

智慧車輛導航系統精度要求 及驗證流程指引

Accuracy requirements and verification
guidelines for intelligent vehicle
navigation systems



智慧車輛導航系統精度要求及驗證流程指引

Accuracy requirements and verification guidelines for intelligent vehicle navigation systems

出版日期: 2023/11/16

終審日期: 2023/09/27

誌謝

本指引由台灣資通產業標準協會—TC8 車聯網與自動駕駛技術工作委員會所制定。

TC8 主席：台灣車聯網產業協會 許明仁 榮譽理事長

TC8 副主席：財團法人資訊工業策進會 蒙以亨 院長

TC8 高精地圖標準工作組組長：國立成功大學 測量及空間資訊學系 江凱偉 教授

TC8 秘書：財團法人資訊工業策進會 張瑋捷

技術編輯：國立成功大學 測量及空間資訊學系 江凱偉 教授、曾子榜 助理教授、

李佩玲 博士、蔡孟倫 博士、林冠穎 博士候選人、黃芸玟 博士生、

林敬翔 專案經理

國立成功大學 航空太空工程學系 詹劭勳 教授

此指引制定之協會會員參與名單為(以中文名稱順序排列)：

台灣車聯網產業協會、國家中山科學研究院、財團法人資訊工業策進會、財團法人工業技術研究院、財團法人車輛研究測試中心、國立成功大學、啟碁科技股份有限公司、緯創資通股份有限公司、鴻海精密工業股份有限公司

本計畫專案參與廠商(法人)名單為(以中文名稱順序排列)：

中華民國航空測量及遙感探測學會、中興測量有限公司、互宇向量股份有限公司、台灣世曦工程顧問股份有限公司、台灣國際航電股份有限公司、台灣智慧駕駛股份有限公司、向成電子有限公司、安富科技股份有限公司、自強工程顧問有限公司、國家實驗研究院、理立系統股份有限公司、勤崴國際科技股份有限公司、新馳科技股份有限公司、經緯航太科技股份有限公司、詮華國土測繪有限公司、達發科技股份有限公司、鼎漢國際工程顧問股份有限公司、寶瀛科技有限公司

本指引由內政部支持研究制定

目錄

誌謝	1
目錄	2
前言	3
引言	4
1. 適用範圍	6
2. 引用標準	7
3. 用語及定義	8
4. 精度驗證指標	11
5. 精度驗證架構	14
5.1 導航系統感測器規格	14
5.2 參考系統感測器規格	16
6. 導航系統性能驗證作業程序	17
6.1 任務規劃	17
6.2 實地踏勘	18
6.3 系統初始對準	18
6.4 資料蒐集作業	18
6.5 資料後處理	19
6.6 軌跡誤差比較	19
6.7 精度檢核	19
參考資料	20
版本修改紀錄	21

前言

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

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

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

引言

移動力(Mobility)是未來幾年社會面臨的最具挑戰性的話題之一。因為運輸方式的轉變及其在公共問題上的改進，不僅將帶來技術挑戰，也將帶來社會變革。目前行政院「經濟體質強化措施」中已將智慧汽車、智慧車載系統、車聯網等列為提升汽車產業競爭優勢的重要推動項目，協助我國汽車及電子等相關業者掌握此一智慧數位經濟商機。

車聯網具有技術整合、資訊共用、產業融合的特點，是車與車、車與人、車與道路基礎設施，以及車與網路之間，進行無線通訊和資訊交換的系統網路；並具備能夠實現智慧交通管理、智慧動態資訊服務和車輛智慧化控制的一體化網路。車聯網整合導航技術、感測器技術、通信技術、互聯網技術等多種先進技術的運用，並由此衍生出許多增值服務。其中，導航技術是車聯網的關鍵技術之一，是實現車輛安全通行的重要保障。

智慧車輛是指車輛依靠自身配置的多樣感測器，能夠自主感知、獲取、並進一步分析車輛內外部資訊，為駕駛員提供輔助決策或甚至自主決策處理。智慧車輛可進一步從技術層面區分為智慧化和聯網化兩個面向。智慧化是指車輛依靠自身配置感測器，包含全球衛星定位系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)、慣性測量儀(Inertial Measurement Unit, IMU)、輪速計、相機、超音波雷達、毫米波雷達、光達等。並可視應用情境需求，再搭配符合智慧汽車運行安全規範的高精地圖。聯網化是指車輛採用如 5G 之類的移動通訊技術，實現車輛位置資訊、車速資訊、外部資訊等車輛資訊之間的融合與協作，並由導航電腦進行運算，進行控制車輛之決策進行以及增強車輛的智慧化程度和自動駕駛功能。為實現全自動駕駛之終極目標，國際汽車工程師學會(Society of Automotive Engineers International, SAE)提出一套相關分類方法，將自駕車系統分成六個層級(Level 0-5)，現行導入先進駕駛輔助系統(Advanced Driver Assistance Systems, ADAS)的市售車輛為第二級(Level 2)，而完全不需人為操控的全自動駕駛為第四級(Level 4)以上，以實現行車的最小安全風險。為實現上述自動駕駛技術，智慧車輛須具備感知、導航、規劃和控制功能，因此需要準確瞭解車輛的絕對位置，據此執行正確的駕駛決策和操作，其中導航系統專注解決在哪裡的問題。因為車輛需要在不確定的駕駛條件下（例如，在道路標記缺失或模糊的情況下）和惡劣的環境條件下（如

黑暗和積雪)中執行連續自主解動態定位，故智慧汽車系統需具有高精度與高環境適應力的強韌導航系統。

智慧車輛無論在郊區高速公路或市區和住宅街道，需要優於車道級的定位精度，以確保車輛知道其在指定的車道內。從平面精度來看，可區分橫向（側向）和縱向（前後）的誤差；就垂直誤差而言，車輛至少得知道位於多層道路之間的正確分層，但就電動車的應用而言，精準的定位有助於高效的耗能管理，故合理的垂直精度需求，也應接近於公分等級的定位精度。因此發展車道內等級的定位技術，可以給智慧車輛應用帶來極大的效益。本指引針對智慧車輛以及多元感測器的導航應用，參考國內外針對多元感測器導航系統的定位需求與驗證程序，進行定義多元感測器導航的定位精度指標以及精度驗證程序，在我國複雜的交通環境下，實現符合車輛導航應用的精度與安全性。

1. 適用範圍

本指引定義智慧車輛導航系統精度要求與驗證流程。智慧車輛所搭載之導航系統，其感測器包含但不限於 GNSS 衛星定位儀、慣性測量儀、輪速計、相機、超音波雷達、毫米波雷達、光達等。

本指引適用於具有自動駕駛第二級(Level 2)以上的智慧車輛所搭載之導航系統，其架構如圖 1 所示。本指引定義利用車上搭載的導航系統及參考系統感測器之規格要求，以及融合導航結果的精度驗證流程與測試場景定義。

本指引定義之導航系統精度驗證方式為利用車輛感測器之實車驗證資料，不包含以軟硬體模擬系統所取得之導航解進行精度驗證。

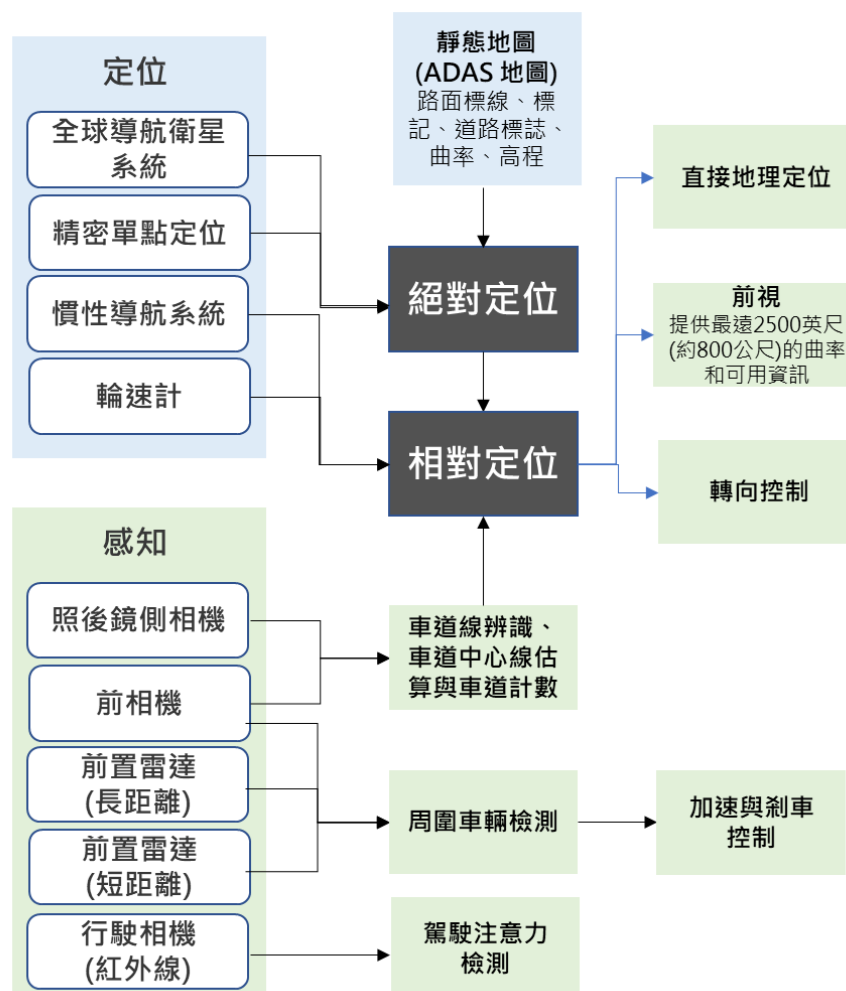


圖 1 自動駕駛第二級自駕輔助系統普遍使用之複合式定位架構(Reid et.al, 2019)

2. 引用標準

下列標準因本指引所引用，成為本指引之一部分。下列引用標準適用最新版(包括補充增修)。

- [1] EN 16803-1:2020 - Space - Use of GNSS-based positioning for road Intelligent Transport Systems (ITS) - Part 1: Definitions and system engineering procedures for the establishment and assessment of performances

3. 用語及定義

下列用語及定義適用於本指引。

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

指靜態之基本底圖數據，提供自動駕駛技術運作之可靠穩健的環境先驗資訊，輔助車載電腦進行駕駛決策，其圖資內容、圖層類別、特徵、屬性、詮釋資料均能完整被車輛導航系統所使用，且位置幾何必須滿足平面優於 20 公分，三維優於 30 公分的絕對精度條件。

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

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

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

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

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

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

3.5 差分定位(Differential GNSS, DGNSS)

指採用連續衛星觀測主站與移動站組成的觀測模式，藉由主站觀測資料計算虛擬距離觀測量或載波相位觀測量之改正值，執行誤差修正之定位技術。主站係指實體地面基準站，執行連續靜態衛星定位測量任務；而移動站，為相對於主站而持續移動之坐標待求點位。

3.6 即時動態定位(Real-Time Kinematic, RTK)

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

3.7 精密單點定位(Precise Point Positioning, PPP)

透過國際 GNSS 服務(international GNSS service, IGS)提供或自行計算的衛星精密星曆和時鐘差，使用者僅使用單一台的 GNSS 雙頻接收機的觀測數據，便可於任意位置實現即時或後處理的高精度定位成果。精密單點定位因僅有單部衛星定位儀的資料，無法以差分方式消除各種誤差，因此可以透過 IGS 分布全球的 GNSS 觀測站資料提供精密的衛星時鐘差資訊，藉此來改正定位成果。

3.8 光達(Light Detection and Ranging, LiDAR)

為光學遙感技術的一種，指透過脈衝雷射光及其反射訊號的時間間隔計算感測器與物體的精確間距，這樣的量測原理稱為飛時測距(Time of Flight, TOF)。進一步可再細分成 direct TOF(dTOF)和 indirect TOF(iTOF)。dTOF 即量測發射端與接受端的時間差，透過光速便可計算出距離。iTOF 則是得設定光線特定之頻率和振幅來發射，透過量測發射端與接受端之相位差來計算距離。獲取脈衝雷射光之實際距離後，加上其發射角度便可解得物點的相對二維或三維坐標，其產出成果一般稱為點雲(Point Cloud)。

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

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

3.10 導航精度(Accuracy)

基於 RNP(Required Navigation Performance)之規範而給定車輛導航精度之定義：在給定時間內，車輛估計或測量位置的準確性是指該估計(或測量)位置與真實位置、速度和/或時間的一致性程度。由於精度是性能的統計量度，導航系統精度的陳述是沒有意義的，除非它包括適用的位置不確定性的陳述。而完整之導航安全性能量化指標除了 accuracy (精度)，亦包含 coverage (涵蓋度)、availability (可用性)、continuity (連續性)與 integrity (完整度)，而本指引著重在位置精度驗證，因此不會使用到這些指標。

3.11 累積分布函數(Cumulative Distribution Function、CDF)

又稱分布函數，是機率密度函數的積分，能完整描述一個實隨機變數 X 的機率分布的機率密度函數下的面積。累積分布函數也用於指定多元隨機變數的分布。

3.12 輪速計(Odometer)

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

3.13 初始對準(Initial Alignment)

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

3.14 保護等級(Protection Level)

定義為滿足完整性風險位置誤差的統計界限。由於在不知道實際位置的情況下無法知道整合導航系統的定位誤差，因此將用此界定最大可能的定位誤差。

4. 精度驗證指標

本節定義智慧車輛導航系統精度驗證指標。精度指標用於評估多元感測器的最終精度表現，為歐洲標準化委員會（CEN）和歐洲電工標準化委員會（CENELEC）太空聯合技術委員會（CEN/CLC JTC 5）道路應用的導航和定位接收器工作組（WG 1）制定一項標準化框架，用於評估全球衛星導航系統（GNSS）的定位系統之精度。該框架以 EN 16803 使用 GNSS 系統為道路智慧運輸系統（ITS）定位系列標準及工作組目前主導的項目為基礎。本節所設定的精度標準根據前述 EN16803-1:2020 文件中規定的精度標準進行延伸，主要規定了水平與垂直位置的精度指標與保護等級(Protection Level)，用來探討可靠度的最大容許的誤差。

精度指標主要邏輯概念是利用整體位置誤差的累積分布函數（Cumulative Distribution Function、CDF）來區分不同應用場景的定位精度，包含車道內(Where in Lane)、車道級(Which Lane)、道路級(Which Road) 3 個場景，如圖 2 所示。在建立誤差累積分布時，50%、68%、75%以及 95%的誤差作為指標，再決定各個指標對應的數值來建立各種應用場景的精度指標區間，如圖 3 中以紅字標示 1 至 3 分別表示在前述四種應用場景標準的定位結果累積分布函數應該坐落的區間，同時基於水平方向定位精度指標成果乘 1.5 倍常數作為垂直方向的定位精度與保護等級指標。本節水平定位指標與保護等級如圖 3 與表 1 所示；垂直方向定位指標與保護等級如圖 4 與表 2 所示。

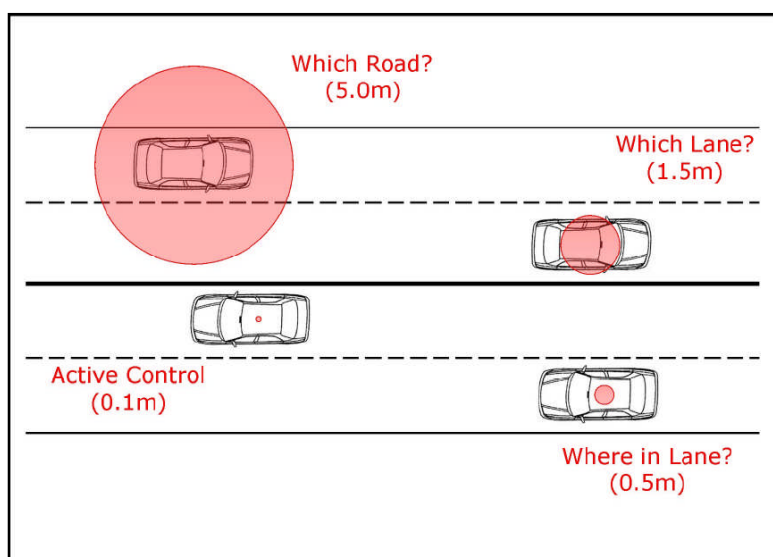


圖 2 精度指標應用情境示意圖(摘錄自 Stephenson, 2016)

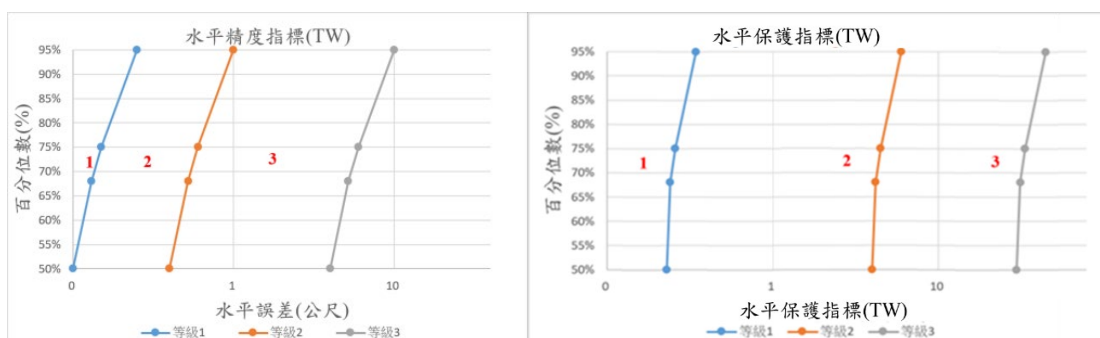


圖 3 水平定位精度指標(左)與水平保護等級(右)

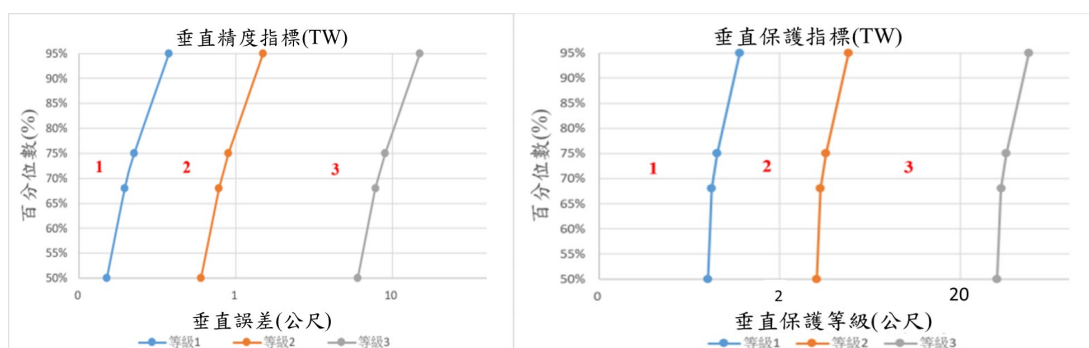


圖 4 垂直定位精度指標(左)與垂直保護等級(右)



表 1 水平定位精度指標與保護等級數值表

等級	用途	水平定位精度(單位：公尺)				水平保護等級(單位：公尺)			
		50%	68%	75%	95%	50%	68%	75%	95%
等級 1	車道內	<0.10	<0.13	<0.15	<0.25	<0.40	<0.42	<0.45	<0.60
等級 2	車道級	<0.40	<0.52	<0.60	<1.00	<1.60	<1.68	<1.80	<2.40
等級 3	道路級	<4.00	<5.20	<6.00	<10.0	<16.0	<16.8	<18.0	<24.0

表 2 垂直定位精度指標與保護等級數值表

等級	用途	垂直定位精度(單位：公尺)				垂直保護等級(單位：公尺)			
		50%	68%	75%	95%	50%	68%	75%	95%
等級 1	車道內	<0.15	<0.20	<0.23	<0.38	<0.60	<0.63	<0.68	<0.90
等級 2	車道級	<0.60	<0.78	<0.90	<1.50	<2.40	<2.52	<2.70	<3.60
等級 3	道路級	<6.00	<7.80	<9.00	<15.0	<24.0	<25.2	<27.0	<36.0

5. 精度驗證架構

本節定義智慧車輛導航系統感測器以及參考系統感測器之規格之要求建議。

5.1 導航系統感測器規格

本節定義智慧車輛導航系統感測器規格，由於國內外各智慧車廠商所能搭載之設備組合性多元，故無法詳細定義各項，僅能針對智慧車輛普遍使用之感測器規格定義之，若實際待測系統規格有不符，仍可透過本指引定義之驗證流程進行精度驗證，如表 3 所示。



表 3 導航系統感測器規格

硬體	規格			說明
光達	數量	至少一部		為選配，須事先與車輛坐標系進行相對方位率定，並提供率定成果檔。
	安裝位置	水平朝車輛直行方向		
	掃描線數	多線程		
	旋轉頻率	至少 20Hz 以上		
	測距範圍	至少 100m 以上		
	測距精度	至少優於 5cm		
	掃描範圍(水平)	360°		
	掃描範圍(垂直)	30°(±15°)		
	掃描點/秒	至少 300,000		
相機	數量	至少一部 (建議使用框幅式相機)		為選配，須事先進行相機率定及影像與車輛坐標系間之相對方位率定，並提供透鏡畸變改正之影像及相對方位率定成果檔。
	安裝位置	水平朝車輛直行方向		
	取樣頻率	至少 3Hz		
	解析度	至少 640x480 像素		
	視角(Field of View, FOV)	至少 60°(水平角)		
GNSS	可進行 DGNSS 或 RTK 定位	GNSS/IMU		提供 GNSS 天線與車輛坐標系之相對方位率定成果。
		平面精度	0.3-1m	
		高程精度	0.5-1.5m	
IMU	消費者等級以上	陀螺儀漂移穩定性	1-20.0°/hr	提供 IMU 與車輛坐標系統之相對方位率定成果。
		加速度計漂移穩定性	0.1-1 mg	
高精地圖		點雲密度	400-2500pts/m ²	車道內定位精度必備。
		平面精度	0.2m	
		三維精度	0.3m	
其他感測器 (如雷達、攝影機)	為選配			無

5.2 參考系統感測器規格

為驗證第 4 節所述的精度指標，需要搭配前述導航系統感測器與更高精度的參考系統比較定位成果，在慣性測量元件與光達需要更高系統規格，如表 4 所示。

表 4 參考系統感測器規格

硬體	規格			說明
光達	數量	至少一部		須事先與車輛坐標系進行相對方位率定，並提供率定成果檔。
	安裝位置	水平朝車輛直行方向		
	掃瞄線數	至少 16 線程以上		
	旋轉頻率	至少 20Hz 以上		
	測距範圍	至少 100m 以上		
	測距精度	至少優於 5cm		
	掃瞄範圍(水平)	360°		
	掃瞄範圍(垂直)	30°(±15°)		
	掃瞄點/秒	至少 300,000 點		
GNSS	可進行 DGNSS 或 RTK 定位	GNSS/IMU		提供 GNSS 天線與車輛坐標系之相對方位率定成果。
		平面精度	0.1m	
		高程精度	0.15-0.2m	
IMU	戰術等級以上	陀螺儀漂移穩定性	<0.01°/hr	提供 IMU 與車輛坐標系統之相對方位率定成果。
		加速度計漂移穩定性	<0.1mg	
高精地圖		點雲密度	400-2500pts/m ²	Level 3 以上車道級定位為必備
		平面精度	0.2m	
		三維精度	0.3m	
其他感測器 (如雷達、攝影機、相機)	為選配			無

6. 導航系統性能驗證作業程序

本節描述智慧車輛多元感測器融合導航系統精度驗證架構，包含導航系統性能驗證方式、驗證流程、各種規劃測試場景定義。

本節驗證方式為搭配參考系統與需驗證的多元感測器導航系統裝置於同一平臺進行驗證，流程如所示，各執行子項內容於 6.1 至 6.7 小節分述。

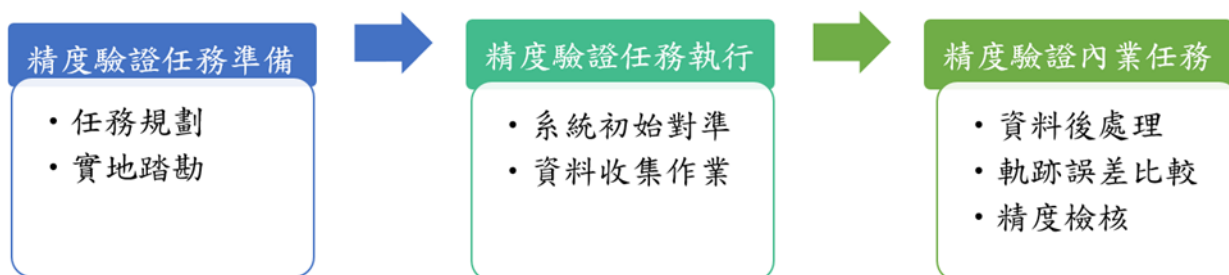


圖 5 導航系統性能驗證作業流程圖

6.1 任務規劃

根據精度驗證場域，預先評估交通狀況及環境特殊性，進行儀器種類、儀器安裝方位、儀器數量選配，並擬定驗證路線等先行作業。驗證場域可選擇於環境較為穩定之區域如臺灣智駕測試實驗室(Car Lab)與財團法人車輛研究測試中心(ARTC)之測試場域或相似環境進行，亦可作為前期精度驗證之參考場域。然而本指引之目的為提供精度驗證之流程引導，因此驗證場域可於任何區域，主要為參考系統與導航系統整合解之位置精度比較，而非驗證各感測器之測量精度。而上述前期精度驗證之參考場域，用意為初步驗證儀器整體運作之效能。因此建議選定環境較為穩定之區域，該區域為透空區，因此 GNSS 訊號較為完善。此外，周圍特徵紋理亦足夠，能提供相機、光達或雷達量測，因此整體導航解算精度較為穩定，其與參考解比較應該接近，可作為前期的評估測試。之後於其他場域進行實驗之驗證成果將更加可靠。而驗證路線並無特別之規定與限制，依據實務需求來安排即可，例如以 GNSS 環境(透空區、辦遮蔽區與遮蔽區)，或是以車速變化(高速公路、省道與市區)來規劃路線。

6.2 實地踏勘

依 6.1 規劃結果，可事先於現地踏勘，了解實際環境以利進行更完整之任務規劃，例如測試作業時速、儀器運作穩定、RTK 連線等評估作業，亦可調整行駛路線順序修正任務規劃。系統檢測執行精度驗證任務前，多元感測器導航系統與參考系統須經下列驗證程序進行檢測，確認符合原出廠規格或得其設定參數，各感測器功能運作測試須符合任務需求。

6.3 系統初始對準

INS/GNSS 定位定向整合系統之初始對準步驟：

- (a) 靜態初始對準程序：車載行動測繪系統須靜止至少 5 分鐘完成靜態初始對準。
- (b) 動態初始對準程序：依施測範圍可供行駛之道路型態，以提供足量之姿態變化之軌跡進行 5-10 分鐘變速繞行動作，完成動態初始對準。車載常見之足量姿態變化軌跡類型示例如圖 6。
- (c) 完成資料蒐集作業後應循(b)、(a)之反向模式運作重複初始對準流程。

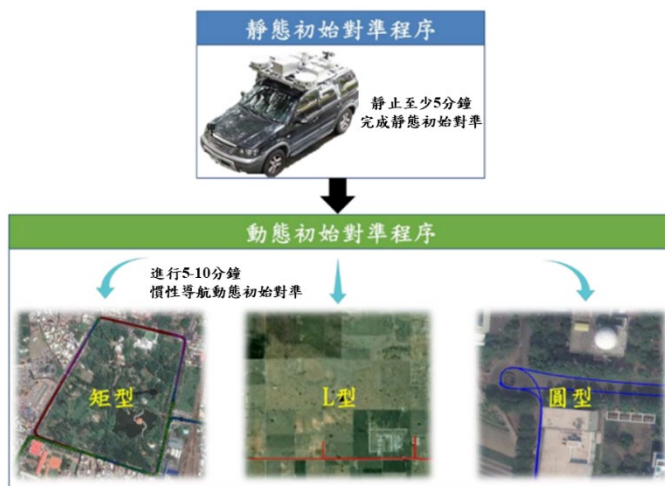


圖 6 導航系統初始對準流程圖

6.4 資料蒐集作業

精度驗證資料蒐集作業時，操作人員須持續檢視感測儀器是否正常運作及資料時間同步；倘若各感測器有即時產出指標，應參考原廠手冊依各該指標項目代表意義綜合衡量資料蒐集狀況。

6.5 資料後處理

INS/GNSS 定位定向整合系統、影像感測器或光達感測器等資料解算程序，可根據實務需求選用各式商用套裝系統之處理軟體辦理。

6.6 軌跡誤差比較

依照 6.5 節資料處理結果，產生時間系統同步的參考軌跡與驗證軌跡，比較兩軌跡的差異，計算位置逐一時刻之誤差量、最大誤差、均方根誤差、標準偏差等統計指標。本指引著重於軌跡之位置誤差比較與位置精度分析，並未計算姿態誤差。

6.7 精度檢核

依照第 5 節中所述的指標進行精度檢核作業。主要與參考解比較三維位置、速度與姿態之差異。進一步計算累積分布函數，依據不同應用場景的定位精度(車道內、車道級、道路級)，來評估是否合乎預計之精度範圍。水平方向與垂直方向皆有對應之定位精度與保護等級指標，詳細數值請參考表 1 及表 2。

參考資料

- (1) 內政部地政司(2021-2022)。多感測器與慣性導航關鍵系統軟硬體設計整合開發工作案(110-111)期末報告書
- (2) Balakrishnan, A., Florez, S. R., & Reynaud, R. (2020). Integrity monitoring of multimodal perception system for vehicle localization. *Sensors*, 20(16), 4654.
- (3) Falco, G., Pini, M., & Marucco, G. (2017): Loose and tight GNSS/INS integrations: Comparison of performance assessed in real urban scenarios. *Sensors*, 17(2), 255.
- (4) Reid, T. G., Houts, S. E., Cammarata, R., Mills, G., Agarwal, S., Vora, A., & Pandey, G. (2019). Localization requirements for autonomous vehicles. *arXiv preprint arXiv:1906.01061*.
- (5) Stephenson, S. (2016). Automotive applications of high precision GNSS, Doctoral dissertation, University of Nottingham.

版本修改紀錄

版本	時間	摘要
v1.0	2023/11/16	出版



台灣資通產業標準協會

Taiwan Association of Information and Communication Standards

地 址 • 台北市中正區北平東路30-2號6樓

電 話 • +886-2-23567698

Email • secretariat@taics.org.tw

www.taics.org.tw