列的方式固定於平台，平台上設置同時曝光機制，使得 8 幅同時成像的影像可構成環場全景影像。然而，架設多個測站後會產生大量的影像以供使用者觀看和量測，觀測者不易於大量影像中找尋目標。因此，本案將同一測站的多張影像合併為一球形環景影像(Spherical Panorama Image, SPI)，利用此球形環景影像來進行測繪。

應用 PPIMS 於地物點定位的流程包含了系統率定、環景影像產製、外方位解算及測繪。經過系統率定後(王彬權，2012)，可利用不同測站間影像的連結點及平台中心位置觀測量，以相機與平台中心的相對位置及方位關係為約制條件，進行光束法空中三角平差，得到每張影像的外方位元素(蔡博慶，2012)。接著可

應用多張影像的前方交會獲得物空間點位三維坐標。雖然球形環景影像 SPI 不完全符合嚴謹的共線幾何，但仍可應用光束法平差的原理，利用影像中的共軛點坐標進行修正，迭代計算出測站平台方位與共軛點之物空間坐標(Tseng et al., 2016；林冠穎，2014)，應用此方式得到的物點定位精度符合內政部國土測繪中心訂定之千分之一地形圖測製規範。

目前亦有商業化的環景影像測繪系統如台灣儀器行代理的 Trimble V10 Imaging Rover。此系統配備 12 部相機，頂部可架設 GNSS 天線，如圖 1.11 左，觀測時可架設在測桿上，配備控制面板方便野外作業(如圖 1.11 右)。整體系統相當輕巧實用，也有完整的軟體系統支援後續的影像處理瀏覽及量測工作，相關的精度規格如附件所示，定位精度在水平方向的均方根誤差約為 10mm，垂直方向約為 7mm。此系統整合了全球定位系統與環景影像攝影裝置，能夠拍攝 360 度環景數位影像，提升周圍環境測量的效率。目前已有案例在紐西蘭 Larnach 城堡與美國佛羅里達州運河周圍實際進行量測與精度評估(Page et al., 2014；Dahlberg, 2014)，其中也包含了地籍測量界址點的量測。



圖 1.11 Trimble V10 Imaging Rover

1.2.3 穿戴式移動製圖系統回顧與現況

在室內導航技術的蓬勃發展下，穿戴或手持裝置的定位精度有顯著的提升，並隨著各式各樣的微機電感測器成本與體積逐漸下降，加上一般手持裝置皆搭載有相機或錄像影機的功能，因此許多室內導航研究中，也開始利用影像與深度感測器，甚至光達等儀器來輔助導航應用。然而影像成果在室內應用上，多半為輔助導航，大部份研究皆未探討將定位成果用於災情獲取上。頭盔式的室內導航技術(Beauregard, 2006)，將慣性感測器與 GPS 天線放置於頭盔上，利用行人航位推算演算法來達到室外與室內的無縫式定位效果，如圖 1.12 所示。在以頭盔為平台的研究方面(Bretschneider et al., 2006)，則有探討頭戴式的顯示器對於消

防員的用途，裝置如圖 1.13 所示。在原本頭盔上，加裝攝影機或是相機，甚至是熱感應儀器來協助救災活動。此擴增實境的顯示應用與導航輔助上，可以影像上量測或者偵測到的特徵點來進行定位與姿態的輔助(Menozzi et al., 2014)，將影像點坐標透過載台本身的內外方位參數轉換為大地坐標系統，並透過影像匹配來輔助定位。



圖 1.12 頭盔式穿戴裝置(Beauregard, 2006)



圖 1.13 頭戴式的顯示器(Bretschneider et al., 2006)

此外，國外研究也提到以身體不同部位為載台的成果，如以體軀幹為核心的定位感測系統 (Langer et al., 2012)，如圖 1.14。此套系統同樣搭載有慣性原件外，更有光達與相機為影像輔助，來開發相關定位演算法。前述提到的系統中，皆為整合在同一載台上，國外研究中也有提到將各感測器分開放置來確保成果穩定性(El-Mokni and Govaers, 2011；Bernoulli et al., 2011)，將定位演算法著重在足攜式的行人航位推算(Pedestrian Dead Reckoning, PDR)，如圖 1.15 左所示，為分散式定位系統，利用將 IMU 放置於腳上來實現足攜式航位推算演算法外，更將光達與另一 IMU 放置於頭頂，用於輔助計算更精確的航向。而圖 1.15 右所示為配戴微型電腦並加裝錄像影機於肩膀上協助定位與收集圖資等資訊。



圖 1.14 背包式穿戴儀器(Langer et al., 2012)

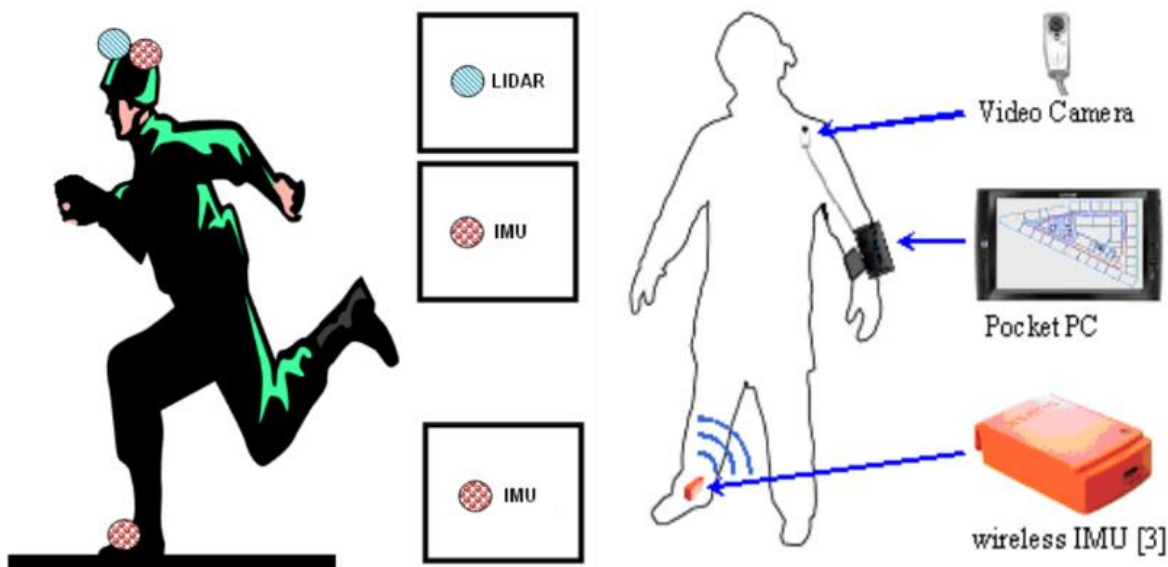


圖 1.15 分散式穿戴儀器(El-Mokni and Govaers, 2011 ; Bernoulli et al., 2011)

近來穿戴與手持裝置的發展，智慧型手機廣大的全球市場開始吸引中國與其他中低階智慧手機廠商的加入，打破了過去台美韓主導的高階智慧型手機市場，使得智慧型手機市場正式進入百家爭鳴的時代(江凱偉等人，2014；Blodgett et al., 2012)。如此的競爭可以預期高階智慧手機的系統規格與硬體性能也將在維持穩定售價的前提下持續地推陳出新，而中低階價位的智慧型手機其性能也在逐年提升，因此手持裝置搭載的感測器種類將越來越齊全，且系統精度在排除製造商的成本考量因素後理應逐年提升。如下圖 1.16 所示，美國的智慧型手機普及率在 2014 年 3 月就已達到 72%，同時由於前述中低階智慧型手機的發展，智慧型手機的平均售價逐年降低(圖 1.17)，這將使得智慧型手機除了普及於先進國家以外，也將開始在全球的發展中國家開始普及，尤其是中國與印度等擁有大量人口的國家，這一轉變將開啟智慧型手機市場的新頁，而全球手持智慧型手機的人口未來仍將持續地快速上升，並且並不侷限於先進的富裕國家。

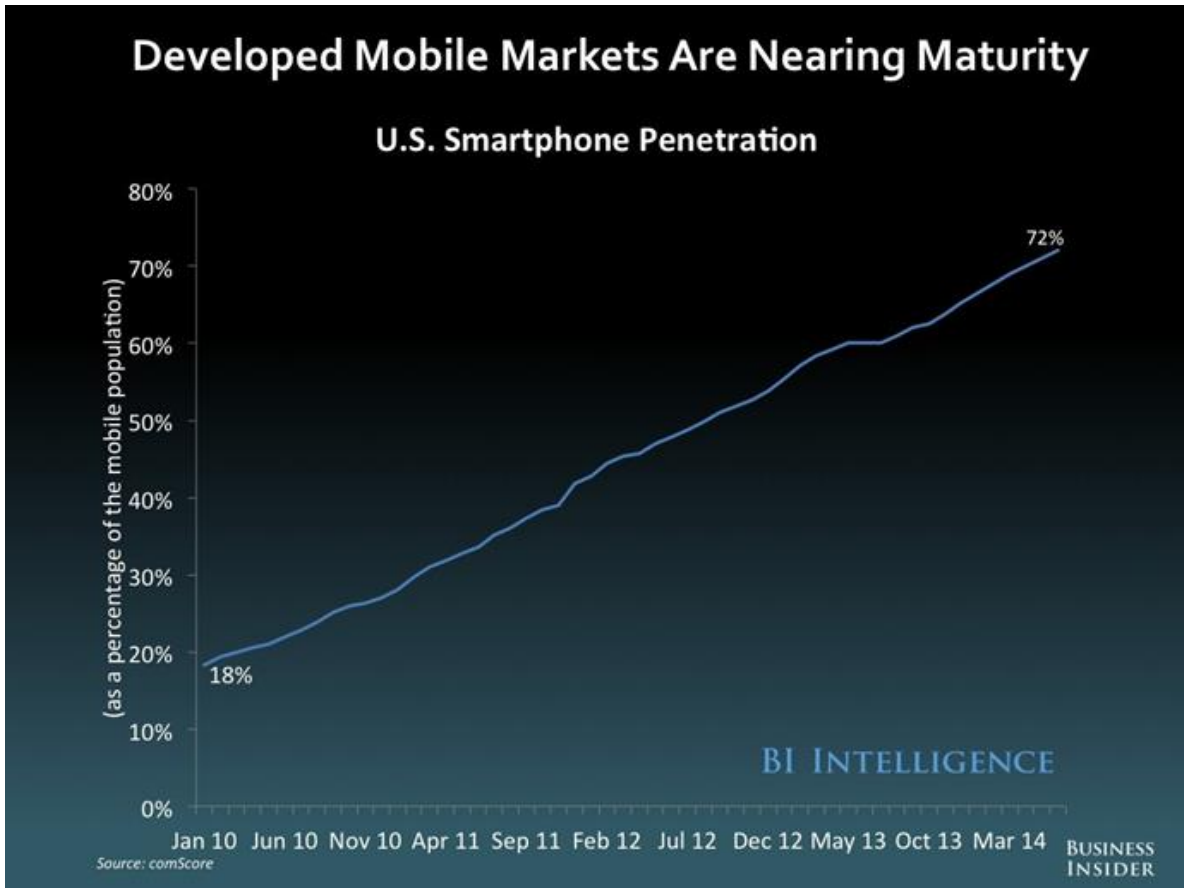


圖 1.16 美國的智慧型手機普及率折線圖(Blodget et al., 2012)



圖 1.17 全球智慧型手機普平均價格圖表(Blodget et al., 2012)

而為了滿足製圖與導航等應用，智慧型手機需要配備有全球衛星定位系統、微機電系統(Micro Electro Mechanical Systems, MEMS)感測器、高性能的計算處理器和高畫素的相機等。2012 年的統計數據已表明約有 75% 的智慧型手機配備有慣性感測器(江凱偉等人，2014)；而法國市場研究機構 Yole Development 公司也統計出約有 49700 支的智慧型手機單位配有加速度計和陀螺儀。全球衛星定位系統是為了應用於 Apple 或 Google 本身的地圖導航應用，而慣性感測器更是遊戲或健康導向的應用軟體所必須具備的基礎核心，相機更是不可或缺的日常生活感測器。因此可以預期未來不論是高階或中低階智慧型手機，搭載前述感測器的機型勢必成為主流，且精度規格也將隨手機的推陳出新而逐漸提升。

此外，2014 年下半年開始，可以感受到由小米手機推出的穿戴式手環掀起的風潮，如圖 1.18 所示，目前搭載有運動感應器與藍牙晶片，主要是搭配運動相關的應用軟體。然而運動感應器即是前文所述的慣性感測器，而將慣性感測器固裝於人體其他部位，以輔助行人導航之技術由來已久，其穩定性與精度都比使用手持裝置進行導航的效能更優。而造成此一現象的主要原因有二：一為固裝於人體其他的部位，人體行進時感測器會受到的雜訊干擾會比手持裝置來的低；二則為穿戴裝置能夠跳脫智慧手機的硬體與售價限制，成為獨立產品以後，能夠使用精度規格較佳的感測晶片。此外，藍牙傳輸功能未來也將能與蘋果的 iBeacon 技術結合，用於輔助行人室內定位。圖 1.19 為 Business Insider 預估未來幾年穿戴式裝置的銷量成長，其中尤其看好蘋果今年將推出的 Apple iWatch (圖 1.20)，將佔據穿戴式市場的主導地位。因此總結小米智慧手環與蘋果智慧手表的現況與未來，可以預期未來人們將越來越習慣穿戴式裝置，使得過去因為種種原因而無法普及的穿戴式行人室內定位技術將有可能重新成為技術重點。



圖 1.18 小米穿戴式手環(摘自 <http://www.mi.com/tw/miband/>)

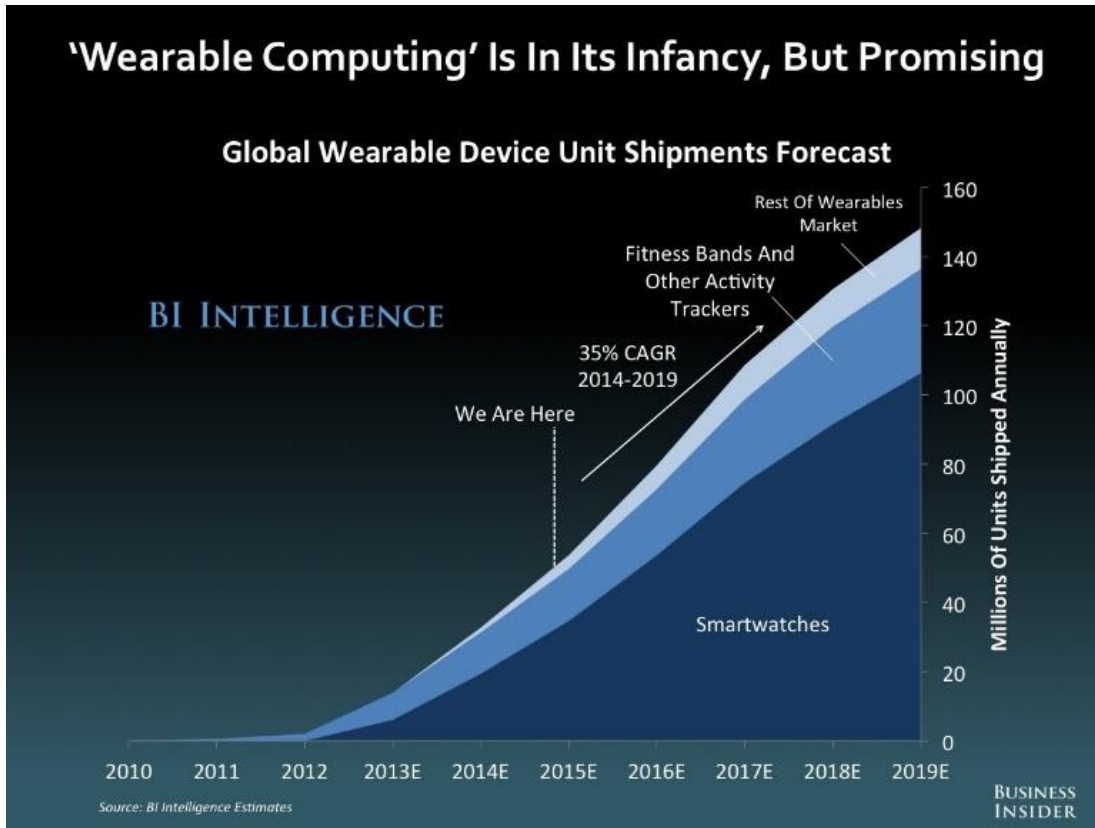


圖 1.19 穿戴式裝置預測圖(Blodget et al., 2012)



圖 1.20 Apple iWatch (摘自 <http://www.apple.com/tw/watch/>)

小米手環內部有慣性導航感測器，即加速度計與陀螺儀，小米公司將其用於運動行為的偵測，而其偵測的原理與後面提及之行人航位推算演算法中，計步演算法的概念相去不遠，同時如前所述，因為配戴位置的差異，使得手環一般狀況下能夠偵測到較手持裝置更明顯的運動訊號。因此未來小米手環若能具備開發環境，將能採集感測器資訊用於輔助行人導航定位中計步的精確度，透過藍牙等無線通訊技術，將資料傳送至手持裝置與手持裝置的感測器資訊整合，從而獲得更優的定位推估。另外，iWatch 已能夠提供使用者自行開發相關軟體並安裝使

用，感測器和配戴位置則與手環的特性相當，但其具備有處理器能夠提供進一步的演算，甚至能夠安裝手持裝置的定位與災情獲取軟體。因此這兩種穿戴式裝置未來將有很大的可能，能夠與手持裝置一起建構一套整合式的行人定位與災情獲取系統，其搭載的感測器與配戴的位置，能夠輔助手持裝置的演算法，提升定位的精度。本團隊目前也持續關注這類產品的發展，諸如搭載的感測器種類與市場接受程度等。

1.2.4 室內製圖系統回顧與現況

對於室內製圖系統技術，其相似應用在同步定位與地圖構建(Simultaneous Localization and Mapping, SLAM)，同步定位與地圖構建大部分採用的感測器為慣性量測儀及三維雷射測距儀或光達，利用慣性量測儀加輔助資訊完成導航，並利用三維雷射測距儀或光達建立周遭環境，其目的為機器人導航及避障，故其成果通常自成一坐標系統。早期的 SLAM 技術文章(John and Hugh, 1991)，文中說明定位定向之狀態項，利用卡曼濾波器完成定位及定向，並在卡曼濾波器更新部分，利用地圖作為更新資訊進行約制，完成 SLAM 技術演算法。或利用慣性量測儀、輪速計及三維雷射測距儀，以 SLAM 技術在多障礙空間中，利用三維資料建立二維虛擬平面圖，在偵測平面圖中的特徵點進行，建立更新觀測量，修正卡曼濾波器(Oliver et al., 2004)。而近年來，除定位定向沿用慣性量測儀外，所搭配製圖感測器逐漸被 Kinect 取代(Des Bas, 2011；Khoshelham, K. and Elberink, 2012)。

室內移動製圖技術相關專利，有系統透過搭載慣性量測儀、雷射掃描儀和 CCD 相機，建立室內三維模型，並在測試區內設立多個標示，利用標示約制整體精度(El-Hakim and Boulanger, 1999)。另外相關之專利設計平台，可裝置於推車上或個人背袋，其搭載 GPS、導航等級慣性量測儀、相機和雷射掃描儀，利用 GPS 提供初始位置進行定位，而室內製圖部分則依賴導航等級之慣性量測儀精度維持，最終提出室內三維製圖資料(Lithopoulos, 2009)。也有系統考量入口時的轉換模式(Powers et al., 2012)，在室外時使用 GPS 導航，而室內時使用 SLAM 導航。另有研究提出可攜式電子裝置，如手機和 PDA，其中包含加速度計、無線接收機、震動馬達、展示與記憶體，透過網路與主伺服器連線，使用端收集 GNSS、無線訊號強度與影像，依特定路線或指示運動，利用伺服器計算導航或製圖和儲存導航資料及平面圖(Ogale et al., 2014)。

1.2.5 無人機應用於災後環境重建之回顧與現況

依據國外光達製圖的先行研究，利用無人機定位與製圖技術除了可快速進行環境重建外，透過定位技術更可快速地重建災後環境的樣貌。在光達製圖應用中，傳統二維資訊並無法完全滿足無人機進行製圖的需求，除了傳統的二維平面

圖資外，為了配合多旋翼無人機靈活機動性，許多無人機研究也投入在三維環境的重建上，多旋翼無人機搭載三維或者兩個以上的光達便可以滿足此類需求，透過不同方向上的掃描，此類三維點雲更可以精確的建構出真實環境 (Dryanovski, 2011)。除了三維點雲外，另一種表示三維環境的方式為將現實世界網格化，透過具有三維體積的網格點來描述環境(Morris, 2010)，這種方式雖然會因為網格點大小影響圖資精確程度，但是卻可以大幅提高地圖即時展示與計算上效能。三維點雲展示，係以空間中觀測到的物點在坐標位置上以點代表空間資料，如圖 1.21 所示；而三維網格點雲則是將空間切割成三維體積的積木大小，依據物點位置，畫出一個個如同積木的三維格狀物體來展示圖資，如圖 1.22 所示。

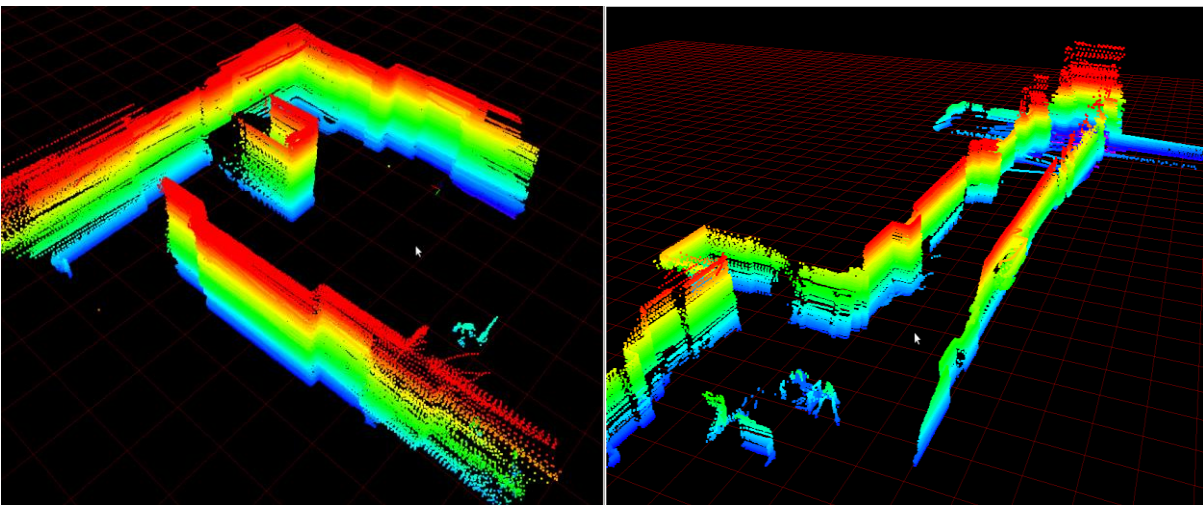


圖 1.21 室內三維點雲圖資(Dryanovski, 2011)

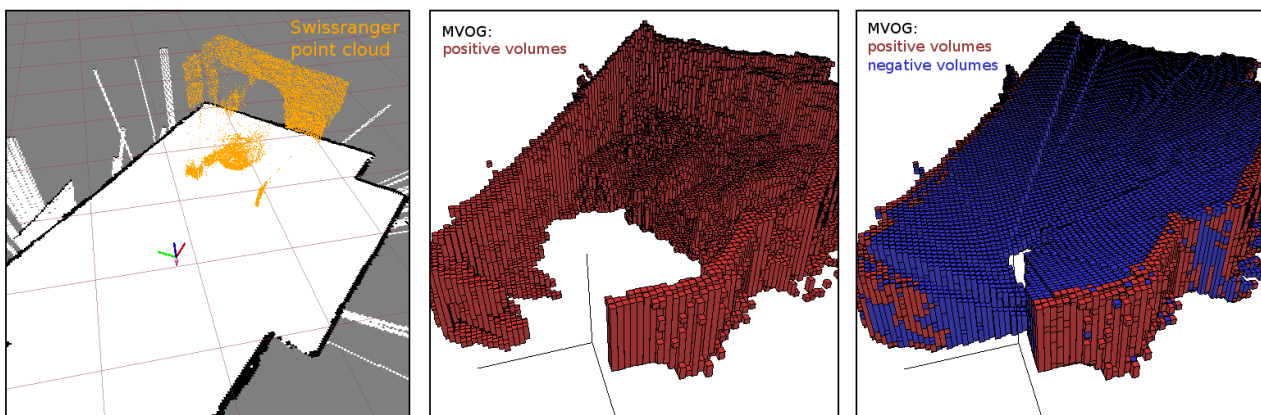


圖 1.22 室內三維網格點圖資(Morris, 2010)

光達製圖技術於國外研究，為將光達應用在地下洞穴中進行環境探勘。地形崎嶇不平使得移動測繪系統難以移動，因此需要設計避免晃動過大之載具。利用光達裝載於適應於崎嶇地形的路基式機器人載具，避免光線不足及地形方面之問題。然而，結合輪速計之資訊達成更佳的 SLAM 成果(Hähnel, 2002)。圖 1.23(a) 利用光達分別平行和垂直裝置機器人平台，並將機器人調整至適應礦坑地

形的型態。圖 1.23(b)提供 2D SLAM 之成果，建置礦坑之平面圖。再者，僅用二維的平面圖無法明確表示崎嶇不平的礦坑環境，因此需要進行 3D SLAM 提供完整的圖資，如圖 1.23(c)所示。

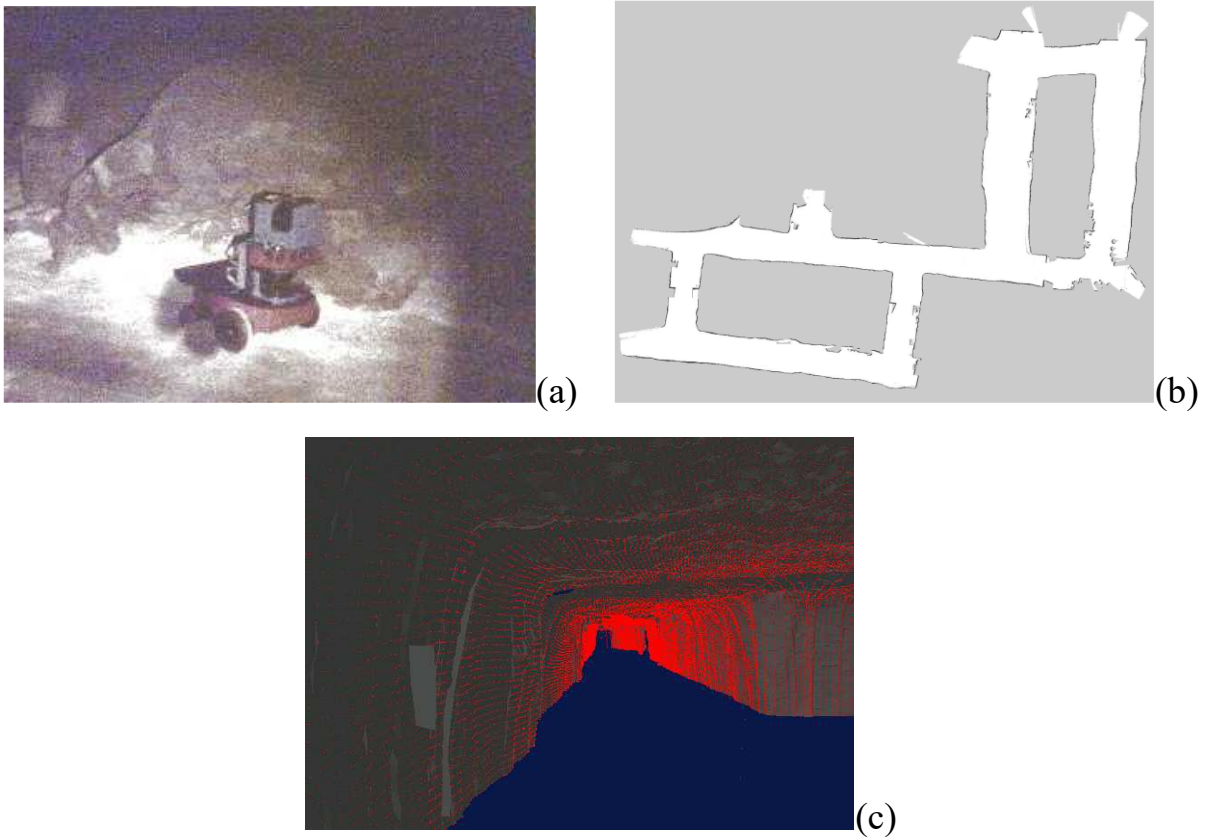


圖 1.23 光達 SLAM 成果：(a)路基式平台(b)2D SLAM (c)3D SLAM (Hähnel, 2002)

除了利用光達在礦坑環境中進行 2D SLAM 和 3D SLAM，利用一個光達裝載傾斜移動之平台亦可以達成良好之成果(Neumann, 2014)。該酬載不僅適應礦坑地形的移動測繪系統，也設計自動改變光達軸向的平台。該平台可沿著垂直角 0 度至 90 度進行傾斜，能獲取更多方向之資訊，如圖 1.24 為此酬載進行 3D SLAM 之成果，獲取的三維空間資訊能進行實際用途。

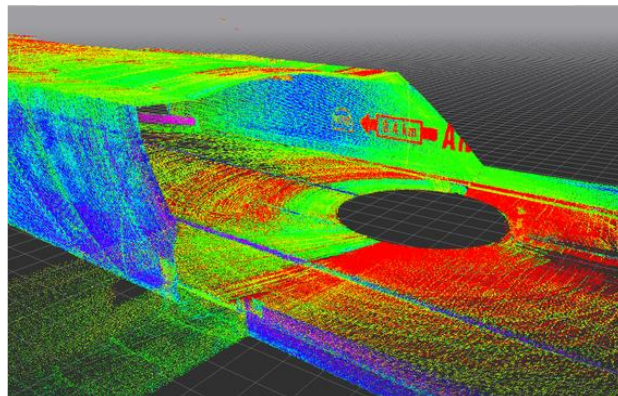


圖 1.24 光達之 3D SLAM 成果(Neumann, 2014)

另一方面，有將製圖技術應用於下水道環境中，除了遭受前述在礦坑環境中會發生的狀況，還會受到水或是水氣影響，使得移動測繪系統的酬載設計需要避免水影響儀器運作。圖 1.25(a)為適應下水道環境的移動測繪系統酬載，該系統不但使用光達和輪速計，也利用慣性感測元件和相機提升 SLAM 之精度。慣性感測元件可以換算得到載體的位置和姿態，而相機藉由輔助光源拍攝照片提升製圖的精度。該酬載為了在下水道環境中施測，可被拆解成數個直徑小於 60 公分之零件，並能夠於下水道環境進行組裝。圖 1.25(b)為此移動測繪系統製圖之成果，建置三維的下水道圖資能對於環境內破損的管線進行監測。

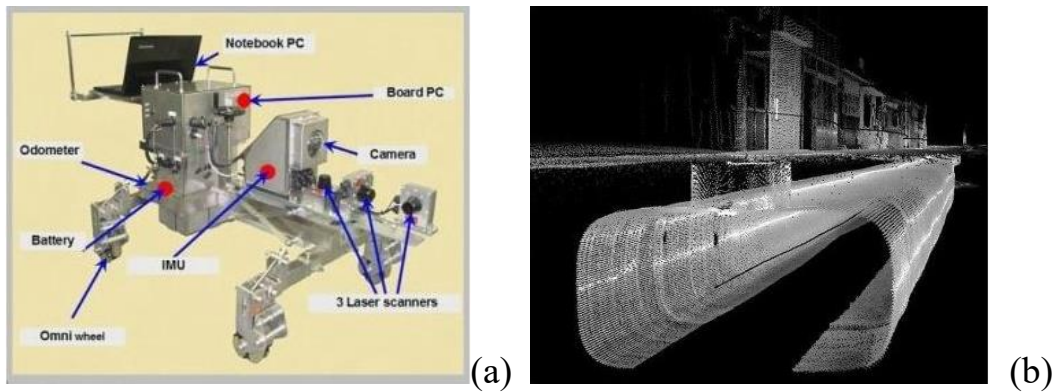


圖 1.25 適應下水道環境之移動測繪系統與成果：(a)移動測繪系統酬載(b)3D SLAM (Neumann, 2014)

災後環境重建中，以航空影像與光達資料的配合最為普遍，透過航照影像，來擷取的地物的特徵線，如房屋等等。再透過點雲資料進一步提供高程資訊，可以在短時間之內建構出房屋模型與點雲資料(Weng, 2010)。如圖 1.26 所示，影像中的紋理，透過從光達與影像上的邊界萃取，進一步得出較真實的房屋模型，將紋理貼在模型上，產製視覺化成果較佳的模型資料。其他專家學者也同樣的使用影像與光達資料的配合，提出 Split-Merge-Shape(SMS)重新建構模型資料(Chen, 2005)。

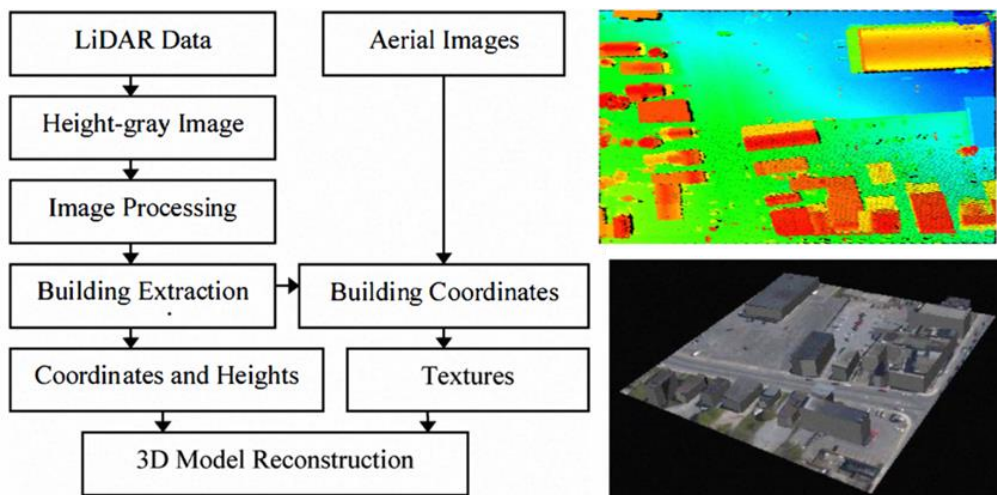


圖 1.26 航照影像與光達資料整合處理成果(Weng, 2010)

若是單純依靠點雲資料來進行環境重建，沒有影像的輔助下，對於地形地物的特徵線，在取得資料的當下，並無法得到如影像這樣直觀的判斷與分析。而為了處理這些龐大與複雜的點雲資料，專家學者提出了整合各項技術，如收集點雲資料之後，配合區域成長演算法(Region Growing)與三角網(TIN)技術來偵測邊緣線，同時又納入適應性門檻值調整(adaptive QEF)，把邊緣點位資料連結設計成建模所需的各個角點。相關程序如圖 1.27(Orthubera, 2015)。此外點雲資料的處理，也有專家學者將點雲切分成各個區塊，提出 Locally Fitted Surfaces(LoFS)，透過各個區塊之間的相對關係，找出屋頂連結面的相關角點，並計算相交線段的距離，進一步重建模型(Bizjak, 2015)，如圖 1.28。Wu 更提出了透過階層式的圖形高度分析，如圖 1.29，進一步重建房屋模型(Wu, 2017)。

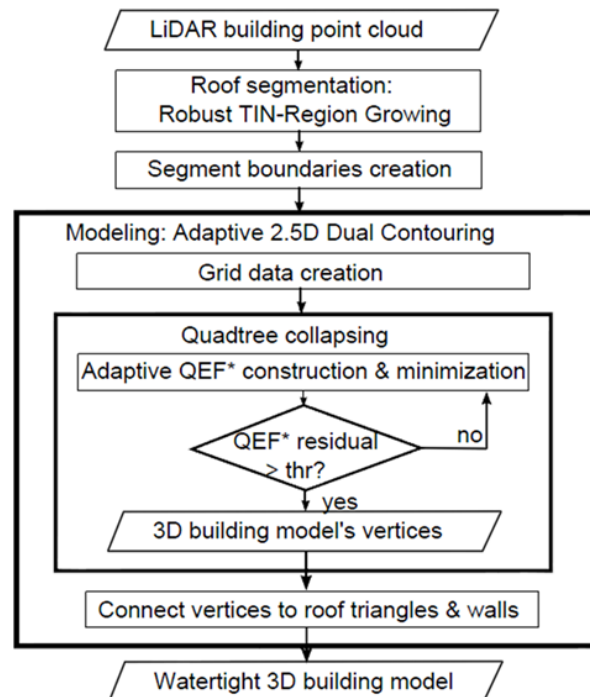


圖 1.27 點雲建模程序(Orthubera,2015)

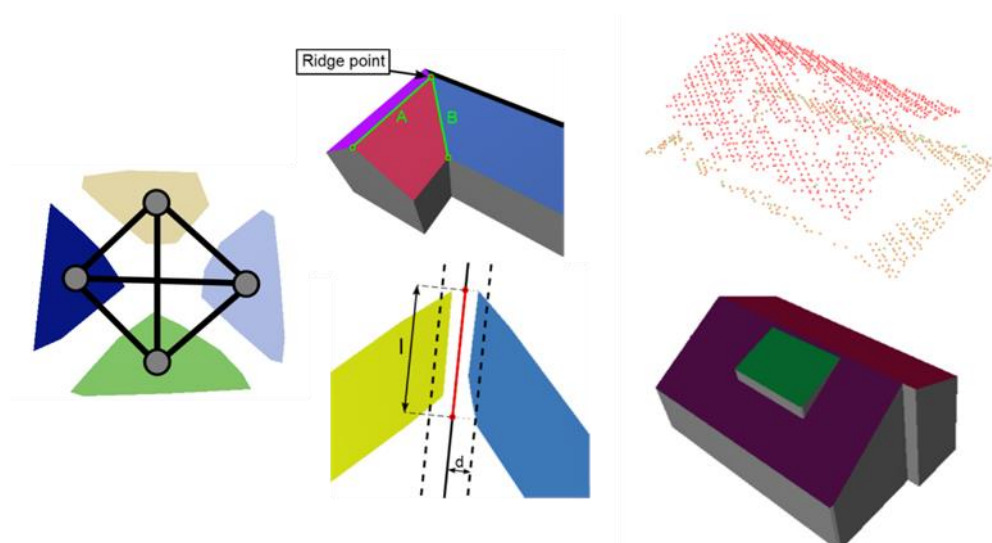


圖 1.28 Locally Fitted Surfaces(LoFS) (Bizjak, 2015)

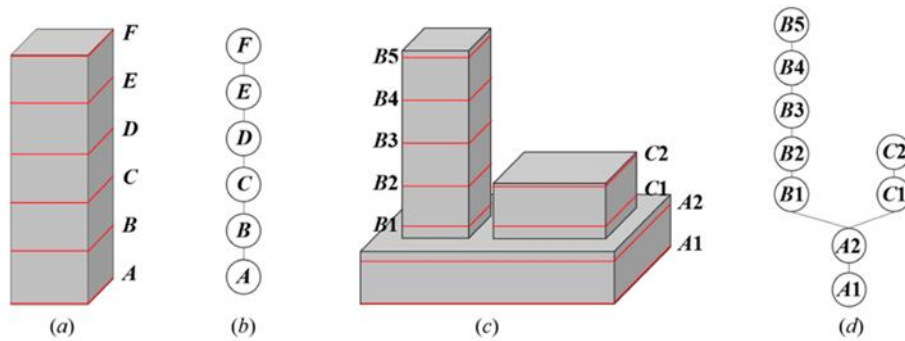


圖 1.29 階層式圖形高度分析模型示意圖(Wu, 2017)

1.2.6 室內空間資訊的國際標準化之現況(IndoorGML)

本節資料的參考來源皆為 OGC Candidate Standard for Indoor Spatial Information 網站所提供的資料。IndoorGML (Indoor Geographic Markup Language) 是 OGC (Open Geospatial Consortium) 針對室內空間資訊的開放資料格式與 XML (Extensible Markup Language) 架構制訂的一個候補標準，目的是提供一個通用的框架表達或交換室內空間資訊。最初的動機是因為室內空間與室外空間有許多不同，因此在空間資訊的基礎概念、資料模型與標準也應該更進一步被區分，才能符合室內空間資訊應用的需求。目前室內空間資訊應用的需求一般可以分為兩類：(1) 建物組成與室內設施的資產管理，例如牆壁與屋頂；(2) 室內空間的使用，例如將房間、樓梯與門等室內空間資訊定位並表示出來，進行後續的應用，例如 LBS (Location-Based Services)、室內路網分析與室內地理標記服務。換言之，IndoorGML 的目標就是定義室內空間資訊的標準框架，定位室內的靜態或移動特徵物件，以提供基於室內空間位置的空間資訊服務，除了表示室內空間的性質之外，也提供室內空間中特徵物件的空間參考。目前的 IndoorGML 版本是基於第二類的需求，主要是因為室內導航應用在 LBS、路徑規劃與緊急救援上，對室內空間資訊有強烈標準化的需求。

室內空間相較於室外空間的一項重要區別在於，室內空間是由許多複雜的約束條件組成，如走廊、門、樓梯、電梯等，就像一個路網空間是由許多道路約束組成。這說明如何適當地表示室內約束物件是室內空間資訊模型化和標準化的關鍵問題。其延伸概念相當廣泛，以下皆以細胞表示室內最小空間單元：

- 細胞空間 (Cellular Space)：假設室內空間為一群細胞的集合，就可以定義室內空間的最小結構單元。細胞空間具有以下重要的特性：(1) 每一個細胞都有一個識別碼 (Identifier, ID)，像是房號；(2) 每個細胞可能具有共同邊界，但不與其它細胞重疊。(3) 在細胞空間中的位置可由識別碼定義，也可以使用 (x, y, z) 坐標指定更精確的位置。
- 語義表示 (Semantic Representation)：語義是細胞的一個重要特徵。在 IndoorGML 中語義表示有兩個目的，對細胞進行辨識並分類，以及定義細胞彼此間的連結關係。尤其對於導航應用來說，細胞的語義表示相當重要，

例如拓撲空間中細胞普遍可以分類為可導航之細胞(如房間、走廊、門)和不可導航之細胞(如牆壁、障礙物)。

- 幾何表示(Geometric Representation)：室內空間的二維或三維幾何表示並不是 IndoorGML 的主要焦點，因為它們已經在 ISO19107 和 CityGML 中被明確定義。然而，基於資料自我完整性的因素，二維或三維物件的幾何可根據 ISO19107 中定義的數據模型，在 IndoorGML 中選擇性的去定義。目前有三個方案在 IndoorGML 中表示細胞的幾何，如圖 1.30。
 - 外部參考：捨棄在 IndoorGML 中去表示複雜的幾何，當針對某個特定物件時，以一份只包含外部鏈接的 IndoorGML 文件去記錄幾何的資訊，而鏈接的訊息可以用 CityGML 等標準去定義。因此室內物件與 IndoorGML 文件的對應關係必須是一對一或多對一的模式。
 - 在 IndoorGML 中表示幾何：細胞的幾何表示可包含在一個 IndoorGML 文件內，由 ISO19107 所定義。
 - 無幾何：在 IndoorGML 文件中不包括任何幾何資訊。

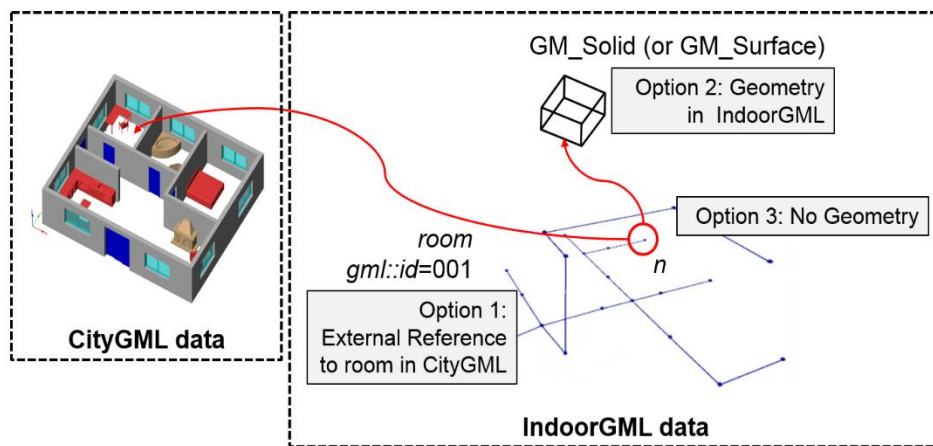


圖 1.30 IndoorGML 中的幾何表示(Li, 2013)

- 拓撲表示(Topological Representation)：拓撲關係是細胞空間和 IndoorGML 中非常重要的元素。節點關係圖(The Node-Relation Graph, NRG)可以表達拓撲關係，如室內物件彼此間的鄰接和連通等。NRG 允許對室內環境中的三維空間做抽象化、簡化並表示拓撲關係，例如對一個在建築物內的房間。它還可以用圖片的形式表示無幾何特性的相鄰和連接關係，同時有效的執行室內導航和路網系統中複雜的計算問題。Poincaré 二元性(Poincaré Duality)提供室內空間映射到 NRG 以表示拓撲關係的理論背景，一個室內空間可經由 Poincaré 二元性轉換成拓撲空間的 NRG。它透過組合(或邏輯)拓撲網模型來簡化複雜的三維空間關係。根據 Poincaré 二元性，在 N 維原始空間中的 k 維物件被映射到對偶空間(DualSpace)中會成為 $N-k$ 維的物件。因此在三維原始空間中的固體三維物件，如建築物中的房間，被映射到對偶空間中會成為一個零維度的節點。而二維表面被兩個固體物件共享，因此在對偶空間中會映射成連結兩個節點的一維邊界。
- 多層表示 (Multi-Layered Representation)：單一室內空間通常可以被語義解讀成不同的細胞空間，例如一個室內空間表示為由房間、走廊、樓梯構成的

地形細胞空間，也同時可以被表示成有無 WiFi 訊號涵蓋或有無 RFID (Radio Frequency Identification) 訊號涵蓋的不同細胞空間，如下圖 1.31。因此，IndoorGML 支援室內空間用多層表示的方式解讀各個細胞空間。在同一個室內空間的不同分解方法會產生不同的語義解釋，每一個分解方法都會形成細胞空間中的一個分離層。

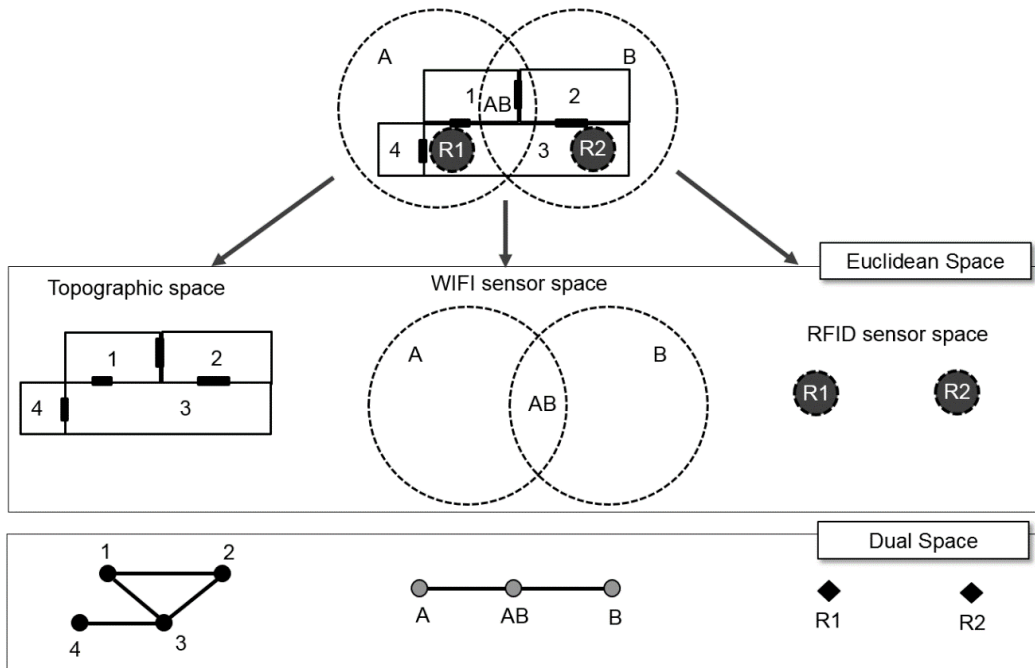


圖 1.31 多層表示的概念(Li, 2013)

IndoorGML 分別以兩種概念性框架為基礎，即結構空間模型(Structured Space Model)和多層空間模型(Multi-Layered Space Model, MLSM)為基礎，結構空間模型定義了特定空間模型中每個獨立空間層的總體佈局，而每一層被系統性的分成了四個部分，如圖 1.32。

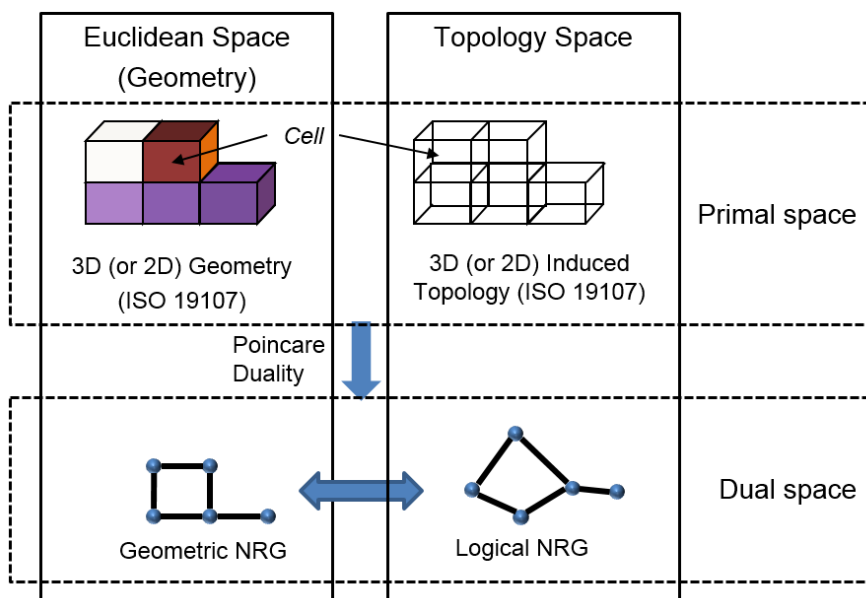


圖 1.32 結構空間模型(Li, 2013)

結構空間模型一方面允許從主空間中分離出對偶空間，另一方面也允許分離出幾何和純拓撲部分。此架構為室內空間模型的框架基礎，圖 1.32 的上下部分皆遵循 ISO 19107 的規則，以模型化真實世界現象的幾何特徵。然而，從主空間到對偶空間的轉換過程卻無法被建模或是透過 ISO 標準來描述，並且在 IndoorGML 中相鄰以及連結的拓撲關係無法依靠 ISO 19107 中的拓撲學來定義，而需要依靠 IndoorGML 資料模型中隱含的關聯。在結構空間模型中，三維(或二維)空間物件之拓撲關係被表示在拓撲空間中(例如圖 1.32 的下半部分)。三維的細胞將會藉由對偶轉換從主空間映射為對偶空間中的零維節點，而三維細胞間的拓撲相鄰關係，也將被轉換為對偶空間中一維且連結兩個節點的邊。NRG 的節點能夠進一步代表一種狀態(State)，而節點關係圖 NRG 中的邊則代表一種轉換(Transition)。當下的啟動狀態以 NRG 中的節點表示，也代表著對象物件所在的空間區域，一旦對象物件移動到了拓撲連接區域，另一個 NRG 的節點將會啟動新的狀態，而連結兩個節點間的邊即代表了此一狀態轉換，例如從房間走到走廊。NRG 若代表拓撲空間中三維空間物件的拓撲關係，則為一邏輯式 NRG；若 NRG 嵌入歐幾里得 IR3 空間中，則為幾何 NRG。

圖 1.33 中描述的 UML(Unified Modeling Language)表示了結構空間模型的資料模型。一個 SpaceLayer 代表一個獨立意義與一個分解層，並由對偶空間中節點關係圖 NRG 的節點與邊所表示的狀態與轉換兩種形式所組成。每一層 NRG 與狀態-轉換型式的圖表都由 SpaceLayer 實現，需注意的是現行的 IndoorGML 版本支援對偶空間中的邏輯 NRG 與幾何 NRG。如上所述，NRG 作為結構空間模型的一部分在 IndoorGML 模型中被執行。在對偶空間中，圖 1.32 結構空間模型右下方的邏輯 NRG 代表著拓撲空間中的拓撲關係，在圖 1.33 中則被表示幾何類別之狀態-轉換的基數為零。若在圖 1.33 中基數為一，坐標空間下的拓撲模型將會嵌入幾何 NRG，如圖 1.32 結構空間模型的左下方。

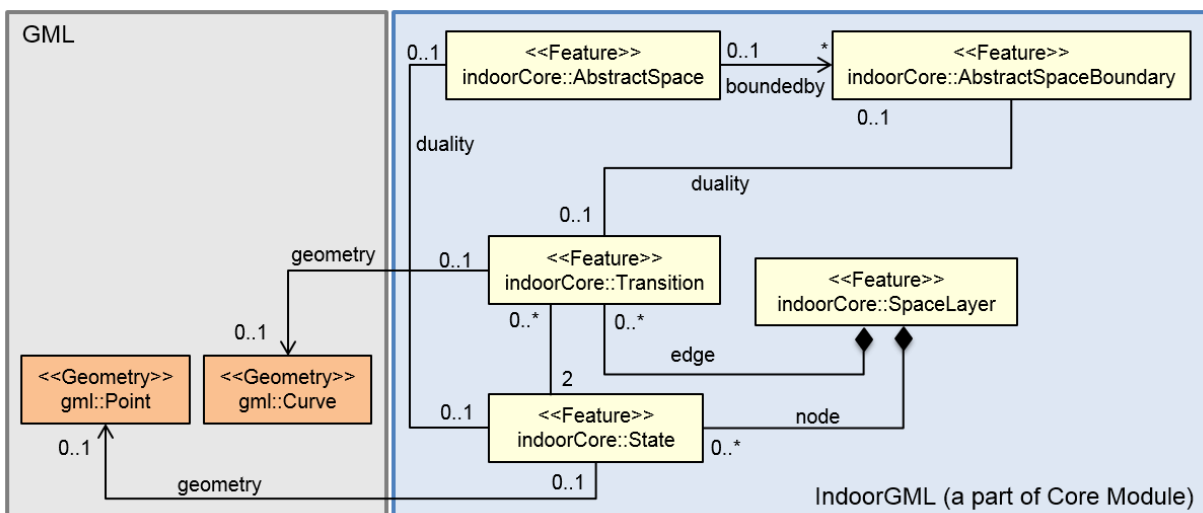


圖 1.33 結構空間模型的資料模式(Li, 2013)

結構空間模型的概念被延伸至多層空間模型(Multi-Layered Space Model, MLSM)。多層空間模型提供一種模式結合不同解讀及解構圖層的多空間結構，以支援完整的室內空間應用。相同的室內空間根據不同的用途及需求常常有不同的解讀，而造成相同空間有著不同的解構方式，並呈現在一個節點關係圖 NRG 上。舉例來說，圖 1.34 描繪的是三個獨立的結構空間：拓樸空間圖層、WiFi 感測器的空間圖層及 RFID 感測器的空間圖層，並各自呈現在 NRG 上。

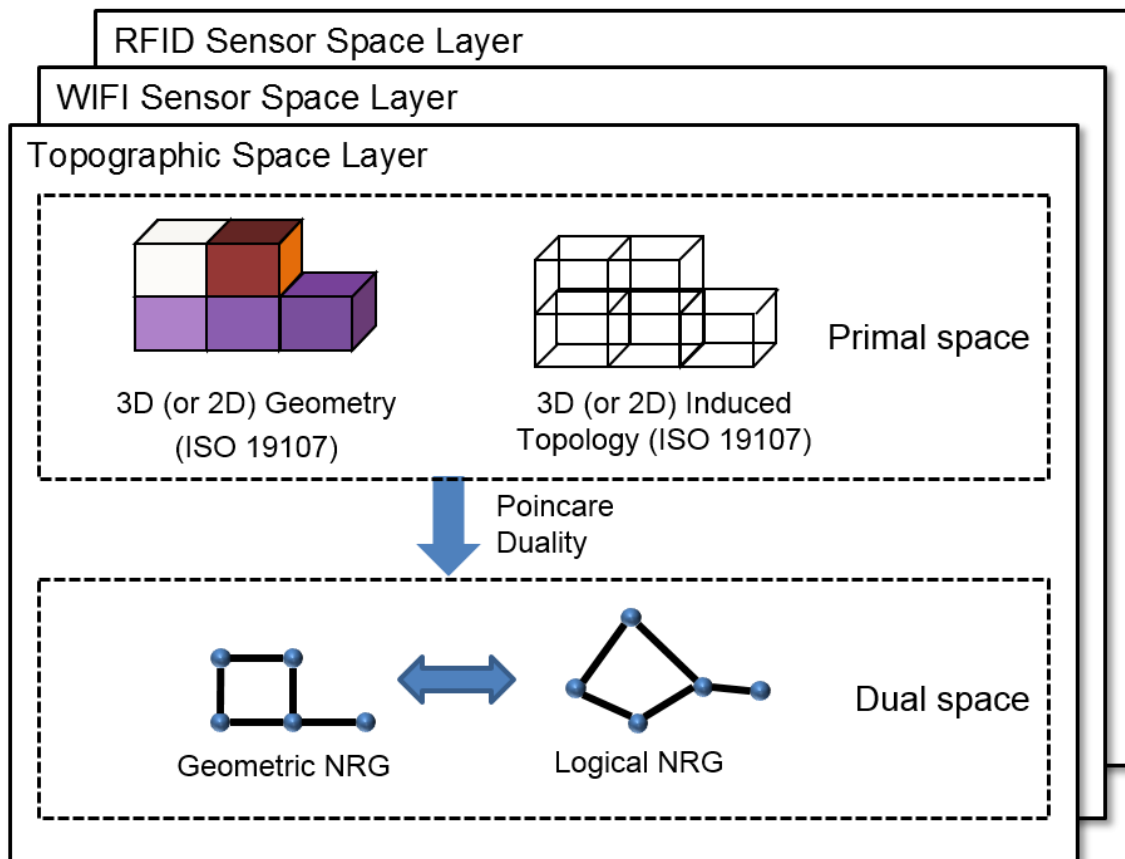


圖 1.34 多層空間模型(Li, 2013)

MLSM 的圖層間可藉由內部圖層的關係加以連結。在圖 1.35 的例子中有三個空間圖層(皆構成節點關係圖 NRG)。在拓樸空間中，節點代表的是導航物體可能的狀態，並對應到在原始空間中具體積範圍的細胞，例如房間。邊代表狀態轉移(就是節點間的移動)，他們代表著原始空間細胞的連結性，例如相鄰的房間由門來連結。在感測器空間裡，NRG 的結構有些不同，節點代表體積擴張的空間，例如 WiFi 訊號覆蓋的範圍。邊則代表基於相鄰 WiFi 涵蓋範圍，一個空間到另一個空間的過渡。當多個圖層涵蓋著相同的現實空間，各個分開的二元圖 (Dual Graph) 可以組合成一個多圖層的代表圖。

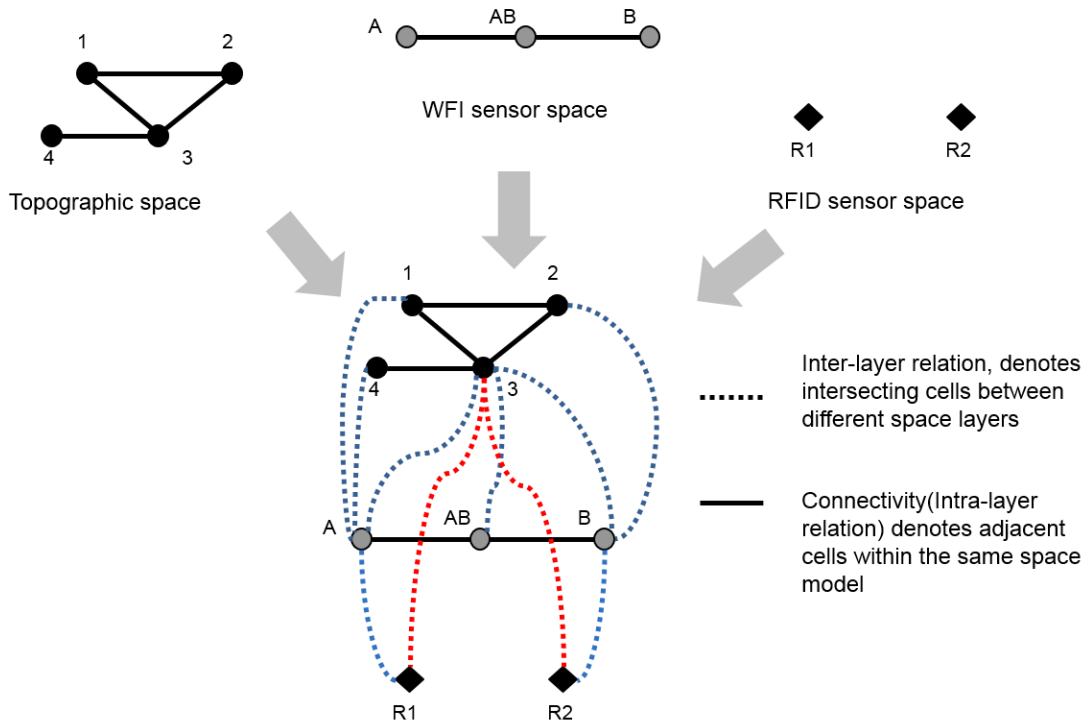


圖 1.35 多層空間模型的 NRG(Li, 2013)

如果假設不管在拓樸或感測器空間中，每個空間模型都建立在不重疊的空間劃分上，則空間物件在同一個空間模型中，同一個時間點上，就只會出現在一個細胞，即永遠只會有一個狀態啟動。因此，空間物件的完整狀態需要從從每個空間模型中唯一啟動狀態的圖層組合而來。換言之，只有不同圖層間具體的狀態組合是有效的，且能夠同時被啟動。狀態組合是由不同圖層間，額外的邊點連線表示而成的，而這些所謂接合邊(Joint Edge)是藉由不同圖層間的細胞幾何成對相交所形成的。若兩個相關細胞的內部交集並非空集合的話，便會在兩節點間加入接合邊。所以，接合邊代表著來自不同空間圖層的兩個細胞之間的所有關係，除少數幾種關係之外。

在 IndoorGML 之中，MLSM 是空間模型的多層空間表示，由 MultiSpaceLayer class 所實現 (圖 1.36)。而 MultiLayeredGraph 是由 SpaceLayers 及 InterLayerConnections 所組成，其中 SpaceLayers 代表每個圖層，例如拓樸空間圖層和感測器空間圖層，並形成由來自狀態與轉換的物件所組成的 NRG。內部層與層間的關係是由 InterLayerConnection class 所實現。圖 1.36 中，InterLayerConnection class 可能包含 {(1,A,Within)、(4,A,Within)、(3,A,Cross), (3,AB,Cross)、(3,B,Cross)、(2,B, Within)、(A,R1,Contains)、(B,R2,Contains), (3,R1,Contains)、(3,R2,Contains)} 等實例，而每個實例代表著圖 1.31 裡，不同空間圖層間的兩個細胞之間的關係。MultiSpaceLayer 是 SpaceLayer 及 InterLayerConnection. 的結合。

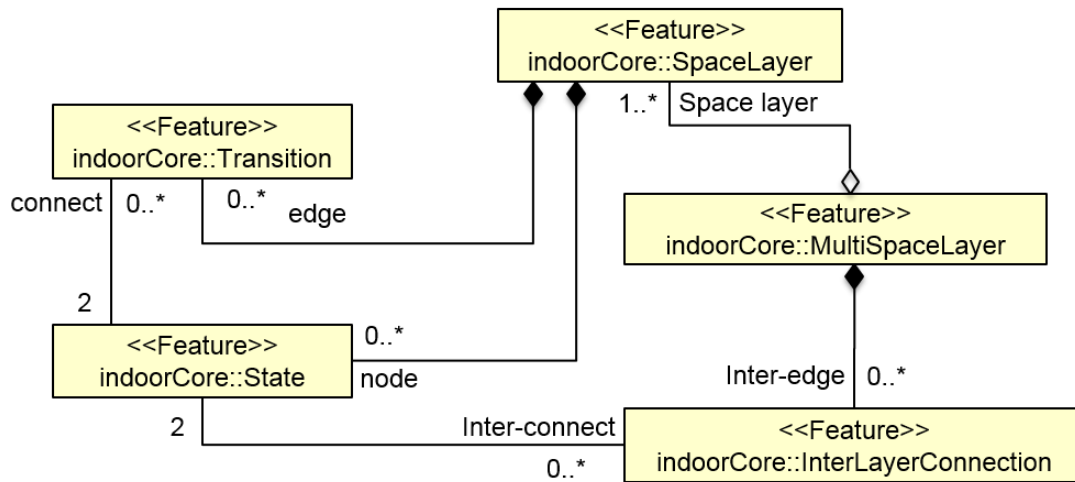


圖 1.36 多層空間模型的資料模式(Li, 2013)

當 IndoorGML 聚焦在細胞空間及拓樸的概念上時，就可能不會包含室內特徵的幾何及詳細語義訊息。取而代之的，IndoorGML 提供一種外部參考方式，採用其他資料標準(CityGML)中描述物件的方法以描述空間幾何。室內特徵依據所應用的空間，會有不同的幾何及語義表示模型，舉例來說，室內空間在機器人研究領域裡常以網格模型呈現。藉由從 IndoorGML 分離不同領域的具體模型及提供外部參考，便可達到更高程度的靈活性。

連結室內與室外是室內空間資訊重要的一環，IndoorGML 提供錨節點 (Anchor Node) 的概念，以連結室內外空間，也就是以額外的拓樸來連結室內與室外。每個室內空間都至少有一個出入口，而出入口就可以用來連結室內和室外。在 IndoorGML 中，出入口在室內空間的拓樸圖裡是一個特殊的節點，如圖 1.37。因為它可能包含轉換室內坐標系統與室外坐標系統的附加訊息，因此稱之為錨節點而與其他節點關係圖 NRG 裡的節點不一樣。

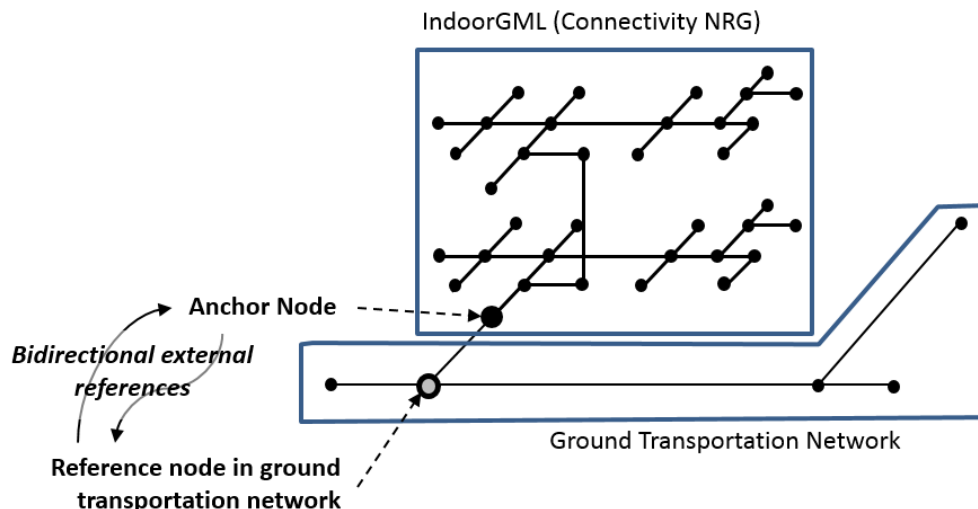


圖 1.37 錨節點(Li, 2013)

錨節點包含屬性能夠支援室內外空間的無縫轉換：

1. 室外路網的外部參考：錨節點包含一個外部參考，對象是一個在室外地面路網中連接著錨節點的節點，這裡要注意錨節點與室外地面路網中的節點間是雙向關係。錨節點不只定義在 IndoorGML 文件裡，也可以從外部資料取得，例如從室外地面路網中存取。舉例來說，當一個載具正在進入建物時，我們可以透過外部參考從室外地面路網中的節點來取得建物的 IndoorGML 文件。
2. 轉換參數：在許多案例中，相對的坐標系統會被應用在室內空間，此時就需要根據室外的絕對坐標系統轉換每一個室內幾何點的坐標。因此，錨節點就包含有轉換的參數，例如坐標原點的旋轉、三軸的旋轉角、三軸尺度與平移向量。
3. 除了上述屬性外，也可以包含額外資訊像是建物的無線訊號強度圖，用於 WiFi 室內定位等。

子空間(Subspacing)的使用，是因為室內空間之結構時常分成各種層級，要能反映出各種情況的層級結構必須要審慎地分解其空間。舉例來說，透過空間物件彼此之間的連結關係，走廊及大廳可以被區分出來並精確的表達室內空間的幾何特性。子空間的概念將利用圖 1.38 進行說明，圖 1.38(a) 為母圖，其空間中有一條走廊，在圖 1.38(b) 中以節點關係圖 NRG 表示該空間，其中節點 n_6 表示的走廊在室內空間中被視為一主節點，然而在子圖 1.38(c) 則是將走廊區塊化並利用兩個節點來保留兩個區塊空間的連結關係。換言之，圖 1.38(b) 中經過轉換的 NRG，其中的節點 n_6 被轉換成子圖 1.38(c) 中的節點 n_{6-1} 、 n_{6-2} 及連結邊 e_1 ，轉換前後的圖依舊表示同一個二維形狀的走廊。

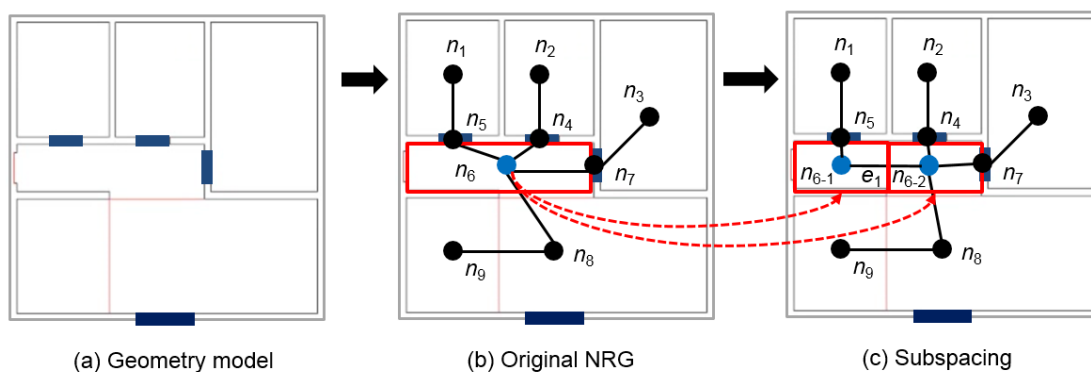
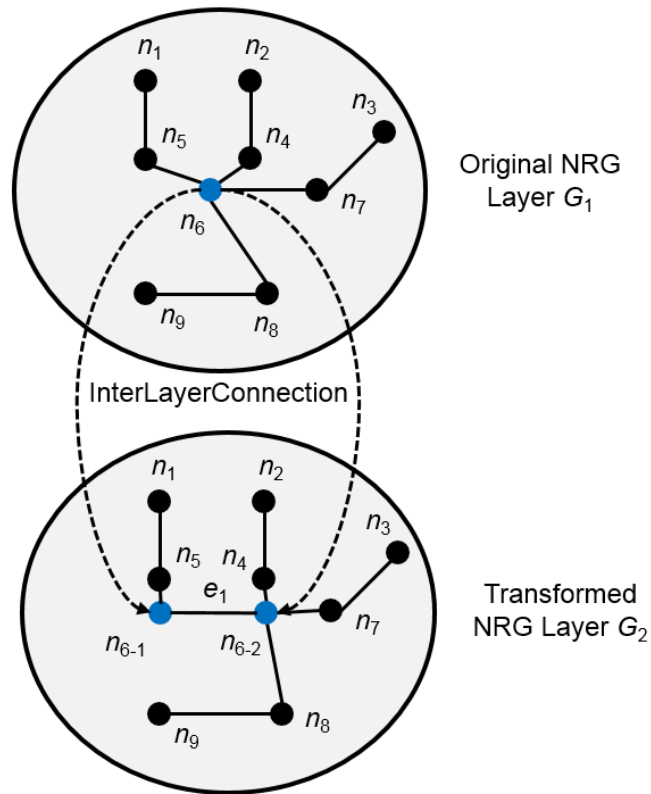


圖 1.38 子空間的範例(Li, 2013)

IndoorGML 支援利用多層空間模型來反映出室內空間的層級結構，以萃取出子空間節點，如圖 1.39 的 NRG 所示。圖中 G_1 為擁有節點 n_6 的原始圖層， G_2 則是轉換後的子空間，圖層並分割出節點 n_{6-1} 、 n_{6-2} 。而層級結構是利用多層空間模型圖層中內部層的連結關係(虛線)來表示。除了節點 n_6 以外， G_1 圖層的其他節點與 G_2 圖層中的其他節點之間預設是一對一的對應關係。



$\{(G_1.n_k, G_2.n_k, \text{equal}) \mid k \neq 6\}$: Default *InterLayerConnection*
 $\{(G_1.n_6, G_2.n_{6-1}, \text{contains}), (G_1.n_k, G_2.n_k, \text{contains})\}$: *InterLayerConnection* for subspaceing

圖 1.39 通過多層空間模型展示的層級結構(Li, 2013)

IndoorGML 的模組化是根據 OGC 的政策：「The Specification Model - A Standard for Modular specifications」，IndoorGML 整體可被分成一個核心模組及對其擁有強制相依關係的擴增模組。因此，IndoorGML 的資料模型可依照主題不同被分成一個核心模組及與主題相關的擴增模組，如圖 1.40 所示。核心模組囊括了基本概念，而各個擴增模組則是涵蓋了特定的主題領域，像是行人、輪椅及機器人的導航應用。每個 IndoorGML 模組都在 XML 架構下，在已定義的檔案格式中被規範。此外，該模組亦被獨立且全球唯一的 XML 目標命名空間所定義。根據模組間的相依關係，各模組可依關聯的命名空間匯入相關的 IndoorGML 模組。

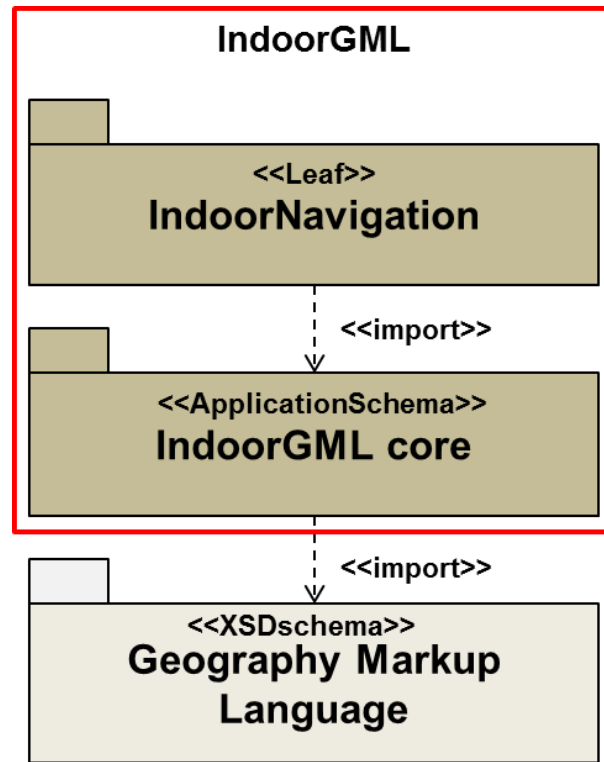


圖 1.40 IndoorGML 的模組化架構(Li, 2013)

IndoorGML 核心模組定義了基本概念及 IndoorGML 資料模型的組件，除了語義建模外都在核心模組中體現，擴增模組則含有 IndoorGML 的語義建模。基於 IndoorGML 的核心模組，擴增模組包含了 IndoorGML 資料模組中邏輯上獨立的主題式組件，IndoorGML 提出了第一個主題式的擴增模組，稱作 IndoorNavigation 模組。IndoorGML 模組間的相依關係如圖 1.40 所示，每一個封包代表一個模組，封包的名字則對應到模組的名字。圖中箭號尾部的封包架構取決於箭頭指向的封包架構，對於 IndoorGML 模組，當一個架構匯入到到另一個架構且利用相應的 XML 命名空間時，彼此就具有相依性。

1.2.7 室內定位技術回顧與現況

目前根據美國 2015 年的統計調查，18 至 29 歲使用智慧型手機的人口中，約有 80% 使用到手機個人導航服務，30 到 49 歲的使用者也有超過 70% 使用導航功能，可見手機結合使用者位置提供關聯性資訊所擁有的潛力(Smith, 2015)。而室內定位技術的發展也具有相當的歷史，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。該系統以紅外線做為主要觀測量，使用者配戴微型的紅外線訊號發射器，以室內密布的紅外線感測器偵測，配合感測器位置資料庫，透過 Time of Arrival (ToA)、Angle of Arrival (AoA) 或 Time Difference of Arrival (TDoA) 等原理求得使用者的相對位置，但仍有許多限制像是需要額外的硬體設施、易受其他光源干擾與訊號穿透力不足等問題。類似的系統有超聲波定位系統，但同樣需要佈設大量硬體，同時定位精度受噪音與溫

度等影響。而近代在減少佈設外部感測器的需求下，以無線電訊號為主的定位系統以 RFID (Radio Frequency Identification) 與低功耗藍牙系統最為受到關注，兩者都具有硬體體積小且輕便的優點，但定位精度與標籤佈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。而低功耗藍牙系統更是蘋果近年大力推廣的室內定位解決方案，能夠透過手機上的專屬 App、iPhone 傳輸各種訊息，像是推送折價、優惠、商品建議等資訊，但定位精度仍然受限於訊號的特性，例如環境干擾、耗電功率、佈設成本與訊號穿透率等等。WiFi 室內定位技術亦是另一主流，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(Fingerprinting)或是前述的 ToA 等技術進行定位演算，因此定位精度同樣不可避免的受限於環境穩定程度與訊號源的密度，因 WiFi 設備已高度普及，所以也頗受業界重視。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，行人航位推算 (PDR) 演算法不需收集外部訊號，利用慣性感測元件，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越多而精度下降，且初始位置需事先給定。表 1.3 為常見的室內定位技術整理表 (Mautz, 2012)。

表 1.3 室內定位技術整理表(Mautz, 2012)

Table 1.1 Overview of indoor positioning technologies. Coverage refers to ranges of single nodes.

Chapter / Technology	Typical Accuracy	Typical Coverage (m)	Typical Measuring Principle	Typical Application
4 Cameras	0.1mm – dm	1 – 10	angle measurements from images	metrology, robot navigation
5 Infrared	cm – m	1 – 5	thermal imaging, active beacons	people detection, tracking
6 Tactile & Polar Systems	µm – mm	3 – 2000	mechanical, interferometry	automotive, metrology
7 Sound	cm	2 – 10	distances from time of arrival	hospitals, tracking
8 WLAN / WiFi	m	20 – 50	fingerprinting	pedestrian navigation, LBS
9 RFID	dm – m	1 – 50	proximity detection, fingerprinting	pedestrian navigation
10 Ultra-Wideband	cm – m	1 – 50	body reflection, time of arrival	robotics, automation
11 High Sensitive GNSS	10 m	'global'	parallel correlation, assistant GPS	location based services
12 Pseudolites	cm – dm	10 – 1000	carrier phase ranging	GNSS challenged pit mines
13 Other Radio Frequencies	m	10 – 1000	fingerprinting, proximity	person tracking
14 Inertial Navigation	1 %	10 – 100	dead reckoning	pedestrian navigation
15 Magnetic Systems	mm – cm	1 – 20	fingerprinting and ranging	hospitals, mines
16 Infrastructure Systems	cm – m	building	fingerprinting, capacitance	ambient assisted living

若以學術文獻而言，因近年來室內定位技術漸受關注，尤以智慧型手機為應用對象的相關研究最為熱門，但因為智慧型手機搭載的感測器屬於低精度規格，因此近年來整體定位精度改善幅度並不大，甚至略有降低，且各項技術多是朝便利性方向發展，例如藍牙 iBeacon(定位精度在 5 公尺左右，但輕便且省電)。雖然產業界也同樣關注室內定位技術，並宣稱以低規格感測器可達到 2-3 公尺，

或甚至公分等級的定位精度，但大多沒有提供任何細節資訊，因此尚無法確定實際性能，故本團隊暫不納入實際評比

進一步比較常見的室內定位技術可整理成表 1.4。表中將常見的技術區分為以 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 INS 與 PDR 技術也因其概念原理有明顯差異而各自表列。以 Wi-Fi 作為代表的無線訊號定位技術，因為室內空間多已有 Wi-Fi 訊號，而僅需少量加裝額外的基礎設施補足訊號涵蓋範圍，但是一般採用指紋辨識方法而需建置困難且大型的資料庫。雖然定位誤差不隨時間累積，但易受環境干擾而跳動，同時定位解也無法於室外絕對坐標系統直接套合。iBeacon(Bluetooth)與 RFID 雖然可避免繁雜的資料庫建製，但受限使用的訊號類型與特性而需要大量額外的基礎設施，同時誤差行為與定位解坐標系統與 Wi-Fi 有相同問題。影像定位方法雖然不用基礎設施，但同樣面臨複雜的資料庫建置，誤差行為與坐標系統也與無線訊號的定位技術方法相近。值得一提的是，影像定位方法對硬體運算能力有較高的需求。而基於慣性方法的 INS 與 PDR 則呈現相反的特性，不需基礎設施與建置資料庫，誤差也不受環境影響，但是誤差卻隨時間而快速累積。同時相對定位的特性也需要絕對坐標資訊。故本團隊提出整合式的室內定位系統，讓各技術達成互補，並採用移動測繪系統生產的直接地理定位影像，除了應用在影像定位以外，也可以量測 Beacon 絕對坐標建置資料庫，讓定位系統具備絕對坐標。

表 1.4 室內定位技術特性比較表

現行常見的室內定位技術	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
Wi-Fi	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

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。PDR 的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，如圖 1.41。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，同時這些誤差會隨著移動步數的增加而持續累積(Brajdic and Harle, 2013；Weinberg, 2012)。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)。同時這種模式常常會發生示範系統效能良好，

但產品化後卻達不到預期效能，這是由於模型參數本身存在的不確定性造成 (Groves et al., 2007)。在方位估計的部分，磁力計可能會遭遇環境磁場的影響，使得磁方位具有誤差。同時，陀螺屬於慣性感測原理，雖然不受環境磁場干擾，但是本身誤差卻會隨時間累積。即使透過整合陀螺和磁力計能夠減緩兩者各自的缺陷，但整合方位的精度卻仍仰賴融合演算法的參數調整。因此 PDR 技術往往需要與其他定位技術整合，才能減低誤差累積的速度。另一方面，PDR 屬於相對定位，因此也需要外部絕對定位系統提供準確的初始化訊息。

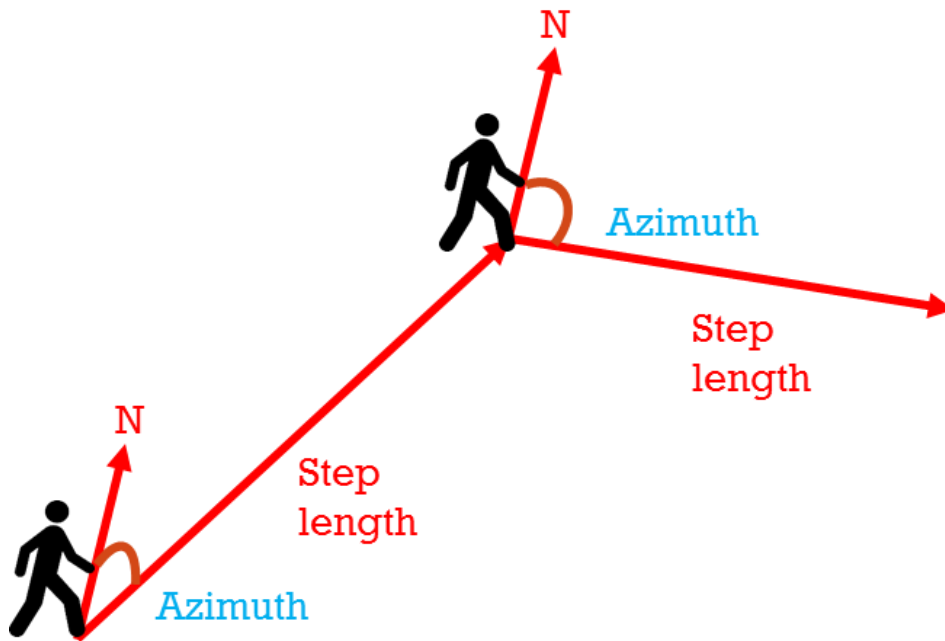


圖 1.41 航位推算的定位技術概念示意圖

因本案今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做進一步的回顧。影像定位技術因為智慧型手機大多配備有相機，而在近年更受到重視。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 SLAM (Núñez et al., 2011)。但是這類傳統方法大多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)，如圖 1.42。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)。為了減少影像處理的負擔，部分影像定位系統使用特製標籤，佈設在特定位置 (Kim and Jun, 2008; Mulloni et al., 2009)。此外，影像定位系統提供的定位解大多不是在絕對坐標系統下，因此有些研究也開始用經過絕對地理定位之影像進行定位，並整合其他定位技術 (Li et al., 2013)。

空間後方交會就是一個使用絕對地理定位之影像進行定位解算的攝影測量方法(Wolf and Dewitt, 2000)。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。

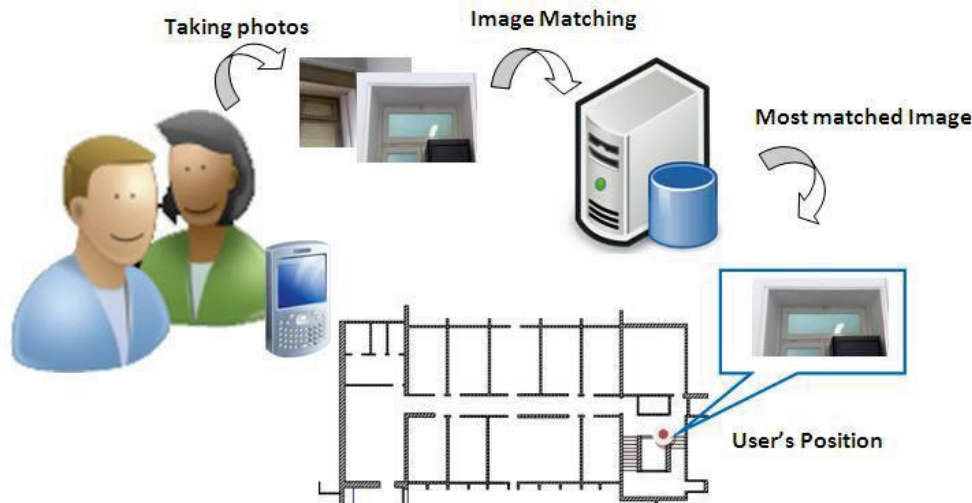


圖 1.42 傳統影像室內定位系統概念示意圖

由於本案今年度將提出低功耗藍牙差分演算法，以提升交會定位之精準度，因此將針對低功耗藍牙定位技術做進一步的回顧。隨著藍牙通訊技術之發展，藍牙於 2010 年發展至 4.0 版本，稱為低功耗藍牙技術(Bluetooth Low Energy, BLE)。此技術具有低成本、低耗能及長時間運作等特性(Bluetooth Special Interest Group, 2010)，除此之外，大部分可攜式裝置如手機、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。Beacon 以低功耗藍牙晶片為核心，且以造型輕巧、低耗能為建置方針，此外，該裝置成本低且以電池或 USB 孔供能，將可彈性化地設置於不同場景中(Zhuang, et al., 2016)，應用方面，低功耗藍牙技術現今普遍被應用於智慧家庭、醫療保健、行動商務、影音娛樂與導航定位等。其中行動商務與導航定位等應用多透過 Beacon 技術實現，換言之，Beacon 技術之也使得低功耗藍牙技術能夠具體實現並應用在室內定位與廣告推播等系統中。

低功耗藍牙以無線電波傳遞資訊，所採用的是 2.4 GHz ISM(Industrial Scientific Medical, ISM)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。低功耗藍牙技術採星狀架構的主從式連結，如圖 1.43 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)。

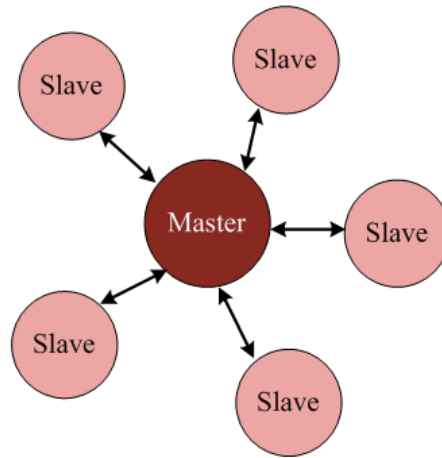


圖 1.43 藍牙無線網絡連結星狀架構

Beacon 可發送接收訊號強度指標(Received Signal Strength Indicator, RSSI)及個別識別碼等(Bekkelien, 2012)，其中尤以 RSSI 對導航定位的應用最為重要。RSSI 數值越小表示訊號強度越微弱，因此可藉由其能量強度的消耗特性，透過衰減或迴歸模型將 RSSI 數值轉換成 Beacon 與接收端(智慧行動裝置)間之距離，作為後續室內定位之演算應用。而個別識別碼則使接收端可辨別布置在環境中的不同 Beacon，作為定位資訊之參考依據。Beacon 所發送之訊息內容如表 1.5。

表 1.5 Beacon 傳送信息之內容

UUID 識別碼	用以區別不同廠牌的 Beacon
主要識別碼(Major)	用以區分不同群組的 Beacon
次要識別碼(Minor)	用以分辨同一群組中個別的 Beacon
RSSI	接收訊號強度指標
基準訊號強度值	距離 Beacon 1 公尺處之 RSSI

與 BLE 定位相關的文獻中，Chiang 等人應用近似定位(Proximity)的方式設定 RSSI 門檻值做為行人航位推算(Pedestrian Dead-Reckoning, PDR)的位置更新，當手機接收到來自附近 Beacon 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 Beacon 位置，大大減少 PDR 因 IMU 累積誤差所造成的位置偏移 (Chiang et al., 2015)。Chriki 等人則是將訊號指紋辨識(Fingerprinting)與支持向量機(Support Vector Machine, SVM)結合，在離線階段先建置出 RSSI 資料庫，而後於線上階段利用 SVM 將待測點蒐集之 RSSI 與資料庫做比對，若訊號特徵相近，即可推算出待測點之位置。

1.2.8 路徑規劃與擴增實境

最短路徑有個特性即為每一條最短路徑，都是由其他的最短路徑延展而得，換句話說，一條最短路徑截去末端之後，還是最短路徑。利用這個特性，我們可以將這些最短路徑們組合成一棵「最短路徑樹(Shortest Path Tree)」，它是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 1.44 所示為以編號為起點而組成的最短路徑樹。

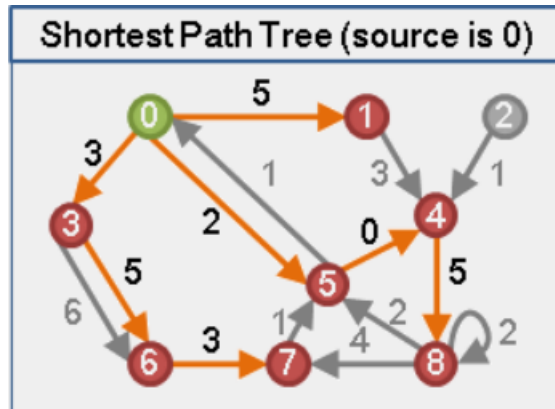


圖 1.44 最短路徑樹(<http://www.csie.ntnu.edu.tw/~u91029/Path.html#4>)

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，也就可以獲得起點到任意一個終點的最短路徑。它的作法簡單來說就是先找到離起點最近的節點，將它加入了以後，再依序增加剩下的節點中，離起點最近的節點，如此一來即可獲得最短路徑樹，下圖 1.45 展示演算法演算的流程。獲得這棵最短路徑樹以後，即可再從中擷取出此起點至任一終點之最短路徑，以導引使用者依循此最短路徑到達目的地。

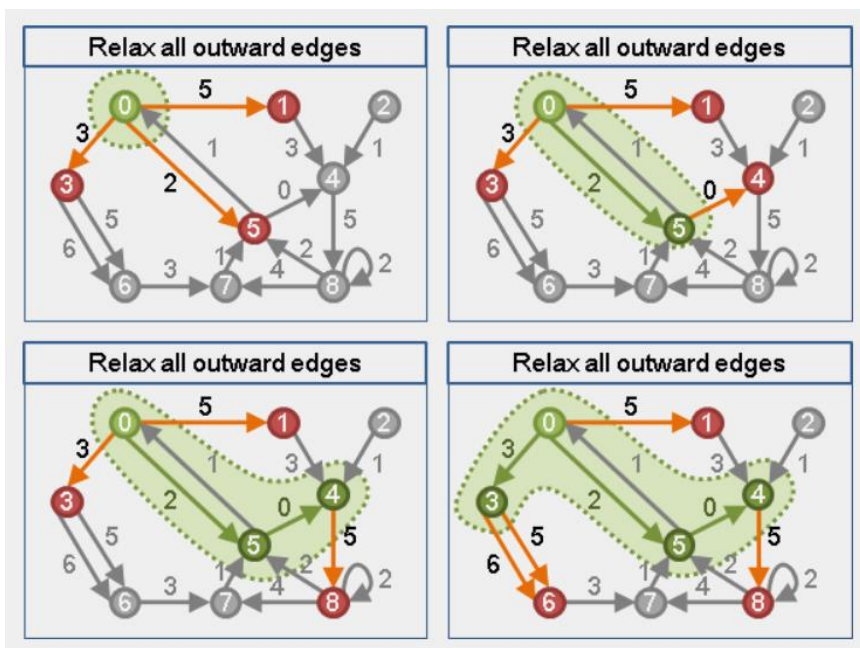


圖 1.45 最短路徑演算法流程(<http://www.csie.ntnu.edu.tw/~u91029/Path.html#4>)

另一種 A*演算法和 Dijkstra 演算法類似，它一樣可以用來尋找最短路徑，差別在於 Dijkstra 演算法會將所有可能路徑都搜尋過，最後找到一個起點至所有終點的最佳路徑；而 A*演算法則是根據終點的位置，先排除不可能是最短的路徑，所以比 Dijkstra 演算法更有效率。我們以圖 1.46 來比較這兩個演算法的不同，可以發現 A*演算法搜尋的深度雖然不如 Dijkstra 演算法深，但一樣能找到令人滿意的結果，關鍵在於 A*演算法所採用的一套評估函式，它可以將明顯是壞的路徑排除，因此可以更快找到一條滿意的路徑。A*演算法的評估函式 $f(n)$ 之公式如下：

$$f(n) = g(n) + h(n)$$

其中 $g(n)$ 為起點至目前節點 n 之實際距離， $h(n)$ 為目前節點 n 至終點之估算距離，而 $h(n)$ 就是影響 A*演算法表現的最重要的函式，當 $h(n) = 0$ 時，此時 A*演算法就和 Dijkstra 演算法一樣，會一一尋找可能的路徑，並且保證可以找到最短路徑；當 $h(n) \neq 0$ 時，A*演算法就會依據目前節點至終點的距離，優先尋找離終點較近的路徑，因此能減少搜尋的時間。舉例來說，若將 $h(n)$ 定為目前節點至終點之直線距離，那麼 A*演算法在尋找最佳路徑時，即會往終點方向擴散，也就是優先選擇朝向終點方向的節點去尋找最短路徑，進而增加路徑規劃演算法的效率。換言之，A*演算法提升效率得到的是近似解，對於大型路網來說具有優勢。而 Dijkstra 演算法找到的是最佳解，若應用環境許可，則應以此方法為主，獲得最佳的最短路徑推估。

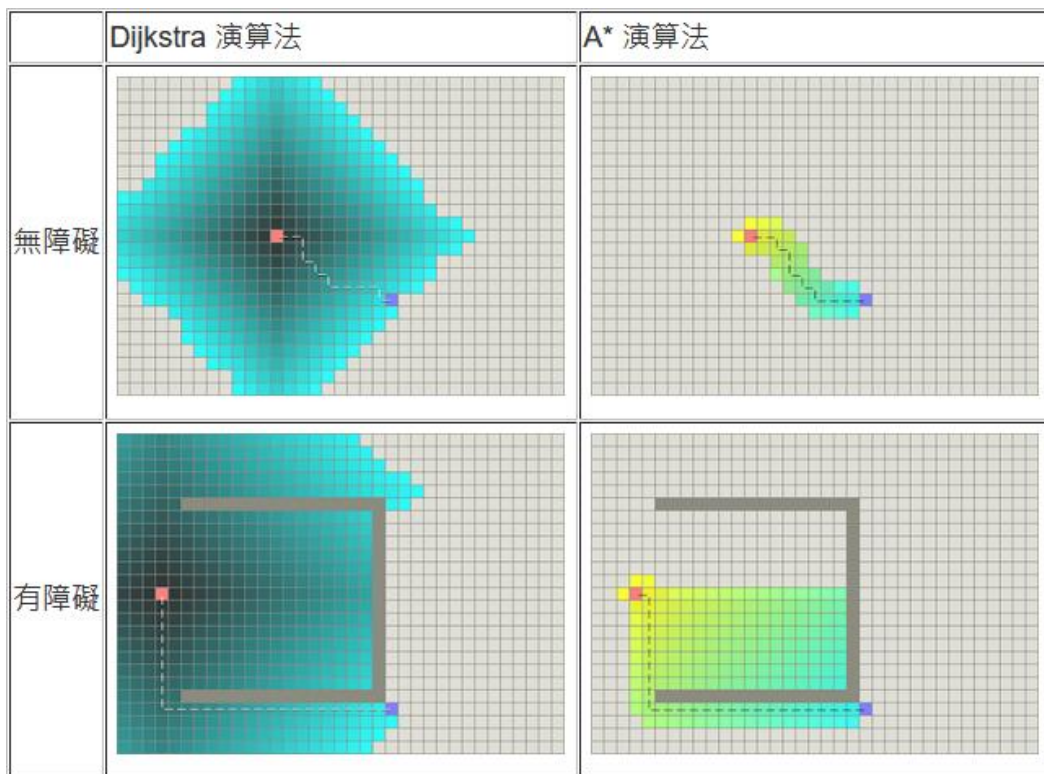


圖 1.46 Dijkstra 演算法與 A*演算法之比較(<http://blog.minstrel.idv.tw/2004/12/star-algorithm.html>)

擴增實境(Augmented Reality, AR)是一個在相機顯示的既有物體上，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，讓我們可以用更簡單的方式去獲得更多的資訊。AR 科技已經出現了近五十年，第一個應用出現在 1960 至 1970 年代間，但直到 1990 年才由波音前研究員 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技術，如大家最為熟知的手機遊戲「寶可夢(Pokémon GO)」就是 AR 技術應用於導航及娛樂中最經典的例子。它的技術其實就是運用 GNSS 進行定位、手機磁力計分辨使用者面對的方向、以及重力計判斷手機的姿態，在打開相機後，配合資料庫中的寶可夢資訊，將寶可夢圖片顯示直接在螢幕上，如圖 1.47 所示，就好像看到寶可夢活生生地出現在現實世界了。



圖 1.47 寶可夢(Pokémon GO)遊戲介面

AR 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 1.48 所示為此 App 使用介面。



圖 1.48 AR 汽車導航 App 使用介面

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

另外一項有趣的 AR 應用是販售各種家具用品的 IKEA 所推出的「家具實景體驗」功能。在 IKEA 推出的電子型錄 App 中，能夠將型錄中的家具用品直接拉進相機鏡頭的畫面中，並且隨意調整家具的方向及尺寸，讓使用者能夠預先看到家具擺在自己家中的模樣，如圖 1.49 所示。



圖 1.49 家具實景展示功能示意圖

(<https://itunes.apple.com/tw/app/ikea-chan-pin-mu-lu/id386592716?l=zh&mt=8>)

AR 在醫療方面的應用有 LucinaAR，利用 AR 眼鏡 Hololens 模擬分娩來培訓醫學生。LucinaAR 是由一間專門從事醫療保健以及醫療培訓、教育的公司團隊-CAE Healthcare 所研發，除了 LucinaAR 之外還研發出不少其他的醫療教育產品，擅於模擬患者、手術以及一些臨床模擬事件等等，LucinaAR 就是一款最近新推出的 AR 眼鏡應用，專門用來培訓醫學生們學習分娩的一個過程。其學習的過程是利用 CAE Healthcare 公司所推出的一個與真人般(孕婦)同大小的人體模型，並且有可動式關節與可擴張之子宮，再配合軟體「LucinaAR」應用，學生們就可以透過 Hololens 學習並了解到分娩的種種狀況，例如胎兒在母體子宮內的各種姿勢，以及生產的過程中胎兒在子宮內運作模式等等，讓學生並非只有在實際的現場才能學習，更能提高學生們的經驗與技巧，保證媽媽們的醫療品質。



圖 1.50 孕婦模型和擴增出來的胎兒寶寶和控制面板
[\(https://trampuncle.com/ar-lucinaar/\)](https://trampuncle.com/ar-lucinaar/)

Augmedics 是一間位於以色列並且專注於 AR 擴增實境手術可視化系統的開發商，他們開發的 ViZOR 系統能夠讓外科醫生在進行複雜的手術過程中獲得類似於「X 射線視覺」。簡單來說就是外科醫生能夠通過皮膚和組織看到患者的解剖構造，進而讓外科醫生能夠以更簡單、更快速與安全的方式來進行手術，大大增加了手術成功機率。目前 Augmedics 預計將此技術先應用於微創脊椎手術上。ViZOR 系統之所以能夠讓外科醫生看到解剖構造，是因為採用了一種具有獨特專利的 AR 鏡片以及多種傳感器的緣故，因此可將患者的脊椎以 3D 的方式即時投影至醫生眼前，其準確度與深度都非常精確，所以可以有效減少手術時間且增加手術成功的機率。

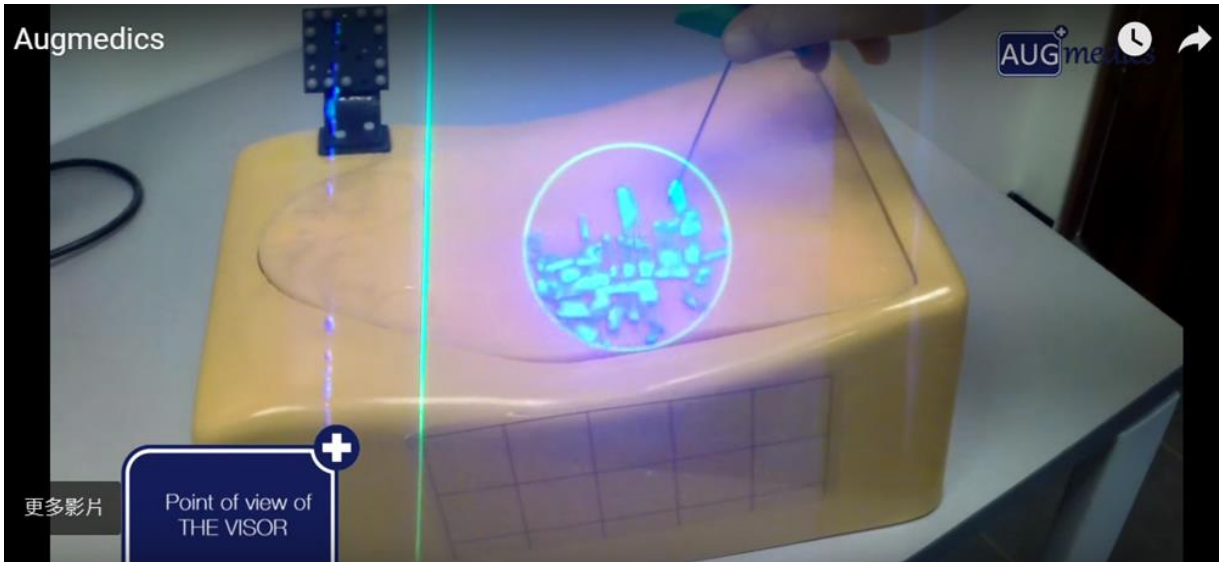


圖 1.51 利用 AR 眼鏡可以看到肌膚內的脊椎以輔助手術的進行
(<https://trampuncle.com/ar-vizor/>)

由於 AR 近年來的快速發展，ASUS 公司開發了一款專門做 AR 擴增的應用的手機——ZenFone AR。ZenFone AR 搭載新世代擴增實境 Google Tango AR 技術以及可搭配 Daydream VR 裝置與 TriCam 三相機模組。其中 TriCam 三相機模組內有日常拍照以及運行 AR 時取景用的「2300 萬畫素主鏡頭」，這組鏡頭也具備 OIS 光學防手震與 EIS 電子防手震功能，另外則有偵測物件的「動態追蹤鏡頭」與偵測距離深度的「紅外線深度感測」三大模組，而後者兩大模組則是能創造出完善 3D 物件與距離的重要關鍵，達到擬真度更高的 AR 擴增實境效果。「Measure 空間量測工具」就是一款 ZenFone AR 內建的手機 App，由於搭載了紅外線設備，所以現在用手機也能進行空間測量，使用時只要啟動 Measure 這套 App 之後，使用畫面中的瞄準點，即可進行整個空間的量測，包含距離、高度以及坪數。要使用 Measure 進行空間量測時，只要先進行邊緣校正與偏移調整，再將中心點對準量測物體，最後點選右下角綠色 + 號即可，操作容易又方便。

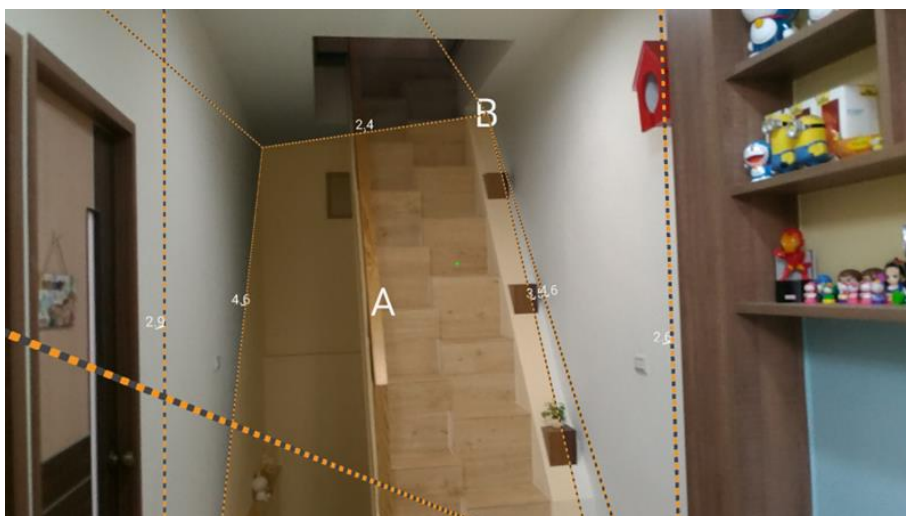


圖 1.52 AR 測量之後的結果，可獲得不同角度之距離
(<http://ifans.pixnet.net/blog/post/223290004-zenfonear>)

其他應用像是在娛樂方面就有「擴增實境應用於旅遊規劃系統之開發與評估」等相關論文的提出(陳楚穎, 2011); 醫療方面還有許多不同的應用、醫療復健、醫療諮詢和教育訓練等領域; 學習上則可將 AR 結合兒童繪本(詹政達, 2009), 或是融入校園公共藝術幫助學習。除了上述所提及之應用, AR 可以應用的方面不勝枚舉, 而隨著 Google、Samsung、Apple 等企業產品的銷售大幅度成長, 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。

1.2.9 高精地圖發展與現況

隨著工業化時代發展, 每年均會有上千萬的車輛從工廠進出、買賣。然而, 為我們生活帶來許多便利的同時, 卻也無可避免交通工具帶來的負面影響, 尤其以駕駛及乘客的安全問題最為嚴峻。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。有鑒於此, 目前眾多廠牌的汽車系統均導入先進駕駛輔助系統(Advanced Driver Assistance Systems, ADAS), 提供駕駛人車輛的工作情形與外部環境變化等資訊助駕駛本身判斷周遭情況, 同時藉由預先發出危險狀況的警告智能, 讓使用者及早反應, 從而採取相對因應措施。另一方面, 車電產業受到上述技術快速發展的強烈影響, 同時產業界線已逐漸模糊, 越來越多廠商藉由提供相關服務平台而切入車輛產業, 估計每年將會出現更多基於先進駕駛輔助技術的系統載具和運行模式, 而特斯拉(Tesla)公司則基於上述願景, 已率先達成在特定環境下運行自動駕駛的量產化商品。

根據美國國際汽車工程師學會(SAE International)所提出的分類系統, 可以將自駕車系統分為六個層級(Level 0-5), 如圖 1.53 所示。等級 0 為最原始的操作系統, 由駕駛者本身掌控車輛的機械及物理功能, 無任何自動機能介入; 等級 1 則加入個別功能或者裝置來提升整體駕駛感與行車安全, 如電子穩定程式(ESP)或防鎖死煞車系統(ABS), 幫助行車安全; 等級 2 為現今市面上常見的中高階車款, 主要由駕駛人控制車輛, 但導入先進駕駛輔助系統以減輕駕駛人操作負擔及危機發生機率, 如巡航定速(ACC)結合自動跟車和車道偏離警示用以提升駕駛感, 而自動緊急煞停系統(AEB)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; 等級 3 為以車輛為主的自動駕駛, 但駕駛人本身須在部分緊急狀況時介入操作; 完全不需人為操控的全自動駕駛為等級 4 以上, 此等級以上的自駕車可透過完善的汽車通訊系統, 進行車輛之間的彼此溝通協調, 以實現行車的最小安全風險。

SAE AUTOMATION LEVELS

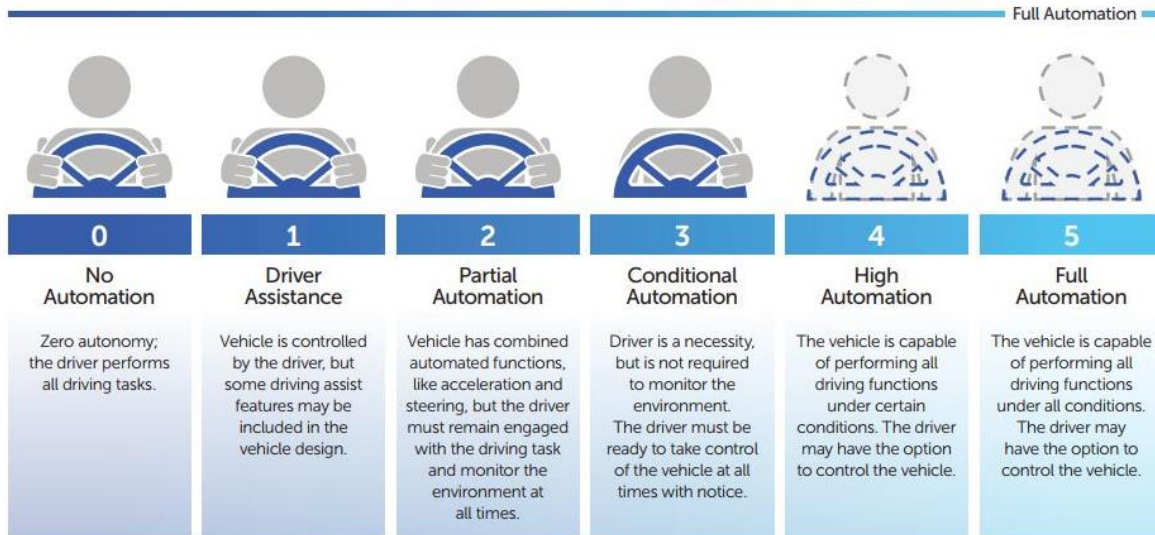


圖 1.53 自駕車分類系統(© 2017 Vox Media, Inc.)

為達等級 3 以上的自駕車系統，車輛本身需有自行判斷周遭環境並做出決策的技術，多感測器整合系統的輔助儼然成為不可或缺的趨勢。透過各式各樣的感測器，如雷達、紅外線感測器、照相機等來感測車身周遭環境以建構空間資訊，再配合包含全球衛星定位系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)及慣性感測元件(Inertial Navigation System, INS)的整合式定位定向系統來進行導航服務。但即使目前市場上最新的車載感測系統精度已經達相當的水準，搭載高解析度攝影機和雷射掃描儀所組成的自動巡航系統，最佳環境下也僅能「看」到前方兩百多公尺遠，此距離限制在高速行駛下不足以保證自動駕駛的安全性；且多數車載定位系統往往會受到周遭環境的變化影響，除了眾所皆知衛星訊號在都市環境中的遮蔽或多路徑效應之外，利用影像感測器為主的整合系統遇到天候劇烈變化或標的物被遮蔽的情況，皆有可能造成系統辨識錯誤，使駕駛安全產生風險，此時就有賴於「高精地圖」配合增加視野的廣度與深度。高精地圖為搭載三維空間資訊之全新型態地圖，目的是使智慧型載具可以接收準確的外界資訊，自駕車若需要安全地執行自動駕駛任務，車輛必須知道自己在道路上的位置及周遭的已知景物，因此需要有極為精確的三維圖資。職是之故，高精地圖已是未來自駕車產業不可或缺的發展方向。

從測繪領域來看，傳統測量技術中，若僅使用遙測技術作為唯一採集空間資訊的方法，將無法全然符合成本與採集效率的考量；而使用人員操作的地面測量技術雖可達到高精度的成果，但是在人力花費與時間成本上無法兼顧大面積與即時性需求。隨著科技的演變與成長，測量與空間資訊技術多元發展，加上全球衛星定位系統逐漸完善，以及慣性導航的整合式定位演算法逐漸成熟，使得基於車載導航定位的室外移動測繪技術獲得廣大的應用，即為廣為人知的即時移動式測量及空間資料收集平台—車載行動測繪系統(Mobile Mapping System,

MMS)，不同於以往傳統測量技術的資料收集方式，MMS 藉由車載移動式遙測及製圖系統，裝載多種如光達、相機等製圖感測器，搭配整合式導航定位定向系統來收集空間資料，為具備直接地理定位能力的測繪平台，具有高機動性、高精度，可快速獲得大範圍現地高精度三維空間資訊，相較於傳統地測可大幅縮短人力與時間成本。

車載行動測繪系統即我們常見的測繪車，可說是現今自駕車的雛型。除 Google 持續發展基於街景技術的各式應用外，Apple 也於 2014 年起落實發展自主移動製圖技術，以急起直追的態勢發展專屬的 Apple Van 以補足其相對於 Google 在空間資訊的劣勢；同時 Nokia 轉投資的世界級圖資大廠 HERE 亦發展自主的行動測繪技術亦被德國三大車廠併購，成為世界上最大的導航機採用地圖，壟斷了超過八成的車用導航地圖；甚至連 TOYOTA 都在 CES 2016 展出乘用車地圖收集技術。從各國廠商的競爭不難看出，收集全世界龐大又複雜多變的地圖資訊雖然需要花費龐大時間與經費，卻是發展自動駕駛不得不為的未來趨勢，可說地圖將決定車廠開發自動駕駛技術的成敗也不為過。為提升我國於高精地圖的發展能量，本案擬基於內政部既有製圖技術經驗，結合國內相關產業優勢背景進行高精圖資建置流程標準先期評估，優先以無人自駕車應用場域進行技術測試，期許後續發展更多元情境之應用。

1.3 工作項目

一、工作計畫書

於簽約日 1 個月內，就以下各項工作事項進行規劃並繳交「工作計畫書」。同時依工作計畫書核定方式（或更優方式）辦理相關工作，並依科技部規定之主要績效指標詳列本案產生之績效內容。

二、發展移動裝置通用之室內外定位技術

1. 研發公尺級低成本之可攜式光達室內製圖系統，並建置移動裝置之空間資訊系統應用於適地性服務。
2. 配合內政部辦理 107 年度行政院災害防救應用科技方案(第 2 期)，協助災後快速製圖技術研發相關作業。
3. 適地性服務案例試辦，試辦區之選定需經內政部同意。

三、發展地籍測量移動製圖技術

1. 評估地面光達、環景影像及新型全測站等新式移動製圖技術於地籍測量作業之優缺點，並整理成報告。
2. 應用移動製圖技術精進地籍測量作業，並規劃移動製圖技術納入地籍測量作業相關流程及準則。
3. 適地性服務案例試辦，試辦區之選定需經內政部同意。

四、探討高精地圖及即時動態地圖規格、作業方法及精度評估

1. 高精地圖、即時動態地圖、AI 技術特徵辨識文獻回顧整理。
2. 多平台製圖技術測試與率定設施持續維護與更新。
3. 高精地圖管理及供應平台先期評估作業。
4. 舉辦高精地圖研討會 1 場，相關規劃需經內政部同意。
5. 高精地圖於自駕車適地性服務案例試辦，試辦區之選定需經內政部同意。

五、協助推動國際測量事務交流合作：依內政部需求協助推動國際測量事務交流合作

六、研究成果發表

1. 提送期刊或研討會論文文稿至少 3 篇，其中 1 篇需提送國際期刊(SCI/EI)。
2. 國內外實作或論文競賽 1 件。
3. 年度計畫成果發表活動：廠商需配合內政部舉辦空間測繪應用相關之年度計畫成果發表(含研討會方式)活動，其時間、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，除受邀講者出席費由內政部其他專案負擔外，其餘所需費用由廠商負擔。
4. 製作成果介紹短片，影片長度約 3~5 分鐘，含中英文介紹，無須字幕。

七、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。

八、定期召開工作會議

本案將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。

本團隊執行本案之各項任務時程，遵照本案之工作計畫書預定時程進行，表 1.6 為本案之分月執行進度表，圖 1.54 為分月進度折線圖，統計至 11 月底止，本團隊於各項任務皆如期完成進度。

表 1.6 分月進度表

任務名稱	權重 (%)	年度	2018								
			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
		月份	3	4	5	6	7	8	9	10	11
工作計畫書	5	預定	5%								
		實際	5%								
發展移動裝置通用之室內外定位技術	18	預定	3%	3%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	
		實際	3%	3%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	
發展地籍測量移動製圖技術	18	預定	3%	3%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	
		實際	3%	3%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	
探討高精地圖及即時動態地圖規格、作業方法及精度評估	18	預定	3%	3%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	
		實際	3%	3%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	
協助推動國際測量事務交流合作	22	預定	2%	2%	2%	3%	4%	2%	3%	4%	
		實際	2%	2%	2%	3%	4%	2%	3%	4%	
研究成果發表	5	預定					1%	1%	1%	1%	1%
		實際					1%	1%	1%	1%	1%
成果效益評估	4	預定				2%					2%
		實際				2%					2%
期中報告	5	預定				5%					
		實際				5%					
期末報告	5	預定									5%
		實際									5%
總進度	100	預定	16%	27%	35%	51%	62%	71%	81%	92%	100%
		實際	16%	27%	35%	51%	62%	71%	81%	92%	100%

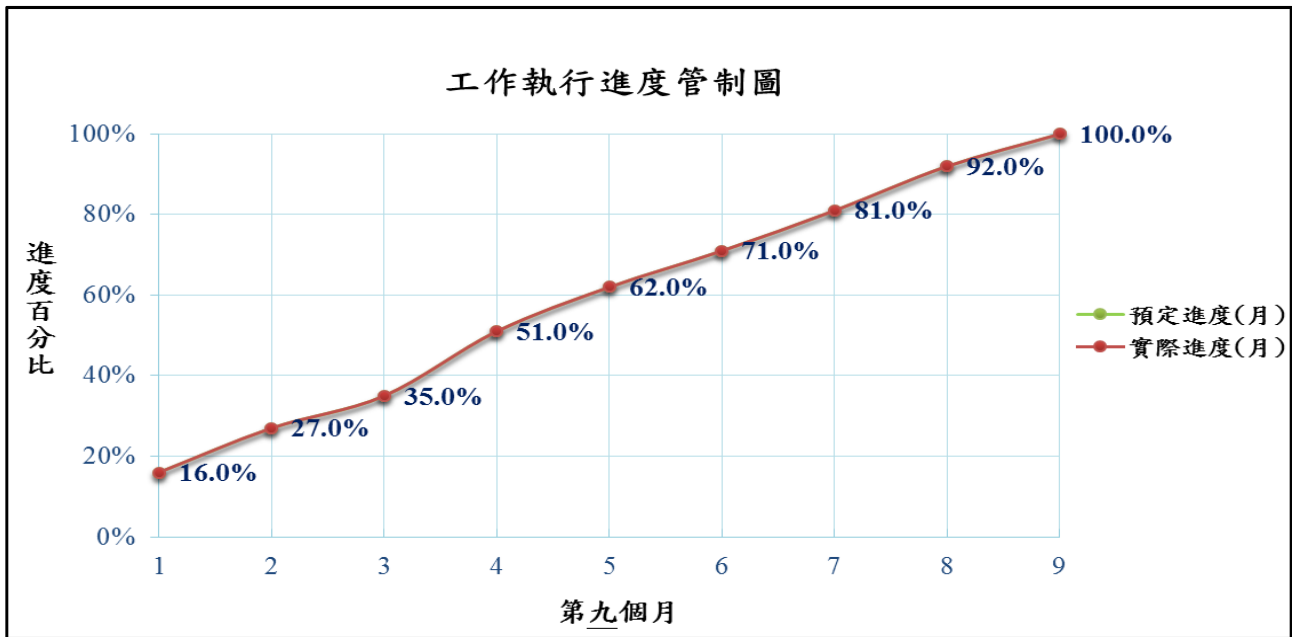


圖 1.54 分月進度折線圖

第貳章、發展移動裝置通用之室內外定位技術

內政部自民國 100 年開始推動自主研發多平台製圖技術，先期研究計畫對發展與應用多平台遙測製圖技術進行關鍵技術研發，並於民國 100 年至 104 年執行多平台製圖技術工作案，自主發展各項核心技術並致力將此類技術推廣至空間資訊相關領域，除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有極大的效益。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製圖技術、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；故發展公尺級室內移動製圖技術(含圖資與興趣點)及結合穿戴裝置與室內外圖資的各式適地性應用(含災害防救)有其必要性。故本年度基礎於過往專案之研發成果，完成下列研究項目與對應之成果。

2.1 研發公尺級低成本之可攜式光達室內製圖系統

本團隊於 106 年度，發展基於公開資訊發展快速自動化產製公尺級室內平面圖之技術，補足過去發展之室內移動製圖系統(電動推車式)，無法於空間狹窄或僅有樓梯能夠提供跨樓層交通之場景進行製圖的遺憾。公開資訊，包含公開的建築平面圖、防火逃生圖或一般格局示意圖等等。這類公開資訊可以透過現場拍照或向相關單位索取取得，相當方便。經過本團隊提出的製圖與校正程序，可以將這類不精確的室內圖資升級為公尺級的室內平面圖。於 107 年度，發展低成本可攜式光達製圖系統，減少傳統測繪控制點的需求，提升作業效率。最後目的是希望達到室內移動製圖系統(電動推車式)與基於公開資訊的製圖技術的聯合作業，如此本團隊之室內製圖能力將能涵蓋所有類型不論寬敞或狹窄的室內空間：於寬敞場地使用室內移動製圖系統，因範圍較大，採用電動推車可快速測繪；於狹窄場地則使用公開資訊，因場地較小，推車式系統雖無法運行，但相對的僅需少量控制點即可校正公開資訊圖資，獲得精準的平面圖，若再配合低成本可攜式光達系統，效率可再進一步提升。在 107 年度，本團隊將試做不同酬載之可攜式光達室內製圖系統，期望未來可以搭配在不同場景下使用。

本團隊於 104 年度開始自主發展室內移動製圖技術(楊成中等人，2015)，針對當前相關技術進行文獻及專利蒐集，並設計一移動製圖系統，採組合式方式將系統分為移動平台及酬載，而酬載可與移動平台快速組裝。酬載部分主要可分為定位系統與製圖系統。定位系統可以使用戰術級規格之 IMU 或者採用微機電等級 IMU，搭配 GNSS 系統以銜接室內、外坐標系統一致性，透過特定操作模式或方法維持全區精度一致性。戰術級規格之定位系統主要為提供較好的定位定向成果來提升精度與控制整體品質。而微機電等級定位系統可用於可攜式或者

無人載具來進行圖資更新與產製。而製圖系統部分，利用量測型數位相機進行製圖，可提供精確且大量的興趣點，並同步發展頻繁且快速的更新模式，例如透過公開資訊圖資來產製平面圖，或者使用光達資料配合機器人製圖演算法，都可以快速且有效率的產製公尺及平面圖。而本工作項目旨在創先發展國內室內製圖技術，相較於文獻，大部分研究皆未提出精度依據。本團隊於 105 年度依據實驗結果分析其精度規格，驗證該系統若搭配標準作業程序，可產製公尺級之室內圖資。圖 2.1 為本團隊發展之室內移動製圖平台及酬載外觀。

同時，本案於 105 年度因應大範圍、長時間及安全性作業之目的更新系統，以電動農機具作為移動平台，該平台可電動前進、後退，並於靜止時自動煞車，唯控制方向時需人力介入，平台於作業完後以 12V 直流電充電，載重約 800kg，全負載可行走 30 公里。另外，本案針對硬體於實際作業的安全性及便利性更新，新增一電力控制系統，各儀器皆有一獨立開關及保險絲，並新增時間脈衝的設定，包含：1-10Hz、1-10 秒、輪轉 1-10 圈和手動輸出等方式，對於影像收集更易於整理及符合攝影測量原理，而在安全性方面，除中央支架可摺疊縮小體積便於載送，本案對推車所有硬體設備皆另外增設不鏽鋼外殼及鈍角處理，並採購兩座鋁梯及訂作輪距卡榫，供推車移動至載送車輛軌道，增加安全性。



圖 2.1 室內移動製圖平台

平台所使用之定位定向系統為 iNAV-RQH-10018-iMAR，為導航級雷射陀螺儀之慣性導航系統，該系統已整合慣性量測儀及 GNSS 衛星接收機，根據 104 年度測試，該系統於純慣性模式下，5 分鐘左右之精度，約為 1 公尺以內，可用於室內、外移動製圖作業。在遙測資料收集方面為使用 Ladybug5 環景相機，除可 6 個角度同時進行拍攝，並可進行拼接形成一張全景影像，可大幅提升瀏覽及作業效率。另外，本團隊亦開發相關軟體-PointerMMS，包含系統直接地理定位率定、直接地理定位量測、輸入既有平面圖、控制點、數化影像、儲存觀測量、輸出點位坐標及平面圖等功能，圖 2.2 為軟體介面。

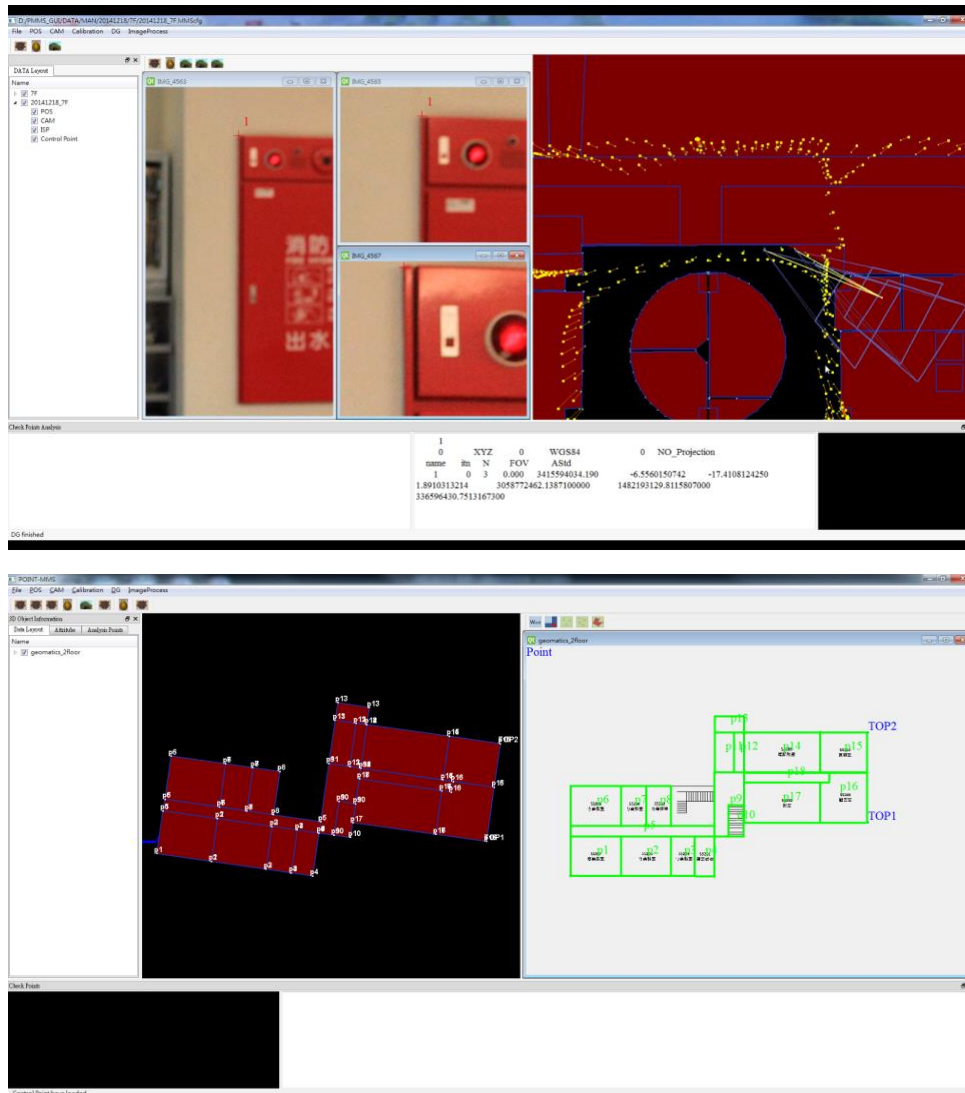


圖 2.2 軟體介面(直接地理定位量測及平面圖數化)

此外本案 105 年度基於臺灣通用電子地圖發展相關的應用。將臺南市海安路地下停車場之成果套疊，如圖 2.3 所示之臺南市海安路地下停車場套疊成果。由於套合過程發現既有成果可能存在坐標不一致問題，故本團隊同步發展一個符合公尺級室內圖資的參考作業程序，俾將室內製圖技術所繪之平面圖，及蒐集到的全景影像進行改正，使得圖資可順利建置及套疊使用，而全景影像亦可直接進行相關的三維直接地理定位量測，並領先 Google 發展具備量測功能的室內街

景系統。透過高精度的導航資訊(位置與姿態)，本案開發之軟體可以透過環景影像，直接量測影像中的興趣點坐標。圖 2.4 為根據既有經驗發展的作業程序及時間草案，既有經驗為團隊執行 104 年度多平台技術工作案，於臺北市市府地下停車場及以往 2-3 次測試場，以及 105 年度工作案於臺南市海安路地下停車場之經驗，其中包含作業規劃、外業時間、內業物件辨識及量測。而此程序將會依後續實驗及實務需求進行調整，期望達到最高作業效益。



圖 2.3 臺南市海安路地下停車場成果套疊

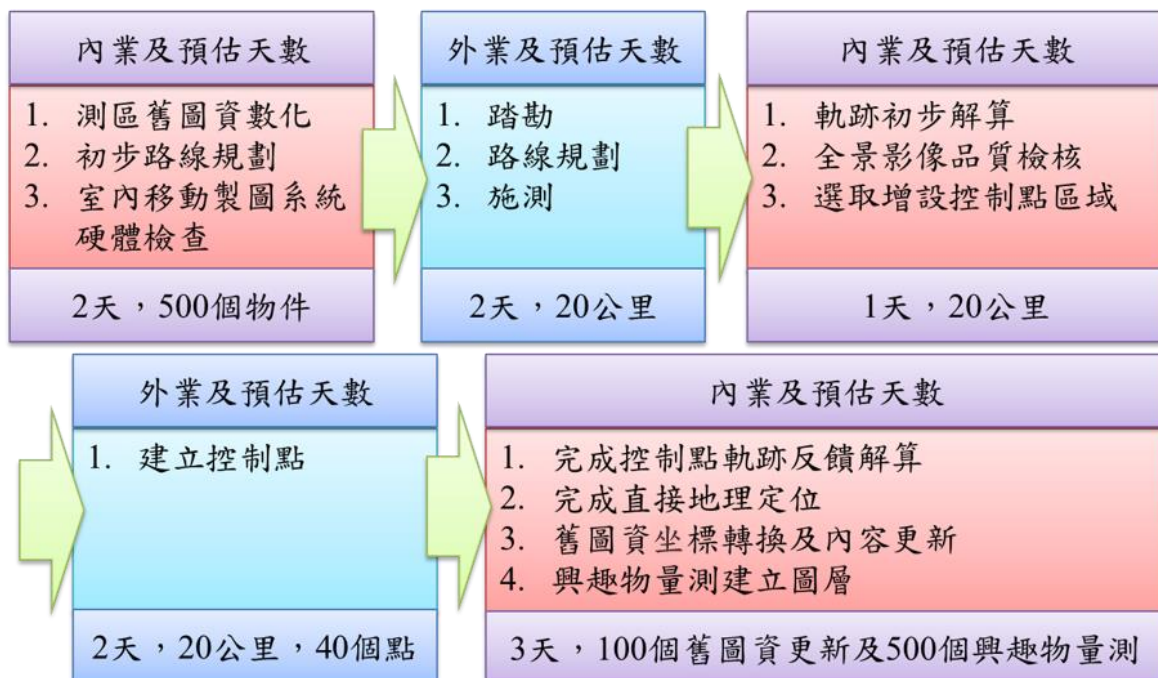


圖 2.4 初估作業程序及所需時間

然而，雖然本團隊基於電動推車所開發之室內移動製圖系統已具備實測能力，但實際應用可能遭遇僅有樓梯提供跨樓層交通的場景，並可能受限場地活動空間，使得載台與設備都有體積的限制，造成該系統無法適用在該場景。此外，

傳統移動測繪系統透過影像產製室內平面圖的方法，仍須耗費人力量測空間特徵點位，若場地較大則相當耗費時間。加上許多場地本身已有圖資，只是比例尺或部分標示不符合現狀，因此若能基於這些既有的公開資訊發展快速自動化產製公尺級室內平面圖之技術，將能有效減少數化量測之工程，加快圖資產製速度。故本團隊於 106 年度完成發展此一技術，利用既有的公開資訊產製室內平面圖，於各個場景中實現與執行精度分析。而今年度發展公尺級低成本之可攜式光達室內製圖系統，因此本年度將由機器人、室內無人機與行人配備搭載小型光達的簡易版可攜式製圖系統，應用於較小型之場域，而大型場地則有推車式系統，透過兩種系統的搭配取得各種場景的測繪訊息，例如圖資的絕對定位與尺度，進一步校正原有之平面圖資或者光達圖資。此法可以達到快速建置具有絕對比例尺與坐標的地圖，在少量控制點輔助的場景下，更可以進一步提升精度，產製公尺級的室內地圖。室內控制測量依據環境採移動測繪系統與傳統測量搭配之模式，可將精度與效率最佳化。

近年來，隨著感測器在成本與重量上都有明顯的降低，系統在酬載的規劃上更見多元，而本團隊將嘗試開發新一代的移動製圖系統可應用於多樣環境與場景中。以往透過 GNSS/INS 整合的移動製圖系統在室內環境下需要依靠特定的施測工法來維持精度，且多需事先探勘，在前製與後製作業上皆會花費許多時間，對於許多使用上有許多限制。而本團隊試做利用機器人製圖中的即時定位與製圖技術，配合光達與圖資資料來產製室內圖資。在高精度的雷射掃描儀輔助下，我們可有效地採集室內特徵物資訊。同步定位與製圖演算法大量使用在機器人自動導航上。然而一般機器人製圖技術著重在相對定位，使機器人能夠避障與自動行走。本團隊透過機器人製圖技術中的網格地圖資訊，利用萃取特徵邊界的方式，將室內環境的邊界與形狀重新描繪並產製二維向量的地圖。透過高精度的室內控制點對二維地圖進行修正，產製一公尺等級精度的平面圖。相關流程圖如圖 2.5 所示，本團隊利用低成本之光達系統，搭載在不同的室內移動平台上，配合機器人製圖中的網格地圖圖資，進一步轉換至向量式的平面圖資料，而後續應用上，為了使整體圖資有一定程度的可靠性與連接室外地圖，本團隊也採用室內控制點的方式修正與轉換圖資到通用的坐標系統下。在沒有已知平面圖的場景下或者部分只需要部分地圖進行更新的情況下，本團隊在今年度發展可攜式光達製圖系統由行人或者室內機器人配備搭載小型光達的簡易版可攜式製圖系統，應用於較小型之場域，而聯合作業其他室內測繪系統，透過不同系統的搭配取得各種場景的測繪訊息，例如圖資的絕對定位與尺度，進一步校正原有之平面圖資。故在具有已知平面圖的場景，此法更新已之地圖。而未知的場景下，更可以達到快速建置具有絕對比例尺與坐標的地圖，在少量控制點輔助的場景下，更可以進一步提升精度，產製公尺級的室內地圖。

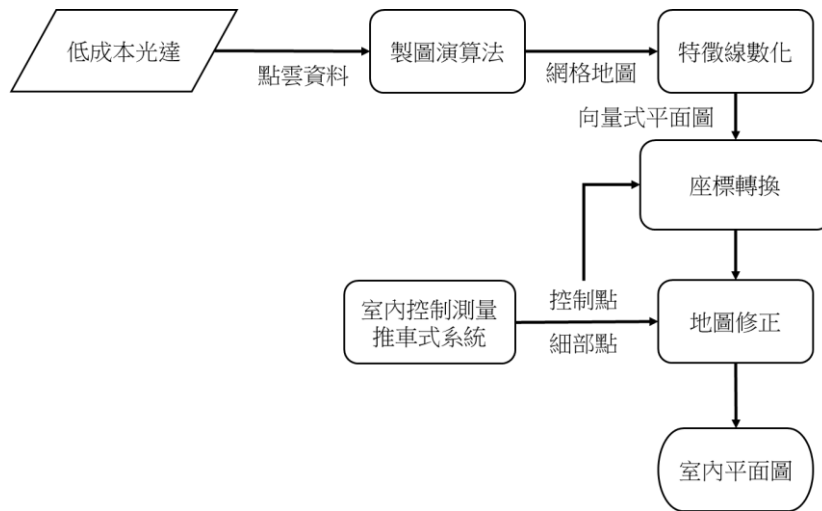
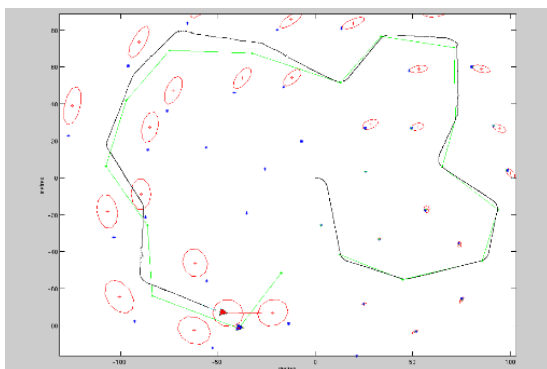


圖 2.5 低成本光達系統平面圖建置流程

因此，本團隊同時也研究相關的機器人製圖技術來輔助定位與產製平面圖的圖資資訊。在機器人製圖技術中，地圖通常以兩種方式表示，一種為利用環境中的明顯地標，來顯示地標點的位置，基於此地標點位置來反饋定位成果與重建環境，如圖 2.6(a)。而另一種地圖表示方式為網格式表示法，如圖 2.6(b)，透過感測器資料，將網格分為兩種屬性，一種為開放，一種遮蔽，透過各個網格之間的屬性，來滿足製圖需求。而為了達到產製平面圖的技術，本案將採用網格表示法地圖，網格式製圖演算法可以產出佔據式網格地圖，如圖 2.6 所示可以清楚分辨室內邊界線與障礙物，同時也展示如同一般二維室內平面圖般的環境，因此，本團隊採用該演算法，可以比較直覺地使用該圖資以利後續數化工作。其中兩種穩定程度較高的演算法為 Gmapping 與 Hector SLAM。Gmapping 利用粒子率波器模型，來建立機器人定位資訊與地圖資訊兩者之間的關係，而 Hector SLAM 則是利用初始的位置資訊，對現有的圖資與感測器資料進行連接，將兩者資料對齊後再反饋定位與姿態等資訊。網格式的定位與製圖技術，利用光達資料產製點雲，在藉由點雲於空間中的位置產製網格地圖，該網格地圖建立於地圖坐標系統中，並藉由各個時刻不同的點雲資料來進行掃描匹配(Scan-Matching)，而如果未來輔以導航濾波器的初始值給定，來使整體成果更加可靠，可提升定位定向的精度。圖 2.7 為演算法流程圖。



(a)



(b)

圖 2.6 製器人製圖演算法地圖展示

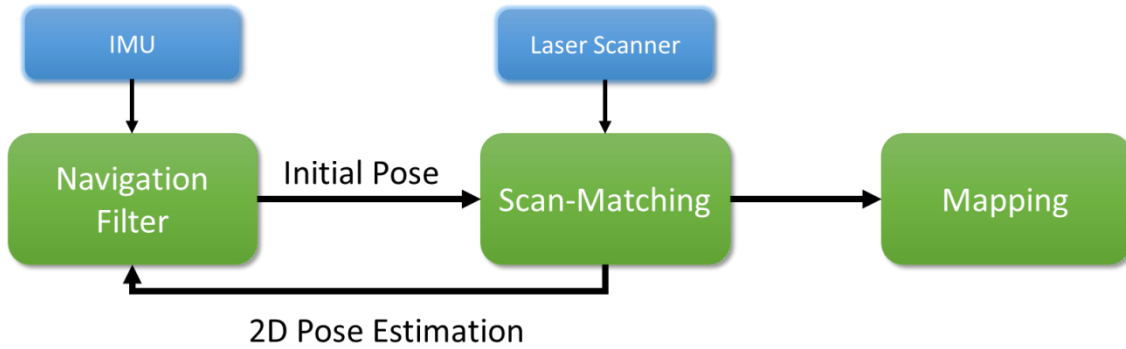


圖 2.7 網格式製圖演算法流程圖

網格地圖為網格式即時定位與製圖技術中表示地圖與周遭環境的重要方式。因此，網格地圖必須可以呈現真實世界的環境面貌。然而，為了減少演算法負擔與記憶體的需求，網格式地圖將空間切成一個一個細小的網格，並且賦予對應的屬性。因此，決定一個網格地圖所需要以下幾個參數，第一個為地圖大小，如圖 2.8 中，我們需要事先決定一個網格地圖全域的大小，是由長或者寬多少個網格所組成，該地圖大小對應到施測區域的範圍。另一方面，則是決定每一個網格的尺寸，再設定大小後，需要針對感測器精確度，來決定一個網格的大小為多少，也就是網格的尺寸，這會影響後續網格式即時定位與製圖演算法中的精確度。最後，我們將依據感測器資料，給予網格屬性，給各個網格除了有坐標之外，還會有一個對應屬性，表示該網格是否可通行或者已經被佔據。

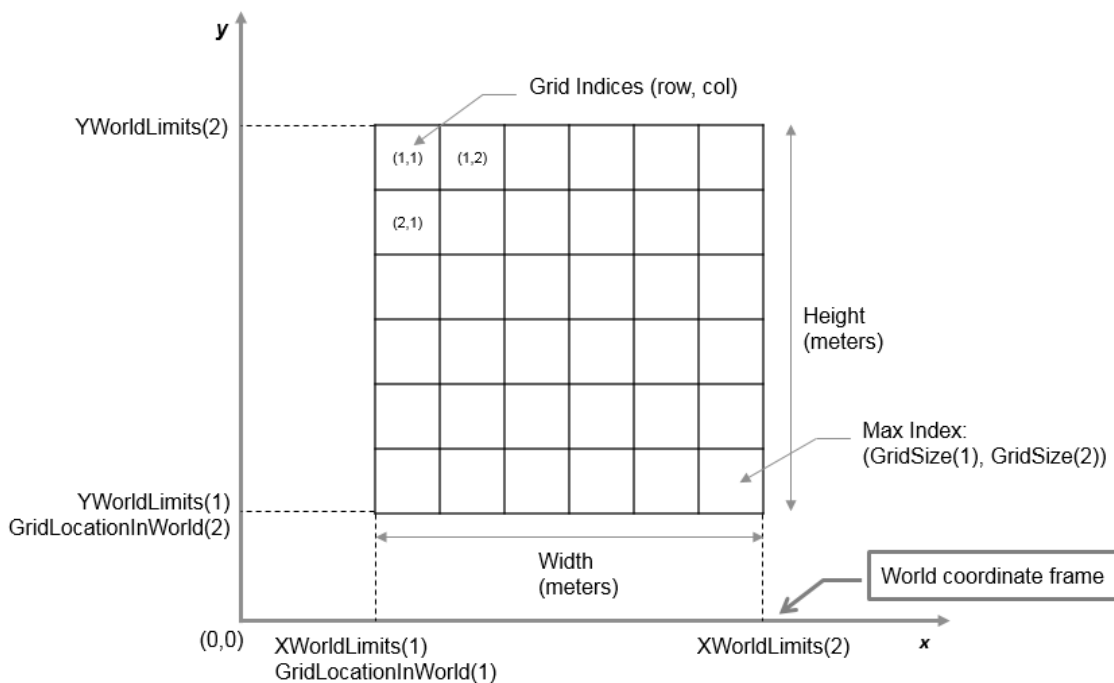


圖 2.8 網格地圖示意 (© 1994-2017 The MathWorks, Inc.)

圖 2.9 為佔據式網格地圖的產製示意圖，在確定機器人位置是在網格的哪一個區域之後，我們則可以依據機器人的位置與航向資訊，進一步確認感測器所觀

測到的點雲資料，是位於網格地圖中的哪個網格內，而點雲坐標的網格則是被佔據。值得一提的是，除了被佔據的點雲網格之外，在點雲與機器人位置上之間的直線上，該區域應該也是空曠可以通視的，因此透過布雷森漢姆直線演算法 (Bresenham line drawing algorithm)，也可以定義出網格地圖中的可通行區域。該演算法是用來描繪由兩點所決定的直線的演算法，它會算出一條線段在 n 維點陣圖上最接近的點。這個演算法只會用到較為快速的整數加法、減法和位元移位，常用於繪製電腦畫面中的直線。是計算機圖形學中最先發展出來的演算法。經過少量的延伸之後，原本用來畫直線的演算法也可用來畫圓。且同樣可用較簡單的算術運算來完成，避免了計算二次方程式或三角函數，或遞歸地分解為較簡單的步驟。

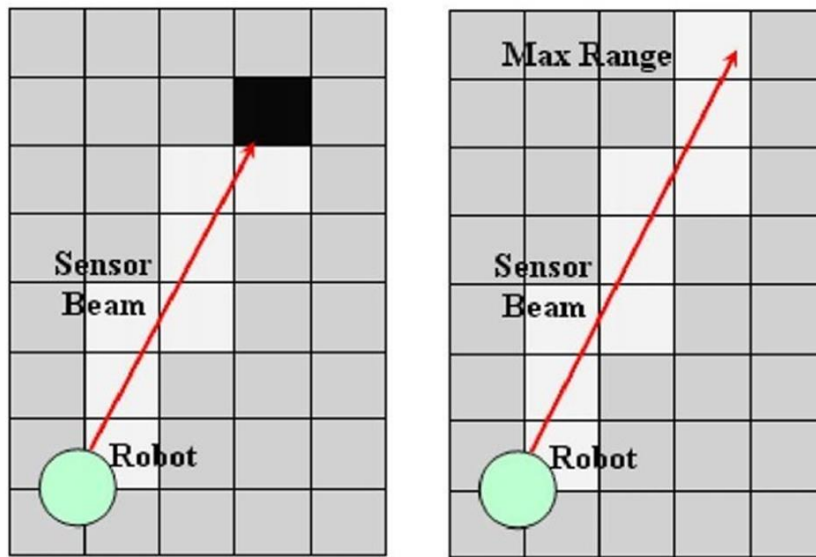


圖 2.9 布雷森漢姆直線演算法示意圖

本案採用 Kohlbrecher 提出的 Hector SLAM 為基礎進行開發。該演算法優勢在於只需利用光達點雲資料，即可以進行地圖匹配，不需要考慮機器人輪速計等等額外感測器資訊。這也代表，該演算法可以應用在各種不一樣的載台上，使得傳統需要由地面機器人的限制解除。基於此演算法開發之室內移動製圖系統會因為行走距離與載台穩定程度精度有所影響。行走距離較短與較穩定的情況下，精確度會越高。

網格式同步定位與製圖透過空間中的網格與光達資料進行整合，在點雲資料上，該點雲的網格視為被佔據，並且賦予一定的機率與屬性(Kohlbrecher, 2011)。透過各個時刻點雲資料中轉換的局部網格地圖，來與全域的網格地圖進行匹配的動作，式(2.1)為演算法中主要的目標方程式。其目標在於利用點雲資料與前時刻的地圖推算出機器人載體位置與航向($\xi = (p_x, p_y, \phi)$)。匹配概念在於前時刻的地圖與當下掃描到的局部地圖其特徵物與特徵線應該部分重疊為一致的物體，如牆壁，走廊等室內不動的特徵。點雲資料的地圖屬性透過轉換函數 $M(s_i(\xi))$ 可得出，而網格地圖中被佔據的格點其屬性為 1，因此重疊部分(被佔據的格點)的

地圖屬性相減應該趨近於 0， $s_i(\xi)$ 為點雲資料的計算函數。為了求出最後的體位置與航向我們將式(2.1)線性化，並且利用最小二乘法，求出未知數增量 $\Delta\xi$ ，並且在匹配過程中迭代計算出最佳成果。

$$\xi^* = \operatorname{argmin} \sum_{i=1}^n [1 - M(s_i(\xi))]^2 \quad (2.1)$$

由於點雲資料中，各個點雲並未準確地落在各個網格點的中心，為了有效提升計算精確度，轉換函數 $M(s_i(\xi))$ 採用雙線性內插，如圖 2.10 所示。透過點雲四周最鄰近的四個網格點，內插地圖屬性值於該點雲上，得出較為精確的地圖屬性值。

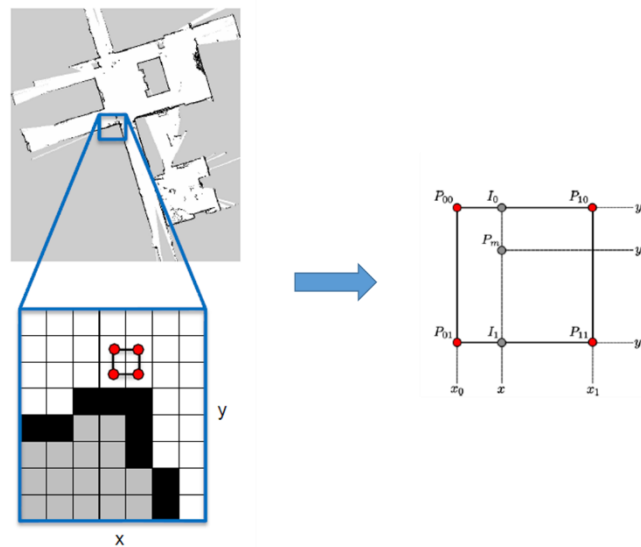


圖 2.10 網格地圖屬性值-雙線性內插示意圖(Kohlbrecher, 2011)

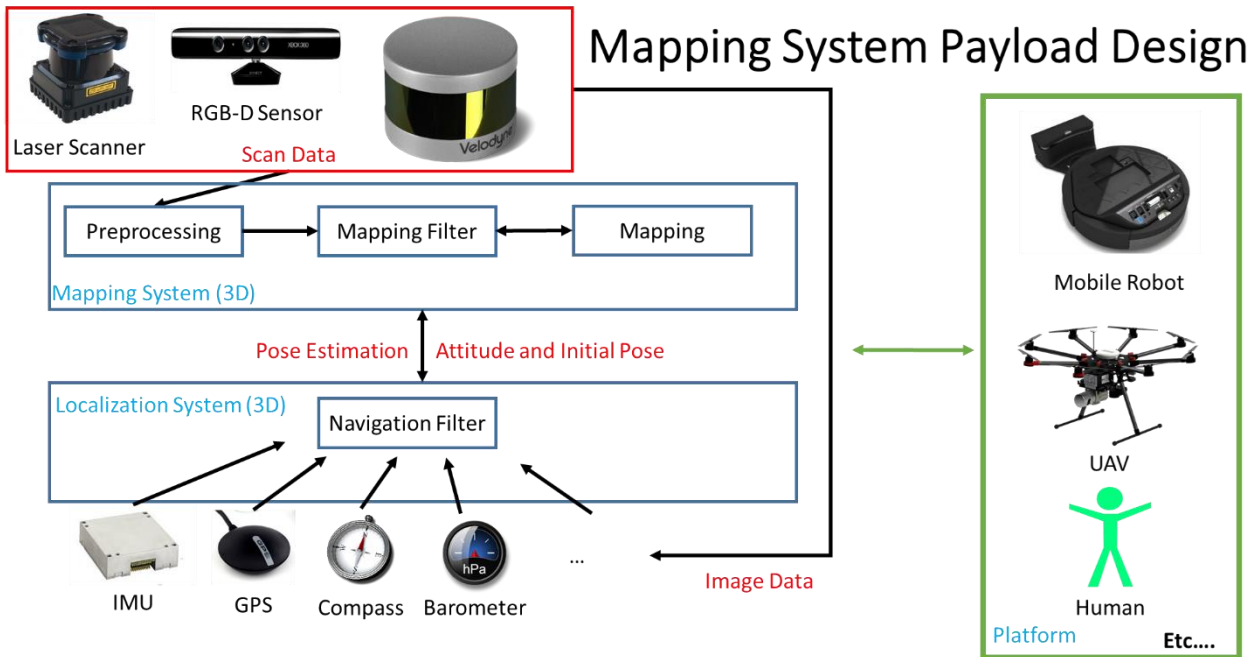


圖 2.11 同步定位與製圖技術整合於移動製圖系統架構

本團隊規劃了初步的未來室內製圖酬載系統藍圖如圖 2.11，主要可分為三個部分，第一部分為定位感測器，以慣性導航為基礎，輔以其他感測器加以進行誤差控制。第二部分為製圖，可利用雷射掃描儀，光達或者深度感測器來進行獲取三維空間的資料，最後一部分則為載台部分，可透過地面機器人，無人載具甚至是以人為載具，因此其規劃的製圖酬載將以低成本與低重量為主來開發相關系統。

本團隊今年度採用日本 HOKUYO 公司所產製的小型雷射掃描儀，型號分別為 UST-10LX 與 UST-20LX。如圖 2.12 所示。掃描範圍如圖 2.13 所示，水平視角達到 270 度。而表 2.1 為雷射掃描儀規格表。



圖 2.12 雷射掃描儀 UST-10LX/20LX

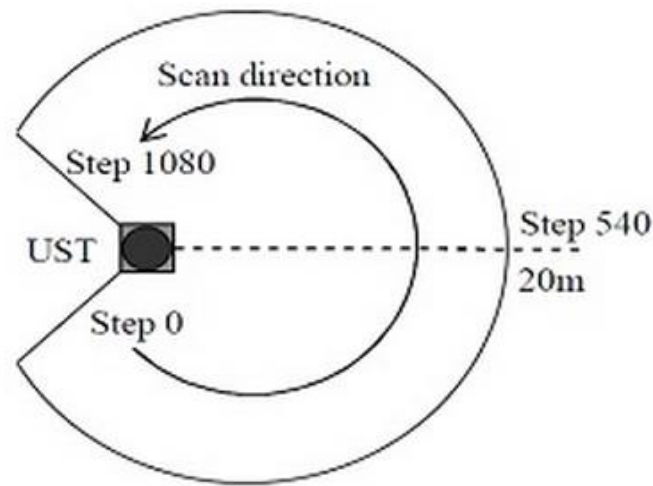


圖 2.13 雷射掃描儀 UST-10LX/20LX 掃瞄範圍

表 2.1 雷射掃描儀規格表

產品名稱	雷射掃描儀	
型號	UST-10LX	UST-20LX
測距範圍	最大測距距離: 30 m	最大測距距離: 60 m
精度	± 40 mm	
中誤差	$\sigma < 30$ mm	
掃描範圍	270°	
掃瞄速度	25 ms	
角度解析度	0.25°	
重量	130 g	
體積 (長*寬*高)	50*50*70mm	

本團隊為了探討室內移動製圖系統的酬載，利用室內移動機器人、室內無人機與人為酬載，設計了四套系統，來進行初步的測試，主要演算法依賴機器人系統(Robot Operating System, ROS)中的開放軟體 Hector SLAM。機器人系統是一個撰寫機器人軟體的平台框架，裡面備有各式工具、資料庫、方法等，提供使用者更多資源，使相關工作得以簡化，有利完成複雜的機器人動作或行為，形成操作機器人的系統，此系統安裝於連接機器人的電腦上，利用此電腦，可以執行的功能包括命令機器人、啟動動態感測器或是雷射掃描器等。

圖 2.14 為機器人與室內無人機為主的製圖酬載，上面搭載有 HOKUYO 低成本雷射掃描儀與控制電腦接收資料。無人機由 Ascending Technologies 公司產製，目前被 Intel 併購。相關規格如表 2.2 所示。

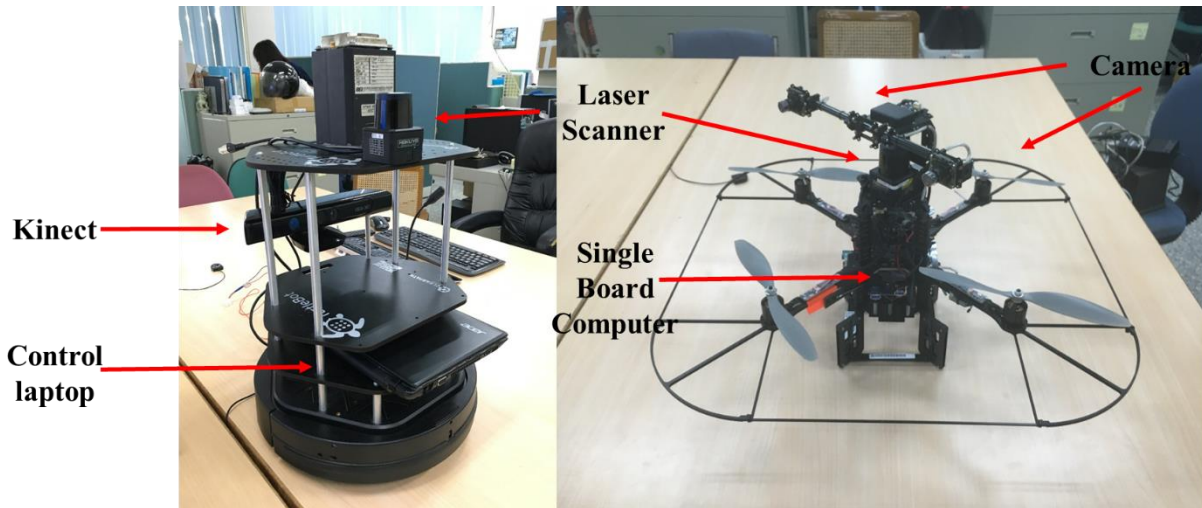


圖 2.14 室內移動製圖系統原型，室內機器人與室內無人機

表 2.2 室內無人機規格表

產品名稱	AscTec Pelican
機型	四旋翼
最大飛行時間	16 min
最大直線飛行速度	16 m/s
最大爬升飛行速度	8 m/s
機身重量	1.65 kg
最大乘載重量	650 g
體積 (長*寬*高)	651×651×188 mm

圖 2.15 為可攜式低成本光達移動製圖的基本酬載，主要包含有控制與接收資料的電腦，搭載有機器人系統解算相關資料與低成本光達。使用這些低重量且低成本的感測器，可提升整體室內移動系統的組合靈活度。因此，本團隊設計了兩套穿戴式的平台，如圖 2.16 所示。第一套為手持式的系統，在使用上非常簡易，使用者可以單人操作，只需要單手操控電腦與手持感測器即可。而胸背式的裝置，可讓使用者多出雙手在室內進行掃描操作，同時一隻手也可以手持控制電腦或者空出雙手，未來也可以將電腦放置於後背包，等到掃描過後在檢視成果。



圖 2.15 可攜式低成本光達移動製圖酬載

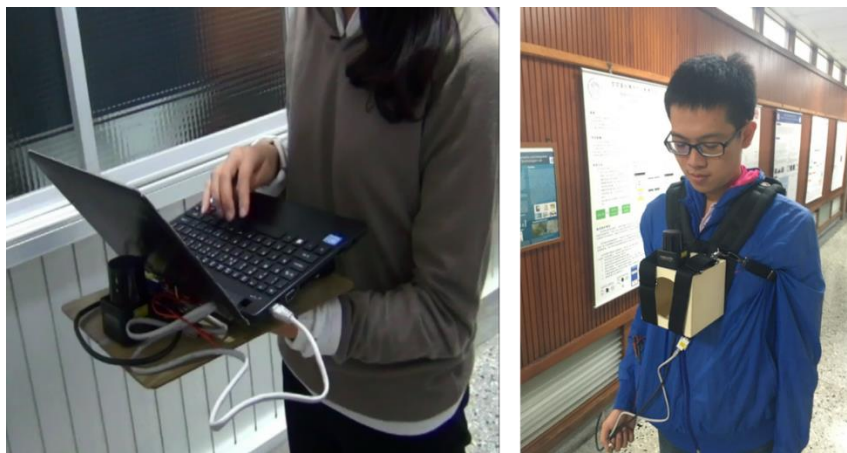
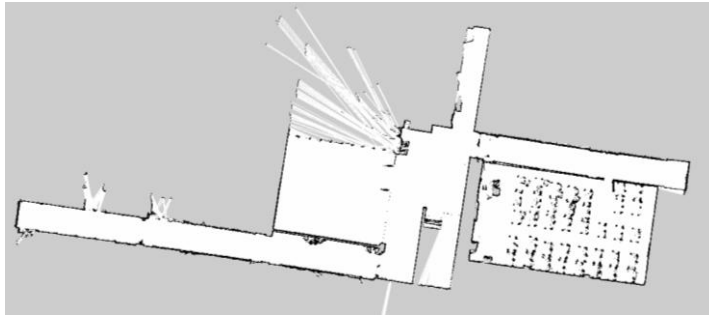


圖 2.16 手持式(左)與胸背式(右)低成本光達移動製圖酬載

本團隊利用成大系館為室內驗證場，期末評估不同製圖酬載之間的差異與精確程度。分別在測量系館 2 樓與 3 樓進行初步測試。利用本團隊設計之酬載，在機器人系統上進行試做。圖 2.17 為手持式與胸背式的試做成果，主要展示的機器人製圖中的網格地圖資料，其空間切割成細小的二維平面網格，透過製圖演算法，逐步更新地圖，同時也輔助定位。然而在圖 2.17 中我們可以看到圖上還是有些許的偏移，主要是因為以人為主的酬載在行為與移動模式上並沒有這麼固定，在製圖過程仍會有地圖匹配錯誤的情況產生。而圖 2.18 則是室內無人機的試做成果，整張圖並沒有明顯的彎曲或偏移產生，可見室內無人機有一定程度的穩定性。



(a)



(b)

圖 2.17 手持式(a)與胸背式(b)低成本光達系統實作

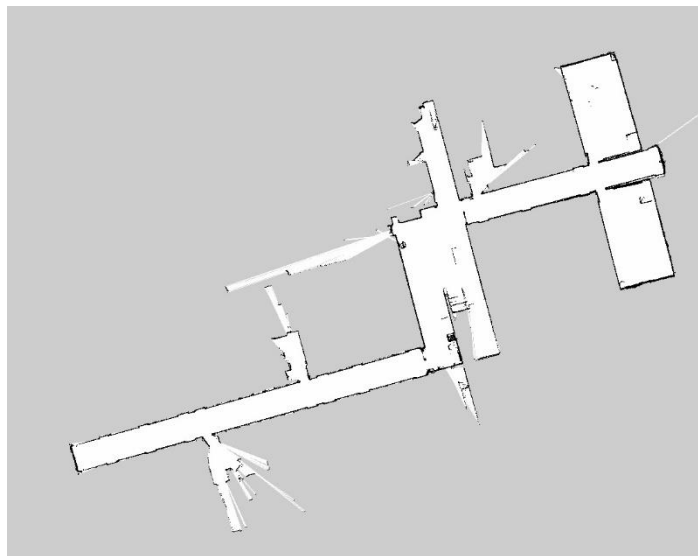


圖 2.18 室內無人機系統實作

圖 2.19 展示室內圖資評估驗證場的概念圖。該驗證場於 105 年度工作案中透過標準程序的控制測量技術所建立，各個控制點可達到公分等級的精度。控制點如粉紅色三角點所示，並且量測室內建築物中的特徵角點如圖 2.19 紅色星點為檢核點與連結點。藉由這些連結點來修正地圖之外，也透過檢核點來評估光達製圖技術中所產製的平面圖精確度。

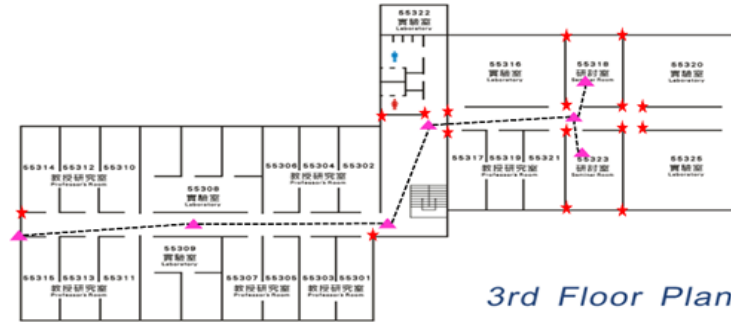
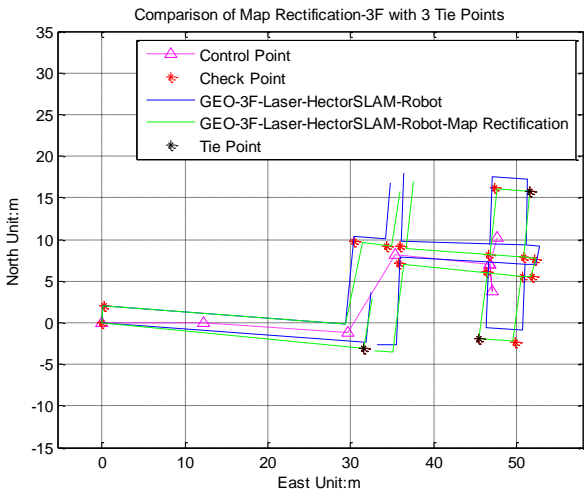
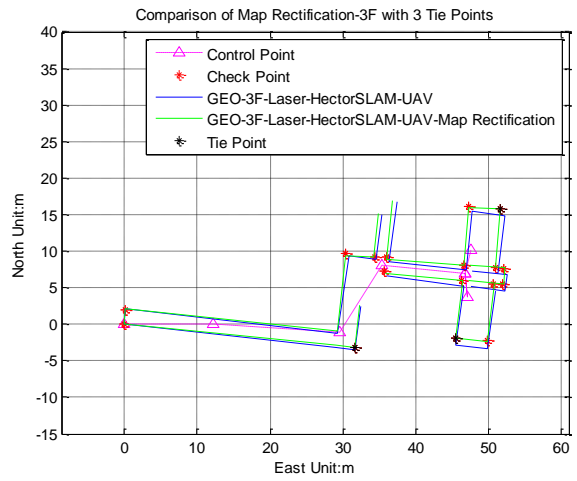


圖 2.19 室內圖資評估驗證場

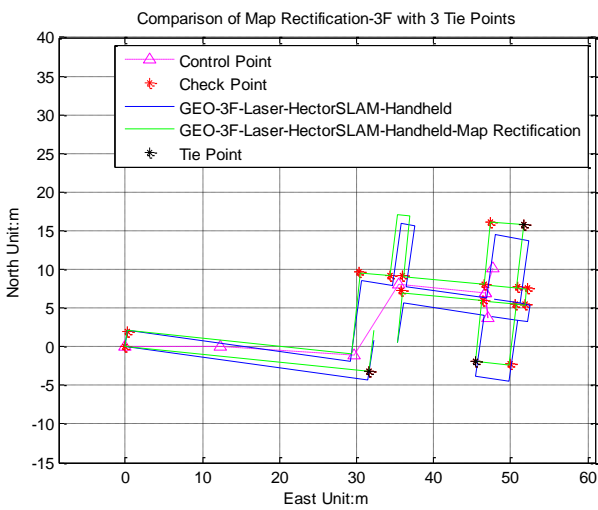
透過四種不同載台的室內移動製圖系統，產出四張平面圖進行後續分析。圖 2.20 依序為機器人、無人機平台、手持式與胸背式成果。本次實驗行走距離大約都在 200 公尺左右。圖中藍色線段為原始平面地圖，而綠色線段則是透過地圖修正後的平面圖。黑色星號為地圖修正所採用的連結點，每個成果皆採用相同的連結點。而紅色星號則是最後進行分析與評估的參考檢核點。從圖 2.20 中我們可以看出，各套系統在沒有經過地圖修正下，成果皆會有尺度變形與方位偏移的現象。成果在左側，也就是出發地可得到較好得控制，但隨著誤差累積的影響，後半部的誤差隨之變大。透過地圖修正演算法的輔助，選取均勻且至少三個的連結點，讓整體區域可以得到較好的誤差控制，進而產製整體精度一致的平面圖以供後續使用。



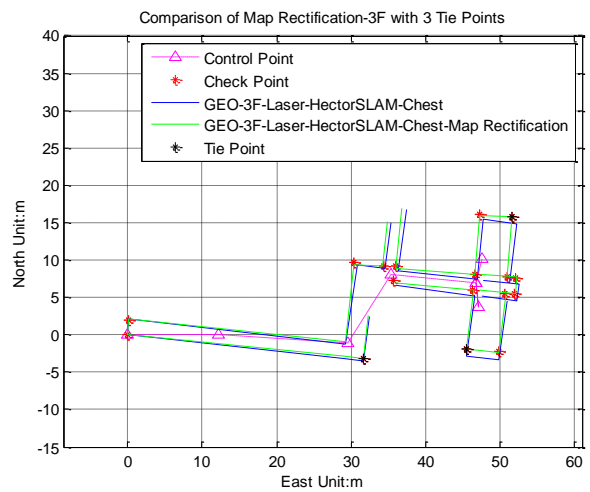
(a)



(b)



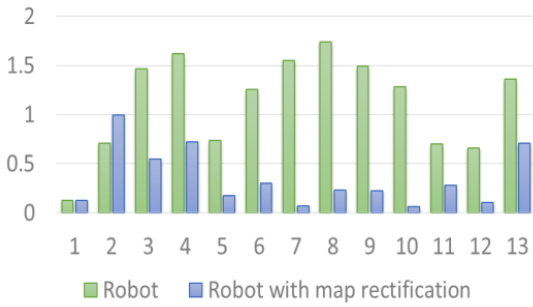
(c)



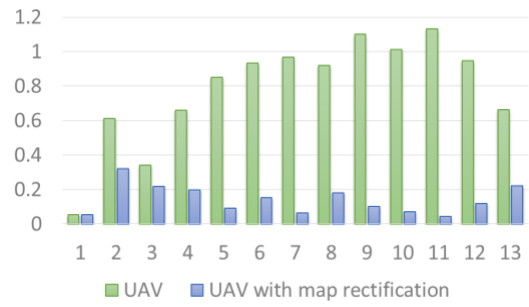
(d)

圖 2.20 室內平面圖產製成果:機器人(a)、無人機平台(b)、手持式(c)與胸背式(d)

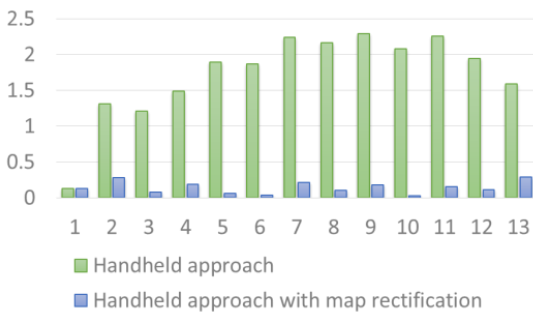
利用高精度測量的方式下，我們得出精度較高的檢核點坐標。這些點用來與產製的平面圖進行比較與分析。圖 2.21 為各個平面圖特徵角點與檢核點的誤差分析長條圖，橫軸為控制點號，縱軸為誤差，單位為公尺。產製的平面中，未經過地圖修正的話，誤差多數達到 1 公尺以上。圖 2.21(a) 機器人成果中，最大誤差會達到 1.7 公尺左右，無人機最大誤差約 1.1 公尺，而可攜式裝置因本身裝置在人身上，會有晃動的不穩定性，具有兩公尺多的最大誤差。在經過地圖修正後，整體誤差可減少到一公尺以下。



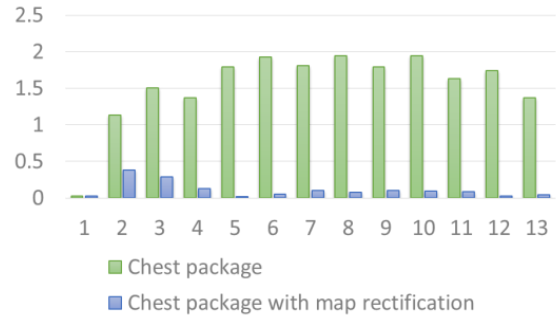
(a)



(b)



(c)



(d)

圖 2.21 室內平面圖誤差分析長條圖:機器人(a)、無人機平台(b)、手持式(c)與胸背式(d)

透過與檢核點的比對下，可得出如表 2.3 的統計分析數值。使用移動載台如機器人與無人機平台整體平均誤差為 1.145 公尺與 0.783 公尺。其中，無人機因避開了許多地面障礙物，使得演算法在匹配的地形特徵的過程中，減少許多誤差，因此無人機的成果較機器人好得許多。使用可攜式系統下，手持式與胸背式平均誤差皆在 1.5 公尺以上，主要原因為載台在人體走動的震盪。從均方根誤差來看，機器人與其他兩個可攜式裝置皆超過一公尺，只有無人機是一公尺以下。以手持式均方根誤差最大，約有 1.8 公尺左右的誤差。而本案提出藉由高精度的控制點來輔助與減少一般機器人製圖演算法的誤差，進而期望提升整體精度達到一公尺以內。經過地圖修正後，四種製圖系統皆可以達到一公尺內的精度，機器人的提升率大約是 64%，而無人機為 81%，可攜式裝置可達到 91% 的提升。

表 2.3 室內平面圖評估統計分析

載台	平均誤差 (單位:公尺)	均方根誤差 (單位:公尺)	提升率(%)
機器人	1.145	1.257	
機器人與地圖修正	0.350	0.451	64%
無人機	0.783	0.838	
無人機與地圖修正	0.141	0.162	81%
手持式	1.730	1.813	
手持式與地圖修正	0.144	0.165	91%
胸背式	1.548	1.621	
胸背式與地圖修正	0.111	0.151	91%

2.2 研發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。在上個年度的計畫中，本團隊完成了室內導引的功能建置，因此基於上個年度的構想，本團隊將室內導引應用於災害人流導引上，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；而現有的室內逃脫規劃是民眾依照緊急逃生出口燈的指示逃生，如同前面所述是靜態、被動的，而我們的規劃是主動由中央控管，對遊客發出逃生路線的指示，能依據災害發生當下狀況即時做動態調整。

2.2.1 災害人流導引定位演算法

- 基本方法 (Baseline Method)

此方法就是直觀地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，我們基於 Gale-Shapley 演算法提出了一個匹配方法，將遊客與出口進行配對。此

方法分為 3 個步驟：

Step1：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。

Step2：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。

Step3：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。

此方法會參考在 t 時段的出口人數情況，並進行 Step1 到 Step3 的步驟，可降低將過多遊客被引導至相同出口所造成之衝突。而以上使用的方法我們將其稱為 Matching with Walking Distance First(M_WDF)策略，因為此方法盡可能將遊客分配至距離他們最近之出口。

2.2.2 實驗結果與分析

我們使用停車位分配之情境來分析此災害人流導引演算法之成果：將遊客分配至出口之情境，可對應到將駕駛分配至停車位之情境。此章節將會針對不同查詢狀態做設定，並以每個使用者平均行駛多少距離以及平均要步行多長的距離才能從停車位到達目的地來評估各個方法。在此我們使用由舊金山市 *SFPark* 系統所提供在平日的路邊停車格空車位資料來進行實驗。我們假設每次的查詢量都會小於剩餘的空車位數，故設定查詢量為 300 名駕駛。此外還有兩個參數可以調整。第一是查詢的時段 *TOD*(預設值為 17 點)；第二是駕駛目的地之集中度；由於我們使用高斯常態分布來模擬駕駛的目的，而高斯常態分佈是由 *mean* 和 *Std* (Standard Deviation)組成的。以圖 2.22 來說明，藍色的 P 符號為停車街區的中心位置，綠色點位是取所有停車街區的重心位置作為 *mean* 值；*Std* 則是設定以 *mean* 值為中心，畫一個圓使其不超過陸地的範圍，此圓的半徑約為 6755 英尺，我們取一半的範圍 3378 英尺為 *Std* 的預設值。只要調整 *Std* 值的大小，便可以控制駕駛目的地之集中度。而我們共使用 4 個方法來進行評估，包括了 *Baseline*、不使用預測模型的 *M_WDF*、使用預測模型的 *M_WDF+C5.0*、以及使用最佳化預測模型的 *M_WDF+OP*，代表 *Optimize* 的預測模型，能夠毫無誤差的預測下個時段各個街區的剩餘車位數，作為驗證使用預測模型能夠讓方法有更佳的表現的一個對照方法。

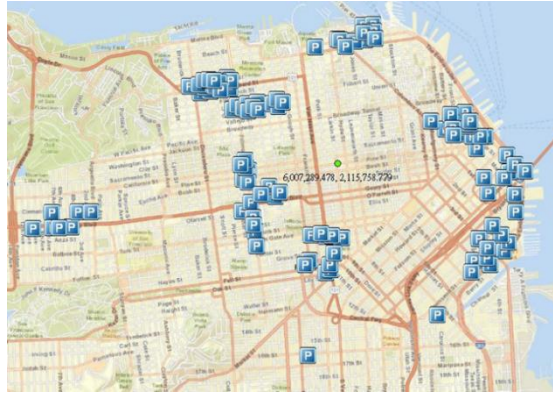
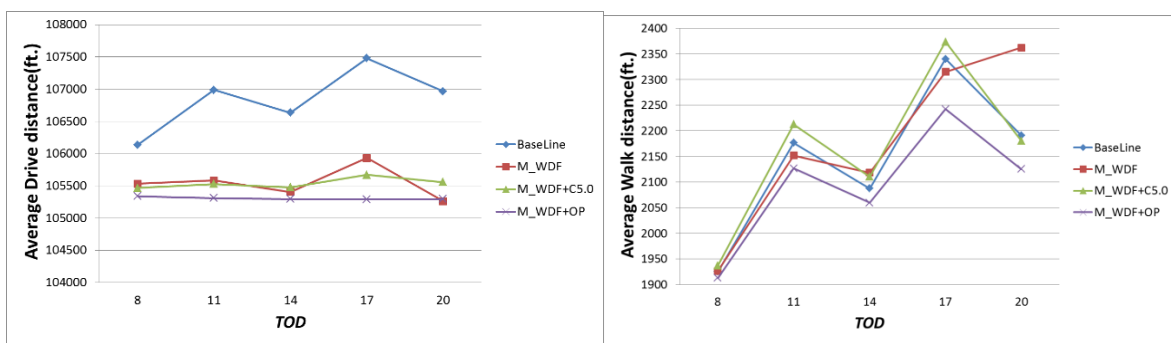


圖 2.22 各停車街區分布範圍

● 不同查詢時段之影響

如圖 2.23(a)所示，我們所提出的方法無論在哪個查詢時段都能夠表現的比 *Baseline* 的方法出色，不管是 *M_WDF* 或 *M_WDF+C5.0* 在這五個查詢 *TOD* 下平均可以降低約 1.2% 的平均行駛距離。而我們可以發現，使用預測模型的 *M_WDF+C5.0* 在 8,11,17 這三個查詢 *TOD* 下，能夠再度降低平均行駛距離；而在 14 和 20 這兩個查詢 *TOD* 下，則是使用 *M_WDF* 就有較的結果了。其原因可以從剩餘空車位的變化量來說明，在 8,11,17 這三個查詢 *TOD* 下，它們的下個時段(9,12,18)的剩餘車位數是小于查詢時段的，故在這樣的情境下，車位使用率的預測就能夠有所發揮；相反地，在 14 和 20 這兩個查詢 *TOD* 下，它們的下個時段(15,21)的剩餘車位數是大於查詢時段的，在此情況下，不使用預測模型就能達到不錯的預測結果了。而觀察圖 2.23(b)，可以發現我們所提出的方法除了 *M_WDF+OP* 並無法在每個查詢 *TOD* 下都勝過 *Baseline*。但是平均差距只有 30 英尺左右，最大的差距也只有 170 英尺(約 50 公尺)，故在可接受範圍內。



(a) (b)
圖 2.23 在不同查詢 TOD 下的 (a)平均行駛距離 (b)平均行走距離

● 不同駕駛目的地集中度之影響

如圖 2.24(a)所示，我們所提出的方法在不同的 *Std* 設定下都可以優於 *Baseline* 方法，尤其當 *Std* 越小時(駕駛目的地越集中時)，我們所提出的方法能夠在平均行駛距離上有更好的表現。平均行駛距離與 *Baseline* 相比，*M_WDF* 在這三種 *Std* 下平均能夠降低 2% 左右，而 *M_WDF+C5.0* 平均能夠降低 2.3% 左

右；在 Std 為 1689 時， M_WDF 與 $M_WDF+C5.0$ 更是分別可以降低 3.8%和 4.5%。這顯示當大家的目的地越集中時，使用目前常使用的 *Baseline* 方法會造成多人前去同一個空車位，發生多次衝突，故需要花費更多行駛距離才能讓所有駕駛都找到車位。而圖 2.24(b)中，當 Std 越小時，每個方法在平均行走距離上都有較大的上升，這是由於在有限的車位下，當所有人的目的地集中程度較高時，就勢必會有人必須停在離目的地較遠的車位，故平均行走距離會有明顯的上升趨勢。而在各方法間的優劣上， M_WDF 與 $M_WDF+C5.0$ 無法在每個情境下都有優於 *Baseline* 的表現，但是最大的差距也僅有 60 英尺左右(約 18 公尺)，在可接受的範圍內。

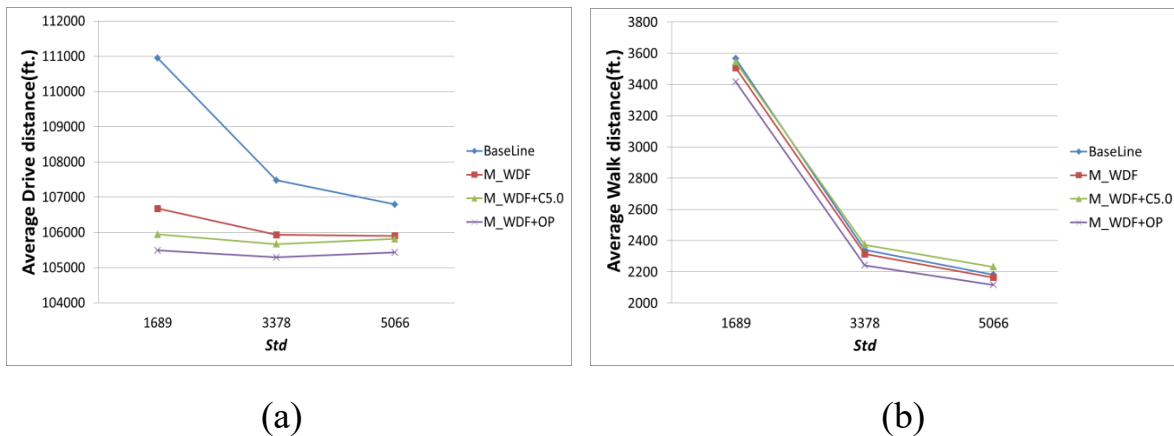


圖 2.24 在不同 Std 下的 (a)平均行駛距離 (b)平均行走距離

2.3 深度類神經網路增強室內外定位與製圖之整合方案

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之類神經網路，其已可預測分類影像中物件位置與屬性精度，並已大幅提升精度之百分之九十以上，本年度分析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，並將探討偵測之特徵點其影像紋理整合進光達室內製圖系統。在影像識別領域中類神經網路迅速發展，卷積神經網路(Convolution Neural Network, CNN)、人工神經網路(Artificial Neural Networks, ANN)、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，Alex 等人在 2016 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，輸入為 224x224 的彩色圖像並且推估相機相對於場景的姿態與位置。該法之精度與其他相關論文(例如 SCoRe Forest)相比雖不到最好，但是對於嚴峻環境的表現上，其他論文之精度誤差會上升許多，PoseNet 之精度則相對穩定，甚至比其他論文較為好一些。類神

經網路會輸出一個向量，包含位置以及方向，表示如下：

$$p = [x, q] \tag{2.2}$$

其中 p 為姿態向量， x 為 3D 相機位置， q 為四元數，其中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。

Posenet 卷積神經網路的架構參考一個名為 GoogLeNet 之深度神經網路，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 filter 來達到更好更有用的特徵值。基礎之 inception modules 為圖 2.25 所示：

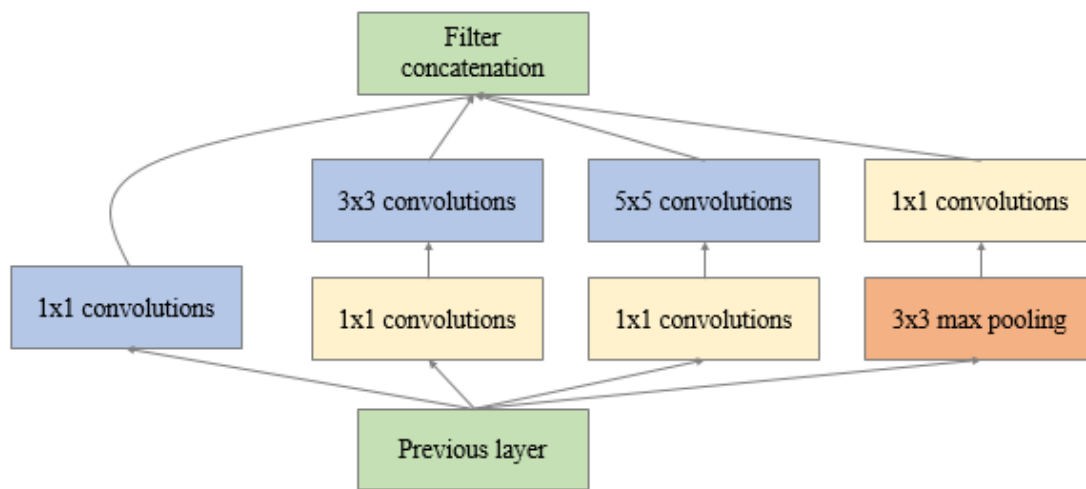


圖 2.25 Inception Modules 架構圖

使用 3 種不同尺寸的卷積 convolutions 1x1,3x3,5x5 來萃取不同尺度的特徵值，以及 1 種最大池化 max pooling 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，會先針對圖像縮放至 455x256 像素，然後再將縮放後的圖像裁切成 224x224 像素用作輸入值。

為了回歸相機姿態，論文提到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，此損失函數(Loss Function)如下所示：

$$\text{loss}(I) = \|\hat{x} - x\|_2 + \beta \left\| \hat{q} - \frac{q}{\|q\|} \right\|_2 \quad (2.3)$$

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。

Facebook AI 研究院於深度神經網路框架 Caffe2 上開發一種名為 Detectron 的軟體系統，用來執行物體偵測演算法，包含 Faster R-CNN、Mask R-CNN 等網路。根據類神經網之預測，將可在三個方面點上對本案提供貢獻，第一為可有效移除製圖中不屬固定圖資上之物件（行人、貓狗等等）；第二為透過坐標轉換進一步依據所偵測之物體輪廓線將 RGB 二維圖像整合至 3D 光達點雲，以增加圖之表達之多樣性；第三為系統也可將其預測物體屬性機率值建檔，增強使用者檢核其自動偵測物體之正確機率值以增強對錯誤的可判別性。Detectron 最初的版本由 R-CNN 開始，經由運行過程上的一些變動，而後發表 Fast R-CNN、Faster R-CNN、Mask R-CNN。Detectron 系統之類神經網路演進過程如圖 2.26 所示：



圖 2.26 Detectron 系統之類神經網路演進過程

以下說明各個類神經網路在演進過程中，在標示特徵物體時，運行做法與結果的差異：

R-CNN 是初始先針對整張圖像產生多個候選區域，最後保留最多 2000 個最佳候選區域，並將每個候選區域輸入到類神經網路進行特徵擷取（如圖 2.27 所示）。由於在訓練過程中需要花費大量執行時間。而候選區域中有許多區域其實都是重疊的，於是後來的 Fast R-CNN 加入 RoIPooling，一次算出整張圖像的特徵值，再對應候選區域的實際位置，取出各自區域的特徵值（如圖 2.28 所示），此方法簡化了訓練過程也節省了運算時間。

R-CNN: Regions with CNN features

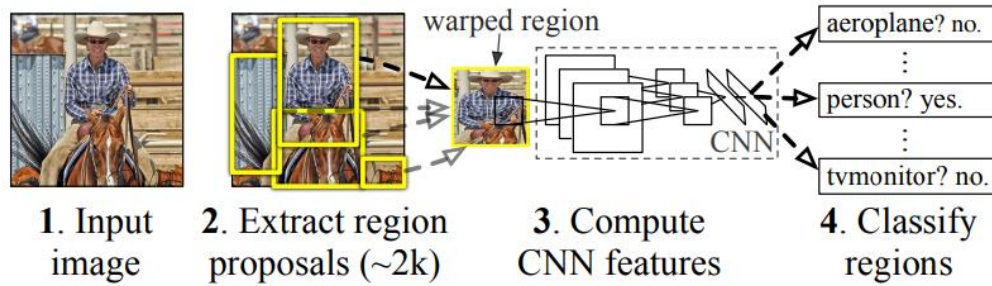


圖 2.27 R-CNN 執行流程

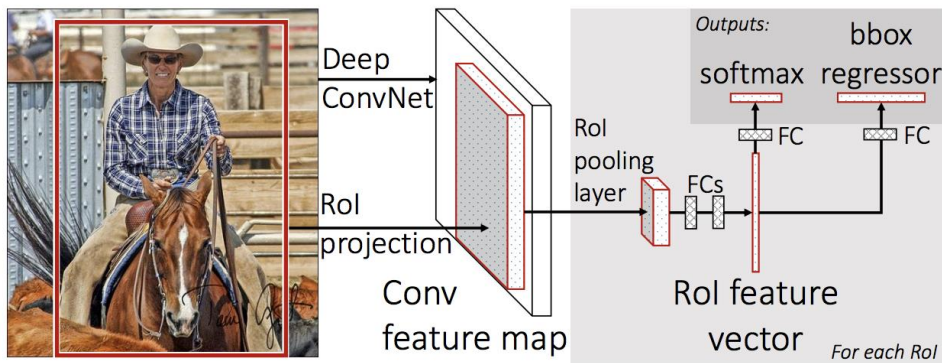


圖 2.28 Fast R-CNN 使用 RoIPooling 共用特徵值

由於類神經網路在初始階段會針對整個圖像產生多個候選區域，而此階段會花費大量時間。因此為了再縮短運算時間，Faster R-CNN 的做法不再是對整張圖像產生多個候選區域，最後保留最佳候選區域的方式，而是增加一層類神經網路 Region Proposal Network 來有效的產生候選區域，此網路的原理是直接將類神經網路所輸出的特徵圖做為輸入，從中選出邊框，並輸出邊框及邊框包含一個物體的機率，再透過與 Fast R-CNN 提到的 RoIPooling，對應候選區域的實際位置，對每個候選區域進行分類（如圖 2.29 所示）。

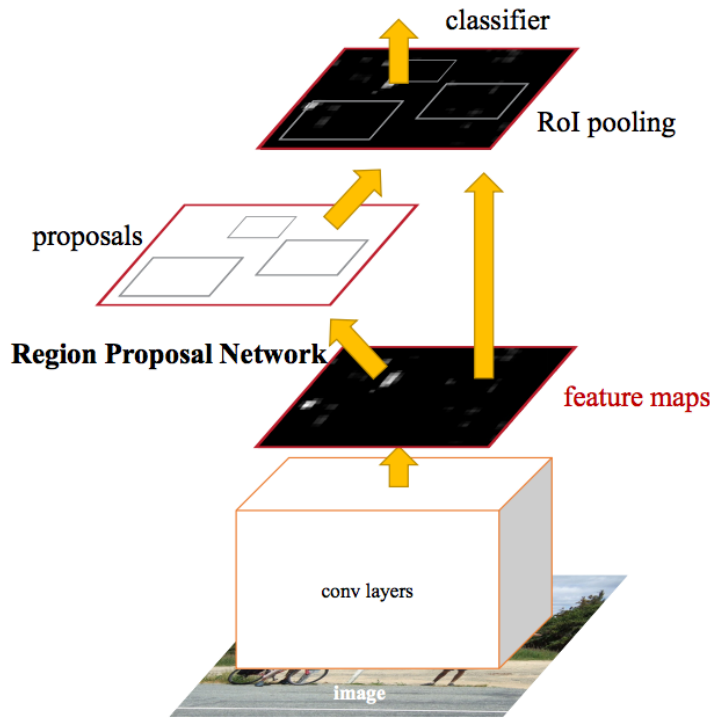


圖 2.29 Faster R-CNN 執行流程

前幾個類神經網路的做法都是框出物體的外圍，大多都是方形外框，而 Mask R-CNN 則可以做到接近像素等級的遮罩（如圖 2.30 所示），其做法上的差異是：RoIPooling 在處理數值時使用的是最近插值法，其輸出的像素值為距離最近的像素值，這樣產生出的遮罩會有偏移的現象，得到的區域尺寸也不為整數，而取整數後的遮罩無法達到像素等級，於是 Mask R-CNN 將 RoIPooling 改為使用雙線性插值法，也就是在兩個方向分別進行一次線性插植，輸出的像素值為四周像素強度的加權平均，像素值不會不連續，使遮罩位置更加精準，並將此方法另稱為 RoIAlign（如圖 2.31 所示）。

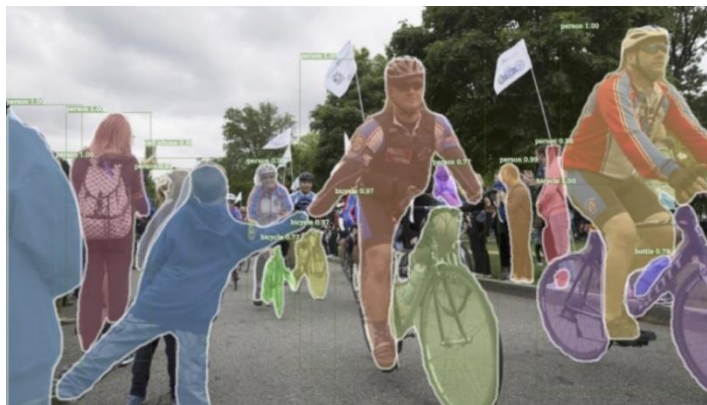


圖 2.30 Mask R-CNN 屬性偵測

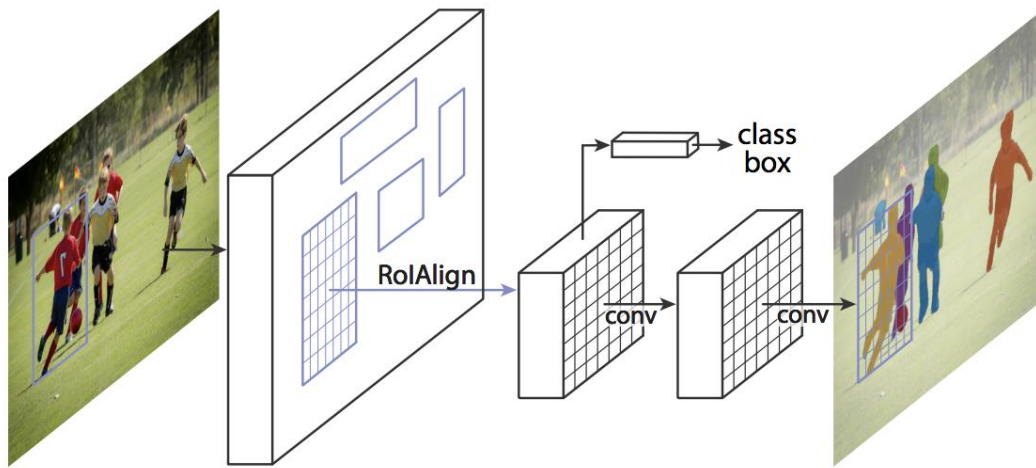


圖 2.31 RoIAlign 使用雙線性插值法使遮罩位置更加精準

同步定位和映射 (SLAM) 在過去二十年中一直是電腦視覺和機器人領域的熱門研究課題，並且近年來引起了各科技公司的關注。SLAM 技術構建了未知環境的地圖，並將傳感器本地化在地圖中，重點關注在即時操作。在不同的傳感器模型中，相機的優勢在於便宜並且提供豐富的环境信息，允許穩健和準確的位置識別。因此，可視化 SLAM 之主要傳感器決定為相機。另外，位置識別是 SLAM 系統關閉循環的關鍵模塊（即，檢測傳感器何時返回到映射區域，並且校正探測中的累積誤差），並且在跟踪失敗後由於遮擋或侵略性運動而重新定位相機，或在系統重新初始化。

可以通過使用單眼相機來執行可視化 SLAM，這是最便宜和最小的傳感器設置。然而，僅從一個相機無法觀察到深度，因此地圖的比例和估計的軌跡是未知的。另外，系統引導因為不能從第一幀進行三角測量，所以需要多視圖或過濾器技術來產生初始映射。最後同樣重要的一點，單眼 SLAM 如果在研究中進行純旋轉，可能會受到尺度漂移的影響而導致失敗。但是若使用立體聲或 RGB-D 相機之傳感器技術，所有這些問題都將得到了解決，並提供了最可靠的可視化 SLAM 解決方案。

ORB-SLAM (ORB 來自 Oriented fast and Rotated BRIEF 特徵點縮寫) 技術系統包含三個並行運行的線程：跟踪，局部映射和循環關閉，如圖 2.32 所示。

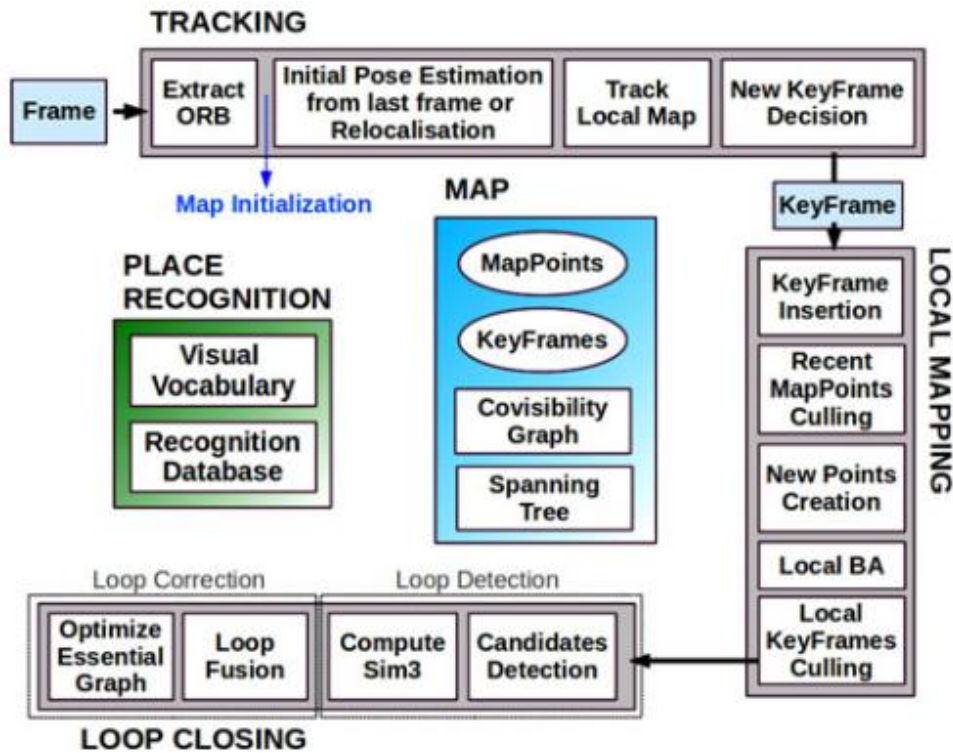


圖 2.32 ORB-SLAM 主要流程

跟踪負責每幀定位相機並決定何時插入新的關鍵幀。首先，它執行與前一幀的初始特徵匹配，並使用僅運動的束調整 (BA) 來優化姿態。如果跟踪丢失 (例如，由於遮擋或突然移動)，則地點識別模塊用於執行全局重定位。一旦存在對相機姿態和特徵匹配之初始估計，則使用由系統維護的關鍵幀之共視圖 (Covisibility Graph) 來檢索局部可視圖。然後，通過重投影搜索與局部地圖點的匹配，並且使用所有匹配再次優化相機姿勢。最後，跟踪線程決定是否插入新的關鍵幀。

局部映射處理新的關鍵幀並執行局部 BA 以在相機姿態的周圍實現最佳重建。在共視圖 (Covisibility Graph) 上的連接關鍵幀中搜索新關鍵幀裡未匹配 ORB 之新對應關係，並進行三角測量產生新的地圖點。在創建之後的某個時間，基於在跟踪期間收集的信息，應用緊急點剔除策略 (Exigent Point Culling Policy) 僅保留高質量點。局部映射還負責剔除冗餘關鍵幀。

循環關閉會搜索每個新關鍵幀的循環。如果檢測到循環，則計算相似性變換，通知關於循環中累積的漂移。然後，循環的兩側對齊並且複製重複點。最後，執行相似性約束進行相機姿態圖優化以實現全局一致性。主要的新穎性是對必要圖 (Essential Graph) 進行優化。

ORB-SLAM 的主要貢獻如下：

1. 對所有任務使用相同的特徵：跟踪，映射，重定位和循環關閉。這使得系統更高效，簡單和可靠。使用 ORB 特徵可以在沒有 GPU 的情況下實現即時性

能，為視點和照明的變化提供良好的不變性。

2. 在大型環境中即時操作。通過使用共視圖(Covisibility Graph)，跟踪和映射任務著重在局部共視區域，與全局地圖大小無關。
3. 即時循環關閉任務是基於被稱為必要圖(Essential Graph)的姿態圖之優化。它是由系統維護的生成樹(Spanning Tree)，循環關閉鏈接和共視圖(Covisibility Graph)的強邊構建的。生成樹為共視圖(Covisibility Graph)之子集，保留所有的節點(即關鍵幀)。
4. 即時相機重定位具有顯著的視點和光照不變性，它允許在跟踪丟失中再次恢復功能，並且還增強了地圖重新使用之功能。
5. 基於模型選擇的新自動且穩健的初始化過程，其允許創建平面和非平面場景的初始映射。
6. 適用於地圖點和關鍵幀選擇的生存方法，其在大量生成之條件是慷慨的，但在剔除條件中是非常嚴峻的。此策略可提高跟踪穩健性並增強終身操作，因為冗餘關鍵幀都將被丟棄。

由於相機與光達裝置在移動製圖系統中並非分享同一坐標系與旋轉角，故本團隊預計使用 ORB-SLAM 技術已期望低精度可攜式視覺製圖可在以建立之高精度製圖成果上達到提高定期之更新，該技術可直接對基於類神經所使用之同一組影像資料進行特徵值萃取以達到製圖點雲，其成果如圖 2.33。圖 2.33 中之藍色軌跡為利用特徵點推算之相機移動軌跡，紅色點為所使用之特徵點，這種算法意味著每張影像上透過如 Mask R-Cnn 等深度類神經網路所得知物體輪廓都可直反投影回紅色點雲，其成果預期可獨立產生低精度製圖需求。進階者，可利用高精度光達點雲使低精度 ORB-SLAM 將 Mask R-CNN 預測物件輪廓與屬性整合至高精度點雲資料。

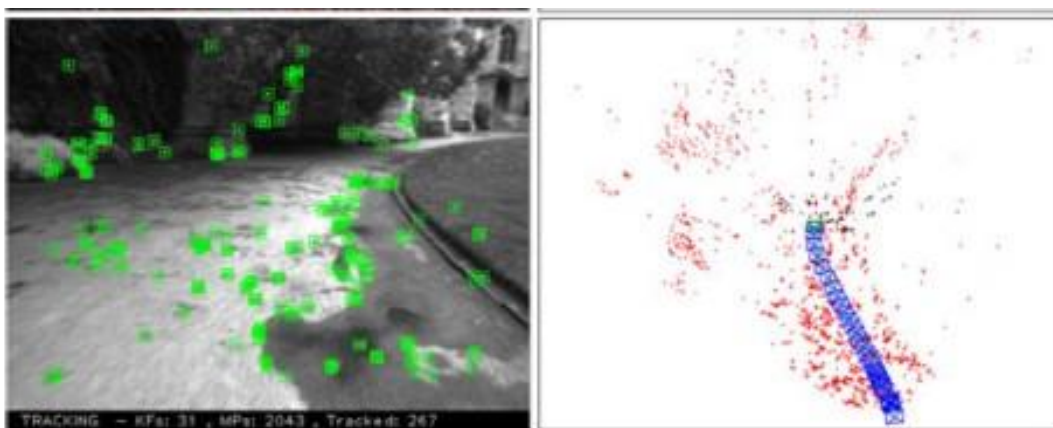


圖 2.33 ORB-SLAM 部分展示

今年度本團隊使用 Posenet 之類神經網路測試室內環境的精度，室內環境選用兩處場域進行實驗，一處為國立成功大學成功校區材料系館之地下停車場(如

圖 2.34 所示)，另一處為適地性服務試辦區域之故宮南院展區(如圖 2.35 所示)。實際流程架構圖如圖 2.36 所示，本團隊利用室內移動製圖平台收集實驗場域相關環境之數據庫，而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，使用 Posenet 之類神經網路訓練模型並且加以測試姿態誤差精度。本實驗硬體設備使用單顆 GeForce GTX 1080 Ti 之 GPU 顯示卡加快類神經網路運行訓練與測試，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。物體空間大小與距離精度在本案中不探討絕對精度，僅探討物體屬性正確率，其初步成果檢測方式為人工。

地下停車場目前實驗部分訓練樣本 40,020 張影像，測試樣本 95,220 張影像，其實驗結果位置精度約 3 公尺，方向精度約 6 度。而適地性服務試辦區域之故宮南院展區訓練樣本 36,660 張影像，測試樣本 9,204 張影像，其實驗結果位置精度約 2.5 公尺，方向精度約 5 度。

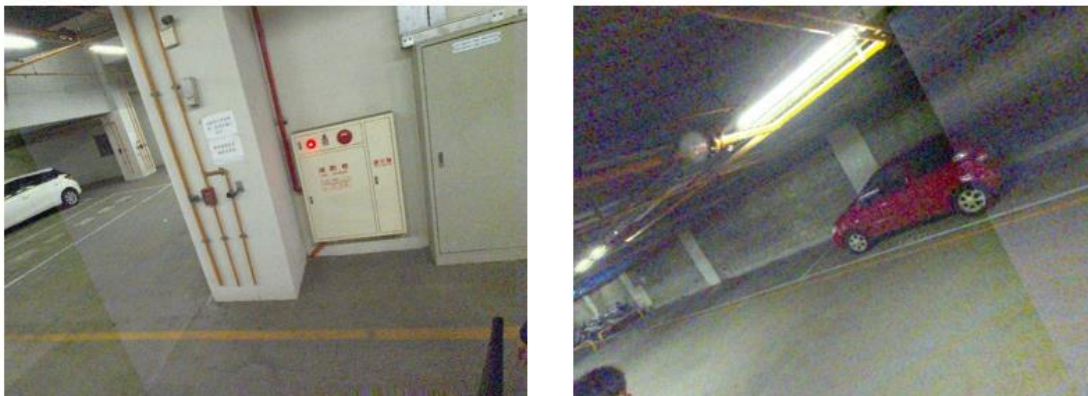


圖 2.34 地下停車場之模擬手機影像

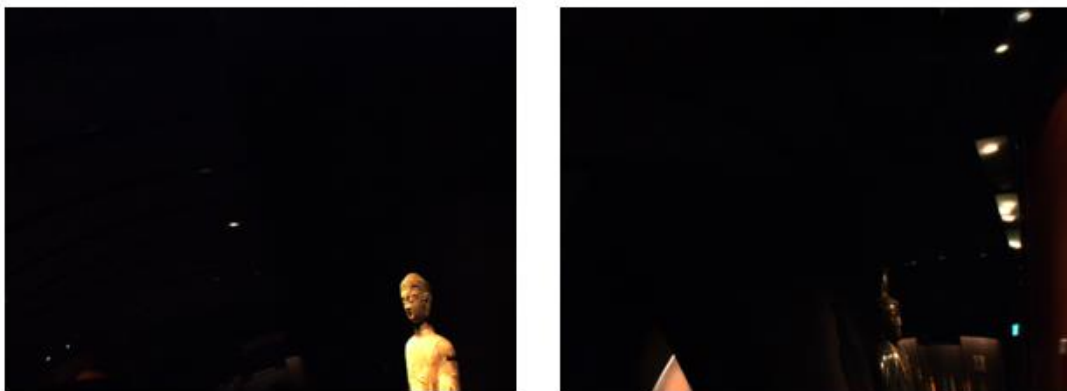


圖 2.35 故宮南院之模擬手機影像

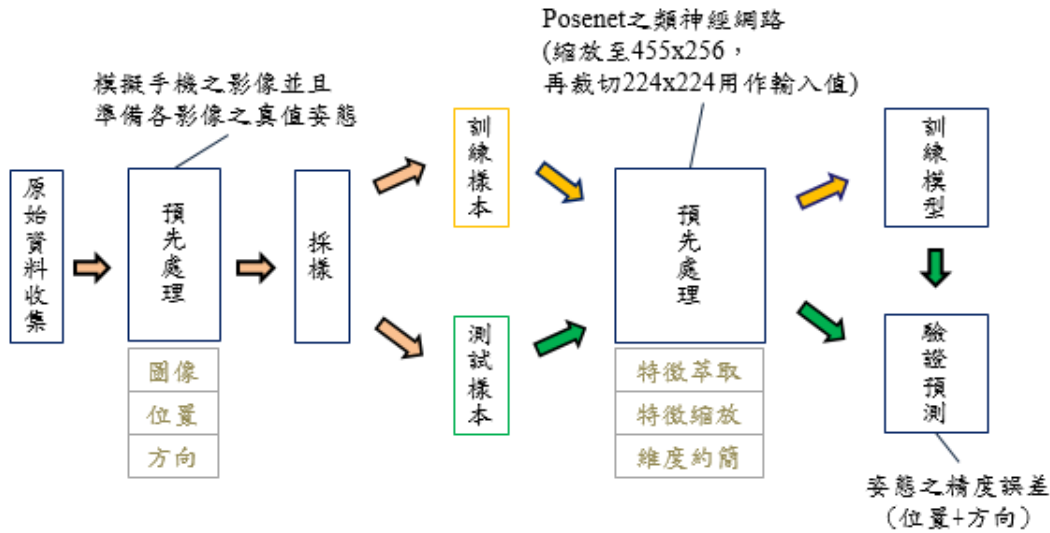


圖 2.36 作業流程架構圖

2.4 研發藍芽(低功耗)差分演算法，提升交會定位之精準度

由於RSSI對環境的變化相當敏感，因此若使用訊號紋比對法(Fingerprinting)的方式會需要持續更新訊號紋資料庫才能維持其定位精度，維護成本相對大，故本案所提出之低功耗藍牙差分演算法以三邊交會(Trilateration)作為主要定位解算方式，其優勢為不需要花費太多時間及人力成本，也無需過多的前置率定作業，更重要的是，三邊交會可即時反應出對環境的影響，因此可透過差分的方式降低環境因子所造成之訊號衰減誤差。在差分演算法中，有兩種不同功用的接收機，分別作為參考站及接收站，參考站可計算出因環境所造成之誤差改正量，並透過補償來提升範圍內接收站之定位精度，此概念發想自差分衛星定位系統(Differential Global Navigation Satellite System, DGNSS)，以相對定位的方式消除環境中相似的干擾及影響，以獲得較佳之觀測量做三邊交會定位使用，經過改正後之觀測量可使定位成果更接近於真實坐標。

於低功耗藍牙差分演算法中，本團隊使用 Beacon 所發送之 RSSI 進行一系列的定位程序，如圖 2.37 所示，首先 RSSI 將進行低通濾波處理，以降低原始 RSSI 之訊號震盪，而後藉由距離轉換模型將 RSSI 轉換為距離，同時提出距離差分法修正距離資訊，進而採用三邊交會演算法推求未知點位位置，詳細的程序內容將依序於後續段落描述。

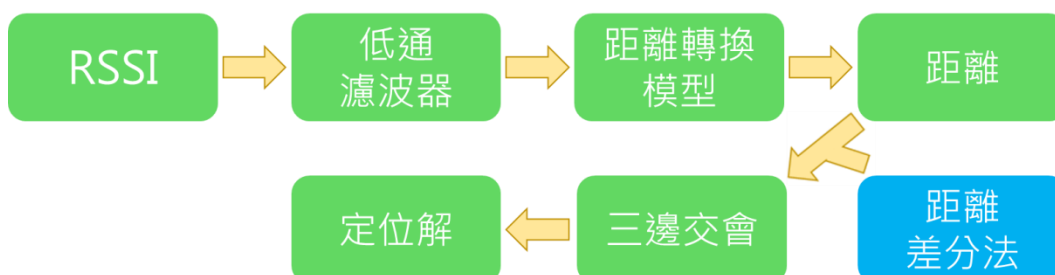


圖 2.37 低功耗藍牙差分改正程序

低通濾波器

無線訊號在傳輸過程中，可能會受到多路徑效應或是室內環境擺設的影響，導致訊號震盪與不穩定，在同一距離下行動裝置所獲得之 RSSI 變化可能相當劇烈，因此本案採用 Jung 等人(2013)所提出的低通濾波器(Low-Pass Filter, LPF)，處理高頻訊號並使成果平滑化，如式(2.4)所示，取得更穩定之 RSSI 後，便可提升轉換距離之精度。

$$F_n = sF_{n-1} + (1 - s)R_n \quad (2.4)$$

其中 F_n 為第 n 筆經由低通濾波處理過之 RSSI 值； F_{n-1} 為前一筆經由低通濾波處理過之 RSSI 值； R_n 為第 n 筆接收之 RSSI 值； s 為低通濾波參數，值介於 0 至 1 之間，本案將 s 設置為 0.9，因距離資訊相對於 RSSI 所受到的雜訊來說是相對低頻，因此設較高之低通濾波參數，以大幅降低 RSSI 值之震盪。圖 2.38 顯示使用 LPF 後 RSSI 震盪的變化。

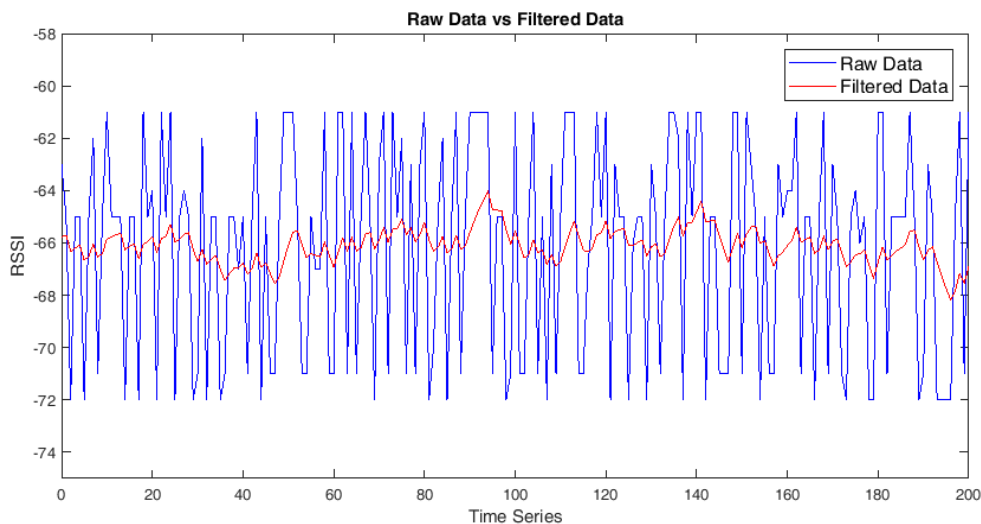


圖 2.38 使用 LPF 後 RSSI 震盪的比較

距離轉換模型

由圖 2.38 可看出 RSSI 震盪幅度明顯降低，獲得較穩定之 RSSI 後，即可使用距離轉換模型將 RSSI 轉換成距離觀測量，一般研究會使用無線電之路徑耗損模型來描述兩者之間的關係，但該模型只適用於 Beacon 及接收機是互相通視的情況下，且 RSSI 在實際傳播上亦不會完美遵循衰減法則，因此本案將使用冪函數迴歸模型(Power regression model)來建構 RSSI 與距離之關係，此模型如下式所列：

$$\hat{D} = \alpha \times \left(\frac{RSSI(D)}{RSSI(D_{ref})} \right)^\beta + \gamma \quad (2.5)$$

其中 α, β, γ 為冪函數迴歸模型的參數； $RSSI(D)$ 為接收機距 Beacon D 公尺所收到之 RSSI； $RSSI(D_{ref})$ 為接收機距 Beacon 參考距離 D_{ref} 公尺所收到之 RSSI，通常 D_{ref} 為 1 公尺； \hat{D} 則是利用 RSSI 轉換後求得 Beacon 與接收機間之估算距離。本案採用 Cho 等人(2015)提出之距離模型作為轉換基礎，其模型如下式(2.6)所示。

$$\hat{D} = 0.89976 \times \left(\frac{RSSI(D)}{RSSI(D_{ref})} \right)^{7.7095} + 0.111 \quad (2.6)$$

距離差分法

藍牙訊號因低功耗藍牙技術追求低功率的目的，導致訊號強度容易受到周遭環境因素的影響，訊號強度不穩定且不是完美遵循衰減法則，連帶使得轉換後的距離與定位精度降低。為改善此問題，本團隊提出距離差分法，此一概念係由差分衛星定位系統衍伸而來，運用架設於已知點之參考站，將即時觀測所獲得的資料與已知距離比較，解算取得改正量，再傳送至移動站修正其誤差，此法的前提為參考站需與移動站處於相同環境，概念如圖 2.39。本團隊針對藍牙交會定位，透過設置已知參考站，計算出各 Beacon 在同一環境下的距離改正數，修正移動站端接收到、並經過換算推求的 Beacon 原始距離資訊，以獲得更可靠之定位成果。預期在維持固定的 Beacon 布建模式下，減低訊號因為時間、電量、遮蔽或各種環境因子的變動所造成的訊號擾動，提升距離精度，連帶提升三邊交會之定位精度。

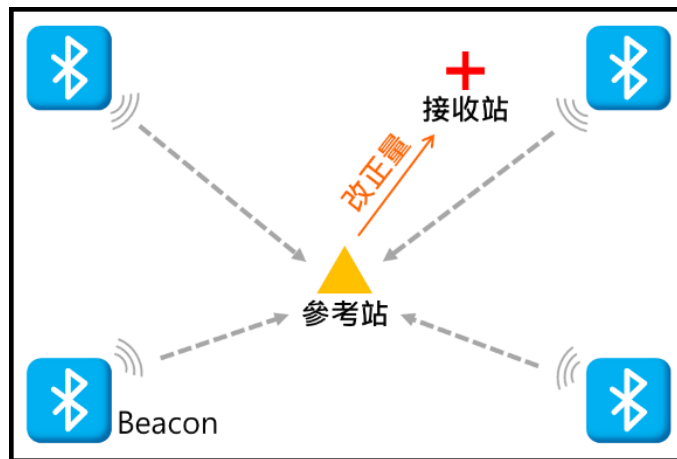


圖 2.39 低功耗藍牙差分改正概念圖

三邊交會

本團隊發展之定位解算技術將主要著重在三邊交會法，亦是衛星定位的核心基礎。三邊交會是最基本且直觀的定位技術，其主要觀測量為距離，利用量測使用者與各已知點間的距離，來計算使用者的位置(Yang, 2010)。因此，若要求定未知點(使用者)的平面位置，至少需要三個已知參考點與對應的距離觀測量，由三個已知參考點為原心構成三個圓，其交會處即為所求，如圖 2.40(a)所示。然而經由 RSSI 推估之距離必定存在誤差，因此在實際情況下，交會處會呈現一區

塊而非一點，如圖 2.40(b)所示。

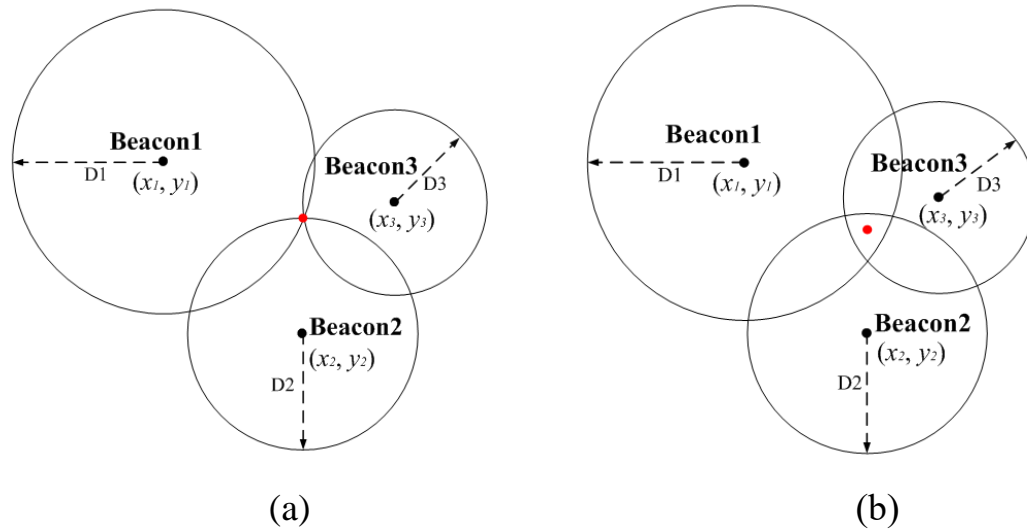


圖 2.40 三邊交會

在三邊交會中，本案以非線性平差進行定位計算，其平差模型在運算過程中牽扯到迭代計算，因此需先假設真值與估算值之關係，其中 (x, y) 為未知點位坐標真值； (\hat{x}, \hat{y}) 為未知點位坐標估算值； δx 、 δy 為兩者之差異。

$$x = \hat{x} + \delta x, \quad y = \hat{y} + \delta y \quad (2.7)$$

由未知點坐標真值與估算值所推得之 Beacon 與未知點位間距離以下式(2.7)與式(2.8)表示：

$$f_i(x, y) = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} = D_i \quad (2.8)$$

$$f_i(\hat{x}, \hat{y}) = \sqrt{(\hat{x} - x_i)^2 + (\hat{y} - y_i)^2} = \hat{D}_i \quad (2.9)$$

將非線性方程式之式(2.8)做一階線性化處理，並寫成泰勒展開式，可得：

$$D_i \approx \hat{D}_i + \left(\frac{\partial f_i}{\partial x}\right)_{x=\hat{x}} \delta x + \left(\frac{\partial f_i}{\partial y}\right)_{y=\hat{y}} \delta y \quad (2.10)$$

將式(2.10)以矩陣形式表示：

$$L + V = D_i - \hat{D}_i = \frac{\hat{x} - x_i}{\hat{D}_i} \delta x + \frac{\hat{y} - y_i}{\hat{D}_i} \delta y = AX \quad (2.11)$$

其中，

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x} & \frac{\partial f_1}{\partial y} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x} & \frac{\partial f_2}{\partial y} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x} & \frac{\partial f_n}{\partial y} \end{bmatrix}_{x=\hat{x},y=\hat{y}} = \begin{bmatrix} \frac{\hat{x} - x_1}{\widehat{D}_1} & \frac{\hat{y} - y_1}{\widehat{D}_1} \\ \frac{\hat{x} - x_2}{\widehat{D}_2} & \frac{\hat{y} - y_2}{\widehat{D}_2} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{\hat{x} - x_n}{\widehat{D}_n} & \frac{\hat{y} - y_n}{\widehat{D}_n} \end{bmatrix}; X = \begin{bmatrix} \delta x \\ \delta y \end{bmatrix}; L = \begin{bmatrix} D_1 - \widehat{D}_1 \\ D_2 - \widehat{D}_2 \\ \vdots \\ D_n - \widehat{D}_n \end{bmatrix}$$

上述 A 矩陣又稱為 Jacobian 矩陣，將式(2.8) f_i 方程式分別對 x 與 y 作偏微分，導出矩陣形式後，將採用最小二乘平差將改正數 V 平方之總和最小化並解出 X ，如下式(2.12)。

$$X = (A^T A)^{-1} A^T L \quad (2.12)$$

由於解算出來之 X 為坐標增量，因此需要代回未知點位坐標估算值，更新坐標，重複迭代使估算值接近真值，如下式(2.13)所示。其中下標為 $k+1$ 表示更新後的估算值； k 表示更新前之值。最後 $[\hat{x} \ \hat{y}]_{k+1}^T$ 為最佳非線性平差解。

$$\begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \end{bmatrix}_{k+1} = \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \end{bmatrix}_k + \begin{bmatrix} \delta x \\ \delta y \end{bmatrix}_k \quad (2.13)$$

本團隊於國立成功大學測量及空間資訊學系系館二樓教室設置實驗場，場地長 14 公尺，寬 8 公尺，採用的裝置為太和光生產之 Beacon，型別包含電池式與 USB 式。實驗場中將佈設 6 顆電池式 Beacon，安裝高度為 2.5 公尺，確保訊號傳送過程中無明顯遮蔽，以 1 顆 USB 式 Beacon 設置於筆電上，作為已知參考站，筆電可接收來自周圍之 Beacon 信息並自動儲存。使用者端的移動站使用 Sony Xperia Z5，擺置於待測點上。實驗場配置如圖 2.41 所示，圖 2.42 為實驗場環境，參考站架設於近場地中央，並以 6 個待測點評估此低功耗藍牙定位系統及其演算法，分別為 P1、P2、P3、P4、P5 及 P6，每個待測點將定點收 5 分鐘資料，參考站亦同時接收 6 顆 Beacon 之訊號，並解算出已知參考站與 Beacon 間之平均距離，再藉由已知的真實距離計算出平均距離改正量，使用者移動站端則利用此改正量修正估測距離，藉以達到提升藍牙交會定位精度之目的。

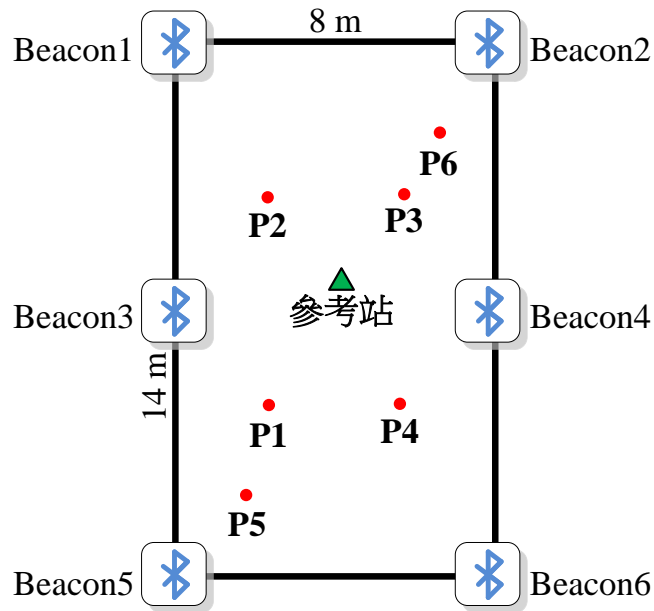


圖 2.41 低功耗藍牙差分改正實驗規劃



圖 2.42 實驗場環境

本案將針對所提出之定位策略進行精度分析，實驗成果中分作兩種定位成果：使用距離差分法改正前(Before)與使用距離差分法改正後(After)，為驗證距離差分法是否能提升三邊交會之定位成果精度，採用累積分布函數(Cumulative Distribution Function, CDF) 及均方根誤差(Root Mean Square Error, RMSE)進行評估，CDF 引入機率的概念來評斷定位誤差，RMSE 則反映定位成果與真值的差異程度；圖 2.43 為兩種定位成果之比較，圖 2.44 為改正前後之 CDF，最後表 2.4 為各待測點間改正前後之評估成果，其中 90%代表有 90%的定位誤差落於該數值上，由累積分布函數得出。

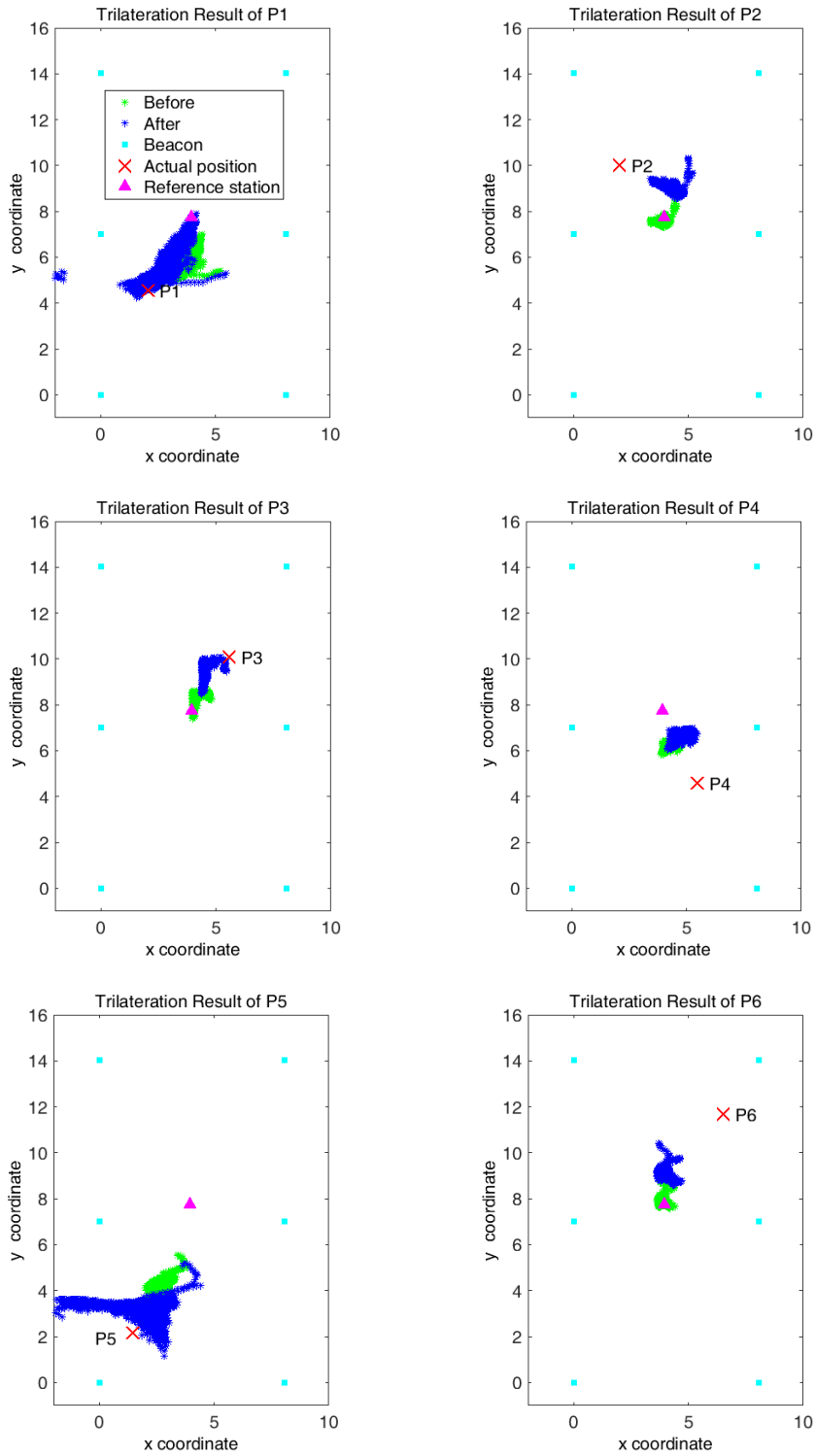


圖 2.43 待測點改正前後之定位成果

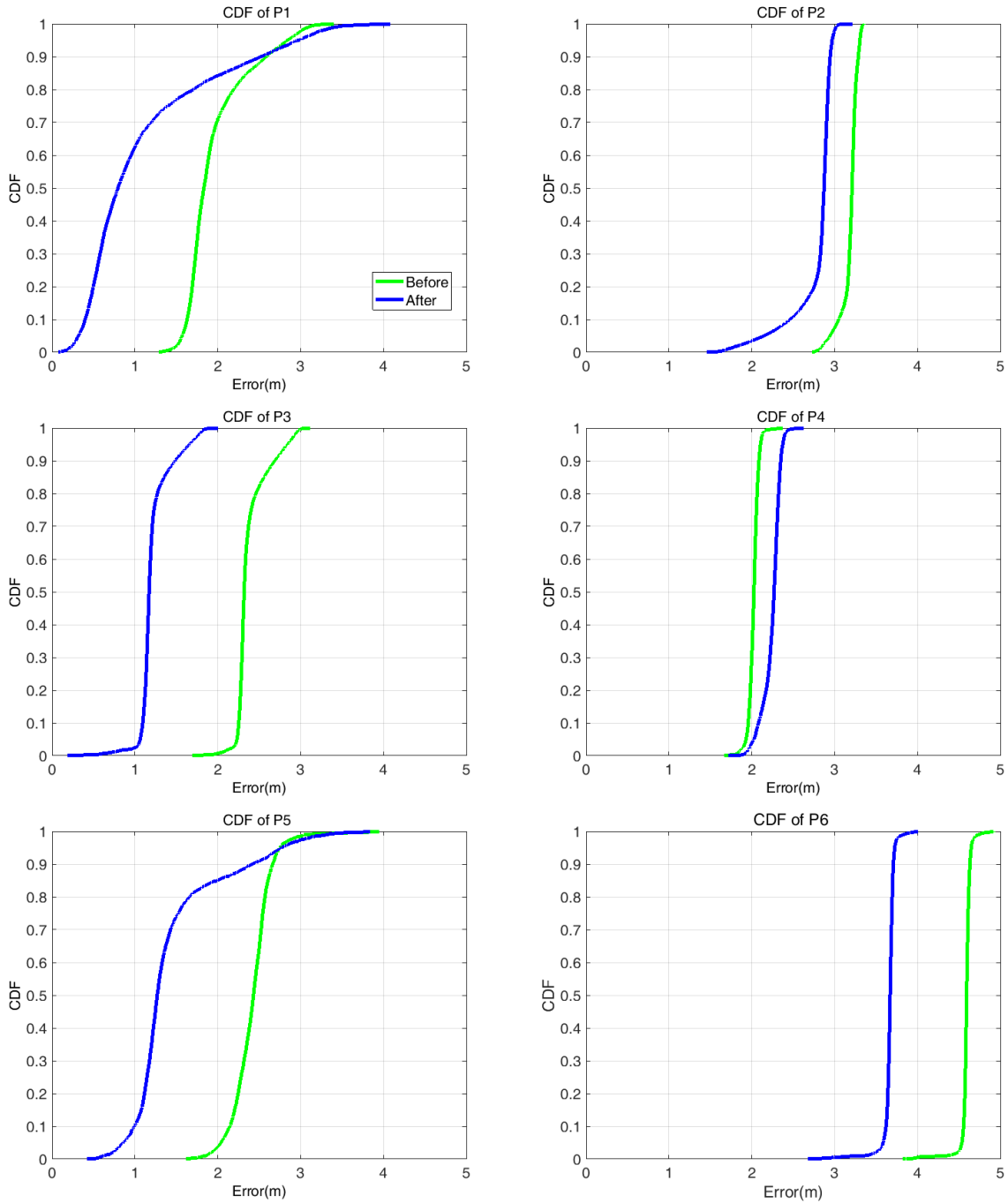


圖 2.44 待測點改正前後之 CDF

表 2.4 待測點之評估成果(單位：公尺)

		90%	RMSE	90% 改善程度	RMSE 改善程度
P1	Before	2.59	1.99	3.09%	30.65%
	After	2.51	1.38		
P2	Before	3.29	3.19	10.33%	12.23%
	After	2.95	2.80		
P3	Before	2.68	2.39	44.40%	48.54%
	After	1.49	1.23		
P4	Before	2.09	2.02	-12.44%	-11.39%
	After	2.35	2.25		
P5	Before	2.66	2.43	9.02%	35.80%
	After	2.42	1.56		
P6	Before	4.63	3.71	0.86%	1.35%
	After	4.59	3.66		
Mean	Before	2.99	2.62	9.03%	17.94%
	After	2.72	2.15		

從圖 2.43、圖 2.44 之定位成果及其 CDF 可看出，除 P4 外，估測距離經過距離差分法修正後之成果可提升其定位精度，由表 2.4 可看出整體 90% 的定位誤差平均落在 9.03%，RMSE 平均落在 17.94%。P4 成果經改正後之精度些微降低，推論原因為修正後的距離並沒有接近真實距離，甚至可能離真實距離更遠，導致修正過後之定位成果變差，由於適用距離差分法的前提是參考站跟移動站需要處於類似的環境，然而 P4 的地方有一個電子講桌擋住某顆 Beacon 之訊號，而參考站仍能收得一定強度之 RSSI，因此造就成在參考站所估測之改正量不適用於 P4 之移動站，此外，參考站與接收站所使用之裝置不同，加上 RSSI 的變化難以預測，是有可能估算出不合適的距離改正量進行改正。但由整體成果來看是有提升的，90% 的定位誤差平均由 2.99 公尺降低至 2.72 公尺，RMSE 則是平均從 2.62 公尺降低至 2.15 公尺，驗證所提出之距離差分法確實有提升定位精度之效果。未來將可能加入線性平差及不等權平差進行評估，挑選出最合適的平差模型於低功耗差分演算法中。

在期中成果部分，本團隊是以等權的非線性平差計算，如上述式(2.12)所示，然而在解算未知數的過程中，可加入權重的概念，以減少錯誤觀測量之影響，增

加良好觀測量之權重，使定位成果更趨於真值，因此在期末部分，本團隊主要加入不等權平差的方式以比較定位成效，其概念如式(2.14)所示：

$$X = (A^T P A)^{-1} A^T P L \quad (2.14)$$

其中 P 為權矩陣，權的大小由改正數來決定，由於第一次計算三邊交會時並無先驗改正數進行不等權平差，若要執行不等權平差，則需要進行兩次三邊交會之計算，第一次為等權平差，以取得觀測量改正數，再經由此改正數決定權的大小，而後進行第二次解算，獲得不等權平差計算之定位成果。由於較小改正量代表此觀測量的品質相對穩定，因此本次實驗選擇觀測量前四小的改正數給予相當大的權重，進行第二次解算。

期末之實驗規劃與環境與期中報告相同，成果部分以同樣的資料但以不等權非線性平差計算。接下來的成果分析中分作三種定位成果，其中 Case 1 及 Case 2 在期中報告已呈現，在此納入與 Case 3 做比較：

Case 1：改正前且等權計算之定位成果

Case 2：改正後且等權計算之定位成果

Case 3：改正後且不等權計算之定位成果

下圖 2.45 為三種定位成果之比較，圖 2.46 為相對應之 CDF，最後表 2.5 為各待測點間之評估成果，表中以黃色標註部分為利用 Residual 大小去評估何種定位算法為最佳，Residual 之算法如下：

$$V = AX - L \quad (2.15)$$

$$Residual = \sum_{i=1}^N V_i^2 \quad (2.16)$$

V 為改正量矩陣，Residual 為各改正量之平方和。

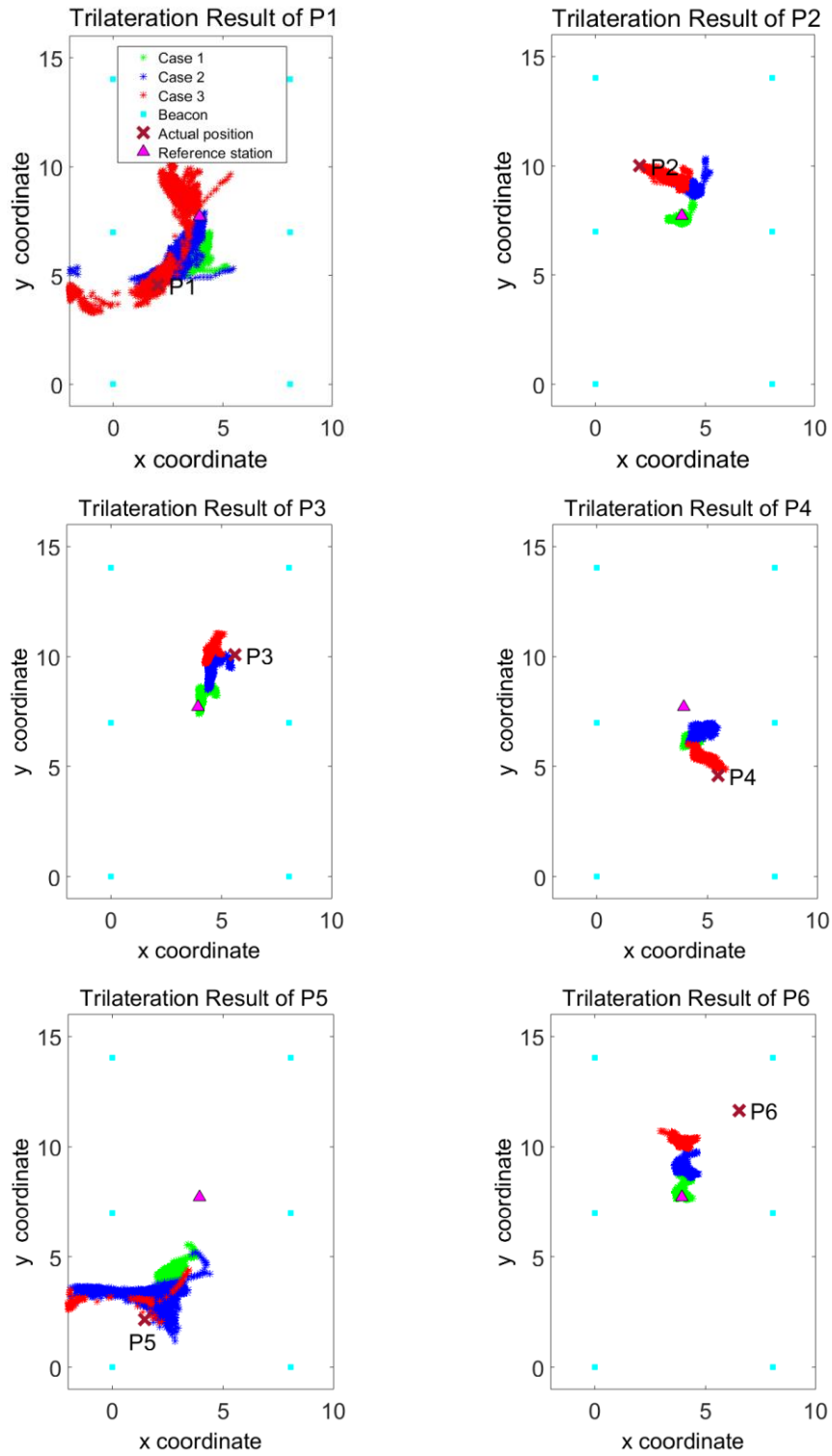


圖 2.45 三種定位成果之比較

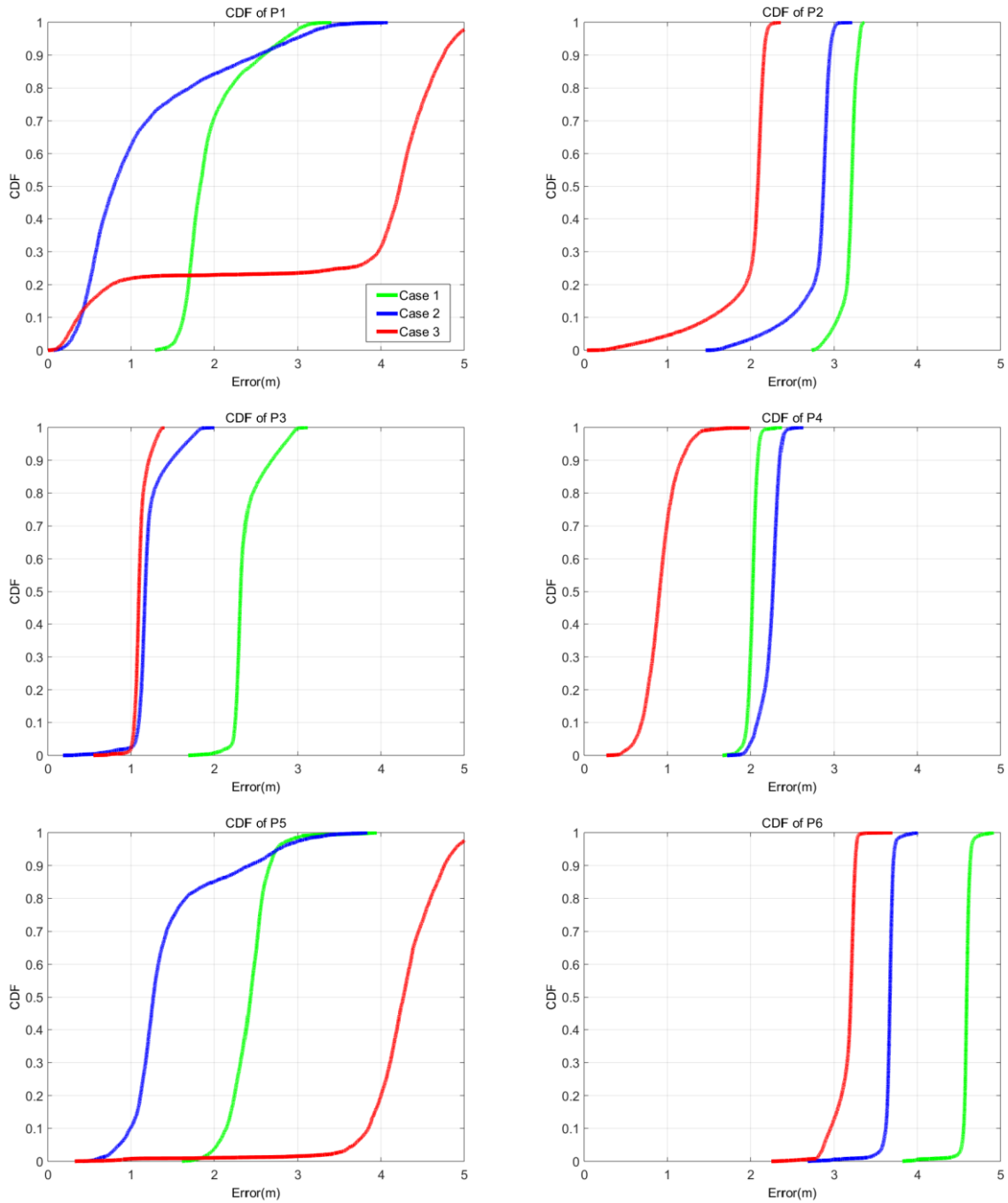


圖 2.46 三種定位成果之 CDF

表 2.5 待測點之評估成果(單位：公尺)

P1	Case 1	Case 2	Case 3	P2	Case 1	Case 2	Case 3
90%	2.59	2.51	4.75	90%	3.29	2.95	2.16
RMSE	1.99	1.38	3.84	RMSE	3.19	2.80	1.99
Residual	NaN	10.13	12.71	Residual	NaN	8.63	8.25
P3	Case 1	Case 2	Case 3	P4	Case 1	Case 2	Case 3
90%	2.68	1.49	1.22	90%	2.09	2.35	1.17
RMSE	2.39	1.23	1.11	RMSE	2.02	2.25	0.94
Residual	NaN	7.81	6.79	Residual	NaN	6.46	5.74
P5	Case 1	Case 2	Case 3	P6	Case 1	Case 2	Case 3
90%	2.66	2.42	4.76	90%	4.63	3.71	3.25
RMSE	2.43	1.56	4.28	RMSE	4.59	3.66	3.16
Residual	NaN	15.93	16.13	Residual	NaN	7.98	6.79

由上述成果可發現，大部分改正後且不等權計算之定位成果(Case 3)較佳，但在 P1 及 P5 之成果反似變差，兩點皆位於同一區域，認為造成改正後成果變差的原因相似，以改正量方式給權可能提升錯誤觀測量之權重，不等權平差雖可依照改正量給權，但計算時仍含有錯誤觀測量之可能，為得到較佳之成果，本團隊利用計算 Residual 作為使用平差模型之依據，利用平方相加的改正量去判定何者作為差分改正後之最終成果，經過差分改正與等權/不等權估計之改正量，改正了真實環境所造成的訊號誤差，進一步改善定位誤差，且最終成果確實能提升定位精度，未來可考慮將除錯納入低功耗藍芽差分演算法中，剔除不合理之距離觀測量再做定位解算。在低功耗藍牙差分演算法當中，由於各障礙物之影響量難以參數化，不同接收站對於障礙物的相對位置影響量不同，且此影響量可能會隨時間或人員進出而改變，此皆為造成難以建立模型的因素之一，故差分改正模型是將所有環境因子融合為一距離改正數，並不細探個別障礙物之影響，一併消除或降低此誤差，以提升定位精度。

2.5 建置移動裝置端之空間資訊系統應用於適地性服務

本年度選定故宮南院作為實驗場，因此接續去年發展的擴增實境 (Augmented Reality, AR)，加上 Beacon 室內定位技術，將擴增實境應用在故宮南院中，除了導航的擴增實境以外，本年度著重研究物體的擴增實境，目標物體分別為立體或是平面的擴增實境，以及研究需要擴增出來的內容，如何擴增、擴增什麼，例如擴增出文字、照片、音樂、影片、動畫、模型等，在要擴增的物體上展示出來。因此我們以 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 2.47 為 App 介面。當開啟這個 App 時，點選任一展物，即會顯示該展物的導航方向及與使用者之間之距離，其背後運作原理為室內定位

導航；點選地圖按鈕，則會顯示使用者目前為止之路徑；點選照相機的按鈕，就會開啟攝影機開始擴增實境的功能，當攝影機照到展覽品時，此 App 將會產生一段說明文字，如圖 2.48 所示。



圖 2.47 App 介面圖



圖 2.48 展覽品擴增實境圖

以下將講述此系統所使用到之技術。

2.5.1 室內定位導航

目前衛星定位技術發展已逐漸成熟，然而在室內等訊號遮蔽嚴重的環境下並無法發揮其功用，在使用上往往受到限制，使得手機的導航功能止步於戶外通視良好的環境，而無法進一步拓展到室內範圍，致使室內定位技術比起室外定位更具挑戰性。而現今以無線電訊號為主的定位系統中，以低功耗藍牙(Bluetooth Low Energy, BLE)系統最為受到關注，其具有硬體體積小且輕便的優點，亦是蘋果近年大力推廣的室內定位解決方案，能夠透過手機上的專屬 App 傳輸各種訊息，像是展品介紹、路線導引等適地性服務上，另外 BLE 成本低、功耗低、可彈性化設置在不同場景中，故本案欲應用此一技術作為定位演算法的其中之一。

此外，行人航位推算(Pedestrian Dead Reckoning, PDR)為另一項欲使用之定位演算法，PDR 不需收集外部訊號，而是利用手機內部的慣性感測元件來偵測使用者行走時的一種定位技術(Chen et al., 2011)，該技術可推算出行人行走時的連續位置，其初始位置可搭配 BLE 給定。上述 BLE 及 PDR 為作為開發 App 主要的即時定位技術，而卷積神經網路(Convolutional Neural Networks, CNN)為最後一項欲測試之項目，目前是以後處理的方式進行，透過訓練得到相機的位置及姿態，希望可協助 PDR 修正軌跡以得到更加精準的定位，增強室內定位與製圖之整合。

Beacon 環境建置

Beacon 為 BLE 之硬體設備，內部以低功耗藍牙晶片為核心，且以造型輕巧、低耗能為建置方針，此外，該裝置成本低且以電池或 USB 孔供能，可彈性化設置於各式場景中，適合布建在佈局變化大的室內空間內。Beacon 如同小型的信號基地台，向四周發射訊號，若使用者之行動裝置內部有搭載藍牙 4.0，即可接收其訊號，透過專屬 App 更可獲得後續之定位服務。由於展廳內不允許佈置電池式 Beacon，因此規劃使用 USB 式 Beacon 設置於展廳內現有插頭處，另外於展廳門口及其餘非展廳部分佈置電池式 Beacon，兩種 Beacon 之外觀如圖 2.49 所示。本案目前僅採用 USB 式 Beacon。圖 2.50 為展廳中 Beacon 位置以及展覽品分佈圖。



圖 2.49 (左)USB 式 Beacon；(右)電池式 Beacon

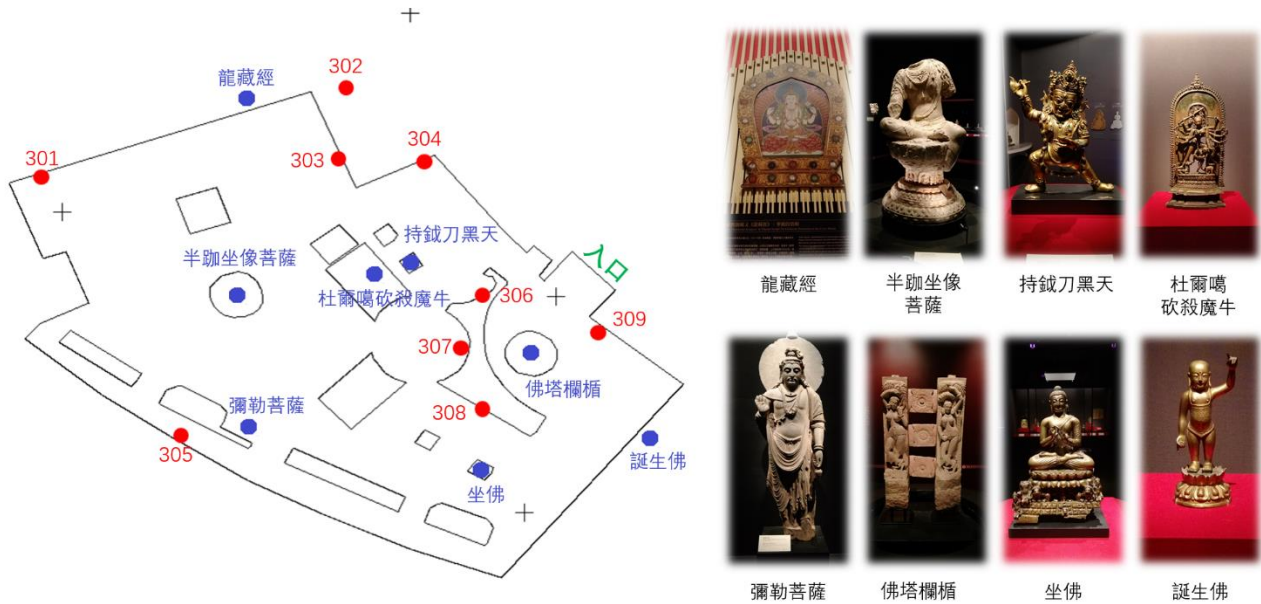


圖 2.50 Beacon(紅點)及展覽品(藍點)分佈圖

低功耗藍牙定位(BLE)定位演算法

Beacon 所發送之信息如表 2.6 所示(Salas, 2014)，其中識別碼可辨別佈置在環境中的不同 Beacon，作為定位資訊之依據，接收訊號強度指標(Received Signal Strength Indicator, RSSI)是 Beacon 主要用來定位的數據，手機距 Beacon 越遠收到的訊號強度越微弱，因此可藉由其消耗特性將 RSSI 轉換成 Beacon 與行動裝置間之距離，進而作為後續室內定位之應用，而基準訊號強度值則是 RSSI 轉換為距離前所要求得之率定值。

表 2.6 Beacon 傳送信息之內容(Salas, 2014)

UUID 識別碼	用以區別不同廠牌的 Beacon
主要識別碼(Major)	用以區分不同群組的 Beacon
次要識別碼(Minor)	用以分辨同一群組中個別的 Beacon
RSSI	接收訊號強度指標
基準訊號強度值	距離 Beacon 1 公尺處之 RSSI

為獲得 RSSI 與距離準確之相對關係，本團隊將事先進行距離模型率定程序，蒐集迴歸所需之實測資料，本案使用冪函數迴歸模型(Power Regression Model)來建構 RSSI 與距離之關係，其模型如下式(2.17)所示：

$$distance = \alpha \times \left(\frac{RSSI(d)}{RSSI(d_0)} \right)^\beta + \gamma \quad (2.17)$$

α 、 β 、 γ 為冪函數迴歸模型之待求參數，固定為三個率定值，需要透過訓練資料來率定其參數； $RSSI(d)$ 為手機距 Beacon d 距離時所收得之 RSSI； $RSSI(d_0)$ 為手機距離 Beacon 1 公尺處所收得之 RSSI，亦是表 2.6 所述之基礎訊號強度值。下圖 2.51 為率定程序示意圖，手機將擺置於每公尺處收集資料，經過資料

回歸可獲得最佳參數。率定後得下式(2.18)，此距離模型可透過 RSSI 之大小推求出目前手機與該顆 Beacon 之距離，再搭配上段介紹之定位演算法，即可獲得目前手機之室內定位坐標。

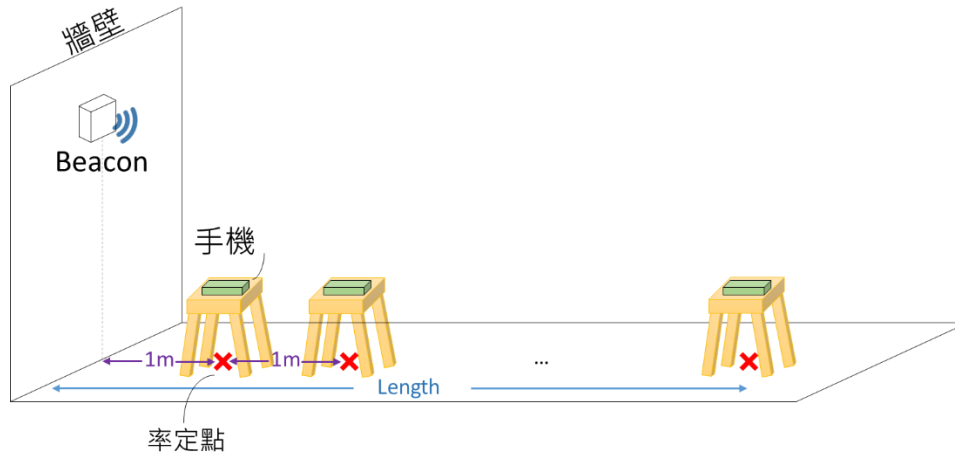


圖 2.51 率定程序示意圖

$$distance = 0.6987 \times \left(\frac{RSSI(d)}{-60} \right)^{8.766} + 0.008753 \quad (2.18)$$

低功耗藍牙定位的角色在於輔助 PDR 之初始化，Beacon 提供初始坐標，進而應用 PDR 做後續定位之推算，在此，本案運用 Beacon 獲得初始位置所使用的方法為近似定位(Proximity)及外接矩形(Bounding box)(Boukerche *et al.*, 2007)。

近似定位之原理是當行動裝置感應到 Beacon 訊號時，透過個別識別碼之判定且訊號強度大於某一門檻值後，即視作使用者位於該 Beacon 位置附近，以作為 PDR 之初始坐標，如圖 2.52(a)所示。然而在開放空間若使用近似定位提供初始資訊較不實際，且不符合經濟效率，因此在該種場域下本案利用外接矩形來取代，雖然外接矩形的精度比起近似定位來得差，但對於開放空間的定位能力是相當具有彈性的。外接矩形的概念類似於三邊交會，至少需要三個參考點且三圓交會處即為所求，然而在外接矩形中，三個參考點分別所產出的形狀以正方形替代圓形，如圖 2.52(b)所示，三個正方形中心點為 Beacon 坐標 (x_i, y_i) ，邊長為 $2d_i$ ， d_i 為第 i 個 Beacon 與行動裝置間之距離，是由前述 RSSI 之距離模型所獲得，該正方形之右上角坐標為 $(x_i + d_i, y_i + d_i)$ ，左下角坐標為 $(x_i - d_i, y_i - d_i)$ ，以下為計算方式：

(x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 、 (x_3, y_3) 為三台 Beacon 之坐標， d_1 、 d_2 、 d_3 為三台 Beacon 與使用者之間的距離。

$$L_1 = (x_1 - d_1, y_1 - d_1)$$

$$L_2 = (x_2 - d_2, y_2 - d_2)$$

$$L_3 = (x_3 - d_3, y_3 - d_3)$$

L_{Max} 為三者中 x 值和 y 值最大者所構成之坐標，如圖 2.52(b)為： $L_{Max} = (x_2 - d_2, y_1 - d_1)$

$$R_1 = (x_1 + d_1, y_1 + d_1)$$

$$R_2 = (x_2 + d_2, y_2 + d_2)$$

$$R_3 = (x_3 + d_3, y_3 + d_3)$$

R_{Min} 為三者中 x 值和 y 值最小者所構成之坐標，如圖 2.52(b)為： $R_{Min} = (x_1 + d_1, y_3 + d_3)$

$$(x, y) = L_{Max} + \frac{R_{Min} - L_{Max}}{2}$$

即可計算出方形集合之中心點，也就是行動裝置(使用者)之位置 (x, y) ，其優勢為運算量較小，可應用於即時定位。

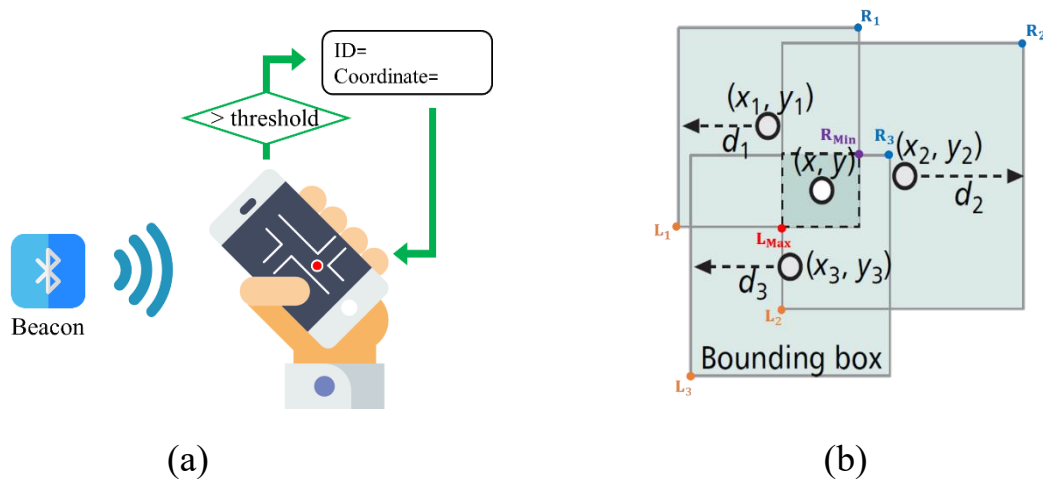


圖 2.52 用以獲得初始資訊方法之示意圖 (a)近似定位 (b)外接矩形

藉由上述之說明，本案利用近似定位及外接矩形，即可在絕大部分的室內環境提供 PDR 之初始定位，包括狹長的走廊及寬廣的大廳，此外，行走路徑若經過用於近似定位之 Beacon，亦可達成更新使用者位置之目的，以修正行人航位推算之定位誤差，避免定位精度惡化之情形發生。

行人航位推算(PDR)

本案以行人航位推算演算法為 App 即時定位之基礎，由於場地限制不能於展廳內彈性佈置 Beacon，因此當遊客位於展廳內時，主要使用 PDR 演算法來推求遊客位置。行人航位推算是室內行人導航應用慣性感測技術最常見的方法，其使用行動裝置內建之感測器以偵測使用者走路的行為模式，同時計算其步伐並預估步長，在加入方位資訊後，即可由當下的位置，解算使用者下一步之坐標，其概念類似於導線測量。Chen 等人(2011)提出適用於室內定位之行人航位推算，其內容包含步伐偵測、方位角估測及步長估測，上述資訊均可利用智慧型手機內

建之感測器及模型獲得，進而推估使用者的二維位置。式(2.19)即為行人航位推算之運算基礎。

$$\begin{aligned} N_{k+1} &= N_k + SL_k \times \cos \varphi_k \\ E_{k+1} &= E_k + SL_k \times \sin \varphi_k \end{aligned} \quad (2.19)$$

其中 N_{k+1} 和 E_{k+1} 為欲推求出行人下一步之位置， N_k 和 E_k 代表行人前一步之位置，若無前一步位置則由前述低功耗藍牙定位提供初始位置來計算， SL_k 為步長， φ_k 為方位角。在行人航位推算當中初始位置需事先給定，本案由低功耗藍牙裝置提供。圖 2.53 為本案所應用之行人航位推算流程圖，以下將詳述 PDR 各資訊的取得及其演算法。

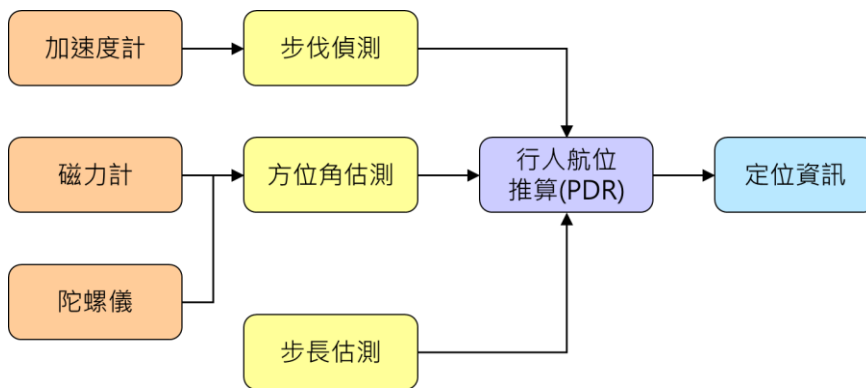


圖 2.53 行人航位推算流程圖

- 步伐偵測

由於行走時會產生加速度變化，而手機內建之加速度計能感測並收集其訊號，因此可透過規律性的訊號震盪，進而推算出行走的步伐數，如下圖 2.54 所示。本案為提高偵測效益，對三軸加速度平方和開根號來進行偵測，且為了達到即時性的應用，僅針對波峰偵測，再以超過門檻值之波峰數當作行走的步伐數，並取固定時間內之步數來計算步伐頻率(Step Frequency, SF)。

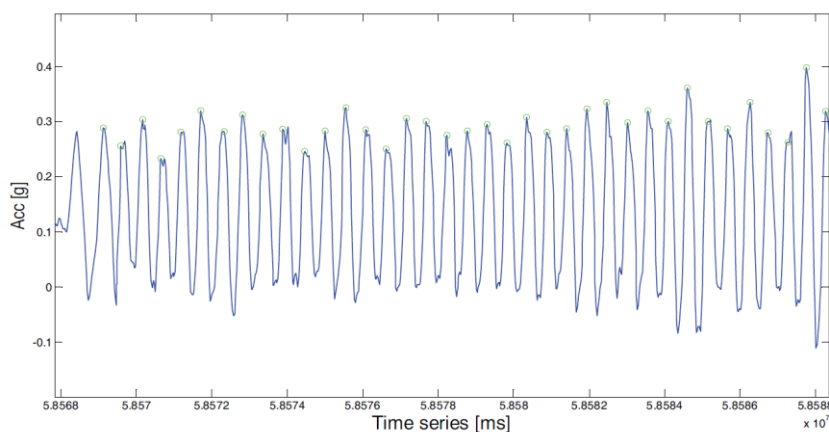


圖 2.54 行走時加速度值之震盪

• 方位角估測

本程式之方位角估算主要是以手機內建之磁力計執行，並不排除加入陀螺儀之可能，磁力計是藉由地球磁場來得知物體之絕對方位角，陀螺儀則感測物體運動時之角速度，對時間做積分以獲得旋轉角度。陀螺儀雖擁有平穩的方位輸出，且不易受環境影響，然而行人運動時的震動雜訊可能致使積分後的角度誤差隨時間累積，另一方面，磁力計雖然不因時間累積誤差，卻容易受到環境變化與磁性物質干擾，造成推估方位產生突發性的粗差。一般方位角估測有兩種，一種為單純以磁力計提供，另一種則是以磁力計提供初始方位角，陀螺儀則負責後續方位之計算。本案目前以第一種為主要方案。

• 步長估測

步伐長度也是行人航位推算中的重要一環，然而步長會隨著體型或個人因素而有所不同，現今研究已提出數種估算步長的模型，本案參考 Chen 等人(2011)提出之經驗估算公式，建立出步長估測的數學模型，如式(2.20)所示：

$$SL = \left[0.7 + 0.371 \times (H - 1.75) + 0.227 \times \frac{(SF - 1.79) \times H}{1.75} \right] \times c \quad (2.20)$$

其中 H 為行人身高(預設為 1.7m)， SF 為預先計算之步伐頻率， c 為個人因子參數(預設為 1)，透過上述公式可計算出步長，供 PDR 計算使用。

若獲得以上資訊，包含初始坐標、行人方位角、行人步長及其頻率，則可利用 PDR 推求得行人步行時的每個位置，如下圖 2.55 所示。在行走過程中亦可加入低功耗藍牙定位更新其坐標，提升 PDR 之精準度，其概念如圖 2.56 所示。

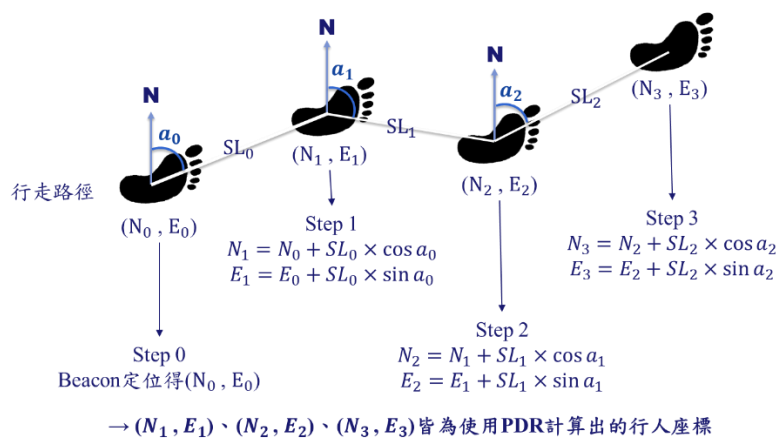


圖 2.55 行人航位推算之示意圖

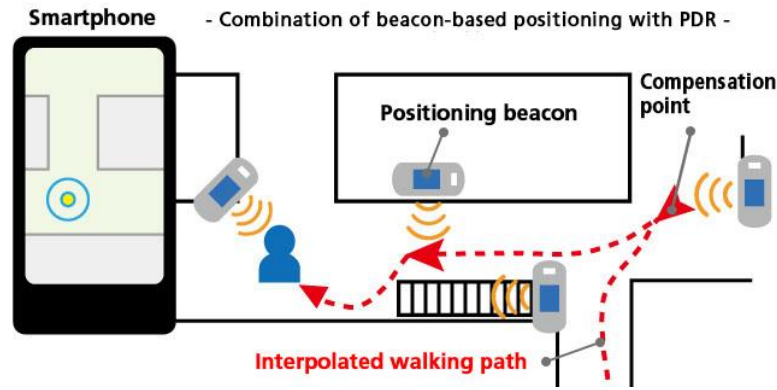


圖 2.56 Beacon 更新 PDR 之示意圖

以上述 BLE 及 PDR 技術結合，進行整合式室內定位導覽，本案實行於 S303 之展廳。整體的定位演算法以 PDR 為主，BLE 為輔，當遊客位於展廳時則主要使用 PDR 計算使用者坐標，並且使用 Beacon 定位坐標來更新遊客坐標，或當使用者對展品使用擴增實境導覽時，當影像辨識成功則利用該展品之已知點坐標，更新遊客坐標，來消除誤差傳播。

2.5.2 擴增實境

特徵值擷取

本案原先預計使用建模的方式進行特徵值辨識，但此方法必須將展物放置於特定紙張背景上，再對展物環繞拍攝建模，如此即可使用 3D 模型辨識並進行後續之擴增。但由於場勘後發現故宮文物不適合使用這種辨識方式，故我們使用一般平面的影像辨識：利用不同角度多張影像處理立體文物的影像擷取特徵值，如圖 2.57 所示，若拍攝時系統同時辨識到多張影像，則讓 App 只辨識第一張影像，避免擴增重複的資訊。

而有些展物則是只有一個面的特徵值擷取，如圖 2.58 左圖放置於櫥窗內之文物，我們使用平面的影像辨識方法，右圖則是特徵值萃取後之結果。將這些文物之影像儲存至資料庫後，當遊客開啟相機拍攝展物時，App 即會從資料庫中進行影像特徵值比對，並尋找相對應之展物、做後續擴增實境之應用。此外，辨識到展物之後，還可將展物坐標值回傳並更新目前遊客的坐標，使遊客在展廳中之定位更加準確。



圖 2.57 不同角度多張展物相片

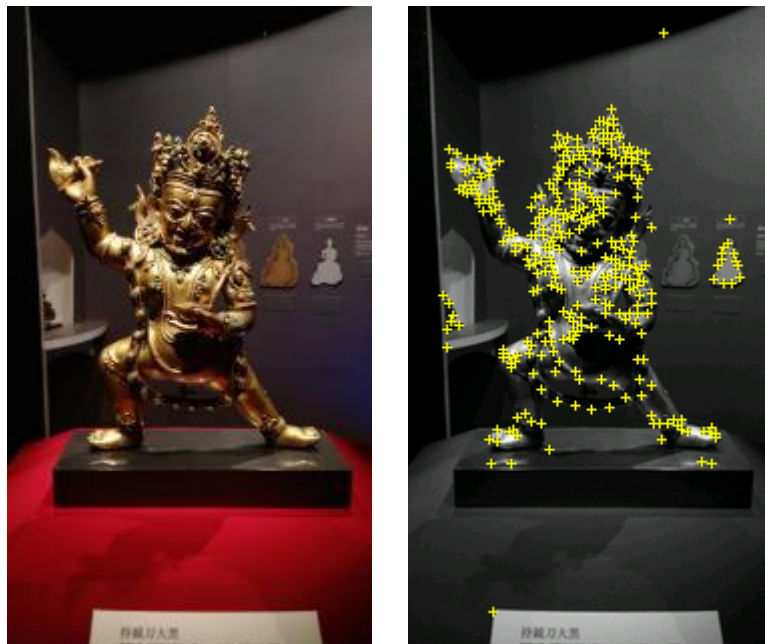


圖 2.58 展物特徵值擷取圖

擴增實境

在和館方多次討論後，我們決定使用文字擴增，當遊客使用我們的 App 拍攝特定展物時，即會產生擴增出來的文字，使文字顯示於展物前，即可使遊客了解更多資訊。表 2.7 為各展物之擴增文字內容，該內容皆由故宮南院提供。

表 2.7 展物擴增文字內容

<p>001.佛塔欄 楯</p>	<p>印度秣菟羅地區，貴霜王朝(西元 1 世紀-320)，西元 2-3 世紀，紅砂岩，高 93 公分，南購雜 000001。</p> <p>這件以印度秣菟羅地區紅砂岩所鑿刻的文物，是古代佛塔欄楯的一部分，由二條直欄和三段橫楯組合而成。直欄正面各浮雕一尊攀扶樹枝的女藥叉像，橫楯則雕飾著各式蓮花圖案，是貴霜王朝（西元 1 世紀至 320 年）常見的造像。女藥叉像神情柔和，嘴角含笑，雙乳豐滿，全身 S 形的扭擺連動著細腰與寬臀，肌膚圓潤緊實，造像風格與該地許多西元二至三世紀的作品一致。</p> <p>女藥叉信仰源於印度先民崇拜的地母神、樹精，豐乳寬臀的造型即為豐饒多產的象徵，而攀扶樹枝的姿式又可能與祈求豐饒的古老儀式有關。這種女藥叉信仰後被佛教所收攝，成為佛教的守護神之一。(王鍾承)</p>
<p>003.誕生佛</p>	<p>西元 16 世紀，銅鍍金，高 20 公分，彭楷棟先生捐贈，贈銅 000215。</p> <p>寺院於佛誕日（四月八日）舉行浴佛活動，以淨水、茶湯或五色水等，提供信徒灌沐誕生佛像，故亦稱為灌佛會。由於此儀式的特殊性，現存的造像大多為銅製，而且以尺寸偏小的居多，約十至三十公分之間。</p> <p>此尊誕生佛像的外形與圖錄 1-01 相近，頂無肉髻相，光素無紋宛若新生兒。方頭大耳，帶有白毫的天庭飽滿，雙頰豐腴，上下眼瞼勾以深深的眼線，再配合上揚的菱角嘴，使得五官扁平的臉龐露出微笑。全身圓滾肥厚，上身較長，著鑲有連珠紋邊飾的牡丹肚兜，吊帶巧妙地掩飾臂膀的銜接處，與上述的誕生佛像相同。肚兜緊貼著軀體，不但強調袒凸出的上腹部，也略顯其腰身，應為約十六世紀明代晚期之作。(王鍾承)</p>
<p>019.坐佛</p>	<p>印度喀什米爾，西元 645 或 653 年，黃銅、銀、紅銅，高 29 公分，題記中譯：在 Navasurendra 大王統治的第二十（或二十九）年，司庫之子 Varṣa 是具大誠信之優婆塞（居士），連同其妻 Śirī、Girṇarasimgha、與其子 Simgha 和 Śiri 共造此像，購銅 000227。（劉國威譯）</p> <p>這尊佛坐像的主體是以黃銅澆注而成，眼白和雙唇分別嵌有銀和紅銅，這類工藝技法常見於喀什米爾的造像中。該地佛教根基深厚，不但受過貴霜王朝犍陀羅藝術的洗禮，也歷經笈多王朝的盛世光輝，造就出喀什米爾造像的獨特性。</p>

	<p>此尊坐佛結跏趺坐於自岩石獅子座升起的仰覆蓮臺上，頂有繁密的螺髮，圓臉豐頤，月眉細長。在雙手結轉法輪印的同時，右手還握有衣角。除了保有犍陀羅壯碩寫實的身軀和肅穆表情外，衣紋稠密規律，身體的結構和曲線交待清楚，完全符合臺座銘文所示之時代風格。臺座上供養人身著交領衣衫和長褲，具有當地皇室服飾之特徵。此件造像不但是一件喀什米爾七世紀中葉的精品，也是該地現存帶有明確紀年的重要造像之一，彌足珍貴。(王鍾承)</p>
<p>044.彌勒菩薩</p>	<p>巴基斯坦(古犍陀羅)，貴霜王朝(西元 1 世紀-320)，西元 3 世紀，片岩，通高 168.5 公分，購雜 001195。</p> <p>犍陀羅是古印度的國名，位於肥沃的印度河和喀布爾河流域之間，包括今日阿富汗和巴基斯坦的部份地區。該地是連結長安和羅馬絲路的必經之地，是東西文化的薈萃之地。又因曾被亞歷山大大帝征服，深受希臘化文化的影響，所以發展出西方色彩濃厚的造像風格，與中印度的秣菟羅並稱為印度貴霜王朝兩大造像中心。</p> <p>這尊菩薩像深目高鼻，波浪捲髮長及至肩，合理的身體結構展現雄健挺立之姿，身戴多重精緻瓔珞，厚重的天衣和下裳的衣褶立體寫實，在在顯示其風格深受西方文化強烈的影響。這尊菩薩右手施無畏印，而左手所提拎的淨瓶就是彌勒菩薩常見的持物，祂將於未來世度化眾生，現存許多類似的貴霜遺例正足以說明當時彌勒菩薩信仰之盛行。(王鍾承)</p>
<p>050.半跏坐像菩薩</p>	<p>唐(618-907)，西元 7 世紀中葉，大理石，通高 121 公分，購雜 001197。</p> <p>這尊菩薩半跏坐於蓮瓣肥美的束腰仰覆蓮座上，座與身近乎等高，束腰上還刻有八個北朝晚期造像上常見的神王龕像。上身袒露，胸肌微微起伏，腹部放鬆微鼓，呈現柔軟的肌肉質感。配合手肘倚靠在右腿上，身軀略微斜傾，甚至連帶影響了脊椎的走向，頗具動感，表現寫實，應為七世紀中葉之作。</p> <p>從殘跡來看，捲髮垂散雙肩，天衣披肩，敷搭至手肘，再曲折層疊於蓮座上。瓔珞嚴身，精緻的項飾繫於頸後，長條寶石珠串斜掛於左肩，並垂置於右腿和蓮座上。長裙貼合雙腿，裙頭翻折，繫有腰飾。這些裝飾不但呈現出珠玉的飽滿立體，而且多層次的全身披掛，具有活潑的律動感，是唐代造像的重要特徵。(王鍾承)</p>
<p>069.《龍藏</p>	<p>清康熙 8 年 (1669)，內府泥金寫本，磁青紙、泥金、設色，</p>

經》

每張經葉長 33 公分、寬 87.5 公分。

《龍藏經》屬藏文「甘珠爾」(bka' 'gyur)類別之佛教經藏，「甘珠爾」意為「佛語之譯」，即指經、律二部，據《秘殿珠林初編》卷二十四記載：「(康熙皇帝祖母孝莊)太皇太后欽命修造，鑲嵌珠寶、磁青箋、泥金書、西域字龍藏經一部，共一百八本，內有釋迦牟尼佛口授口傳諸經。」此處「釋迦牟尼佛口授口傳諸經」即「甘珠爾」之意。此部寫本「甘珠爾」為清聖祖康熙皇帝之祖母孝莊太皇太后博爾濟吉特氏布木布泰於康熙六年(1667)下詔開始抄寫，康熙八年(1669)完成，過去供奉於咸若館，是清宮刊寫多部「甘珠爾」中最精美，也最受矚目的作品。

全帙共一百零八函，函數與部類順序皆同永樂八年(1410)於南京完成之永樂版《甘珠爾》，次序採先經後律，依經典位階自高至低排列，分六部：「秘密部」、「般若部」、「寶積部」、「華嚴部」、「諸經部」、「律部」，共收經典一千零五十七種。

經葉長 87.5 公分，寬 33 公分，每函依其內容含經葉約三百至五百餘葉不等，皆以泥金書寫藏文於特製藍紙(mthing shog)上。每函經葉上下各有一內護經板，含金砌禮敬語與七尊彩繪造像，內容為佛、菩薩、本尊、護法、祖師等，並飾以各式鑲嵌珠寶，版面再護以黃、紅、綠、藍、白五色絲繡經簾。於內護經板上覆以絲質哈達後，保護經函配件依次為三件經衣：黃素絹經衣、黃棉布經衣、黃緞織花袷經衣。以七彩暈綢網經帶綁縛後，於其上下再各以一外護經板保護，縛以五彩網經帶，最後裹覆以黃棉被經衣。(劉國威)

092.持鉞刀
黑天

Knife Mahākāla 西藏中部，丹薩替寺風格，明(1368-1644)，西元 14-15 世紀，紅銅鑲金，鑲嵌寶石，高 32.6 公分，彭楷棟先生捐贈，贈銅 000116。

大黑天是藏傳佛教無上瑜伽密中的護法，其來源與印度濕婆(Siva)信仰關係密切，雖然面與手臂數多有不同，但忿怒相、身材矮胖是其共同特徵。

此尊黑天 1 面 2 臂，右手高舉金剛鉞刀，左手當胸持盛滿鮮血的顛鉢，以右腿屈左腿伸的展立姿站立，此種大黑天稱為「持鉞刀黑天」(mGon po gri gug)。依據儀軌，牠三目圓瞪、「露出獠牙，舌頭捲曲，鬚髮、眼眉皆豎直向上」，「身材矮壯、肚腹廣大、四肢強而有力，頭戴五骷髏冠，脖子垂掛五十顆新鮮人頭串成的項鍊，著虎皮裙」。

此尊鑲金飽滿，瓔珞嵌滿各色寶石，極為華麗，屬西藏中部

	<p>山南地區丹薩替 (gDan sa mthil) 寺的風格。該寺 1158 年由噶舉派帕木竹巴·多吉賈波 (Phag mo gru pa rDo rje rgyal po, 1110-1170) 所建，13 世紀初由當地朗 (rLangs) 氏豪族任住持，並受蒙古王子旭烈兀 (Hülegü, 1217-1265, 忽必烈之弟) 的護持，14 世紀中朗氏政權更擊敗薩迦 (Sa skyas)，取代後者在西藏的地位，盛極一時。(鍾子寅)</p>
<p>098.杜爾噶 斫殺魔牛</p>	<p>Durgā Mahiṣāsuramardinī, 印度東北部或孟加拉，帕拉王朝 (750-1199)，西元 12 世紀，紅銅，殘鑿金痕，高 38.5 公分，購銅 000224。</p> <p>杜爾噶為梵文「難以靠近」之意思，為濕婆 (Śiva) 配偶帕爾瓦提 (Pārvatī) 之忿怒相，是印度教性力派最重要的崇拜對象。該派認為「Śakti」(宇宙不可知的力量) 即宇宙的本源「梵」(Brahma)。依據不同經典，其有 8 臂、10 臂、16 臂、18 臂等多種。</p> <p>此件描繪杜爾噶斫殺魔牛阿修羅的故事。當後者肆虐三界時，眾神被迫聚集喚起「Śakti」，後化現為女神杜爾噶，眾神並紛紛賜予她兵器；經過艱苦戰鬥後，杜爾噶斫殺了摩牛。此件杜爾噶 10 臂，造像描繪牛頭已被斫下於台座上，但從魔牛頸部現出阿修羅。杜爾噶右腿立於座騎獅子背上，左腿踩踏魔牛身驅，兩主臂一手拉住阿修羅，一手將三叉戟刺入其身驅，其餘各臂持劍、箭、杵、羂索、盾、弓、斧、刺象棒。</p> <p>多折角的台座、背後華麗的舟形背光以簡化為鋸齒狀的火焰紋裝飾，為帕拉王朝 (Pāla, 750-1199) 晚期造像的特徵。整體動態感與力度十足，展現恢弘的氣勢。(鍾子寅)</p>

2.5.3 App 內容

- 資料庫篩選及距離方向導航



圖 2.59 App 介面圖

圖 2.59 中上方的西半及東半佛教廳代表佛教廳內東西兩邊分別之四個不同展物，用以過濾資料庫加速辨識速度，將來若需辨識之展物繁多時，即可大幅降低運算時間；中央為目前正在導引之目標展物，右方地圖圖示可點擊進入該頁面顯示遊客之軌跡，左下方為開啟擴增實境之按鍵，中央下方之箭頭指向目標展物，右下方則顯示離展物的距離，其中指向目標展物之箭頭旋轉角度如式(2.21)所示，因此不論使用者如何轉動行動裝置，該箭頭皆可指向目標展物的方向。同樣地，遊客與目標展物之距離如式(2.22)所示，當遊客與目標展物距離小於 1 公尺時，App 介面會顯示「到達」。

$$\tan^{-1} \left(\frac{\text{目標展物}y\text{坐標} - \text{遊客}y\text{坐標}}{\text{目標展物}x\text{坐標} - \text{遊客}x\text{坐標}} \right) + \text{遊客當前方向角} \quad (2.21)$$

$$\sqrt{(\text{目標展物}x\text{坐標} - \text{遊客}x\text{坐標})^2 + (\text{目標展物}y\text{坐標} - \text{遊客}y\text{坐標})^2} \quad (2.22)$$

地圖軌跡

本 App 擁有記錄遊客軌跡之功能，能將遊客軌跡展示於地圖中，如圖 2.60 所示，紅線即為行走軌跡。方法是利用 Beacon 與 PDR 定位之坐標、以及透過影像辨識定位之坐標從 LLF 坐標系統轉至 Image 坐標系統後存至資料結構的 List 裡，當按下地圖按鍵時即會打開地圖，並將遊客軌跡從 List 中取出，每個點為 50x50 像元大小之方框，而一個像元在空間中之距離為 5 公分，因此此方框在空

間中之距離為 2.5 公尺*2.5 公尺。當按下清除鍵時則清空 List，也就是將儲存之軌跡資料清空，地圖上即會回復成原本的樣貌。

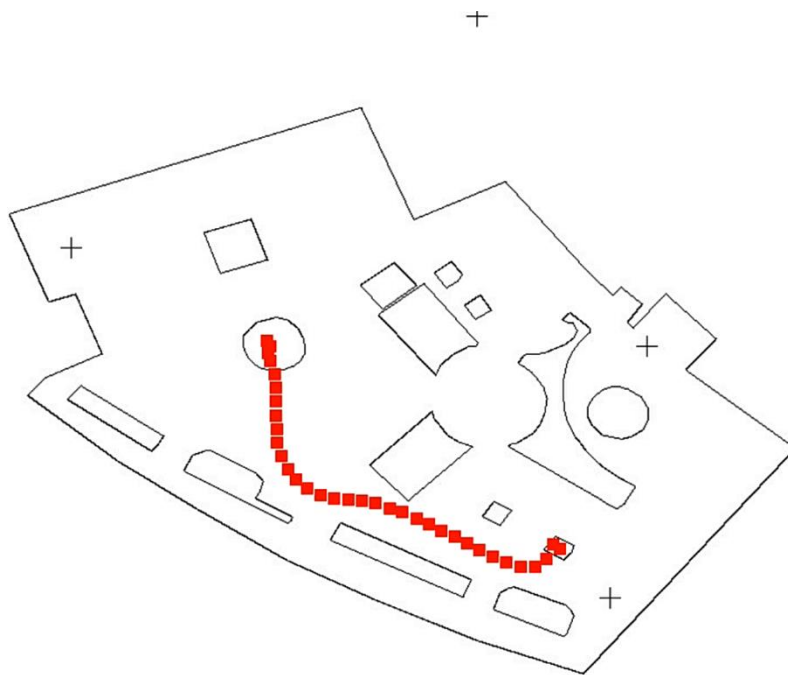


圖 2.60 使用者行走路徑圖

資料庫過濾

我們藉由展物選單中東西半部及相對應之資料庫進行資料庫過濾，目的是了解遊客想看哪些展物，並過濾保留此區域中之展物，也就是只啟用此區域之資料庫，如此即可加速特徵值辨識速率，使遊客有更好的體驗。圖 2.61 為此技術之程式碼，利用 GetDataSets() 抓取本 App 所有資料庫，目前分別為東部和西部佛教廳，之後根據遊客選的選項，決定要啟用 (ActivateDataSet(ads)) 和停止 (DeactivateDataSet) 的資料庫分別是哪部份展廳之資料。

```

IEnumerable<DataSet> dataSets = objectTracker.GetDataSets();
objectTracker.DeactivateDataSet(ads);
objectTracker.ActivateDataSet(ads);
    
```

圖 2.61 資料庫過濾程式碼

2.6 本章小結

依前述工作項目之重點，本團隊將進行基於可攜式光達室內製圖系統產製公尺級室內平面圖之技術，並持續研發優化應用本團隊產製之公尺級室內外聯合導航圖資(含興趣點)的室內定位系統。該移動定位系統最終將適用車載與行人模式、室內與室外等多情境應用場景。在室內場景以自製圖資輔助定位，提升使

用者使用移動裝置進行導航服務的精度。同時，本年度發展室內災害的人流導引應用相關功能，包含自動化產製路網向量圖應用於導引服務與移動裝置之擴增實境導引功能。此外，去年度臺南市東南地政事務所進行部分技術的測試與驗證，並試辦適地性服務，例如路線導引等等，今年度適地性服務試辦區為與故宮南院合作，接續去年發展的擴增實境(Augmented Reality, AR)加上藍芽做擴增導引的應用。

對於「**研發公尺級低成本之可攜式光達室內製圖系統**」之工作項目，已完成本系系館完成酬載測試與相關感測器驗證。故本技術已能透過現有的低成本光達配合不同載體，產製精準比例之室內圖資。透過此一技術，可以彌補去年度受沒有圖資的限制無法到達部分場地進行測繪之缺失。此外，今年度也完成搭配可攜式之低成本光達室內製圖系統完善本技術，透過控制點，提升整體圖資精度，提高效率與精準度，也利用本系系館完成精度驗證。

對於「**研發室內定位技術在室內災害的人流導引應用**」之工作項目，已完成災害人流導引定位演算法，利用匹配方法進行計算，可將每位遊客分配至相對應的出口，使遊客依循此結果導引至出口，以避免發生推擠的問題，實驗使用停車位分配情境之資料進行分析評估。

對於「**深度類神經網路增強室內外定位與製圖之整合方案**」之工作項目，本團隊以文獻回顧之方式探討 Posenet、Detectron、ORB-SLAM 之類神經網路，說明其類神經網路之特點、優勢以及對室內外製圖系統之輔助功能。為了實行 Posenet 之 CNN 程式在本地之室內環境的精度測試，今年度利用室內移動製圖平台收集相關環境之數據庫，並使用此程式加以測試姿態誤差精度。今年度實驗場有地下停車場及適地性服務試辦區之故宮南院，地下停車場環境單調且大多無紋理，而故宮南院環境之光線昏暗，對於類神經網路而言具有很大挑戰性。地下停車場之部分，實驗部分訓練樣本 40,020 張影像，測試樣本 95,220 張影像，其實驗結果位置精度約 3 公尺，方向精度約 6 度。故宮南院之部分，訓練樣本 36,660 張影像，測試樣本 9,204 張影像，其實驗結果位置精度約 2.5 公尺，方向精度約 5 度。

對於「**研發藍芽(低功耗)差分演算法，提升交會定位之精準度**」之工作項目，為了強化本團隊去年發展之行動室內定位系統與演算法(慣性、藍牙與地圖輔助)，今年度研發藍芽(低功耗)差分演算法。此方法之優勢為不需要花費太多時間及人力成本，透過差分的方式降低環境因子所造成之訊號衰減誤差。成果顯示所提出之距離差分法確實有提升定位精度之效果。本團隊更進一步加入不等權平差進行評估，所有環境因子融合為一距離改正數，一併消除或降低此誤差，以提升定位精度。

對於「**建置移動裝置端之空間資訊系統應用於適地性服務**」之工作項目，今年度與故宮南院合作，選定其作為實驗場辦理適地性服務，已完成建置一個擴增

導覽 App，包含了使用 Beacon 藍牙結合 PDR 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。

第參章、發展地籍測量移動製圖技術

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 GPS 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。移動製圖技術可整合 GPS 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 GPS 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。

應用本團隊於 101-106 年執行內政部「多平台製圖技術工作案」之成果，持續進行人員攜帶式(Portable)移動製圖技術之發展，目前已研發出一套可攜式環景影像測繪系統(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 8 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，進而發展出 SPI 之測繪軟體系統，以方便處理、觀測並解算。

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。

本案針對地籍測量作業的應用，發展可攜式移動製圖技術的實施方法及規劃流程，並設計一套介面簡潔，方便使用者操作的 SPI 之測繪軟體系統，期許未來輔助應用於地籍測量作業。除此之外，針對移動製圖技術發展之相關新式儀器，例如地面光達與新式全站儀等儀器，亦評估其應用至地籍測量作業之優缺點，並分析相關之成本效益。

3.1 評估地面光達、環景影像及新型全測站等新式移動製圖技術於地籍測量作業之優缺點，並整理成報告

本團隊於 105 年度發展一套可攜式環景影像測繪系統(Portable Panoramic Image Mapping System, PPIMS)，並於 106 年度嘗試以 PPIMS 輔助於地籍測量之應用，乃考量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；此外影像可以完整記錄當時的現地情形，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，不受到專業測量知識的限制。

除本團隊自行開發之可攜式環景影像測繪系統，如圖 3.1 所示(相關細節詳見 3.2 小節)之外，亦有其他移動測繪技術發展之儀器，例如地面光達與新式全站儀。地面光達以 RIEGL VZ-400 為例，如圖 3.2 所示，其可水平 360 度以雷射掃描儀掃描景物，得到具三維相對坐標之點雲，透過控制點即可解算至絕對坐標，若搭載 GNSS 接收儀進一步觀測與定位，依據直接地理定位之原理原則，點雲坐標亦可轉換至絕對坐標，若搭配相機拍攝影像，透過軟體將影像像點對應至相對之光達掃描點，可使點雲色彩與真實世界一致。新式全站儀以 Trimble SX10 為例(實際操作影片可參考 Trimble 官方宣傳短片：<https://www.youtube.com/watch?v=FfYUReTLrsM>)，如圖 3.3 所示，其結合全站儀、雷射掃描儀與相機，操作視窗可顯示相機當前之拍攝畫面，可直接觀看並瞄準特定特徵點進行量測，相較傳統全站儀較為便利簡易，亦可透過雷射掃描儀水平 360 度掃描周邊環境。本案比較上述移動製圖技術相關系統之優缺點，針對地籍測量之應用進行完整之評估，亦針對上述提及之作業方式之成本效益來分析比較。



圖 3.1 可攜式環景影像測繪系統



圖 3.2 地面光達-RIEGL VZ-400



圖 3.3 新式全站儀- Trimble SX10

上述之移動測繪系統之規格分別如表 3.1-3.3 所示，列出其型號與儀器相關規格。

表 3.1 可攜式全景影像測繪系統相關規格

單台相機規格	型號	Sony A5100
	解析度	2400 萬畫素
	焦距	16 mm
	像元大小	0.0039 mm
	視場角	80° × 53°
整套系統約略價格		75 萬新臺幣(含 e-GNSS 接收儀)
整套系統約略重量		7.5 kg(含 e-GNSS 接收儀)

表 3.2 地面光達相關規格

雷射掃描儀規格	型號	RIEGL VZ-400
	最遠/最短距離	600/1.5m
	觀測速率	42000 觀測量/秒
	視場角	100° × 360°
整套系統約略價格		480 萬新臺幣
整套系統約略重量		10 kg

表 3.3 新式全站儀相關規格

雷射掃描儀規格	型號	Trimble SX10
	最遠/最短距離	600/0.9m
	觀測速率	26600 觀測量/秒
	視場角	300° × 360°
相機規格	解析度	500 畫素
	焦距	36-3000 mm
	視場角	57.5° × 43.0°
整套系統約略價格		新臺幣售價未定(瑞典售價約 178 萬新臺幣： http://insidegnss.com/trimble-rolls-out-sx10-scanning-total-station)
整套系統約略重量		10 kg

依據成本效益與重量輕便而言，可攜式全景影像系統是三者中最佳的。雖然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，但針對地籍測量目前實務上是較不需要的，此外，地籍點位於地面上是較難以光達掃描的，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 3.4 所示，可架設於地籍點上，拍攝時可依測站方向旋轉標面，使相機能完整記錄，提供後續內業量測。而新式掃描儀結合多種感測器具有更多功能，且平板於實務操作上是相當直覺便利的，可透過影像輔助全站儀量測地物點，然考量其成本，於目前推廣地籍測量上較難普

及化，其中相機僅 500 萬畫素，提供平板瀏覽現況雖相當足夠，但較難利用其影像進行高精度之近景攝影測量。綜合上述之分析，簡列為表 3.4 以供參考閱讀。未來若有實際儀器可使用，後續作業則可找尋一小區域作為施測實驗，比較三者實際內外業的流程差異與便利性。

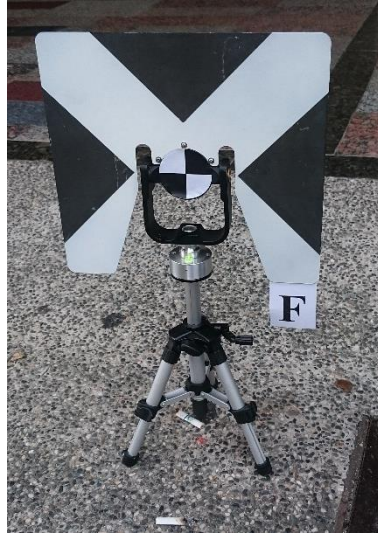


圖 3.4 量測輔助標-實地擺設於地籍點

表 3.4 相關移動測繪儀器於地籍測量之評估簡表

儀器類型	評估分析
可攜式全景影像測繪系統	優點：全景可記錄當時環境，且未來有爭議可重新量測地籍點。此外成本效益與重量是三者中最佳的。
	缺點：較拍攝到位於地面的地籍點位置(本團隊設計量測輔助標來解決此問題)。
地面光達	優點：可掃描周遭環境，建立三維模型，提供後續內業量測地物點坐標。
	缺點：較難精準掃描至位於地面的地籍點位置。
新式全站儀	優點：提供影像輔助方便檢視地物點位置，其可提供全站儀觀測，此外光達亦可掃描而建立三維點雲。
	缺點：影像解析度無法進行高精度之攝影測量。此外價錢過高推廣不易。

3.2 應用移動製圖技術精進地籍測量作業，並規劃移動製圖技術納入地籍測量作業相關流程及準則

本團隊研發之 PPIMS 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，平台上設置同時曝光機制，使得 8 幅同時成像的影像可構成環場全景影像，如圖 3.5 (a)所示。平台上可設置 GNSS 天線，以獲得曝光時之平台中心位置，如圖 3.5 (b)所示。PPIMS 目前使用的相機設備為 SONY NEX-5N，單台相機的解析度高達 1600 萬畫素。

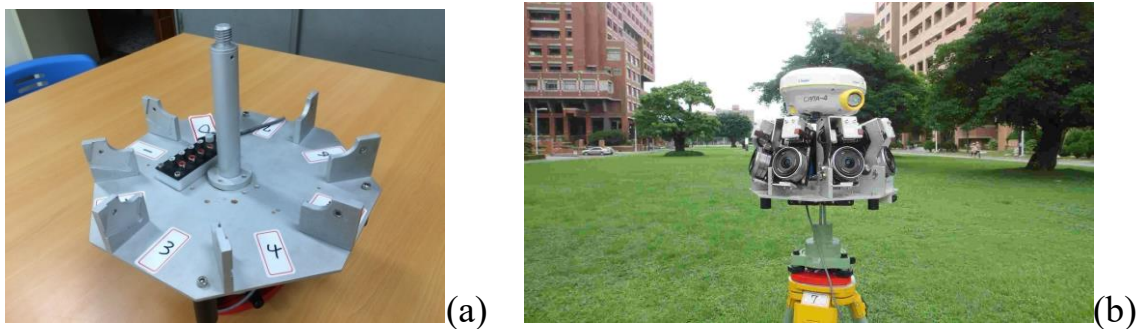


圖 3.5 可攜式環景影像測繪系統的(a)特製平台及(b)外觀

經過內方位及系統率定的 PPIMS，只要能夠解算每個測站的平台方位，即可計算得每張影像的外方位元素。實務上可利用多測站的連結關係解算平台方位，假使每個測站 GNSS 訊號皆接收完善，則可不加入控制點，只要能在不同測站的重疊影像量取足夠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，若測站 GNSS 訊號接收不足，則得加入控制點於光束法平差模型中同步解算。亦即可應用兩張影像的前方交會獲得物空間點位三維坐標。若透過多張不同測站的影像交會，將可獲得更高精度且更可靠的點位坐標。此外，測站的擺放位置與平差解算之精度亦有相關，除了考量各測站對於待求解的地物點之交會角度之外，亦須考量彼此是否有共同的連結點，目的使各測站之間能同時拍攝到最多共同的景物，後續選擇連結點時較為容易，並且增加多餘觀測數，有益於整體光束法平差之解算。

然而，PPIMS 每架設一站觀測，即同時拍攝多張影像。當一個測量場景架設了多個測站後，很快就產生大量的影像，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。為解決此一難題，本團隊已於 105 年度研發將同一測站的多張影像合併為 SPI，依此 SPI 進行後續的影像量度與多測站平差。

應用本團隊研發的 PPIMS 於測繪工作，其工作步驟皆包含率定、外方位解算及測繪，整體流程如圖 3.6 所示。

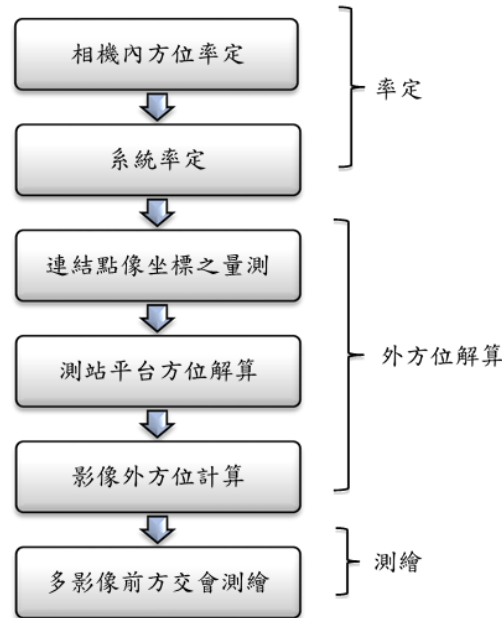


圖 3.6 應用 PPIMS 進行測繪之整體工作流程圖

PPIMS 必須先經過系統率定，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。單台相機的內方位是透過一個布滿人造標並且可旋轉的圓盤進行率定，如圖 3.7 (a)所示，利用不同高度的木柱與 Australis 編碼過之人造標，以產生三度空間率定場，提高焦距率定之精度。平台系統率定則是應用一個四周布滿標點的室內率定場(如圖 3.7 (b)所示)，求得平台與 8 部相機之相對位置及方位關係。

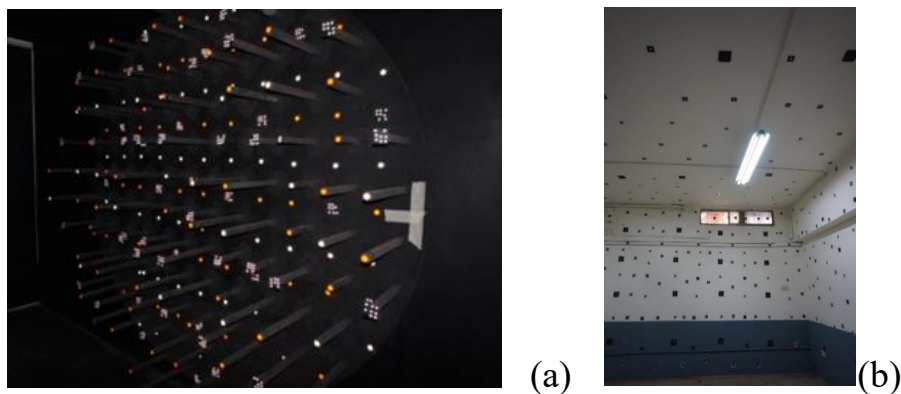


圖 3.7 (a)相機內方位率定之可旋轉且布滿人造標的圓盤 (b) PPIMS 相對方位室內率定場

經過系統率定得到相機間之相對方位關係後，便可應用準確的相對關係來產生 SPI。SPI 的定義是成像面為球面，投影中心為球心，地物點投影至球面經過球心，形成共線關係(Collinearity)，如圖 3.8 (a)為 SPI 示意圖，將 SPI 展開之平面影像如圖 3.8 (b)所示。如此每個測站只產生一張 SPI，觀測者在 SPI 上找尋共軛像點進行量度將更為方便。

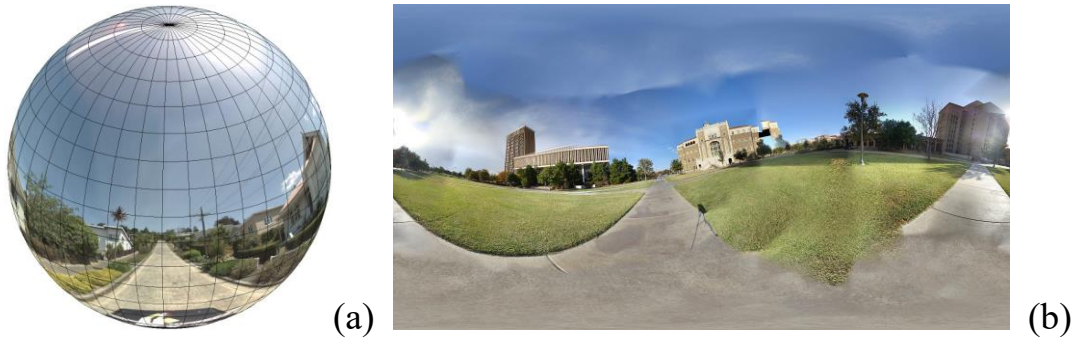


圖 3.8 (a)球形環景影像及其(b)展開之平面影像

目前有許多方法能將多張影像拼接成環景影像，如利用影像的多尺度特徵或模板之匹配來拼接，雖然拼接成的環景影像視覺上沒有接縫，然而影像和物空間的幾何關係已遭更動，即環景影像不再具備有共同投影中心的幾何關係，亦即投影中心、像點、及物點的共線條件(Collinearity Condition)關係已被更動。本團隊應用 PPIMS 準確的相機相對關係，將八張影像拼接為一張 SPI，其形成的概念為中心投影，將相機拍得的原始影像投影至指定半徑大小的球上，經過系統率定之後，每個 SPI 像元能對應到原始影像的像點，透過雙線性重新取樣來決定像元顏色。影像重疊區則根據像元到鄰近影像的像主點距離判斷，選擇與像主點距離較近的像元顏色。將 SPI 影像上的各像元逐次計算，便可將系統所獲取的八張影像拼接為一球形環景影像。此種 SPI 雖然視覺上有接縫(如圖 3.9 所示)，但相機間的幾何關係能夠維持，如此才能讓 SPI 的像元恢復共線條件。



圖 3.9 應用 PPIMS 的相機相對關係形成球形環景影像

假設我們有理想的 SPI，即 SPI 像元能夠從球心直接投射到對應的物點上，因此若 SPI 的外方位為已知，如同一般攝影測量多影像前方交會方式，可透過相機、SPI 像元與對應物點的共線關係以及 SPI 之間的交會關係解算物空間點位坐標(如圖 3.10 所示)，因此可應用 SPI 於製圖。

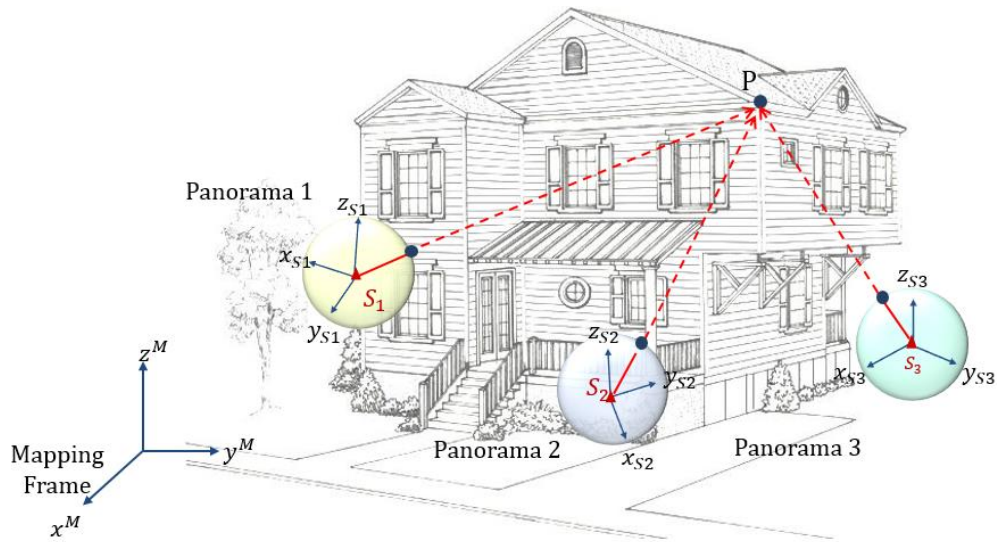


圖 3.10 透過 SPI 的交會關係解算物空間點位坐標

去年度本團隊察覺，由於目前 PPIMS 硬體設計之限制，相機得以螺絲穩固至平台上，然而每次拍照完後，必須將相機拆除才可讀取影像，因此系統率定完後，亦得拆除相機讀取影像來解算相對方位，因此每次拆除後再重新安裝相機至平台上，整體相對關係將會有些許變動，使得系統率定成果無法完全符合每次觀測平台擺設之實際情形，影響後續點位交會計算之成果。表 3.5-3.6 為 PPIMS 歷次系統率定解算成果之比較，可觀察出在 lever Arm 的差異極小，皆不超過 0.01m，然而 Boresight Angle 的差值至多卻可能差至 2 度以上，假設相機的角度偏移 30 秒，則 20 公尺處的物點，將偏移約 17 公分，隨著距離此偏移量將更顯著。因此系統率定之差值明顯影響前方教會之定位成果。

表 3.5 歷次 PPIMS 系統方位率定差值(2nd-1st)

系統率定	相機編號	1 st			2 nd			差值 (2 nd -1 st)		
Lever Arm (m)	1	-0.1044	0.1042	-0.0888	-0.0986	0.1016	-0.0877	0.0058	-0.0026	0.0011
	2	-0.1454	-0.0010	-0.0898	-0.1461	0.0008	-0.0884	-0.0007	0.0018	0.0014
	3	-0.1033	-0.1037	-0.0915	-0.1045	-0.1024	-0.0918	-0.0012	0.0013	-0.0003
	4	0.0020	-0.1474	-0.0915	-0.0016	-0.1455	-0.0903	-0.0036	0.0019	0.0012
	5	0.1050	-0.1024	-0.0920	0.0984	-0.1019	-0.0880	-0.0066	0.0005	0.004
	6	0.1458	0.0027	-0.0904	0.1498	-0.0015	-0.0908	0.004	-0.0042	-0.0004
	7	0.1029	0.1073	-0.0875	0.1072	0.1077	-0.0907	0.0043	0.0004	-0.0032
	8	-0.0016	0.1478	-0.0882	0.0006	0.1431	-0.0893	0.0022	-0.0047	-0.0011
Boresight Angle (°)	1	358.3908	110.0013	226.4503	358.9042	109.9123	226.1239	0.5134	-0.0890	-0.3264
	2	357.3399	109.6958	181.4646	358.0324	110.0280	180.8894	0.6925	0.3322	-0.5752
	3	358.4154	108.7482	136.6172	358.7032	109.0705	136.5777	0.2878	0.3223	-0.0395
	4	358.234	108.3622	91.78216	357.8469	108.8030	92.4257	-0.3871	0.4408	0.6435
	5	1.11729	109.3534	44.33319	358.8649	109.8249	45.1540	-2.2524	0.4715	0.8208
	6	2.21665	109.5643	357.9426	1.7303	110.2051	358.3243	-0.4864	0.6408	0.3817
	7	1.84308	110.1947	312.985	1.0322	110.0718	313.7749	-0.8109	-0.1229	0.7899
	8	0	110	270	0	110	270			

表 3.6 歷次 PPIMS 系統方位率定差值(3rd-2nd)

系統率定	相機編號	2 nd			3 rd			差值 (3 rd -2 nd)		
Lever Arm (m)	1	-0.0986	0.1016	-0.0877	-0.0965	0.1017	-0.0896	-0.0021	-0.0001	0.0019
	2	-0.1461	0.0008	-0.0884	-0.1453	0.0021	-0.0905	-0.0008	-0.0013	0.0021
	3	-0.1045	-0.1024	-0.0918	-0.1050	-0.1021	-0.0937	0.0005	-0.0003	0.0019
	4	-0.0016	-0.1455	-0.0903	0.0019	-0.1517	-0.0958	-0.0035	0.0062	0.0055
	5	0.0984	-0.1019	-0.088	0.0982	-0.1041	-0.0896	0.0002	0.0022	0.0016
	6	0.1498	-0.0015	-0.0908	0.1462	-0.0023	-0.0907	0.0036	0.0008	-0.0001
	7	0.1072	0.1077	-0.0907	0.1078	0.1071	-0.0926	-0.0006	0.0006	0.0019
	8	0.0006	0.1431	-0.0893	0.0051	0.1425	-0.0886	-0.0045	0.0006	-0.0007
Boresight Angle (°)	1	-1.0958	109.9123	226.1239	-0.8652	109.4978	226.0600	-0.2306	0.4145	0.0640
	2	-1.9676	110.0280	180.8894	-0.2584	109.8292	180.1320	-1.7092	0.1988	0.7575
	3	-1.2968	109.0705	136.5777	0.0605	109.0724	135.5507	-1.3573	-0.0019	1.0270
	4	-2.1531	108.8030	92.4257	-2.8386	108.9608	92.6564	0.6855	-0.1578	-0.2307
	5	-1.1351	109.8249	45.1540	-0.5295	109.8352	46.0271	-0.6056	-0.0103	-0.8731
	6	1.7303	110.2051	-1.6757	-0.5786	109.9843	0.1291	2.3089	0.2208	-1.8048
	7	1.0322	110.0718	313.7749	0.0300	110.0384	314.9899	1.0022	0.0334	-1.2150
	8	0	110	270	0	110	270			

為解決此問題，本團隊今年度發展新一代 PPIMS(以下簡稱新 PPIMS)，改善上述硬體之設計，拍完照可直接取出記憶卡，不須再拆除相機，如圖 3.11 (a)所示。除此之外針對快門同步亦進行改善，將原先紅外線感應改以快門線直接觸發，拍照時更加穩定與快速。相機採用 Sony A5100，解析度亦獲得提升，由先前 1600 萬畫素晉升為 2400 萬畫素。新 PPIMS 與先前設計概念相同，同樣可裝載 GNSS 天線，並裝置於三角架上觀測，整體外觀如圖 3.11 (b)所示

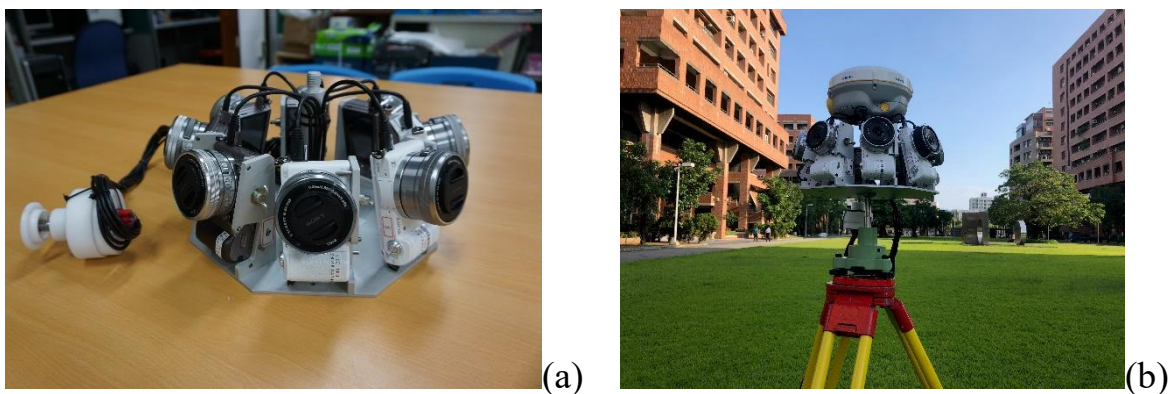


圖 3.11 (a)新 PPIMS 之平台硬體設計 (b)新 PPIMS 整體外觀

本團隊針對新 PPIMS 進行兩次的系統率定，表 3.7 為新 PPIMS 歷次系統率定解算成果之比較，可觀察出在 Lever Arm 的差異極小，幾乎不超過 0.001m，Boresight Angle 的差值亦不顯著，至多僅差至 0.07 度，於原先 PPIMS 相比，歷次系統率定成果相當穩定。

表 3.7 歷次新 PPIMS 系統方位率定差值(2nd-1st)

系統率定	相機編號	1 st			2 nd			差值 (2 nd -1 st)		
Lever Arm (m)	1	-0.1054	0.1038	-0.0607	-0.1057	0.1041	-0.0595	-0.0003	0.0003	0.0012
	2	-0.1487	-0.0015	-0.0604	-0.1491	-0.0012	-0.0593	-0.0004	0.0003	0.0011
	3	-0.1041	-0.1065	-0.0597	-0.1045	-0.106	-0.059	-0.0004	0.0005	0.0007
	4	0.0014	-0.1486	-0.0597	0.0011	-0.1488	-0.0584	-0.0003	-0.0002	0.0013
	5	0.1062	-0.105	-0.0594	0.1057	-0.1046	-0.0584	-0.0005	0.0004	0.0010
	6	0.1487	0.0002	-0.059	0.1478	0.0006	-0.0581	-0.0009	0.0004	0.0009
	7	0.1067	0.1033	-0.0608	0.1063	0.1036	-0.0596	-0.0004	0.0003	0.0012
	8	-0.0011	0.1485	-0.0596	-0.0015	0.1488	-0.0585	-0.0004	0.0003	0.0011
Boresight Angle (°)	1	-1.31024	255.14488	43.98956	-1.31099	255.15699	43.98178	-0.00075	0.01211	-0.00778
	2	-0.99310	255.16427	358.60898	-1.00885	255.16222	358.58846	-0.01575	-0.00205	-0.02052
	3	-0.28107	255.27360	314.67323	-0.22937	255.26663	314.69468	0.05170	-0.00697	0.02145
	4	-1.49789	254.69018	268.13183	-1.46055	254.75109	268.13898	0.03734	0.06091	0.00715
	5	-0.77010	254.94399	224.05871	-0.77424	254.95843	224.05513	-0.00414	0.01444	-0.00358
	6	-1.66011	254.65542	178.63825	-1.63474	254.66625	178.60281	0.02537	0.01083	-0.03544
	7	-8.19041	254.97248	127.15854	-8.25473	254.98577	127.08378	-0.06432	0.01329	-0.07476
	8	0	255	90	0	255	90			

除此之外，本團隊亦於成大測量系館一樓實驗場(如圖 3.12 (a)所示)，針對兩代 PPIMS 進行觀測，兩者皆架設於相同之位置，以及使用同樣之控制點、連結點與檢核點給予驗證，整體點位之平面分佈如圖 3.12 (b)所示。總計架設 8 個測站、使用 7 個控制點、27 個連結點與 20 個檢核點。表 3.8 為兩代 PPIMS 室內實驗場檢核成果。然而為避免拆除相機造成系統率定無法穩固之影響，原始 PPIMS 先至率定場觀測後便立即至實驗場，待拍攝完成後才拆除相機，因此確保該組率定參數應用至一樓實驗場是穩定適用的。

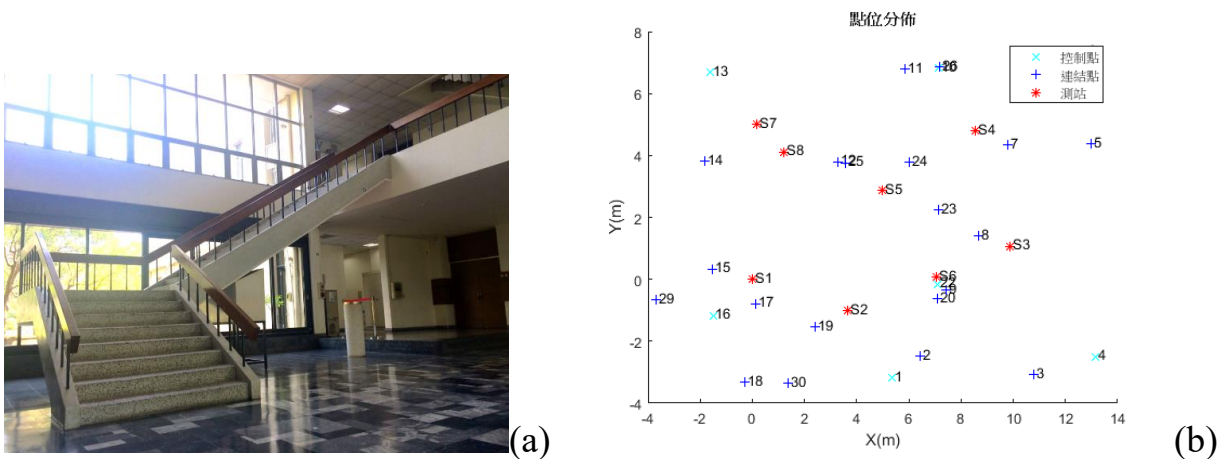


圖 3.12 (a)系館一樓實驗場 (b)室內實驗場點位分佈圖

表 3.8 兩代 PPIMS 室內實驗場檢核成果

	原始 PPIMS			新一代 PPIMS		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
平均誤差	-0.002	-0.002	0.005	0.000	-0.001	0.000
均方根誤差	±0.011	±0.007	±0.012	±0.005	±0.005	±0.004

單位：公尺

由上表可得知新 PPIMS 其 X、Y 與 Z 三方向之平均誤差趨近於 0，且均方根誤差不超過 0.005m，比原始 PPIMS 之驗證成果更加理想。因此本年度適地性服務案例之相關實驗，乃以新 PPIMS 來施測。

本團隊亦將新 PPIMS 至自強校區之室外實驗場(如圖 3.13 (a)所示)進行驗證，整體點位之平面分佈如圖 3.13 (b)所示。總計架設 5 個測站、使用 5 個控制點、17 個連結點與 12 個檢核點。表 3.9 為兩代 PPIMS 室外實驗場檢核成果。除以原始觀測量進行光束法平差解算之外，亦移除交會幾何不佳之觀測量，另外進行平差解算。

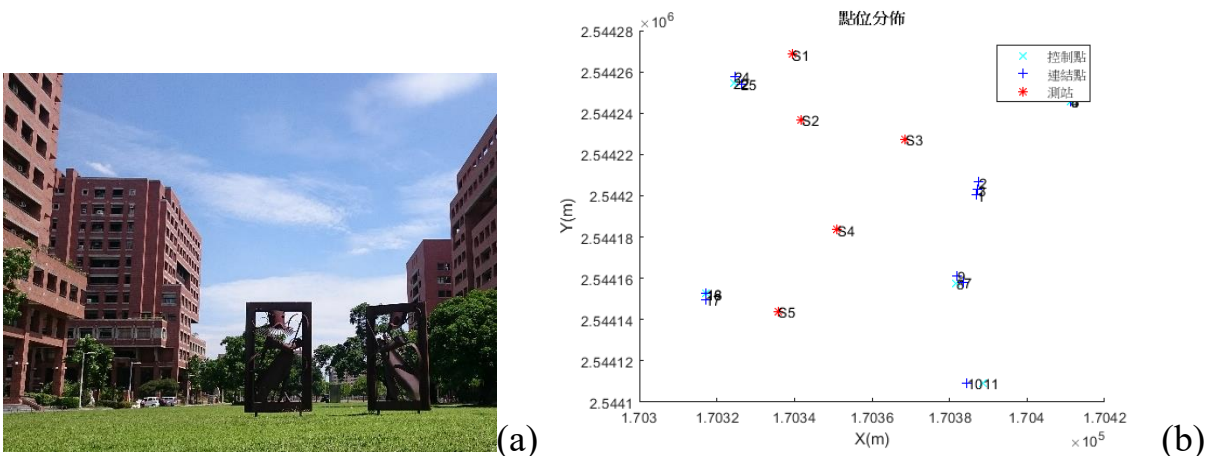


圖 3.13 (a) 自強校區之室外實驗場 (b)室外實驗場點位分佈圖

表 3.9 新 PPIMS 室外實驗場檢核成果

	原始觀測量			移除交會幾何不佳之觀測量		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
平均誤差	-0.0035	0.032	0.014	-0.002	0.032	-0.007
均方根誤差	±0.092	±0.111	±0.061	±0.045	±0.053	±0.052

單位：公尺

由上表可得知原始觀測量其 X 與 Z 三方向之平均誤差皆小於 1 公分，而 Y 方向之平均誤差約為 3 公分，三方向之均方根誤約為 10 公分。在解算過程之中，本團隊觀察出角度交會角太小將導致交會定位成果精度變差，因此特別移除交會幾何不佳之觀測量(交會角度小於 10 度者均以移除)，再進行光束法平差。依據上表可觀察出均方根誤差有顯著降低，從 10 公分降為 5 公分左右。因此後續進行適地性服務案例之相關實驗，本團隊得注意相關測站與界址點之交會角度，避免該夾角過於狹小而使坐標解算之精度不佳。

本團隊已於 105-106 年度開發 PPIMS 其所有相關的應用程式，包括環景影像拼接、球形環景影像量測、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)，其操作介面如圖 3.14、圖 3.15 所示。使用者透過此系統介面將能展示、瀏覽並量測相關的影像，包括原始影像、SPI 及 SPI 投影影像，亦可透過人機互動介面量測點位獲得地物點的三維坐標，並將觀測結果儲存進行多測站平差後，將測站、控制點與連結點直接展示於地圖上。未來將持續進行 MAPS 之修改與測試，提升影像切換與瀏覽速度與像點量測便利性，期許藉由此套系統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 3.14 MAPS-「拼接」頁籤之操作介面



圖 3.15 MAPS-「量測」頁籤之操作介面

今年度本團隊亦新增兩項功能，皆位於「量測」頁籤上。如圖 3.16 所示，新增「匯出全景點圖」此功能選項，點擊後即可匯出所有測站標示連結點位置的球形全景影像，以其中一個測站為範例，如圖 3.17 所示。由此便可易於分析各測站連結點分布之幾何情況，考量僅為辨識與比較連結點座落，因此僅匯出儲存為原始球形全景影像的 10%解析度。

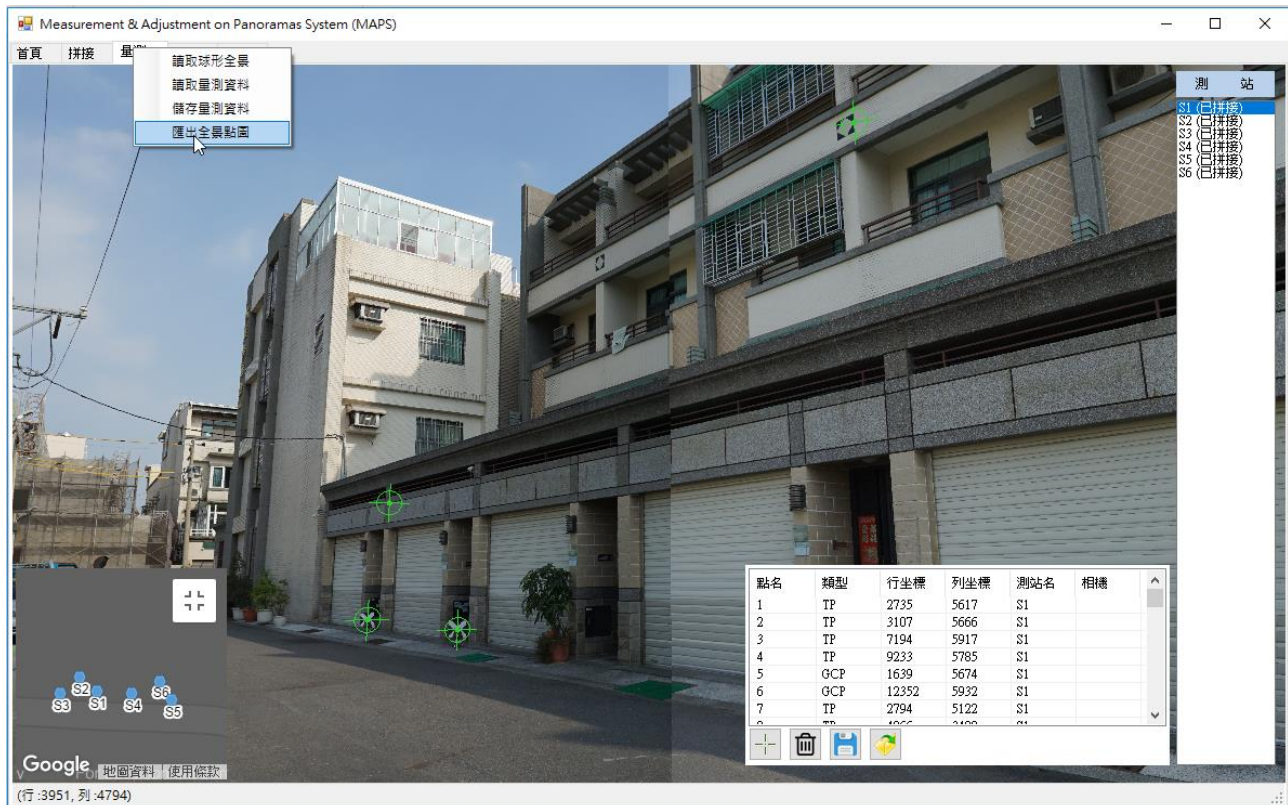


圖 3.16 新增「匯出全景點圖」功能



圖 3.17 連結點於該測站之分佈圖範例

考量使用者檢視連結點之便利性，因此新增另一小功能，以游標點擊右下小視窗之任一連結點，畫面將自動跳至其對應之連結點周遭影像，如圖 3.18 所示，該連結點之標示將從原本的綠色改顯示成紅色，以利辨識判讀。

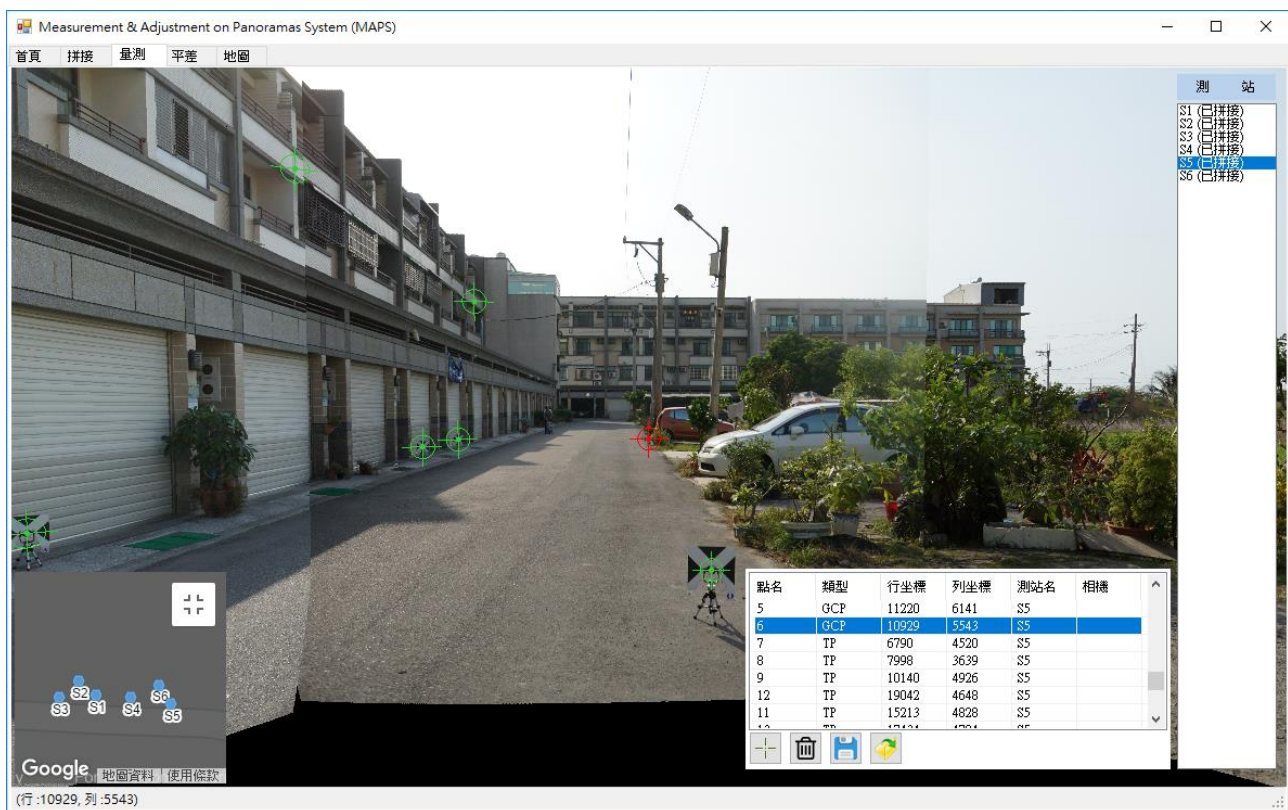


圖 3.18 新增小功能-點擊任一連結點，畫面自動跳至其對應之周遭影像

然而將本團隊所研發之移動製圖技術納入地籍測量作業，相當於將近景攝影測量技術引入地籍測量作業，參考地籍圖作業手冊之 202 地籍圖重測作業程序圖，期望透過此技術輔助應用至界址測量，然相關復丈作業之界址測量，亦可結合此移動製圖技術輔助應用。未來考量整體流程操作之方便性，結合部分地籍人員於外業僅操作 PPIMS 獲取環景影像，主要的測繪工作在於 MAPS 上影像的處理及測量。本團隊所規劃的輔助作業流程如圖 3.19 所示，其中測繪平台率定須於平台製作後進行，並需定期檢測，爾後每次作業引用率定參數即可。由於測繪平台本身可安裝 e-GNSS 接收儀，相當於每個測站都是控制點，不需額外進行控制測量，但若測區的遮蔽嚴重使得透空度不好，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。本案試辦案例將依據此規劃的作業流程進行，期許新技術能以此輔助地籍測量之實務作業。

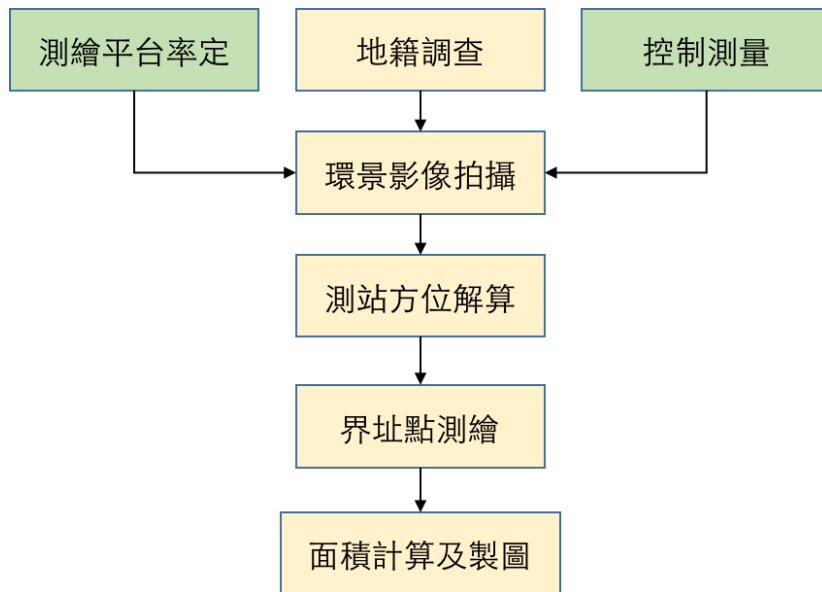


圖 3.19 移動製圖技術輔助於地籍測量作業之規劃流程

3.3 適地性服務案例試辦，試辦區之選定需經內政部同意

本案規劃試辦土地複丈與地籍調查等適地性服務，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。經過數次工作會議上內政部地政司與臺南市地政局之討論後，106 年選定臺南市中西區和意路與西門路一段交界、和意公園旁之區域為試辦區，其位置如圖 3.20 所示，地籍圖如圖 3.21 所示。區域範圍約為 100 m x 60 m，周圍包含道路、商家與住宅。本團隊於地政機關已辦竣重測區域進行技術驗證試辦，同時於各階段驗證事項邀集地政機關人員協助參與評估，本案未來仍將與臺南市政府積極溝通辦理實地重測作業流程試辦。



圖 3.20 測試區域位置圖



圖 3.21 測試區域地籍圖

此區域為 105 年度重測區，附近之控制點、界址點與地籍狀況剛整理完成，106 年度本團隊首先實地勘查地形，並以 GNSS 接收儀架設在現地控制點上定位，與已知坐標值相比作為檢核，如表 3.10 所示，由於控制點均鄰近於建物，透空度不盡理想，因此並非所有測試區域周圍的控制點均可定位測得坐標，然而測得之 e-GNSS 坐標量測值與現地控制點已知坐標之差值均顯示一致性的偏差量，表示現地控制點位置並無顯著變動，其中 E 方向平均差值為 0.150 公尺，N 方向平均差值為 -0.237 公尺。106 年度亦發現此測試區域透空情況不佳，受鄰近大樓影響而多處遮蔽，導致本系統接收 GNSS 訊號之情形並不理想。

表 3.10 現地控制點平面坐標檢核成果

點名	e-GNSS 量測		現地控制點		差值(量測-現地)	
	E	N	E	N	ΔE	ΔN
HI140-1	167827.910	2543275.580	167827.760	2543275.820	0.148	-0.240
HI141	167831.255	2543282.964	167831.100	2543283.190	0.152	-0.226
HI135	167805.967	2543285.982	167805.800	2543286.220	0.168	-0.239
HI136	167787.882	2543286.365	167787.737	2543286.596	0.145	-0.231
HI153	167930.167	2543266.862	167930.020	2543267.099	0.147	-0.237
HI154	167862.793	2543272.822	167862.651	2543273.069	0.142	-0.247
差值平均					0.150	-0.237

單位：公尺

本年度期初與內政部地政司及臺南市地政局討論過後，另外選定安南區重測區域做為測試區域。目的希望於建物遮蔽較少且透空較為良好之測試區域，可增加更多測站接收 GNSS 訊號解得坐標，驗證此系統於 GNSS 訊號接收良好時之量測精度，以進行適用性評估。本團隊已向臺南市地政局索取相關資料，包含界址點、控制點與地籍範圍等 SHP 檔，其展示如圖 3.22 所示，以及安南區地籍重測範圍，其套疊正射影像如圖 3.23 所示。歷經實地場勘，評估透空情形、架站之方便性與控制點分佈等條件後乃決定明確之測試區域。圖 3.24 為現地現存之界址點與控制點，由於許多區域界址點與控制點已經遺失，最後選定總安街一段 146 巷 105 弄為今年度服務案例試辦區域。此區域部分界址點之噴漆記號依舊存在，且透空良好，各測站通視情形亦相當理想。

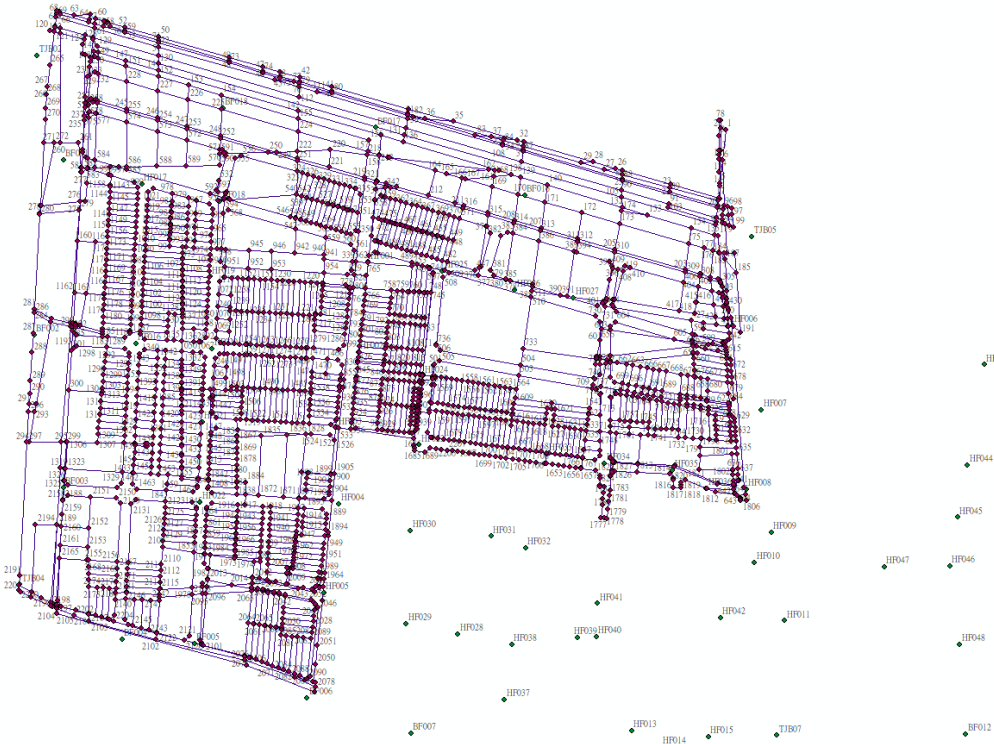


圖 3.22 界址點、控制點與地籍範圍之 SHP 檔之展示圖

106、107年度臺南市安南區擬辦地籍圖重測地區範圍圖



圖 3.23 安南區地籍重測範圍圖(正射影像)



圖 3.24 安南區測試區域-現地現存之界址點與控制點

本團隊使用新 PPIMS 至安南區測視區域，如圖 3.25 所示，進行驗證，整體點位之平面分佈如圖 3.26 所示。總計架設 6 個測站、使用 2 個控制點、14 個連結點與 4 個檢核點，由於檢核點為現地現存之界址點，因此僅有平面坐標。為比較控制點之影響，亦移除其約制條件進行解算，兩者檢核成果相互比較如表 3.11 所示。



圖 3.25 安南區之測試區域

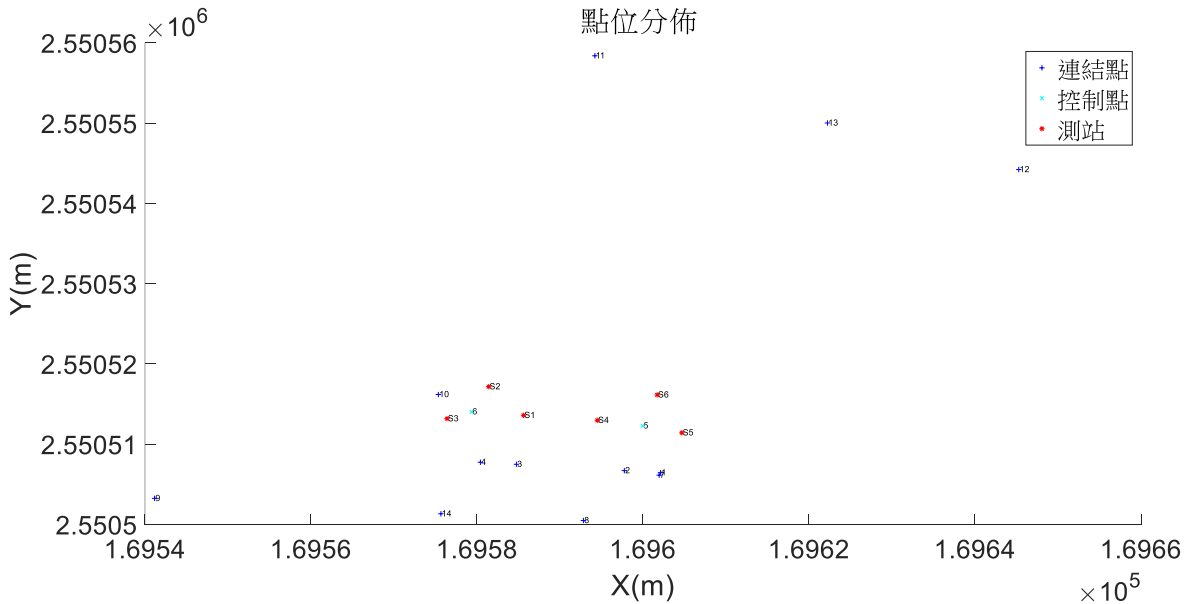


圖 3.26 測站、控制點與連結點分佈圖

表 3.11 安南測試區域檢核成果

		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		-0.003	-0.016	-0.006	-0.030
均方根誤差		±0.012	±0.017	±0.014	±0.030
界址點					
標準差	編號	X方向	Y方向	X方向	Y方向
	1212	±0.012	±0.018	±0.012	±0.018
	1215	±0.013	±0.015	±0.013	±0.015
	1222	±0.012	±0.015	±0.013	±0.015
	1224	±0.012	±0.015	±0.013	±0.016

單位：公尺

由上表可得知原始觀測量其 X 方向之平均誤差小於 1 公分，而 Y 方向之平均誤差小於 2 公分，兩方向之均方根誤皆小於 2 公分，解算成果相當理想。此外亦可觀察出移除控制點之約制後，X 與 Y 方向之平均誤差與均方根誤差皆變大，特別是在 Y 方向更是顯著。依此可證實加入控制點約制之重要性。

除以原始觀測量進行光束法平差解算之外，亦移除交會幾何較不理想之連結點觀測量，相關點位分佈圖如圖 3.27 所示，乃移除原先距離測站較遠(將近 50 公尺距離)之連結點，進行平差解算後，同樣檢視控制點之影響，移除其約制來

進行比較，檢核成果如表 3.12 所示。

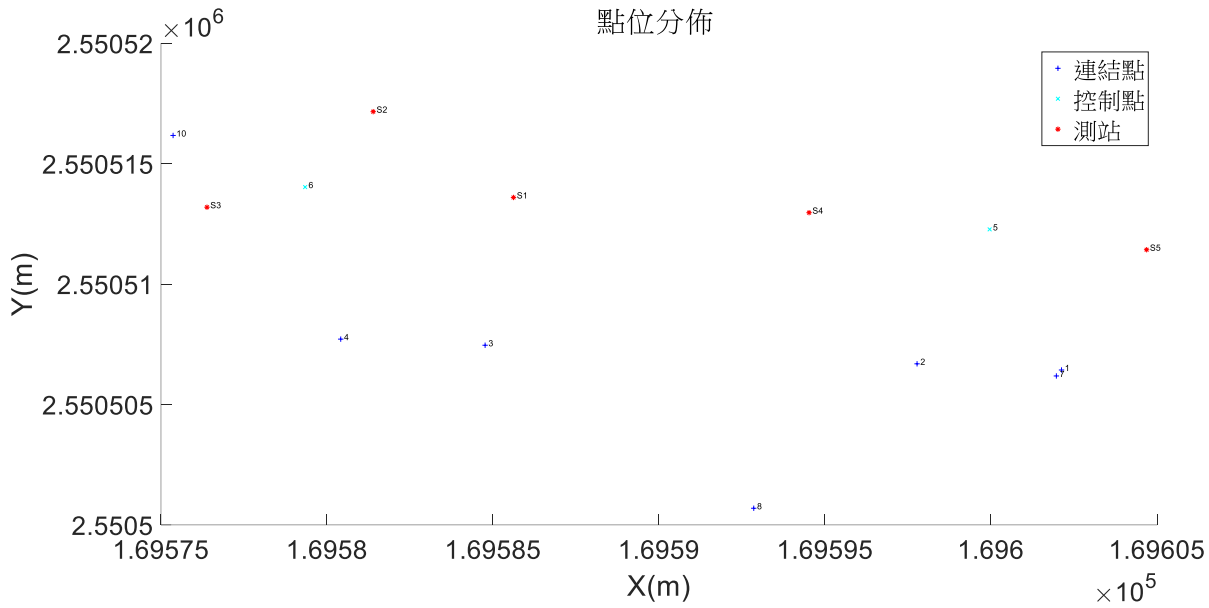


圖 3.27 測站、控制點與連結點分佈圖-移除交會幾何較差之連結點

表 3.12 安南測試區域檢核成果-移除交會幾何較差之連結點

		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

單位：公尺

由上表可觀察出 X 方向雖差異不大，但 Y 方向不論平均誤差或均方根誤差皆顯著性降低，然而移除控制點之約制後，同樣兩方向之平均誤差與均方根皆變差，由此再次證實控制點穩固網形平差解算之重要性。此外，4 個界址點平差解算求得之坐標標準差，移除交會幾何較差之連結點後亦減小約 0.2 公分。

然而依據上述移除交會幾何不好之連結點條件下，針對測站無法全部順利接收 GNSS 訊號之情況時，假設僅 3 個測站順利定位，在無控制點之下，以測站觀測之交會幾何好與不好予以分析，檢核成果如表 3.13 所示

表 3.13 安南測試區域檢核成果-僅一半測站具定位資料

		測站觀測之交會幾何較佳		測站觀測之交會幾何較差	
		X方向	Y方向	X方向	Y方向
平均誤差		-0.011	-0.022	-0.038	-0.022
均方根誤差		±0.012	±0.022	±0.038	±0.031
界址點					
標準差	編號	X方向	Y方向	X方向	Y方向
	1212	±0.011	±0.020	±0.061	±0.056
	1215	±0.012	±0.019	±0.045	±0.046
	1222	±0.018	±0.020	±0.02	±0.018
	1224	±0.017	±0.023	±0.021	±0.015

單位：公尺

由上表可觀察出在測站觀測之交會幾何較佳之情況下，僅 3 測站之定位約制下，X 與 Y 方向之誤差仍可理想維持在 2 公分左右。反之，在測站觀測之交會幾何較差之情況下，兩方向均方根誤差已經大至 3 公分，且部分檢核點標準差更上升至 6 公分。由此可見測站其分布之交會幾何的重要性。

而交會幾何之分析，定位誤差如圖 3.28 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。

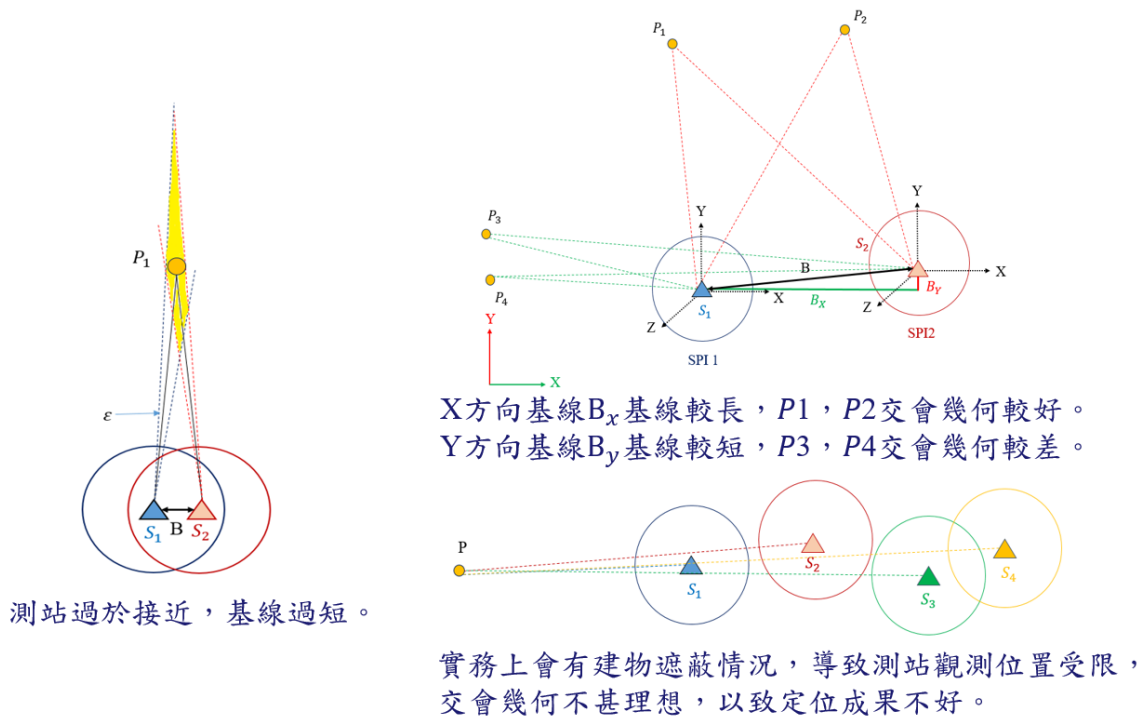


圖 3.28 交會幾何分析-定位誤差說明

3.4 本章小結

本年度為改善去年度發覺 PPIMS 之硬體設計導致系統率定成果無法完全適用之問題，發展新一代 PPIMS，不僅拍完照不需拆除相機便可讀取影像，針對快門同步也進行優化，更換新款相機亦使得影像解析度更加精細。

今年度期中針對兩代 PPIMS 進行歷次系統率定之差值比較，原始 PPIMS 之系統率定成果較不穩固，Boresight 之差異至多可能差至 2 度以上。新 PPIMS 則相當穩固，Boresight 之差異至多僅差至 0.07 度，由此驗證新 PPIMS 確實可改善原先系統率定之問題。另外兩代 PPIMS 亦於室內實驗場進行驗證，測站皆擺設同樣位置，並使用相同之控制點、連結點與檢核點。原始 PPIMS 其 X、Y 與 Z 三方向之均方根誤差約為 1 公分，新 PPIMS 其 X、Y 與 Z 三方向之均方根誤差約為 0.5 公分，由此驗證新 PPIMS 可達到更佳之量測精度。

此外，新 PPIMS 亦於室外實驗場進行驗證，總計架設 5 個測站、使用 5 個控制點、17 個連結點與 12 個檢核點，X、Y 與 Z 三方向之均方根誤差約為 10 公分。透過光束法平差解算過程之觀察，交會角度太小將導致點位坐標精度變差，因此移除交會幾何不佳之觀測量再重新解算，X、Y 與 Z 三方向之均方根誤差因而降至約 5 公分，定位精度明顯獲得提升。

最後本團隊向臺南市地政局索取安南區重測區域之相關資料，包含影像範圍與相關 SHP 檔，經實地場勘與評估實際環境後決定合適之測試區域。共架設 6 個站與 2 個控制點與 14 個連結點，所有測站與控制點皆順利接收 GNSS 訊號而可定位，在連結點幾何分佈理想之情況下，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。除此之外，針對控制點之約制，以及連結點與測站交會幾何進行多樣之解算分析，皆證實其重要性。

未來推動之規劃，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。預計選擇市區與農地地區作為適地性案例試辦，探討目前移動測繪技術輔助應用於兩者不同環境之實測差異及作業方式。此外，今年度與臺南市地政局討論後，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視區域，因圖解區之精度要求不高，以此套影像移動製圖系統或許相當便利。

第肆章、 探討高精地圖及即時動態地圖規格

、作業方法及精度評估

近年來，智慧型無人載具興起，高精地圖及即時動態地圖為提供自動駕駛車於導航所使用，協助車輛正確且安全行駛於規劃路徑上的新一代地圖輔助資訊。與傳統二維導航地圖不同於使用者從人轉移到機器，即便機器擁有遠優於人腦的邏輯計算高速性、大容量儲存能力，但是機器缺乏自主判斷能力，在人腦可以直覺式地因應當下外界路況進而做出行駛決策的邏輯過程，放在自駕車上便需要即時收集龐大資料與一連串複雜的電腦運算處理以做出正確的駕駛決策，故為實踐無人駕駛的願景，必須產製為自駕車量身打造的地圖資訊—即高精地圖，

高精地圖為提供智慧型無人載具(包括車輛、船、飛機等)於導航所使用的地圖輔助資訊，協助確保能正確且安全的行駛於規劃之路徑上的新一代地圖資訊。使自駕車本身的定位精度，以及圖資上道路屬性，包含車道、交通號誌、道路的幾何關係都被精確的定義，才能與自駕車本身之軟體技術與硬體設備進行整合，使自駕車在無人為介入情況下仍可安全運行，新型態的三維高精地圖呈現如下圖 4.1 所示。

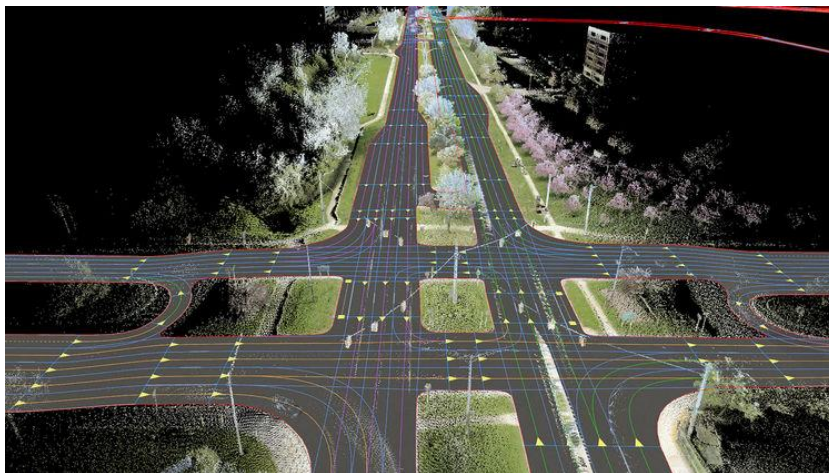


圖 4.1 高精地圖示意圖 (Harsha Vardhan, 2017)

高精地圖及即時動態地圖需具備的初步條件簡列如下：

- (1) 圖資精度必須足夠輔助自駕車之絕對位置駕駛決策判斷，且所有資訊都需在三維空間中。
- (2) 真實世界中的特徵物、地物(包括車道、道路邊界、交通指示標誌等)皆需明確定義於靜態高精圖資中，且要附加詳盡的屬性資料。
- (3) 地圖的尺度及坐標系統必須與真實世界一致，即不會有比例尺縮放及坐標轉換的誤差。

(4) 必須即時提供靜態及動態地圖資訊供車輛進行駕駛決策。

有鑑於我國針對自動駕駛使用之高精地圖及即時動態地圖相關建置規範尚無統一明確之作業標準及資料格式，同時原有的製圖規範已無法全然滿足高精地圖的製作、維護及檢核需求，內政部基於我國圖資中央主管機關，為提升國內製圖及自駕導航發展，並為後續法規制度與產業經濟趨勢進行早期布局，爰有必要進行自駕車用高精地圖 (High-Definition Map) 及即時動態地圖 (Real-time Dynamic Map) 之回顧與製圖標準先期評估，供後續相關研究參考。實施方法包含：1. 高精地圖及即時動態地圖文獻回顧及標準建立作業規劃；2. AI 技術特徵辨識輔助高精地圖文獻回顧及整理作業規劃；3. 高精地圖管理及供應平台先期評估作業規劃；4. 高精地圖研討會舉辦；5. 高精地圖於自駕車適地性服務案例試辦。均於本章逐一描述，其最終目的乃是協助內政部於未來建立我國高精地圖及即時動態地圖統一標準，進而提升我國產官學研未來製圖技術標準化及自動化產製程度。

4.1 高精地圖、即時動態地圖文獻回顧及標準建立作業規劃

目前車用高精地圖及即時動態地圖之資料供應及傳輸格式未有一致標準，雖及早制定有助於我國產業規格統一，然而涉及測繪業高精資料建置及自駕車即時動態圖資取得，其中囊括不同領域產業界間的產品鏈結，以及技術上後端圖台伺服器與車輛的傳輸溝通，爰包含作業方法、精度要求、規範評估、精度驗證、資料格式、管理供應等相關項目皆應有完整妥善的先期規劃，方得以兼顧未來圖資的產製正確性與後續利用效率。為審慎計，並確保未來內政部自駕車用高精圖資國家型計畫與國際主流趨勢相符，本案先行針對高精地圖及即時動態地圖之本質及國際產業技術概況進行文獻探討，並對靜態高精地圖應備之精度標準、製圖作業程序架構及圖資內容作初步定義，以利後續評估建立符合我國目前自駕測試場域之高精地圖標準製圖作業程序。至於國際間現有高精地圖之規範標準回顧，將於「4.3 高精地圖管理及供應平台先期評估作業規劃」併予討論。

高精地圖及即時動態地圖為提供自動駕駛汽車的新一代輔助資訊，使車輛在行駛過程中透過地圖反饋資訊即時作出決定並安全地讓乘客送達目的地。圖 4.2 為先進駕駛車輛安全研究展示的車輛導航精度需求，目前使用的個人導航設備及智慧型手機導航精度約為 5 公尺，目的是告訴使用者車輛所在的道路為何，而精度要提高至 1 公尺內方能知道車輛在道路上的哪個方向及車道，若要提升至車輛自動駕駛層級，勢必要將車輛導航精度提升至 0.5 公尺內，方能提供確切在車道中的位置，使車輛正確行駛且不會和其他車輛發生擦撞(Stephenson S., 2011)。由誤差傳播原理可知，若最終計算出的導航解精度要提升至次公尺等級，組成位置解的地圖輔助資訊必須顯著優於前述定位等級，使其整合車輛的即時定位精度後仍符合自動駕駛精度需求(Farrell, 2016)；此外，所有導航及其輔助資訊都要在三維空間中，方能處理如高架橋、地下道等非平面二維情況。值得強調

者，自駕車導航面臨的一大挑戰即為絕對位置定位精度，傳統 GNSS 定位僅能達到公尺等級精度，雖然基於即時動態定位(Real-time kinematic, RTK)等相對定位技術有機會達公分級之定位精度，然而於環境遮蔽物複雜的都市地區，多數時候因訊號遮蔽及反射無法長時間接收足夠良好之衛星觀測資訊，無法準確將自駕車定位於正確之車道位置，雖然透過測繪級定位定向系統等整合導航演算法能有效克服上述問題，但基於成本限制及自駕車量產化考量無法將現有模式直接商業化。故基於上述理論及現行導航技術困境，並參酌日本 DMP (Dynamic Map Platform)公司對高精地圖之精度要求，訂定高精圖資中所有特徵物之絕對位置精度須達平面 20 公分、三維 30 公分的等級，才能有效提供自動駕駛技術次公尺級之車道定位要求，讓導航系統準確引導車子行動。

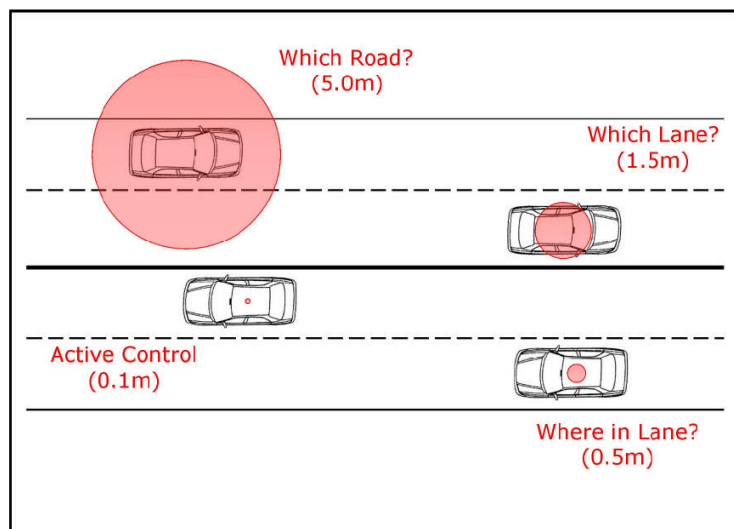


圖 4.2 自動駕駛導航精度需求 (Stephenson S., 2011)

自駕車所用地圖內容包括靜態的高精底圖、動態的交通環境訊息(交通流量、交通事件、天氣、路面狀態)、連結設施(紅綠燈、設施位置等)及移動物體(人車位置、速度、方向)等，圖資架構以 LDM(Local Dynamic Map)最廣為討論及應用，LDM 最早由 Bosch 提出相關概念，並於 2015 在歐洲標準化委員會智慧交通系統合作系統提出整體定義，2018 為最新版出版同時於 ISO 標準中正式提出，目前有 2 個歐盟研究計畫(CVIS 和 Safespot)正在實施 LDM 架構。LDM 採用如圖 4.3 所示的四層模型：第一層由道路、號誌等數據等靜態資訊組成地圖底層，第二層由準靜態的資訊組成，如施工資訊、交通管制等，第三層由準動態的資訊組成，如交通擁堵和其他臨時事故，第四層由汽車傳感器及行人等動態資訊組成。自駕車所需的地圖即為靜態高精地圖資訊與動態交通及現地資訊加疊完整的即時動態地圖，其執行關鍵包含：靜態高精地圖的規範制定、供應平台連接技術的建立以及管理維護(DMP, 2018)。建立完整之高精地圖及即時動態地圖不僅限於未來的無人駕駛系統，將之用於發展目前常規車輛採用之先進駕駛輔助系統，亦

可助於系統在必要時能短時間內提醒駕駛人環境變化及可能發生的情況，從而讓使用者採取適當因應措施，甚至可說，使用地圖資訊提供相對可靠穩健之定位成果已是無可避免的車載導航未來趨勢。

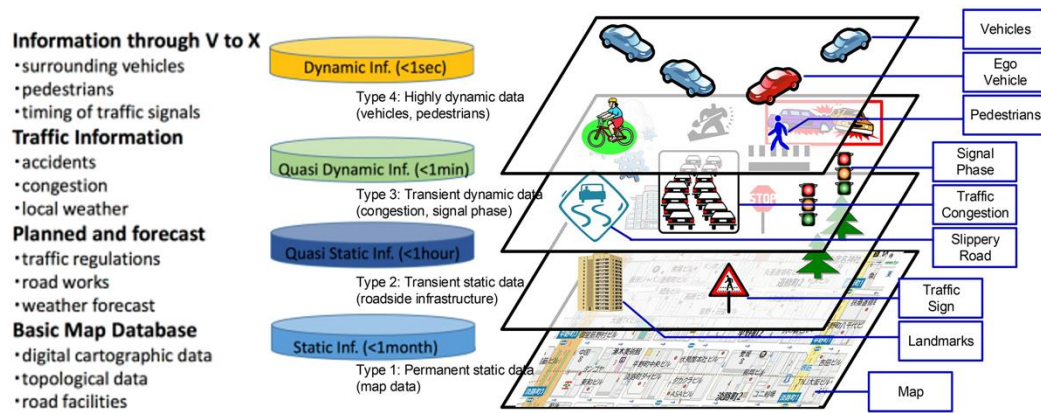


圖 4.3 LDM 四層模型

高精地圖於國外先進產業發展方面，圖資大廠 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，其產品觸角除原車用導航及其他商業系統如 Garmin、亞馬遜、甲骨文公司等，更直接拓展至 BMW、賓士、奧迪等傳統車廠，成為該些廠商自動駕駛技術研發的主要圖資供應商之一，並在此之上積極發展具備即時動態地圖傳輸機制之自有車聯網技術（HERE Connected Vehicle Service, CVS），可見發展即時動態地圖之技術前提乃建構在有完善之高精地圖之下才得以進一步發展，其揭露之示意成果如圖 4.4 所示。

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，利用測繪車於全球超過 150 國、總和超過 6 千萬公里的道路進行車用圖資採集，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，使自駕車得以利用自身感測器建構的即時環境資訊與雲端資料庫比對，進行位置誤差修正並持續更新圖資環境資訊，RoadDNA 技術示意如圖 4.5 示；其結合雲端數據流之整體技術架構稱為 TomTom AutoStream，可傳輸各式地圖數據包括 ADAS 屬性(如梯度和曲率)以及配置 RoadDNA 的 TomTom HD Map，並與大陸百度公司合作將技術整合至開源之自動駕駛平台 Apollo，以加速自動駕駛產品之進程。

除了兩大地圖廠，國際汽車大廠福特投資的新創地圖公司 Civil Maps，藉助該公司的 3D 地圖技術來發展自動駕駛車，Civil Maps 公司規模雖然小，但藉由光達和影像技術，生產高品質可供無人車使用的地圖資料，該公司的特色在於將地圖資料的容量大幅縮小，方便和雲端或汽車跟汽車間快速傳輸，將高達 1TB 的原始資料在不刪減的情況下壓縮到 8 MB，其成果如圖 4.6 所示。基於上述國

際產業回顧，我國之高精地圖與即時動態地圖相關技術研究展開實已刻不容緩，首要之務即是基於既有圖資測製能力建置靜態高精底圖。



圖 4.4 HERE HD Maps (左)及 CSV 技術(右)

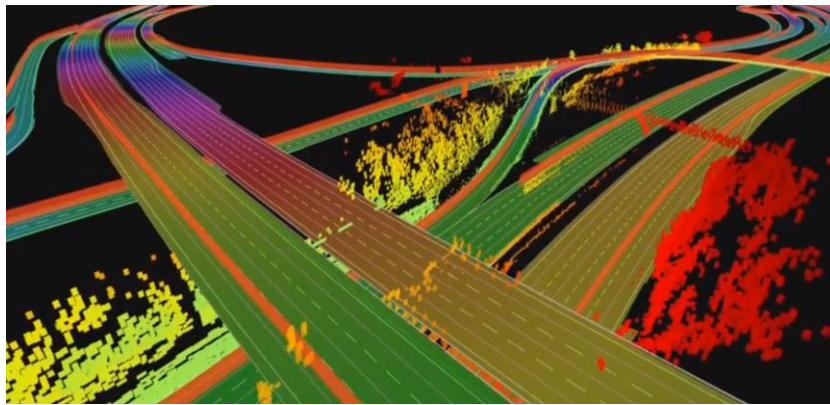


圖 4.5 TomTom RoadDNA Maps



圖 4.6 Civil HD Maps

若要完成三維高精地圖建置，需使用多感測器整合來偵測周遭的景物，可將其區分為主動及被動感測元件：主動式元件會主動發出雷射波取得與目標物距離，如光達(LiDAR)及雷達等，在測距上較受限制，但較不受外界環境影響觀測精度；而被動式感測器則僅需接收外接資訊，如衛星定位系統、慣性感測元件等整合式導航設備，以及用相機完成導航的視覺里程計(上條俊介，2015)。多感測

器整合系統最常應用於靜態地面雷射掃描(Stationary Terrestrial Laser Scanning, STLS)、車載地面雷射掃描(Mobile Terrestrial Laser Scanning, MTLs)及空載雷射掃描(Aerial Laser Scanning, ALS)，三者搭載的感測器及成果比較列於表 4.1，其中，靜態地面雷射掃描雖精度符合應用，但施測時間成本太高無法大範圍蒐集道路資訊；空載雷射掃描可在沒有車輛等路面障礙物阻隔下完成市區圖資蒐集，但無人飛行載具的蓄電量不足無法長時間施測，且在高樓人車眾多的城市中飛行仍有危險；因此衡量施作可行性、成本需求及圖資應用，包含各大圖資廠運作趨勢、未來群眾外包動態圖資蒐集及整體車聯網架構進行評估，最適合高精地圖製圖方案為車載地面雷射掃描技術，也就是本案後續論述之高精地圖製圖載具—車載行動測繪系統(MMS)，未來自駕車之多感測器整合系統如圖 4.7 所示。

表 4.1 多感測器整合系統比較 (Farrell, 2016)

	Technology	Purpose for Inclusion in Sensor Suite	ECEF Accuracy	Feature Detection Capability	Coverage		Point Density
					Volume of Data	Utility for Roadway Map Development	
Individual sensor technologies	INS	Bandwidth, Sample Rate, Continuity	N/A	No			
	GNSS	ECEF accuracy	cm	No			
	Camera	Feature detection and photolog	N/A	Yes			
	LiDAR	Feature detection, accurate feature georectification	N/A	Yes			
Sensor Suites	STLS	GPS, Camera, Lidar	cm	Yes	75m × 75m	No	High
	MTLS	INS, GPS, Camera, Lidar	cm	Yes	100m × Trajectory length	Yes	High
	ALS	INS, GPS, Camera, Lidar	submeter	Yes	150m × Trajectory length	Yes	Low

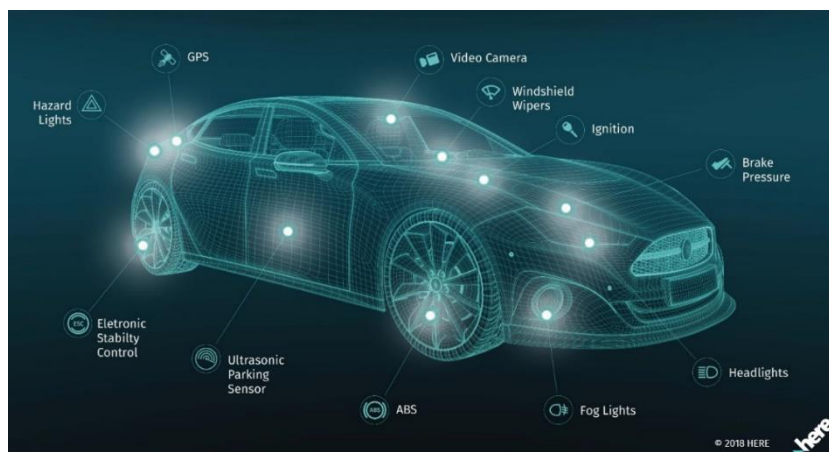


圖 4.7 自駕車上的感測器系統 (Source: HERE)

自駕車透過硬體設備感知環境資訊，同時用軟體處理萃取有意義的特徵標的，將更新的周遭環境資訊疊加靜態高精地圖而得即時動態地圖，再將之納入導航解算及駕駛判斷以輔助提升導航精度，故其中的多感測器的資訊整合亦是一大挑戰。由於不同感測器獲得的資料型態、測量單位、精度品質及解析度皆有所差異，故若要有效且快速的整合這些資訊也需憑藉著機器學習、電腦計算與平台整合的技術，使所有資料的儲存、運算及決策皆能即時完成。基於電腦運算負載觀點，圖 4.8 試算不同車載行動測繪感測器在不同時間內所取得的龐大資料量，可知高精地圖必需要使用更效率的方式儲存圖資(Farrell, 2016)，也就是即時動態地圖得以運作的關鍵之一，使用如雲端儲存的方式增進圖資整合及更新，即時共享道路資訊，進而維護高精地圖讓更多車輛得以安全運行，關於高精地圖及即時動態地圖圖台管理及資料傳遞相關回顧及先期規劃，將於「4.3 高精地圖管理及供應平台先期評估作業規劃」併予討論。未來即時動態地圖的發展願景是，若道路上參與高精地圖觀測的汽車數量越多，則收集與更新的資訊就越多，高精地圖的成果精度及品質也就會相對提高。

Sensor	Bytes/Msg.	Msgs./sec	Bytes/Sec	GB/Hr	GB/Hr (with timestampoverhead)
IMU	19	200	3800	0.013	0.232
LIDAR	1206	3473	4,188,438	15.08	15.278
Camera	35,836,416	7.5	268,773,120	967.583232	967.583
GPS measurement data	612	1	612	0.002	0.0374
GPS Ephemeris data	256	.002	.512	1.8432e-6	3.13344e-5
DGPS data	1071	1	1071	0.0038	0.0039
Total:			273 MB /sec	982 GB/Hr	983 GB/Hr
Hrs. of collection per TB:					≈1 Hr.
Miles of coverage per TB (assuming a speed of 30 mph):					≈30 miles

圖 4.8 車載行動測繪系統累積資料大小範例(Farrell, 2016)

目前國際各大製圖廠及車廠皆根據其製圖技術及需求趨勢，藉由車載行動測繪系統為製圖平台產製未來自駕車所用之高精地圖，與我國目前主流製圖平台並無二致，即言之，此一趨勢主流將提供我國測繪製圖產業絕佳之競爭利基。考量製圖應用之對應精度需求、儀器規格與硬體差異及車載平台遭遇之施測環境有所不同，車載行動測繪平台之定向定位之儀器設備規格、施測程序及搭配演算法是否足夠因應現實環境的各種變化，將完全左右最終產出能否覈實滿足自動駕駛導航需求。參考國內外現今常見之車載移動遙測製圖系統軟硬體設備，搭載之定位定向感測器可能包括 GNSS 接收儀及 INS，觀測感測器則可視需求搭載相機、攝影機、多光譜掃描儀或光達。根據過去內政部委託研擬之車載行動測繪系統作業手冊草案，車載移動製圖系統為因應不同應用目的之精度需求，須搭配對應精度等級的硬體設備，按照應用的使用者精度需求分級可概略分類如表 4.2 所示。

表 4.2 車載行動測繪系統精度分級及對應之應用

	低精度應用	中精度應用	高精度應用
精度分級	三維直接地理定位 誤差大於 100 公分	三維直接地理定位 誤差 30~100 公分	三維直接地理定位 誤差小於 30 公分
應用領域	<ul style="list-style-type: none"> ● 初步測繪規劃 ● 交通設施清查 ● 交通統計 ● 一般資產調查 ● 圖資更新 ● 防災應用 	<ul style="list-style-type: none"> ● 工程規劃 ● 資產清查和管理調查 ● 環境調查及測量 ● 土方或崩塌地測量 ● 淹水線測量 ● 城市測繪和建模 ● 海岸帶侵蝕分析 	<ul style="list-style-type: none"> ● 工程地形測量 ● 控制測量 ● 地籍測量 ● 變形測量 ● 結構及橋樑間隙測量 ● 建物測量 ● 鑑識測量 ● 高精地圖測製

高精地圖特徵區塊精度等級須達絕對位置精度平面 20 公分、三維 30 公分已如前述，根據上表內容可初步歸類為高精度應用領域；而由於所需圖資內容、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，本案建議之製圖修正流程如圖 4.9 示。其中，執行測繪任務前應辦理任務規劃、路線規劃、系統檢測三個步驟；測繪時則包含系統初始化與資料蒐集作業；後續內業任務則需進行資料後處理、成果分析與相關報表製作等，前述步驟之執行細項已示例於圖內；在內業任務處理而得的靜態高精地圖圖層類別、型態、說明以及圖層擬訂之參考來源皆詳列於表 4.3，以供未來靜態高精圖資產製參酌，本圖層列表參考 NDS 的子系統 Open Lane Model 對於道路幾何之圖層定義，包括道路中心線與車道邊界線，並依照我國自駕車測試場試辦經驗，擬列適用於本地之的參考圖資規格；本表並未完整列舉所有交通物件，故施測時亦可依任務需求及現地狀況增列項目，未來可藉此表格為基石拓展適用於我國在地化交通設施的圖層參考規格。本案為驗證上述流程是否能充分滿足我國自動駕駛測試場域高精地圖之製圖需求，爰以我國台中水湳場域為驗證示例，以期驗證後之修正成果符合科技部辦理 Grand Challenge 所需之自駕圖資，並提供未來相關高精製圖之作業參考，其作業流程及施作成果將於「4.5 高精地圖於自駕車適地性服務案例試辦」詳述。



圖 4.9 高精地圖製圖作業之車載行動測繪系統建議流程

表 4.3 靜態高精地圖車道線的分類方式

類別	圖層	型態	說明	參考來源
道路	道路範圍	面	需以面狀型態數化道路範圍，一條道路範圍為以法規車道邊界線為邊界的範圍。	參考 NDS Open Lane Model 對車道幾何之定義，以及我國自駕車測試場試辦經驗擬列。
	道路中心線	無寬度線	整條道路的中心線，為理論線。需於屬性欄位中標示每條道路的 ID，其 ID 為唯一值，並標示道路的曲率與坡度。	參考 NDS Open Lane Model 對車道幾何之定義，以及我國自駕車測試場試辦經驗擬列。
	道路邊界線	無寬度線	只繪製道路最外側標線(法定的邊界線)。	參考 NDS Open Lane Model 對車道幾何之定義，以及我國自駕車測試場試辦經驗擬列。
車道	車道範圍	面	需以面狀型態數化車道範圍，一條車道的範圍為以任兩條法規車道邊界之中心線為邊界的範圍。	參考 NDS Open Lane Model 對車道幾何之定義，以及我國自駕車測試場試辦經驗擬列。
	車道中心線	無寬度線	整條車道的中心線，為理論線。需於屬性欄位中標示每條車道的 ID，其 ID 為唯一值，並標示車道的曲率與坡度。	參考 NDS Open Lane Model 對車道幾何之定義，以及我國自駕車測試場試辦經驗擬列。

類別	圖層	型態	說明	參考來源
<p>法規車道邊界線</p> <p>註：代表法規上允許行駛的車道邊界線，意即路面上繪製的標線。</p>	黃實線	有寬度線	<p>設於路側者，用以禁止停車；設於中央分向島兩側者，用以分隔對向車流。</p> <p>需數化此標線的中心線，向兩側擴增5公分寬度，意即實際線寬為10公分。需於屬性欄位中標示標線資訊。</p>	<p>參考道路交通標誌標線號誌設置規則(第146-192條)擬列適用於台灣之在地化圖層。</p>
	黃虛線	有寬度線	<p>設於路段中，用以分隔對向車道。</p> <p>需數化此標線的中心線，向兩側擴增5公分寬度，意即實際線寬為10公分，線段長4公尺，間距6公尺。需於屬性欄位中標示標線資訊。</p>	<p>參考道路交通標誌標線號誌設置規則(第146-192條)擬列適用於台灣之在地化圖層。</p>
	<p>雙黃實線 (中央無分隔島)</p>	有寬度線	<p>設於路段中，用以分隔對向車道，並雙向禁止超車、跨越或迴轉。用以劃分路面成雙向車道，禁止車輛跨越行駛，並不得迴轉。</p> <p>需數化此標線的中心線，向兩側擴增5公分寬度，意即實際線寬為10公分，兩條黃線間距為10公分。需於屬性欄位中標示標線資訊。</p>	<p>參考道路交通標誌標線號誌設置規則(第146-192條)擬列適用於台灣之在地化圖層。</p>
	<p>雙黃實線 (中央有分隔島)</p>	有寬度線	<p>設於路段中，用以分隔對向車道，並雙向禁止超車、跨越或迴轉。用以劃分路面成雙向車道，禁止車輛跨越行駛，並不得迴轉。</p> <p>需數化此標線的中心線，向兩側擴增5公分寬度，意即實際線寬為10公分，兩條黃線間距為10公分，與中央分隔島至少距離10公分。需於屬性欄位中標示標線資訊。</p>	<p>參考道路交通標誌標線號誌設置規則(第146-192條)擬列適用於台灣之在地化圖層。</p>
	<p>黃虛線與黃實線並列</p>	有寬度線	<p>設於路段中，用以分隔對向車道，黃實線側禁止超車、跨越或迴轉。</p> <p>單向禁止超車線：由黃實線與黃虛線組成，在實線面之車輛禁止超車，虛線面之車輛允許超車。</p> <p>雙向禁止超車線：由雙黃實線表示，其形態與雙黃線的規定相同。</p> <p>需數化此標線的中心線，向兩側擴增5公分寬度，意即虛線和實線的實際線寬均為10公分，虛線與實線間距亦為10公分，虛線線段長為4公尺，間距為6公尺。需於屬性欄位中標示標線資訊。</p>	<p>參考道路交通標誌標線號誌設置規則(第146-192條)擬列適用於台灣之在地化圖層。</p>

類別	圖層	型態	說明	參考來源
		白實線 有寬度線	設於路段中者，用以分隔快慢車道或指示路面範圍；設於路口者，作為停止線；設於路側者，作為車輛停放線；設於同向分隔島兩側者，用以分隔同向車流。需數化此標線的中心線，向兩側擴增5公分寬度，意即實際線寬為10公分。需於屬性欄位中標示標線資訊。	參考道路交通標誌標線號誌設置規則(第146-192條)擬列適用於台灣之在地化圖層。
		白虛線 有寬度線	設於路段中者，用以分隔同向車道或作為行車安全距離辨識線；設於路口者，用以引導車輛行進，或作為大眾捷運系統車輛行駛界線，用以區隔大眾捷運系統車輛行進範圍。需數化此標線的中心線，向兩側擴增5公分寬度，意即實際線寬為10公分，線段長4公尺，間距6公尺。需於屬性欄位中標示標線資訊。	參考道路交通標誌標線號誌設置規則(第146-192條)擬列適用於台灣之在地化圖層。
		雙白實線 有寬度線	設於路段中，用以分隔同向車道，並禁止變換車道。需數化此標線的中心線，向兩側擴增5公分寬度，意即實際線寬為10公分，兩條白線間距為10公分。需於屬性欄位中標示標線資訊。	參考道路交通標誌標線號誌設置規則(第146-192條)擬列適用於台灣之在地化圖層。
		雙白虛線 有寬度線	設於路口者，作為未劃設行人穿越道時讓路線之停止線；設於路段中者，作為行車方向隨時間而改變之調撥車道線。需數化此標線的中心線，向兩側擴增5公分寬度，意即實際線寬為10公分，線段長4公尺，間距6公尺，兩條白線間距為10公分。需於屬性欄位中標示標線資訊。	參考道路交通標誌標線號誌設置規則(第146-192條)擬列適用於台灣之在地化圖層。
		白虛線與白實線並列 有寬度線	設於路段中，用以分隔同向車道，白實線側禁止變換車道或跨越。需數化此標線的中心線，向兩側擴增5公分寬度，意即虛線和實線的實際線寬均為10公分，虛線與實線間距亦為10公分，虛線線段長為4公尺，間距為6公尺。需於屬性欄位中標示標線資訊。	參考道路交通標誌標線號誌設置規則(第146-192條)擬列適用於台灣之在地化圖層。

類別	圖層		型態	說明	參考來源
		紅實線	有寬度的線	設於路側，用以禁止臨時停車。 需數化此標線的中心線，向兩側擴增5公分寬度，意即實際線寬均為10公分，距路面邊緣為30公分，此標線的禁止時間為全日二十四小時，如有縮短之必要時，應以標誌及附牌標示之。需於屬性欄位中標示標線資訊。	參考道路交通標誌標線號誌設置規則(第146-192條)擬列適用於台灣之在地化圖層。
	
	物理車道邊界線		無寬度的線	為道路兩側的物理邊界，在正常交通情況下，車輛可以行駛的邊界線，通常會超出法規車道邊界線，車輛無法行駛在超越此邊界線的範圍，故為車輛行駛時的路邊緣石的邊界線。	參考 NDS Open Lane Model 對車道幾何之定義，以及我國自駕車測試場試辦經驗擬列。
	道路邊緣		面	此區域通常為函溝、暗溝、側溝等，依真實狀況而定，一般會超出法規車道邊界線的範圍，在正常交通情況下，車輛能行駛於此範圍，故為道路路面最外圍的邊界。	參考 NDS Open Lane Model 對車道幾何之定義，以及我國自駕車測試場試辦經驗擬列。
車道標誌 (Lane Mark)	停止線		有寬度的線	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，設於鐵路平交道或行人穿越道之前方及左彎待轉區之前端。此標線為白實線，應數化此標線的中心線，實際線寬為30至40公分。	參考道路交通標誌標線號誌設置規則(第146-192條)，以及我國自駕車測試場試辦經驗擬列適用於台灣之在地化圖層。
	自行車穿越道		面	需以面狀型態數化自行車穿越道範圍，並於屬性欄位中標示其屬性資訊。	參考道路交通標誌標線號誌設置規則(第146-192條)，以及我國自駕車測試場試辦經驗擬列適用於台灣之在地化圖層。
	行人穿越道 (枕木紋)		面	設於交岔路口，以面狀型態數化行人穿越道範圍，並於屬性欄位中標示其屬性資訊。	參考道路交通標誌標線號誌設置規則(第146-192條)，以及我國自駕車測試場試辦經驗擬列適

類別	圖層	型態	說明	參考來源
				用於台灣之在地化圖層。
	機車停等區	面	需以面狀型態數化機車停等區範圍，並於屬性欄位中標示其屬性資訊。	參考道路交通標誌標線號誌設置規則(第 146-192 條)，以及我國自駕車測試場試辦經驗擬列適用於台灣之在地化圖層。
	左彎待轉區	面	需以面狀型態數化左彎待轉區範圍，並於屬性欄位中標示其屬性資訊。	參考道路交通標誌標線號誌設置規則(第 146-192 條)，以及我國自駕車測試場試辦經驗擬列適用於台灣之在地化圖層。
	轉彎線	有寬度的線	用以指示車輛轉彎之界限，依實際需要劃設之。本標線為白虛線，線寬 10 公分，線段與間距均為 50 公分，並於屬性欄位中標示其屬性資訊。	參考道路交通標誌標線號誌設置規則(第 146-192 條)，以及我國自駕車測試場試辦經驗擬列適用於台灣之在地化圖層。
	指向線	面	用以指示車輛行駛方向。以白色箭頭劃設於車道上。本標線設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。標線樣式為： 指示直行：直線箭頭。 指示轉彎：弧形箭頭。 指示直行與轉彎：直線與弧形合併之分岔箭頭。 指示轉出車道：弧形虛線箭頭。 需以面狀型態數化轉彎線標誌範圍，並於屬性欄位中標示其屬性資訊。	參考道路交通標誌標線號誌設置規則(第 146-192 條)，以及我國自駕車測試場試辦經驗擬列適用於台灣之在地化圖層。
	標線標字	面	標線標字如：「鐵路」、「慢」、「禁止停車」等，用矩形框住標誌，再用屬性定義標誌內容即可。	參考道路交通標誌標線號誌設置規則(第 146-192 條)，以

類別	圖層	型態	說明	參考來源
				及我國自駕車測試場試辦經驗擬列適用於台灣之在地化圖層。

交叉路口	交叉路口	有寬度線或面	以面狀型態數化於交叉路口處某車道連接至下一條車道的區域，若可連接至多條車道，均需被數化，面狀寬度為車道寬，若出口車道與入口車道寬度不一致，依行駛方向，即直行或轉彎，以直線或雲形線將出口車道與入口車道連接成面狀區域。車道連接方式必須定義於屬性欄位中（即由哪條車道連接至哪條車道）。	參考 NDS Open Lane Model 對車道移轉之示例，以及我國自駕車測試場試辦經驗擬列適用於台灣之在地化圖層。
障礙物	樹	點或面	依據障礙物屬性決定型態及圖層定義方式，以障礙物的中心坐標作為數化的點位位置，若障礙物的位置會影響行駛安全，則需以面狀型態標示。舉例而言，若有路樹跨越至行駛道路上則需以面狀標示以利車輛避開，若以點形態標示仍有擦撞路樹的可能。	依照我國自駕車測試場試辦經驗擬列。
	路燈			
	電信箱			
	牆			

道路設施	中央分隔島	面	為一種道路設施，設於馬路的中央，或快車道與慢車道之間，以分隔雙向車道或快慢車道，也可提供行人暫避車輛。需以面狀型態數化中央分隔島的範圍。	參考道路交通標誌標線號誌設置規則（第 146-192 條），以及我國自駕車測試場試辦經驗擬列適用於台灣之在地化圖層。
	停車設施	面	停車格為提供車輛停放的區塊。需數化停車格標線的最外緣邊界輪廓。	依照我國自駕車測試場試辦經驗擬列適用於台灣之在地化圖層。

交通號誌	行車管制	點、面	以點狀型態數化交通號誌基座位置作為交通號誌坐標位置處，並以面狀形態框選號誌的範圍，以紅綠燈為例，數化紅綠燈的基座中心點作為紅綠燈的位置，並以面狀型態數化燈號的範圍。	參考道路交通標誌標線號誌設置規則（第 193-235 條及附則），以及我國自駕車測試場試辦
	行人專用			
	特種交通			

類別	圖層	型態	說明	參考來源
				經驗擬列適用於台灣之在地化圖層。
交通標誌	警告標誌	點、面	以點狀型態數化交通標誌的基座位置作為交通標誌坐標位置處，並以面狀型態數化標誌的範圍，以速限標誌為例，數化速限標誌基座的中心點作為標誌的位置，並以面狀型態數化速限標誌牌面形狀，再加上標誌的屬性資料，如標註號誌大小、形狀、內容等。	參考道路交通標誌標線號誌設置規則(第 1-99 條)，以及我國自駕車測試場試辦經驗擬列適用於台灣之在地化圖層。
	禁制標誌			
	指示標誌			
	輔助標誌			

4.2 AI 技術特徵辨識輔助高精地圖文獻回顧及整理作業規劃

自動駕駛技術發展近年來備受國內外產官學界重視，然而要完全實現無人駕駛卻面臨許多挑戰：除自駕車本身的主動及被動感測的定位精度品質外，讓自駕車擁有自我判斷目前車況與周遭環境以做出駕駛決策的感知能力亦為核心技術之一。據相關研究指出，自駕車系統主要由三大技術組成：首先是感知能力，讓自駕車取得、了解周遭環境資訊，以利決策如障礙物規避、車速調整、車道及行駛方向判定等；再者是定位與測繪技術，隨時掌握車輛在地圖上的位置，並建構周遭三維環境資訊，以利車輛執行導航決策及更新高精地圖；最後是行駛決策 (Driving Policy)，依據自駕車在不同場域的行駛能力給予適當的決策以控制車輛 (De Silva et al., 2017)。

實現上述自駕車核心技術需仰賴自駕車上軟硬體間的配合，自駕車搭載之硬體設備如相機與光達，如同車輛的視覺感官系統，透過蒐集的影像和點雲資料獲取使用者所處空間資訊，進而對外界做出安全並正確的回應。由上可知，自駕車需接收大規模資料，無法再以傳統人工方式處理，而是藉由機器自動化且快速更新，並提供使用者正確的決策分析。受惠於計算機領域技術突破，上述科技發展所需巨量資料儲存分析之雲端計算數據處理技術已逐步實現，並透過電腦演算法模擬人類神經元實現類人智慧技術 (Artificial Intelligence, AI)。考量人工智慧技術擁有優於人腦邏輯計算高速性、大容量儲存力與記憶力，並能在良好供給資源下具備長效連續運作及成長的能力，本案考量未來技術發展將有別於傳統人為辨識處理方式，擬針對利用人工智慧自動化辨識外界環境包含交通號誌、道路標線、道路邊界等自駕車可用特徵萃取技術以文獻回顧方式進行先期可行性評估。

影像辨識技術常採用基於卷積式類神經 (Convolutional Neural Networks, CNN) 之演算法，其精髓在於卷積層 (Convolution layers) 與池化層 (Pooling layers) 之架構，利用卷積層在影像中全面搜尋特徵，同時計算特徵與局部影像相符的程度；池化層則是壓縮影像並保留重要資訊的方法，意即池化後的資訊更專注於影

像中是否存在特定特徵，而非特徵位於影像何處，從而有效降低特徵匹配所耗費之運算量。此外，低階的處理層能包含簡單的特徵如稜角或光點，高階的處理層則為複雜的特徵如形狀或圖案 (Lee, et al., 2009)。為增進 CNN 影像辨識之精度與效率，國內外學者嘗試結合不同演算法或分類器以整合成較完善的影像辨識系統，其中人臉影像辨識技術之 Cascade-AdaBoost classifier 演算法(Viola, 2001) 已被證實為具良好成效的影像辨識案例，將其應用於車輛所需之特徵辨識成果如圖 4.10 所示：(a-b)為靜態與動態情形下的車輛辨識(c-d)為不同數量車子的辨識情形，當路上車流量大時車輛在影像上會重疊，可能會影響辨識成果(e-f)不同車型大小的辨識成果。

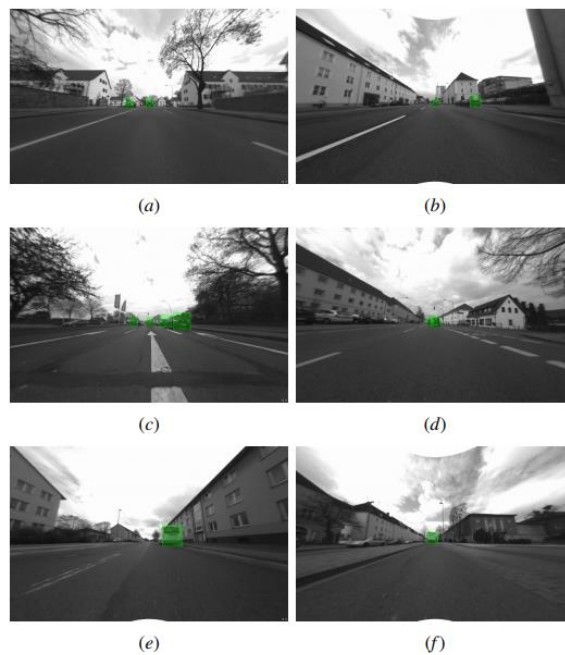


圖 4.10 Cascade-AdaBoost classifier 演算法辨識道路車輛(Broggi, et al., 2014)

近年來有學者嘗試修改卷積式類神經的網路架構，提出全卷積式類神經網路(Fully Convolutional Networks, FCN)處理分類、辨識或語意分割(semantic segmentation)的任務，CNN 架構的基本元素包含卷積層、池化層、激活函數(activation functions)與全連接層(fully connected layers)，FCN 與 CNN 最大的差異在於 FCN 將 CNN 最後一層全連接層以卷積層取代，其優勢在於 FCN 不會受到輸入影像尺寸大小的限制，此外，由於 FCN 會進行上採樣(upsample)，使得輸出影像與數入影像的尺寸一致，以實現像元等級的分類預測(pixelwise prediction)。為了提升語意分割的預測精度，有學者結合淺層與深層的輸出的成果，同時顧及區域(local)和全域(global)的資訊，以定義目標物為何及其位置，圖 4.11 與圖 4.12 中的 FCN-8s 為作者提出的 FCN 架構，與著名的分類網路 R-CNN、SDS 相比，FCN-8s 在語意分割上有很好的表現。

	mean IU VOC2011 test	mean IU VOC2012 test	inference time
R-CNN [12]	47.9	-	-
SDS [16]	52.6	51.6	~ 50 s
FCN-8s	62.7	62.2	~ 175 ms

圖 4.11 FCN 語意分割精度比較 (Long et al., 2015)

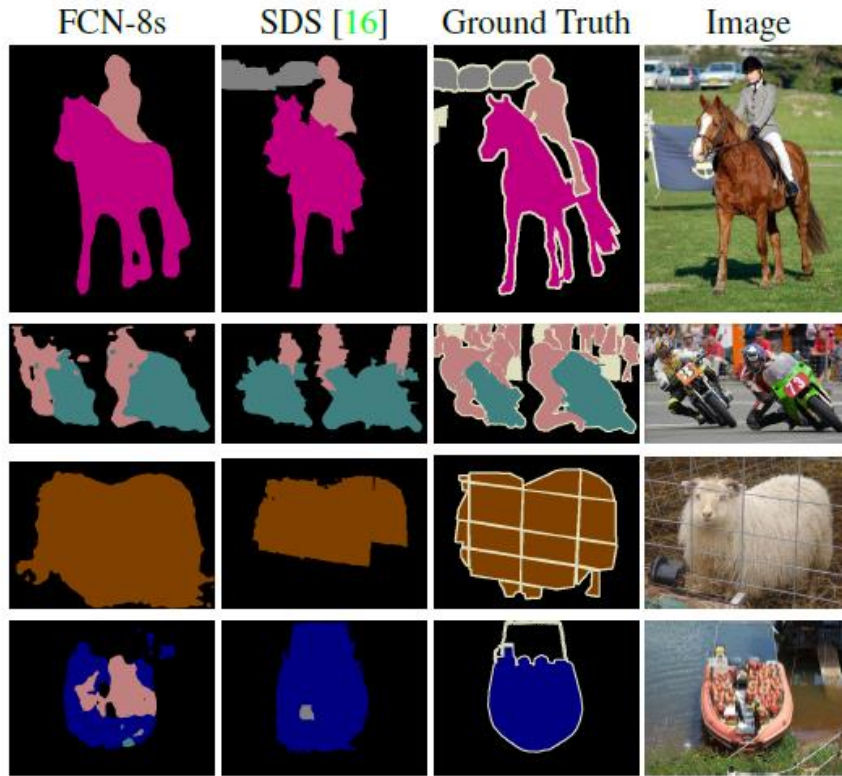


圖 4.12 FCN 語意分割成果比較 (Long et al., 2015)

除了使用類神經網路以辨識環境特徵外，部分學者提出影像處理演算法以實現車道邊界之辨識技術(Lane detection)，以利影像處理之便利性，首先會將拍攝得之影像轉成 IPM(Inverse Perspective Mapping)影像，利用 Gaussian filter 演算法除去 IPM 影像中的雜訊，以 Simple Hough Transform 萃取影像中之車道邊界線後，旋即以 RANSAC line fitting 演算法擬合，最後再以後處理技術(Post-process)將 IPM 影像轉回真實世界之影像同時修正影像處理過程導致的缺失如圖 4.13 所示，左圖為後處理修正前的車道辨識線，右圖綠線則為後處理後之成果，顯而易見的經後處理過後之車道邊界線更為完整、精確。此技術之優勢在於能即時、快速且穩定的辨識道路邊界，即便是在環境複雜的都市地區亦能施行，此外能同時偵測多個車道範圍內的影像資訊，辨識成果之精確度亦極高，圖 4.14 為多個車道辨識之正確率，圖中之 Clip 代表不同種類的車道環境，整體精度成果可達 90.89% (Aly, 2014)。



圖 4.13 Lane Detection 後處理前後之成果 (Aly, 2014)

Clip	#total	detected	correct rate	false pos. rate	fp/frame
1	919	842	91.62%	5.66%	0.208
2	1048	1322	85.50%	40.64%	1.049
3	1274	1349	92.78%	13.11%	0.497
4	931	952	93.66%	8.59%	0.345
Total	4172	4517	90.89%	17.38%	0.592

圖 4.14 不同種類車道辨識之精度成果 (Aly, 2014)

另一方面，廣泛應用在電腦視覺領域之 SIFT(Scale Invariant Feature Transformation)及 SURF(Speeded Up Robust Features)影像匹配技術，則能對目標物進行特徵萃取進而快速匹配特徵點，兩種演算法皆能偵測角點與明顯材質的紋理，完成匹配後方能計算兩影像間的位相關係。圖 4.15 為兩種演算法之範例，對不同光影的影像進行特徵點萃取，左圖為 SIFT 演算法萃取的正確率為 9/10，右圖 SURF 演算法萃取的正確率為 10/10。此外，較常見的影像特徵萃取方式，包含萃取特徵物形狀幾何的 Hierarchical Spatial Feature Matching 演算法與利用特徵物的 RGB 值萃取形狀的 HIS (Hue Saturation Intensity)演算法(Harini et al., 2017)。以 HIS 演算法為例：H 為色相、S 為飽和度、I 為亮度，由於三者光影的變化下互相獨立，故在某些特定影像處理如火災辨識等極具優勢。然而，影像易受拍攝環境干擾如光影、待測物本身條件等，導致影像品質不佳，故欲實行影像辨識及特徵萃取需將此納入考量，因此必須透過影像前處理的方式達到去除雜訊、增強影像，常見的演算法如二值化與形態學理論應用，如下圖 4.16 所示，根據使用者之目的使用二值化來篩選出隱含在影像上的資訊，再以形態學理論中基於侵蝕(Erode)、膨脹(Dilate)、斷開(Opening)和閉合(Closing)之技術進行後續處理，將邊界平滑化或突顯影像上之紋理特徵，達到特徵物萃取的目的。



圖 4.15 利用 SIFT 與 SURF 進行特徵點萃取 (Juan & Gwun,2009)



圖 4.16 二值化後的影像 (Harini et al., 2017)

近年來光達點雲資料備受重視，由於光達能快速收集大量三維地物點坐標，相較於影像，光達點雲特有的三維幾何特性可為自駕車提供地物分類另一種環境的判釋資料，部分學者提出有別於傳統分類模式，將影像分類中以物件為基礎的概念延伸至點雲資料進行分類，以建構點雲間之幾何從屬關係，直接利用點雲具有的空間分布特性分類地物，提升自動化分類成果的完整性及合理性，此技術在空載光達與地面光達點雲之分類皆有很好的成效，分類成果如圖 4.17 所示，紅色代表建築物；黃色代表小型結構物；深綠色代表樹；淺綠色代表樹叢；橘色代表樹幹；淺藍色代表混合物；卡其色代表地面點(林耿帆與徐百輝，2014)。

另一方面，有學者利用光達點雲資訊完成道路路面辨識、路面標誌(road markings)萃取、產製交叉口處車子可能行駛的轉移路徑線，建置了高精地圖的雛形，無論是在標誌萃取，或是轉移路徑的產製精度成果方面也有極佳的成果，作為日後提供自駕車導航上極為重要的輔助資訊。圖 4.18 為道路標誌萃取成果，圖 4.19 則為轉移路徑產製的成果 (Jiang, 2017)。此外，部分學者也開始使用深度學習的方式處理點雲資料，然而若要使用影像分類、辨識的神經網路架構，必須先將點雲資料轉換成影像，以往使用 CNN 時必須將每個點雲轉換成每一張影像，使得計算時間成為資料處理上一大限制，然而，由於 FCN 能完成像元式的預測(Pixelwise prediction)，僅需將所有點雲資料轉換成一張影像輸入至神經網路中，就能進行地面點辨識的任務，克服了時間成本上的窘境(Rizaldy, 2018)，雖然點雲分類的成效能達一定的水準，但是經由轉換後會導致資料遺漏，成為誤差的主要來源，因此有學者提出 PointNet、PointNet++ (Qi, et al., 2017)、VoxelNet (Zhou, & Tuzel, 2017)這類演算法，直接處理三維的點雲資料分類、語意分割等問題，避免轉換時產生的誤差，提升目標物萃取的精度。圖 4.20 為 PointNet 語意分割成果。

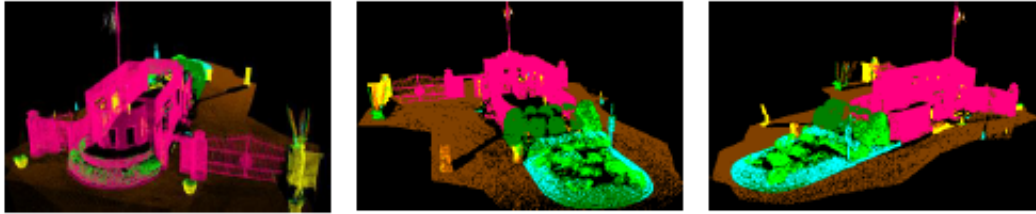


圖 4.17 地面光達分類成果 (林耿帆與徐百輝, 2014)

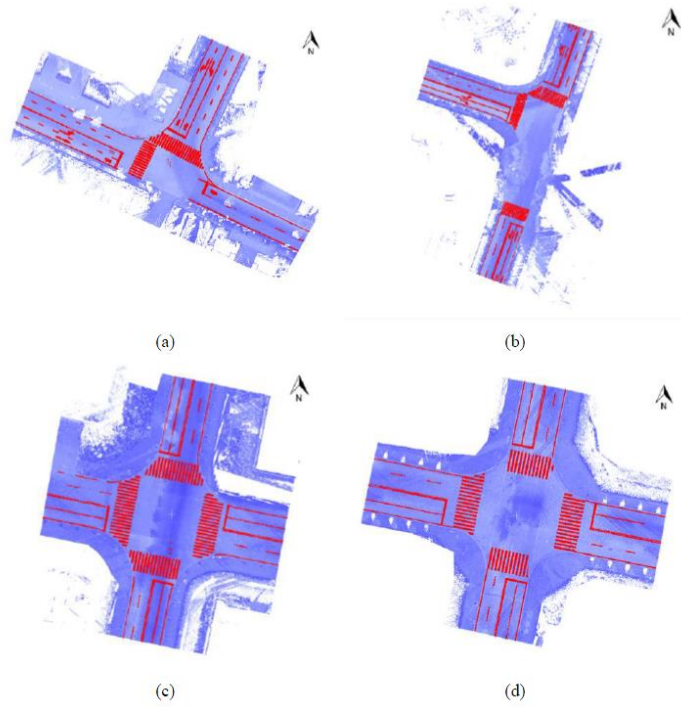


圖 4.18 道路標誌萃取成果 (Jiang, 2017)

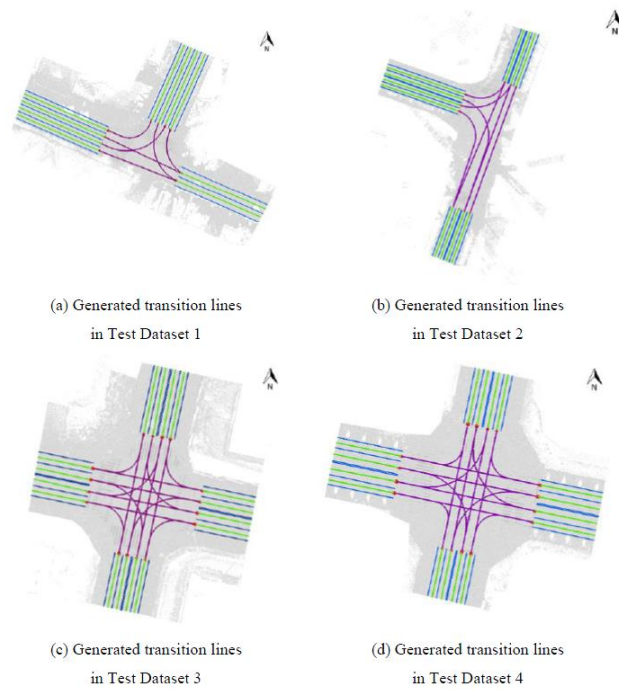


圖 4.19 轉移路徑產製的成果 (Jiang, 2017)



圖 4.20 PointNet 語意分割成果 (Qi, et al., 2017)

值得注意者，即便影像與光達點雲資料能作為自駕車因應環境刺激的感知能力之媒介，然而這些感測器仍存在本質上的問題，如影像易受光影等限制；光達則會受氣候因素所影響，價格昂貴為無法普及的最大障礙。為了彌足感測器運行上的劣勢，勢必要進行多感測器的整合，然而不同感測器獲取的資料型態、精度品質、解析度、測量單位皆不相同，部分文獻指出能藉由內插演算法將點雲與像元相互連結達到資料整合的目的(De Silva et al., 2017)，但感測器之種類繁多，其資料整合之參數設定與調教是否具備合宜的自動化判斷，顯見仍有賴基於人工智慧的電腦運算技術。同時，包含資料整合及前述匹配與資料萃取目的，當進行評估演算法的適用性時，必須將自駕車系統本身的靈敏度與執行速度、針對不同地區及環境所需要的地圖精度等因素考量在內，才能即時反饋正確訊息並對外界環境做出適當回應；且若採用基於人工智慧為判釋決策核心時，由於相同路段可能受天氣、光線、路況等因素造成蒐集到的影像有所差異，其資料訓練因此必須全面性考慮各種情形，如建置完備的影像及點雲資料庫供其演化成長，降低辨識錯誤的機率，即為未來相關計畫之評估發展重點。本案上述特徵辨識輔助技術之先期評估結果，各類影像處理演算法統整如表 4.4，點雲處理演算法則詳如表 4.5。

表 4.4 影像處理演算法統整表

影像處理	演算法	描述
深度學習	<ul style="list-style-type: none"> • CNN • R-CNN • SPP-net • Fast R-CNN • Faster R-CNN • Cascade-AdaBoost classifier 	卷積式類神經網路已普遍應用於影像辨識之議題，且具有相當成效，其中演算法之精髓為卷積層與池化層，利用目標物之特徵對圖像進行搜尋及匹配，為了提升影像辨識之精度成果，故結合不同分類器及演算法而衍生出多種型態

	<ul style="list-style-type: none"> FCN 	的類神經網路系統。
影像辨識 (Lane Detection)	<ul style="list-style-type: none"> IPM Gaussian filter Hough Transform RANSAC line fitting Post-processing 	以利影像處理之便利性，將獲得的影像轉成 IPM，利用 Gaussian filter 濾除雜訊，並以 Hough Transform 與 RANSAC line fitting 分別萃取及擬合車道邊界線，最後以後處理技術將 IPM 轉回真實影像並修補影像處理過程之缺失。
影像前處理	<ul style="list-style-type: none"> 二值化 形態學 	影像容易受拍攝環境影響導致品質不佳，故利用二值化、形態學理論等前處理的方式進行改善，以利後續邊界或目標物萃取之程序。
特徵點萃取	<ul style="list-style-type: none"> SIFT SURF 	影像匹配時會遇到尺度變化不一致的問題，故使用 SIFT 或 SURF 演算法來克服，萃取特徵點後進行匹配。
	<ul style="list-style-type: none"> Hierarchica Spatial Feature Matching HIS 	利用交通號誌的特定形狀、鮮明顏色，來偵測及萃取目標特徵物。

表 4.5 點雲處理演算法統整表

點雲處理	演算法	描述
分類	<ul style="list-style-type: none"> 物件式點雲分類 	將影像分類上物件式分類的概念延伸至點雲分類上，使得點雲分類更加合理化，進而提升分類成效。
特徵辨識及萃取	<ul style="list-style-type: none"> Voxel-based upward-growing algorithm Multi-thresholding algorithm Geometric feature filtering 	Voxel-based upward-growing algorithm 用於辨識地面點雲；Multi-thresholding algorithm 用於路面標誌萃取；Geometric feature filtering 則用於萃取車道標線。
深度學習	<ul style="list-style-type: none"> FCN 	先將點雲資料轉換成影像後，利用 FCN 進行地面點的分類。
	<ul style="list-style-type: none"> PointNet PointNet++ VoxelNet 	不需要預先將點雲資料轉換成影像，能直接對點雲進行語意分割的任務。

4.3 高精地圖管理及供應平台先期評估作業規劃

高精地圖的重要性在於預測(Prediction)自駕車行駛會遭遇的狀況，提供更完善的車輛周邊環境和更精確的定位，主動延伸車輛對遠方的感知預測變化能力，其中圖資分析、管理及供應的技術環節則是自動駕駛所有資料融合和決策的最重要核心基礎。一個有效運作的高精圖資管理及供應平台，應能提供高精地圖測

製單位上傳測製成果，並建立統一管理辦法，管理所有高精圖資成果，並建立圖資供應機制，提供給自駕車使用者能夠下載使用。其最終價值體現乃源自於提供自動駕駛事件辨識與快速反應的公分級高精度本地化開放圖資定位平台(Open Location Platform)，此開放平台提供靜態高精地圖數據模型與動態高精地圖數據模型，主動協助車輛精確定位與遠方路況條件或危險事件之高精度位置有效疊加在靜態高精地圖上做預警服務。

本質上來說，平台系統在全天候條件下都要有穩定無誤的表現，並在軟、硬體上具有開放性和可擴展性，並同時必須保障檔案傳輸的安全不被篡改。平台之架構分成兩大主軸，一是平台 LDM 測繪圖資收集、標準化產製與更新儲存，一是平台與車輛之上傳下載資料交付模式。如圖 4.21 所示。

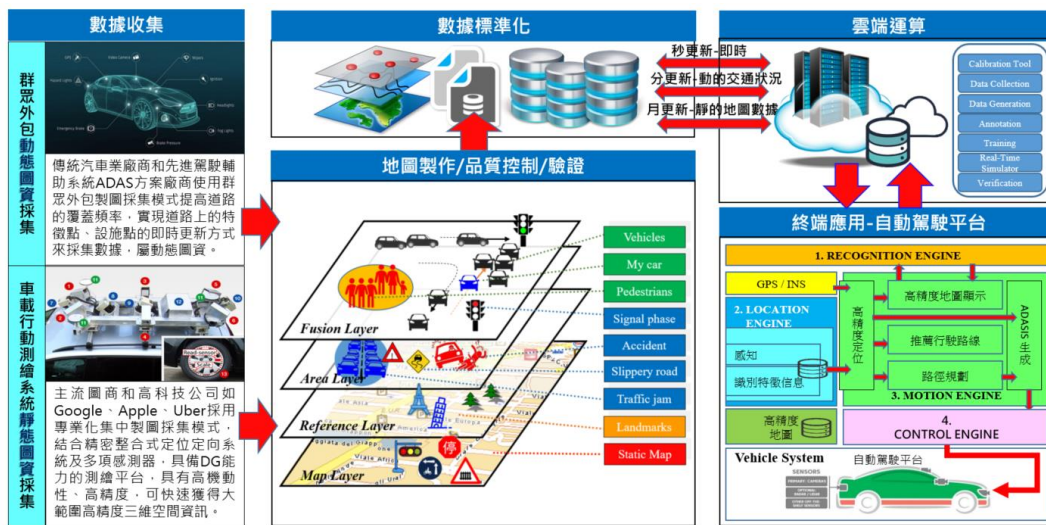


圖 4.21 高精圖資管理及供應平台系統架構

其完整解決方案可包含三個層面：即時資料採集傳感器、雲端靜態與動態地圖聚合伺服器、駕駛端快速反應介面。根據自駕車感測器收集與採用低通訊頻寬資料封包技術壓縮傳輸之駕駛地圖數據與地標的映射資料，平台接口介面須具備一定之即時性空間資訊幾何分析能力，快速解封並自動萃取可用於驅動駕駛路徑幾何形狀和本地化靜態場景語意（如交通標誌、道路標記等）；雲端伺服器則調和連續不斷上傳的空間資訊幾何資料流，產生高度精確而且能在短時間內反映真實世界現實的地圖，融合原有靜態高精度資訊快速更新，滿足即時性和低成本的需求，同時符合國家安全要求；最終環節為關鍵場景下被融合之高精圖資能即時被自動駕駛汽車下載使用，供應平台之功能即在於能即時有效轉換為自動駕駛端可高效接收之資料鏈與排錯資訊，大幅減少駕駛端之下載檢測與轉換儲存時之占用資源，從而萃取本地化地標以協助自動駕駛汽車進行定位、控制與策略規劃。

高精圖資管理及供應平台系統地理空間訊息數據服務需提供雲端即時在線更新，必須建立 LDM 圖資採集、處理、更新的強大能力，因為建設和其他變動，道路地圖需要定期更新。傳統地圖需要每三個月重新繪製一次，但是自駕車地圖

需要不斷更新，以便掌握路況變化。高精地圖的採集和處理有多種的技術方案，一般而言，主流圖商和高科技公司如 Google、Apple、Uber 採用專業化集中製圖採集模式，使用雷射雷達和攝像頭進行高精度的數據和全區域覆蓋的採集，製圖基礎深厚，地圖精度和覆蓋率有保障，技術積累足。而傳統汽車業廠商和先進駕駛輔助系統 ADAS 方案廠商使用群眾外包製圖採集模式提高道路的覆蓋頻率，實現道路上的特徵點、設施點的即時更新方式來採集數據。不同的方式在成本和即時更新、數據精度和區域覆蓋上各有優缺點，高精圖資管理及供應平台系統需建立起「專業化集中製圖採集模式+群眾外包製圖採集模式」的高精地圖整合體系及自動化的數據生產模型，實現高精圖資高精度、高覆蓋率、採集、處理到上線高更新率的自動化流程，形成規模化效應後保證地圖更好地更新。面對這種全新的地圖服務模式，擁有高精圖資管理及供應平台系統的圖資製造商將會轉變為高精地圖的雲服務提供商。高精地圖未來一定是汽車的核心組件，它能夠為圖資製造商帶來源源不斷的收入，且鑒於不同區域地圖數據的更新量不同，未來加入付費訂閱的模式將為圖資製造商創造巨大的市場價值。

平台與車輛之上傳下載資料交付模式是運用電子、控制、通訊與資訊科技，結合自動駕駛管理的理論與實務，平台系統在全天候條件下都要有穩定無誤的表現，並在軟、硬體上具有開放性和可擴展性。如圖 4.22 自駕車基本功能所示，基於深度學習的理念出發積極收集駕駛數據，朝著可主動感知的方向發展使機器視覺的圖像處理數據合併到高精地圖平台上。

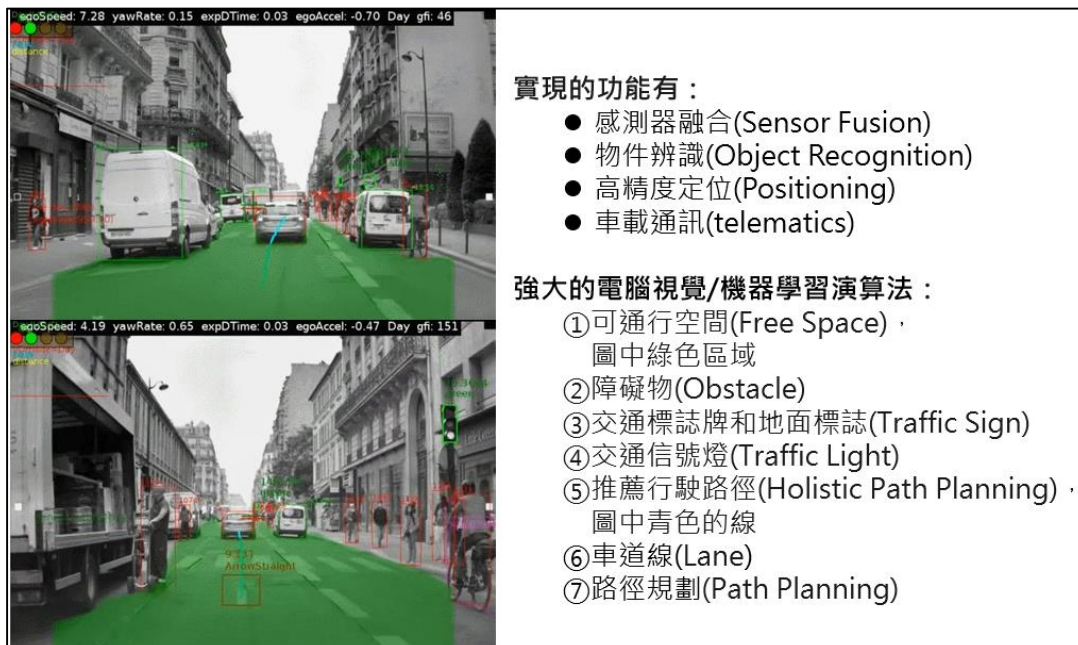


圖 4.22 自駕車基本功能

通過收集到的感知數據與已經儲存在車內的先驗儲備知識與雲端數據中心下載的高精地圖相互作用，從而檢測外界的有用訊息。自駕車所需要下載的高容量高精地圖，為了能實現即時更新，即時分發，未來更新地圖的方式一定是去連

接雲端伺服器，再透過車與車之間相連，車與路面信號裝置之間相連，路面信號裝置之間相互連接，構成一個可以對大型檔案進行分發的 P2P 網路。在這個 P2P 網路裡，為了保障檔案傳輸的安全不被篡改，進行安全驗證是必須的。

自駕車本身需視所處動態行程來下載解析空間領域高精地圖與高精度定位處理計算與驚人的數據傳輸處理能力，可上傳與下載數據到雲端數據中心。在自動駕駛版圖中，雲端數據中心的技術已經成熟存在，然必須注重資通訊技術整合，必須支援自動防故障模式。通過這種方法確定了系統雲端運算的基本組成框架和大數據傳遞相互關係；背後需無比強大的資通訊科技實力的支持，在實際車輛測試之前我們就能發現平台系統設計和整合的問題，並根據實務經驗，以確保不會有系統整合失誤的發生。如圖 4.23 所示。

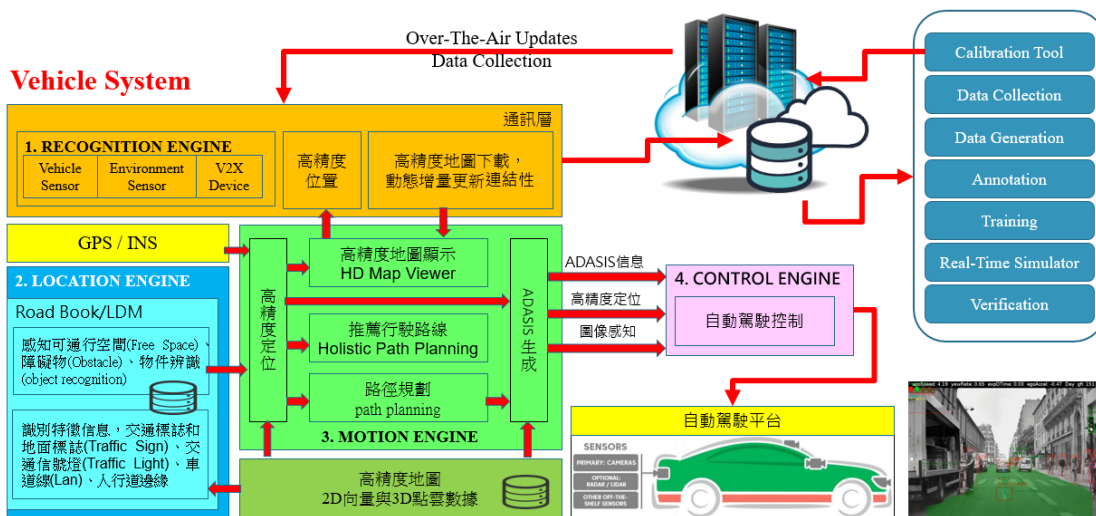


圖 4.23 平台與車輛之上傳下載資料交付模式

由於高精圖資的特殊性關係到國家安全，對於地圖測繪以及衍生的相關服務，有著嚴格的監管。對於自駕車而言，高精圖資管理及供應平台系統圖資交付模式仍需標準化形成一個體系並加以驗證。政策支持將推動自動駕駛實現合法化、標準化、自主化。如圖 4.24 所示，目前國際組織 ISO TC204/WG3 制定的資料庫建設與數據交換標準，以及 NDS 和 OpenDrive 制定的地圖數據物理存儲格式規範；歐洲已有 NDS WG3、ADASIS 以及 NDS 與 ADASIS 聯合成立的 OADF 制定的自動駕駛地圖標準；日本也在相應建立聯盟，成立 DMP (Dynamic Map Platform) 公司制定重要的標準和接口，以對接歐洲 OADF、國際組織 ISO 的標準。但目前高精地圖仍尚未建立統一的標準化規範，也沒有統一的地圖介面，導致數據難以共享；另一方面，企業間數據採集和繪製方法、數據通用性、兼容性、項目推進時間均存在較大差異性，更無法統一進行資源傳輸和高精地圖數據共享。目前國內也尚未有統一的自動駕駛高精圖資標準，我國在自動駕駛技術的發展上必須獨立自主，開發國家標準的自動駕駛高精圖資是必要的。國家標準的自動駕駛高精圖資也將成為與 DMP、OADF 平等對話的條件，吸引更多的國外廠商加入。

目前國際組織 ISO TC204/WG3 制定的資料庫建設與數據交換標準，歐洲NDS和OpenDrive 制定的地圖數據物理存儲格式規範；歐洲NDS與ADASIS 聯合成立的OADF 制定的自動駕駛地圖標準；日本成立DMP 公司制定重要的標準，以對接歐洲OADF、國際組織ISO 的標準。

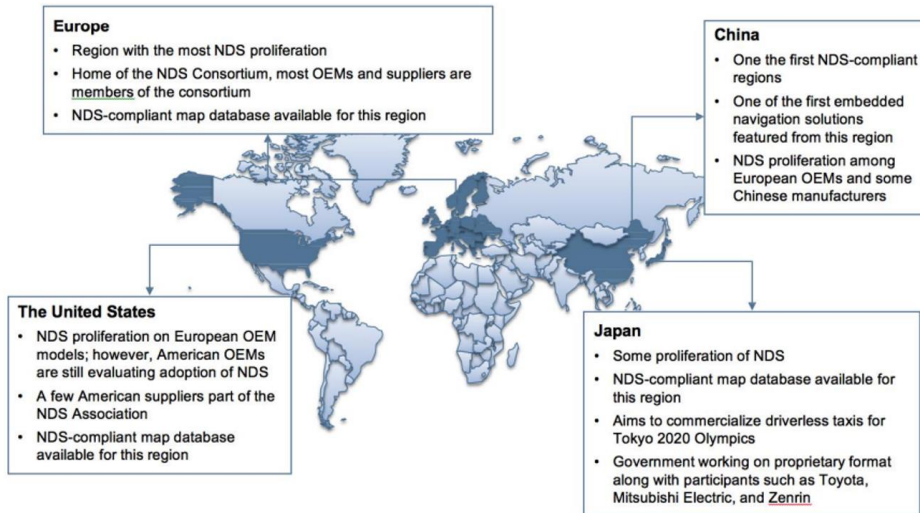


圖 4.24 高精度自動駕駛地圖標準組織

上述參考引用之既存標準/規範及內容整理如表 4.6。

表 4.6 引用標準/規範內容整理

國際制定之標準/規範	內容
ISO TC204/WG3 制定之 ITS database technology	新的工作項目是 Local Dynamic Map 對資料庫技術的擴展。
ADASIS (Advanced Driver Assistant Systems Interface Specifications)	定義地圖在 ADAS 中的資料模型及傳輸方式。
SENSORIS	定義車輛到雲數據的通用標準。
TISA(Traveller Information Services Association)	專注於主動實施基於現有標準的交通和旅行訊息服務和產品。
OpenDrive 制定之 Format Specification	開放路網邏輯標準，於不同駕駛模擬器之間進行數據交換，被 ADAS 作為高精地圖的格式之一所採用。
NDS Association 制定之導航數據標準(NDS)	針對導航系統的標準化物理存儲格式，實現不同系統間導航數據的任意交換。

高精地圖的統一標準一直是測繪與圖資提供商和全球各大車廠重點關心的內容。地圖標準的制定將促進測繪與圖資提供商對於高精地圖的研發速度，加快自動駕駛汽車技術發展。為解決這個問題歐美主流車廠共同成立了 NDS

Association，旨在建立 NDS(Navigation Data Standard)導航系統的標準化物理存儲格式規格，NDS 受到各大汽車廠商的支援成為下一代導航資料標準最有力的競爭者。NDS 的子系統 Open Lane Model 1.0 描述了道路模型車道建模所需的一般概念和結構，適用於高精地圖的標準，為高精地圖提供了統一的標準介面，此標準介面將使得測繪與圖資提供商能夠基於標準化的道路資料模型，更加專注在高精地圖的特徵、屬性等基本交付圖資內容要素，並為客戶提供高品質的高精地圖編譯、測試、驗證與更新服務。

Open Lane Model 1.0，針對「路徑建構區塊(Routing Building Block)」與「車道建構區塊(Lane Building Block)」進行出版擬訂，路徑建構區塊(Routing Building Block)是用來描述道路或車道的幾何與拓撲關係，車道建構區塊(Lane Building Block)包含用於高度自動駕駛的先進車道資訊。框架如圖 4.25 所示。

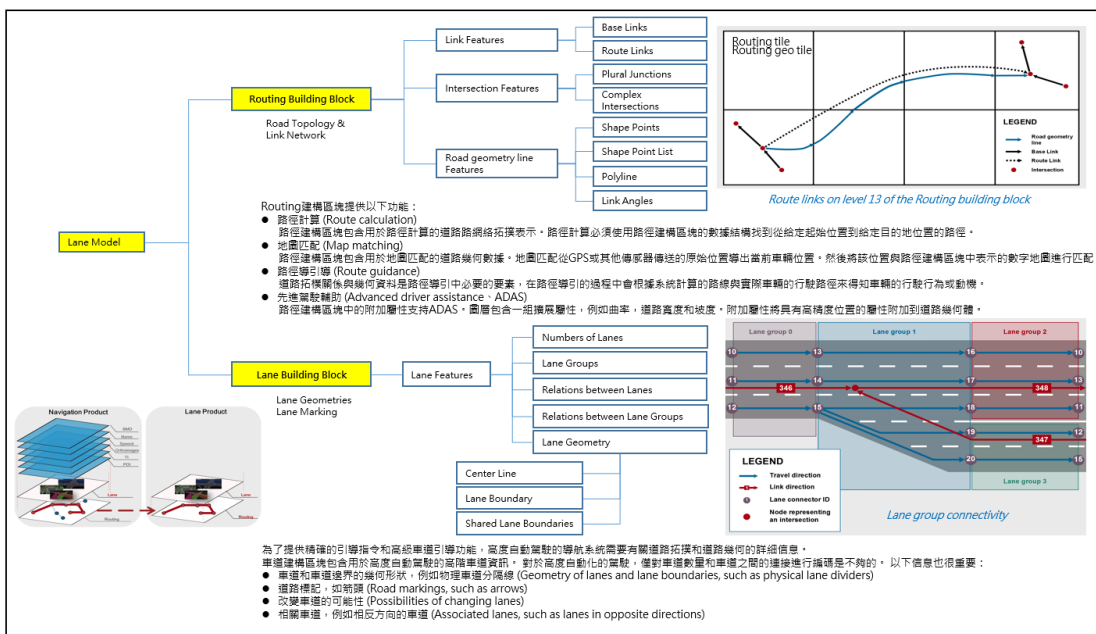


圖 4.25 Open Lane Model 1.0 框架

路徑建構區塊(Routing Building Block)是用來描述道路或車道的幾何與拓撲關係，在 Navigation Data Standard (NDS)標準格式中定義路徑建構區塊提供了以下功能：

- **路徑計算 (Route Calculation)：**路徑建構區塊包含用於路徑計算的道路路網的拓撲表示。路徑計算必須使用路徑建構區塊的數據結構找到從給定起始位置到給定目的地位置的路徑。
- **地圖匹配(Map Matching)：**路徑建構區塊包含用於地圖匹配的道路幾何數據。地圖匹配從 GPS 或其他感測器傳送的原始位置導出當前車輛位置。然後將該位置與路徑建構區塊中表示的數字地圖進行匹配。
- **路徑導引(Route Guidance)：**道路拓撲關係與幾何資料是路徑導引中必要

的特徵，在路徑導引的過程中會根據系統計算的路線與實際車輛的行駛路徑來得知車輛的行駛行為或動機。

- 先進駕駛輔助(ADAS)：路徑建構區塊中的附加屬性層支持 ADAS。圖層包含一組擴展屬性，例如曲率，道路寬度和坡度。附加屬性將具有高精度位置的屬性附加到道路幾何體。

圖 4.26 為 Routing Building Block 的範疇。

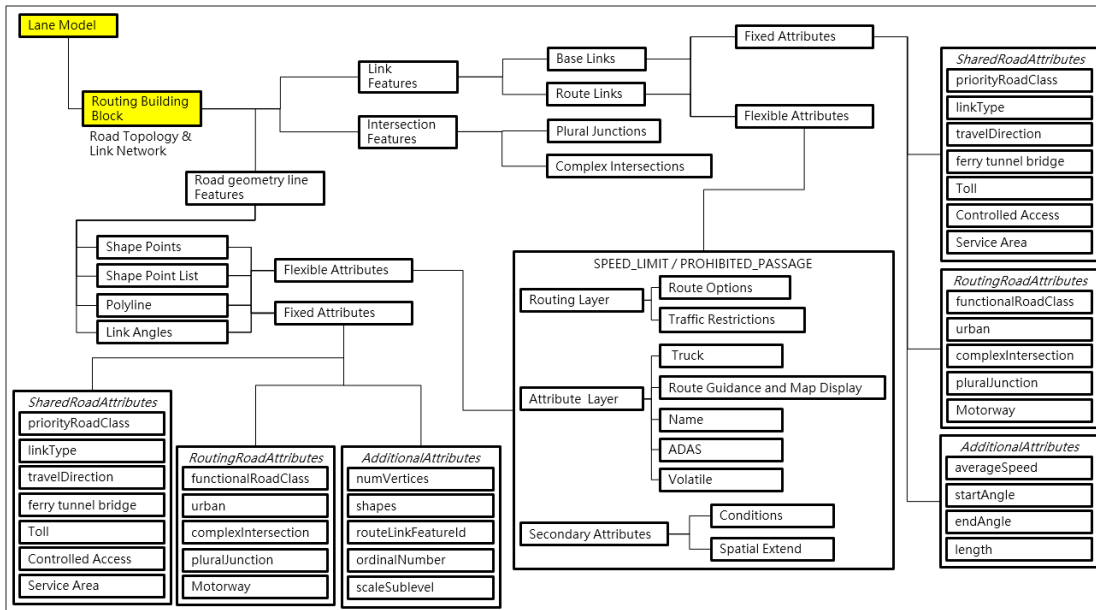


圖 4.26 Routing Building Block 範疇

車道建構區塊(Lane Building Block)包含用於高度自動駕駛的先進車道資訊。道路被數字化為每條車道的單一多點線段(Polyline)，與車道數量無關。對於高度自動化的駕駛，僅對車道數量和車道之間的連接進行編碼是不夠的。包含導航系統所需的用於高度自動駕駛的資訊的車道屬性可以由將車道屬性與有效範圍組合的屬性組來描述，圖 4.27 為 Lane Building Block 的範疇。以下資訊也很重要：

- 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，如箭頭
- 變換車道的可能性
- 相關車道，例如相反方向的车道
- 車道數量與車道之間的連結

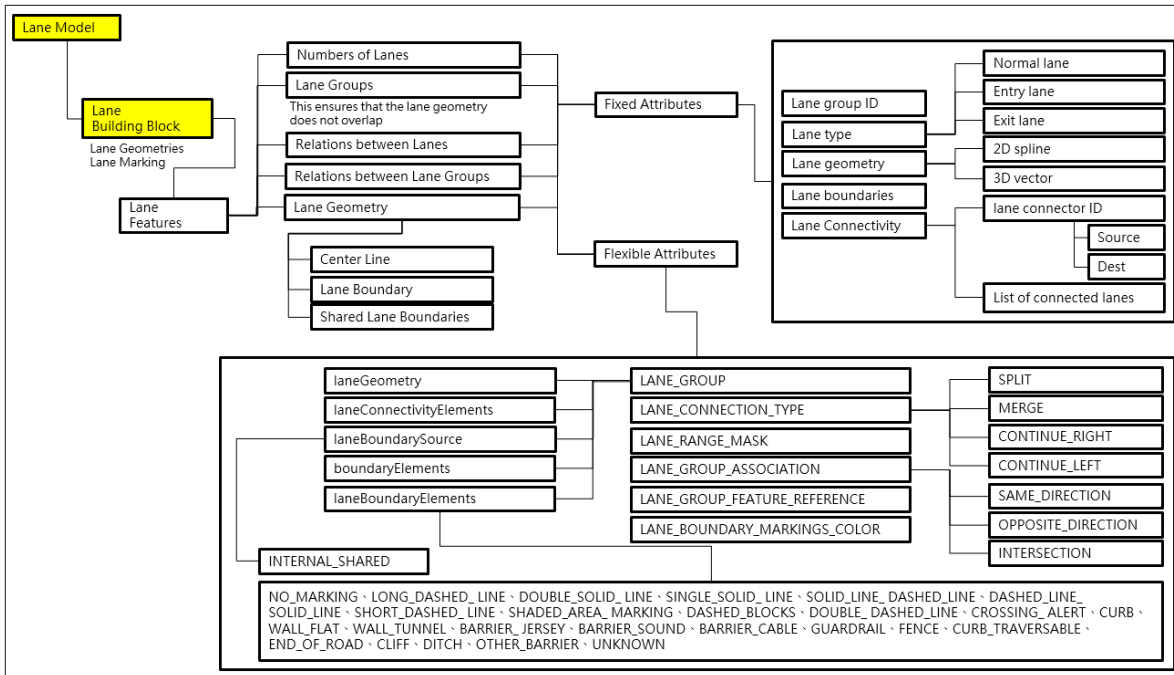


圖 4.27 Lane Building Block 範疇

內政部為我國圖資主管機關，自動駕駛高精圖資供應為全新，為因應未來自動駕駛技術衍伸之圖資流通供應需求，爰本案針對上述高精度定位、高精地圖管理及供應平台可能應備資源需求關鍵技術、標準及法規，與營管單位應有之處理量能及技術措施進行廣泛結構性先期評估，以利內政部未來選定適格之受託單位或成為適格單位之後續應著重發展之標準化技術事項，期能做歐洲 NDS、日本 DMP 的合作橋樑，可以與 NDS(OADF)和 DMP 形成轉換並形成平等合作的關係。

4.4 高精地圖研討會舉辦

因應自駕車技術的發展與高精地圖的產製，今年度配合內政部的規劃，辦理高精地圖的相關活動，整合國內測繪及空間資訊業者的既有技術，未來以高精地圖為基底發展更多元化的應用服務。本年度共計辦理兩場高精地圖研討會事宜，於「HD Map 測繪業座談會」方面，為了促進國內測繪業與相關單位的合作共識，於 107 年 4 月 24 日假成功大學測量及空間資訊學系系館的 2F 圖書室舉辦，邀請了 10 家國內測繪廠商參與，透過自駕車用高精地圖之整備與測製、高精地圖及自動駕駛技術之探討等主題進行綜合討論，希望能將國家政策優先和測繪業報告，提供各廠商思考發展方向。會議記錄和與會者名冊如附錄一，而當天的活動花絮如圖 4.28 所示。



圖 4.28 HD Map 測繪業座談會之花絮

「2018 自駕車高精地圖國際論壇」方面，本案於 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，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，未來發展自駕車的技術與應用，論壇議程如表 4.7，一共邀請了國內外十位高精地圖及自駕車研究之專家進行技術分享，報名的統計資料如表 4.8，與會者所屬的單位比例如圖 4.29 所示，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，參與活動的相關單位如表 4.9 所示。本論壇指導單位為內政部地政司、經濟部工業局及亞洲·矽谷計畫執行中心，並由國立成功大學、財團法人資訊工業策進會、財團法人成大研究發展基金會以及中華民國航空測量及遙感探測學會共同主辦。

表 4.7 「2018 自駕車高精地圖國際論壇」議程表

2018 自駕車高精地圖國際論壇 議程					
2018 年 10 月 30 日 公務人力發展中心福華國際文教會館 1 樓					
08:30 – 09:00	報到				
09:00 – 09:20	開幕 / 貴賓致詞				
09:20 – 09:30	台灣自駕車高精地圖產業標準化啟動儀式				
09:30 – 09:40	107 年度我國 HD Map 計畫成果介紹 / 資訊工業策進會				
09:40 – 09:50	移動載台測量製圖技術發展工作案成果介紹 / 國立成功大學				
時間	場次	國家	主講人	主題	主持人
09:50 – 10:15	專題 1	日本	日本 Dynamic Map Platform(DMP) 田島惠介 首席市場策劃總監	日本高精度地圖發展	國立成功大學 江凱偉 教授
10:15 – 10:40	專題 2	日本	國際航業株式会社 感知事業開發部 車文韜 GIS 技術部長	日本自駕車高精地圖製作技術 與經驗	
10:40 – 10:50	提問與討論				
10:50 – 11:10	茶 敘				
11:10 – 11:35	專題 3	台灣	國立成功大學電機工程學系 莊智清 教授	成功大學自駕車介紹	國立成功大學 郭重言 教授
11:35 – 12:00	專題 4	台灣	國家中山科學研究院 林志平 研究員	車用 3D 快閃式光達技術	
12:00 – 12:10	提問與討論				
12:10 – 13:30	午 餐				
13:30 – 13:50	專題 5	台灣	宏碁股份有限公司 吳佳昇 經理	高精地圖於 Acer SDC 中 扮演何種角色	國立成功大學 王驥魁 教授
13:50 – 14:10	專題 6	台灣	理立系統 李佳儒 執行長	ACES in Mobility-Mission Critical Transportation Cloud	
14:10 – 14:30	專題 7	台灣	經緯航太科技股份有限公司 羅正方 董事長	公分級 HDmap 測繪經驗分享	
14:30 – 14:45	提問與討論				
14:45 – 15:15	茶 敘				
15:15 – 15:35	專題 8	台灣	Here 黃元杰 經理	高精地圖應用及自駕車發展	國立成功大學 江凱偉 教授
15:35 – 15:55	專題 9	台灣	TomTom 張懋 總監	TomTom 高精地圖應用於自駕 車之技術介紹	
15:55 – 16:15	專題 10	美國	Civil Maps Sravan Puttagunta 執行長	Mapping for the Future	
16:15 – 16:30	提問與討論				

表 4.8 「2018 自駕車高精地圖國際論壇」報名統計表

網路報名人數	220	
實際報到人數	188	
現場報名人數	7	
所屬單位	公家單位	25
	產業界	100
	學術研究單位	70

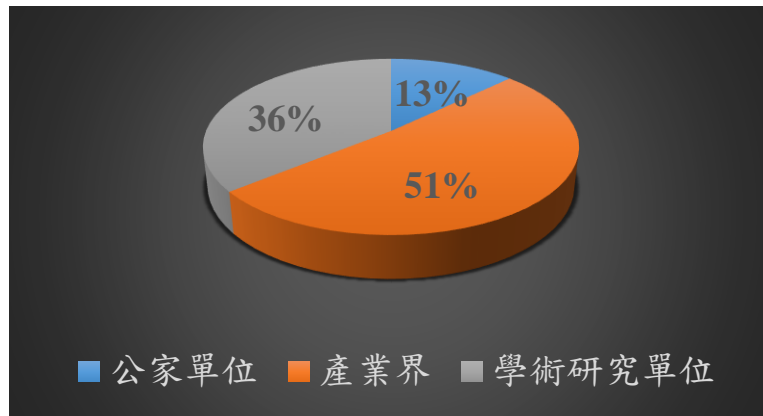


圖 4.29 「2018 自駕車高精地圖國際論壇」與會者之單位比例

表 4.9 「2018 自駕車高精地圖國際論壇」與會單位列表

行政院科技會報辦公室	國立台灣大學	台灣省測量技師公會	華創車電技術中心	福特六和	日陞空間資訊	台灣大哥大	台灣富朗巴軟體科技	嘉友電子	TomTom Group
交通部	國立成功大學	中華民國航空測量及遙感探測學會	勤崴國際科技	北宸科技	瑞竣科技	啟基科技	昕陽科技	Moba Electronics Ltd	輝創電子
臺北市政府地政局	國立清華大學	台灣資通產業標準協會	自強工程顧問	興創知能	巨新科技	協繼科技	達雲科技	台灣中油	知識力科技股份有限公司
國發會	國立交通大學	台灣車聯網產業協會	經緯航太科技	宏碁Acer Inc.	Sunplus Technology	皆盈綠動能科技	晶復科技	NVIDIA	車輛安全審驗中心
內政部國土測繪中心	國立中央大學	中國工程師學會	吉康科技	HERE Technologies	中華汽車工業	法蘭克福新時代傳媒	Pegatron	偉康科技	工業技術研究院
內政部地政司	國立中山大學	中興測量	銳佛科技	緯創資通	致伸科技	行目數據科技	Mitac Digital Technology Corp.	樂而活科技	車輛研究測試中心
臺北市政府都市發展局	台北科技大學	詮華國土測繪有限公司	鼎漢國際工程顧問	星瑞林股份有限公司	景翊科技	詮盛科技	CTCI 中鼎集團	ABLE H&S CO.	群創光電
國研院國網中心	育達科技大學	台灣世曦工程顧問	峰高科技	喜門史塔雷克	Apogee Power Inc., USA	SGS	中華電信研究院	日本DMP海外展開準備室	台灣民族永續發展研究中心
亞洲·矽谷計畫執行中心	香港理工大學	迅聯光電	拓璞科技股份有限公司	康鷹空間資訊	用新科際整合有限公司	大橡股份有限公司	新馳科技	Civil Maps	北宸科技股份有限公司
國家中山科學研究院	資訊工業策進會	Garmin	艾普仕科技	台灣海克斯康測量儀器	遠傳電信	WiBASE Industrial Solutions Inc.	兵神裝備株式會社	中華顧問工程司	研鼎智能有限公司

在論壇的開幕儀式中，主辦單位很榮幸邀請到經濟部工業局的楊志清 副局長以及內政部地政司的陳杰宗 專門委員為本活動致詞，提及政府相當看重高精地圖以及自駕車的相關技術，並且也全力支持相關產業的發展，高精地圖和空間資訊對於未來智慧城市與智慧交通是不可或缺的基底。於開幕儀式後緊接著為「台灣自駕車高精地圖產業標準化」啟動儀式，目標在於建立國家標準並與世界接軌；除了致詞的兩位長官外，也邀請了國家發展委員會產業發展處的詹方冠處長、亞洲·矽谷計畫執行中心的闕河鳴 人資長以及財團法人資訊工業策進會系統所的蒙以亨 副所長一同參與儀式，圖 4.30 所示為啟動儀式及貴賓合影。



圖 4.30 「台灣自駕車高精地圖產業標準化」啟動儀式及貴賓合影

在完成儀式及合影之後，是由資策會系統所的蒙以亨 副所長和成功大學測量及空間資訊學系的江凱偉 教授帶來 107 年度的相關成果介紹。其中，成大測量系過去多年來執行地政司相關的測繪及製圖技術工作案，因此江教授介紹今年度所辦理「移動載台測量製圖技術發展工作案」的成果，除了發展多元移動載台的製圖技術，同時也說明了基於車載移動製圖系統建置高精地圖的挑戰，包括要克服市區定位定向成果的精度限制、高精地圖的圖資內容、自動化偵測與判識技術、即時圖資讀取技術，這些對於發展台灣高精地圖和自駕車技術都是關鍵項目，花絮如圖 4.31 所示。



圖 4.31 「移動載台測量製圖技術發展工作案」成果介紹

接著是由國內外相關單位和產業所帶來的專題演講，介紹各自的核心技術與經驗，並分享高精地圖的應用以及自駕車的發展趨勢，花絮如圖 4.32 所示。



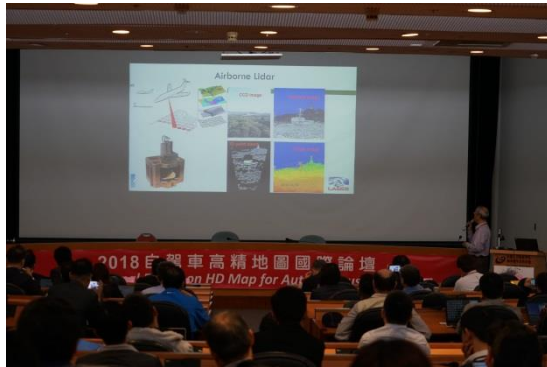




圖 4.32 「2018 自駕車高精地圖國際論壇」活動花絮

透過本次論壇，日本對於高精地圖的建置和發展，以及國際製圖廠商 Here、TomTom 與 Civil Maps 對於自駕車技術的研發和應用，分享許多實務經驗，藉此些單位對於資料蒐集、處理程序以及運用方式作為國內政府部門與產業界之參考，同時也在論壇中推廣國內各單位在自駕車、車用光達、高精地圖與測繪之技術，達到國際交流的目的，未來將發展高精度定位、高精地圖管理及供應平台所需具備的關鍵技術、標準及法規，並期望建立台灣與日本 DMP 的合作橋樑，形成平等合作的關係。

4.5 高精地圖於自駕車適地性服務案例試辦

本服務案例試辦初步參考台中水湳自駕車試驗場地（圖 4.33），從中選用台中水湳經貿園區林蔭大道線（約 2.5 公里）進行適地性服務案例試辦，作為後續高精地圖製圖規範及作業流程評估之用，以利未來研究之實際測試及相關計畫運作策略之參考，其建置之簡要流程、作業要求及後端處理方式、成果及實際操作後的討論事項如下列各節所述。



圖 4.33 台中水湳場域範圍示意圖

4.5.1 儀器設備

透過搭載光達之車載行動測繪系統收集試驗場地之三維點雲資料，本案例試辦所使用之測繪車配備及規格如圖 4.34 所示。有車載光達掃瞄測量車 RIEGL VMX-250 作業，車載光達掃瞄測量車搭載元件可分為兩大部分：定位定向系統之整合及多感測器探測。定位定向系統包含 GNSS/IMU 及 DMI，可於掃瞄時提供精確的坐標資訊，其中 GNSS 為雙星系統、IMU 採樣頻率為 200Hz、GNSS/IMU 之陀螺飄移穩定性分別是 Roll&Pitch 為 0.005°、Heading 為 0.008°，加速度計飄移穩定性為 0.005m/sec，符合高精地圖測製感測器需求。多感測器探測則包含雷射掃瞄儀(雷射掃描最高可達每秒 600,000 點)及四台工業級數位相機，可提供三維點雲資料及 500 萬畫素影像，並配置目前國內最新之 720 度環景照相機 Ladybug 5 進行同步拍攝，透過全方位多角度攝影，經內業軟體處理後可融合產生 3000 萬畫素之高解析度高畫質環景影像。

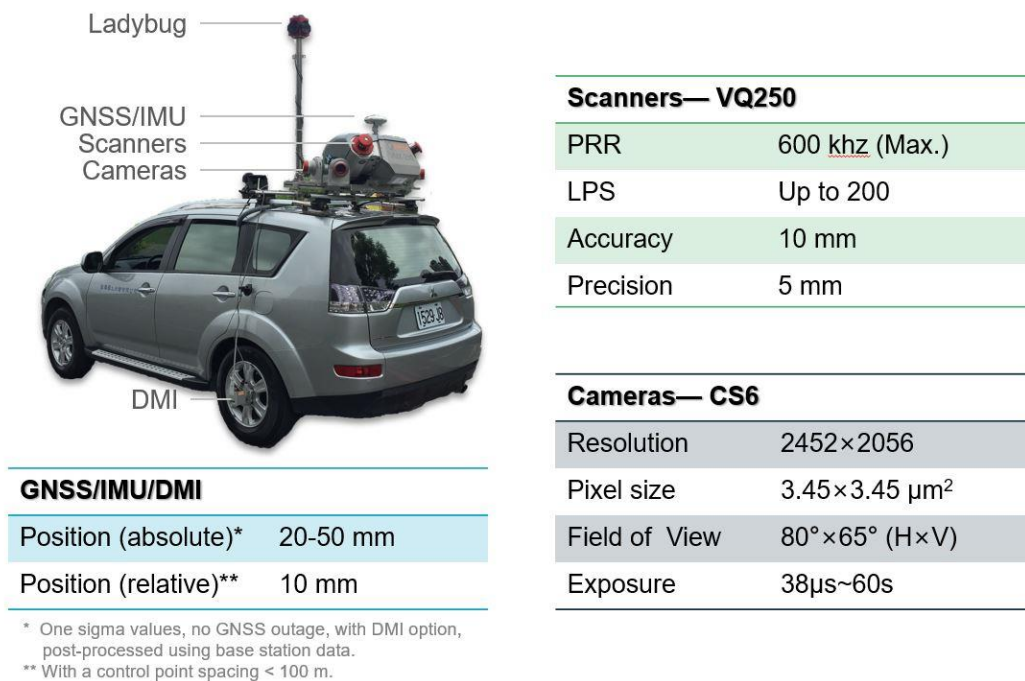


圖 4.34 搭載光達之車載行動測繪系統(RIEGL VMX-250)

4.5.2 作業流程

包含執行細節之整體流程架構依據本案所提供之高精地圖建議製圖流程進行實作，內容已詳述於「4.1 高精地圖及即時動態地圖文獻回顧及標準建立作業規劃」中「圖 4.6 高精地圖製圖作業之車載行動測繪系統建議流程」，包含執行測繪任務前應辦理任務規劃、路線規劃、系統檢測三個步驟；測繪時則包含系統初始化與資料蒐集作業；後續內業任務則需進行資料後處理、成果分析與相關報表製作等。其中，本試辦評估訂定之點雲密度需求為 1 點/平方公分，因此車載行動測繪系統掃描需多次來回掃描以加密點雲。另外，於現場每 300 公尺布設

車載平差地面控制點，採用內政部國土測繪中心提供之 e-GNSS 即時動態定位服務系統進行測量。

4.5.3 資料後處理

完成蒐集之導航及點雲資訊經由後端處理進行如車載整合導航軌跡解算、結合雷射掃瞄儀記錄之雷射測距距離及其角度關係得到點雲匹配成果，本案例試辦之控制點架設及點雲拼接成果如圖 4.35 所示，透過控制點平差校正，可確保定位三維精度 30 公分之內，特徵點對特徵點量測相對坐標平面精度 20 公分以內，符合高精地圖之測量精度。

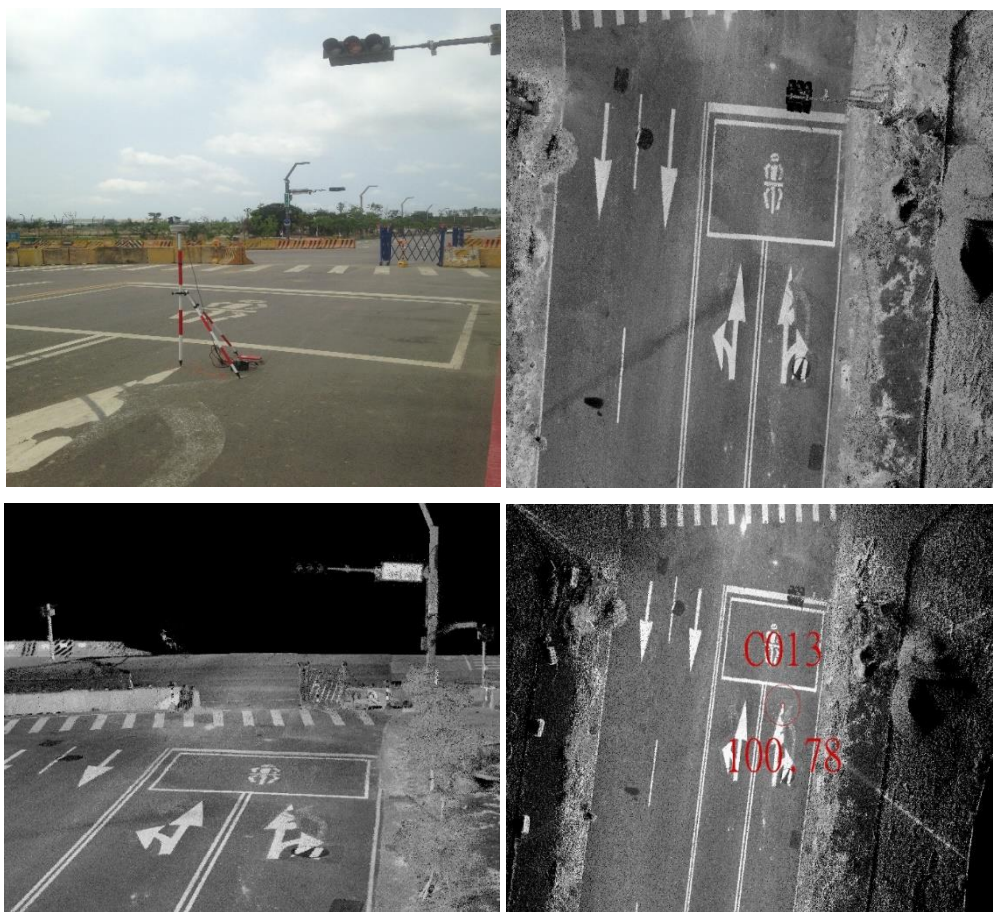


圖 4.35 車載平差控制點點雲量測示意圖

最後，將測繪車收集得到之資料進行分類，本次案例試辦之圖層節錄自 NDS(open lane model 1.0)所定義之自駕車圖層，OpenDRIVEFormatSpecRev1.4H 之圖層格式，及台灣適用的公路總局 15 個圖層，依據我國自駕車試辦場之現地狀況表列下所需屬性簡列如表 4.10 及表 4.11，藉此探討高精地圖所需之物件種類列舉是否合宜，並確定高精地圖規範及作業程序之可行性，本案例試辦之向量圖產製成果如圖 4.36 所示。

表 4.10 水滷自駕車案例試辦—路面圖層資訊

圖層	型態	備註
道路	無寬度polyline	只繪製道路最外側標線(法定的邊界線)。
道路中心線	無寬度polyline	整條道路的中心線，為理論線。
車道中心線	無寬度polyline	每個車道的中心線，為理論線。
法規車道邊界線	有寬度polyline	為指一般道路上標誌的道路邊界線，代表法規上允許行駛的車道邊界線，意即路面上繪製的標線(如：白線、紅線、黃線)。
物理車道邊界線	無寬度polyline	車輛實際上能夠行駛的邊界線，通常會超出法規車道邊界線的範圍，車輛行駛時的路邊緣石的邊界線。
道路邊緣	polygon	如函溝、暗溝等，依內容決定，通常會超出法規車道邊界線的範圍，車輛行駛時的道路路面最外圍的邊界線。
車道標誌(Lane Mark)	polygon	路面上的標誌都要繪製ex.轉彎線、禁行文字，用矩形框住標誌，再用屬性定義標誌內容即可。
交叉路口	有寬度polyline、polygon	交叉路口內標線或註記皆需繪製，並用polygon繪製交叉口範圍。若無標線則僅需繪製交叉口範圍。
交叉點	point	交叉口的節點。
鏈接路段(Link)	無寬度polyline	交叉點之間的連接線。

表 4.11 水滷自駕車案例試辦—非路面圖層資訊

圖層	型態	備註
障礙物	point、polygon	如樹、路燈、電信箱、牆等障礙物皆需繪製，依據障礙物屬性決定型態及圖層定義方式，可列舉數個圖層表示不同障礙物。
停車設施	polygon	停車格等供車輛停放的區塊。
交通號誌	point	可參照p4.定義，定點在號誌的正中間(天空上的點位)，如紅綠燈。
交通標誌	point	可參照p4.定義，定點在號誌的正中間(天空上的點位)，如速限標誌，再用屬性資料標註號誌大小、形狀、內容等。

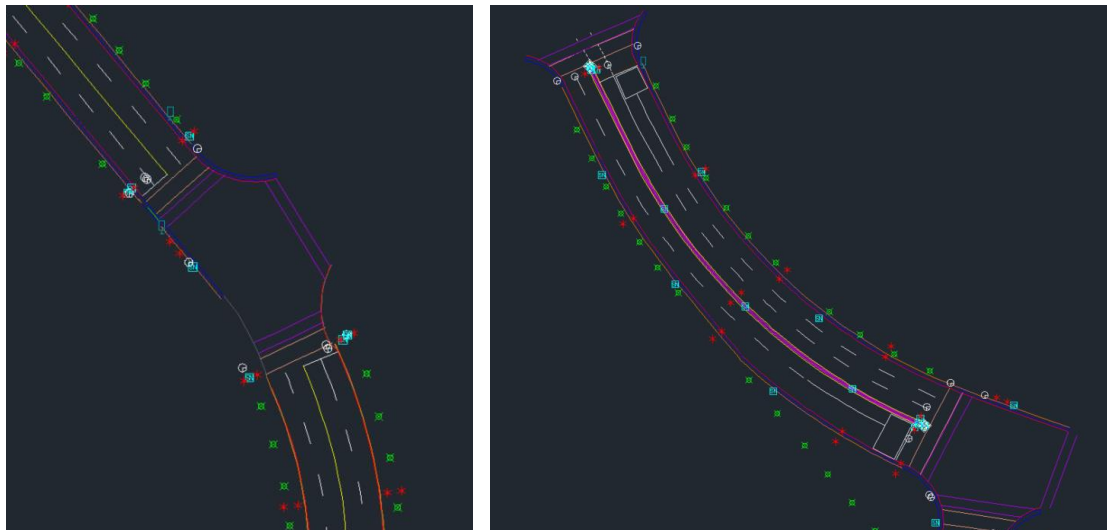
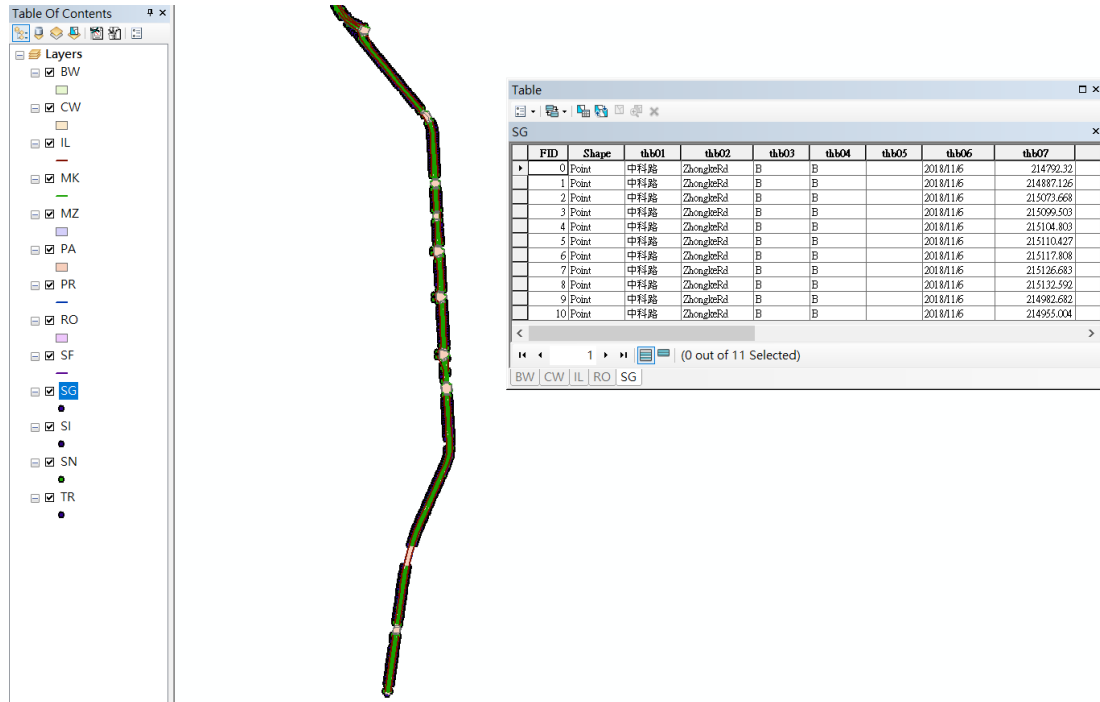


圖 4.36 水滴自駕車測試場案例試辦高精向量圖產製成果

4.5.3 案例試辦討論

本案之案例試辦於台中水滴自駕車試驗場進行資料蒐集規劃及實作測試，藉由製作過程中檢視高精地圖及其規範擬定之可行性，過程中有幾項相關討論議題可作為後續高精地圖製圖規範及作業流程評估之用：首先，點雲密度 1 點/平方公分的目的，是為最大程度上確保未來執行 AI 技術特徵辨識輔助高精地圖時，以較密集的點雲確保特徵物可被如實如質自動辨識，但若單論數化高精地圖向量圖所需原始點雲，此密度確實過於密集造成額外的施測時間成本，有其調整必要，然而其實際密度多寡仍須依特徵區塊之判釋及場地現況綜合衡量為宜。此外，採取 300 公尺要設立地面控制點為最保險之更新頻率，同時此更新間距亦為訪查產業意見多數現行採用之參考指標。

經本案例試辦結果，本建議實施步驟於自駕車試驗場域確實可將成果精度

達到平面 20 公分/三維 30 公分之精度規範，未來或可基於本試辦執行措施延伸至自駕試驗場域外之真實道路環境進一步評估。高精地圖圖層產製部分，藉由本案例試辦進行自駕車測試場圖資內容彙整，整理後列表於本成果報告「4.1 高精地圖及即時動態地圖文獻回顧及標準建立作業規劃」中「表 4.2 靜態高精地圖車道線的分類方式」。再者，本案例試辦最終產出結果的資料容量較大，故如未來後續要作為雲端傳輸之用時，其資料包裝及傳送機制須妥善考量，以利車輛自動即時獲取及解算等，亦為高精地圖及即時動態地圖勢必要考量的技術關鍵。

4.6 本章小結

對於「**高精地圖、即時動態地圖文獻回顧及標準建立作業規劃**」之工作項目，此種全新型態的地圖在維度、內容、精度等內涵均與現有地圖有所不同，原有的製圖規範已不能滿足其製作、維護及檢核需求。本案結合內政部歷年製圖技術經驗，進行先期文獻回顧及產官學界相關資料彙整，評估全新的高精地圖規範、作業方法及精度要求，歸納訂定出高精地圖精度為平面 20 公分以及三維 30 公分之成果需求，及製圖作業之車載行動測繪系統建議流程架構，為我國未來高精地圖測製及標準建立提供完整之參考資訊及背景知識。

對於「**AI 技術特徵辨識輔助高精地圖文獻回顧及整理作業規劃**」之工作項目，自駕車之感知能力可由收集使用者周圍環境之影像與光達資料來實踐，然而為因應大規模的資料量輸入加上即時運算的需求，需以人工智慧自動化方式進行處理以獲取空間資訊，最終提供使用者精確的環境訊息。本案為回顧常見之影像及光達點雲處理演算法，並彙整 AI 技術特徵物辨識之相關研究，針對影像特徵物辨識及光達點雲特徵物辨識提出相關研究成效及精度比較，為未來自動化產製高精地圖之相關計畫提供發展策略指引。

對於「**高精地圖管理及供應平台先期評估作業規劃**」之工作項目，未來隨著自駕車技術成熟，將會有大量車輛搭載多感測器整合系統相關元件進行靜態圖資獲取及動態圖資蒐集，高精地圖管理及供應平台是對未來影響巨大的新興技術，其硬體、傳感器以及軟體需要整個生態的搭建和發展。本案為探討各國高精地圖管理及供應平台等相關應用，並彙整各先進國家高精地圖資料格式規範文件，為後續規範製作提出建議。

對於「**高精地圖研討會舉辦**」之工作項目，今年度配合內政部之規劃，於 107 年 4 月 24 日在成功大學測量及空間資訊學系系館舉辦「HD Map 測繪業座談會」，促進產官學界的合作意向，提供國家政策的相關資訊供測繪業思考高精地圖的應用發展與方向。同時於 107 年 10 月 30 日在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辦理為期一天的「2018 自駕車高精地圖國際論壇」，整合國內外相關的圖資與空間資訊產業之技術和資訊，提供給台灣測繪業建置高精地圖及政府部門推動高精地圖評估標準作為參考。

對於「**高精地圖於自駕車適地性服務案例試辦**」之工作項目，本服務案例試辦於台中水湳自駕車試驗場進行資料蒐集規劃及實作測試，藉由製作過程中檢視高精地圖及其規範擬定之可行性，並將過程中遇到的相關討論議題作為後續高精地圖製圖規範及作業流程評估之用，以利未來研究之實際測試及相關計畫運作策略之參考。

第五章、協助國際事務事項與本案相關成果效益

5.1 協助國際測量事務交流合作

本案去年度配合新南向政策，整合空間資訊產官學界既有技術與產業鏈，積極促進國際測量機關業務交流及產學研發展合作，並且加速東協區域發展，對於提昇相關產業與國家整體競爭力具有重要助益。鑒於國內擁有豐富測繪與空間資訊之經驗，而根據與東南亞國家的專家洽詢之結果顯示，東協區域的多數國家正面臨許多相關的挑戰，包括國家坐標系統更新、地殼與海水面監測、災害管理與測繪之需求，故於 106 年 7 月 10 日辦理「2017 新南向測繪及空間資訊國際論壇」(2017 ASEAN – Taiwan Forum on Land Surveying and Geomatics)，透過實際行動支持國內發起「測繪及空間資訊產學南向合作平台」，擴大論壇的參與力道、官方參與層級以及便於機關各項深化交流，更延伸至防災與測繪相關議題。

而內政部也於 106 年 12 月 20 日主持我國與印尼的「大地測量與空間資訊測繪合作協定」簽屬典禮(圖 5.1、圖 5.2)，並由駐印尼臺北經濟貿易代表處與駐臺北印尼經濟貿易代表處完成簽署。此次國際測繪合作協定的簽署，是台灣首次就測繪工作簽署之跨國合作協定，除了將持續和印尼共同精進測繪領域外，也將積極拓展跨國合作版圖，以利測繪工作之進一步發展，而本案而本案今年度依據內政部的合作需求具體和印尼政府部門及學術界進行空間測繪的合作，與印尼國土空間資訊局(Indonesian Geospatial Agency, BIG)交流大地測量的相關技術以及與印尼泗水理工大學(Institut Teknologi Sepuluh Nopember, ITS)交流整合式定位定向技術並提供諮詢的服務，協助推動雙方測繪技術及產業發展的合作。



圖 5.1 完成台灣與印尼測繪合作協定簽屬



圖 5.2 簽屬典禮之出席貴賓合影

台灣過去長期推動國家的基本測量工作，逐步建構完整海陸域的測量基準以及參考系統，並積極深耕於空間測繪技術發展和學術研究，已經累積相當多國際測繪事務的合作經驗，期待透過這次台印尼測繪協定之簽署，加強雙方測繪技

術人才交流及測繪產業發展合作，增進雙邊實質友好關係，以具體實踐政府新南向政策理念。

另一方面，隨著自駕車技術的發展與高精地圖的產製，本案配合內政部的規劃，除了於 107 年 10 月 30 日舉辦「2018 自駕車高精地圖國際論壇」，也於 10 月 31 日和日本 DMP 進一步討論未來國際合作的事宜，以及雙方所扮演的角色，目前靜候 DMP 確認合作意願與細項。

此外，本團隊人員也於 107 年 11 月 13-15 日至日本東京參與第 5 屆「SIP-adus Workshop 2018」，研討會議程如表 5.1，SIP-adus 是一項為期五年的日本政府領導的連接和自動駕駛研究項目，始於 2014 年，此全球合作研討會旨在解決實施自動駕駛系統的挑戰，並聚集來自 17 個國家和地區的 516 名參與者，其中包括 145 位頂級專家。SIP-adus 之技術發展核心領域包含：

1. 動態地圖(Dynamic Map)：實現自動駕駛系統所必須的數位地圖基礎設施，對其他領域的影響範圍非常大。
2. 聯網車輛(Connected Vehicles)：降低行人事故相關技術，構建實現車、人、基礎設施三位一體的交通事故對策，形成相應技術基礎及實行體制，進行駕駛輔助系統及自動駕駛系統的開發和實用化、普及和促進，同時解析交通事故死者數據，提高模擬技術，開發安全措施效果預測和檢驗驗證技術。
3. 網路安全(Cyber Security)：通過車與車、路與車、行人與車之間的通信，讓車輛、行人、汽車檢測系統和動態地圖中心功能實用化，實現前提是需要探討和開發外部網絡攻擊和安全威脅防禦對策，降低汽車聯網時代的威脅和風險。
4. 新世代運輸系統(Next Generation Transport)：提高地區交通管理，進行有助於國際未來發展的下一代城市交通系統 ART(Advanced Rapid Transit)的實用化開發，針對移動出行困難者提供相應解決對策，確保所有人安全、安心、順利地移動出行。
5. 人機介面準則(Human Factors)：是為了讓人和系統融為一體，確保安全的自動駕駛系統，為了正確定義駕駛者和自動駕駛系統之間的關係，為了讓大眾理解而進行人機互動介面相關的調查和開發工作。

表 5.1 「SIP-adus Workshop 2018」議程

	Tuesday, November 13	Wednesday, November 14	Thursday, November 15 (Breakout Workshop)
AM	9:00~9:30 Opening Session	9:00~10:30 SIP-adus Report Session	9:00~12:00 Breakout Workshop (BW)
	9:30~13:00 Regional Activities & FOTs	10:45~12:25 Impact Assessment	
Poster Session			
PM	14:00~15:30 Dynamic Map	14:00~16:15 Next Generation Transport	13:00~15:30 Breakout Workshop (BW)
	15:45~17:05 Connected Vehicles		16:00~17:00 Breakout Workshop Summary
	17:20~19:00 Cyber Security	16:30~18:00 Human Factors	17:00~17:30 Closing Session

5.1.1 本章小結

今年度配合內政部與印尼的合作需求進行技術交流，提供大地測量和整合式定位定向系統的諮詢服務，同時因應自駕車技術的發展與高精地圖的產製，本團隊與日本 DMP 進一步討論未來國際合作的事宜，同時派遣人員至日本東京參與「SIP-adus Workshop 2018」，協助推動相關的國際事務。

5.2 論文期刊

本團隊將依據本案之研發成果提送期刊或研討會論文文稿至少 3 篇，且其中 1 篇將提送國際期刊(SCI/EI 等級)，並將提送國內外實作或論文競賽 1 件，以提升我國航遙測製圖技術國際能見度，落實本案發展推廣及應用。

目前已投稿「The European Navigation Conference 2018」2018 歐洲導航研討會論文文稿兩篇，題目為「A NLOS Reduction Architecture Embedded Navigation Algorithm Based on LiDAR SLAM-Aided INS/GNSS Integration System」，「The Performance Analysis of Applying Differential Distance Correction in BLE-based Indoor positioning System」並獲接受已與 5 月中完成發表。

SCI 國際期刊論文文稿「An Improved Real-time Adaptive Kalman Filter for INS/GNSS/Barometer Integration for Land Vehicle in Urban Area」一篇，投稿至「GPS Solutions」期刊，目前已投稿於該期刊。投稿信函如見附錄二。

另外國內外實作或論文競賽已參加「第三十七屆測量及空間資訊研討會學生論文獎」，以及「大專生 3S 創客競賽」，獲得實作獎與優等，獎狀見附錄三。此篇文稿基於第 2.1 小節「研發公尺級低成本之可攜式光達室內製圖系統」之研究成果，內容包含使用低成本光達與 RGB-D 影像進行室內製圖等。並於「ION GNSS+ 2018」獲得最佳學生論文獎。研發成果之提送狀況整理如下表 6.1。

表 6.1 研發成果之提送狀況

研發成果	目標	進度
研討會論文	至少 2 篇	1. 已於「The European Navigation Conference 2018」2018 歐洲導航研討會發表論文「A NLOS Reduction Architecture Embedded Navigation Algorithm Based on LiDAR SLAM-Aided INS/GNSS Integration System」與「The Performance Analysis of Applying Differential Distance Correction in BLE-based Indoor positioning System」文稿二篇。
國際期刊(SCI/EI 等級)	1 篇	1. 已投稿至「GPS Solutions」國際期刊，題目為「An Improved Real-time Adaptive Kalman Filter for INS/GNSS/Barometer Integration for Land Vehicle in Urban Area」。
實作或論文競賽	1 件	1. 已參加「第三十七屆測量及空間資訊研討會學生論文獎」。 2. 已參加「ION GNSS+ 2018」，並以題目「An Experimental Study of an Improved BLE Indoor Positioning Scheme Based on Differential Distance Correction」，獲得最佳學生論文獎。 3. 參加「大專生 3S 創客競賽」，並以題目「Loop Closure Detection 輔助移動 RGB-D 相機平台製圖」與「低成本之光達室內製圖實作」，獲得優等與實作獎。

5.3 成果效益評估

按照合約與工作項目，本團隊將依據科技計畫績效管考平台 (<http://stprogram.stpi.narl.org.tw/>) 提供之格式，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。

目前本團隊已完成本案 107 年度計畫的「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, 登載結果見下圖 7.1 至圖 7.4。

The screenshot shows the GRB (Government Research Bulletin) system interface. The header includes the GRB logo and navigation links: 首頁 | 關於GRB | 管理辦法 | 計畫主管機關 | 聯絡我們. The main content area displays the following information:

研究計畫管理 > 研究計畫摘要

執行機構計畫填寫人: 江凱偉先生, 您好

重新計時 | 自動登出: 14:19

計畫管考人: [蔡欣雅](#) 業務承辦人: [吳俊毅](#) 計畫填寫人: [江凱偉](#) [返回計畫一覽表](#)

系統編號: PG10707-0003
 計畫中文名稱: 107年度移動載台測量製圖技術發展工作案
 計畫英文名稱:
 主管機關: 內政部
 主管機關計畫編號:
 科技計畫編號:
 上層科技總部計畫名稱:
 執行單位: 國立成功大學測量及空間資訊學系(所)
 執行單位簽約人:
 計畫依據:
 研究性質: 應用研究
 研究方式: 委託研究
 計畫屬性: 科技類
 研究領域: 防災工程; 資訊科學-軟體; 自動化工程(工); 電信工程
 年度: 107
 全程期間: 10703 - 10711
 本期期間: 10703 - 10711
 經費來源: 內政部
 補助/委託: 100 %
 全程經費: 4400 千元
 本期經費: 4400 千元
 資本支出(單位: 千元) 土地建築: 0 儀器設備: 0 其他: 0
 經常支出(單位: 千元) 人事費: 1620 材料費: 1000 其他: 1780

圖 7.1 政府研究資訊系統 GRB 登載結果-1

參與計畫人員：

No.	姓名	出生年 (民國)	專長	職級	學歷	性別	參與 人月	參與 性質	專任/ 兼任	服務機構
1	江凱偉		自動化工程(工)	研究員級(含以上)	博士	男	9	計畫主持人	兼任	國立成功大學測量及空間資訊學系(所)
2	張秀雲		電信工程	研究員級(含以上)	博士	女	9	協同主持人	兼任	國立成功大學測量及空間資訊學系(所)
3	呂學展		資訊科學-軟體	研究員級(含以上)	博士	男	9	協同主持人	兼任	國立成功大學測量及空間資訊學系(所)
4	曾義星		防災工程	研究員級(含以上)	博士	男	9	協同主持人	兼任	國立成功大學測量及空間資訊學系(所)

中文關鍵詞：多平台；定位定向；空間資訊；室內定位；室內製圖

英文關鍵詞：Multi-Platform；Positioning and Orientation；Spatial Information；Indoor Positioning；Indoor Mapping

計畫中文摘要：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，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。攝影測量製圖的技術與精密整合式定位定向系統結合，搭配多種感測器來收集空間資料，能夠實現快速即時移動式測量及蒐集空間資料之移動載台製圖技術。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，進而推動空間資訊產業之成長。另一方面，車載及無人控制載具的直接定位技術，能夠即時監控、定位及量測環境，對災害防救的緊急應變措施有極大的效益。加上目前備受矚目的行動裝置，發展低成本的室內移動製圖與行人導航定位技術，能夠與其他載台構築聯合作業模式，應用在防災與資源調查領域，尤其對在室內環境中發展防滅災應用有極大的助益。此外相應而生的適地性服務，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。同時針對物聯網技術與智慧城市之發展願景，預期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絡，將支撐適地性服務(含災害防救)急速擴展的需求，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持續自主研發適用不同移動載台之製圖技術，並獲致相當之成果，冀望於本案能夠在既有成果上持續更進一步探討，並往應用面推廣，包含下列與移動載台製圖系統相關之議題。今年度預計發展之項目如下：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、探討高精度地圖及即時動態地圖規格、作業方法及精度評估，並協助推動國際測量事務交流合作。同時希望藉由積極參與國外專業領域各學會之研討會、論文競賽與發表高品質期刊論文，持續加強專業人才訓練與先進移動載台製圖技術之國際競爭力。

圖 7.2 政府研究資訊系統 GRB 登載結果-2

計畫英文摘要：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. The innovative technologies have ability to represent the real-world and their benefits rely on the timeliness and accuracy of spatial and attribute data. 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. Objects of interest can be directly measured and mapped from images that have been georeferenced using POS sensors. The collected spatial data from the mobile mapping system enables the government to plan national land development in a quicker and more effective way. In addition, the vehicle-based mobile mapping technology has great benefits for real-time monitoring, positioning and measurement of environment for emergency response and disaster prevention. With the development of mobile devices, the indoor mobile mapping and navigation technologies can make a teamwork with vehicle-based systems for the applications, especially in indoor environments. 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 LBS (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 mobile mapping technologies applied for various platforms can be considered as the ultimate objective of geomatics communities around the globe. This project aims at developing several core technologies concerning multi-platform mobile mapping systems including indoor mobile mapping and navigation technologies, mobile mapping application for cadastre survey as well as the discussion of high definition map. In addition, this project enhances Taiwan's capability of development for advanced mobile mapping technologies which make it comparable to international geomatics. 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.

圖 7.3 政府研究資訊系統 GRB 登載結果-3

研究計畫績效							
系統編號： PG10707-0003							
計畫編號：							
計畫名稱： 107年度移動載台測量製圖技術發展工作案							
年 度： 107							
執行單位： 國立成功大學測量及空間資訊學系（所）							
績效與佐證資料稽核結果							
指標群組	指標名稱	績效欄位名稱	單位	績效填寫值	佐證合計值	稽核結果	作業
A	論文	國內期刊論文	篇	0	0	相符	績效 佐證
		國外期刊論文	篇	1	1	相符	績效 佐證
		國內研討會論文	篇	1	1	相符	績效 佐證
		國際研討會論文	篇	3	3	相符	績效 佐證
		國內專書論文	篇	0	0	相符	績效 佐證
		國外專書論文	篇	0	0	相符	績效 佐證
		國內重要期刊論文	篇	0	0	相符	績效 佐證
		國外重要期刊論文	篇	1	1	相符	績效 佐證
B	合作團隊(計畫)養成	機構內跨領域合作團隊(計畫)數	個	0	0	相符	績效 佐證
		跨機構合作團隊(計畫)數	個	2	2	相符	績效 佐證
		跨國合作團隊(計畫)數	個	0	0	相符	績效 佐證
		形成研究中心數	個	0	0	相符	績效 佐證
		形成實驗室數	個	3	3	相符	績效 佐證
		簽訂協議數	個	0	0	相符	績效 佐證
C	培育及延攬人才	博士培訓人數	人	5	5	相符	績效 佐證
		碩士培訓人數	人	10	10	相符	績效 佐證
		學士培育培訓人數	人	0	0	相符	績效 佐證
		延攬科研人員數量	人	2	2	相符	績效 佐證
		國際學生/學者交換人數	人	0	0	相符	績效 佐證
		證照取得人數	人	0	0	相符	績效 佐證
D1	研究報告	研究報告數	本	2	2	相符	績效 佐證
E	辦理學術活動	辦理國內學術研討會	次	1	1	相符	績效 佐證
		會議論文集出版種數	種	0	0	相符	績效 佐證
		辦理國際學術研討會	次	1	1	相符	績效 佐證
		辦理兩岸學術研討會	次	0	0	相符	績效 佐證
I1	辦理技術活動	國內技術活動	場次	1	1	相符	績效 佐證
		競賽活動	場次	2	2	相符	績效 佐證
		辦理技術說明會或推廣活動	場次	0	0	相符	績效 佐證
		辦理其他技術活動	場次	0	0	相符	績效 佐證
		國際技術活動	場次	1	1	相符	績效 佐證

圖 7.4 政府研究資訊系統 GRB 登載結果-4

5.4 定期召開工作會議

本團隊定期召開工作會議，並適時接受諮詢，作為後續應用方向或執行參考。召開至少 3 場工作會議，地點在臺南成功大學測量及空間資訊系館，或臺北市內政部地政司辦公室。截至期末已召開之工作會議條列如下：

1. 於 107 年 4 月 24 日於臺南成功大學測量及空間資訊系館舉辦第一次工作會議，會議記錄見附錄四。
2. 於 107 年 9 月 28 日於臺南成功大學測量及空間資訊系館舉辦第二次工作會議，會議記錄見附錄五。
3. 於 107 年 11 月 12 日於臺南市地政局舉辦第三次工作會議，會議記錄見附錄六。

4. 於 107 年 11 月 12 日於嘉義國立故宮博物院南部院區舉辦使用者會議與展示。

目前工作會議已陸續召開三次(不含本團隊內部工作會議)，並邀請相關活動參與者參與交換工作項目之意見，作為後續應用方向或執行參考。同時多次工作會議也針對「故宮南院適地性服務」與「高精地圖研討會」進行討論。此外，也於 4 月 24 日號舉辦高精地圖座談會，邀請台灣測繪業者參與，為使各界充分了解內政部高精地圖計畫，確保本項計畫切實滿足預期效益，同時凝聚國內產業能量，強化產官學研合作共識，並促進跨域國家級團隊形成，幫助我國產業接軌與即早智財佈局，爰辦理本次座談會。

第陸章、 結論與建議

本案執行本案之各項任務時程，遵照本案之工作計畫書預定時程進行，並於 107 年度 4 月起每個月工作專案月報回報至內政部地政司，作為每月進度檢核依據，本案各項任務皆如期完成進度。結論與建議分別敘述如下。

6.1 結論

「發展移動裝置通用之室內外定位技術」之工作項目方面，依前述工作項目之重點，本團隊將研發公尺級低成本之可攜式光達室內製圖系統之技術，透過現有的低成本光達配合不同載體，產製精準比例之室內圖資。透過此一技術，可以彌補去年度受沒有圖資的限制無法到達部分場地進行測繪之缺失。同時，本團隊亦研發藍芽(低功耗)差分演算法，提升交會定位之精準度。強化本團隊去年發展之行動室內定位系統與演算法(慣性、藍牙與地圖輔助)，今年度研發藍芽(低功耗)差分演算法。此方法之優勢為不需要花費太多時間及人力成本，透過差分的方式降低環境因子所造成之訊號衰減誤差。成果顯示所提出之距離差分法確實有提升定位精度之效果。加入線性平差及不等權平差進行評估後，挑選出最合適的平差模型於低功耗差分演算法中。發展室內災害的人流導引應用之工作項目，基於上個年度的室內圖資自動化產製路網向量圖之功能，本團隊將室內導引應用於災害人流導引上。今年度以故宮南院作為實驗場，完成建置一個擴增導覽 App，包含了使用 Beacon 藍牙結合 PDR 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。

「發展地籍測量移動製圖技術」之工作項目方面，本年度已發展新一代可攜式全景影像測繪系統，改善原先系統率定之問題。另外也至室內與室外實驗場進行驗證，證實新 PPIMS 之穩定性與定位精度皆獲得顯著改善，提高 SPI 輔助應用至地籍測量之可行性。此外，移除交會幾何不佳之觀測量，對解算成果亦有幫助，其於室外實驗場之實驗成果已獲得驗證。於適地性服務案例試辦中，證實本系統在理想之透空與通視條件下，可達到合乎地籍測量市地之規範，標準誤差在 2 公分以內。而控制點之約制，與測站及連結點之交會幾何於此測試區域亦再次證實其重要性。

「探討高精地圖及即時動態地圖規格、作業方法及精度評估」之工作項目，案彙整高精地圖及即時動態地圖之本質內涵，此種圖資可於車輛行駛過程中提供輔助資訊協助自駕車作出正確決策。本案對靜態高精地圖應備之精度標準、製圖作業程序架構及圖資內容作初步定義，並基於國內外產官學研究文獻及既有移動製圖系統相關規範，提供符合我國自駕測試場域之車載行動測繪系統標準製圖作業建議，以及基於人工智慧自動辨識外界環境之自駕車可用特徵萃取技術之文獻整理。另，探討各國高精地圖管理及供應平台等相關應用，並彙整各先進國家高精地圖資料格式規範文件，為後續規範製作提出建議。再者，本先期研

究計畫藉由國際論壇舉辦結合國內外產官學界對現今高精地圖之發展技術提供建議及討論；並藉由台中水湳自駕車測試場實際製作高精地圖案例修正所提出方案之正確性，希冀能為未來高精地圖在我國的發展提供穩定的基石。

「協助推動國際測量事務交流合作：依內政部需求協助推動國際測量事務交流合作」之工作項目方面，本案依據內政部的合作需求與印尼及日本 DMP 進行交流，除了和印尼 BIG 交流大地測量的相關技術以及和 ITS 交流整合式定位定向技術並提供諮詢外，同時也至日本東京參與「SIP-adus Workshop 2018」，協助推動測繪與高精地圖之相關的國際事務，落實國內外空間資訊交流。

其他工作項目如論文期刊發表、成果效益評估與定期召開工作會議等，皆已按照工作項目內容與內政部地政司之需求，進度如期並配合完成。成果影片於期末報告光碟中一併繳交，科普文章請參考附錄七。

6.2 建議

「發展移動裝置通用之室內外定位技術」方面，建議按照原訂之中長期規劃，在完成室內移動製圖系統(電動推車式)與基於公開資訊自動化產製公尺級室內圖資之技術後，將於今年度研發公尺級低成本之可攜式光達室內製圖系統。如此室內之移動載台製圖技術將更完善，能夠應用於不同條件之室內環境。另關於消費者級室內定位技術，考量擴增實境仍有一定的不便性，除考量將擴增實境限縮在初始化與更新位置時使用，結合差分式藍牙定位技術，如此透過整合系統的發展，使用者使用室內定位技術的方式將具備更多彈性。

「發展地籍測量移動製圖技術」方面，本團隊在與內政部地政司及臺南市地政局針對適地性服務案例成果討論後，建議未來可再找尋不同區域繼續試辦，期望能擴大區域之外，亦有足夠之現地現存之界址點作為檢核。除此之外，亦建議使用臺南市自身建置之 e-GNSS 定位系統以及控制點來進行觀測，臺南市地政局亦將協助布設及提供合適之三維控制點予以後續平差解算。

「探討高精地圖及即時動態地圖規格、作業方法及精度評估」方面，未來將由內政部統籌經費支持成立高精地圖中心成為 NDS 會員獲得直接授權，持續以 NDS 作為基底進行圖層內容增刪從而提出適用於我國高度混流交通型態之適地性圖層內容；也將持續蒐集整理光達與影像資料間的處理及整合方法，以解決自駕車所接收到的觀測數據過於龐大所需的高速自動化處理技術，後續計畫可依本案之評估結果就實際資料處理及分類技術進行實作，進而達成自動化高精地圖圖資產製之目標。

「協助推動國際測量事務交流合作」方面，未來持續依照內政部需求，推動國際測量事務交流合作。

參考文獻

- 上條俊介、古艷磊、許立達(2015)：Autonomous vehicle technologies: localization and mapping，電子情報通信学会基礎境界ソサイエティ Fundamentals Review 9.2，131-141。
- 王彬權 (2012)：可攜式全景影像測繪系統之率定，國立成功大學測量及空間資訊學系碩士論文。
- 任志恆 (2011)：自動化從測量車影像序列獲取交通路標研究，國立成功大學測量及空間資訊學系碩士論文。
- 朱建勳 (2016)：提升陸、空移動製圖系統之定位精度輔助演算法，成功大學測量及空間資訊學系學位論文，1-175。
- 江凱偉、曾義星、楊名、饒見有、詹劭勳 (2011)：100 年度發展與應用多平台遙測製圖技術工作案期末報告，內政部地政司。
- 江凱偉、曾義星、饒見有、楊名 (2014)：103 年度多平台遙測製圖技術工作案期末報告，內政部地政司。
- 江凱偉、曾義星、饒見有、詹劭勳、楊名、陳國華 (2012)：101 年度多平台遙測製圖技術工作案期末報告，內政部地政司。
- 李育華 (2010)：車載移動式製圖系統之系統率定及其直接地理定位之效能分析，成功大學測量及空間資訊學系學位論文，1-139。
- 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。
- 林耿帆、徐百輝 (2012)：以物件為基礎之光達點雲分類，國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文。
- 陳楚穎 (2011)：擴增實境應用於旅遊規劃系統之開發與評估，臺中科技大學多媒體設計系碩士班學位論文。
- 楊成中、賴盈誌 (2015)：104 年度多平台遙測製圖技術工作案期末報告，內政部地政司。
- 詹政達 (2009)：應用擴增實境於兒童繪本之探究—以創意生活產業故事屋為例，屏東科技大學木材科學與設計系所學位論文。
- 廖振豪 (2017)：基於車位使用率預測之智慧停車分配技術，國立成功大學測量及空間資訊學系碩士論文。
- 蔡博慶 (2012)：可攜式全景影像測繪系統之光束法平差及應用，國立成功大學測量及空間資訊學系碩士論文。
- Aaron P., Justin K., Robert T., Orjeta T., Eben R. and Marshall V. (2012): Navigation Portals for a Remote Vehicle Control User Interface, USA Patent, US 20120072052 A1.
- Aaron Smith. (2015): U.S. Smartphone Use in 2015, <http://www.pewinternet.org/2015/04/01/us-smartphone-use-in-2015/>.

- Abhijit O., Ehud R. and Scott E. (2014): Indoor localization and mapping, USA Patent, US 8818706 B1.
- Aly, M. (2008, June). Real time detection of lane markers in urban streets. In Intelligent Vehicles Symposium, 2008 IEEE (pp. 7-12). IEEE.
- Bas-des B. (2011): Improving RGBD Indoor Mapping with IMU data, Master thesis, Master's Thesis in Embedded Systems, Delft University of Technology.
- Beauregard S. (2006): A Helmet-Mounted Pedestrian Dead Reckoning System, 2006 3rd International Forum on Applied Wearable Computing (IFAWC).
- Bekkelien, A. (2012): Bluetooth Indoor Positioning. Master's thesis, University of Geneva, Geneva, Switzerland.
- Bernoulli T., Krammer M., Walder U., Dersch U., Zahn K. (2011): Improvement of inertial sensor based indoor navigation by video content analysis, 2011 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN).
- Bizjak, M. (2015): 3D Reconstruction of Buildings from LiDAR Data, Proceedings of CESC2015: The 19th Central European Seminar on Computer Graphics (non-peer-reviewed).
- Blodget, H., Gobry P. and Cocotas A., (2012): The Future of Mobile, Business Insider, <http://www.businessinsider.com/the-future-of-mobile-deck-2012-3>.
- Bluetooth Special Interest Group. (2010): Specification of the Bluetooth System, Covered Core Package, Version 4.0 ; Bluetooth Special Interest Group: Kirkland, WA, USA.
- Boukerche, A., H. A. Oliverira, E. F. Nakamura, A. A. Loureiro (2007). Localization Systems for Wireless Sensor Networks. IEEE Wireless Communications, 14(6), 6-12.
- Brajdic, A., & 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). ACM.
- Bretschneider, N., Brattke, S. and Rein, K., (2006): Head Mounted Displays for Fire Fighters, 2006 3rd International Forum on Applied Wearable Computing (IFAWC).
- Broggi, A., Cardarelli, E., Cattani, S., Medici, P., & Sabbatelli, M. (2014): Vehicle detection for autonomous parking using a soft-cascade AdaBoost classifier. In Intelligent Vehicles Symposium Proceedings, IEEE, pp. 912-917
- Broggi, A., Cardarelli, E., Cattani, S., Medici, P., & Sabbatelli, M. (2014): Vehicle detection for autonomous parking using a soft-cascade AdaBoost classifier. In Intelligent Vehicles Symposium Proceedings, IEEE, pp. 912-917
- Čabarkapa, D., Grujić I. & 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.

- California Department of Transportation (2018): Surveys Manual, Office of Land Surveys. Division of Right of Way and Land Surveys.
- Chen, L., Teo, T., Rau, J. Y., Liu, J., & Hsu, W. (2005). Building reconstruction from LIDAR data and aerial imagery. In IGARSS (pp. 2846-2849).
- Chen, R., L. Pei, & Y. Chen (2011). A Smart Phone Based PDR Solution for Indoor Navigation. In Proceedings of the 24th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2011), 1404-1408.
- Chiang, K. W., Liao, J. K., Tsai, G. J. & 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).
- Cho, H., Ji, J., Chen, Z., Park, H., & Lee, W. (2015): Accurate Distance Estimation between Things: A Self-correcting Approach. *Open Journal of Internet Of Things (OJIOT)*, 1(2), 19-27.
- Chriki, A., Touati, H. & Snoussi, H. (2017): SVM-based indoor localization in Wireless Sensor Networks. In Proceedings of the 13th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), Valencia, Spain, 26-30 June 2017, pp. 1144-1149.
- Dahlberg, E. (2014): Imaging Rover on the Canal, xyHt | Positioning and Measurement, Elevated, September 2014, pp.27-29.
- De Silva, V., Roche, J., & Kondozi, A. (2017): Fusion of LiDAR and Camera Sensor Data for Environment Sensing in Driverless Vehicles. arXiv preprint arXiv:1710.06230.
- Deretey, E., Ahmed, M. T., Marshall, J. A., & Greenspan, M. (2015): Visual indoor positioning with a single camera using PnP. 2015 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), pp. 1-9.
- Dryanovski, I., Morris, W., Xiao, J. (2011): An open-source pose estimation system for micro-air vehicles. In Robotics and Automation (ICRA), 2011 IEEE International Conference on, IEEE: Shanghai, 2011 ; pp 4449 - 4454.
- Dynamic Map (2017): An Introduction to Dynamic Map Platform Co., Ltd. SIP-adus Workshop 2017.
- Ellum, C.M. (2001): The Development of a Backpack Mobile Mapping System, Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Calgary, Canada, UCGE Reports 20159.
- El-Mokni H. & Govaers, F. (2011): Coupled laser inertial navigation system for pedestrian tracking, 2011 8th Workshop on Positioning Navigation and

Communication (WPNC).

- El-Sheimy, N. (1996): The Development of VISAT - A Mobile Survey System For GIS Applications, Department of Geomatics Engineering, The University of Calgary, Calgary, Canada.
- Erike L. (2009): System and Method for Obtaining Georeferenced Mapping Data, USA Patent, US 20090262974 A1.
- Farrell, J. A., Todd, M., & Barth, M. (2016): Best practices for surveying and mapping roadways and intersections for connected vehicle applications.
- Florida Department of Transportation (FDOT) (2013): Terrestrial Mobile LiDAR Surveying & Mapping Guidelines.
- Grejner-Brzezinska, D.A. (2001): Direct Sensor Orientation in Airborne and Land-based Mapping Applications, Department of Civil and Environmental Engineering and Geodetic Science, The Ohio State University, Report no. 461.
- Griebbach, D., Baumbach, D., & Zuev, S. (2014): Stereo-vision-aided inertial navigation for unknown indoor and outdoor environments. 2014 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), pp. 709-716.
- Groves, P. D., Pulford, G. W., Littlefield, C. A., Nash, D. L., & Mather, C. J. (2007): Inertial navigation versus pedestrian dead reckoning: Optimizing the integration. In Proc. ION GNSS (pp. 2043-2055).
- Hähnel, D., Montemerlo, M., Ferguson, D., Triebel, R., Burgard, W., Thrun, S. (2002): A system for volumetric robotic mapping of underground mines. Submitted for publication.
- Harini, S., Abhiram, V., Hegde, R., Samarth, B. D., Shreyas, S. A., & Gowranga, K. H. (2017): A smart driver alert system for vehicle traffic using image detection and recognition technique. In Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT), 2017 2nd IEEE International Conference, IEEE, pp. 1540-1543
- Harle, R. (2013): A Survey of Indoor Inertial Positioning Systems for Pedestrians. IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS, 15(3), 1281-1293.
- Harsha Vardhan. (2017): HD Maps: New age maps powering autonomous vehicles. Geospaial world.
- Harsha Vardhan. (2017): HD Maps: New age maps powering autonomous vehicles. Geospaial world.
- He, K., Gkioxari, G., Dollár, P., & Girshick, R. (2017): Mask R-CNN. In IEEE international Conference on Computer Vision (ICCV) (pp. 2980–2988).
- Ho, N. H., Truong, P. H., & 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/IEC 17025 (2005): General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.
- Jiang, H. (2017): Semi-automated Generation of Road Transition Lines Using Mobile Laser Scanning Data. University of Waterloo Master's thesis.
- John J. Leonard and Hugh F. Durrant-Whyte (1991): Simultaneous Map Building and Localization for an Autonomous Mobile Robot, IEEE/RSJ International Workshop on Intelligent Robots and Systems IROS '91. Nov. 3-5, 1991.Osaka, Japan. IEEE Cat. No. 91TH0375-6.
- Juan, L., & Gwun, O. (2009). A comparison of sift, pca-sift and surf. International Journal of Image Processing (IJIP), 3(4), 143-152.
- Jung, J., Kang, D. & Bae. C. (2013): Distance Estimation of Smart Device Using Bluetooth, In Proceedings of the 8th International Conference on Systems and Networks Communications (ICSNC), Venice, Italy, 27 October-1 November 2013, pp. 13-18.
- Kendall, A., Grimes, M., & Cipolla, R. (2015). PoseNet: A convolutional network for real-time 6-dof camera relocalization. In Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, 2938-2946.
- Kim, J., & Jun, H. (2008): Vision-based location positioning using augmented reality for indoor navigation. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 54(3).
- Konda, K., & Memisevic, R. (2015): Learning visual odometry with a convolutional network. In VISAPP (pp. 486–490).
- Kouros K. and Sander O.E. (2012): Accuracy and Resolution of Kinect Depth Data for Indoor Mapping Applications, Sensors 2012, 12(2), 1437-1454.
- Langer, M. , Kiesel, S., Ascher, C., Trommer, G.F. , (2012): Deeply Coupled GPS/INS integration in pedestrian navigation systems in weak signal conditions, 2012 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN).
- Lee, H., Grosse, R., Ranganath, R., & Ng, A. Y. (2009): Convolutional deep belief networks for scalable unsupervised learning of hierarchical representations. In Proceedings of the 26th annual international conference on machine learning, ACM, pp. 609-616
- Lee, H., Grosse, R., Ranganath, R., & Ng, A. Y. (2009): Convolutional deep belief networks for scalable unsupervised learning of hierarchical representations. In Proceedings of the 26th annual international conference on machine learning, ACM, pp. 609-616
- Li, K.J. (2013): OGC Candidate Standard for Indoor Spatial Information, <http://indoorgml.net/>.
- Li, R. Y. (2009): Extraction of 3D Road Boundaries and Dividing Lines Using

MMS Sequences. Master's Thesis. Department of Geomatics, National Cheng Kung University.

- Li, X., Wang, J., & Li, T. (2013): Seamless positioning and navigation by using Geo-referenced images and multi-sensor data. *Sensors*, 13(7), 9047-9069.
- Li, Y. H. (2010): The Calibration Methodology of a Low Cost Land Vehicle Mobile Mapping System, Institute of Navigation (ION) GPS/GNSS 2010 meeting, Oregon Convention Center, Portland, Oregon, USA.
- Lin, G. T., Santoso, P. S., Lin, C. T., Tsai, C. C., & Guo, J. I. (2017): Stop line detection and distance measurement for road intersection based on deep learning neural network. In *Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC)*, IEEE, pp. 692-695
- Lin, G. T., Santoso, P. S., Lin, C. T., Tsai, C. C., & Guo, J. I. (2017): Stop line detection and distance measurement for road intersection based on deep learning neural network. In *Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC)*, IEEE, pp. 692-695
- Long, J., Shelhamer, E., & Darrell, T. (2015): Fully convolutional networks for semantic segmentation. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. pp. 3431-3440.
- Menozzi, A., Clipp, B., Wenger, E., Heinly, J., Dunn, E., Towles, H., Frahm, J.-M., Welch, G. (2014): Development of vision-aided navigation for a wearable outdoor augmented reality system, *Position, Location and Navigation Symposium - PLANS 2014*, 2014 IEEE/ION, p.p 460-472.
- Morris, W., Dryanovski, I., Xiao, J. (2010): 3d indoor mapping for micro-uavs using hybrid range finders and multi-volume occupancy grids. In *RSS 2010 workshop on RGB-D: Advanced Reasoning with Depth Cameras*, Zaragoza, Spain, 2010.
- Mostafa, M.M.R. & Schwarz, K.P. (1999): An Autonomous System for Aerial Image Acquisition and Georeferencing, *American Society of Photogrammetry and Remote Sensing Annual Meeting*, Portland, Oregon.
- Mulloni, A., Wagner, D., Barakonyi, I., & Schmalstieg, D. (2009): Indoor positioning and navigation with camera phones. *IEEE Pervasive Computing*, 8(2).
- Mur-Artal, R., Montiel, J. M. M., & Tardos, J. D. (2015): ORB-SLAM: A Versatile and Accurate Monocular SLAM System. *IEEE Transactions on Robotics*, 31(5), 1147–1163.
- Neumann, T., Ferrein, A., Kallweit, S., Scholl, I. (2014): Towards a mobile mapping robot for underground mines. In: *Proc. IEEE Robotics and Mechatronics Conference (RobMech 2014)*.
- Núñez, P., Vázquez-Martín, R., & Bandera, A. (2011): Visual odometry based on

structural matching of local invariant features using stereo camera sensor. *Sensors*, 11(7), 7262-7284.

- Oliver W., Kai O. A., Henrik I. C. and B. Wagner (2004): 2D Mapping of Cluttered Indoor Environments by Means of 3D Perception, *Proceeding of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, New Orleans LA, pp: 4204-4209.
- Orthuber, E., & Avbelj, J. (2015): 3D building reconstruction from lidar point clouds by adaptive dual contouring. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2(3), 157.
- Page, C., K. Radley & P. Sirguey. (2014): Caught on Camera: An assessment of the Trimble V10 Imaging Rover. *New Zealand Institute of Surveyors, SURVEYING + SPATIAL Issue 80*, pp.20-26.
- Viola, P., & Jones, M. (2001). Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. In *Computer Vision and Pattern Recognition, 2001. CVPR 2001. Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on (Vol. 1, pp. I-I)*. IEEE.
- Picture Perfect: An imaging rover delivers solid results on a complex project. *Technology & more*, pp.10-11.
- Qi, C. R., Su, H., Mo, K., & Guibas, L. J. (2017): Pointnet: Deep learning on point sets for 3d classification and segmentation. *Proc. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), IEEE*, 1(2), 4.
- Qi, C. R., Yi, L., Su, H., & Guibas, L. J. (2017): Pointnet++: Deep hierarchical feature learning on point sets in a metric space. In *Advances in Neural Information Processing Systems*. pp. 5099-5108.
- Rainer, M (2012): Indoor positioning technologies, *Doctoral and Habilitation Theses*, ETH Zurich, Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering, Institute of Geodesy and Photogrammetry, Switzerland.
- Rizaldy, A., Persello, C., Gevaert, C. M., & Oude Elberink, S. J. (2018): Fully Convolutional Networks for Ground Classification from Lidar Point Clouds. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 4(2).
- Sabry F. E. and Pierre B. (1999): Mobile system for indoor 3-D mapping and creating virtual environments, *USA Patent, US 6009359 A*.
- Salas, A. C. (2014). Indoor Positioning System based on Bluetooth Low Energy. *Master's Thesis*, Polytechnic University of Catalonia, Barcelona, Spain.
- 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.
- 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.

- Shin, E.H. (2005): Estimation Techniques for Low Cost Inertial Navigation, Department of Geomatics Engineering, The University of Calgary, Calgary, Canada, UCGE Report 20219.
- Stephenson, S., Meng, X., Moore, T., Baxendale, A. and Ford, T., (2011). Accuracy requirements and benchmarking position solutions for intelligent transportation location based services. In *Proceedings of the 8th International Symposium on Location-Based Services*.
- Sun, H., C. Wang & N. El-Sheimy. (2008): Moving Objects Detection for Mobile Mapping. *Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Information and Automation*, pp. 629-633.
- Tahir, D. N. (2009): A comparison of sift, pca-sift and surf. *International Journal of Image Processing (IJIP)*, 3.4, pp.143-152
- Tahir, D. N. (2009): A comparison of sift, pca-sift and surf. *International Journal of Image Processing (IJIP)*, 3.4, pp.143-152
- Titterton, D.H., & Weston, J.L. (2004): Strapdown Inertial Navigation Technology - 2nd Edition. In *IEE Radar, Sonar, Navigation and Avionics, Series 17*, N. Stewart, H. Griffiths, Eds. Institution of Electrical Engineers. Stevenage, UK.
- Tseng, Y.H., Y.C. Chen, & K.Y. Lin. (2016): Bundle Adjustment of Spherical Images Acquired with a Portable Panoramic Image Mapping System (PPIMS). *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Volume 82, Number 12, December 2016, pp. 935-943.
- Wang, P.C., P.C. Tsai, Y.C. Chen & Y.H. Tseng. (2012): One-step and Two-step Calibration of a Portable Panoramic Image Mapping System. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XXXIX-B1, pp.173-178.
- Weinberg, H. (2002): Using the ADXL202 in pedometer and personal navigation applications. *Analog Devices AN-602 application note*, 2(2), 1-6.
- Weng, S., Zhao, G., & He, B. (2010): Rapid reconstruction of 3D building models from aerial images and LiDAR data. In *Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE)*, 2010 3rd International Conference on (Vol. 2, pp. V2-195). IEEE.
- Wolf, P. R., & Dewitt, B. A. (2000): *Elements of photogrammetry: with applications in GIS* (Vol. 3). New York: McGraw-Hill.
- Wu, B., Yu, B., Wu, Q., Yao, S., Zhao, F., Mao, W., & Wu, J. (2017). A Graph-Based Approach for 3D Building Model Reconstruction from Airborne LiDAR Point Clouds. *Remote Sensing*, 9(1), 92.
- Yang, Z. & Liu, Y. (2010): Quality of trilateration: Confidence based iterative

localization. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 21(5), pp. 631-640.

- Zhou, T., Brown, M., Snavely, N., & Lowe, D. G. (2017): Unsupervised Learning of Depth and Ego-Motion from Video. In CVPR (pp. 6612–6619).
- Zhou, Y., & Tuzel, O. (2017): Voxelnet: End-to-end learning for point cloud based 3d object detection. arXiv preprint arXiv:1711.06396.
- Zhuang, Y., Yang, J., Li, Y., Qi, L. & El-Sheimy, N. (2016): Smartphone-Based Indoor Localization with Bluetooth Low Energy Beacons. Sensors, 16(5), 596.

附錄一

HD Map 測繪業座談會

會議記錄

時間：2018 年 4 月 24 日 下午 1:30

地點：國立成功大學測量及空間資訊學系系館 2F 圖書室

出席人員：

內政部地政司
國家高速網路與計算中心
國土測繪中心
成功大學測量及空間資訊系
迅聯光電有限公司
自強工程顧問有限公司
台灣國際航電股份有限公司
群立科技股份有限公司
經緯航太科技股份有限公司
日陞空間資訊股份有限公司
詮華國土測繪有限公司
中興測量有限公司
台灣世曦股份有限公司
勤崴科技股份有限公司

會議討論大綱：

1. 高精度地圖相關簡報
2. 高精度地圖綜合討論

會議記錄：

1. 高精度地圖相關簡報

1.1 地政司簡報

主題：自動駕駛決策控制關鍵系統技術綱要計畫—自駕車用高精度地圖 (HD Map) 之整備與測製

報告人：地政司 吳俊毅 科員

1.2 國網中心簡報

主題：107 年度移動載台測量製圖技術發展工作案

報告人：國網中心 蔡宗哲 副研究員

1.3 成大測量系簡報

主題：高精度地圖及自動駕駛技術之探討

報告人：成大測量系 江凱偉 教授

2. 高精度地圖綜合討論

2.1 引言

有鑑於今年內政部計畫以自駕車為目標發展高精度地圖相關研究，今日的座談期許能將大家的想法彙整，方能在未來和行政院會報進行反應。今年行政院會報將自駕車納入優先發展項目，因此務必要讓測量界，不管是學界還是業界參與此事的核心，跳脫測量界只幫公部門服務的印象，希望能在商業模式上讓測量界也能賺錢。雖然今年沒有高精度地圖的相關計畫預算，但明年確定會有經費推動，原本高精度地圖是科技部等單位負責，但由今年開始高精度地圖的議題由內政部地政司掌握，回歸地政司管理圖資的根本。

2.2 多星系衛星定位系統開放

測繪中心表示，有鑑於臺北市目前發展的衛星定位會在市區中失鎖，因此預計要開放多星系系統，問題在於北斗衛星系統關於政治上的問題；此外，目前業者的車用導航系統不是用測繪中心的系統進行，因此在市區容易無法準確定位。地政司表示很支持多星系衛星定位系統開放，用自駕車當理由應該較容易突破因政治因素造成的困難，如果經費上有困難可以在會報上提出，但需要提出各市在自駕車架構上的服務計畫。

2.3 高精度地圖的坐標系統定義

台灣地區由於因為地殼變動會影響坐標系統，而高精度地圖需使用何種坐標系統要以現況為主。自駕車攸關人命，精度一定要高，坐標系統方面可有彈性的空間，不用固定某種坐標系統，照大家規劃的方向去自行發展及學習。

2.4 高精度地圖的精度需求

關於高精度地圖是否要依據市區與非都市地區使用不同的精度需求，事實上精度要求不管在都市或非都市地區都須一致，方能完成自駕車的正確行駛，但能依地區不同工法達到相同精度，亦能減少經費成本。在精度和密度的要求會成為未來驗收的標準，可以依照自駕車的需求定義確切的標準讓資料採集人員有跡可循。

2.5 高精度地圖的應用層面

高精度地圖往後會有如智慧城市等相關應用，希望高精度地圖能不只用於自駕車領域，讓更多人能普遍使用此些資料，但此為策略問題，使用自駕車進行切入點能提升關注度，其實高精度地圖的相關技術早就普及在測量界了，藉由自駕車把高精度地圖普及後，方能讓此種新的三維地圖(如點雲資料)有更多的發展方向。此外，光達點雲資料在自駕車和智慧城市的需求和用途不太相同，科技會報不會給錢進行智慧城市資料產製，例如高樓的資料無法藉由測繪車取得，因此藉由自駕車建置的高精度地圖能在智慧城市的應用有限。

2.6 高精度地圖的出資及管理方議題

業者提出是否會將圖資收歸國有，若要建置全台灣的高精度地圖，誰有錢可以建置？又誰有錢更新？又誰有權管理及使用？目前規劃高精度地圖會由政府來統合及管理，要將資料開放可能會需要一些時間，在政策上會有政府並不是建立資料，而是建立讓各廠商提供資料的平台，是商機所在，目前還沒有確切公開資料的方法。目前計畫推動的是示範區，尚不會推廣到全台灣，較像示範執行，若之後有國家隊出線來製作全台的高精度地圖，便可將技術外移。但業者也提出目前台灣並沒有廠商以財力或技術製作整個城市的高精度地圖，更何況是全台灣的，內政部表示政府有在醞釀國家隊的建置的可能，未來該如何發展可以後續討論。

2.7 高精度地圖的規範訂定

有些業者認為，台灣本身沒有自己的車廠，在國外有自己的車廠且有訂定規範，台灣訂定的精度需求會和國際標準接軌(如美國標準文件)，需要確認的是未來產製出的地圖是否符合自駕車的需求，但因每個地區地理環境不同，實行的工法須因地制宜，沒有規定要用甚麼儀器才能做，如何達到最終精度需求才是目的，需確認訂定的工法符合台灣現況並能應用於自駕車的需求。

2.8 高精度地圖的測試

未來自駕車的實現目標為中小巴，至少這些路線的高精度地圖需建置完成，目前計畫提出目標是達成 ADAS 標準中 Level 4 的輔助駕駛等級，瞄準都市區域的高精度地圖。可使用偏鄉道路及車流量較少的地區進行測試，藉由此些成果來拓展發展都市地區，其實偏遠地區反而更有自駕車的需求，因非都市地區會有老人和小孩等不能開車的族群需要服務，但也需考慮越偏遠的地方會有維護上的問題。另外，測繪中心建置的有很多資訊，目前地政司要製作的高精度地圖僅以道路資料為準，能否使用道還要再評估。

2.9 高精度地圖的經濟效益

關於高精度地圖的製造廠商需要為測量業者，但考慮到之後自駕車的感測器精度已經很高了，有沒有可能明明有好得資料卻無法使用的拿石頭砸自己腳的狀況，但由於圖資建置仍需要技術相關人員把關，製圖本應由政府進行管理，可在資料蒐集的方式進行限制，關於車廠應不會跨公司合作的情況，需要政府協助測量業界開啟未來的工作機會。

2.10 結語

本討論會希望能將國家政策要優先和各業界報告，但並非確切的未來的發展方向，內政部並不是方向的決策者，業界商業模式的發展才是第一線人員，內政部的功能是将訊息傳遞，但各業者之間要如何執行和分工不能由政府從中協調，目前買方已經有了，測繪業能變成供應商，發會自身在市場的價值，為今天座談的重點，提供各廠商思考發展方向的空間，但大家要有凝聚力。會後有問題可以寫 E-mail 給成大江老師和地政司吳科員進行討論。

高精度地圖(HD Map)測繪業座談會 簽到表

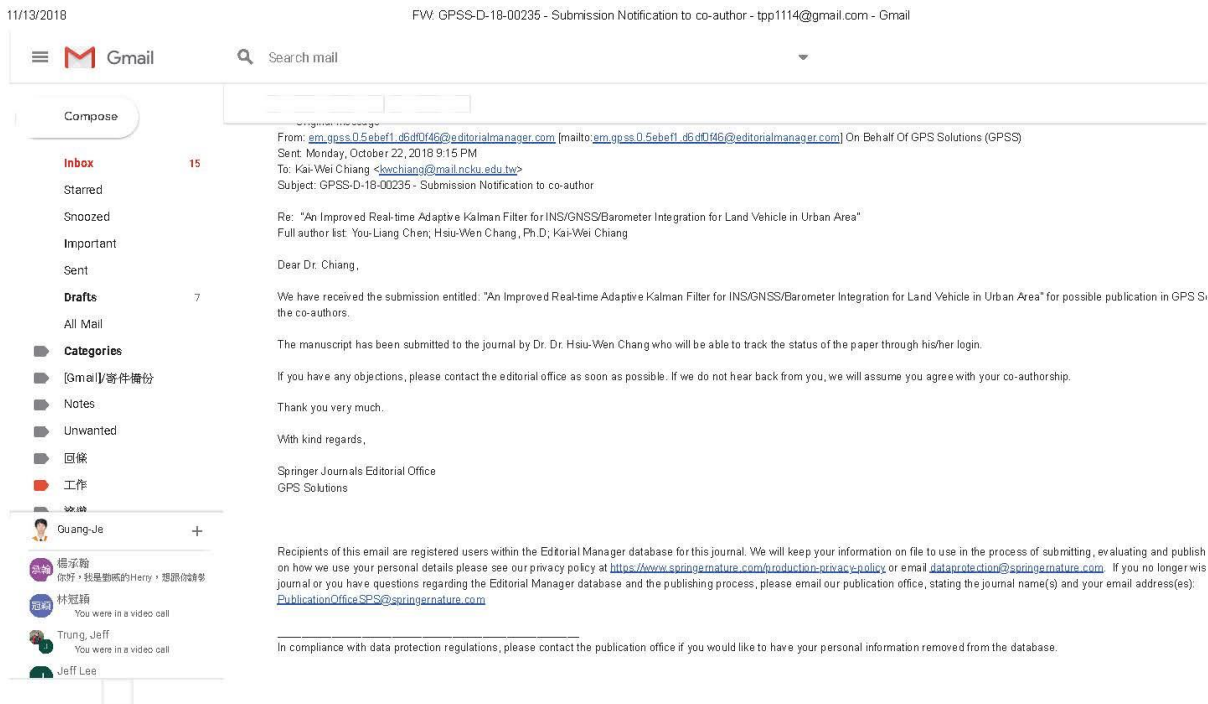
時 間	107年04月24日 14:30~16:30		
地 點	測量系系館 2F 55209 室		
主持人	江凱偉教授		
列席人員	單位	簽到	
	迅聯光電有限公司	金志敏	傅世邦
	自強工程顧問有限公司	李時軒	
	台灣國際航電股份有限公司	黃光哲	
	群立科技股份有限公司	徐銘臣	許嘉輝
	經緯航太科技股份有限公司	張瑞隆	余以五
	日陞空間資訊股份有限公司	楊宇恩	
	詮華國土測繪有限公司	陳典超	彭德盛
	中興測量有限公司	陳昭雄	沈其壽
		劉啟清	
	台灣世曦股份有限公司	鄭宏廷	
		吳錫賢	
	勤崴國際科技股份有限公司	葉漢治	陳國銓
		程翊誠	劉子偉
		林德興	

高精度地圖(HD Map)測繪業座談會 簽到表

時 間	107 年 04 月 24 日 14:30 ~16 : 30		
地 點	測量系系館 2F 55209 室		
主持人	江凱偉教授		
列席人員	單 位	簽 到	
	地政司	黃 鉅 高	
		吳 俊 毅	
	國家高速網路 與計算中心	蔡宗哲	
		施奕良	
	國土測繪中心	梁文文	
		林文亮	
	成功大學 測量系	林冠穎	
		徐珮晴	
		蔡文哲	
		張清鴻	
		林政安	
		曾芷晴	
		邱靜梅	
江凱偉			

附錄二

「An Improved Real-time Adaptive Kalman Filter for INS/GNSS/Barometer Integration for Land Vehicle in Urban Area」投稿文章，已投稿至「GPS Solutions」期刊(SCI 國際期刊)，下述為投稿信函。



附錄三



2018 第三屆
大專生 3S 創客競賽

優等

國立成功大學 郭權德

Loop Closure Detection 輔助移動
RGB-D 相機平台製圖、定位及導航

中華民國 107 年 9 月 5 日

主辦單位：中華民國航空測量及遙感探測學會

贊助單位：CECI 台灣研達工程顧問股份有限公司 CECI Engineering Consultants, Inc., Taiwan
HEXAGON 自強工程顧問有限公司 自強 Engineering Consulting Co., Ltd.
錫聯光電有限公司
RiChi 瑞豐科技
Kung Tung Electronics Ltd.
群立科技股份有限公司

2018 第三屆
大專生 3S 創客競賽

優等

國立成功大學 蔡柵

Loop Closure Detection 輔助移動 RGB-D
相機平台製圖、定位及導航

中華民國 107 年 9 月 5 日

主辦單位：中華民國航空測量及遙感探測學會

贊助單位：CECI 台灣研達工程顧問股份有限公司 CECI Engineering Consultants, Inc., Taiwan
HEXAGON 自強工程顧問有限公司 自強 Engineering Consulting Co., Ltd.
錫聯光電有限公司
RiChi 瑞豐科技
Kung Tung Electronics Ltd.
群立科技股份有限公司

附錄四

107 年度移動載台測量製圖技術發展 20180424 會議記錄

時間：2018 年 4 月 24 日 下午 1:30

地點：國立成功大學測量及空間資訊學系系館 2F 圖書室

出席人員：

(1) 內政部地政司及臺南市地政局：

黃鉅富科長、吳俊毅科員、黃昭旗科長

(2) 江老師實驗室：

江凱偉 教授、林政安 博士生、蔡光哲 博士生、徐珮晴 碩士生、
曾芷晴 學士生

(3) 曾老師實驗室：

林冠穎 博士生

(4) 張老師實驗室：

張秀雯 助理教授、邱靜梅 碩士生

(5) 呂老師實驗室：

呂學展 助理教授、林展慶 碩士生

會議討論大綱：

1. 工作計畫相關內容討論

1.1 發展地籍測量移動製圖技術

(一)新式地籍測量移動製圖技術目的在驗證流程，而非驗證技術。成大這邊因有新儀器及方法要進行測試，故會先在自強校區進行技術驗證，再到測試場進行流程驗證。

(二)地籍測量的優勢在於，已經有既有的控制點用來進行進一步測繪。本案技術需有測試區的三維控制點，和臺南市地政局科長進行協調。但因試辦區衛星定位收斂狀況很差，沒有可使用的三維控制點，地政局確認後再聯絡相關事宜。

(三)關於更改本案測試場地，內政部方面認為未來如果要普及測量，不應因為是否是透空區而限制，因此成大建議設置兩個面積不用過大的試驗場，一個透空地以及一個有遮蔽的地區，若能有一個場地第一次包含兩者尤佳。考慮到地緣關係及透空度問題，安南、歸仁、新化較可能成為測試場，永康、東南等應該都不合適，臺南地政局會討論後先列出合適的地點，再和曾老師研究室討論。

(四)關於比較地面光達、環景影像及新型全測站等三種儀器的優劣，因新式全站儀價格昂貴，可嘗試和其他廠商合作租用，若無法則會以文獻搜尋完成相關測試成果。另外，希望能加入新的技術在既有的流程上，希望期中報告時能提出一個新的納入近景攝影測量的流程。

1.2 發展移動裝置通用之室內外定位技術

(一)關於之前提到本年度以故宮南院作為試驗場，地政司會和故宮南院進行討論，另外需詳細訂定測試場域及需求。

(二)另外，臺北市對此系統有興趣希望能提供，北市會提供圖資，成大則提供 APP 進行推廣，以去年完成的模式給北市使用，而 APP 是否要美化由北市自行決定，若有美化會再回饋給內政部。若此 APP 不需要用到 AR 模式則可以先建立起來再到現場進行測試。

(三)後續發展可定義具體的使用者需要的功能，在導引功能下需要實現何種適定性服務需求，以及建置室內定位系統標準配備需要的文件及資料，如標準作業流程等。

1.3 高精地圖(High Definition MAP)論壇相關事宜

(一)原先預計舉辦於八或九月，但由於七月底和九月底都有其他研討會，因此可能會再延後舉辦日期，等資測會確認預算後再決定舉辦的規模。

附錄五

107 年度移動載台測量製圖技術發展會議記錄

會議時間：9/28 13:30

會議地點：成大測量系圖書室

參與人員：吳俊毅、李佩玲、蔡光哲、林冠穎、張清鴻、林展慶、邱靜梅、徐珮晴、曾芷晴

記錄者：芷晴

1. 故宮適地性服務進度

展慶：

目前圖資比較趕，希望盡快趕出來才能後續動作，數化目前請建勳完成。進度分成室內定位和影像辨識擴增實境兩部分：

(1) 定位進度

用 BEACON 初步定位，目前已能偵測 BEACON 且用單點定位，還會加上 PDR，做單點定位也能修正 PDR 誤差。

(2) PDR 進度

PDR 已做完測試，但因為還沒有室內圖，所以是以系館先當測試場，誤差就用 BEACON 修正。

設計理念為 APP 上有指標導引使用者至展物前。

擴增實境的部分已完成，會再做美化，只差在與定位整合。

俊毅：所以今年是用單點定位嗎？

展慶：今年會用單點定位，因為故宮不能裝有電池的 BEACON。

佩玲：如果圖出來會再到現場測試嗎？

光哲：有現場再測試的必要。

俊毅：若故宮有興趣的話，計畫就會持續進行，今年的部分要確定能再結案前能實際運行。

2. 地籍測量進度

冠穎：

主要是適定性服務的部分，已確定測試場地區域，新場地的透空度較好，預計下禮拜會去拍照，一直沒有去拍是因為曾老師希望先在校內做測試以免到時候現場環境更複雜會有其他問題。

老師也想測試在沒有 GPS 情況下導線解算的情形，但解算後精度成果沒有很好，最後幾個測站的精度較差(約 40、50 公分)，標準差也不佳。

之後希望能針對後面幾個測站做改善，但曾老師覺得以目前的精度情況或人力時間花費，要推廣這個方法可能不適合。未來可能可以用一些匹配方法改善精度，但是以目前的精度而言，要達到地籍測量等級有困難。若沒有用控制點只用連結點精度會很差。

俊毅：

若是因為沒有控制點導致精度太差，那可以請臺南市政府協助布設，可以在成大先驗證精度差是否是因為控制點不均勻導致，確定後在與臺南市政府協調，布設二維控制點較簡單，此外看能不能用 GPS 在外圍道路定位，課長是說如果沒有辦法收到 GPS 看能不能藉由補設控制點來改善。

光哲：

目前冠穎的程式是三維的系統，所以若只用二維資料，會不夠約制，即使不使用高程坐標也會使得誤差傳播到平面上。

冠穎：

目前也只有針對那個場域測量，沒有要再從外圍打導線進去測區。

3. 1030 高精地圖論壇事宜確認

佩玲：

目前是下禮拜三(10/3)和會資策會工業局討論論壇當天程序，由珮晴當司儀。目前場地為 100 人會議室，若有要更改會在下禮拜討論後決定，已決定和資策會合辦，分工細節會再跟大家說明，網站不用自己架，但需要交一些相關資料，演講人已確定，邀請函還未寄出因為議程可能會在微調，要等下禮拜討論完才能確定，人員基本上不再變動。

俊毅：

貴賓致詞稿要準備，綜合討論形式可能會邀請四到五位講者上台回答(問題會是先給講者看過)，現場會再開放現場觀眾問 1~2 個問題，可以由主持人(江老師)提問。

佩玲：

要先統計訂房和交通問題(通常會開車)。

4. 會議異動：

光哲：

之後故宮的定位系統會加入圖資輔助不會只有 PDR，雖然目前故宮沒有

特別要求精度。

展慶：

目前故宮的適地性服務也是針對某個展廳製作，不是整個場館。

俊毅：

工業局與 MOI 計畫要分清楚，重點著重在哪要清楚否則別人會有疑慮，有確定有兩大項內容是不一樣的，有重疊的部分要注意。

附錄六

107 年度移動載台測量製圖技術發展 20181112 會議記錄

時間：2018 年 11 月 12 日 下午 14:00

地點：臺南市政府地政局(市政大樓 9F 辦公室)

出席人員：

內政部地政司

臺南市政府地政局

成功大學測量及空間資訊系

會議討論大綱：

2. 107 年適地性服務成果簡報
3. 適地性服務規劃綜合討論

會議記錄：

1. 107 年適地性服務成果簡報

1.1 成大測量系簡報

主題：適地性服務案例試辦成果討論

報告人：成大測量系 林冠穎 博士生

2. 適地性服務規劃綜合討論

1.2 發展地籍測量移動製圖技術

- (1) 可攜式全景影像測繪系統，原先系統規格僅列入相機與特製平台，整體系統應再列入 GNSS 接收儀，方為最終整套系統金額與重量。
- (2) 目前球形全景影像之自動化匹配具有很高之困難度，此部分於曾老師實驗室學生黃聰哲之碩士論文已有探討，乃因將球形全景影像投影至二維影像上將產生變形，隨著緯度不同而有變化，因此在匹配上相當不易。
- (3) e-GNSS 之坐標轉換具有一定之誤差，未來可考量使用臺南市自身建立之 e-GNSS 定位系統以及控制點來進行觀測。
- (4) 目前自動化之流程尚未完全建置，包含影像之讀取與整理，以及連結點之量測仍須手動。然透過現今成大團隊已發展的 MAPS 軟體，拼接球形全景影像、瀏覽及量測連結點與控制點實已相當便利。未來整套移動製

圖技術作業時間若能具有一定效率，對於地籍測量實務上則具有相當之幫助。

- (5) 地籍測量的優勢在於，已經有既有的控制點用來進行進一步測繪。本案技術需有測試區的三維控制點，和臺南市地政局科長進行協調後，未來可協助布設及提供合適的三維控制點。
- (6) 未來可擴大試驗區域，臺南地政局將列出合適的地點，提供 107 年、108 年重測區域供成大團隊參考及挑選，包含東南、臺南、安南與永康地政所之負責四個區域。
- (7) 未來可考慮以圖解區之農地區域作為測視區域，因圖解區之精度要求不高，以此套影像移動製圖系統或許相當便利。

附錄七

淺談高精地圖

江凱偉 曾芷晴

一、前言

根據聯合國統計每年約有五千萬人因車禍而受傷，其中大多為人為因素所致，有鑑於此，為了減少人為禍因及確保駕駛行車安全，而有無人駕駛的願景。回溯至 1980 年代，卡內基梅隆大學(Carnegie Mellon University)團隊打造出全球第一輛自駕車雛形，揭開現代無人駕駛的序幕。美國國防部高級研究計劃局(DARPA)也開始大力推動自駕車技術，雖然當時自駕車仍受現有技術限制，但也讓更多學術單位和製造產業開始投入自駕車的相關研究。儘管至今自駕車技術發展仍尚未成熟，但仍有眾多廠牌的汽車系統開始引入先進駕駛輔助系統(Advanced Driver Assistance Systems, ADAS)，以提供駕駛目前車輛的行駛狀況以及周遭的環境變化分析，並預先警告駕駛潛在的危險，以利及早採取適當的措施，避免意外發生。美國交通安全管理局(NHTSA)採用國際自動機工程師學會(SAE)提出之分類方法，將自駕車系統分成六個等級(參考來源：[12])，如圖 1 所示：

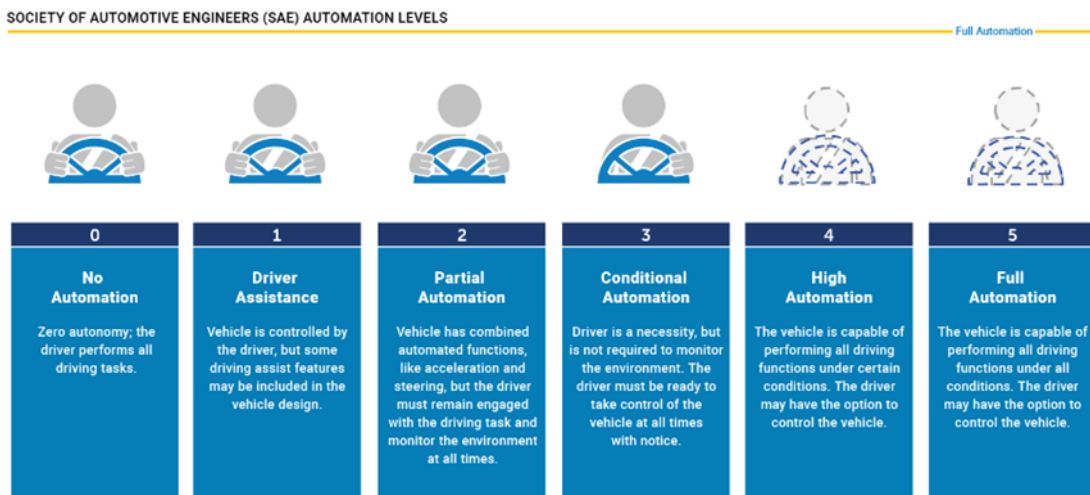


圖 1. 自駕車等級分類(參考來源：[12])

圖中，Level 0 為最原始的汽車操作系統，必須由駕駛全權掌控行駛功能，如方向盤、煞車、油門、動力系統等；為了提升整體駕駛感與行車安全而增添個別功能或裝置，如電子穩定程式(ESP)或防鎖死煞車系統(ABS)來協助行車安全，則該系統可提升至駕駛輔助等級 Level 1，但是主要功能仍需由駕駛操控；雖然現今市面上部分中高階車款主要仍由駕駛者自行控制車輛，但已額外新增自動化功能，減輕使用者操作負擔，如巡航定速(ACC)結合自動跟車和車道偏離警示(LDW)，而自動緊急煞停系統(AEB)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，該系統則為 Level 2；Level 4 以上的車輛系統為完全自動駕駛，相對於 Level 3 等級，只有遭遇少數緊急狀況才需要駕駛介入操作，至於最高等級的系統則能不受外界環境影響，也不需人為干預，透過完善汽車通訊系統進行車輛之間的溝通與協調。

然而，若要實現自動駕駛技術必須克服三大挑戰：首先，必須使自駕車能得知當前車輛確切的位置與導航資訊；再者，由於自駕車是由各式感測器的整合進而感知外界環境變化，因此必須解決車載感測器受遮蔽或是因為量測距離過遠而無法感知的道路事件；最後則要賦予車輛和其他交通工具相互連結溝通的能力，以確保車輛能安全行駛。對自駕車而言，重要的不只是能看到周遭的障礙物，更重要的是下一秒鐘的行駛決策，由此可見，自駕車上必須搭載各式感測器模擬甚至超越人在行駛過程的感官能力以感知周遭環境，同時配合全球衛星定位系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)與慣性導航技術(Inertial Navigation System, INS)，以及軟硬體電腦的運算能力與效能，此外，透過預先建置完成之三維高精地圖作為輔助資訊已成為實現自駕車不可或缺的技术。

二、何謂高精地圖

高精地圖的發展與建置可謂實現自動駕駛技術之關鍵，傳統的二維車輛導航電子地圖是以「人」為導向，由於人腦具有自主判斷與決策的能力，能依照經驗或先驗知識採取正確的措施以因應外界環境的刺激，因此這類地圖設計上較為簡易，也僅需簡單的指引標誌就能將使用者安全地引導至目的地，精度要求也相對較低，即使在行駛過程中的導航系統發生錯誤，駕駛也具備足夠的能力修正行駛的路徑，做出適當的決策。然而隨著自動駕駛技術的引進，使用者從人轉移至機器，為科技帶來新的挑戰，即便機器具有遠優於人腦的邏輯計算能力及效率，但缺乏對環境的基本感知與決策能力，意即若當前有障礙物必須規避，人腦能直覺式地因應當前的刺激做出適當的行駛行為，自駕車卻需要蒐集龐大資料並經過一系列複雜的電腦運算才能正確回應外界的變化與刺激，因此為了實現自動駕駛的技術，必須打造自駕車專屬的地圖，才能確保在無人干預的情況下自駕車仍可安全且正確的行駛。

根據相關文獻指出，自駕車是由三大技術所組成，首先是感知能力，讓自駕車取得、了解周遭環境資訊，以利決策如障礙物規避、車速調整、車道及行駛方向判定等；再者是定位與測繪(Mapping)技術，隨時掌握車輛在地圖上的位置，並建構周遭三維環境資訊，以利車輛執行導航決策及更新高精地圖；最後是行駛決策(Driving Policy)，依據自駕車在不同場域的行駛能力給予適當的決策(參考來源：[4])。為了賦予自駕車具備對外界環境的感知能力，自駕車必須搭載各式感測器做為感知的媒介，如圖 2 所示，一般自駕車搭載的感測器如：光達、相機、雷達、全球導航衛星系統(GNSS)、慣性感測元件(IMU)等。圖 3 為自駕車元件與人類感官器官對應圖，代表自駕車需具備人類的行駛能力，然而各式感測器皆有優缺點，雖能透過感測器整合以彌足之間的缺點，但感測器的感知能力仍有一定的局限，當超過感知力的範圍，一旦發生錯誤而來不及反應，便可能導致悲劇發生。此外隨著近年來都市快速發展，市區環境越趨複雜，各式高樓林立以及高架橋等建物嚴重干擾衛星訊號的傳送，導致訊號遮蔽或是多路徑效應的情形產生，使得自駕車無法獲得高精度的定位結果並將自駕車準確定位正確的車道上，因此若自駕車能結合預先建置完成的高精地圖，便能提供自駕車額外的輔助資訊，確保安全行駛的最終目的，由此可知高精地圖的重要性。

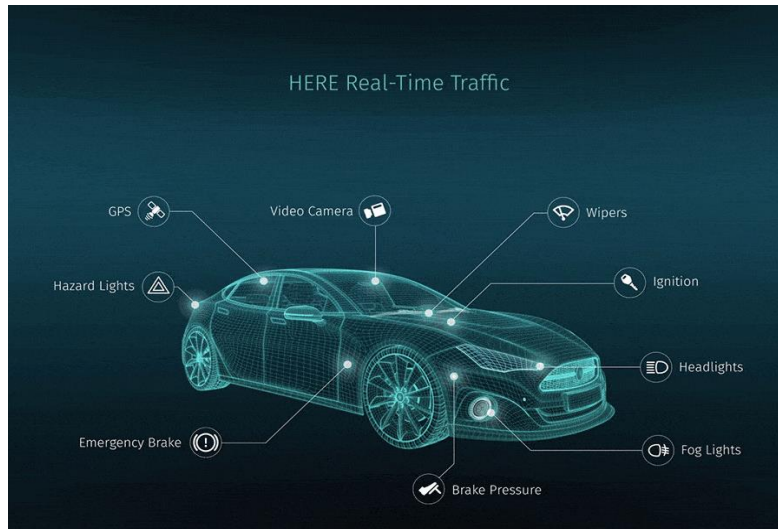


圖 2. 自駕車搭載之感測器(參考來源：[13])

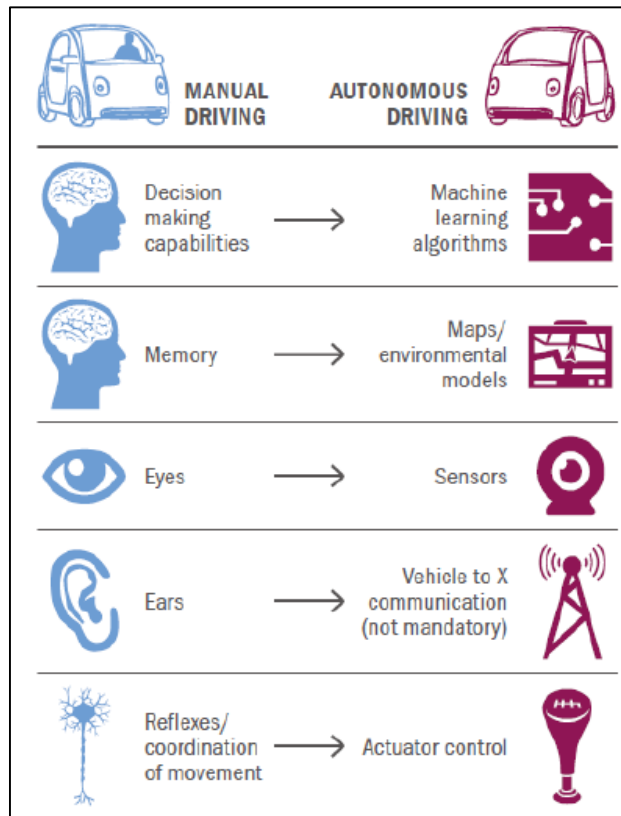


圖 3. 自駕車與人類感知與決策能力對照圖(參考來源：[3])

高精地圖類似於市面上普及的電子導航地圖，然而高精地圖需具備的絕對精度更高，根據相關文獻指出目前使用的個人導航設備及智慧型手機導航精度約為 5 公尺，若要提升至車輛自動駕駛層級，導航精度需達到 0.5 公尺內，提供資訊的圖資精度更要在 25-30 公分等級才能滿足需求(參考來源：[10])。此外高精地圖必須反映真實世界的狀況，因此圖資上的道路屬性、車道幾何、拓撲關係、交通號誌、障礙物等都必須被精確定義，甚至要包含準確的道路形狀、每段車道的坡度、曲率、航向、高程等資訊，才能與自駕車本身之軟體技術與硬體設備間進行整合，從而滿足安全駕駛的最終

目的。綜合上述所及，高精地圖需具備的條件如下：

1. 圖資精度要求達到 1 公尺以內，甚至更高等級。
2. 所有地圖資訊都需在三維空間中。
3. 真實世界中的特徵物皆需於地圖中明確定義。
4. 高精地圖與真實世界須為 1:1 的比例。
5. 必須提供即時的地圖資訊供車輛進行駕駛決策。

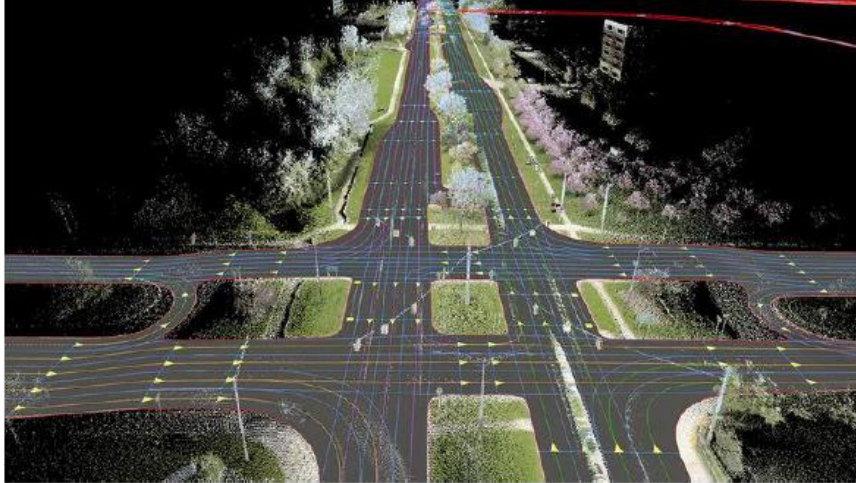


圖 4. 高精地圖(參考來源：[5])

三、如何實現自駕車技術

首先，自駕車本身的絕對位置之定位精度必須滿足自駕車技術需求，然而於環境複雜的都市地區多數時候沒有辦法獲得良好的衛星觀測量，進而無法準確將自駕車定位於正確的車道上，因此有研究指出利用車道辨識(Lane Detection)演算法，可有效提升自駕車本身的定位精度，即便在都市地區亦能達到公分等級的定位精度；荷蘭導航圖資公司 TomTom 提出自主 RoadDNA 技術，使自駕車利用自身感測器所得動態地圖對誤差即時修正，從而具備穩定且高精度的定位成果(參考來源：[14])。

再者，為了實現自駕車核心技術，需仰賴自駕車上軟硬體間的配合，如前所述，自駕車需搭載各式感測器，其中相機與光達如同車輛的視覺感官器官，透過蒐集影像和點雲資料以獲取使用者所處的空間資訊，進而對外界做出安全且正確的回應，由此可知自駕車需蒐集非常龐大的資料，因此無法再以人工方式處理，為了降低時間及人力成本，必須藉由機器自動化篩選與快速分類萃取，提供使用者正確的決策分析。近年來隨著科技的革新與突破，目前國際上自駕車先進產業，包含 Google, Uber, Here 等皆透過測繪車蒐集真實世界的資料，並基於影像與點雲分類技術針對道路邊界、障礙物、交通號誌等特徵物進行特徵萃取的方式來實踐。

在影像辨識方面，常見的方法為利用 RANSAC 演算法自動化即時萃取目標物邊界，進而辨識目標位置(參考來源：[2])；近年來基於深度學習在相關影像辨識演算法快速發展，卷積式類神經網路(Convolutional Neural Network, CNN)技術為在深度學習上普遍應用於影像之分類、辨識、語意分割等任務的基本模型，也都被證實有良好的成效；部分學者修改 CNN 的架構，如全卷積式類神經網路(Fully Convolutional

Networks, FCN)，以提升 CNN 的辨識準確度(參考來源：[6])；此外，目前圖像基礎的深度學習物件辨識(Object Detection)方法，主要的佼佼者有 Faster R-CNN 和 YOLO，其具備了即時性與高準確性的辨識成果。在光達點雲辨識技術方面，相較於影像，光達點雲特有的三維幾何特性可提供自駕車另一種環境判釋的資料，部分學者提出將以影像分類中物件分類的概念延伸至光達點雲分類，提升自動化點雲分類的完整性與合理性(參考來源：[1])；此外，學者 Rizaldy(參考來源：[9])提出將光達點雲先轉換成影像後再輸入至 FCN 進行辨識，也能達到很好的精度成果；近年來也有學者提出利用 PointNet(參考來源：[7])、PointNet++(參考來源：[8])、VoxelNet(參考來源：[11])等深度學習演算法，直接處理三維點雲分割和分類的問題，以更有效率的方式處理點雲資料。

即便相機與光達能做為自駕車感知周遭環境的媒介，然而這些感測器仍存在潛在的限制，如影像易受到光影變化影響；光達則容易受到氣候條件所干擾，且價格昂貴為無法普及的最大障礙，為了彌補感測器之間的劣勢，勢必要進行多感測器整合，然而不同感測器所獲得的資料型態、精度品質、解析度、測量單位皆不同，因此如何有效的整合感測器資料為一大挑戰，部分研究亦指出利用內插演算法將像素與點雲結合以達到整合的目的(參考來源：[4])，但多感測器整合的議題仍為各國學者持續努力的方向。

除了感知環境的能力外，另一項重要的技術為自駕車與外界環境溝通的能力，也就是耳熟能詳的車聯網技術，透過感測器技術、通訊技術、網路技術、數據處理技術等，應用於交通運輸上並建構一個有效率管理與控制的智慧交通網路，其中車聯網 V2X(Vehicle to Everything)整合了汽車對汽車(Vehicle to Vehicle, V2V)、汽車對路邊設施(Vehicle to Roadside, V2R)、汽車對基礎設施(Vehicle to Infrastructure, V2I)、汽車對行人(Vehicle to Pedestrian, V2P)等技術，串連人、車輛與道路的關係，強化行車安全。根據美國交通部國家公路管理局(NHTSA)預估，在駕駛人保持清醒的前提下，V2X 的技術可避免 80%的車禍發生或減輕其嚴重程度，大幅提升自駕車的安全性，因此車聯網 V2X 亦為未來自駕車需具備的重要技術。

四、 結論

隨著科技持續發展與革新，人們的生活逐漸邁入智能交通系統(Intelligent Transportation System, ITS)的趨勢，因此各國產官學者也愈加重視自駕車的發展。然而，若要實踐無人駕駛的願景，必須透過跨領域技術的整合，同時搭配軟硬體和感測器運作才得以實現，其中高精地圖更是牽動無人駕駛技術發展成敗的關鍵，必須提供自駕車道路等級與車道等級的路徑規劃與導航能力，甚至需輔助達到高精度定位的功能。如何有效率產製符合高精度需求的圖資仍為目前各國學者努力的方向和研究重點，人工智慧技術的引入勢必也會為製圖市場擴展新的面向與契機，共同朝著無人駕駛時代的目標邁進。

五、 參考文獻

- [1] 林耿帆, & 徐百輝. (2012). 以物件為基礎之光達點雲分類. 碩士論文, 國立臺灣大學土木工程學研究所, 臺北.。
- [2] Aly, M. (2008, June). Real time detection of lane markers in urban streets. In Intelligent Vehicles Symposium, 2008 IEEE (pp. 7-12). IEEE.
- [3] Berger, R. (2014). Autonomous driving. Think Act.
- [4] De Silva, V., Roche, J., & Kondoz, A. (2018). Fusion of LiDAR and camera sensor data for environment sensing in driverless vehicles.
- [5] Harsha Vardhan. (2017): HD Maps: New age maps powering autonomous vehicles. Geospaial world.
- [6] Long, J., Shelhamer, E., & Darrell, T. (2015). Fully convolutional networks for semantic segmentation. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 3431-3440).
- [7] Qi, C. R., Su, H., Mo, K., & Guibas, L. J. (2017). Pointnet: Deep learning on point sets for 3d classification and segmentation. Proc. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), IEEE, 1(2), 4.
- [8] Qi, C. R., Yi, L., Su, H., & Guibas, L. J. (2017). Pointnet++: Deep hierarchical feature learning on point sets in a metric space. In Advances in Neural Information Processing Systems (pp. 5099-5108).
- [9] Rizaldy, A., Persello, C., Gevaert, C. M., & Oude Elberink, S. J. (2018). FULLY CONVOLUTIONAL NETWORKS FOR GROUND CLASSIFICATION FROM LIDAR POINT CLOUDS. ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 4(2).
- [10] Stephenson, S., Meng, X., Moore, T., Baxendale, A. and Ford, T., (2011). Accuracy requirements and benchmarking position solutions for intelligent transportation location based services. In Proceedings of the 8th International Symposium on Location-Based Services.
- [11] Zhou, Y., & Tuzel, O. (2017). Voxelnet: End-to-end learning for point cloud based 3d object detection. arXiv preprint arXiv:1711.06396.
- [12] NHTSA 官網, 自駕車等級分類, <https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/automated-vehicles-safety> (Oct. 26, 2018)
- [13] Here 官網, 自駕車搭載之感測器, <https://360.here.com/2017/07/26/looking-next-generation-connected-services-real-time-traffic/> (Oct. 26, 2018)
- [14] Tom Tom 官網, RoadDNA 技術, <https://www.tomtom.com/automotive/automotive-solutions/automated-driving/hd-map-roaddna/> (Oct. 26, 2018)

附錄八

「107 年度移動載台測量製圖技術發展工作案」

期中報告審查意見

吳至誠委員

委員提問	回覆意見
<p>1.室內機器人製圖技術於報告中並無說明，請於報告書中補充。(P60)</p>	<p>謝謝吳委員的建議，本團隊採用網格式製圖演算法，一種為利用環境中的明顯地標，來顯示地標點的位置，基於此地標點位置來反饋定位成果與重建環境，因此利用光達資料產製點雲，在藉由點雲於空間中的位置產製網格地圖，該網格地圖建立於地圖坐標系統中，並藉由各個時刻不同的點雲資料來進行掃描匹配。相關機器人製圖技術的演算法細節會於後續期末報告進行補充。</p>
<p>2.請說明「室內定位技術在災害人流導引」和現有建物室內逃脫規劃及模擬之差異，是否參考現有規範呢?(P81)</p>	<p>謝謝吳委員的建議，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；而現有的室內逃脫規劃是民眾依照緊急逃生出口燈的指示逃生，如同前面所述是靜態、被動的，而我們的規劃是主動由中央控管，對遊客發出逃生路線的指示，能依據災害發生當下狀況即時做動態調整。</p>
<p>3.請定義何謂「高精度地圖」，此種地圖的主要內容為何？未來將如何應用在汽車導航上。(P101)</p>	<p>謝謝吳委員的建議，高精地圖為提供智慧型無人載具(包括車輛、船、飛機等)於導航所使用的地圖輔助資訊，協助確保能正確且安全的行駛於規劃之路徑上的新一代地圖資訊。與傳統二維導航地圖不同之處在於使用者從人轉移到機器，即便機器擁有遠優於人腦的邏輯計算高速性、大容量儲存能力，但是機器缺乏自主判斷能力，故無論是自駕車本身的定位精</p>

	<p>度，或是圖資上道路屬性，甚至是車道、交通號誌、道路的幾何關係都需要被精確的定義，才能與自駕車本身之軟體技術與硬體設備間進行整合，從而滿足安全駕駛的最終目的。</p> <p>因此高精地圖需具備的條件如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) 精度要求需達到 1 公尺以內甚至更高的等級 (2) 所有地圖資訊都需在三維空間中 (3) 真實世界中的特徵物、地物(包括車道、道路邊界、交通指示標誌等)皆需明確定義於地圖中，且要附加詳盡的屬性資料 (4) 高精地圖的尺度必須與真實世界一致，即不會有比例尺縮放問題 (5) 必須提供即時的地圖資訊供車輛進行駕駛決策 <p>雖然目前 GNSS/INS 整合導航技術已相當成熟，然而由於部分外界環境過於複雜(如都市地區)，仍無法確保能將自駕車定位於正確的車道上，因此需要透過高精地圖輔助車身定位，以確保定位精度符合無人駕駛技術之需求。除此之外，高精地圖亦能提供外界環境特徵物的位置和屬性資訊提供自駕車行駛決策資訊，達到安全行駛的目的地，因此高精地圖的應用不只侷限於無人駕駛技術的發展，也能應用於先進駕駛輔助系統，有助於車輛系統在短時間內提醒駕駛人環境變化及可能發生的情況，從而讓使用者採取適當的因應措施。</p> <p>相關細節補充於報告書第 104 頁中。</p>
<p>4.報告書中提及本案領先 google 發展具備量測功能的室內街景系統，請說明本工作案是領先那些功能。(P58)</p>	<p>謝謝吳委員的建議，本案開發之軟體，具備室內影像的量測功能，透過高精度的導航資訊(位置與姿態)，本案開發之軟體可以透過環景影像，直</p>

	接量測影像中的興趣點坐標。目前補充於 2.1 章節中的第 60 與 61 頁。
5.本案是否有考量室內製圖技術和 BIM 結合應用。	謝謝吳委員的建議，目前本案首先著重在產製高精度且可應用之平面圖資訊，對於 BIM 並未納入考慮，未來擴展至三維則可以進一步與 BIM 結合應用。

卓大靖委員

委員提問	回覆意見
1.方程式(3)及(4)的符號 α 代表意義是否相同，若代表不同意義，建議使用不同符號表示。(P70-71)	謝謝卓委員的建議，兩者符號的確代表不同意義，已於 2.4 節修正。
2.距離轉換模型中，方程式(5)中之幕函數迴歸模型之參數 α 、 β 、 γ 之敏感度為何？是否有進行相關參數測試。(P71)	謝謝卓委員的提問，距離轉換模型並無進行相關參數測試，但就三個參數的敏感度來說， $\beta > \alpha > \gamma$ ， β 會影響整體模型的趨勢，因此敏感度最高。
3.圖 2-20 使用低通濾波器於 RSSI 之結果，目標物是靜止或移動狀態呢？	謝謝卓委員的提問，目標物是靜止的，實驗中手機也是於待測點定點收 5 分鐘資料，此部分已於 2.4 節補充。
4.第 2.3 節提及使用卷積神經網路方法進行室內外定位與製圖之整合方案，未來將如何進行成果評估呢?(P67)	謝謝卓委員的建議，未來將以文獻探討的方式進行成果評估，報告書中一部份為針對 Detectron 等深度類神經網路進行自動偵測物體屬性並使用人工方式檢核物體之準確率，以增強對錯誤的可判別性。另一部分報告書中提及利用影像與 ORB-SLAM 或額外光達感測器，將探討如何使用如 Mask R-CNN 之深度類神經網路以及匹配之點雲圖為數據樣本，從中萃取特徵值並且預測物件輪廓與屬性整合。兩者之效能評估其具體將分析特徵值萃取情況、預測圖像與原始圖像之間緊密程度、姿態精度以及訓練網路模型所需之電腦計算量等評估項目，並且評價各種深度類神經對於室內外製圖系統

	<p>之輔助程度。物體空間大小與距離精度在本案中不探討絕對精度，僅探討物體屬性正確率，其初步成果檢測方式為人工，於 2.3 節中修改並補充。</p>
<p>5.低功耗藍牙差分改正實驗, Beacon 之高度為 2.5 公尺, 是否有考慮訊號受阻之情境呢?(P74-75)</p>	<p>謝謝卓委員的提問, 目前實驗並未考慮訊號受阻之情境, 而是考慮訊號受到教室中所有環境之影響(ex: 玻璃、木牆反射及折射、或訊號衰減等等), 但本案所開發之低功耗藍牙差分演算法仍然可以處理訊號遮蔽之情形, 因遮蔽之影響亦算環境影響之一, 因此可進而計算出改正量, 並改善其精度。</p>
<p>6.表 4.2 提及影像處理演算法很多, 本案會使用那些方法呢? (P110-112)</p>	<p>謝謝卓委員的提問, 本案現階段以文獻回顧方式大量收集國內外對於影像與光達資料處理的演算法及文獻為先期研究, 目前仍處於資料與文獻收集階段, 日後將進行各種演算法之評估, 以擬訂最適用於本案之執行方法, 以供未來實踐之參考依據。</p>

陳繼藩委員

委員提問	回覆意見
<p>1.有關本案可攜式光達室內製圖系統, 工作內容提及室內移動機器人、室內無人機與人為酬載製圖技術, 請補充說明如何利用前述技術進行室內製圖。(P61)</p>	<p>謝謝陳委員的建議, 本團隊採用網格式製圖演算法, 一種為利用環境中的明顯地標, 來顯示地標點的位置, 基於此地標點位置來反饋定位成果與重建環境, 因此利用光達資料產製點雲, 在藉由點雲於空間中的位置產製網格式地圖, 該網格式地圖建立於地圖坐標系統中, 並藉由各個時刻不同的點雲資料來進行掃描匹配。相關機器人製圖技術的演算法細節會於後續期末報告進行補充。</p>
<p>2.有關 2.2 節室內災害的人流導引系統如何執行, 請於報告書中補充。(P66-67)</p>	<p>謝謝陳委員的建議, 預計和先前室內定位、擴增導引 App 一同設計整合在此 App 內, 由伺服器端偵測災害是否</p>

	<p>發生，並有主動推播的機制，用擴增方式指引遊客往逃生路線方向逃生。</p>
<p>3.本案今年度移動裝置系統之適地性服務選擇故宮南院，該場域限制很多，文物能否拿出來給本工作案廠商拍攝3D物件呢?請補充說明之。(P77-80)</p>	<p>謝謝陳委員的建議，我們做特徵值擷取的方式是採用平面不同角度拍攝的方式實作，也就是依照遊客能夠拍攝文物的各個角度擷取特徵值，因此不需將文物拿出即可達成文物辨識的功能。</p>
<p>4.有關本案今年度高精地圖之定位請明確定義，於報告書中補充；另有關自駕車適地性服務，後續如何連結至自駕車呢?(P118-119)</p>	<p>關於高精地圖之定位請明確定義，已於報告書中第 104 頁解釋並補充。</p> <p>一輛汽車要想實現完全自動駕駛，首先必須準確地知道它在位於現實世界中地哪裡，以及目的地為何，並規劃出行動路線，以上需求都倚賴非常精確的高精地圖輔助車輛進行導航演算，因此高精地圖上的某個目標和真實世界間的絕對精度須控制在 1 公尺的範圍內。自駕車在行車中明確知道自己在道路上的精確位置，則透過自駕車適地性服務(Location Based Service)雲端應用平台可隨時掌握自駕車即時位置並回報所在位置，根據車輛位置切換回應性高的廣告推播內容與回應特定量身訂做的位置空間資訊服務，如此，可實現精準的適地性廣告推播服務，相當具有商業開發潛力。本案目前然在先期研究的階段，會針對自駕車導航圖資之相關建置及應用進行回顧及整理，並不會直接實現自駕車適地性服務的案例實作，本案之服務性案例試辦主要目標為高精地圖建置測試，確保未來所制定之。</p>
<p>5.有關協助推動國際測量事務交流合作，報告書內容皆提及去年簽訂協定情形，請補充說明協定簽署後，今年度之具體合作事宜為何?(P121-122)</p>	<p>謝謝陳委員的建議，與印尼簽署的「大地測量與空間資訊測繪合作協定」是台灣首次就測繪工作簽署之跨國合作協定，除了將持續與印尼共同精進測繪領域外，也將積極拓展跨國合作版圖，而今年度具體和印尼政府部門及</p>

	<p>學術界進行空間測繪的合作，與印尼國土空間資訊局(Indonesian Geospatial Agency, BIG)交流大地測量的相關技術以及與印尼泗水理工大學(Institut Teknologi Sepuluh Nopember, ITS)交流整合式定位定向技術並提供諮詢的服務，協助推動雙方測繪技術及產業發展的合作。</p>
--	--

趙鍵哲委員

委員提問	回覆意見
<p>1.本案研究成果歷年累積許多成果，建議以後召開審查會議前，能夠整理那些項目需要討論，供委員參考，以利會議能夠聚焦討論。</p>	<p>謝謝趙委員的建議，跟地政司已經有初步討論，會於會議前整理討論項目。</p>
<p>2.本案產製許多不同等級圖資，各類圖資各需要達到什麼精度等級以作為後續應用，對於相關人員非常重要，能否請本案團隊整理相關圖資所應達到之精度等級後於報告書中呈現，供後續產製圖資者參考。</p>	<p>謝謝趙委員的建議，後續會於期末報告，針對室內平面圖與室外高精地圖來整理相關圖資所應達到之精度等級。針對不同需求列出相關精度要求與建議。</p>
<p>3.本案所提可攜式移動製圖技術應用在地籍測量作業上，目前儀器能否在現場決定幾何條件不好情況下，決定架站位置，還是要後續內業作業時評估呢？另外目前有開發系統或介面去評估嗎？</p>	<p>感謝委員的寶貴建議，目前在現場可依實際待測點之位置分佈，盡量符合良好的交會幾何來架站觀測，然而各測站共同觀測的連結點，得後續內業量測時，才能更詳細評估其交會幾何之情形，然而連結點之選定可視情況於內業新增或刪除。目前並於開發系統或介面可於現場即時評估。</p>
<p>4.請於報告書中說明高精地圖定義問題，另「高精地圖」(High Definition Map)中文翻譯值得再討論，HD地圖除了圖資需高精度外，還記錄許多道路物件。</p>	<p>謝謝趙委員的建議，關於高精地圖之定位請明確定義，已於報告書中第104頁解釋並補充。 自從無人駕駛技術開始發展後，「高精地圖」此名詞已被國內外相關業界及學者使用一段時間，若任意改變 High Definition Map 之中文名詞可能會導致資料參照時互通性及共享性上的問</p>

	題，也可能導致名詞認知上的誤解。
5.報告書中參考文獻格式請確認後修正。	謝謝趙委員的建議，已於報告書修正參考文獻格式。

內政部地政司

委員提問	回覆意見
1.第 1.2.8 節有關擴增實境 AR 技術應用案例，目前有許多較新之應用，請於報告書中補充。(P48-49)	謝謝地政司的建議，擴增實境技術較新的應用將補充於報告書修訂版本之第 1.2.8 節。
2.第 2.1 節有關機器人製圖演算法，本案選擇網格式製圖演算法之理由為何，請於報告書中補充說明。(P61-62)	謝謝地政司的建議，網格式製圖演算法可以產出佔據式網格式地圖，該圖如報告書中的圖 2.6，可以清楚分辨室內邊界線與障礙物，同時也展示如同一般二維室內平面圖般的環境，因此，本團隊採用該演算法，可以比較直覺地使用該圖資以利後續數化工作。相關描述補充於修正報告書中。
3.第 2.2 節研發室內定位技術在室內災害的人流導引應用是否有實際測試案例可評估本案所提方法是否可行呢?(P66)	謝謝地政司的建議，室內災害人流導引是本年度新開發的議題，因此目前暫無測試的案例，但在本案中我們經由 App 的實作後，可於故宮南院場地做效能的模擬與評估。
4.第 2.4 節研發藍芽(低功耗)差分演算法，提升交會定位之精準度，有關點位提升之定位精度和空間分布情形及是否有物件遮蔽會影響定位精度呢?(P71)	謝謝貴司的提問，物件遮蔽的確會影響其原始精度，因 RSSI 會受到遮蔽而比預期來的弱，導致定位成效不佳，然而低功耗藍牙差分演算法的目標即修正所有 RSSI 所遭遇之環境影響，在同樣的環境下，參考站與移動站若同時受到遮蔽，表示兩者所遭遇之影響相似，參考站會計算其改正量修正附近移動站之觀測量，如此一來，此改正量有考慮到其遮蔽影響，故仍會提升移動站之原始精度。
5.有關 3.3 節地籍測量適地性服務案例試辦，請補充說明測試成果如何和重測成果進行比較，並說明如何導入已	感謝貴司的寶貴建議，測試成果將解算求得界址點之 3 維坐標，可與重測成果的平面 2 維坐標比較數據之差值。

知 2 維及 3 維控制點坐標直接進行戶地測量觀測數據解算，請於報告書中補充。(P95-99)

而透過網形平差解算之界址點坐標亦包含精度，可供參考誤差之分佈情形。目前平差模型需將控制點之 3 維坐標皆列入觀測方程式，平面與高程可依據精度分開給予適當之權重，未來將進一步調整平差模型，若控制點僅 2 維坐標，則亦僅需提供 2 維坐標列入觀測方程式。

附錄九

「107 年度移動載台測量製圖技術發展工作案」

期末報告審查意見

趙委員鍵哲

委員提問	回覆意見
<p>1.有關藍芽定位，精度提升幅度說明有誤，加權後結果似反而變差，請於報告書中補充說明；另有關改正數給權值部分，改正數並非真正的權值，後續可評估其他參數給定權值，或選擇其他平差模式，以提升定位精度。</p>	<p>感謝趙委員的建議，加權後成果變差的主要點位為 P1 及 P5，且兩點皆位於同一區域，認為造成改正後成果變差的原因相似，不等權平差雖可依照改正量給定權重，但計算時仍含有錯誤觀測量之可能，未來考慮利用標準偏差或其他參數方式給權，抑或加入除錯方式，以提升交會定位精度及穩健度。</p>
<p>2.簡報中地籍測量交會幾何圖說請於報告書中補充。</p>	<p>感謝趙委員的建議，已於期末報告修正版第 137 頁補充說明。</p>
<p>3.有關本案舉辦之高精地圖論壇，其論壇定位及成果、具體貢獻請於報告中補充說明，以利了解舉辦該論壇之成效。</p>	<p>感謝趙委員的建議，已於期末報告修正版第 174 頁補充說明。</p>
<p>4.本案相關製圖技術為何不使用魚眼相機，其考量性為何？</p>	<p>感謝趙委員的建議，魚眼相機本身因為其光學設計，相機的透鏡畸變較大，如果想應用在製圖方面，需要有較佳的誤差模型改正以及相關的率定參數，因此在本案中的此階段，並不採用魚眼相機。</p>
<p>5.參考文獻請統一格式。</p>	<p>感謝趙委員的建議，已於期末報告修正版中修正。</p>

卓委員大靖

委員提問	回覆意見
<p>1.針對室內定位技術，本案採用深度神經網路演算法，除了使用卷積神經網路方法(CNN)之外，是否亦比較其他神經網路演算法做為準確度及計算負擔之參考？另有關 Posenet 方法選擇和 CNN 關係為何？請於報告中補充說明。</p>	<p>感謝卓委員的建議，在影像識別領域中類神經網路迅速發展，卷積神經網路(Convolution Neural Network, CNN)、人工神經網路(Artificial Neural Networks, ANN)、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，因卷積神經網路為最有名、最廣泛之方法，故本年度著重於此類神經網路之探討與應用，下年度亦可評估其他類神經網路之方法效能。</p> <p>傳統深度神經網路普遍用於影像分類問題上，近幾年才逐漸應用於影像定位問題，Posenet 亦是其中的貢獻之一。Posenet 能同時輸出位置以及方向，在於室外以及室內定位之精度皆有不錯之成果。室外精度能達到 2 米及 6 度精度，室內精度能達到 0.5 米及 10 度精度。此類神經網路之精度與其他論文相比雖不到最好，但是對於嚴峻環境的表現上會比其他論文較好。地下停車場及故宮南院之環境單調、昏暗，條件上環境較為困難，故選用 Posenet 之類神經網路來實行今年度之實驗。</p>
<p>2.卷積神經網路方法(CNN)與其他神經網路演算法之優勢為何？請於報告書中補充</p>	<p>感謝卓委員的建議，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。</p>
<p>3.有關故宮南院實測，箭頭方向有誤，原因為何？</p>	<p>感謝卓委員的建議，在本影片中，已經到達目的地，因此在程式設計上，指針在這時候會失去依據，因此朝向反方向，本團隊會在對此進行程式的優化。</p>
<p>4.有關移動製圖部分，是否考慮到多路</p>	<p>感謝卓委員的建議，本案在進行室內</p>

<p>徑效應(multi-path)之影響之因應呢?</p>	<p>藍芽定位技術，想藉由差分，削去環境的影響，多路徑效應的確也造成很大的誤差來源，未來本團隊也預計對此誤差進行改善。</p>
<p>5.本案回顧不同 AI 技術進行特徵辨識文獻，最後採用哪種方法進行特徵向量擷取，原因為何?請於報告書中補充。</p>	<p>感謝卓委員的建議，本案為利用 AI 技術進行特徵辨識的先期可行性評估，目的為彙整現有之各項影像及點雲自動辨識技術，提供未來自動化產製高精地圖之相關計畫提供發展策略指引，實際之效益好壞須經未來演算法開發後實際測試後才能定論。</p>

吳委員至誠

<p>委員提問</p>	<p>回覆意見</p>
<p>1.中文摘要請修正，應以本年度執行成果為主，並闡述各分項目前獲得的績效，以驗證期初訂下的 KPI 指標。</p>	<p>感謝吳委員的建議，本團隊已修正摘要部分，闡述各分項目前獲得的績效。</p>
<p>2.圖 2-12、2-13、P71 圖 2.21 四種方法室內製圖誤差分布之坐標軸無說明，請補充。(P65)</p>	<p>感謝吳委員的建議，已補充相關坐標軸說明於期末報告書修正版第 71 頁。</p>
<p>3.第五章協助推動國際測量事務交流合作中，印尼國土空間資訊局之中英文簡稱請確認後修正之。(P177)</p>	<p>感謝吳委員的建議，已於期末報告書修正版中修正。</p>
<p>4.本案所提人流導引定位演算法，目前較常使用之方法不光以距離等條件作為人流導引，後續建議可以考量其他因子進行人流導引分析。</p>	<p>感謝吳委員的建議，未來我們將完整回顧文獻還有考慮的因素，比較不同疏散因素的疏散效果，作為後續人流導引設計的考量。</p>
<p>5.建議本案所提室內定位方法可考慮和 BIM 技術結合。</p>	<p>感謝吳委員的建議，BIM 具有一定程度的準確度，對於室內定位來說，可結合地圖匹配或者其他特徵資料、屬性來提升室內定位精度。未來如果有 BIM，可進一步思考如何與室內定位結</p>

	合。
6.本案使用 AI 演算法在訓練樣本獲取影像達數萬張，花費許多時間在取像上，請團隊評估演算法執行所需時間，供後續研究者能夠了解 AI 演算法執行情形。	感謝吳委員的建議，今年度本團隊實驗硬體設備使用單顆 GeForce GTX 1080 Ti 之 GPU 顯示卡加快類神經網路運行訓練與測試，訓練部分迭代次數設置 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。

曹委員元良

委員提問	回覆意見
1.目前高精地圖探討及場域驗證僅包括靜態的高精地圖，建議明年可利用沙崙自駕車測試場域動態汽球車等設施，對 LDM 之交通環境、連結設施及移動物體等圖層進行探討及試驗。	感謝曹委員的建議，本團隊在沙崙自駕車測試場域已有初步的圖資資訊，未來將會基於該圖資，延伸不同圖層進行相關探討與試驗。
2.本團隊於高精地圖標準建立規劃，已有與國際圖資商交流，應持續與國際標準相關組織及國際圖商保持交流與同步，確保未來政府計畫要求相關單位參照本部高精地圖產製標準時得以配合。	感謝曹委員的建議，本團隊已與國際圖商持續保持交流，也進行相關技術與想法的交換。未來配合政府相關單位訂定高精地圖產製標準與國際接軌。

劉委員正倫

委員提問	回覆意見
1.表 2.3 室內平面圖評估結果，四種測試方式建議可加入施測時間、效能評估之評估內容，請於報告中補充；另地圖修正需要控制點，建議本團隊評估佈設控制點之密度分布與成果精度之差異。(P71)	感謝劉委員的建議，在該測試中，並無計算該次實驗的總時間，之後必將採納委員意見，將時間因素納入評估。本案室內製圖實驗中，因場地限制，四種製圖平台皆採用最低限度的控制點點數，只使用三個控制點，未來更換試驗場地，預計採用並且佈設更多控制點，期望可進一步提升成果精度，並且評估點數、場地面積與精準度之關係。
2.評估新型移動製圖技術設備於地籍	感謝劉委員的建議，已於期末報告修

<p>測量作業之優缺點，建議列表整理，以利閱讀；另補充後續作業有何建議。 (P113)</p>	<p>正版第 119 頁補充說明。</p>
<p>3.有關 3.4 節本年度地籍測量之適地性服務，可否補充說明未來推動如何透過本案研發技術輔助地籍圖重測作業。(P134)</p>	<p>感謝劉委員的建議，已於期末報告修正版第 138 頁補充說明。未來推動之規劃，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。預計選擇市區與農地地區作為適地性案例試辦，探討目前移動測繪技術輔助應用於兩者不同環境之實測差異及作業方式。此外，今年度與臺南市地政局討論後，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視區域，因圖解區之精度要求不高，以此套影像移動製圖系統或許相當便利。</p>
<p>4.有關高精地圖圖層種類，表 4.3 跟表 4.10、表 4.11 圖層類別是如何定義出來，是只參考相關文獻，還是經過水湳試辦成果後獲得，建議於報告書中補充。</p>	<p>感謝劉委員的建議，本案之高精地圖圖層列表參考 NDS 的子系統 Open Lane Model 對於道路幾何之圖層定義，並依照我國自駕車測試場試辦經驗，擬列適用於本地之的參考圖資規格。已將此部分補充於期末報告書修正版第 147 頁之表 4.3 中與 176 頁中。</p>
<p>5.有關高精地圖適地性服務中，測繪車在測製高精地圖時，測繪車上之 GPS 訊號是後處理還是即時定位；另未來自駕車實際在測試場域運行時，自駕車 GPS 定位訊號精度需在 50 公分以內，其解決方案是使用測繪中心 e-GNSS 系統?還是在場地附近架設短基線基準站，提供定位訊號?</p>	<p>感謝劉委員的建議，若為測繪車測製靜態高精底圖，會使用後處理資料以提升成果精度，以達未來自駕車應用所需。此外，以自駕車願景要達到各場域多輛車即時差分運作(RTK)，目前我國 RTK 站較完整者為測繪中心 e-GNSS 系統，但未來測試場域根據感測器等級及觀測現地狀況等因素，調整定位方式已達最後所需之自駕車導航精度。</p>
<p>6.本年度計畫成果有關高精地圖產製成果是否只包含向量圖層，還是有包</p>	<p>感謝劉委員的建議，考量未來高精圖資之資料傳輸與運算量，基本上以向量圖為主以提升資料傳遞運算效率，</p>

<p>含點雲資訊呢?</p>	<p>點雲資訊為使用裝載光達之行動測繪系統產製向量圖之中間產物。</p>
----------------	--------------------------------------

陳委員杰宗

<p>委員提問</p>	<p>回覆意見</p>
<p>1.有關期末報告書中第五、六、七、八章內容篇幅較少，建議可濃縮章節，以利閱讀。</p>	<p>感謝陳委員的建議，已於期末報告書修正版進行相關修正第伍章整合(第181頁)。</p>
<p>2.有關計畫書第九章結論與建議，建議分開撰寫結論及建議，並對本案及高精地圖後續發展提出具體建議。</p>	<p>感謝陳委員的建議，已於期末報告書修正版進行相關修正。此外，未來將由內政部統籌經費支持成立高精地圖中心成為 NDS 會員獲得直接授權，持續以 NDS 作為基底進行圖層內容增刪從而提出適用於我國高度混流交通型態之適地性圖層內容。詳細之本先期研究案後續發展具體建議已列於期末報告書修正版第 191 頁中。</p>
<p>3.計畫書附錄部分建議用頁碼編號，且期中委員意見部分，建議用表列方式呈現，以利讀者了解問題及回答。</p>	<p>感謝陳委員的建議，已於期末報告書修正版進行相關修正。</p>
<p>4.有關高精地圖之定義，請於報告書中補充。</p>	<p>感謝陳委員的建議，高精地圖為提供智慧型無人載具(包括車輛、船、飛機等)於導航所使用的地圖輔助資訊，協助確保能正確且安全的行駛於規劃之路徑上的新一代地圖資訊。有關高精地圖之定義已於報告書中敘明，相關細節補充於期末報告書修正版第 139 頁中。</p>

內政部地政司

<p>委員提問</p>	<p>回覆意見</p>
<p>1.有關 2.1 節有關機器人室內製圖，誤差是否會隨著行走距離增加而增加</p>	<p>感謝內政部地政司的建議，已於 2.1 節有補充，本團隊開發之系統，誤差會隨</p>

<p>呢?另表 2.3 請補充行走總距離。(P70-71)</p>	<p>著行走距離增加而增加，另於期末報告書修正版第 70 頁中，因全部行走距離皆大約相同，故以文字補充說明行走總距離。</p>
<p>2.有關 2.3 節深度類神經網路增強室內外定位與製圖之整合方案提及使用 Posenet 演算法，建議於文中補充演算法之方法描述、流程架構說明。(P82-83)</p>	<p>感謝內政部地政司的建議，已於 2.3 節中補充演算法之方法描述、流程架構說明。</p>
<p>3. 有關 2.4 節提及藍芽(低功耗)差分演算法，有關待測點定位成果精度平均約 2.72 公尺，是否有改善方法? 建議於內文中補充，做為後續規劃之依據。(P88-94)</p>	<p>感謝內政部地政司的建議，使用藍芽(低功耗)差分演算法涉及平差模型，使用等權平差解算可將 90%的定位精度降至 2.72 公尺，因此本團隊嘗試使用不等權平差的方式調整觀測量的權重，然而所使用到的觀測量仍參有誤差較大之距離，仍有可能使定位結果變差，因此以改正量作為使用平差模型之依據，使用較小之改正量平方和來挑選平差模型，使用此法可將 90%定位精度提升至 2.12 公尺(提升程度為 29.10%)。未來可考慮將除錯納入藍芽(低功耗)差分演算法，剔除不合理之距離觀測量再做定位解算。</p>
<p>4.有關 2.5 節空間資訊系統應用於適地性服務提及開發 APP 會顯示地圖軌跡，每個點為 50 像元*50 像元大小之方框，其在空間中距離為何呢? 請於內文中補充說明。(P109)</p>	<p>感謝內政部地政司的建議，因 1 像元大小在空間中距離為 5 公分，因此每個 50 像元*50 像元大小之方框在空間中距離為 2.5 公尺*2.5 公尺，已於 2.5 節內文中補充說明。</p>
<p>5.表 3.3 新式全站儀相關規格，請將表中瑞典售價 57000 美元換算成新臺幣幣值，以利儀器價格比較。(P115)</p>	<p>感謝內政部地政司的建議，已於期末報告修正版第 118 頁補充說明。</p>
<p>6.有關第肆章探討高精地圖及即時動態地圖規格、作業方法及精度評估，請統一內文名詞為「高精地圖」，而非「高精度地圖」。(P136-163)</p>	<p>感謝內政部地政司的建議，已於期末報告書修正版統一「高精地圖」用詞。</p>
<p>7.表 4.3 靜態高精地圖車道線的分類方</p>	<p>感謝內政部地政司的建議，本案之高</p>

式建議補充哪些圖層為相關文獻或國際組織已有定義；哪些圖層是臺灣特有圖層，以利讀者了解。(P144-148)

精地圖圖層列表參考 NDS 的子系統 Open Lane Model 對於道路幾何之圖層定義，並依照我國自駕車測試場試辦經驗，擬列適用於本地之的參考圖資規格。已將此部分補充於期末報告書修正版第 147 頁之表 4.3 中。

8.第五章協助推動國際測量事務交流合作建議補充參加 107 年 11 月 13-15 日至日本東京「SIP-adus Workshop 2018」相關研討會內容資訊。(P178-179)

感謝內政部地政司的建議，已於期末報告書修正版第 183 頁中補充日本東京「SIP-adus Workshop 2018」相關研討會內容資訊。

9.期中報告內容建議修正如下表，其餘內容文字另請再詳校：

頁碼	原內文	建議修正	說明
6	e-GPS	e-GNSS	
52	本計畫、本研究	本案	全文其他處一併修正
59	座標	坐標	全文其他處一併修正
59	台北、台南	臺北、臺南	全文其他處一併修正
62	占據、佔據	統一用法	全文其他處一併修正
65	圖 2.12、圖 2.13	補圖，文字說明錯誤	無圖片
97	佈建	布建	全文其他處一併修正
111	紀錄	記錄	全文其他處一併修正
115	台幣	新臺幣	
117	佈滿	布滿	全文其他處一併修正
132	圖 3.26、圖 3.27	坐標軸數字放大	
156	規畫	規劃	全文其他處一併修正
171	後處裡	後處理	
177	2017	106	

感謝內政部地政司的建議，已於相關章節修正內容文字，此外亦統一使用「佔據」一詞。