

# 發展智慧室內外製圖技術

## Developing indoor and outdoor intelligent mapping technology for mobile devices

主管單位：內政部地政司

江凱偉 <sup>1</sup>	曾義星 <sup>1</sup>	莊智清 <sup>2</sup>	洪榮宏 <sup>1</sup>
Kai-Wei Chiang <sup>1</sup>	Yi-Hsing Tseng <sup>1</sup>	Jyh-Chin Juang <sup>2</sup>	Jung-Hong Hong <sup>1</sup>
王驥魁 <sup>1</sup>	呂學展 <sup>1</sup>	郭佩棻 <sup>1</sup>	
Chi-Kuei Wang <sup>1</sup>	Hsueh-Chan Lu <sup>1</sup>	Pei-Fen Kuo <sup>1</sup>	

<sup>1</sup> 國立成功大學測量及空間資訊學系

<sup>2</sup> 國立成功大學電機工程學系

### 摘要

測繪與空間資訊相關應用領域，由於移動測繪系統的機動性、多元感測資訊以及對數位影像處理與蒐集的能力，可以明顯節省過去傳統測量所需要的人力及時間。故除了傳統的空間資訊與測繪應用以外，隨著移動裝置的普及、無人載具的發展與自駕車技術的研究，預期結合現有移動測繪技術、室內圖資建置技術、物聯網空間資訊應用將有效支撐適地性服務急速擴張的需求，這對深化空間資訊領域產業的發展有正面的助益。另一方面，隨著智慧型運輸系統的發展，自動駕駛汽車成為未來全新的交通方式。自駕車用地圖在自駕車運行具有不可或缺之地位，提供自駕車決策系統輔助，降低技術門檻及所需經費，並且提升安全性。國內已累積多年發展與應用車載移動製圖技術之經驗，並具備成熟的資料處理技術。

除了傳統的空間資訊應用外，隨著適地性服務相應而生，空間資訊業者目標將從戶外的廣大天地轉進至建築物內，身入其境的室內圖資可對消費者產生視覺性及情緒性的影響，發掘出更大商機。本案針對當前高精地圖的產製程序與經驗延伸至室內地圖的建置應用之可行性，訂定完整的室內測繪作業程序，並針對成功大學圖書館地下停車場、電機工程學系系館地下停車場、科技部資安暨智慧科技研發大樓停車場進行圖資繪製，藉由實際室內製圖試辦調整室內測圖的程序，以利未來室內高精地圖相關指引與標準的建置。

**關鍵詞：**室內智慧製圖、室內語義地圖、移動測繪系統、高精地圖

### Abstract

In the application related to surveying and mapping, the mobile mapping systems can significantly save the workforce and time required. Based on hardware improvements, mobile sensors are becoming more diverse, smaller, and cheaper, while the accuracy is improving. On the other hand, with intelligent transportation systems, autonomous

vehicles have become a new way of transportation in the future. The map for autonomous vehicles is indispensable in the operation of autonomous vehicles. It assists in autonomous vehicle decision-making systems and lowers the technical threshold. High-definition maps (HD maps) for autonomous vehicles mainly rely on the onboard sensors to obtain point clouds and images and is produced through feature extraction and manual assistance methods. However, if there is no unified standard production process, specification, and map formats for producing HD maps for autonomous vehicles, it may cause inconsistent format issues, resulting in unnecessary resource investment and safety issues of autonomous vehicles.

In addition to traditional spatial information applications, the surveying industry will focus on the indoor intelligent mapping technology. This project refers to the HD maps guideline, HD maps standard, and outdoor mapping experience to construct the indoor surveying and mapping operation procedure. The test fields are the underground parking lot of National Cheng Kung University library and the Department of Electrical Engineering, and Cybersecurity & Smart Technology R&D Building. The mapping procedure will be adjusted through the actual mapping. All the experiences will facilitate the establishment of relevant guidelines and standards for indoor HD maps in the future.

**Keywords: Indoor intelligent mapping, Indoor semantic map, Mobile mapping, system, High definition map**

## 一、前言

配合國家科技發展重點政策，落實測繪及空間資訊科技自主化，內政部地政司於民國 101 年至 107 年先後執行「多平台製圖技術工作案」與「移動載台測量製圖技術發展工作案」，在國內既有測繪技術基礎上，擴大各項測繪相關技術之本土研發面向，並深化自主性研究能量，厚植測繪軟硬體實力，最終目的乃在輔助國家經濟建設與社會貢獻產出。藉由辦理相關成果發表會議及協助推動國際測繪合作事務，以擴大空間測繪技術流通應用，並以科學外交形式輔助國際事務媒合，以期於本案研究推動下培養國內科技專業人力累積移動測繪之技術能量，同時協助我國產業轉型技術服務輸出營利模式，帶動整體空間資訊產業之創新與發展。

有鑑於全球定位導航系統以建置完備，室外定位技術亦相對成熟，然而由於衛星訊號於室內環境受到建物遮蔽，需透過額外的輔助設備或技術，如 BLE、WiFi、ZigBee、RFID、UWB、紅外線、超聲波、地磁、影像視覺等，以實現室內定位之相關應用，近年來國內產官學界皆致力於自駕車與高精地圖技術的發展，隨著自動駕駛技術的演進，自駕車的場景將逐步延伸至室內環境，必須考量室內外場景之轉換，因此室內外無縫自駕車用地圖的建置勢在必行。本案透過 TAICS 發布相關高精地圖指引與標準，包括「高精地圖製圖作業指引 v2」、「高精地圖圖資內容及格式標準 v1.1」，針對當前高精地圖的產製程序與經驗延伸至室內地圖的建置應用之可行性。

## 二、研究地區與研究方法

本案首先針對運用室內圖資輔助自駕車用於室內導航應用、車載室內導航技術與室內圖層內涵進行相關文獻蒐集，如表 1 所示，將文獻所及之室內圖層內容與高精地圖圖資標準內容進行評估對照與分析，如表 2 所示。在室內環境測繪任務中，須於事前評估室內建模的架構，以利測繪過程的流暢性以及建模成果的完整性，Zlatanova 等人(2013)提出了室內建模的參考流程架構，如圖 1 所示，可將程序分為資料採集與設備評估、資料結構與處理、可視化應用、導航應用、擴增地圖應用以及圖資隱私與版權等六大程序，其中資料採集需考慮預測製的室內環境的因素，如光線、建築結構，並考量設備的移動性，以評估適合的測製儀器，選定資料採集方式後，需選擇適當的資料處理工具，並配合最終預產製的成果選擇適當的製圖編修軟體進行資料處理，此外也需考量目標產製的圖資所需繪製的細緻程度，提供使用者適當的可視化地圖，獲取室內圖資最普遍的應用為室內導航，根據建物結構規劃正確的路網與導航模型，甚至視逃生路線等擴增地圖應用，上述提及的程序彼此環環相扣，因此須於測製任務前有完善的規劃。Li 等人(2019)也提出類似的概念，在測製室內圖資前須考慮室內模型需求，包含參考坐標系統、建築結構、室內外無縫坐標地圖、地圖可視化、建築空間設計(如走廊、樓層)、室內拓撲關係(可應用於地圖匹配之行人導航)、可通行區(藉此減少錯誤地圖匹配的情形)、基礎室內設備(如 WiFi、BLE)等，另一則為室內地圖格式，常見的格式包含 Indoor OpenStreetMap、OGC IndoorGML、IFC、OGC CityGML 等，圖 2 為不同室內地圖格式評估，IFC、CityGML LoD 4 和 IndoorGML 是基於定義良好的數據模型和模式，它們具有很強的表達能力；Indoor OSM 基於簡單的標記表示，其表達能力相對有限；Indoor OSM 的數據量小，易於編解碼，而其他標準的數據量大，相對複雜，效率低；只有 IndoorGML 明確描述了拓撲結構，因此也描述了導航網絡，最後則為地圖測製方式，常使用的測製方式為採用光達，如：Google Cartographer 為基於背包式 LiDAR 與慣性感測系統，利用 SLAM 技術建置室內平面圖；Pegasus 結合使用 GNSS、慣性和光達技術進行定位與製圖任務，Thomson(2013)亦提出光達測繪成果的評估，傳統靜態地面光達可獲取高精度的點雲資訊，但若要建置大型室內環境，需多測站測量，過程耗時費力，相比下移動式光達系統(Mobile Laser Scan, MLS)可快速進行室外資料採集，然而其仰賴 GPS 資訊，不適用於室內環境，因此需發展室內移動測繪系統(Indoor Mobile Mapping System, IMMS)，以兩款 IMMS 商用系統並以地面光達作為真值比較點雲測製成果，圖 3(a)為 Viametris iMMS 推車式系統，包含三個光達與 Ladybug 相機；圖 3(b)為 3D Laser Mapping/CSIRO ZEB1 手持式系統，配備光達與慣性感測系統，兩款商用系統皆利用 SLAM 技術建置室內點雲圖；圖 3(c)則為 Faro Focus 3D 地面光達，作為參考系統，圖 4 為三種光達建置的成果示意圖，相較於手執式光達，推車式的點雲地圖的建物特徵較清晰，細緻度也比手持式光達高。除了使用光達進行資料採集也可以採用視覺系統如 RGB-D 相機，捕捉 RGB 圖像與每個像素的深度資訊，以建構三維室內地圖。

表 1、地圖建置方式與文獻整理表

建置方法	文獻
基於採集點雲採集資料建置室內語義地圖	Autonomous driving in a multi-level parking structure (Kummerle et al., 2009)
	Real time localization, path planning and motion control for autonomous parking in cluttered environment with narrow passages (Nejad et al., 2012)
	Advanced real-time indoor parking localization based on semi-static objects (Groh et al., 2014)
	Automated valet parking and charging for e-mobility (Schwesinger et al., 2016)
	Map-aided multi-level indoor vehicle positioning (Fritsche et al., 2017)
	Collaborative mapping and autonomous parking for multi-story parking garage (Li et al., 2018)
基於影像辨識或視覺輔助建置室內停車場語義地圖	Parking space recognition for autonomous valet parking using height and salient-line probability maps (Han and Choi, 2015)
	Vision-based semantic mapping and localization for autonomous indoor parking (Huang et al., 2018)
	Indoor navigation for a complex parking building based on computer vision (Jia et al., 2019)
	AVP-SLAM: Semantic visual mapping and localization for autonomous vehicles in the parking lot (Qin et al., 2020)
	Improving positioning accuracy via map matching algorithm for visual-inertial odometer (Meng et al., 2020)
基於感測器或外部設備建構室內環境	U.S. patent application No.14/814,889 (Samyeul, 2016)
	VeMap: Indoor road map construction via smartphone-based vehicle tracking (Gao et al., 2016)
	Underground parking lot navigation system using long-term evolution signal (Shin et al., 2021)
基於擴增的電子地圖或 GIS 地圖建構室內環境	Improved vehicle positioning for indoor navigation in parking garages through commercially available maps (Wagner et al., 2010)
	Optimization of map matching algorithms for indoor navigation in shopping malls (Wilk and Karciarz, 2014)

表 2、自駕車用之室內圖層對應高精地圖圖層之分析

語義地圖內容	備註	對應高精地圖標準	來源
Parking space	停車格	parkingSpace	Kummerle et al., 2009
Trajectory	行駛軌跡	LaneCenterLine	
obstacle	停車場的障礙物	obstacle	
Level information	各樓層連接點	無	
Speed map	適當的行駛速率圖	Speed	Schwesinger et al., 2016
Parking space	停車格	parkingSpace	
Road graph	路線圖	LaneCenterLine	
Charging bar	充電站	object	
intersection	車道交叉處	junction	
occupancy grid map	佔據網格地圖	無	Nejad et al.,

語義地圖內容	備註	對應高精地圖標準	來源
			2012
parking slots	停車格	parkingSpace	Groh et al., 2014
wall	牆壁	building	
Road segments	路網	LaneCenterLine	Fritsche et al., 2017
parking spots	停車格	parkingSpace	
Level	樓層資訊	無	
ramps	坡道	無	
forbidden areas	禁行區	無	
drivable & non-drivable area	可行駛區域	無	Li et al., 2018
Intersection	停車格和車道的交點	無	
Central line	車道中心線	LaneCenterLine	
Parking-in & parking-out range	駛近停車格與駛離停車格的範圍	無	
Level-cross node	各樓層連接點	無	
Parking space	停車格	parkingSpace	
Crossroad	交叉口	junction	
Parking space	停車格	parkingSpace	Han and Choi., 2015
Parking slot	停車格	parkingSpace	Huang et al., 2018
slot ID	車格編號	無	
Parking space	停車格	parkingSpace	Jia et al., 2019
parking lines	停車線	parkingSpace	Qin et al., 2020
lanes	標線	MarkLine	
obstacles	障礙物	obstacle	
walls	牆壁	building	
guide signs	指向線	MarkLine	
Speed bump	減速帶	deceleration	
wall	牆壁	building	Meng et al., 2020
Parking space	停車格	parkingSpace	Samyeul, 2016
entry/exit	出入口	entry/exit	Gao et al., 2016
Route	路線圖	LaneCenterLine	
bump	減速帶	deceleration	
LTE signal map	LTE 訊號分布地圖	無	Shin et al., 2021
topology	路線圖	LaneCenterLine	Wagner et al., 2010
topology	路線圖	LaneCenterLine	Wilk and Karciarz, 2014

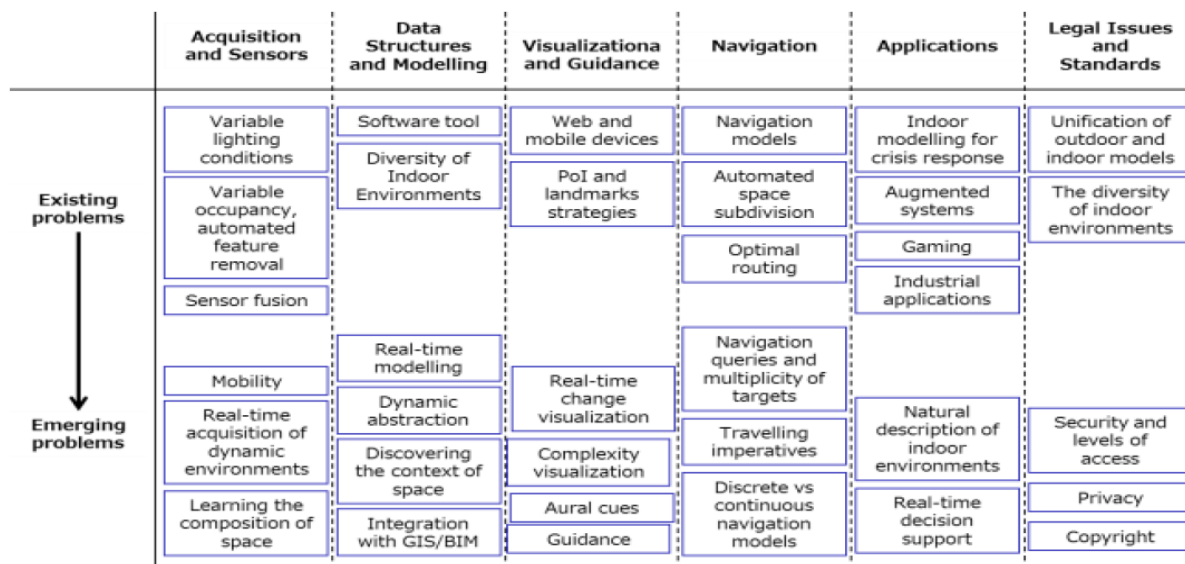


圖 1、室內地圖測繪參考架構圖

COMPARISON - INDOOR OSM, INDOORGML, IFC, AND CITYGML

	Indoor OSM	IndoorGML	IFC	CityGML
2D vs. 3D	2D, 3D	2D, 3D	3D	3D
Modelling Scope	Feature Model	Space Model	Feature Mode	Feature Model
Geometry	Boundary	Closed Geometry	Boundary	Boundary
Expressive Power	Low	High	High	High
Efficiency	High	Low	Low	Low
Encoding	Tag and XML	XML (GML)	Express and XML	XML (GML)

圖 2、室內地圖格式比較圖

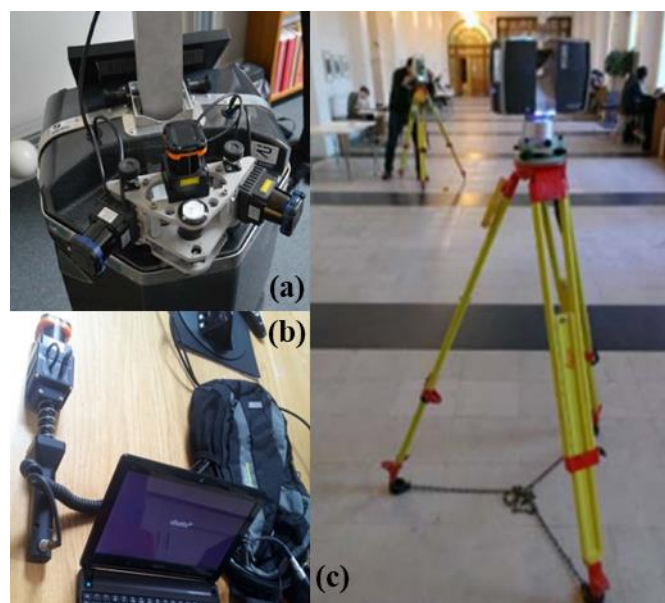


圖 3、三種光達測繪設備：(a) Viamedis iMMS 推車式系統；(b) 3D Laser Mapping/CSIRO ZEB1 手持式系統；(c) Faro Focus 3D 地面光達

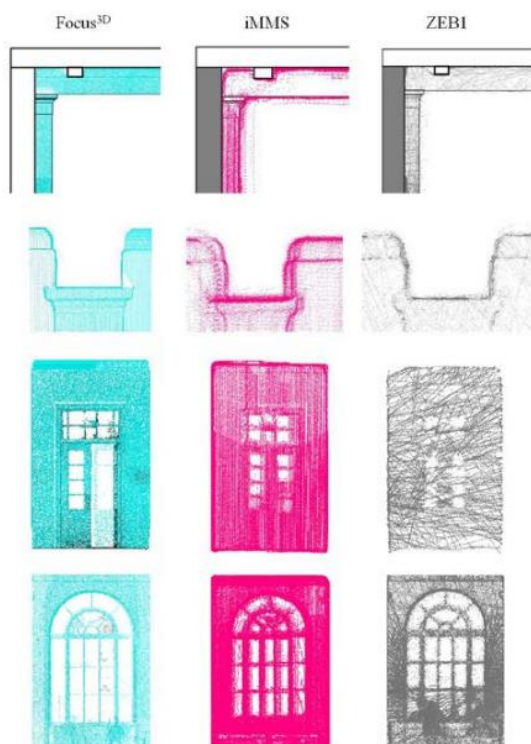


圖 4、三種光達建置的點雲圖

本案藉由文獻回顧以及目前測繪業的測製程序規劃需繪製的圖資圖層與測繪程序，如表 3 及圖 5 所示，圖層包含室內區域、道路參考線、車道線、節點、車道中心線、車道中心線節點、樓層連接點、人行道、過渡帶、過渡帶中心線、坡道、坡道中心線、出入口、停止線、停車格、標線、標線範圍、標線圖形、柱子、牆等，規劃以地面光達進行資料採集，並於實際室內停車場場域進行室內地圖測繪試辦。

表 3、室內高精地圖測繪圖層表

室內圖層		資料型態	屬性	備註
室內區域		面	種類(type)	種類:室內區域
道路	道路參考線	線	識別碼(id)、交叉路口(junction)、規則(rule)、前參考線識別碼(predecessor)、後參考線識別碼(successor)、道路等級類型(type)、起始節點(startNode)、結束節點(endNode)	
	車道線	線	識別碼(id)、車道線種類(type)、車道線寬度(width)、起始節點(startNode)、結束節點(endNode)	
	節點	點	識別碼(id)	
車道	車道中心線	線	識別碼(id)、種類(type)、車道寬度(width)、前一車道識別碼(predecessor)、下一車道識別碼(successor)、起始節點(startNode)、結束節點(endNode)	

室內圖層		資料型態	屬性	備註
	車道中心線節點	點	識別碼(id)	
	樓層連接點	點	識別碼(id)、樓層	
人行道		面	種類(type)	人行道
過渡帶	過渡帶	面	種類(type)	種類：過渡帶
	過渡帶中心線	線	識別碼(id)、種類(type)、車道寬度(width)、前一車道識別碼(predecessor)、下一車道識別碼(successor)、起始節點(startNode)、結束節點(endNode)	
坡道	坡道	面	種類(type)	種類：坡道
	坡道中心線	線	識別碼(id)、種類(type)、車道寬度(width)、前一車道識別碼(predecessor)、下一車道識別碼(successor)、起始節點(startNode)、結束節點(endNode)	
出入口		點	種類(type)	車輛出入口閘門，種類：(車輛/機車)出/入口
標線	停止線	線	識別碼(id)、停止線寬度(width)	
	停車格	面	識別碼(id)、種類(type)、停車格的使用規定(access)、停止線寬度(width)、車格出入點	
	標線	線	識別碼(id)、標線寬度(width)	
	標線範圍	面	識別碼(id)	
	標線圖形	面	識別碼(id)、標線寬度(width)	
禁止行駛區	柱子	面	識別碼(id)、物體種類(type)	
	牆	面	識別碼(id)、物體種類(type)	



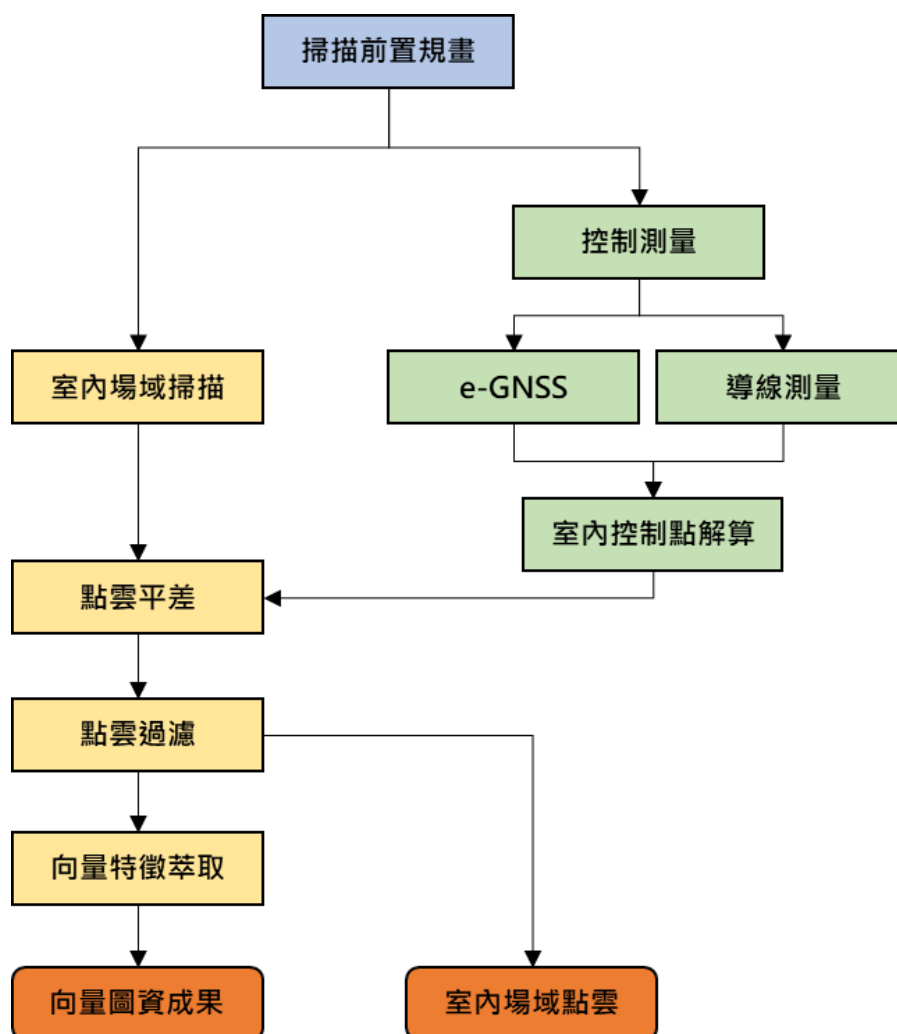


圖5、室內高精地圖測繪規劃流程圖

### 三、研究成果

本案規劃室內製圖試辦作業區為成功大學總圖書館地下停車場、電機工程學系系館地下停車場、科技部資安暨智慧科技研發大樓停車場，藉由實際室內製圖試辦調整室內測圖的程序，以利未來室內高精地圖相關指引與標準的建置。以下為成果說明。

#### ■ 成功大學總圖書館地下停車場

圖 6 所示為成功大學總圖地下停車場控制點設置位置共 17 點，檢核控制點精度符合指引需求。圖 7 及表 4 所示為光達點雲建置成果及點雲密度檢核結果，測區內合格率(點雲密度 $>10,000$  pts/m<sup>2</sup>)為 95.57%，符合測區內不合格網格數目比例應低於 5%。密度合格率較低，其主因為區域內存在許多柱子，掃描時未蒐集柱子後方遮蔽處足夠點雲資料，同時因停車場內有大量車輛停放，資料處理分類過濾後導致路面上點雲密度降低，故合格率僅 95.57%，然而其成果仍符合指引之需求。點雲相對平面及高程精度為 1.2 公分及 1.0 公分，符合較差估計值應小於 10 公分。圖 8 所示為向量圖層成果，包含室內區域、道路、車道、過渡帶、坡道、出入口、標線、禁止行駛區等圖層。

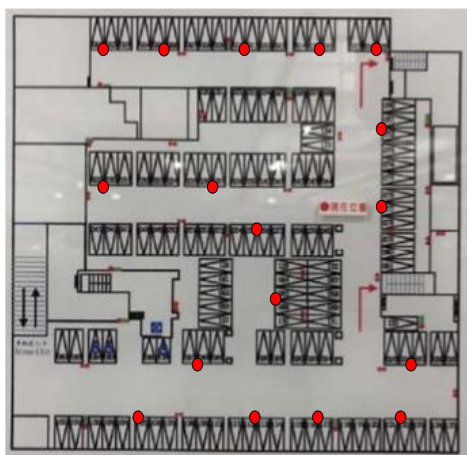


圖6、成功大學總圖書館地下停車場控制點分布

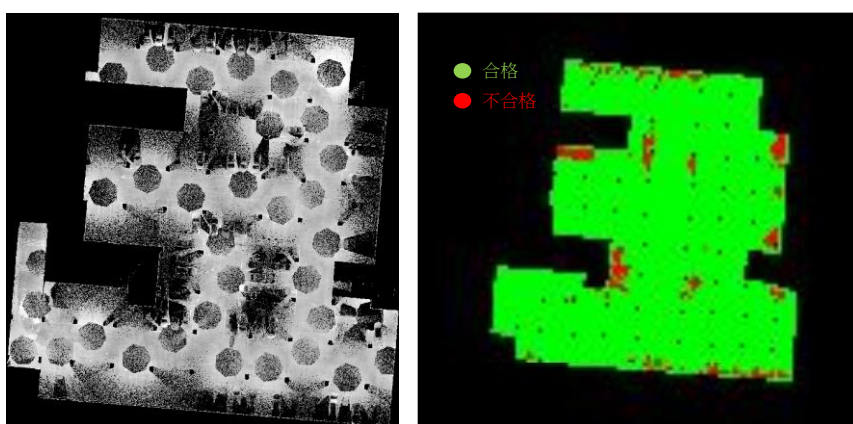


圖7、成功大學總圖書館地下停車場(左)點雲建置；(右)點雲密度計算

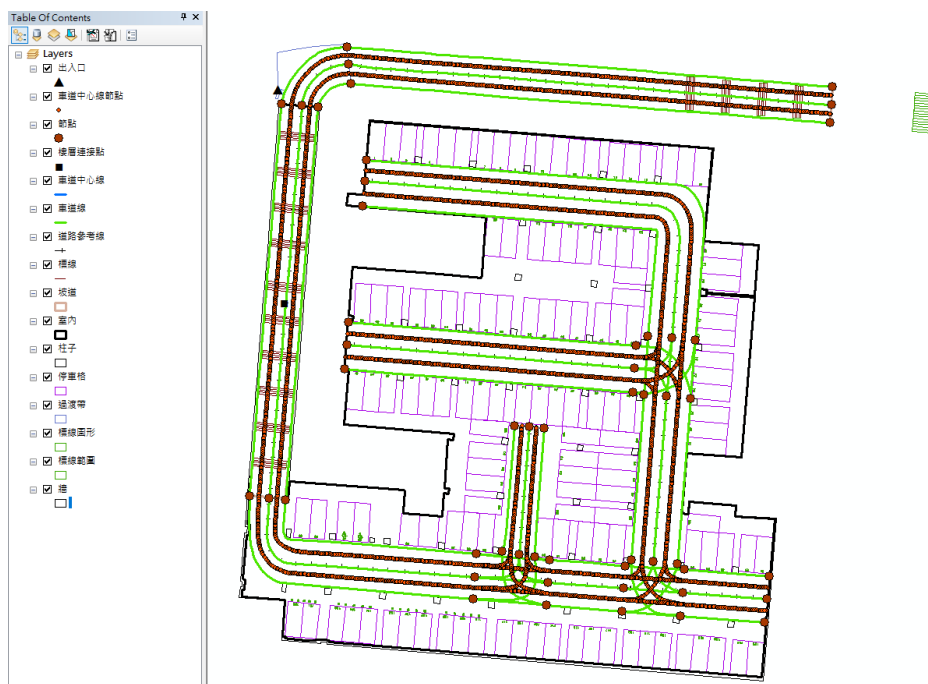


圖8、成功大學總圖書館地下停車場向量圖層成果

表 4、成功大學總圖書館地下停車場點雲密度計算成果統計

總格數	合格格數 (大於 10,000 pts/m <sup>2</sup> )	不合格格數 (大於 10,000 pts/m <sup>2</sup> )
5,528	5,283	245
每一網格面積為 1 公尺×1 公尺		
$\frac{\text{合格格數}}{\text{總格數}} = \frac{5283}{5528} = 0.9557 = 95.57\%$		

#### ■ 電機工程學系系館地下停車場

電機工程學系系館地下停車場分為 B1 及 B2 地下兩層，圖 9 所示為控制點設置位置各 4 點及 25 點，檢核控制點精度符合指引需求。圖 10 及表 5 所示為光達點雲建置成果及點雲密度檢核結果，測區內合格率(點雲密度>10,000 pts/m<sup>2</sup>)為 98.86%，符合測區內不合格網格數目比例應低於 5%。點雲相對平面及高程精度為 1.2 公分及 1.0 公分，符合較差估計值應小於 10 公分。圖 11 所示為向量圖層成果。

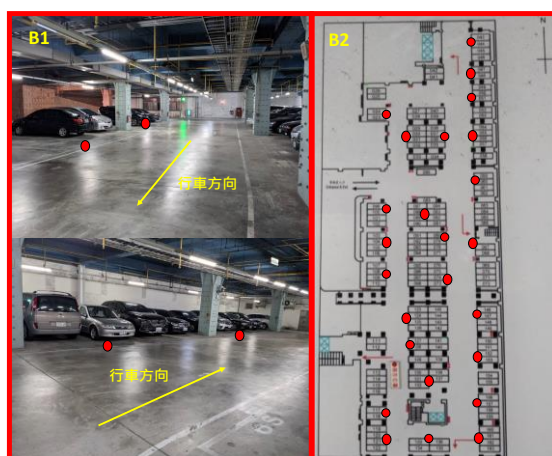


圖 9、電機工程學系系館地下停車場控制點分布

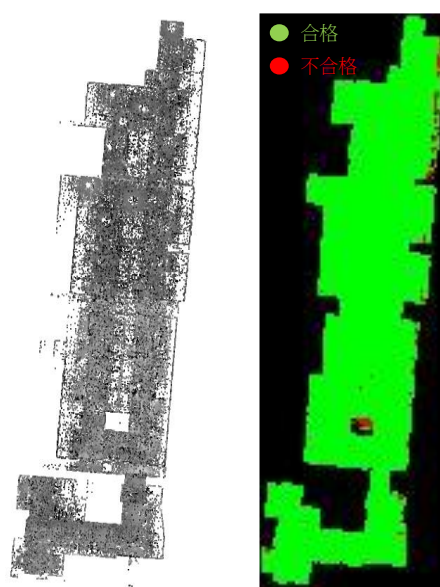


圖 10、電機工程學系系館地下停車場(左)點雲建置；(右)點雲密度計算

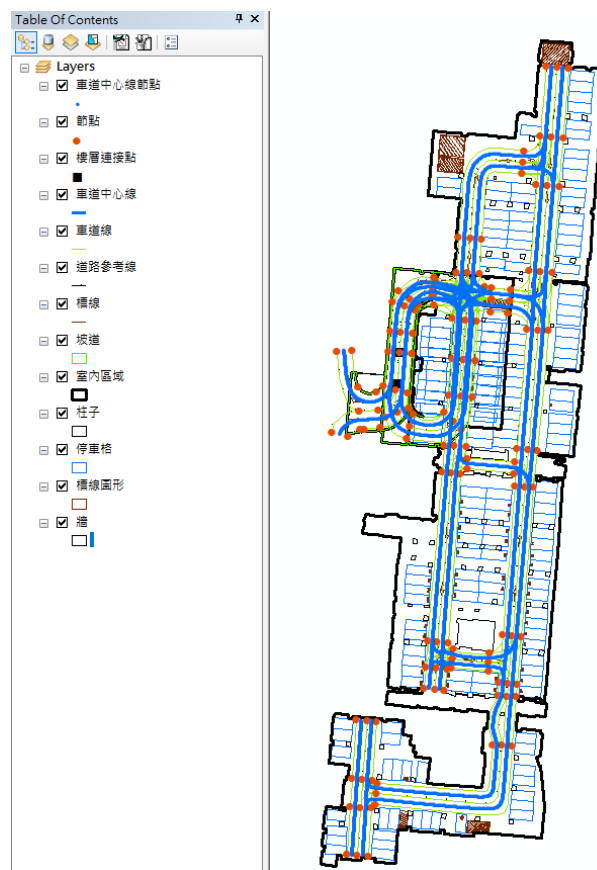


圖11、電機工程學系系館地下停車場向量圖層成果

表 5、電機工程學系系館地下停車場點雲密度計算成果統計

總格數	合格格數 (大於 10,000 pts/m <sup>2</sup> )	不合格格數 (大於 10,000 pts/m <sup>2</sup> )
7,451	7,366	85
每一網格面積為 1 公尺×1 公尺		
$\frac{\text{合格格數}}{\text{總格數}} = \frac{7366}{7451} = 0.9886 = 98.86\%$		

#### ■ 科技部資安暨智慧科技研發大樓停車場

科技部資安暨智慧科技研發大樓位於臺南市歸仁區(臺灣智駕測試實驗室旁)，點雲成果及向量圖層(包含室內區域、道路、車道、過渡帶、坡道、出入口、標線、禁止行駛區等圖層)展示如圖 12 及圖 13 所示，成果檢核亦符合指引之需求。此區域之成果可與臺南沙崙自駕車試驗場域內場及外部道路進行連接，包含臺灣智駕測試實驗室、臺南市歸仁區室外道路(包含開闊區、半開闊區、衛星訊號遮蔽區)、科技部資安暨智慧科技研發大樓停車場室內道路等，建立多功能性、各式場景之自駕車測試環境。

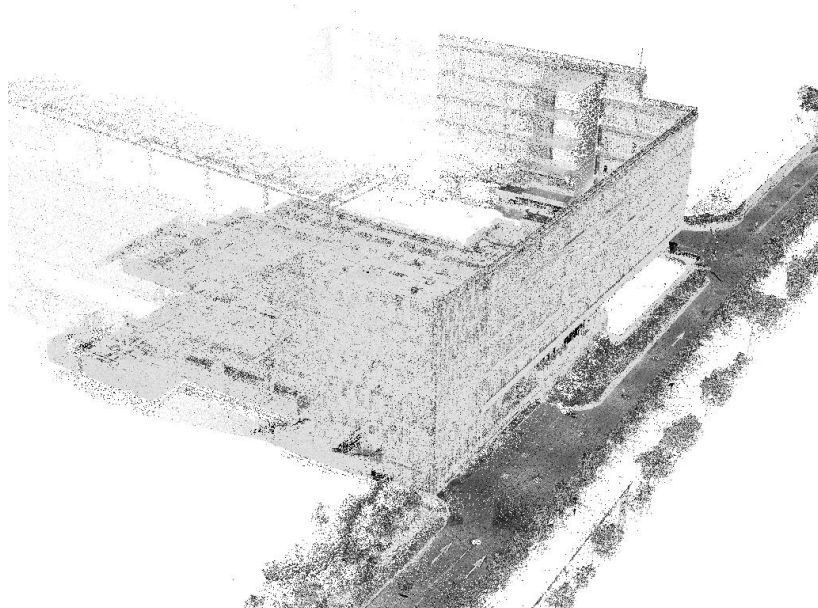


圖11、科技部資安暨智慧科技研發大樓地下停車場點雲建置

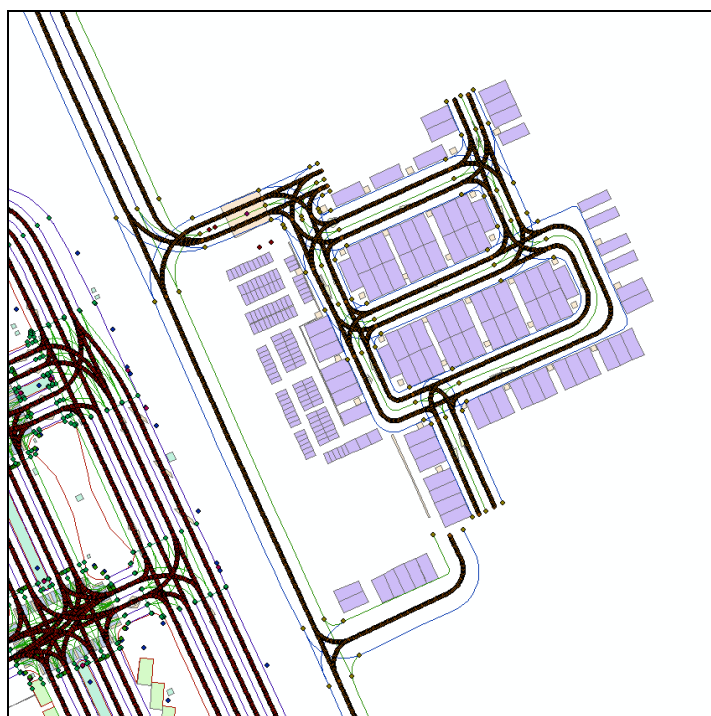


圖12、科技部資安暨智慧科技研發大樓地下停車場向量圖層成果

針對規劃之室內場域完成控制測量、點雲資料處理、向量圖層繪製等，其成果經檢核皆符合指引及標準需求。然而圖層樓層連接點、過渡帶、出入口，參考國內外相關文獻尚未有明確定義向量數化位置，本案與廠商溝通及確認後自行定義上述相關圖層數化位置，相關說明如下。未來持續蒐集相關文獻，若國內外針對圖層數化方式提出明確定義時，本案亦同步進行修正。

1. 樓層連接點：數化整個坡道中心位置；樓層欄位填寫較低之樓層，如 1F 至 B1 填寫 B1、1F 至 2F 填寫 1F。
2. 過渡帶：參考 Fritsche 等人(2017)文獻，其定義之過渡帶如圖 13 所示。考慮國內

實際情況，過渡帶範圍包含柵欄及坡道等，因此分為 2 種情形：(1)先經過柵欄，再經過坡道：柵欄至坡道中間的部分為過渡帶；(2)先經過坡道，再經過柵欄：室外路面邊緣至坡道中間的部分為過渡帶。

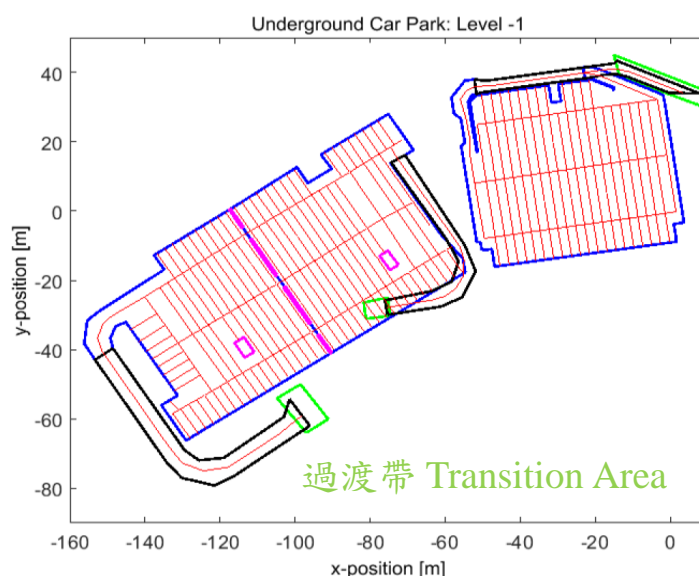


圖13、過渡帶定義(Fritsche, 2017)

3. 出入口：若有柵欄，數化柵欄中間柱子部分，如圖 14 所示。

#### 出入口數化位置

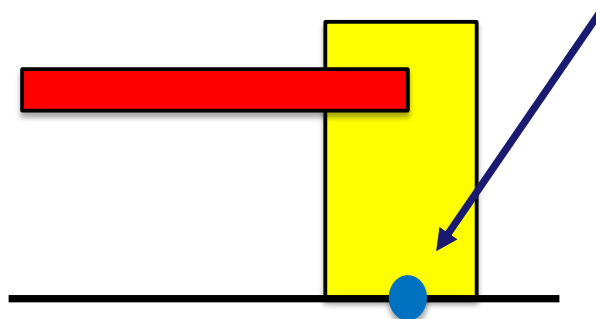


圖14、出入口數化位置示意圖

## 四、結論與建議

隨著智慧型運輸系統(Intelligent Transport System, ITS)的發展，自動駕駛汽車成為未來全新的交通方式，高精地圖在自駕車運行具有不可或缺之地位。近年來國內產官學界皆致力於自駕車與高精地圖技術的發展，有鑑於全球定位導航系統以建置完備，室外定位技術亦相對成熟。除了傳統的空間資訊應用外，隨著適地性服務相應而生，空間資訊業者目標將從戶外的廣大天地轉進至建築物內，身入其境的室內圖資可對消費者產生視覺性及情緒性的影響，發掘出更大商機。本案透過 TAICS 發布相關高精地圖指引與標準，包括「高精地圖製圖作業指引 v2」、「高精地圖圖資內容及格式標準 v1.1」，針對當前高精地圖的產製程序與經驗延伸至室內地圖的建置應用之可行性。

本案於實際室內停車場場域進行室內地圖測繪試辦，試辦場域為成功大學總圖書館地下停車場、電機工程學系系館地下停車場、科技部資安暨智慧科技研發大樓停車場，初步成果顯示其精度符合高精地圖指引及標準需求，並藉由實際室內製圖試辦調整室內測圖的程序，以及相關圖層如樓層連接點、過渡帶、出入口等數化位置定義，相關經驗可作為未來室內高精地圖相關指引與標準的建置，亦可提供室內外無縫自駕車用地圖給予自駕車業者使用，提升高精地圖及自駕車後續增值應用可能性。

## 參考文獻

1. Fritsche, C., Karlsson, R., Noren, O., and Gustafsson, F. (2017). Map-aided multi-level indoor vehicle positioning. In 2017 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), pp.1-8, IEEE.
2. Gao, R., Luo, G., and Ye, F. (2016). VeMap: Indoor road map construction via smartphone-based vehicle tracking. In 2016 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), pp.1-6, IEEE.
3. Groh, B.H., Friedl, M., Linarth, A.G., and Angelopoulou, E. (2014). Advanced real-time indoor parking localization based on semi-static objects. In 17th International Conference on Information Fusion (FUSION), pp.1-7, IEEE.
4. Han, S.J., and Choi, J. (2015). Parking Space Recognition for Autonomous Valet Parking Using Height and Salient-Line Probability Maps. *Etri Journal*, 37(6), pp.1220-1230.
5. Huang, Y., Zhao, J., He, X., Zhang, S., and Feng, T. (2018). Vision-based Semantic Mapping and Localization for Autonomous Indoor Parking. In 2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), pp.636-641, IEEE.
6. Jia, Y., Jin, Z., Zhang, H., Li, Y., Wang, X., and Shen, L. (2019). Indoor navigation for a complex parking building based on computer vision. In 2019 5th International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS), pp.183-190, IEEE.
7. Kummerle, R., Hahnel, D., Dolgov, D., Thrun, S., and Burgard, W. (2009). Autonomous driving in a multi-level parking structure. In 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.3395-3400, IEEE.
8. Li, B., Yang, L., Xiao, J., Valde, R., Wrenn, M., and Leflar, J. (2018). Collaborative mapping and autonomous parking for multi-story parking garage. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 19(5), pp.1629-1639.
9. Li, K. J., Zlatanova, S., Torres-Sospedra, J., Pérez-Navarro, A., Laoudias, C., & Moreira, A. (2019, September). Survey on indoor map standards and formats. In 2019 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN) (pp. 1-8). IEEE.

10. Meng, J., Ren, M., Wang, P., Zhang, J., and Mou, Y. (2020). Improving positioning accuracy via map matching algorithm for visual–inertial odometer. *Sensors*, 20(2), pp.552.
11. Nejad, H.T.N., Do, Q.H., Sakai, R., Han, L., and Mita, S. (2012). Real time localization, path planning and motion control for autonomous parking in cluttered environment with narrow passages. In 2012 15th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, pp.1357-1364, IEEE.
12. Qin, T., Chen, T., Chen, Y., and Su, Q. (2020). Avp-slam: Semantic visual mapping and localization for autonomous vehicles in the parking lot. In 2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp.5939-5945, IEEE.
13. Samyeul, N.O.H. (2016). U.S. Patent Application No. 14/814,889.
14. Schwesinger, U., Bürki, M., Timpner, J., Rottmann, S., Wolf, L., Paz, L.M., and Heng, L. (2016). Automated valet parking and charging for e-mobility. In 2016 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), pp.157-164, IEEE.
15. Shin, B., Lee, J.H., Yu, C., Kim, C., and Lee, T. (2021). Underground Parking Lot Navigation System Using Long-Term Evolution Signal. *Sensors*, 21(5), pp.1725.
16. Thomson, C. (2013). Mobile laser scanning for indoor modelling.
17. Wagner, J., Isert, C., Purschwitz, A., and Kistner, A. (2010). Improved vehicle positioning for indoor navigation in parking garages through commercially available maps. In 2010 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, pp.1-8, IEEE.
18. Wilk, P., and Karciarz, J. (2014). Optimization of map matching algorithms for indoor navigation in shopping malls. In 2014 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), pp.661-669, IEEE.
19. Zlatanova, S., Sithole, G., Nakagawa, M., & Zhu, Q. (2013). Problems in indoor mapping and modelling. Acquisition and Modelling of Indoor and Enclosed Environments 2013, Cape Town, South Africa, 11-13 December 2013, ISPRS Archives Volume XL-4/W4, 2013.