

第四章 GPS 相位觀測資料求解 CHAMP 衛星軌道

4-1 GPS 定位觀測

GPS 訊號從產生、傳送到接收充滿著許多不確定性，影響訊號的原因主要可分為三類：(1)與 GPS 衛星有關的誤差：軌道誤差、衛星鐘差。(2)訊號傳播的誤差：對流層延遲誤差、電離層延遲誤差、多路徑效應誤差(3)接收設備有關的誤差：天線相位中心位置偏移、週波未定值與週波脫落、接收器鐘差(圖 4-1)。對於降低星載 GPS 訊號精度的因素，我們必須先行預處理步驟，將訊號做一適當的改善，才能進一步達成精密定軌(胡建國等，2003)。

GPS 衛星在距離的量測主要的測定方法有虛擬距離觀測與載波相位觀測兩種，由於載波相位觀測之精度遠高於虛擬距離觀測(曾清涼、儲慶美，1999)，所以本文選擇利用 GPS 載波相位觀測資料解算 CHAMP 衛星軌道(朱聖源、施闢，2003)。

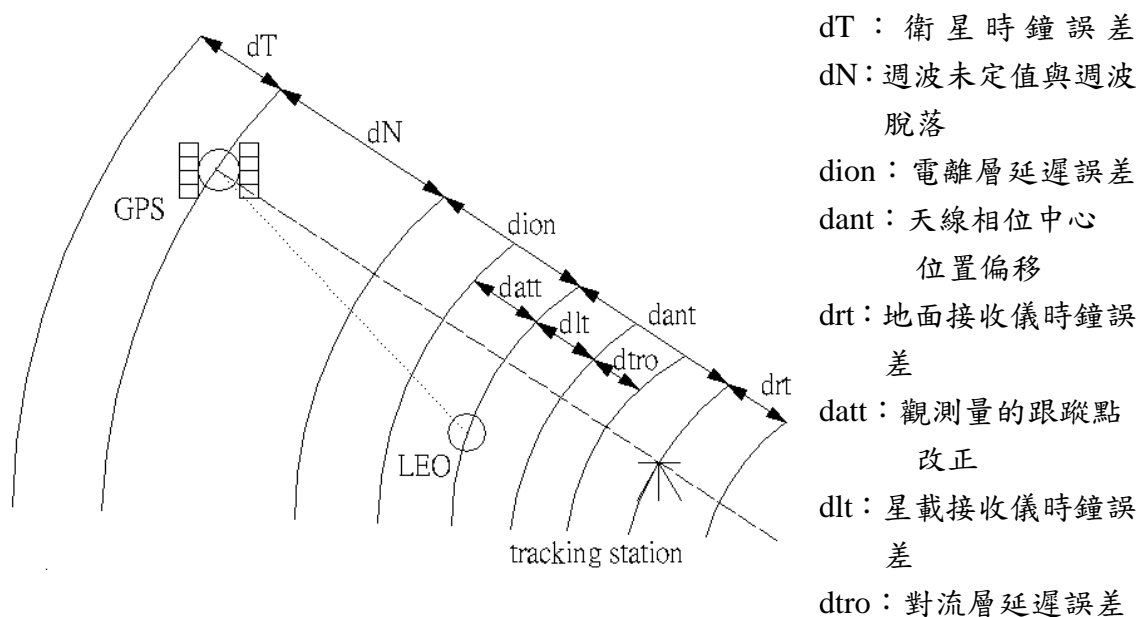


圖 4-1 載波相位觀測誤差

4-2 CHAMP 及 IGS 之 GPS 觀測數據

CHAMP 衛星上有高精度的 GPS 接收儀裝置，用於低軌衛星的連續跟蹤，對軌道擾動進行準確、連續地監測，此資料可直接由德國 GFZ ISDC(Information System and Data Center) <http://isdc.gfz-potsdam.de/champ/welcome.html> 下載得之。此章所使用的 CHAMP 星載 GPS 數據日期為 2002 年 11 月 18 至 20 日(表 4-1)。

表 4-1 本文使用之 CHAMP 星載 GPS 數據

日期	檔案名稱
2002-11-18	CH-OG-1-SST+2002_322_00_M.9.rnx
2002-11-19	CH-OG-1-SST+2002_323_00_M.9.rnx
2002-11-20	CH-OG-1-SST+2002_324_00_M.9.rnx

此外也加入了地面 IGS 追蹤站的 GPS 觀測數據，IGS 認為持續地支援低軌衛星(LEO)是它的一項重要任務方面，因此專門建立了 LEO 工作組制定工作計畫並提出一些建議：(1) 建立 IGS 為追蹤 LEO 的相應標準化地面站網，以滿足 LEO 的要求(2) IGS 以短於 24 小時速率，對這些地面站網的資料進行傳輸和處理，提供 LEO 所需要的資料和產品。(3) 為地面站網的 GPS 1 Hz 採樣率資料建立相應的 GPS 資料交換格式。(4) 瞭解調查 IGS 精密軌道對 LEO 平臺上 GPS 資料獲取的作用和意義。本文選擇了 30 個 IGS 觀測站(圖 4-2)，收集其相關的訊息有編號、所在位置、經度、緯度(表 4-2)，還有測站的天線跟接收器型號(表 4-3)，這些訊息有利於 GPS Prep.進行相位中心的改正與 GEODYN 測站參數的設定。

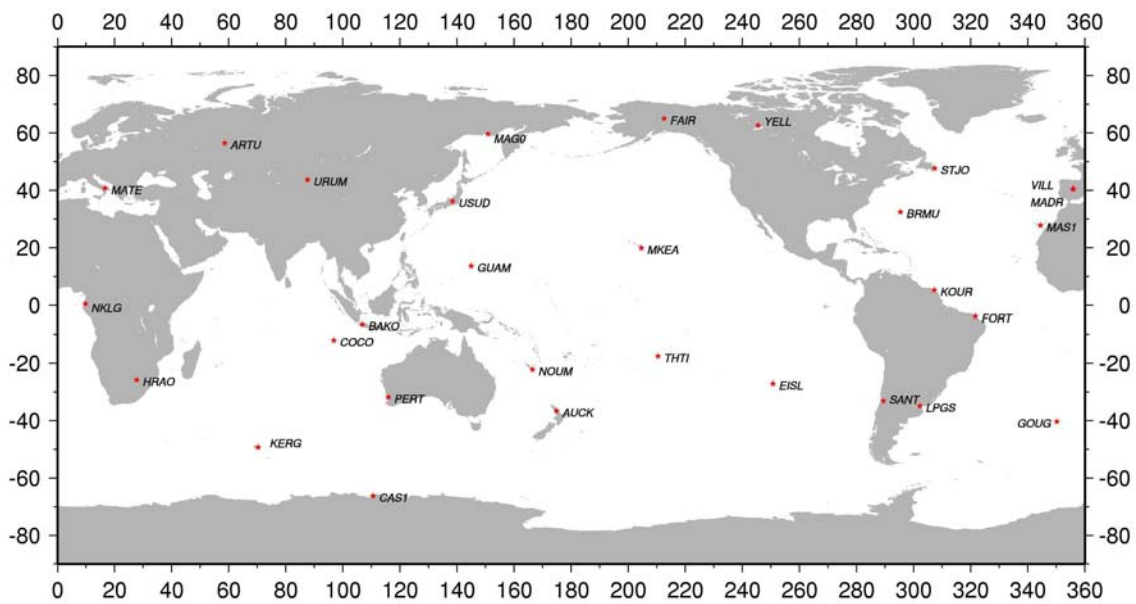


圖 4-2 30 個 IGS 觀測站全球分佈

表 4-2 本文使用之 IGS 觀測站的相關訊息

編號	站名	DOMES	位置	近似經度 (° ' ")	近似緯度 (° ' ")	近似橢球高 (m)
1	ARTU	12362M001	Russian Federation	6 55 14.0	43 45 17.0	1319.3
2	AUCK	50209M001	New Zealand	174 50 03.7	-36 36 10.2	132.7
3	BAKO	23101M002	Indonesia	106 50 56.0	-6 29 27.7	158.2
4	BRMU	42501S004	U.K.	295 18 13.4	32 22 13.4	-11.6
5	CASI	66011M001	Antarctica	110 31 10.9	-66 17 00.0	22.5
6	COCO	50127M001	Australia	96 50 02.2	-12 11 18.0	-35.3
7	EISL	41703M003	Chile	250 37 00.1	-27 08 53.5	114.5
8	FAIR	40419S001	USA	212 30 02.7	64 58 40.8	27
9	FORT	41602M001	Brazil	321 34 27.7	-3 52 38.8	19.5
10	GOUG	30608M001	dependent territory of the U.K.	350 07 09.4	-40 20 55.8	81.3
11	GUAM	50501M002	Guam	144 52 06.1	13 35 21.5	201.9
12	HRAO	30302M004	South Africa	27 41 13.1	-25 53 24.3	1414.2
13	KERG	91201M002	Kerguelen Islands	70 15 19.8	-49 21 05.2	73

14	KOUR	97301M210	French Guyana	307 11 38.5	5 15 07.8	-25.8
15	LPGS	41510M001	Argentina	302 04 03.7	-34 54 24.2	29.9
16	MADR	13407S012	Spain	355 45 01.2	40 25 44.9	829.5
17	MAG0	12354M001	Russian Federation	150 46 12.0	59 34 32.7	361.8
18	MAS1	31303M002	Spain	344 22 00.2	27 45 49.4	197.2
19	MATE	12734M008	ITALY	16 42 16.0	40 38 56.8	535.6
20	MKEA	40477M001	USA	204 32 37.1	19 48 04.8	3754.7
21	NKLG	32809M002	Gabon	9 40 19.6	21 14.0	31.6
22	NOUM	92701M003	FRANCE	166 24 36.7	-22 16 11.4	83.1
23	PERT	50133M001	Australia	115 53 06.8	-31 48 07.0	12.8
24	SANT	41705M003	Chile	289 19 53.1	-33 09 01.0	723.1
25	STJO	40101M001	CANADA	307 19 20.1	47 35 42.8	152.8
26	THTI	92201M009	Tahiti French Polynesia	210 23 36.8	-17 34 37.4	98
27	URUM	21612M001	China	87 36 02.3	43 48 28.6	858.8
28	USUD	21729S007	Japan	138 21 43.3	36 07 59.1	1508.6
29	VILL	13406M001	Spain	356 02 52.8	40 26 36.9	647.4
30	YELL	40127M003	CANADA	245 31 09.4	62 28 51.2	180.9

表 4-3 本文使用之 IGS 觀測站於 ITRF2000 之座標(STAX、STAY、STAZ)、速度 (VELX、VELY、VELZ)

編號	站名	類型	位置,速度(m,m/y)	接收儀型號	天線型號
1	ARTU	STAX	1843956.907	ASHTECH Z-XII3	ASH700936D_M
		STAY	3016203.039		
		STAZ	5291261.706		
		VELX	-7.1347032E-10		
		VELY	3.6466261E-10		
		VELZ	4.4393709E-11		
2	AUCK	STAX	-5105681.003	ROGUE SNR-8000	AOAD/M_T
		STAY	461564.048		
		STAZ	-3782181.752		
		VELX	-8.0225774E-10		
		VELY	-3.8051750E-11		
		VELZ	9.1324201E-10		

3	BAKO	STAX	-1836968.965	TRIMBLE 4000SSE	TRM14532.0
		STAY	6065617.193		
		STAZ	-716257.776		
		VELX	-6.4370878E-10		
		VELY	-4.9150178E-10		
		VELZ	-1.5220700E-10		
4	BRMU	STAX	2304703.582	ROGUE SNR-8000	AOAD/M_T
		STAY	-4874817.178		
		STAZ	3395186.895		
		VELX	-4.0588534E-10		
		VELY	-3.8051750E-11		
		VELZ	2.1245561E-10		
5	CAS1	STAX	-901776.162	AOA ICS-4000Z	AOAD/M_T
		STAY	2409383.419		
		STAZ	-5816748.420		
		VELX	3.1709792E-12		
		VELY	-2.4416540E-10		
		VELZ	-2.3148148E-10		
6	COCO	STAX	-741950.006	AOA ICS-4000Z	AOAD/M_T
		STAY	6190961.630		
		STAZ	-1337768.586		
		VELX	-1.3825469E-09		
		VELY	2.2196854E-10		
		VELZ	1.5188990E-09		
7	EISL	STAX	-1884951.760	ROGUE SNR-8000	AOAD/M_T
		STAY	-5357595.877		
		STAZ	-2892890.504		
		VELX	2.0230847E-09		
		VELY	-6.0248605E-10		
		VELZ	-2.1562659E-10		
8	FAIR	STAX	-2281621.431	ASHTech UZ-12	AOAD/M_T
		STAY	-1453595.793		
		STAZ	5756961.909		
		VELX	-7.0395738E-10		
		VELY	-1.1415525E-10		
		VELZ	-2.9173009E-10		

9	FORT	STAX	4985386.627	ROGUE SNR-8000	AOAD/M_TA_NGS
		STAY	-3954998.587		
		STAZ	-428426.482		
		VELX	-4.1222730E-11		
		VELY	-1.3952308E-10		
		VELZ	3.8368848E-10		
10	GOUG	STAX	4795578.541	TRIMBLE 4000SSI	TRM29659.00
		STAY	-835299.537		
		STAZ	-4107634.065		
		VELX	4.4393709E-10		
		VELY	5.7394723E-10		
		VELZ	4.8198884E-10		
11	GUAM	STAX	-5071312.8	ROGUE SNR-8000	AOAD/M_T
		STAY	3568363.492		
		STAZ	1488904.316		
		VELX	1.3318113E-10		
		VELY	3.3295282E-10		
		VELZ	9.5129376E-11		
12	HRAO	STAX	5085352.489	ROGUE SNR-8000	AOAD/M_T
		STAY	2668395.670		
		STAZ	-2768731.676		
		VELX	-3.8051750E-11		
		VELY	6.2785388E-10		
		VELZ	5.0418569E-10		
13	KERG	STAX	1406337.336	ROGUE SNR-8000	AOAD/M_T
		STAY	3918161.100		
		STAZ	-4816167.355		
		VELX	-1.6806190E-10		
		VELY	8.8787418E-11		
		VELZ	-1.8391679E-10		
14	KOUR	STAX	3839591.421	ROGUE SNR-8C	AOAD/M_T
		STAY	-5059567.553		
		STAZ	579956.935		
		VELX	-8.5616438E-11		
		VELY	-1.2366819E-10		
		VELZ	3.8685946E-10		

15	LPGS	STAX	2780102.969	ROGUE SNR-8000	AOAD/M_T
		STAY	-4437418.863		
		STAZ	-3629404.583		
		VELX	7.9274480E-11		
		VELY	-2.2831050E-10		
		VELZ	2.7587519E-10		
16	MADR	STAX	4849202.453	ASHTECH Z-XII3	AOAD/M_T
		STAY	-360329.122		
		STAZ	4114913.104		
		VELX	-2.4099442E-10		
		VELY	6.2151192E-10		
		VELZ	4.0905632E-10		
17	MAG0	STAX	-2825810.143	ASHTECH Z-XII3	ASH700936D_M
		STAY	1581232.927		
		STAZ	5477005.540		
		VELX	-7.5786403E-10		
		VELY	-6.0248605E-11		
		VELZ	-4.6296296E-10		
18	MAS1	STAX	5439192.265	ASHTECH Z-XII3	AOAD/M_T
		STAY	-1522055.629		
		STAZ	2953454.706		
		VELX	-5.7039776E-11		
		VELY	5.6406001E-10		
		VELZ	4.8800697E-10		
19	MATE	STAX	4641949.707	TRIMBLE 4000SSI	TRM29659.00
		STAY	1393045.271		
		STAZ	4133287.343		
		VELX	-5.9614409E-10		
		VELY	6.0565703E-10		
		VELZ	4.1539827E-10		
20	MKEA	STAX	-5464105.097	ASHTECH Z-XII3	AOAD/M_T
		STAY	-2495166.895		
		STAZ	2148290.939		
		VELX	-4.2808219E-10		
		VELY	2.0008879E-09		
		VELZ	9.3860984E-10		

21	NKLG	STAX	6287385.842	TRIMBLE 4000SSI	TRM29659.00
		STAY	1071574.385		
		STAZ	39132.745		
		VELX	-2.4099442E-10		
		VELY	4.3759513E-10		
		VELZ	5.6126332E-10		
22	NOUM	STAX	-5739971.535	TRIMBLE 5700	TRM41249.00
		STAY	1387563.663		
		STAZ	-2402123.551		
		VELX	-6.6590563E-10		
		VELY	-4.4710807E-10		
		VELZ	1.3159564E-09		
23	PERT	STAX	-2368686.968	ASHTECH Z-XII3	AOAD/M_T
		STAY	4881316.517		
		STAZ	-3341796.161		
		VELX	-1.5315830E-09		
		VELY	3.2026890E-10		
		VELZ	1.5537798E-09		
24	SANT	STAX	1769693.337	ASHTECH Z-XII3	AOAD/M_T
		STAY	-5044574.148		
		STAZ	-3468321.048		
		VELX	7.0078640E-10		
		VELY	-1.8708777E-10		
		VELZ	3.5197869E-10		
25	STJO	STAX	2612631.229	ROGUE SNR-8C	AOAD/M_B
		STAY	-3426807.026		
		STAZ	4686757.805		
		VELX	-5.4540842E-10		
		VELY	-9.5129376E-11		
		VELZ	2.4733638E-10		
26	THTI	STAX	-5246415.202	ROGUE SNR-8000	AOAD/M_T
		STAY	-3077260.424		
		STAZ	-1913842.475		
		VELX	-1.3476662E-09		
		VELY	1.4840183E-09		
		VELZ	9.2275495E-10		

27	URUM	STAX	193030.873	ROGUE SNR-8000	AOAD/M_T
		STAY	4606851.324		
		STAZ	4393311.421		
		VELX	-9.7031963E-10		
		VELY	-1.7440386E-10		
		VELZ	-9.5129376E-12		
28	USUD	STAX	-3855262.998	ASHTECH Z-XII3	AOAD/M_T
		STAY	3427432.519		
		STAZ	3741020.362		
		VELX	-1.3635211E-10		
		VELY	1.5220700E-10		
		VELZ	-1.6171994E-10		
29	VILL	STAX	4849833.786	ASHTECH Z-XII3	AOAD/M_T
		STAY	-335049.186		
		STAZ	4116014.840		
		VELX	-3.1392694E-10		
		VELY	6.3419584E-10		
		VELZ	3.5197869E-10		
30	YELL	STAX	-1224452.501	AOA BENCHMARK ACT	AOAD/M_T
		STAY	-2689216.107		
		STAZ	5633638.279		
		VELX	-6.5956367E-10		
		VELY	-1.3952308E-10		
		VELZ	-2.8538813E-11		

4-3 重力場模型

表 4-4 簡介自 1995 年到 2003 年所發展的幾種重力場模型(Lemoine et al., 2003)，於本論文主要使用的重力場模型為 EGM96 與 GGM01S。

EGM96 為美國太空總署(NASA Goddard Space Flight Center)、俄亥俄州立大學(Ohio State University)和美國國防製圖局(National Imagery and Mapping Agency)共

同合作發展出完全達 360 階的全球重力場模型，包含的重力資料有地面重力測量資料、海洋重力測量資料、衛星測高重力資料等(Lemoine et al., 1998)。而 GGM01S 為 GRACE 衛星利用 111 天(資料日期為 2002 年 5 月到 11 月間)K 波段距離變化率、姿態角和加速度的資料整合得完全達 120 階的重力場模型(GRACE Home Page)。

圖 4-3、圖 4-4 顯示 EGM96 與 GGM01S 展開至 70 階重力場模型解析度為 300km 之大地起伏、重力異常誤差，首先見圖 4-3 可知 EGM96 於大地起伏的最大誤差值可達 38cm 以上，而 GGM01S 的誤差值皆小於 2cm；見圖 4-4 同樣知 EGM96 於重力異常的最大誤差高於 3mgal，而 GGM01S 誤差值皆小於 0.2mgal(Tapley and Reigber, 2004)。

表 4-4 重力模型介紹(Lemoine et al., 2003)

Gravity Model	Max. degree & order	Description
JGM3(1995)	70*70	Update to JGM-2 with TOPEX/GPS, stella & other satellite data
EGM96(1996)	360*360	Model with new satellite-tracking data altimetry and surface gravity
DGME04(1996)	70*70	EGM96 tuned for ERS (by TU Delft)
PGS7727(2000)	70*70	EGM96 tuned for GFO (by GSFC)
GRIM5C1(2000)	120*120	Pre-champ model from GRGS/GFZ
EIGEN1S(2001)	115*115	~88 days of CHAMP + other satellites
EIGEN2(2002)	140*140	CHAMP-only model, ~6 months of data
EIGEN3P(2003)	140*140	CHAMP-only model, ~3 years of data
OSU03A(2003)	70*70	CHAMP-only model (energy method, OSU)
PGS7772P24(2003)	99*99	CHAMP-only model, ~87 days of data
PGS777B(2003)	110*110	CHAMP(87 days) + other satellites, including SLR sats, FLO, Jason, Envisat
GGM01S(2003)	120*120	grace satellite-only model
GGM01C(2003)	200*200	grace combination model

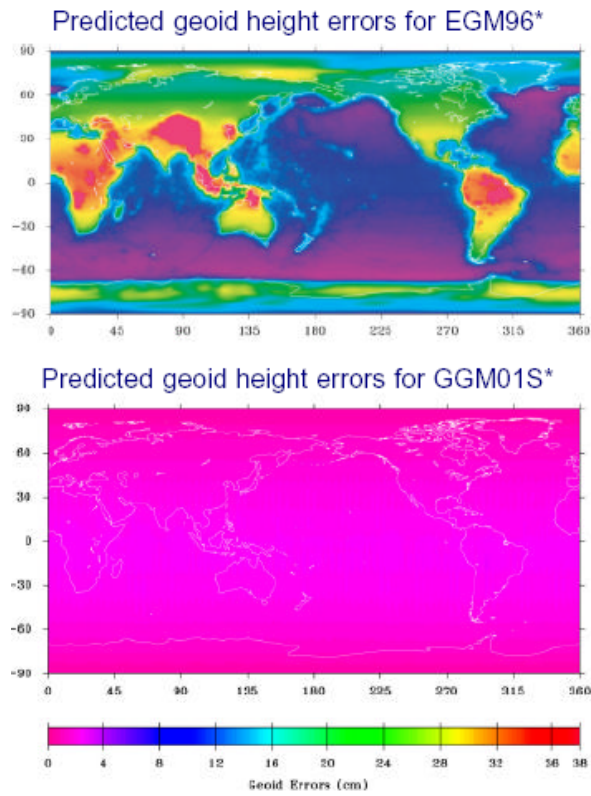


圖 4-3 EGM96 與 GGM01S 於大地起伏的誤差估計(Tapley and Reigber, 2004)

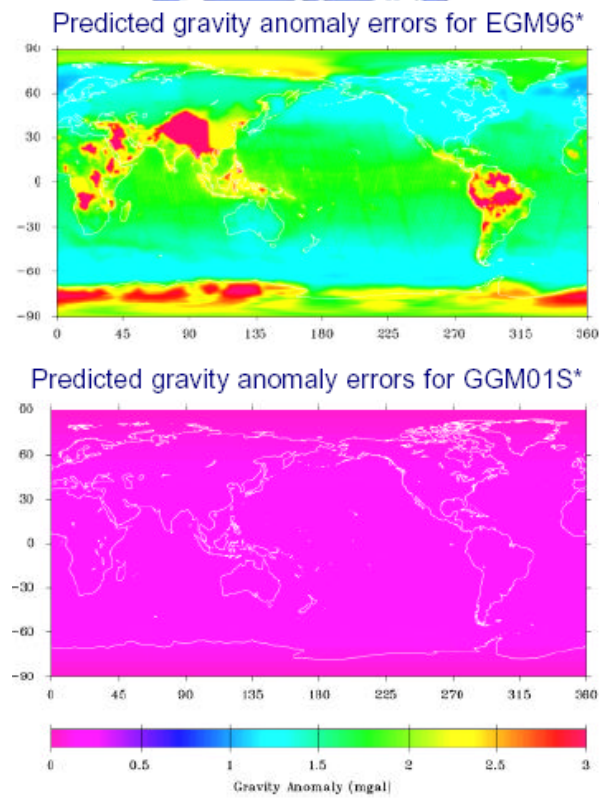


圖 4-4 EGM96 與 GGM01S 於重力異常的誤差估計(Tapley and Reigber, 2004)

4-4 GPS 相位資料解算 CHAMP 衛星軌道程序

圖 4-5 為 GPS 相位資料解算 CHAMP 衛星軌道的步驟流程，此步驟是參照 NASA 所製定的整合 GPS Prep. 和 GEODYN 操作手冊(Rowlands, 2004)，首先：

1. 輸入低軌衛星預估軌道(CHAMP Predict Orbit)，利用 GEODYN 求得 CHAMP 參考軌道和軌道弧參數(CHAMP 軌道初始值、經驗加速度、空氣阻力係數)。
2. 將 CHAMP 參考軌道檔 fort.30 輸入至 GPS Prep.，且在輸出設定檔 setup.gdf 分別選擇 TYPE85(IGS 觀測站、GPS 衛星與星載 GPS 接收站組成之相位雙差觀測量，圖 3-19)、TYPE87(IGS 觀測站與 GPS 衛星組成之相位雙差觀測量，圖 3-21)。
3. 輸入 GPS 導航資料(Navigation Data)，以 GPS Prep.輸出 GPS 軌道 pcedata.dat。
4. 將 GPS 軌道檔案 pcedata.dat 輸入 GEODYN 並求得 GPS 軌道弧的參數(GPS 軌道初始值、經驗加速度、空氣阻力係數)。
5. 步驟 2 的 TYPE87 輸出檔 observ.dat 修改檔名為 fort.41 為 GEODYN 輸入檔，此時 GEODYN 的 GPS 軌道弧參數是採用步驟 4 所輸出的修正值，以 GEODYN 求得 IGS 觀測站的鐘差修正值。
6. 步驟 2 的 TYPE85 輸出檔 observ.dat 修改檔名為 fort.41 為 GEODYN 輸入檔，GEODYN 的 GPS 軌道弧參數設定值與步驟 5 同且加入 IGS 追蹤站的鐘差修正值，而 CHAMP 的軌道弧參數採用步驟 1 所輸出的修正值，最後 GEODYN 解得 CHAMP 軌道。

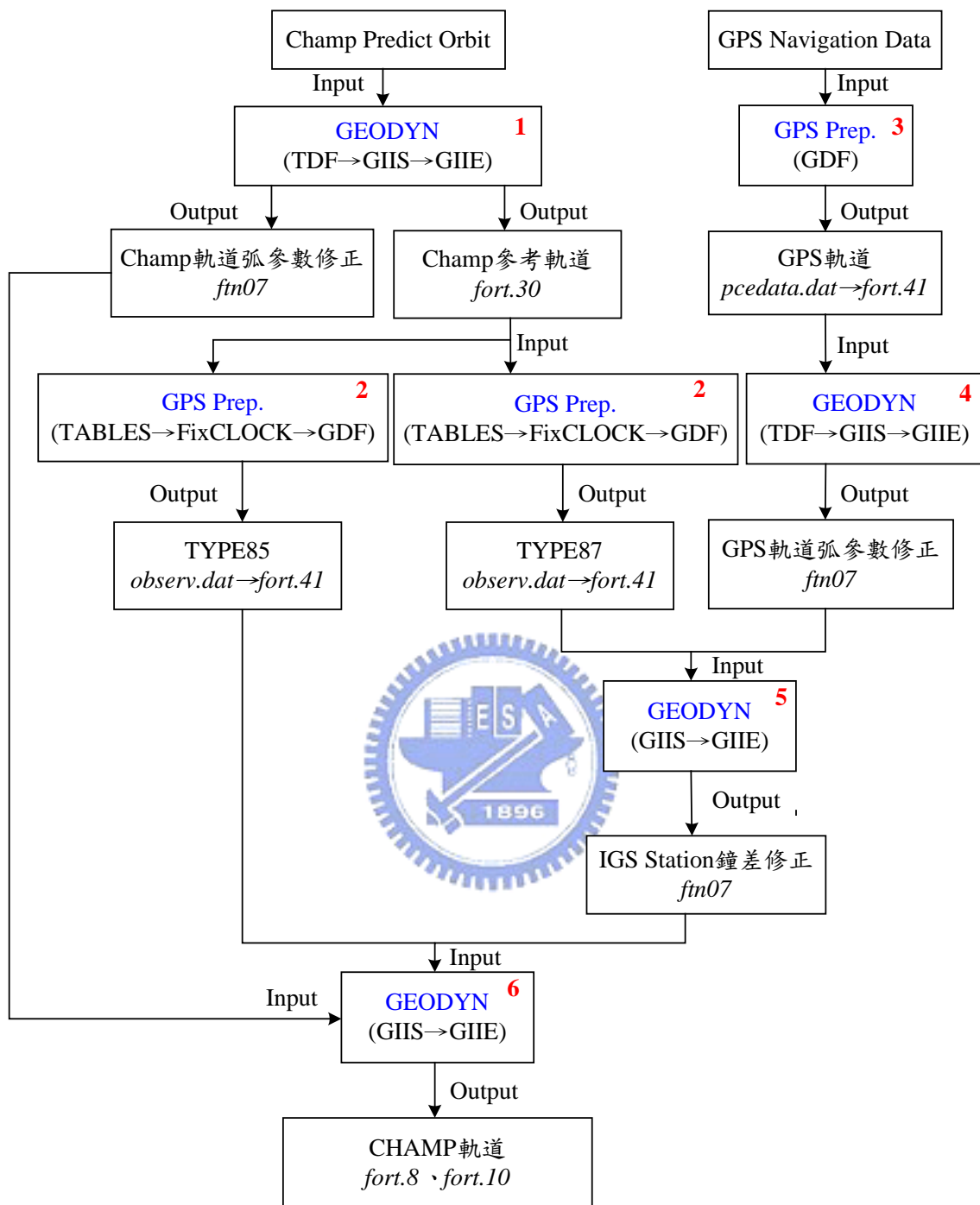


圖 4-5 GPS 相位資料求解 CHAMP 衛星軌道流程圖

GEODYN 的參數設定檔 ftn05 為求解 CHAMP 軌道的關鍵，表 4-5 為 CHAMP 與 GPS 衛星於全球參數的設定，其中以 GGM01S 為參考重力場且考慮至 120 階。另因結合 GPS Prep.與 GEODYN 解算 CHAMP 衛星軌道時涉及 GPS 衛星和 CHAMP 衛星，所以軌道弧的參數設定(表 4-6)需視不同衛星而異。

表 4-5 CHAMP、GPS 衛星之 Global 參數設定

Model(Global)	Reference
慣性系	J2000
行星星曆	JPL DE200
參考重力場	GGM01S
極移	IERS
參考橢球	$a_e = 6378136.3m$ $1/f = 298.257$
多體攝動	太陽、月亮、金星、火星、水星、土星、 木星、天王星、海王星、冥王星
海潮、固體潮、極潮	EGM96
GM_e	$396800.4415km^3/s^2$
大氣模型	MSIS Empirical Drag model
光速	$299792458.0ms^{-1}$

表 4-6 CHAMP、GPS 衛星之 Arc 參數設定

Model(Arc)		Reference
CHAMP	地球輻射	ALBEDO
	太陽輻射係數	1.0
	經驗加速度	9 參數模型/2hour
	空氣阻力係數	1 係數值/1hour
GPS	地球輻射	ALBEDO
	太陽輻射係數	ROCK4
		1.0/6hour
	經驗加速度	5 參數模型/6hour
空氣阻力係數	Default	

4-5 CHAMP 定軌結果

圖 4-6、圖 4-7、圖 4-8 給出 GFZ 所解算之 CHAMP 精密軌道(Postprocessed Science Orbit, PSO)與本文解得之 CHAMP 軌道於 X、Y、Z 三方向之差異，其差異之最大值於三方向分別是 5.45m、9.42m、10.6m。

表 4-7 為 GFZ 軌道與本文軌道於 X、Y、Z 三方向差異量之統計，由均方根值(Root Mean Square, RMS)來看 X 方向為 1.454m、Y 方向為 3.467m、Z 方向為 2.925m，整體而言解算軌道的精度為公尺量級，最大差異量為 Y 方向的 3.467m，推測精度不佳最主要原因可能是於解算 CHAMP 軌道時，同時也求解 GPS 衛星軌道，如能在 GEODYN 計算中加入精密星曆，即把 GPS 衛星軌道當作已知，應能大幅提升 CHAMP 軌道的精度。

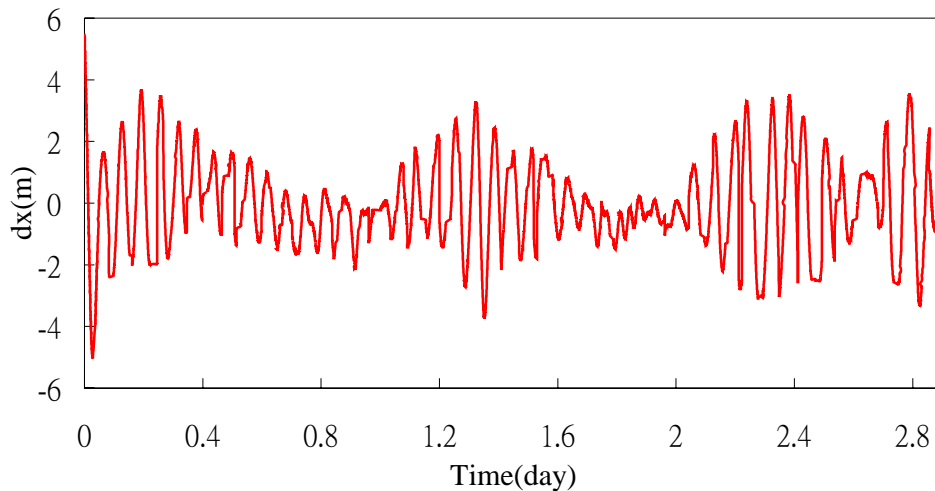


圖 4-6 GFZ 軌道與本文解算軌道於 X 方向之差異圖 單位：m

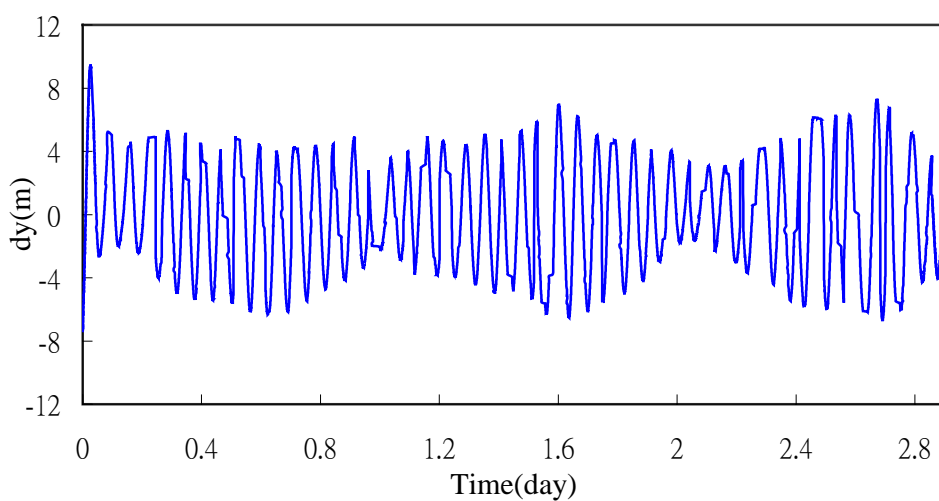


圖 4-7 GFZ 軌道與本文解算軌道於 Y 方向之差異圖 單位：m

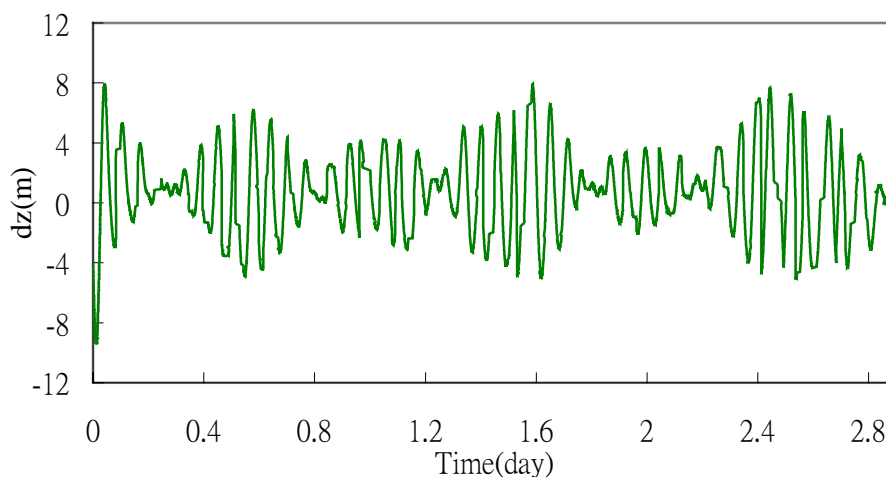


圖 4-8 GFZ 軌道與本文解算軌道於 Z 方向之差異圖 單位：m

表 4-7 GFZ 軌道與本文解算軌道差異量之統計 單位：m

	MEAN	STDEV	MAX	MIN	RMS
dx	0.023	1.454	5.450	-5.000	1.454
dy	-0.124	3.465	9.420	-7.370	3.467
dz	0.756	2.826	10.600	-9.360	2.925

最後結果知所解算的 CHAMP 軌道精度不甚理想，下列歸納出幾點可能之原因：

1. 本文於 CHAMP 軌道的解算使用了 IGS 追蹤站觀測資料、GPS 導航資料、星載 GPS 相位資料，建議再加入 SLR(Satellite Laser Ranging)的觀測資料來提升軌道精度。
2. 解算 CHAMP 軌道所採用之觀測資料品質不一致，應將劣質資料刪除不加入積分運算。
3. 於組成 TYPE85、TYPE87 之雙差相位觀測量時，GPS 導航資料部份使用的是廣播星曆，可考慮 GEODYN 解算軌道時直接採用 GPS 精密星曆來進行校正。
4. GEODYN 的 CHAMP 衛星定軌參數設定檔中，經驗係數的求解對軌道精度有相當之影響，評估硬體設備與解算時間目前之設定如表 4-6 所示，於後序的研究中建議此部份可增加經驗係數的解算。

