

車載移動式測繪系統及直接地理定位控制場之設置

Mobile Mapping System and the Establishment of Control Field for Direct Georeferencing

李育華¹ 江凱偉² 饒見有³

Yu-Hua Li Kai-Wei Chiang Jiann-You Rau

摘要

自慣性導航系統在 1980 年初被引入民用領域，相關的應用發展便與日俱增，其中移動式測繪系統即是近年來最顯著的整合應用之一。由於移動式測繪系統擁有快速資料採集，以及無需地面控制點即可對目標物進行直接地理定位的特性，因此在空間資訊領域受到莫大的重視。本文提出一車載移動式多元感測器測繪系統進行空間資料蒐集，研究中採用 Meinberg GPS170PCI 時鐘卡實現不同感測器與不同資料採集頻率下的資料同步整合，以及利用 C-MIGITSIII INS/GPS 系統記錄平台移動之軌跡及姿態。而為了達到直接地理定位的目的，研究中主要以 GPS 及三邊測量方式建置一個在 TWD97 框架下的高精度控制場，以便未來應用於系統率定及定位精度檢核。文中將介紹所提出的車載移動式測繪系統之軟硬體架構，接著說明如何進行高精度控制場之測量，進而評估此控制場在移動式測繪系統應用之可行性。經誤差傳播推導顯示控制場部分擁有 5cm 的先驗精度，預期未來在系統率定後將達到有高精度直接地理定位之能力。

關鍵詞：慣性導航系統、空間資訊、直接地理定位、三邊測量

Abstract

Since the inertial navigation system (INS) was introduced in civil applications, its development has gained more and more attention in geomatics communities. In which, the mobile mapping system (MMS) is the most significant one because of its abilities in direct geo-referencing and rapid data acquisition. In the paper, a multi-sensor land-based MMS for geospatial information collection is proposed. In addition, the Meinberg GPS170PCI timing board is used to synchronize the measurements from various sensors onboard. In the meantime, the

C-MIGITSIII INS/GPS system is used for recording the vehicle's trajectory and orientation. For the purpose of direct geo-referencing, a high-accuracy ground control field under TWD97 coordinate system was established by means of GPS and trilateration survey. The control field will be applied for MMS system calibration and positioning error analysis in the future. This paper will

¹ 國立成功大學 測量及空間資訊學系 碩士生
² 國立成功大學 測量及空間資訊學系 助理教授
³ 國立成功大學 測量及空間資訊學系 教授

introduce the configuration of the proposed MMS in the beginning. Then, we will describe the methodology of creating a high-accuracy control field and evaluate its applicability in MMS. The preliminary results presented in this study depict that an absolute accuracy of 5 cm could be achieved for the control field and the stability of the proposed MMS is high, thus we believe that a high-accuracy of direct geo-referencing capability is possible after system calibration in the future.

Keyword: INS, Geomatics, Direct Geo-referencing, Trilateration Survey

一、前言

隨著時代科技的進步，空間資訊系統(Geospatial Information Systems)的應用越來越廣泛。在空間以及屬性資料的時效性以及正確性都足夠時，才能夠發揮它的效用並表示真實世界的現象。利用傳統的測量技術作為採集空間資訊的方法並無法全然符合成本考量，傳統測量以及屬性調查作業所需的時間較長，從開始收集資料到系統建置完成往往需要半年以上，這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，測量製圖的技術與整合式導航定位定向系統結合，搭配多種的影像感測器來收集空間資料，逐步實現即時移動式測量及空間資料收集技術。

具備直接定位系統(Direct Geo-referencing System)及多感測器系統(Multi-sensor System)的空間資訊獲取移動平台(Mobile Platform)正是因應此挑戰的最佳利器，其完整的方案一般稱為移動式測圖系統(Mobile Mapping Systems, MMS)。MMS 整合全球定位系統(Global Positioning System, GPS) 及慣性導航系統(Inertial Navigation System, INS) 形成高精度直接定位系統，結合多種高效率感測器，搭配高精度之率定場，能快速獲取並儲存感測資料，經解算直接獲得感測器方位(Direct Sensor

Orientation)，最後透過高度自動化的軟體系統進行資料處理，獲得所需的空間資訊(El-Sheimy, 2005)。

MMS 移動平台可以是衛星、飛機、直昇機、船舶、汽車或人，所載運的定位感測器可能包括全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)、慣性導航系統、及航位推算感測器(Dead Reckoning Sensors)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(Laser Scanner)等。其觀念可溯及 20 世紀初航空攝影測量的濫觴，以飛機為平台載運相機，利用地面控制點及影像重疊共軛點量測，反算影像方位，為間接式定位(Indirect Geo-referencing)方法，是 MMS 的原始形式。1980 年代隨著 GPS 的發明，航空攝影測量結合 GPS 動態定位，使得影像方位的解算僅需少量控制點。同時，整合 GPS 及數位相機的汽車平台也被提出來。而後，INS 的效能大幅提昇，整合 GPS 及 INS 的直接定位系統於是實現，並開始應用於飛機及汽車平台。而直接定位系統與近景數位相機、攝影機或雷射掃描儀結合於汽車平台上，則形成所謂的移動測圖車(Mobile Mapping Vehicle)，是相當有效率的空間資訊收集利器，如加拿大 Calgary 大學的 VISAT(El-Sheimy, 1996)。

回顧車載 MMS 的發展史，其濫觴

為 1983 年一些加拿大的省政府及美國州政府所提出的移動式高速公路設施維護系統 (Mobile Highway Inventory System, MHIS) (Lapucha, 1990), 圖 1 為加拿大亞伯達省政府與 Calgary 大學共同發展之 Alberta MHIS。早期的車載 MMS 使用航位推算感測器 (Dead Reckoning Sensors), 如 陀 螺 儀 (Gyroscopes)、加速度計 (Accelerometers)

及里程技術器 (Odometer)等, 利用相對定位的原理求取定位解 (Position Fix) (Schwarz et al., 1990)。此時期所用的感測器多為類比式相機, 所拍攝的照片翔實記錄公路設施的狀況, 提供維修單位及時的公路資訊。當時雖然 MHIS 的定位精度不佳, 但是相關的技術的前景已逐漸吸引空間資訊工程領域學者投入大量地資金與人力。

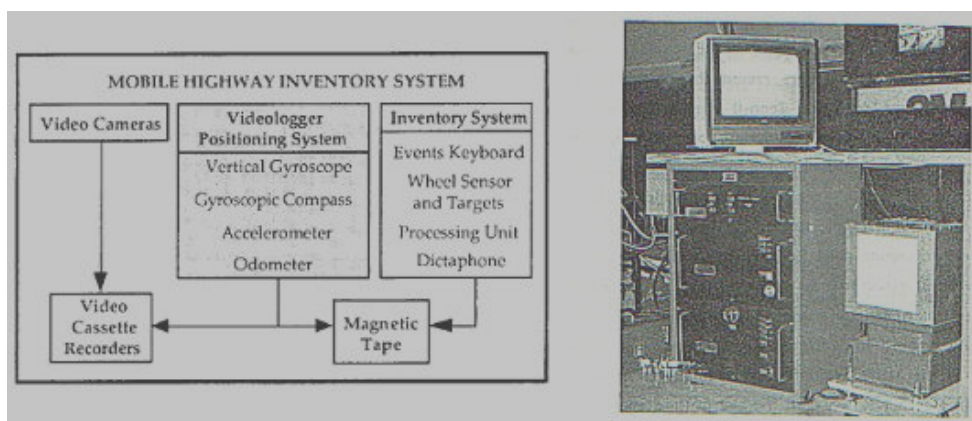


圖 1、Alberta MHIS (Lapucha,1990)

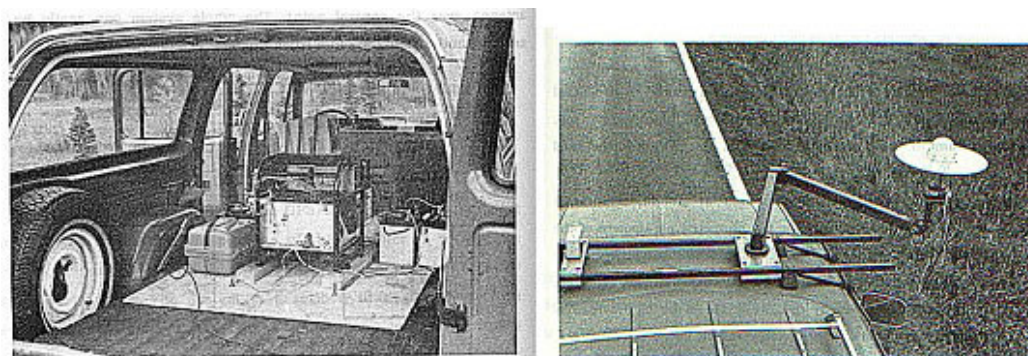


圖 2、Alberta MHIS 之 INS/GPS 整合設計 (Lapucha,1990)

約同時期, 美國 the Ohio State University 之製圖中心 (Center for Mapping) 亦投入車載 MMS 的研發, 其系統稱為 GPSVan, 如圖 3 所示。該系統使用 GPS 及里程計數器提供導航參數,

主要感測器為兩部可動態連續拍攝的相機, 拍攝立體像對, 透過近景攝影測量的原理可獲得特徵物的三維空間座標, 其定位精度界於 0.3m 至 3m 間 (Grejner-Brzezinska, 1996)。



圖 3、GPSVan (Grejner-Brzezinska, 1996)

加拿大 University of Calgary 投入車載 MMS 的研發已將近 20 年，首先於 1994 年順利將 INS/GPS 系統整合至 Alberta MHIS 中並發展出第一代的 MMS 架構，稱為 VISAT Van 第一代，如圖 4 所示 (Schwarz et al., 1994)。接下來提出一套整合 INS/GPS、里程計數器、彩色 CCD 相機、攝影機等完整架構之 VISAT 第二代 (El-Shiemy, 1996)。這套系統為全球首度引入導航等級 INS 之系統，其定位精度為 0.1 至 1 公尺。該系統具備可調式的攝影間隔與較高的

拍攝行車速度 (100km/hr)，如圖 5 所示。2003 年獲得加拿大研究學會 (Canada Research Chair) 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 (AMS, 2006)，如圖 6 所示。與 VISAT 第二代相較之下，除了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及使用更高等級的 INS/GPS 整合系統。



圖 4、VISAT 第一代 (Schwarz et al., 1994)



圖 5、VISAT 第二代 (El-Sheimy, 1996)



圖 6、VISAT 第三代 (AMS, 2006)

且在空間資訊、立體建模及紋理貼圖領域方面，已有相應用於車載 MMS 的商用系統，例如 TOPCON 研發的 IP-S2

車載定位及資料採集整合系統即為一例 (TOPCON, 2009)。



圖 7、TOPCON IP-S2 (TOPCON, 2009)

由此可知，國外空間資訊 (Geospatial Information) 領域對車載 MMS 的高接受度及寬廣應用面。而國內空間資訊的需求與日俱增，發展車載 MMS 建置及應用科技實刻不容緩。本研究即提出一個以汽車作為移動平台的車載移動式測圖系統架構，以此作為陸基式移動式測繪系統的原型，故本研究之目的在於提昇我國空間資訊領域自

主研發移動測繪技術的能力。

二、系統架構

本研究所提出之陸基式移動式測繪系統如圖 8 所示，共分成載體結構、定位定向感測器 (黃框部分)、影像感測器 (綠框)、資料同步儀器 (紅框) 及系統運作等四個部份。



圖 8、移動式測繪系統外觀

2.1 載體結構

由於載體本身原先之設計並不具備搭載各項感測儀器及人為操作條件，吾人必須對其原有架構進行相當多的改善與配置，以符合本研究架構之要求。

1. 電力系統：由於車載移動測繪平台上裝置大量感測器、電腦及相關輔助設備，故載體本身所提供之電源並無法符合需求，必須改善電力系統。表 1 為本系統之電力估計，圖

- 9 則是設計之通用電力系統，於車子運行時自動充電，不需另行充電。
2. 內部空間之調整：為了配合控制電腦及電源系統之安置，本研究將針對車內之空間及管線進行適當之修改以配合搭載各式感測器的監測與控制系統，如圖 10 示。
3. 車頂架之設計：車載移動測繪平台

需裝置如表 1 所列之各式感測器，考量車體並非剛體，感測器因行車震動所造成的運作環境在車內與車外並不會一致，且避免感測器因行車而移位，因此需要穩固的車頂架來架設所需的感測器，致使所有感測器盡可能在相同條件下運作。圖 11 為所使用的車頂架設計與相關儀器之佈設。



表 1、系統耗電估計

設備	使用電量(瓦)
控制電腦(2+1)	700
Lidar(2)	10
CCD 相機(8)	240
電源轉換器	110
IMU	30
GPS	80
控制器	30
GPS 航向儀	100
輪速計	30
氣壓高度計	20
保留	1150
總計	2500

圖 9、移動式測繪系統通用電力設計

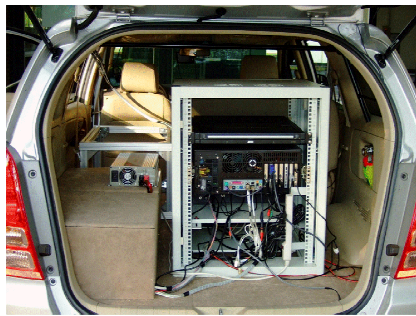


圖 10、車內空間

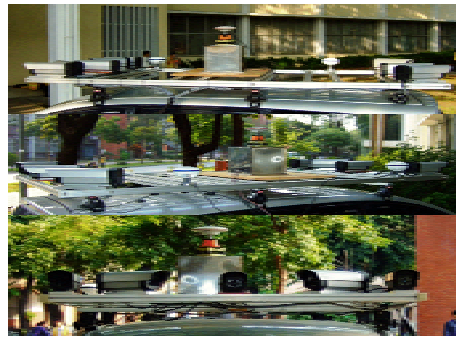


圖 11、移動測繪平台之車頂架與儀器配置

2.2 定位定向感測器

本系統使用 C-MIGITS III 之戰術等級 IMU 搭配 NovAtel ProPak -V3 大地等級接收儀所發展之整合式定位定向系統，如圖 12 示。同時本研究採用緊耦合 (Tightly coupled) 作為自行研發整合式定位定向軟體所使用的整合架構，如圖 13 示。因其能夠克服單一系統之缺點，且提供更穩定的導航及定位成果，在當衛星數量少於四顆時仍能維

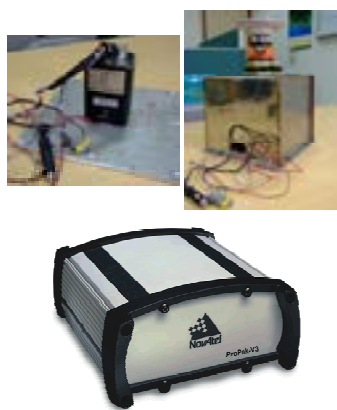


圖 12、C-MIGITS III & NovAtel ProPak -V3

圖 14 左所示為緊耦合式 INS/GPS 整合式定位定向系統於成功大學成功校區工學大道不受濃密的樹蔭遮蔽，在少於 4 顆衛星之狀態下仍可提供 30 公分的動態定位精度，藍色點為 GPS 定位解而白色點為緊耦合型 INS/GPS 整合式定位定向系統之解。圖 14 右所示為緊耦合型 INS/GPS 整合式定位定向系統於左營交流道沿平面道路移動之軌

持平穩，直至衛星數量減少至 0 顆，故其特別適合於 GPS 訊號遮蔽效應普遍存在的台灣地區，可視為未來無縫定位系統之主流架構 (Chiang et al., 2008)。值得一提的是本研究所研發之定位定向感測器之軟硬體成本，僅為目前商用定位定向系統之 1/3，且本研究所使用之戰術等級 IMU 可以輸出原始觀測量搭配自行研發之軟體使用，比目前要價上千萬之商用系統有更大的應用優勢。

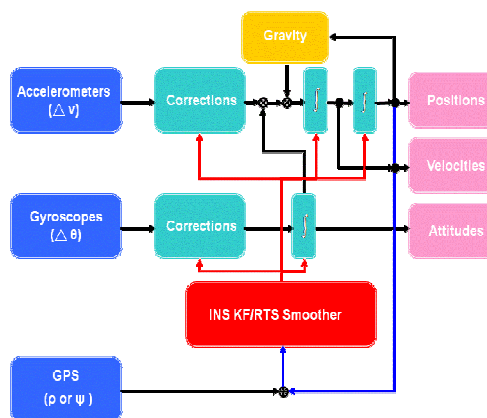


圖 13、緊耦合整合架構

跡。平面道路左側為高架道路，而右側為高樓。藍色點為 GPS 定位解、白色點為緊耦合型 INS/GPS 整合式定位定向系統之解而紅色點為鬆耦合型 INS/GPS 整合式定位定向系統之解。紅色軌跡因受 GPS 遮蔽的影響導致導航解逐漸偏移，而白色軌跡之仍能維持精確的航向。此一結果直接證明緊耦合整合架構在訊號嚴重遮蔽地區的實用性。



圖 14、INS/GPS 緊耦合架構單顆衛星定位定向能力

除上述儀器，航位推算感測器亦可視為輔助的定位儀器。其穩定的輪轉計數除可作為距離上的參考里程外，本系統可設定每多少距離發出脈衝訊息，供時鐘卡記錄接收訊息當下的時刻，詳見 2.5。

2.3 影像感測器

目前本研究使用同規格四台 Basler Scout 及兩台 AVT Stingray 數位相機作為本系統之觀測儀器(如圖 15)，其規格見表 2。此二相機具備電子快門可有效提昇在單一時間段內的攝影張數，大幅增進即時且快速資料獲取的能力。



圖 15、BASLER (左) STINGRAY(右)

表 2、數位相機規格

Cell size	4.4um*4.4um
Frame rates	up to 14fps
Picture size	1624*1234
Shutter speed	47us...~67s
Digital interface	IEEE1394b

2.4 資料同步儀器

對於多感測系統而言，首要之務便是各個儀器的資料必須做時間同步(Lee et al., 2002)。因各個感測器內部的振盪器(時鐘)不同，其採樣頻率也因此而不同，若不確實的對準各感測器間的輸出資料就進行後續利用，便有可能造成定位計算上的錯誤。為解決此問題，本系

統以 Meinberg GPS170PCI 時鐘卡(如圖 16 示)達成在不同頻率感測器間的資料同步。當航位推算感測器發出訊息，時鐘卡便記錄當下至 100ns 後的時間區分，作為比對 INS/GPS 資料，內插得出拍攝時刻的位置與姿態資訊，達成直接地理定位的目的。



圖 16、Meinberg GPS170PCI

由於時鐘卡本身擁有獨立的中央處理器，因此可以克服電腦因執行權限問題造成資料延遲處理的狀況，更進一步提昇時間同步的可靠性。

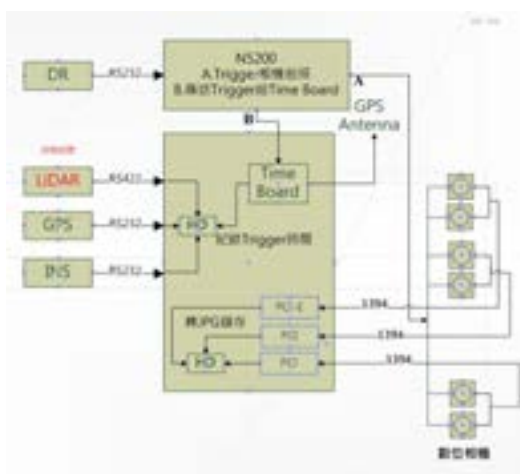


圖 17、系統運作圖

2.5 系統運作

如圖 17 示，當 MMS 啟動，除中央處理電腦收取 INS/GPS 定位定向資料外，另一方面航位推算感測器計數距離，到達設定距離值時便同時驅動訊息給中央電腦內的時鐘卡記錄當下時刻及數位 CCD 使其拍攝並透過 IEEE1394 傳輸影像資訊給中央處理電腦進行儲存。至此，MMS 滿足了直接地理定位的條件，藉由時鐘卡獲得拍照瞬刻影像的時間資訊，並利用此時間資訊內插得到影像的 INS/GPS 資料，最後經由下式得到影像像點對應的物空間座標 (El-Shiemy, 1996)：

$$r_p^M = r(t)_{GPS}^M - R(t)_b^M (r_{GPS}^c - M_p^P R_c^b r_p^c) \quad (1)$$

r_p^M 代表地面點 P 在物空間座標系統中位置向量。

$r(t)_{GPS}^M$ 代表在時間 t 時，GPS 所量測得之位置向量 (相對於物空間座標系統)。

$R(t)_b^M$ 代表在時間 t 時，INS 所觀測得之姿態所轉成之旋轉矩陣 (相對於物空間)。

R_c^b 代表相機相對於 INS 之旋轉矩陣。

r_{GPS}^c 代表相機透視中心到 GPS 相位中心的位置向量。

μ_p^p 代表地物點影像座標 p 到地物點 P 之尺度 (Scale)。

r_p^c 代表影像點之位置向量。

式中 $r(t)_{GPS}^M$ 、 $R(t)_b^M$ 、 r_p^c 皆量測可得， μ_p^p 則可透過立體像對前方交會求解而得，接下來只要確定 R_c^b 、及 r_{GPS}^c ，MMS 的直接地理定位能力便可完整的運行。而在求解 R_c^b 、及 r_{GPS}^c 的過程，就稱作軸角 (Boresight) 及固定臂 (Lever Arm) 率定。在進行率定求解之前，我們擁有足夠的地面控制點進行觀測，構成多個共線條件觀測方程後，以光束法平差求解軸角及固定臂參數達成率定目

的。因此完成前述硬體建構後的首要之務便是建置一個足夠精度的控制場，以透過率定場達成率定目的，並藉由檢定場檢驗 MMS 之直接地理定位能力。

三、高精度控制場之設置

本研究利用本校歸仁校區 T 型路口四周有低矮建物且無樹木之區域建置一地面控制場，並將牆上具有十字交線的位置當作率定控制點，如圖 18 示。此外，歸仁校區內主要道路兩旁佈設檢定場，以圓形標為檢核用之物徵控制點，如圖 19 示。



圖 18、直接地理定位系統率定控制場



圖 19、道路兩旁檢核用之物徵控制點

此控制場之選擇考量到足夠的透空度，以減少 GPS 訊號受到遮蔽或多路徑效應的影響，同時能讓車輛方便進出。而在控制場控制點之三維坐標量測是以 GPS 控制測量、三邊測量、光線法三維定位等方式進行，由上而下依序完成

GPS 控制點、控制點加密、牆面控制點及物徵控制點的量測與坐標計算，最後達成整體控制場的設置。以下依序詳細說明。

3.1 GPS 控制測量

首先在歸仁校區視周遭環境以及後續控制點加密、牆面及物徵控制點引用

之難易進行選點。根據本實驗區情況，吾人在其內設置了 5 個 GPS 點位作為本區之座標引用控制點，如圖 20 示。



圖 20、GPS 控制點位置示意(上),GPS 控制點現場標記(下)

爾後，以鄰近中央地調所設立的 GPS 成大航太站、南沙崙農場、西勢國小等三 GPS 基站，透過其長期穩定並與中央研究院之澎湖白沙衛星追蹤站連測所得之 WGS84 座標成果作為控制點良好的上級已知參考點位。施測程序參照我國二等衛星控制點之施測程序進行

(表 3)，以期達成相當於二等衛星控制點之精度。實施同步連測後，以 GravNET8.1 網型平差軟體進行相對差分、網型平差等觀測數據解算。表 4 為數據成果。當 GPS 點位設置完成，其座標便得以引用，方能使後續測量作業進行。

表 3、二等衛星控制點之施測程序

	使用之星曆	精密星曆
圖形	閉合圈中之基線源自不同觀測時間數	≥ 3
	閉合圈中獨立觀測之基線數	≥ 2
閉合	各閉合圈中之基線數	≤ 10
	閉合圈總邊長	≤ 300km
	可剔除之基線數目佔總獨立基線數比例	≤ 15%
合差	各分量之平均閉合差	≤ 25cm
	各分量之閉合差對閉合圈總邊長之比數	≤ 5×10 ⁻⁶
	全系各分量之平均閉合差對閉合圈總邊長之比數	≤ 3.5×10 ⁻⁶
基線重複性	重複觀測基線水平分量之差值	≤ (20 + 4×10 ⁻⁶ L)mm
	重複觀測基線垂直分量之差值	≤ (50 + 10×10 ⁻⁶ L)mm
精度成果	邊長標準誤差	≤ (10 + 2×10 ⁻⁶ L)mm
	95% 信心區間	≤ (20 + 4×10 ⁻⁶ L)mm

表 5、三邊測量加密精度規範

幾何圖形之最小角度 (單位: 度) 不得小於		20
邊長測量標準誤差		$\frac{1}{250,000}$
天頂距觀測	使用儀器 (單位: 秒)	1
	測回数	2
	觀測值之誤差 (單位: 秒) 不得超過	10
天文方位角	二已知高程點間之圖形數	10-15
	觀測相隔圖形數	10-12
方位角	每夜觀測數	8
	觀測夜數	1
	標準誤差 (單位: 秒)	0.8
方位角	方位角閉合差 (單位: 秒) (右列式中 N 為圖形數)	每圖形 3.0 或 10.0√N
成果精度	滿足幾何條件後位置閉合比數不得超過	1 10,000

表 4、GPS 控制測量成果

		A01	A02	A03	A06	A07
位置	LATITUDE	22°56' 08.54148"	22°56' 09.69271"	22°56' 08.57680"	22°56' 22.04949"	22°56' 20.16516"
	LONGITUDE	120°16' 22.39783"	120°16' 22.47904"	120°16' 30.55289"	120°16' 31.22739"	120°16' 34.97635"
	ELLHGT	34.3399m	34.1189m	34.8299m	34.781m	35.5616m
標準	E Std	0.0035m	0.0036m	0.0035m	0.0035m	0.0035m
	N Std	0.0035m	0.0036m	0.0035m	0.0035m	0.0035m
	UP Std	0.0035m	0.0037m	0.0036m	0.0036m	0.0036m

3.2 三邊測量

此法是以距離邊長觀測量，經餘弦定理計算得點位間夾角，最後運用後方/前方交會計算得到未知點位座標，如圖 21、式(2)~(7)。因其不直接測量各

點之水平角，改以測量(構成三角型態)各點間之距離再換算得各點之水平角，據以計算各點之平面座標，因此稱之為三邊測量(Paul et al., 2002)。

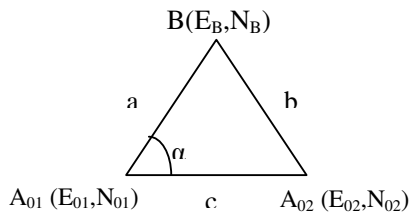


圖 21、三邊測量示意

$$\alpha = \cos^{-1}\left(\frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac}\right) \text{ (經象限判斷)} \quad (2)$$

$$\alpha_{A_01A_02} = \tan^{-1}\left(\frac{E_{A_02} - E_{A_01}}{N_{A_02} - N_{A_01}}\right) \text{ (經象限判斷)} \quad (3)$$

$$\alpha_{A_01B} = \alpha_{A_01A_02} - \alpha \quad (4)$$

$$E_B = E_{01} + a * \sin \alpha_{A_{01}B} \quad (5)$$

$$N_B = N_{01} + a * \cos \alpha_{A_{01}B} \quad (6)$$

$$h_B = (h_{01} + S_a * \sin \theta' + i') + (h_{02} + S_b * \sin \theta'' + i'') / 2 - i''' \quad (7)$$

$\alpha_{A_{01}B}$ 、 $\alpha_{A_{01}A_{02}}$ 、 α 分別代表 A_{01} 與 B 、 A_{01} 與 A_{02} 點間的方位角及 B 點的夾角。

N_B 、 E_B 、 h_B 、 N_{01} 、 E_{01} 、 h_{01} 分別代表點位 B 、 A_{01} 的坐標。

a 、 b 分別代表 A_{01} 與 B 點、 A_{02} 點與 B 點間的斜距。

S_A 、 S_B 分別代表 A_{01} 與 B 點、 A_{02} 點與 B 點間的斜距。

θ' 、 θ'' 分別代表由 A_{01} 觀測 B 點的垂直角、由 A_{02} 點觀測 B 點的垂直角。

i' 、 i'' 、 i''' 分別代表由 A_{01} 、 A_{02} 的儀器高及 B 的菱鏡高。

近年來測距技術精度高（釐米等級），比起角度觀測精度高出許多，而根據三角函數定理為基礎的坐標計算，當兩已知點與一未知點所構成的三角形內各夾角在 25~155 度間，並參照

三邊測量加密精度規範(表 5)便可達到或接近國家加密控制點的精度與可靠性。基於上述理由並考量在時間成本、點位精度需求以及數據處理等因素下，此法便成為本控制場的最佳坐標引測方式。

首先在測區內，選定適當且足量作為後續率定場檢核場觀測之用的加密控制點位置(如圖 22 示)。其後以 SOKKIA 雷射測距全站儀將各加密控制點點位與 GPS 控制點連測，並符合國家加密控制測量之精度規範將觀測水平距離資料下載進行內業三邊後方交會解算得各加密控制點平面坐標，再經三角高程測量得其高程定位值。

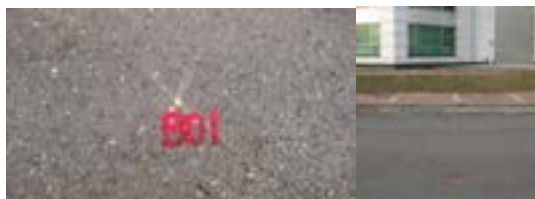


圖 22、加密控制點示例

3.3 光線法三維定位

在前一階段求得加密控制點後，便得以進行光線法三維定位作業。在此一量測階段，除儀器採用具備雷射測距之全站儀，使直接觀測牆面的情形得以達成外，還必須訂定相應的量測準則以避

免不同觀測者觀感不同而造成量測點位不一致的情形發生。在牆面控制點中，以建物牆面十字交線中心作為觀測瞄準點；在人造圓形標中，則以中央白點圓心處為瞄準點。如圖 23 示



圖 23、物徵控制點、牆面控制點量測準則（十字紅標表示觀測者應瞄準之瞄準線）

建立量測準則後，以全站儀採光線法進行牆面及物徵控制點的三維定位。原理如下，首先在坐標已知的加密控制點上架設全站儀並後視另一座標

已知點後，對牆面、物徵控制點進行觀測得到水平、俯仰角及距離觀測量，如圖 24、式(8)~(13)示。

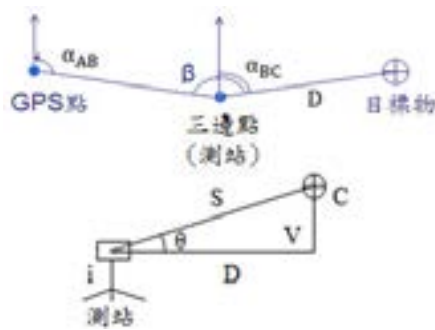


圖 24、全站儀光線法量測

$$\alpha_{BC} = \alpha_{AB} + \beta - 180^\circ \quad (8)$$

$$V = S * \sin \theta \quad (9)$$

$$D = S * \cos \theta \quad (10)$$

$$E_c = E_B + D * \sin \alpha_{BC} \quad (11)$$

$$N_c = N_B + D * \cos \alpha_{BC} \quad (12)$$

$$h_c = h_B + V + i \quad (13)$$

α_{AB} 、 α_{BC} 分別代表 A 與 B、B 與 C 點間的方位角， α_{AB} 可由式(3)得來。 β 代表後視點到觀測點的水平夾角。

成整體控制場之建置。

S、V、D 分別代表目標點 C 與測站 B 的斜距、垂直距、水平距。

四、高精度控制場之精度評估

根據誤差傳播定律，GPS 測量、三邊測量乃至最後光線法三維定位得到的牆面、物徵控制點點位精度為一連串的誤差傳遞結果。由式(2)~式(13)一連串的計算可合併成下式：

E_c 、 N_c 、 h_c 分別代表點位 C 坐標。

i 代表測站之儀器高。

此些觀測量經數學極坐標計算得各牆面、物徵控制點三維物空間坐標，完

$$E_c = E_A + a * \sin(\tan^{-1}(\frac{E_{A_{02}} - E_{A_{01}}}{N_{A_{02}} - N_{A_{01}}} - \cos^{-1}(\frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac}))) + S * \cos \theta * \sin(\tan^{-1}(\frac{E_B - E_A}{N_B - N_A}) + \beta - 180^\circ) \quad (14)$$

$$N_c = (N_A + a * \sin(\tan^{-1}(\frac{E_{A_{02}} - E_{A_{01}}}{N_{A_{02}} - N_{A_{01}}} - \cos^{-1}(\frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac}))) + S * \cos \theta * \sin(\tan^{-1}(\frac{E_B - E_A}{N_B - N_A}) + \beta - 180^\circ) \quad (15)$$

$$h_c = h_B = ((h_{01} + S_a * \sin \theta' + i') + (h_{02} + S_b * \sin \theta'' + i'')) / 2 - i''' + V + i \quad (16)$$

考慮之主要誤差來源為 1. GPS 點位座標誤差： \sum_{E_A, N_A, h_A} 、2. 測距誤差： $\sigma_S = \sigma_a = \sigma_B$ 、3. 折角量測誤差： σ_β 、

4. 垂直角量測誤差： σ_θ 。其值見表 5。根據上列公式經誤差傳播：

- El-Sheimy, N., 2008. Developing a Low Cost MEMS IMU/GPS Integration Scheme Using Constructive Neural Networks, IEEE Journal of Aerospace and Electronic Systems, Vol.44, No.2, (SCI)
- 3.Grejner-Brzezinska, Dorota A., 1996. Positioning accuracy of the GPSVan, Proc. of the 52nd Annual Meeting of the Institute of Navigation, Cambridge, MA, 1996 June, pp. 657 - 665
- 4.El-Sheimy, N., 1996. The Development of VISAT – A Mobile Survey System for GIS Applications, (Ph.D. thesis), UCGE Report No. 20101, Department of Geomatics Engineering, the University of Calgary
- 5.El-Sheimy, N., 2005. An overview of Mobile Mapping Systems, Pharaohs to Geoinformatics FIG Working Week 2005 and GSDI-8, Cairo, April, pp. 16-21.
- 6.Lapucha, D., 1990. Precise GPS/INS Positioning for Highway Inventory System. M.Sc Thesis, Department of Geomatics Engineering, The University of Calgary, Calgary, Canada
- 7.Lee, H.K., Lee, J.G. and Jee, G.I., 2002. Calibration of Measurement Delay in GPS/SDINS Hybrid Navigation, AIAA Journal of guidance, control, and dynamics, Vol.25. pp. 240-247
- 8.Paul, R., W, Charles. and D. Ghilani., 2002. Elementary Surveying, Tenth Edition, Prentice-Hall Inc.
- 9.Schwarz, K. P., Martell, H., El-Sheimy, N., Li, R., Chapman, M. and Cosandier, D., 1993.VISAT - A Mobile Highway Survey System of High Accuracy, Proc. of Vehicle Navigation and Information System Conference'93, October 12-15, Ottawa, Canada, 476-481.
- 10.Schwarz, K. P., Lapucha, D., Cannon, M. E. and Martell, H., 1990. The Use of GPS/INS In A Highway Inventory System, Proc. of FIG XIX Congress, Helsinki, Finland, 10-19 May, Vol. 5, pp. 238-249.
- 11.Schwarz, K. P., El-Sheimy, N., Li, R. and Chapman, M. A., 1994. VISAT - A Mobile System for Precise GIS Highway Inventory Applications, Proc. of 3rd International Conference on LAND VEHICLE NAVIGATION, Dresden, Germany, 14-16 June, 1994, pp. 283-297.
- 12.TOPCON, 2009. Integrated Positioning System, Available: <http://www.topconpositioning.com/applications/mapping-and-gis/high-accuracy-gis/hardware/ip-s2.html>