

107 年度移動載台測量製圖技術發展工作案

The Technological Development of Mobile Mapping System

主管單位：內政部地政司

江凱偉

曾義星

呂學展

Chiang, Kai-Wei

Tseng, Yi-Hsing

Lu, Hsueh-Chan

國立成功大學測量及空間資訊學系

摘要

本計畫為移動載台測量製圖技術發展的第三年度。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。

關鍵詞：移動測繪、地籍測量、室內製圖、室內導航、災防科技、高精地圖

Abstract

Generally speaking, survey and geomatics technologies have been revolutionized since the early nineties in the last century. The innovative technologies have ability to represent the real-world and its benefits rely on the timeliness and accuracy of spatial and attribute data. Advances in satellite and inertial technology made it possible to think about mobile mapping in a new and faster way than traditional survey. Objects of interest can be directly measured and mapped from images that have been geo-referenced using positioning and orientation sensors. Through the use of mobile mapping technology to collect the spatial data, it can help the plan of national land development more quickly and effectively. Meanwhile, it also promotes the growth of geomatic and spatial information industries. Therefore, this project will apply the mobile mapping technology for pilot survey of cadastre. 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. According to the development of mobile devices, the mobile mapping and navigation technologies can make a teamwork with vehicle-based systems for the application of disaster prevention and investigation resources, especially in indoor environments. Furthermore, mobile device promotes the Location Based Service (LBS) with more business opportunities. The multi-platform mobile mapping technologies, indoor map, network and mobile device 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. It promotes the development of geomatic and spatial industries.

This project aims at developing several core technologies concerning multi-platform mobile mapping systems including indoor portable LiDAR mapping systems to achieve the meter accuracy as well as implementing Augmented Reality (AR)-based LBS in Southern Branch of the National Palace Museum. For cadastre survey, new Portable Panoramic Image Mapping System (PPIMS) has been implemented and achieved the requirement for practical cadastre survey. Moreover, this project also involves the High-Definition map (HD map) and real-time dynamic map issue to collect a great amount of references for the future applications. This project still concentrates on assisting in promoting the cooperation in international survey affairs. In addition, this project enhances Taiwan's capability of research and development for advanced mobile mapping technologies and to be comparable to regional and international geomatics and navigation communities. The progress of this project is beneficial to the development of national spatial planning program as well provide proper and professional training to

young scholars and engineers thus enhance the competitiveness and academic achievement around the world.

Keywords : mobile mapping, cadastre survey, indoor mapping, indoor navigation, disaster prevention, HD map.

一、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礎公共建設，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，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。

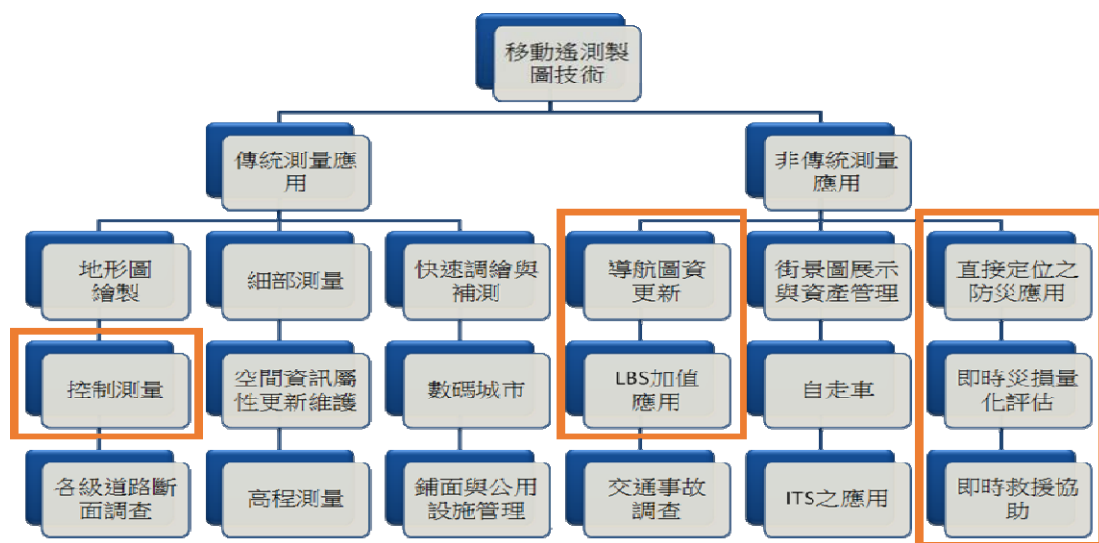


圖1、移動遙測製圖系統可拓展之領域(江凱偉 等人，2011)

二、工作項目

本計畫的第一個工作項目為發展移動裝置通用之室內外定位技術，承襲團隊過去在慣性導航與室外車載移動製圖技術的經驗，載台從戶外的汽車與高酬載無人機，演進到室內基於電動農機具推車的系統。載台式導航定位演算法與攝影測量技術、作業模式也一併針對室內應用逐步改良，以適用在目前的製圖作業系統與室內作業環境。而為了彌補在狹窄或無電梯之空間，載具無法進入完成製圖作業的缺陷，本團隊今年度也持續研發室內製圖系統，並且持續改進室內定位技術。第二項工作項目則是發展地籍測量移動製圖技術，針對特殊應用場景發展專用之移動測繪技術，進一步將場景限縮在地籍測量，發展適用的軟硬體作業系統與作業模式。第三項是探討高精地圖及即時動態地圖規格、作業方法及精度評估，並評估優化各項設備之可能。最後一項則是協助國際事務事項與本計畫相關成果效益，配合新南向政策，整合國內空間資訊產官學界既有技術與產業鏈，積極推動推動國際測量機關業務交流及產學研發展合作，落實自主空間資訊科技輸出，提昇相關產業與國家整體競爭力。

2.1 發展移動裝置通用之室內外定位技術

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。本年度將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。可攜式光達製圖系統架構如下圖2，如搭配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。

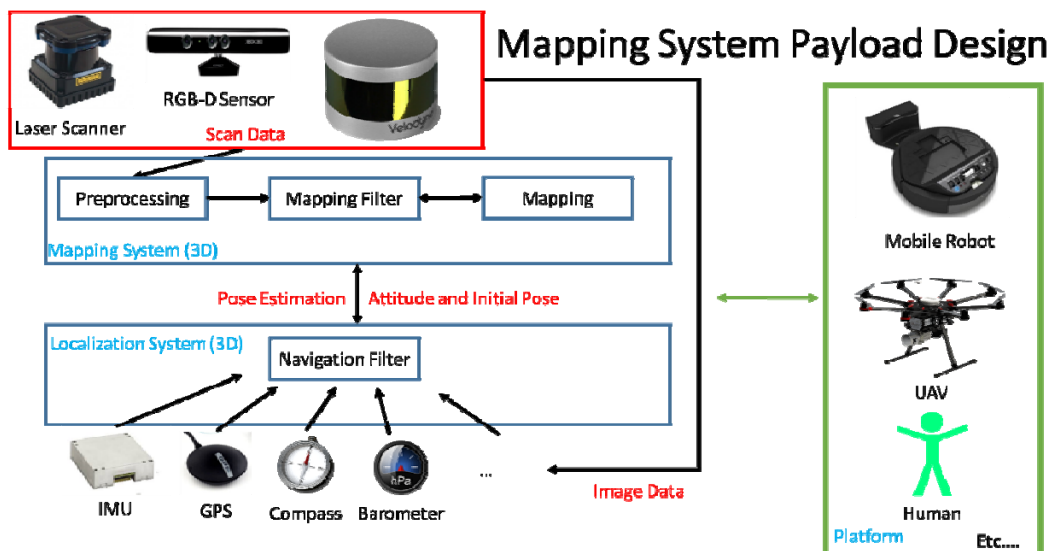


圖2、可攜式光達製圖系統架構

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。

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。

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3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。

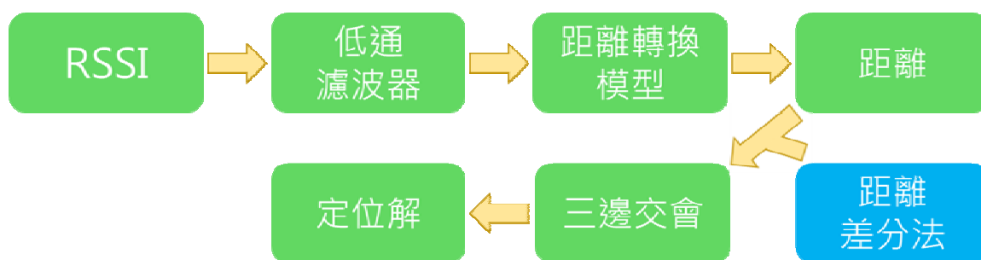


圖3、低功耗藍牙差分改正程序

2.2 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)，如圖4所示，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。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5所示)，因此可應用SPI於製圖。



圖4、可攜式環景影像測繪系統

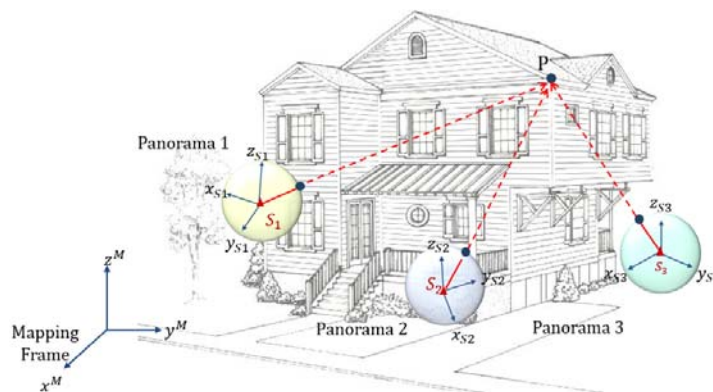


圖5、透過SPI的交會關係解算物空間點位坐標

本計畫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，亦分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，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。

2.3 高精度地圖、即時動態地圖文獻回顧及標準建立作業規劃

高精度地圖為提供自動駕駛汽車的新一代輔助資訊，相較於現今導航基於人類視覺觀點所使用的二維電子地圖，自駕車則需在行駛過程中透過地圖反饋資訊即時作出決定，最終目的乃是安全地讓乘客送達目的地。根據先進駕駛車輛安全研究指出，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，目的是告訴使用者車輛所在的道路位置，但若要提升至車輛自動駕駛層級，勢必要將精度提升至1公尺內，方能提供確切的車道位置，使車輛行駛方向正確且不會和其他車輛發生擦撞，故提供資訊的圖資精度更要提升到25-30公分等級才能確實滿足自動駕駛需求，讓導航系統得以準確的引導車子移動；且所有資訊都要在三維空間中，方能處理如高架橋、地下道等非平面的情況，因此，高精度地圖皆需等比例的表现出人眼在駕駛當下所能見到的所有外界資訊，輔助自駕車順利進行導航。

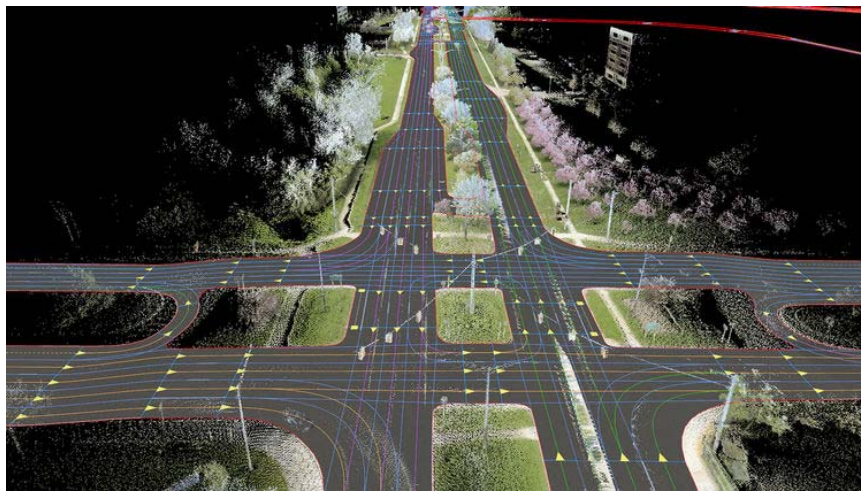


圖6、高精度地圖(Source: Harsha Vardhan, 2017)

高精度地圖為提供自動駕駛汽車的新一代輔助資訊，相較於現今導航基於人類視覺觀點所使用的二維電子地圖，自駕車則需在行駛過程中透過地圖反饋資訊即時作出決定，最終目的乃是安全地讓乘客送達目的地。根據先進駕駛車輛安全研究指出，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，目的是告訴使用者車輛所在的道路位置，但若要提升至車輛自動駕駛層級，勢必要將精度提升至1公尺內，方能提供確切的車道位置，使車輛行駛方向正確且不會和其他車輛發生擦撞，故提供資訊的圖資精度更要提升到25-30公分等級才能確實滿足自動駕駛需求，讓導航系統得以準確的引導車子移動；且所有資訊都要在三維空間中，方能處理如高架橋、地下道等非平面的情況，因此，高精度地圖皆需等比例的表现出人眼在駕駛當下所能見到的所有外界資訊，輔助自駕車順利進行導航。

此種全新型態的地圖在維度、內容、精度等內涵均與傳統二維電子地圖有所不同，原有的製圖規範已不能滿足其製作、維護及檢核需求。內政部作為我國圖資管理與主管機關，本計畫結合內政部歷年製圖技術經驗，評估全新的高精度地圖規範、作業方法及精度要求，建立我國高精度地圖統一標準，進而提昇未來製圖技術標準

化及自動化產製程度。本計畫作為高精度地圖標準建置之先期評估研究，將分為兩大部分執行：文獻回顧與整理及作業及精度規範先期評估。

2.4 協助推動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2017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2017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，並由駐印尼台北經濟貿易代表處與駐台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。

因此，依據內政部的合作需求與印尼的技術交流，本年度以印尼為推動國際測量事務的據點，而本團隊將派遣人員至印尼駐點進行訪談與交流，內容規劃以本案過去幾年的相關技術與應用為主，包含移動製圖技術、空間資訊測繪應用、室內外定位技術、多平台測試及率定流程等，落實國內空間資訊測繪技術的輸出，並與印尼相關單位與產業交流討論，提升臺灣新南向政策的發展策略以及與印尼國際合作的關鍵合作議題。

三、研究成果

3.1 發展移動裝置通用之室內外定位技術

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7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。如圖8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。

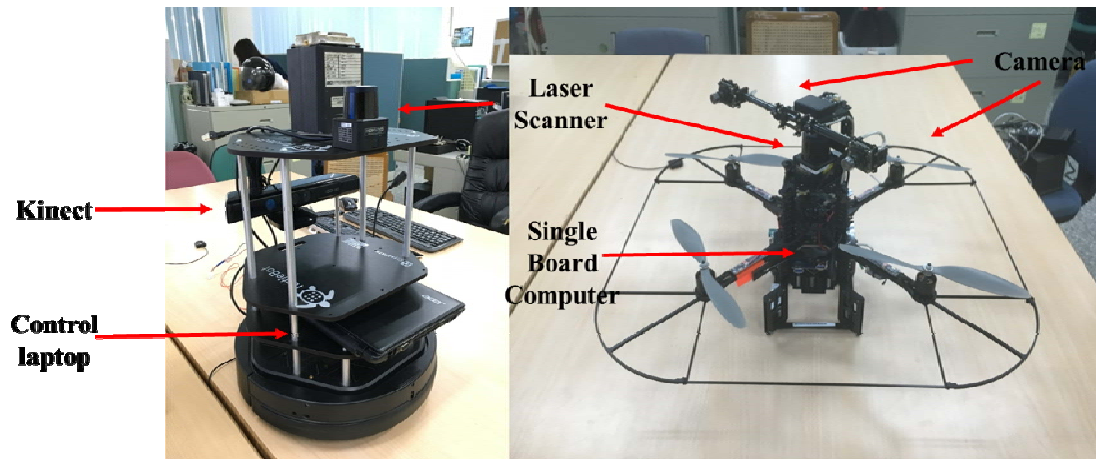


圖 7、室內移動製圖系統原型，室內機器人與室內無人機

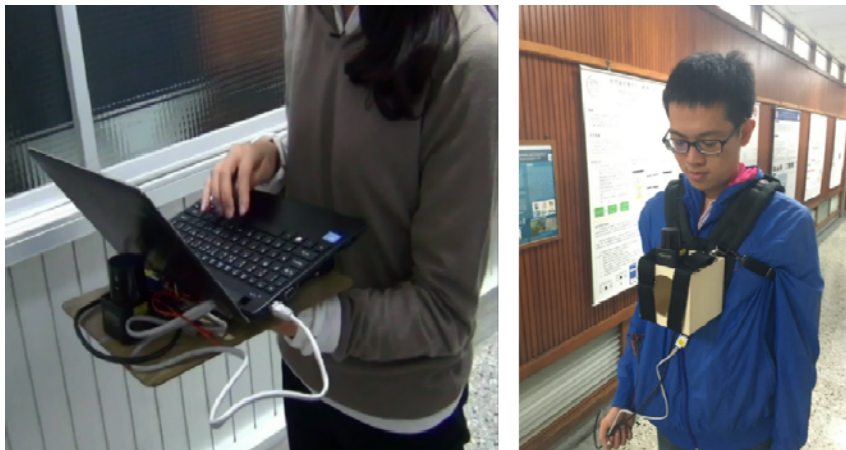
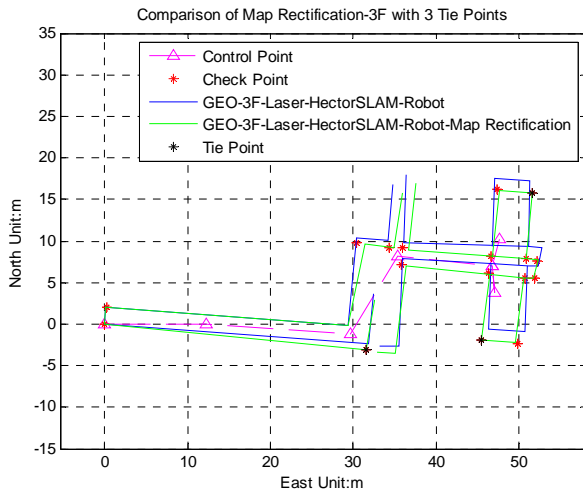
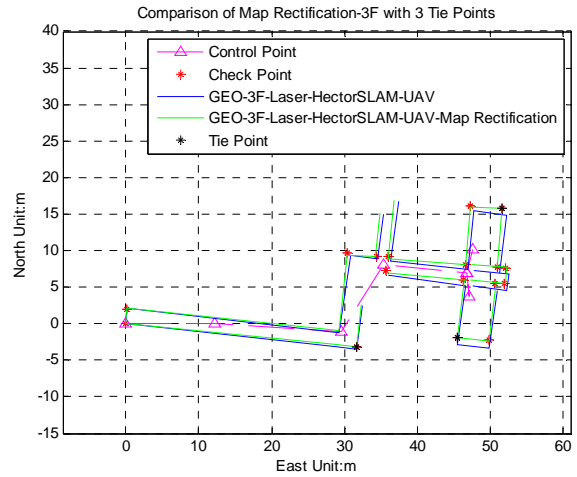


圖 8、手持式(左)與胸背式(右)低成本光達移動製圖酬載

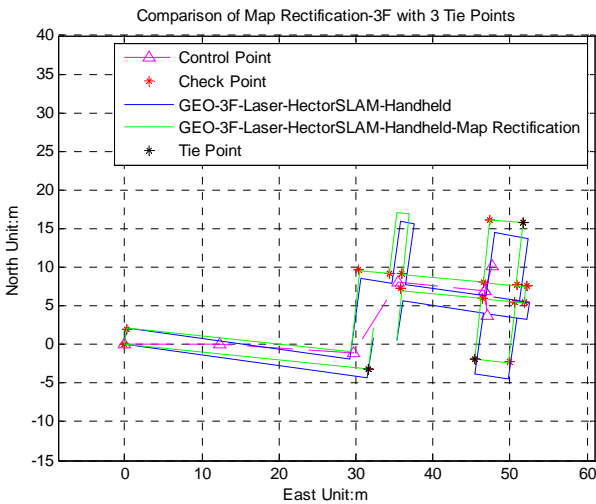
透過四種不同載台的室內移動製圖系統，產出四張平面圖進行後續分析。圖9依序為機器人、無人機平台、手持式與胸背式成果。本次實驗行走距離大約都在200公尺左右。圖中藍色線段為原始平面地圖，而綠色線段則是透過地圖修正後的平面圖。黑色星號為地圖修正所採用的連結點，每個成果皆採用相同的連結點。而紅色星號則是最後進行分析與評估的參考檢核點。從圖9中我們可以看出，各套系統在沒有經過地圖修正下，成果皆會有尺度變形與方位偏移的現象。成果在左側，也就是出發地可得到較好得控制，但隨著誤差累積的影響，後半部的誤差隨之變大。透過地圖修正演算法的輔助，選取均勻且至少三個的連結點，讓整體區域可以得到較好的誤差控制，進而產製整體精度一致的平面圖以供後續使用。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。



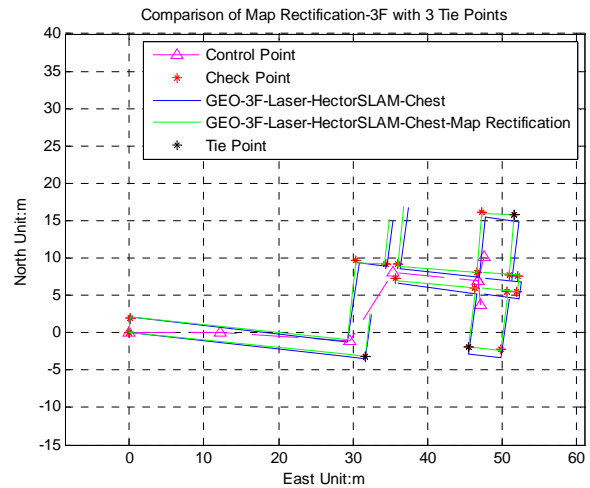
(a)



(b)



(c)



(d)

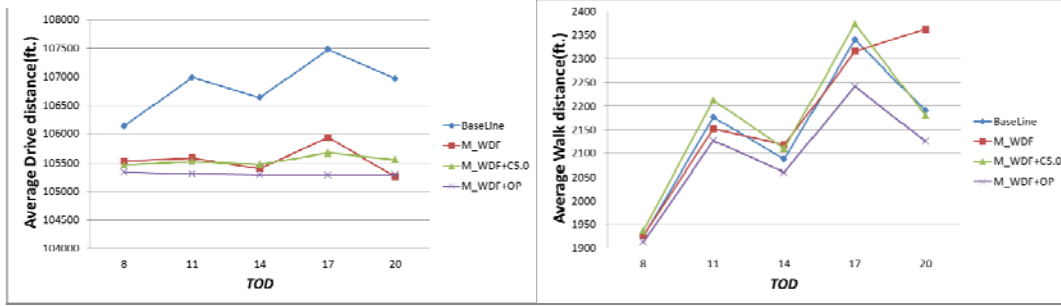
圖 9、室內平面圖產製成果:機器人(a)、無人機平台(b)、手持式(c)與胸背式(d)

災害人流導引方面，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。以圖10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。

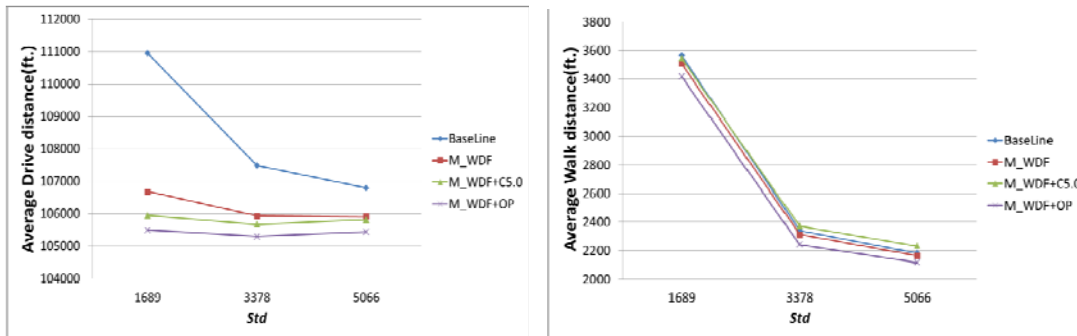


圖 10、各停車街區分布範圍

不同查詢時段之影響，如圖11(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)的剩餘車位數是小於查詢時段的，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11(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。不同駕駛目的地集中度之影響，如圖12(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12(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。



(a) (b)
圖 11、在不同查詢 TOD 下的 (a)平均行駛距離 (b)平均行走距離



(a) (b)
圖 12、在不同 Std 下的 (a)平均行駛距離 (b)平均行走距離

類神經技術方面，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 224×224 的彩色圖像並且推估相機相對於場景的姿態與位置。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13所示：

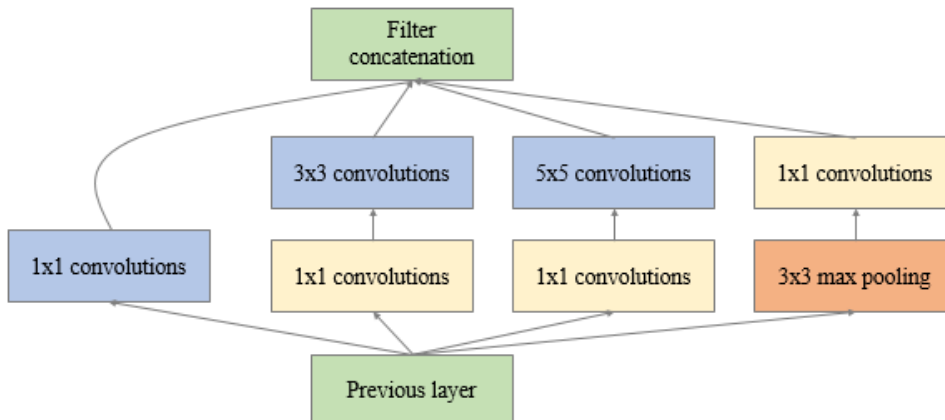


圖 13、Inception Modules 架構圖

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，另一處為適地性服務試辦區域之故宮南院展區。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。

藍芽定位方面，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14所示，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芽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，藉以達到提升藍芽交會定位精度之目的。

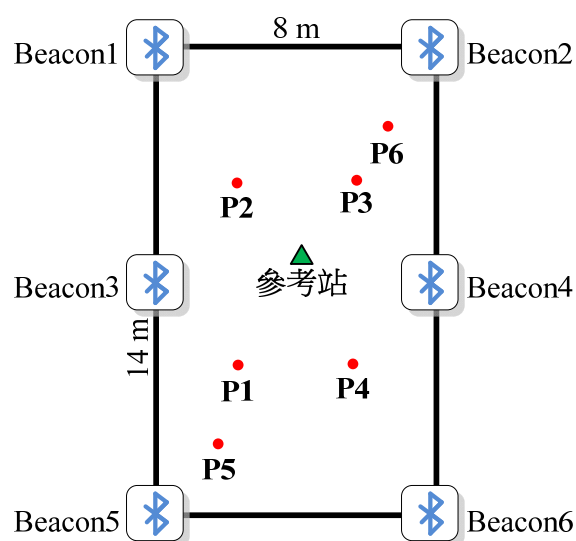


圖 14、低功耗藍芽差分改正實驗規劃

由表 1 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。

表 1、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

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，如圖15。



圖 15、App 介面圖

3.2 發展地籍測量移動製圖技術

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16(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16(b)所示



(a)



(b)

圖 16、(a)新PPIMS之平台硬體設計 (b)新PPIMS 整體外觀

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17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17、測試區域位置圖

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2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2、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	Δ_E	Δ_N
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

3.3 探討高精地圖及即時動態地圖規格作業方法及精度評估

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18為先進駕駛車輛安全研究展示的車輛導航精度需求。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採用如圖19所示的四層模型。

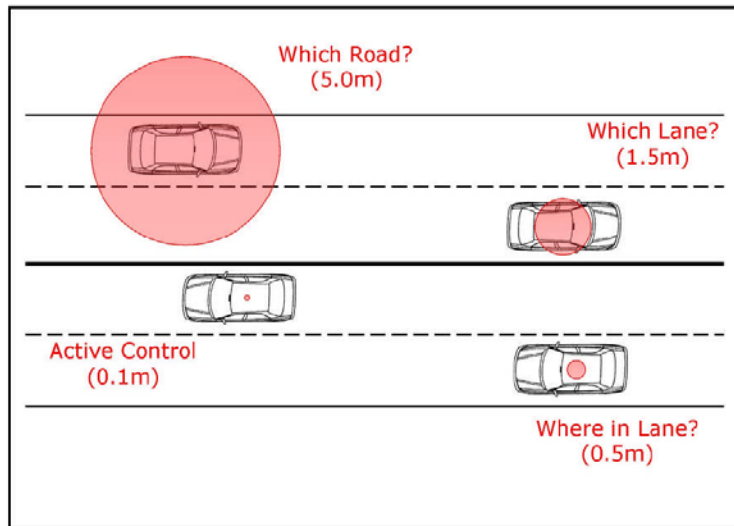


圖 18、自動駕駛導航精度需求 (Stephenson S., 2011)

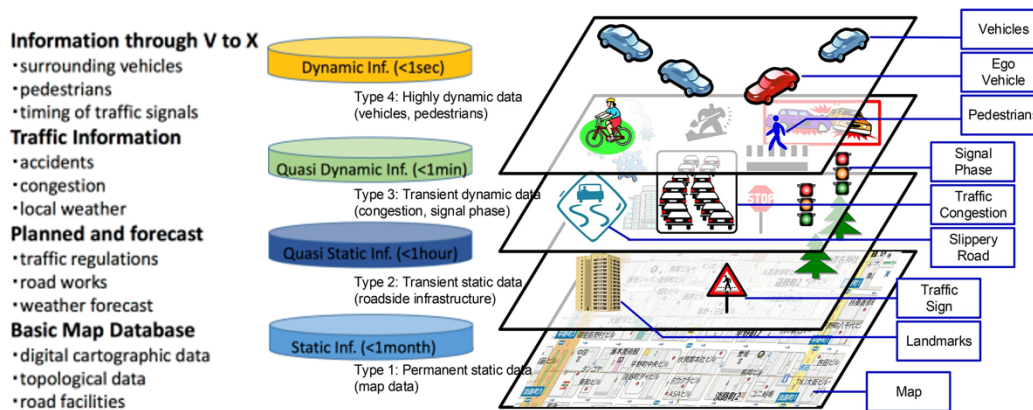


圖 19、LDM 四層模型

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，本計畫建議之製圖修正流程如圖 20 示。



圖 20、高精地圖製圖作業之車載行動測繪系統建議流程

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 21 所示。

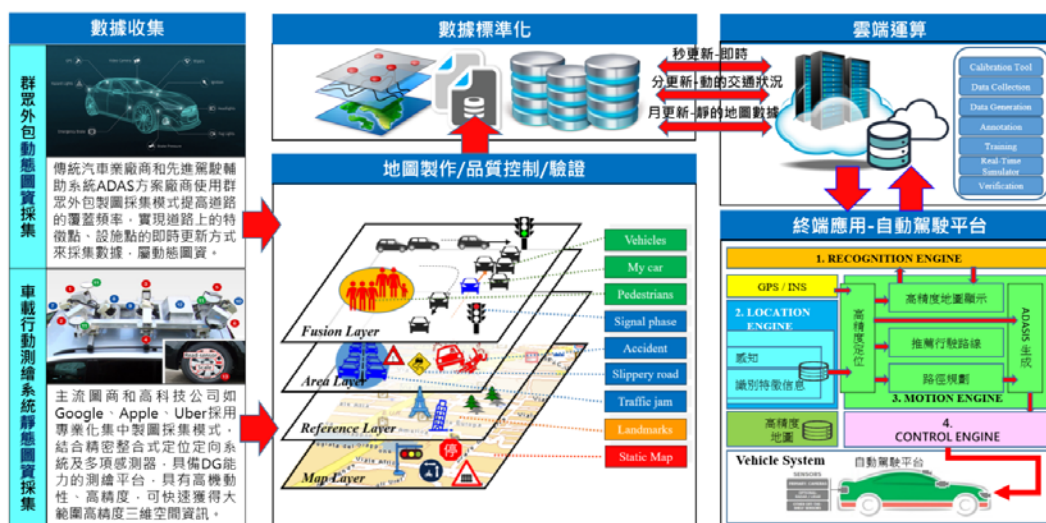


圖 21、高精圖資管理及供應平台系統架構

「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，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，圖22所示為啟貴賓合影。



圖 22、「台灣自駕車高精地圖產業標準化」貴賓合影

3.4 協助推動國際測量事務交流合作

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3，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。

表3、「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

四、結論與建議

「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。

建議部分則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」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。

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」之工作項目，本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。本計畫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；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。另，將利用人工智慧自動辨識外界環境之自駕車可用特徵萃取技術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，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，後續計畫可依本計畫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資產製之目標。

再者，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。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。

參考文獻

1. 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。
2. Harsha Vardhan. (2017) HD Maps: New age maps powering autonomous vehicles. Geospaial world
3. 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.