

第三章 實驗說明及資料處理

本研究採用單一參考站和虛擬參考站原理計進行即時動態定位解算，以探討即時動態定位理論應用於地表監測之可能性。因台灣西南部地區近年來地層下陷問題日趨嚴重及地震之發生日益頻繁，特選定彰化、雲林及嘉義地區為本次研究的實驗場。所使用的儀器共包含 JPS Odyssey、Ashtech Z-Surveyor、Leica SR530、NovAtel 502 等四個廠牌的接收儀。

在本章中，將針對本研究之實驗場說明、實驗方法說明、資料處理等實驗要項加以詳細說明之。

3-1 實驗場說明

本研究實驗場地位於彰化、雲林及嘉義地區，從內政部一、二等衛星控制點和經濟部中央地質調所設置之 GPS 點位選擇符合需求且網型分佈良好的點位作為參考站使用（參考站點位詳細資料如表 3-1~表 3-3 所示）。為了解台灣西南部地區地表變化之情形並就高速鐵路之高架橋墩進行細部的三維雷射掃描，特別將移動站選定於交通部高速鐵路工程局佈設之衛星控制點（移動站點位詳細資料如表 3-4 所示）。



表 3-1 參考站 S903 點位資料一覽表

點位資料			
點名	點位編號	等級	施測時間
龍崗國小	S903	二等衛星控制點	86 年 1 月
標石號碼	標石種類	點位狀況	佈設單位
S903	不鏽鋼標	無資料	內政部
TWD97 坐標資料			
縱坐標值 (m)	橫坐標值 (m)		
2,592,880	166,410		
緯度坐標值(dd:mm:ss)	經度坐標值(dd:mm:ss)	橢球高	
23 : 26 : 12	120 : 10 : 55	20	
X 坐標值 (m)	Y 坐標值 (m)	Z 坐標值 (m)	
-2,943,620	5,061,300	2,521,170	
圖號	點位來源	所在地	中央子午線
9419-IV-NE	新點 (民國 85 年)	嘉義縣東石鄉	121

表 3-2 參考站 S802 點位資料一覽表

點位資料			
點名	點位編號	等級	施測時間
竹崎地政事務所	S802	二等衛星控制點	86 年 1 月
標石號碼	標石種類	點位狀況	佈設單位
S802	不鏽鋼標	無資料	內政部
TWD97 坐標資料			
縱坐標值 (m)	橫坐標值 (m)		
2,601,201	203,780		
緯度坐標值(dd:mm:ss)	經度坐標值(dd:mm:ss)		橢球高
23:30:48	120:32:50		140
X 坐標值 (m)	Y 坐標值 (m)	Z 坐標值 (m)	
-2,974,170	5,039,610	2,529,020	
圖號	點位來源	所在地	中央子午線
9520-III-SW	新點 (民國 85 年)	嘉義縣竹崎鄉	121

表 3-3 參考站 G060 點位資料一覽表

點位資料			
點名	點位編號	標石種類	佈設單位
新生國小	G060	GPS 鋼棒	經濟部中央地質調查所
TWD97 坐標資料			
縱坐標值 (m)	橫坐標值 (m)	高程 (m)	
2,648,430	187,506	12	
圖號	點位來源	所在地	中央子午線
9420-I	經濟部中央地質調查所	彰化縣二林鎮	121

表 3-4 移動站 Y540 點位資料一覽表

點位資料			
點名	點位編號	所在地	施測時間
Y540	Y540	雲林縣土庫鎮	87 年 1 月
標石號碼	標石種類	點位狀況	佈設單位
86540	石樁	無資料	交通部高速鐵路工程局
TWD97 坐標資料			
縱坐標值 (m)	橫坐標值 (m)	高程 (m)	
2,616,107.779	184,125.295	13.350	

3-2 實驗方法說明

因為軌道誤差、電離層、對流層延遲誤差、多路徑效應和雜訊等因素的影響，使得 GPS 原始觀測資料中存在系統誤差，從而使即時動態 GPS 技術的應用在某種程度上受到了限制。為了保證達到一定的定位精度，在實際應用過程中往往要求移動站與參考站間的距離不能太長（ ≤ 10 公里）。

本次研究中各參考站與移動站的基線長度皆大於 30 公里，而電離層與對流層延遲誤差隨著移動站與參考站間的距離加長而增加，週波未定值之解算成功率則隨距離的增加而降低，使用單一參考站 RTK 進行計算其定位精度勢必受到一定的影響，故本研究使用後處理方式以多個參考站組成之 GPS 網絡的技術來進行模擬動態定位解算。



將四部儀器同時整置於各參考站及移動站上，於 2003 年及 2004 年間進行 3 次連續 6 小時同步接收資料，測試儀器廠牌型式及 GPS 點位如表 3-5 所示，並藉由不同儀器之轉換程式，將各廠牌的原始觀測資料轉換成 RINEX 共通格式，以方便後續的資料處理。

表 3-5 GPS 點位及測試儀器廠牌型式一覽表 (第一次觀測)

點位名稱	接收儀廠牌形式	天線盤形式	觀測時間
G060	Ashtech Z-Surveyor	ASH700700. B	09:00-15:00
S802	Ashtech Z-Surveyor	ASH700700. B	09:00-15:00
S903	Ashtech Z-Surveyor	Novatel 502	09:00-15:00
Y540	Ashtech Z-Surveyor	ASH700700. B	09:00-15:00

表 3-6 GPS 點位及測試儀器廠牌型式一覽表 (第二次觀測)

點位名稱	接收儀廠牌形式	天線盤形式	觀測時間
G060	Leica SR530	Leica AT502	09:00-15:00
S802	Ashtech Z-Surveyor	ASH700700. B	09:00-15:00
S903	Novatel DL-2	Novatel 502	09:00-15:00
Y540	Ashtech Z-Surveyor	ASH700700. B	09:00-15:00

表 3-7 GPS 點位及測試儀器廠牌型式一覽表 (第三次觀測)

點位名稱	接收儀廠牌形式	天線盤形式	觀測時間
G060	JPS ODYSSEY	ODYSSEY_I	09:00-15:00
S802	Ashtech Z-Surveyor	ASH700700.B	09:00-15:00
S903	Leica SR530	Leica AT502	09:00-15:00
Y540	Leica SR530	Leica AT502	09:00-15:00

為求獲得高精確度的分析成果，故每次觀測皆連續接收 6 小時之 GPS 資料，取樣間隔設定為 1 秒，觀測衛星之最低仰角設定為 15 度。使用瑞士伯恩大學天文所所研發出來的 GPS 研究軟體 Bernese 4.2 版進行單一參考站模擬動態定位解算移動站的即時坐標值，並與使用 Trimble Total Control 軟體內的 VRS 後處理模組計算之移動站即時坐標值進行定位精度之比對與分析。

特定結構物變形量監測的部分，本研究使用三維雷射掃描儀對高速鐵路高架橋墩進行掃描，利用雷射掃描儀高達 mm 級的精度，補強即時動態監測系統精度不足之處，並且就三維雷射掃描儀應用於結構物變形監測進行可行性之分析與說明。

3-3 資料處理

在本研究中，單一參考站模擬動態定位由 Bernese 4.2 版學術用軟體進行解算；多參考站模擬動態定位由 Trimble Total Control 的 VRS 後處理模組進行解算；三維雷射掃描儀成果由 RealWorks Survey 進行資料處理。

3-3-1 Bernese 4.2 版軟體介紹及計算流程

在本研究中，模擬動態定位的解算，是採用由瑞士伯恩大學天文研究所（Institute of Astronomy, University of Berne）所研發的 Bernese 4.2 版 GPS 資料處理軟體。3.0 版於 1988 年 3 月撰寫而成，並於 1988 年至 1995 年間經過五次重大的改版，分別是 1988 年 12 月的 3.1 版、1990 年 4 月的 3.2 版、1991 年 5 月的 3.3 版、1993 年 5 月的 3.4 版以及 1995 年 2 月的 3.5 版。而 Bernese 4.0 版於 1996 年 9 月完成改寫，並於 2000 年 8 月再度發表現行的 Bernese 4.2 版。

Bernese 軟體是屬於研究型軟體，以 Fortran 語言撰寫而成，並附有原始程式，可依實際需求而進行修改，亦可自行加入新的模式。該軟體除了一般性 GPS 資料處理功能外，另有 BPE（Bernese Processing Engine）可自動化處理 GPS 資料、計算軌道參數、極運動（Polar Motion）參數、地球轉動（Earth Rotation）參數、推求區域性及全球性之電離層模式、對流層折射附加參數與模擬 GPS 資料之功能。Bernese 軟體的特性如下所示：

1. 對於單頻及雙頻的觀測資料，計算較為快速。
2. 可以長期自動的處理 GPS 聯測網的資料，自動計算坐標。
3. 如果使用 IGS 精密星曆，可以解算出超過 2000 km 長基線的載波相位未定值。
4. 軟體中可針對電離層及對流層延遲效應進行修正，並提供最新的模式供使用者選擇。

5. 可進行天線盤相位中心修正，即使採用不同型號的GPS接收儀及天線盤，亦可進行計算。
6. 可以模擬GPS及GLONASS衛星雙頻的觀測資料。
7. 可計算衛星軌道，並可以求取地球自轉參數。
8. 可進行自由網解算，計算測站坐標。
9. 提供程式原始碼，可自行加入新的模式。

目前該軟體普遍應用於地體動力學、板塊運動、極運動、地殼變形等方面之計算，且常使用在大地測量的資料處理上，此外，亦可進行動態計算及全自動的資料處理，可每天自動處理GPS連續觀測網的衛星追蹤資料【葉大綱、李瓊武，2002】。

GPS衛星測量資料計算處理流程，其概略流程如下【陳春盛、劉美利，2003】：

1. 首先將同時段之原始觀測資料轉換為IGS所定義之標準交換格式（Receiver Independent Exchange Format，簡稱RINEX），再將之轉換成Bernese資料格式。
2. 將廣播星曆（Broadcast Ephemeris）轉成表列格式（Tabular Orbit），再組成Bernese格式軌道，作為資料編修與後處理之用。
3. 進行電碼資料之檢查（Code Check），剔除錯誤之觀測量。
4. 配合廣播星曆之軌道資料以進行單點定位（Single Point Positioning），計算測站坐標及接收儀的時錶改正量。
5. 再組成一次差相位觀測量（Single Difference），即將所有測站組成線性獨立的一次差觀測量。
6. 進一步利用三次差成果以雙站式之L1及L2進行週波脫落（Cycle Slip）之偵

測與補償。

7. 以此觀測量組成二次差進行各種參數估算。

而在處理的過程中，所採用的改正模式略述如下：

1. 對流層折射修正：採用Saastamoinen 對流層修正模式，以海平面標準氣象資料，推求各測點的對流層起始改正值。
2. 極運動改正：採用IERS (International Earth Rotation Service) Bulletin B所公佈之值，將UTC與UT1之差值加以修正，並將坐標值由瞬間極之坐標系修正至J2000坐標系上，以作為軌道計算及坐標轉換之用。
3. 引力位模式：採用GEM-T3 (Goddard Earth Model T3)，以作為軌道計算及坐標轉換之用。
4. 相位未定值求解之過程：先以寬巷觀測量求解整數週波未定值，再將解得寬巷之未定值帶入無電離層效應L3之觀測方程式中，分別求解L1及L2未定值，此時測站坐標與未定值是一併求解，每一次累算只固定一個未定值成整數，直到不再有未定值可固定成整數為止。

3-3-2 以後處理方式進行 VRS 計算

整個 VRS 系統由參考站網絡、控制中心和移動站三部分組成 (如圖 3-1 所示)，每個參考站都配備有一台接收儀、天線、長期電源供應、電腦以及和控制中心連接的網路通訊設備，並安裝了相應的參考站管理軟體，負責本地資料的存取，並對接收儀進行控制等。控制計算中心主要是由強大的電腦設備、可進行 GPS 即時動態解算的軟體和 Ethernet 路由器等組成，主要完成以下幾項任務：
原始資料的輸入和質量檢核；RINEX 資料的存儲和壓縮；天線相位中心改正(IGS

模型)；系統誤差的模式建立和估計；為移動站產生“虛擬參考站”資料；生成“虛擬參考站”RTCM 資料流程；向移動站傳輸 RTCM 資料。移動站可如同傳統 RTK 一般進行動態定位，或是固定不動於特定位置作為長期監測使用，需使用具有 RTK 功能的 GPS 接收儀(能接收標準格式修正值)，利用 GSM 行動電話來進行資料的傳輸。

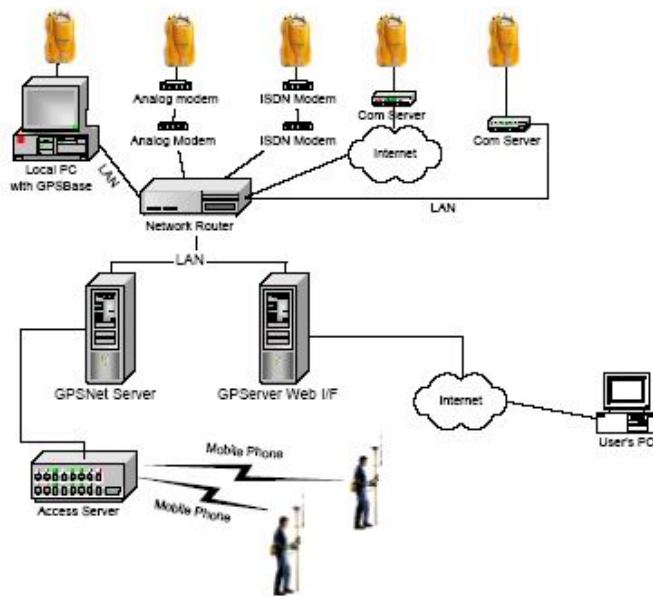


圖 3-1 動態 GPS 架構

因為參考站與移動站的作業範圍超過 30 公里(圖 3-2)，於是本研究就觀測資料部分以後處理的方式來進行 VRS 的計算，將原本即時動態系統內經由控制中心和通訊設備處理的部分，改以人工後處理的方式來模擬即時動態 GPS 定位。利用參考站的觀測資料進行網形平差計算，並求解各觀測基線之二次差整數週波未定值，由於各參考站間坐標值已知，當獲得正確之整數週波未定值後，即可推求其相應之系統誤差改正量。再根據虛擬參考站位置進行系統誤差量之內差計算，以求得該位置之虛擬觀測資料。

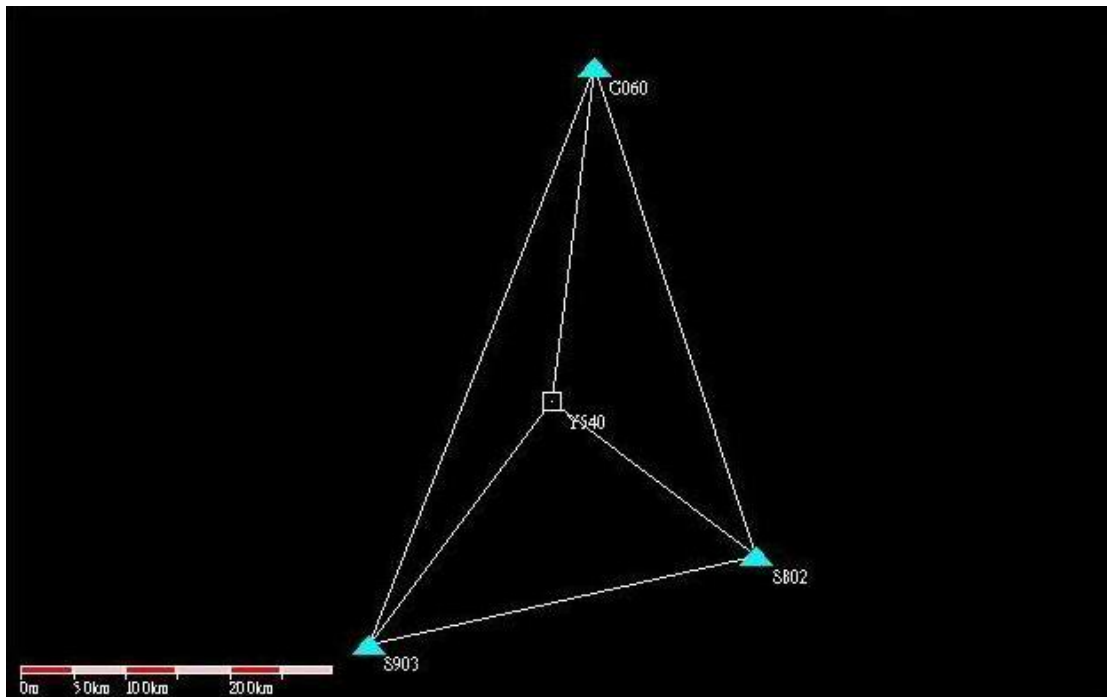


圖 3-2 GPS 網絡和虛擬參考站點位分佈

首先將不同廠牌接收儀所收到同時段之原始觀測資料皆轉換為 IGS 所定義之標準交換格式 (Receiver Independent Exchange Format, 簡稱 RINEX)。

再使用 Trimble Total Control 軟體內的 VRS 後處理模組計算系統誤差模型並內插出虛擬參考站上的系統誤差改正量及產生虛擬觀測數據(虛擬參考站觀測資料如圖 3-3 所示)。VRS 資料品質之門檻設定值為： $RMS < 100\text{ mm}$ 、三角形閉合差 $< 20\text{ mm}$ (RMS 表示參考站與 VRS 站間各基線之均方根)。

2.1		OBSERVATION DATA				M (MIXED)			RINEX VERSION / TYPE	
Trimble Terrasat	RINEX Generator					06-Jul-04 20:25:05			PGM / RUN BY / DATE	
VRSy									MARKER NAME	
									MARKER NUMBER	
									OBSERVER / AGENCY	
	Micro Z					ZC00			REC # / TYPE / VERS	
28800						LOCAL TIME OFFSET IN SEC			COMMENT	
0									RCV CLOCK OFFS APPL	
	Trimble Default								ANT # / TYPE	
-2954137.7800	5044417.5100	2542559.6100							APPROX POSITION XYZ	
0.0000	0.0000	0.0000							ANTENNA: DELTA H/E/N	
1	1	0							WAVELENGTH FACT L1/2	
7	C1	P1	P2	L1	L2	S1	S2	# / TYPES OF OBSERV		
2003	11	9	1	0	0.000000	GPS		TIME OF FIRST OBS		
END OF HEADER										
03	11	9	1	2	20.0000000	0	5G18G30G25G05G14			
22465155.732	22465154.159	22465159.573				6390319.55001	4955737.49501			
30.000	30.000									
20503455.103	20503454.626	20503457.346				5285506.08701	4107857.93001			
30.000	30.000									
22494628.280	22494627.300	22494631.305				4117655.01901	3206834.13901			
30.000	30.000									
23034242.993	23034241.563	23034246.233				6170494.14001	4784306.55901			
30.000	30.000									
21198254.253	21198253.452	21198255.859				-769616.54001	-600055.83901			
30.000	30.000									
03	11	9	1	2	40.0000000	0	5G18G30G25G05G14			
22477897.222	22477895.662	22477901.050				6457275.43701	5007910.78301			
30.000	30.000									
20508101.302	20508100.867	20508103.552				5309921.95101	4126883.25601			
30.000	30.000									
22490862.208	22490861.207	22490865.251				4097864.06201	3191412.60701			
30.000	30.000									

圖 3-3 VRS 觀測資料 RINEX 格式檔頭

當求得虛擬參考站的虛擬觀測量後和移動站的觀測量組成二次差分觀測量，因為兩站間的距離很短，中間的對流層和電離層誤差是高相關性可經由組二次差觀測量時消除，此時利用 OTF 相位未定值解算法進行短基線動態定位【楊名，1997】，可以快速的解算出整週波未定值和移動站每一時刻的坐標值。主要使用瑞士伯恩大學天文研究所研發的 Bernese 4.2 軟體內的模擬動態定位功能進行移動站坐標的求解。