

地理資訊系統基圖空間關係更新之研究

Spatial Relationship Refinement of Base Map in GIS

李振燾

國防大學中正理工學院測繪工程學系

桃園縣大溪鎮員樹林

Email: jtlee@ccit.edu.tw

摘要

基圖(Base Map)是地理資訊系統架構之基礎,其向量、屬性、位相等關係皆有需要隨著時間及空間因素作改變,而空間關係更新項目即為本研究之述求重點。本研究引用最新衛星定位工具-全球定位系統(GPS),GPS 衛星定位以其高精度、全天候、高效率、操作簡便及應用廣泛等特點著稱,利用 GPS 信號可以進行海、空及陸地之導航及速度之量測,大地和工程測量之精密定位及時間之標準律定等。對於測繪的領域而言,GPS 衛星定位技術已經用於建立高精度之全國性大地測量控制網、地籍測量及海洋大地測量等,在 GPS 衛星定位技術逐步擴展應用版圖過程中,傳統的作業型態如基本控制點之檢測及以照片修測更新地圖之作業方式,均可利用此快速發展之技術更有效率的達成。

本研究針對 GPS 衛星定位技術應用於地圖更新來探討不同 GPS 衛星定位方法之精度,以提供給不同比例尺地圖進行更新之參考,並將所評估合乎作業需求之 GPS 技術實際應用於地圖更新上。再將 GPS 更新成果與傳統照片更新之成果進行比較,數據分析結果以 DGPS 模式進行二萬五千分之一地形圖之更新作業是較適當之選擇。

關鍵詞：地理資訊系統、空間關係、基圖、全球定位系統、個人數位助理

地圖是依據嚴謹之數學法則,將地表上之自然和人文景觀,透過科學和美學之綜合編繪方法,用適當的符號,縮編在平面上之圖形,可供記錄、計算、展示、分析以瞭解空間之相互關係,其已成為軍政、經濟建設、學術研究及日常生活上重要的工具,因此地圖內容的精度及可靠度,將影響到各階層使用者後續應用之發展[4]。近年來由於科學發展快速,交通更形便捷,人類活動的範圍更加地廣闊,行動亦甚迅速,過去仰賴傳統方法直接測製成之大尺度地圖,已經無法滿足用圖者之需求,因此縮編或編纂較小尺度之地圖,以供應用圖者之需要,乃成為必然之趨勢。而目前一般以大尺度地圖縮編為小尺度地圖之圖資,雖然在作業上採用的是最新版之圖資,唯目前台灣經濟發展迅速,各項工程建設如道路及房區等人造地物的增加,經常使已製成之地圖,在極短時間內即與實地不符。而利用航攝照片來對地圖的修改補充及配合實地調繪之驗證程序,為達成地圖更新迅速之方式[3]。但是航攝照片的比例尺與成圖本身不同,修測判讀完全依人工修繪的方式進行,各修測作業人員的經驗好與否將關係著成果精度之一致性。在現行數值法製圖的過程中,地圖修測調繪之成果仍須經數化過程轉入原來的數值圖資中,在連續的作業流程中,常使誤差不斷的累積,作法上亦不夠精進。GPS 衛星定位時代的來臨,對測量製圖業務產生了深遠的影響,傳統耗時費力之控制點檢測及以航攝照片修測以更新地圖之作業方式,均可以利用此項先進之技術來執行,此即本研究所欲研擬以 GPS 衛星定位測量技術執行地圖修測更新應用上之原因。

二、空間關係更新方法

一、前言

一般地圖的編繪程序大致為：投影選擇及展繪方格網、編繪底圖資料的蒐集、標稿及翻攝拼貼、照片修測及外業調繪、清繪及製版印刷等，而照片修測及外業調繪即佔著一項重要的角色，一般而言，照片修測工作僅限於局部之改變，以交通路網、水系及建築物等之增減為主，係利用地圖與照片上之相應地物點為根據，以修正地圖上未與照片上相符之地物，即以空中攝影之照片，對地圖中不符之處，進行平面修正之工作，作業人員的經驗及熟練程度將關係著未來成圖的精度；以下將對傳統地圖修測之方法及應用 GPS 衛星定位技術修測地圖之原理作進一步之說明。

2.1 傳統法

傳統方法係以人工作業進行照片修測，以下對現行地形圖照片修測作業中的最常用之方法作進一步說明[3]：

(1) 垂直照片修測法：

(a) 方向線法：屬點的轉繪方法，方向線由兩已知點之連接線而成，凡於照片上方向線通過之各地物點，必為地圖上相應方向線所通過之各地物點，於照片上距離某一已知點之距離，與方向線全長之比，等於地圖上相應點之比，即得所求地物點之位置。

(b) 相似三角形法（如圖 2.1）：所求之點不在已知之方向線上，則將所求點與已知之兩點連接成一三角形，此三角形與地圖上相應之三角形必相似，而用透明紙覆蓋於照片上並描繪照片上三點連接之三角形，利用所求點與二已知點連線及已知方向線之夾角，而於地圖上以透明紙上所繪之已知方向線，分別與地圖上已知點及方向線重合，則透明紙上未知點與已知點之二方向線可轉繪於地圖上，再使之延長相交之點，則為所求之新點，但此法只能決定有限數目點的位置。

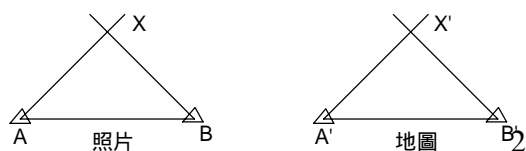


圖 2.1 相似三角形法中照片和地圖之對應圖

(c) 直接量取法：係利用比例規直接於照片上量取未知點與已知點之距離，然後轉繪於地圖上，因照片比例尺可按照照片上所註之攝影焦距與航高之比，或照片上兩地物點之長度，與地圖上相應兩點所化得之實地長度之比以求得之。利用比例規以量取照片上未知點與已知點之距離並欲轉繪於圖上，則應先調整比例規，使其兩端分別符合照片與地圖之比例尺，則相應之一端於照片上所量得之距離，他端之長度即為地圖上相應兩點間之距離。

(2) 網格修測法：

為轉繪照片上之碎部地物之另一方法，手續則較為簡單，可分為：

(a) 普通引用網格法：

(i) 已知點有 5 點以上時，則將各已知點連接，再將各連線之交點，作為輔助點，則相互連接並將其延伸使其相交於多邊形之各邊，然後將其與各邊之交點依次連接，如此逐次施行，則可將網格任意劃分為若干小格，地圖上之網格與照片上網格之作法完全相同，則地圖上之網格應與照片上網格相應，然後按地物點所在網格點之位置，逐一轉繪或修正於地圖上。

(ii) 已知點只有 4 點時，作法為連接各點成一含對角線之四邊形，延長各對邊相交於二點，將此二點與對角線交點相連接相交於四邊形之各邊，再連接所得之交點，依次逐一施行，即可獲得細密的網格，則依此網格逐一轉繪或修正地物。

(b) 方格網法：

適用於垂直之照片，係利用地圖上座標格之交點，分別轉刺於照片上，再將各點連接成一含對角線之四邊形，即可於照片上繪出相當於地圖上之方格，然後根據方格上之相應關係，將地物逐一轉繪或修正於地圖上（如圖 2.2）。

(c) 替代點作圖法：

此法為普通引用網格法 (a) 項之又一方法，即四邊形之二對邊如近似平行時，則二對邊之延長線必相交甚遠，無法於小面積內相交，而不能分成網格時，則應用此法以分成網格。作法是於其對邊之延長線上，作一相似之四邊形，則連接兩四邊形對角線之交點，即為所求之網線，然後根據輔助點之法則，使之繪成適用之網格以轉繪或修正地物。

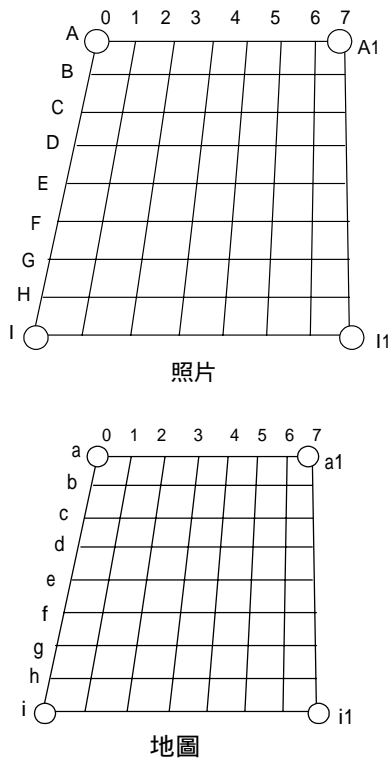


圖 2.2 方格網法中照片和地圖之對應圖

2.2 GPS 法

以下將對應用於本研究所採用之 GPS 衛星定位原理作進一步說明。

(1) 單點定位 (Single point positioning)

由單一接收儀接收衛星訊號處理而得該點在世界大地系統 (World Geodetic System, 1984, 簡稱 WGS84) 之下相對於地心之座標 (如圖 2.3) [7], 其主要是利用電碼虛擬距離觀測來測定待求點之坐標。電碼虛擬距離觀測係利用接收儀本身所產生的 GPS 複製電碼, 與其所接收的 GPS 衛星電碼進行相關性之比對而得到訊號的時間延遲 (time delay), 再將此值乘以光速, 即是一般所謂的虛擬距離。但是此虛擬距離並非真實的衛星至接收儀之直線距離, 而是包含了衛星和接收儀兩時鐘讀取的差值及傳播訊號通過大氣層受對流層與電離層的影響。單點定位觀測方程式如下 [9] :

$$\rho = R + c \cdot (dt - dT) + d_{ion} + d_{trop} + \varepsilon_{\rho} \quad (1)$$

式中：

ρ : 電碼虛擬距離

R : 衛星至測站間的空間幾何距離

c : 真空中的光速

dt : 接收儀時錶誤差

dT : 衛星時錶誤差

d_{ion} : 電離層延遲誤差

d_{trop} : 對流層延遲誤差

ε_{ρ} : 雜訊與多路徑效應

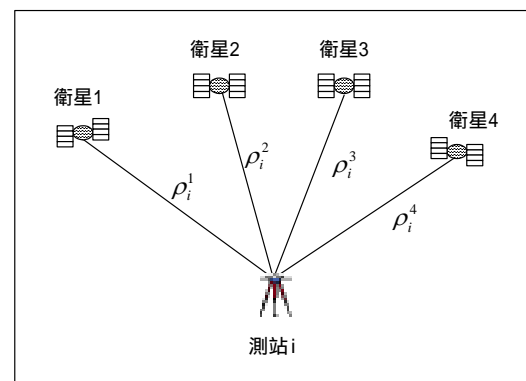


圖 2.3 單點定位示意圖

(2) 差分衛星定位 (Differential GPS, DGPS)

DGPS (如圖 2.4) 是利用兩接收儀間的差分方式來消除大部份的共同性誤差 (如衛星時鐘差、電離層及對流層所造成的誤差等), 藉以提高定位的精度。其主要作法為利用一已知坐標位置之基地站 (Base station), 接收 GPS 衛星訊號, 則可提供同時段 GPS 使用者有關的定位修正資料, 可利用無線電廣播方式將修正資料即時傳送或將資料帶回進行後處理, 不論即時傳送或後處理, 其修正資料有兩種方式

[7]，本文所使用之演算法係屬於下列所述之虛擬距離修正法：

(a) 虛擬距離修正法：利用基站坐標計算出接收儀與衛星間之距離，將此距離與接收儀接收衛星訊號之虛擬距離來比較，可得到一距離差值，即基站之虛擬距離修正量

$$\rho_i^g = R_i^g + d_{i,ion}^g / trop - c (t_i - t^g)$$

$$d \rho_i^g = R_i^g - \rho_i^g = c (t_i - t^g) - d_{i,ion}^g / trop \quad (2)$$

將此修正量經由傳送至移動站進行虛擬距離的修正，當基站與移動站相距不遠時，兩站所接收衛星訊號通過的大氣路徑相似，因此可將基站之虛擬距離修正量視為移動站虛擬距離之修正量。

$$\rho_j^g = R_j^g + d_{j,ion}^g / trop - c (t_j - t^g)$$

$$\rho_j^g + d \rho_i^g \cong R_j^g - c (t_j - t_i) \quad (3)$$

其中：

ρ_i^g, ρ_j^g ：衛星 g 至接收儀 i 及接收儀 j 之虛擬距離。

R_i^g, R_j^g ：衛星 g 至接收儀 i 及接收儀 j 之真實幾何距離。

$d_{i,ion}^g, d_{j,ion}^g$ ：電離層及對流層對接收儀 i 及接收儀 j 之影響。

t_i, t_j, t^g ：接收儀 i、接收儀 j 與衛星 g 之時鐘差。

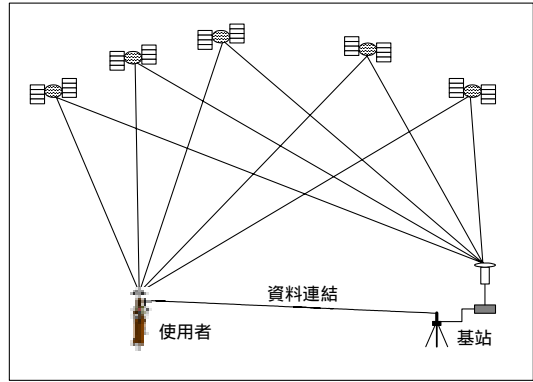
(b) 坐標分量修正法：若已知基站之精確坐標 (X_i, Y_i, Z_i) ，且由觀測量所求得之基站坐標為 (X'_i, Y'_i, Z'_i) ，則可得基站坐標各分量之修正量：

$$\begin{bmatrix} \Delta X_i \\ \Delta Y_i \\ \Delta Z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_i - X'_i \\ Y_i - Y'_i \\ Z_i - Z'_i \end{bmatrix} \quad (4)$$

此時將基站各分量之修正量傳送到移動站進行誤差的修正，如下式：

$$\begin{bmatrix} X_j \\ Y_j \\ Z_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'_j \\ Y'_j \\ Z'_j \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X_i \\ \Delta Y_i \\ \Delta Z_i \end{bmatrix} \quad (5)$$

圖 2.4 DGPS 示意圖



三、基圖更新成果比較分析

3.1 傳統地圖更新成果

為瞭解傳統以航攝照片進行地圖修測之實際作業情形及成果，特別請從事地圖編繪工作有相當經驗之作業人員，對中壢二萬五千分之一地形圖中之南勢及龍潭工業園區等實驗區，以傳統照片修測之方法進行修測並配合實地之調繪工作，再將修測成果轉繪於透明膠片上，並利用數化版進行數化加註於原數值圖資中，選擇此兩個區域之原因為實際執行航攝照片與地圖之比對，其中照片內容有新增或改變之地物，作業流程如圖 3.1，實際修測成果如圖 3.2 及圖 3.3。

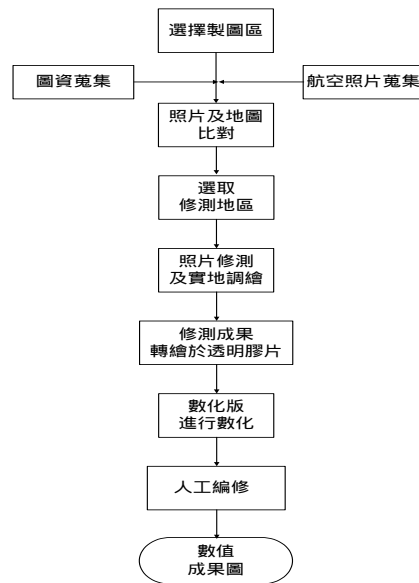


圖 3.1 傳統人工照片修測更新作業流程圖

3.2 GPS 更新地圖

由先期測試的結果得知，RTK、後處理 OTF、S-DGPS 及 DGPS 等方法都能完全滿足二萬五千分之一地圖之精度要求，而實際執行上選擇以

DGPS 方式進行地圖修測更新，在於 DGPS 以電碼距離定位快速且效率高。此外為考量實務上之應用，並增加利用個人數位助理 (Personal Digital Assistant, PDA) 即掌上型電腦 (Palm-size PC) 結合 GPS 接收器，即以單點定位之方式進行地圖修測之作業。實驗區選擇中壢二萬五千分之一地形圖，經航空照片和相對應地圖內容之比對判釋，選取南勢及龍潭工業園區等在照片和地圖內容明顯不同之地區，對這兩個區域進行實地修測之作業，與傳統照片修測之成果比較，以瞭解實地驗證的效能，以下將對上述兩種作業方式分別說明。

3.2.1 DGPS 修測更新作業

(1) 實驗規劃

由於 DGPS 作業方式必須有一個已知坐標的參考站，因此選擇中正理工學院院區內之固定水泥樁當參考站，將天線架於移動之車上當移動站，參考站至南勢及龍潭工業園區等實驗區之距離分別約為 7.5 及 8.5 公里，實驗區之道路兩旁有空地亦有建物，建物大部份都是一至四層間的房屋，作業時間為 2000 年 12 月 12 日，使用 Ashtech Z-Surveyor 儀器兩部 (參考站和移動站)，以 1 秒之取樣間隔及 10 度之衛星截取角，行車時速約 40 公里，大致沿道路中心線進行資料之收集。

(2) 資料處理及成果

將所接收的 GPS 觀測資料以 GeoGenius 軟體後處理 DGPS 模式進行計算 [8]，固定參考站 CCBS，以解算收集資料每個 epoch 的地理坐標 (ϕ, λ, h)，由於 GPS 觀測所求得為 WGS84 坐標，因此須再經過基準轉換為 TWD67，再投影至二度分帶平面坐標，再透過程式將點位坐標連成為線段，直接展繪加註於原數值圖資中。本文基準轉換所使用之台灣全區參數係由聯勤測量隊所提供，其經測試在平面坐標均方根誤差約為 10~100 公分 [2]，此誤差再加上 DGPS 約 5 公尺以內之定位精度，其累積之誤差仍能滿足二萬五千分之一地形圖之精度要求。修測之作業流程如圖 3.4，修測成果如圖 3.5 及 3.6：



圖 3.2 南勢地區照片修測更新成果圖



圖 3.3 龍潭工業園區照片修測更新成果圖

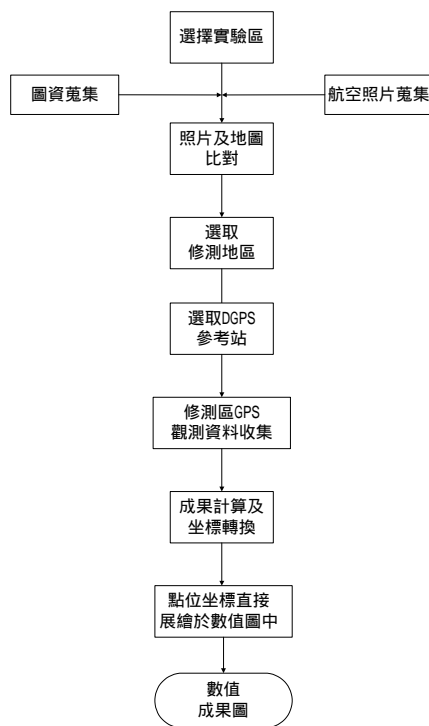


圖 3.4 DGPS 修測更新地圖作業流程圖

3.3.2 PDA 修測更新作業

以 PDA 結合 GPS 接收器進行地圖修測更新之作業，在實驗規劃上比 DGPS 較具便利性，即不用去尋找具有已知坐標之參考站，僅須將 GPS 接收器架於車上，同樣的在實驗區以時速約 40 公里之速度進行觀測資料之收集；而在資料處理方面，並不需要透過 GPS 後處理軟體之計算，所接收之 WGS-84 經緯度坐標即可直接進行如 DGPS 處理模式之坐標轉換過程。以下對本實驗所使用之 PDA (含 ArcPad 軟體) 及 GPS 接收器作進一步之說明：

(1) PDA (含 ArcPad 軟體)：採用的是神寶科技代理之 PALMAX PD-500C 掌上型電腦 (如圖 3.7)，其利用 NEC MIPS VR41XX 處理器，內建 32MB 記憶體並支援 CF (Compact Flash) 卡，觸控螢幕及觸控筆之輸入裝置，及微軟公司針對小型裝置所開發之 Windows CE 作業系統等 [1]；而 ArcPad 軟體則是美國 ESRI 為手持及行動系統設計之製圖及 GIS 軟體，它可執行包括觀看多重向量及影像資料層、編輯屬性資訊及透過 GPS 接收器即時收集資料等之野外 GIS 工作 [5]。

(2) GPS 接收器採用的是美國 GARMIN 公司之產品 GPS 35 TracPak 接收器，其設計嵌入的

天線應用於廣泛的原始設備製造商 (Original Equipment Manufacturers, OEM) 系統，一次可追蹤 12 顆衛星並提供持續每秒之導航更新資料，可適應陸地不同環境之導航及高性能飛行器之動態需求，尺寸為 56.4 mm x 96.3 mm x 26.7 mm 且僅重 110 克 [6]。由 PDA 結合 GPS 接收器所記錄之軌跡 (Way Point)，經由與 DGPS 處理模式相同之作業過程，其修測成果如圖 3.8 及 3.9。

3.3 GPS 與傳統地圖修測更新成果比較分析

為了解各種修測方法之差異程度，將傳統地圖修測與 GPS 修測更新 (含 DGPS 及 PDA) 之成果進行套疊 (如圖 3.10、3.11)，選取實驗區之十字路口及 T 型路等交叉處作為檢核點 (如圖 3.10、3.11 中之編號) 進行相互間之比較，經實際圖上量取各檢核點之相對偏差量可列如表 3.1，從圖上及各檢核點之比較可將修測更新成果進一步分析如下：

從圖 3.10 及 3.11 中即可看出不同的修測方法所獲得之數值圖，在大小、形狀和方向上均有顯著的偏差存在，而以 DGPS 及 PDA 之修測成果出現較為一致的情形，傳統照片修測則明顯的與 GPS 修測成果有差異性存在。從表 3.1 中，PDA 相對於 DGPS 在南勢及龍潭兩個實驗區中檢核點偏差量之最大值分別約為 10 公尺及 8 公尺，如果再加上 DGPS 約 5 公尺之定位誤差，則以單點定位方法進行修測之 PDA，其精度對於實驗區地圖之誤差容許值則略為不足。

在表 3.1 中，南勢及龍潭工業園區其傳統與 DGPS 修測成果之最大偏差量在地面上分別約為 75 公尺及 123 公尺，顯示在二萬五千分之一地形圖上則約為 3 及 5 mm，差異性已完全超出人眼所視之誤差範圍，由於 DGPS 經先期實驗所進行之精度評估，誤差範圍完全在 5 公尺以下，即使經過基準轉換，目前台灣全區經過測試，平面坐標均方根差為 10-100 公分，因此全部之誤差累積亦不會超過 6 公尺，滿足實驗區地圖之精度要求；而傳統照片修測則是以手繪之方式來轉繪地物，沒有精度評估之指標，其可靠度不足，或須藉由其它之方式如實測等才能評估其精度。

傳統照片修測經轉繪於圖上後，仍須覆以透明膠片再用數化版進行數化，人工佔了大部份之作業過程，視作業人員之不同就可能出現不同的修測成果，品質難以控制，作業上亦沒有效率；而 GPS 衛星定位技術現在均以高度之電腦化作業程序，資料之收集處理、坐標轉換及成果展繪等完全電腦化，可有效掌握工作時程、作業快速、以及具有極高之可靠度。



圖 3.5 南勢地區之 DGPS 修測更新成果圖



圖 3.6 龍潭工業園區之 DGPS 修測更新成果圖



圖 3.7 掌上型電腦及 GPS 接收器

表 3.1 GPS 與傳統地圖修測更新成果檢核點之偏差量

南勢地區				龍潭工業園區			
檢核點	DGPS 對	DGPS 對 PDA(m)	PDA 對	檢核點	DGPS 對	DGPS 對 PDA(m)	PDA 對
	傳統(m)		傳統(m)		傳統(m)		傳統(m)
1	54.5	6.4	49.5	a	106.1	4.3	108.0
2	30.8	3.8	31.2	b	82.5	2.5	82.8
3	56.0	7.7	48.1	c	65.3	6.1	70.9
4	69.8	10.2	60.1	d	43.3	1.0	43.9
5	62.8	4.1	60.2	e	51.0	7.8	52.6
6	27.6	2.8	25.4	f	96.1	7.2	90.2
7	46.5	3.8	43.3	g	84.8	5.6	80.5
8	58.7	7.1	52.0	h	117.8	3.4	115.3
9	74.8	3.4	72.0	i	123.1	2.8	120.1
10	29.4	1.5	27.9	j	92.4	2.4	91.8
11	25.4	5.3	27.9	k	86.6	8.3	84.7
12	27.2	4.9	25.1	l	34.7	3.4	37.3
13	53.3	4.1	50.4	m	37.7	7.1	44.4
14	39.3	1.4	39.1	n	28.4	3.6	31.4
15	33.6	4.1	37.3	--	--	--	--
16	32.2	4.3	36.5	--	--	--	--
最大值	74.8	10.2	72.0	最大值	123.1	8.3	120.1
最小值	25.4	1.4	25.1	最小值	28.4	1.0	31.4

平均值	45.1	4.7	42.9	平均值	75.0	4.7	75.3
均方根值	± 16.5	± 2.3	± 14.0	均方根值	± 31.6	± 2.3	± 29.3

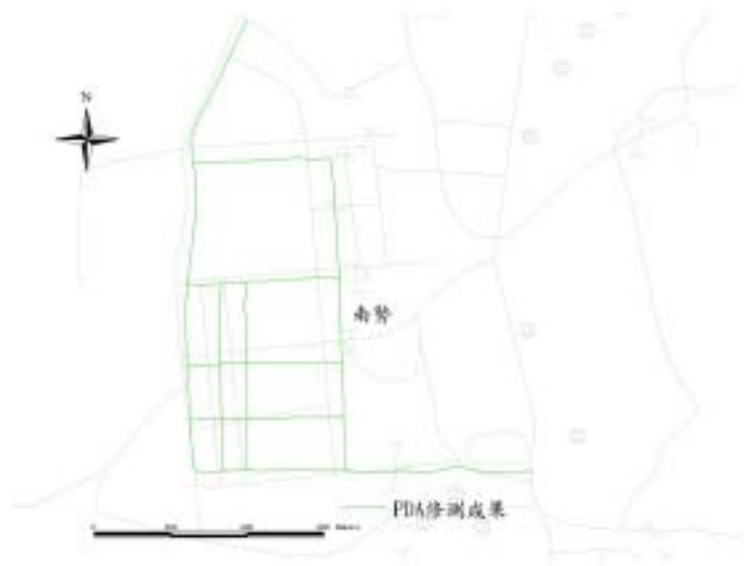


圖 3.8 南勢地區之 PDA 修測更新成果圖



圖 3.9 龍潭工業園區之 PDA 修測更新成果圖



圖 3.10 南勢地區傳統照片修測與 GPS 修測更新之套疊



圖 3.11 龍潭工業園區傳統照片修測與 GPS 修測更新之套疊

四、結論

本研究對各種不同之 GPS 衛星定位測量技術進行探討，以瞭解其對各比例尺地圖修測更新作業時之適用性，並進行實地修測之驗證，對目前仍進行傳統照片修測更新之作業方式，提供一個參考的可行性作法，本研究之執行成果所獲得之結論如下：

(1) DGPS 經過精度評估之過程，誤差範圍完全在 5 公尺以下，即使經過基準轉換，全部之誤差累積亦能符合本研究修測地圖之精度要求，且電碼距離定位迅速有效率，單頻接收儀即可使用，應用在二萬五千分之一地形圖之修測上是較適當之選擇；而以單點定位方法為主之 PDA 結合 GPS 接收器修測，雖然在作業程序上較為簡便，但對實驗區之地圖精度而言，則略為不足。

(2) 本實驗區環境之道路兩旁雖然部份有建物，但樓層不高，僅部份對仰角約 20-25 度以下之衛星訊號遮蔽，而實際上目前地圖修測在地物改變方面，所變動較大之區域大都位於重劃區、市區外圍或鄉村開發等地方，與實驗區環境大致是相類似的，該區域一般而言透空度均較佳，對衛星訊號之遮蔽影響較小，因此以衛星定位測量之技術應用在地圖修測是可行的。

(3) 就時間之效益而言，地圖修測更新作業在完成圖資及照片之收集比對之後，傳統方法執行照片修測後，須到實地去調查驗證，修測更新成果亦須先轉繪至膠片上，才能進行數化之作業；以 GPS 衛星定位技術而言，在圖資及照片比對完成後，即可至修測區實地收集觀測資料，與實地去調查驗證之工作是相同的，因此可省去內業照片修測更新之工作；收集之觀測資料可隨即計算並直接展繪於數值圖資中，可

省去轉繪至膠片上之作業時間。

五、參考文獻

- [1] 神寶科技，“掌上型電腦手冊”，<http://www.lar-tech.com/palm.htm>，徠特科技股份有限公司，54 pp.，2000。
- [2] 郭基賢，“TWD97 坐標系統地圖編製精度評估之研究”，第十九屆測量學術及應用研討會論文集，pp.953-961，2000。
- [3] 黃光輝，“地圖編繪學”，中工理工學院測量工程學系，測量叢書，1971。
- [4] 潘桂成，“地圖學原理”，固地文化事業有限公司，pp.1-10，1994。
- [5] Environmental System Research Institute, Inc. “Using ArcPad”，U.S.A. 65 pp.，2000。
- [6] GARMIN，“GPS 35 TracPakTM GPS Smart Antenna Technical Specification”，GARMIN Corp.，U.S.A.，2000。
- [7] Leick, A.，“GPS Satellite Surveying”，John Wiley & Sons, Inc.，New York, 1995。
- [8] SPECTRATM PRECISION TERRASAT GmbH，“GeoGenius User's Manual”，Version 2.0, Release 1, Germany, 1999。
- [9] Teunissen, P.J.G. and A. Kleusberg，“GPS Observation Equations and Positioning Concepts”，GPS for Geodesy, Edited by Teunissen, P.J.G. and A. Kleusberg, Springer-Verlag, pp.187-229, 1998。