內政部國土測繪中心

微波輻射計資料品質校正作業

期末報告

廠商名稱:國立中央大學

主 持 人: 劉說安 教授

共同主持人:中央大學: 顏翔崑 博士

清雲大學: 葉大綱 副教授

工作人員: 黃婉綺、王傳盛、王彥鈞

日期: 100 年 5 月 30 日

第1章 前言	1
第2章研究方法	4
2.1 GPS 觀測方程式	5
2.2 GPS 相對定位理論	7
2.2.1 GPS 載波相位一次差觀測方程式	12
2.2.2 GPS 載波相位二次差觀測方程式	14
2.2.3 GPS 載波相位三次差觀測方程式	15
2.3 對流層延遲分析	16
第3章 微波輻射計原理及在測量定位方面的應用	
3.1 WVP-1500 輻射計	22
3.2 微波輻射計原理	23
3.3 Tipping Curve 校正法	32
3.4 輻射計在測量定位方面的應用	
第4章 微波輻射計資料校正處理作業程序草案與校正程式.	43
4.1 微波輻射計資料校正處理作業程序草案	43
4.2 系統自動校正程式開發	44
4.3 後處理程序開發	46
4.4 研擬校正資料自動化供應程序及作業流程	55
第5章 輻射計校正程式使用手冊	
5.1 系統自動校正程式使用手冊	60
5.2 輻射計資料管理系統	62
5.3 輻射計資料配送系統使用者手冊	74
第6章 輻射計觀測及基線計算	77
6.1 輻射計觀測說明	77
6.2 基線計算	85
第7章 校正過去觀測資料的可行性評估與研究	96
7.1 Tnd 值校正	96
7.2 Level 1 亮溫資料計算	102

目錄

7.3 1	Level 2 資料計算比較	107
第8章	研究結果	120
第9章	建議事項	122
參考文。	獻	124
附錄一	輻射計自動校正程式	133
附錄二	輻射計後處理程式	137
附錄三	教育訓練公文	154
附錄四	會議結論	159
附錄五	國外期刊審查申請表	170
附錄六	發表之學術期刊論文	171

圖目錄

圖	2.1	GPS 衛星相對定位8
圖	2.2	地面一次差相位觀測幾何關係13
圖	2.3	GPS 載波相位二次差觀測幾何關係14
圖	2.4	GPS 載波相位三次差觀測幾何關係15
圖	2.5	Snell's Law (Kleijer, 2004)17
圖	3.1	WVP-1500 輻射計和 GPS 接收器在台北市立美術館樓頂
	進	行同步觀測的情形。23
圖	3.2	不同頻率下不同大氣成份的吸收係數
圖	3.3	兩台輻射計在 26.235 GHz 頻道量到的亮溫值
圖	3.4	兩台輻射計在五個頻道的亮溫差值
圖	3.5	校正後兩台輻射計在 26.235 GHz 頻道量到的亮溫值31
圖	3.6	校正後兩台輻射計在五個頻道的亮溫差值32
圖	4.1	輻射計資料流程圖43
圖	4.2	墾丁(KDNM)輻射計頻率 22.235GHz(Ch1)和
	23	3.035GHz(Ch1)在民國 99 年 11 月 13 日到 17 日 Tnd 值的
	變	化趨勢和新舊平均 Tnd 值。45
圖	4.3	跟新前和跟新後部分 mp.cfg 檔,只有最右邊 Tnd 值有變
	動	• •

圖	4.4 上為輻射計產生的 level 1 資料開頭, 下為後處理所產生的
	level 資料開頭。48
圖	4.5 反演大氣可降水和探空氣球計算可降水比較。51
圖	4.6 反演大氣液態水和探空氣球計算液態水比較。52
圖	4.7 反演大氣濕延遲和探空氣球計算濕延遲比較。53
圖	4.8 統計迴歸法反演法所得結果和探空氣球資料比較54
圖	4.9 水氣密度反演根均方誤差隨高度變化圖
圖	4.10 原廠反演剖面和統計迴歸法反演的剖面比較。55
圖	5.1 輻射計系統自動校正程式設定61
圖	5.2 輻射計資料管理系統入口顯示62
圖	5.3 登入輻射計資料管理系統顯示63
圖	5.4 使用者系統
圖	5.5 新增使用者64
圖	5.6 成功註冊畫面
圖	5.7 點選數位使用者66
圖	5.8 刪除成功顯示
圖	5.9 新增幅射計67
圖	5.10 刪除一輻射計
圖	5.11 完成刪除輻射計

圖	5.12 輻射計-上載資料加入資料庫69
圖	5.13 輻射計-重建資料庫70
圖	5.14 新增觀測活動
圖	5.15 執行修改資料庫行動72
圖	5.16 新增反演方法
圖	5.17 建立新反演方法觀測資料74
圖	5.18 輻射計資料配送系統畫面75
圖	5.19 輻射計資料配送系統註冊畫面
圖	5.20 輻射計資料搜尋系統76
圖	5.21 查詢結果
圖	6.1 北港(PKGM)輻射計觀測情形
圖	6.2 墾丁(KDNM)輻射計觀測情形80
圖	6.3 北港(PKGM)和墾丁(KDNM)輻射計所觀測的亮溫值(民國
	99年9月17日至25日)80
圖	6.4 北港(PKGM)和墾丁(KDNM)輻射計所觀測的可降水(左)
	和液態水(右)(民國 99 年 9 月 17 日 至 25 日)
圖	6.5 輻射計在太麻里(TMAM)觀測81
圖	6.6 太麻里(TMAM)和墾丁(KDNM)輻射計所觀測的亮溫值
	(民國 99 年 11 月 4 日 至 9 日)

v

靣 0./ 太 椷 里(1MAM)和 揫 」(KDNM)輻射計所觀測的

	和液態水(石)(氏國 99 平 11 月 4 日 至 9 日)
圖	6.8 輻射計在成大(CK01)測量及空間資訊學系上觀測情形83
圖	6.9 台南成大(CK01)和墾丁(KDNM)輻射計所觀測的亮溫值
	(民國 99 年 11 月 13 日 至 17 日)
圖	6.10 台南成大(CK01)和墾丁(KDNM)輻射計所觀測的可降水
	(左)和液態水(右)(民國 99 年 11 月 13 日 至 17 日)
圖	6.11 台南成大(CK01)和墾丁(KDNM)輻射計所觀測的大氣水
	氣密度不同高度隨時變化圖(民國 99 年 11 月 13 日 至 17 日)
圖	6.12 太麻里(TMAM)到墾丁(KDNM)基線在三個不同方向隨
	時變化圖
圖	6.13 台南成大(CK01)到墾丁(KDNM)基線在三個不同方向隨
	吃錢化图 02
	时变化画
日回	6.14 不同模式在無下雨時期標準差比較。
国	 6.14 不同模式在無下雨時期標準差比較。
国国	 時愛化圖
B B B B	 • 時愛化圖
	 • 時愛化圖

圖	7.4 墾丁(KDNM)輻射計(mp1512)校正後 Tnd 值和內定值的
	差之時序值。100
圖	7.5 北港(PKGM)輻射計(mp1513)校正後 Tnd 值和內定值的
	差之時序值。101
圖	7.6 墾丁(KDNM)輻射計在民國 98 年 8 月 29 日校正 Tnd 圖,
	綠線為校正後 Tnd 值,紅線為內設值。103
圖	7.7 墾丁(KDNM)輻射計在民國 99 年 4 月 26 日校正 Tnd 圖,綠
	線為校正後 Tnd 值,紅線為內設值。104
圖	7.8 墾丁(KDNM)輻射計(mp1512)未校正亮溫值和校正後亮溫
	值的差之時序圖。105
圖	7.9 北港(PKGM)輻射計(mp1513)未校正亮溫值和校正後亮溫
	值的差之時序圖。106
圖	7.10 墾丁(KDNM)輻射計民國 97 年可降水觀測資料比較 1108
圖	7.11 墾丁(KDNM)輻射計民國 97 年可降水觀測資料比較 2109
圖	7.12 北港(PKGM)輻射計民國 97 年可降水觀測資料比較 1110
圖	7.13 北港(PKGM)輻射計民國 97 年可降水觀測資料比較 2111
圖	7.14 墾丁(KDNM)輻射計民國 98 年可降水觀測資料比較 1.112
圖	7.15 墾丁(KDNM)輻射計民國 98 年可降水觀測資料比較 2 113
圖	7.16 北港(PKGM)輻射計民國 98 年可降水觀測資料比較 1114

VII

圖	7.17	北港(PKGM)輻射計民國 98 年可降水觀測資料比較 2115
圖	7.18	民國 99 年 11 月 mp1512(上)和 mp1513(下)觀測結果比
	較	
圖	7.19	北港(PKGM)輻射計民國 98 年濕延遲比對 1117
圖	7.20	北港(PKGM)輻射計民國 98 年濕延遲比對 2118
圖	7.21	□ 值分布情況比對119

表目錄

表	3.1 mp1512 及 mp1513 差值平均及標準差2	9
表	3.2 校正後 mp1512 及 mp1513 差值平均及標準差3	0
表	6.1 從民國 99 年 9 月 17 日 到 25 日 北港(PKGM) 到 墾 丁(KDNM)	
	基線(使用 Saastamoinen 模式)8	6
表	6.2 從民國 99 年 9 月 17 日 到 25 日 北港(PKGM) 到 墾 丁(KDNM)	
	基線(使用 Niell 模式 + 輻射計觀測)8	6
表	6.3 使用不同模式計算北港(PKGM)到墾丁(KDNM)基線不同	
	方位的標準差(單位:mm)8	7
表	6.4 民國 99 年 11 月 4 日 到 9 日太麻里(TMAM) 到 墾丁(KDNM)	
	基線(使用 Hopfield 模式)8	8
表	6.5 民國 99 年 11 月 4 日 到 9 日 太 麻 里 (TMAM) 到 墾 丁 (KDNM)	
	基線(使用 Niell 模式+WVR)8	8
表	6.6 使用不同模式計算太麻里(TMAM)到墾丁(KDNM)基線不	
	同方位的標準差(單位: mm)8	8
表	6.7 民國 99 年 11 月 13 日到 17 日台南成大(CK01)到墾丁	
	(KDNM)基線(使用 Niell 模式)9	1
表	6.8 民國 99 年 11 月 13 日到 17 日台南成大(CK01)到墾丁	
	(KDNM)基線(使用 Niell 模式+WVR)9	1

表 6.9 使用不同模式計算台南成大(CK01)到墾丁(KDNM)基線

第1章 前言

內政部國土測繪中心已建置全國性 e-GPS 衛星定位基準網,其定 位標準差可達平面1 cm、高程2 cm 以內,定位內部精度可達平面2 cm、 高程4 cm 以內[內政部土地測量局,2006];使用 e-GPS 衛星定位基 準網,相較於傳統 RTK,不僅操作方式簡便、更可以有效節省人力 與物力,其定位的可靠度與精度更大為提高。由於 e-GPS 系統對於參 考主站之坐標精度要求甚高,主站坐標誤差一旦大於2 cm,就會導 致解算基線及區域誤差模式無法進行求解[內政部土地測量局,2006], 在擁有多項 GPS 誤差因素干擾下,要使主站坐標達到誤差標準之內 確實是一大挑戰。然而,GPS 誤差來源中,尤其以訊號延遲效應影響 甚大,大氣中的水氣含量會產生明顯影響 GPS 訊號傳遞的乾、濕延 遲誤差,其中乾延遲誤差雖可靠氣象模式進行消除,但濕延遲誤差卻 是難以準確的修正。

微波輻射計可精確測定大氣中的水氣含量與分布,是做為 GPS 定位時,修正沿著路徑濕延遲誤差的最佳異質觀測。其觀測原理在於 水氣主宰輻射量及濕延遲量,因此從微波輻射量可推估濕延遲量或大 氣水氣含量,其精確度達 3~7%,即約 2mm 等級[王傳盛,2009],透 過高精度的數據資料,可有效的修正 GPS 濕延遲誤差,大幅提升

e-GPS 主站定位精度, 使 e-GPS 系統免於主站坐標誤差過大而無法解 算基線及區域誤差,裨益 e-GPS 定位技術發揮其最大的效益。有鑒於 微波輻射計已成為提供基礎大氣資訊不可或缺的工具,許多科學研究 與應用,都仰賴其良好品質且驗證無誤之數據資料進行後續加值研究。 然而,輻射計為造價昂貴之高科技精密儀器,為了使輻射計可提供最 佳品質的資料數據,除了維護工作必須落實,觀測值的校正更是重要。 WVP-1500 輻射計為一精密的量測儀器,任何擾動,如搬移或大氣環 境隨時間的改變,皆會對輻射計的精度造成影響,需要重新校正。沒 經過校正的輻射計,其觀測資料會有相當大的偏差量,足以影響精確 度。由於 WVP-1500 有數種不同的輸出資料,分為 level 0、level 1、 level 2 和 tip 資料, level 0 的資料為最原始的輸出資料, 包含各種儀 器的未校正電壓輸出值和輻射計設定值,可用於後處理資料處理,如 更換校正參數再進行儀器觀測值的計算, level 1 的資料為利用 level 0 資料配合適當的校正參數計算所得的亮溫值及地面氣象參數值, level 2 的資料為利用 level 1 的亮溫值,利用類神經網路或統計迴歸分析 計算大氣濕度剖面及大氣可降水含量, tip 檔的內容為紀錄 Tipping curve 的觀測資料,可用來計算 Tnd (系統增益值),這部分原廠並沒 有提供後處理程式,必須自行撰寫程式反演上述資料,以提高觀測資 料的準確度。

本計畫即針對輻射計資料品質驗證進行深入的探討,驗證輻射計 的資料品質,提供經過校正後的資料,以期望建立輻射計資料品質驗 證之參考基準,給予相關科學研究可以信賴的輻射計資料品質,提供 教育訓練將輻射計資料做最佳運用。

此外,本研究嘗試以內政部國土測繪中心之 e-GPS 追蹤站網進行 對流層延遲效應的估計工作,期望透過大氣中可降水的評估,未來應 用於環境監控及天氣預報上,進而降低因暴雨所造成之災害。本計畫 將應用國內現有之地面 GPS 連續接收站的觀測資料,並利用水氣微 波輻射儀觀測資料進行約制校正,以獲得對流層濕延遲量的計算之外; 並嘗試回饋修正因子消除對流層折射系統偏差,以期望能對各 GPS 應用領域帶來更精確的成果及效益。

第2章 研究方法

全球定位系統 GPS,於 1970 年由美國國防部提出,1978 年發射 第一顆 GPS 衛星到現在,目前有約 29 顆衛星正常運行中。GPS 星系 總共有 6 個軌道面,每個軌道上至少有 4 顆且每個軌道面差 60 度, 每個軌道面與赤道面傾斜角為五十五度,每顆衛星距地表高度約為 20200 公里,而衛星繞行地球的週期約為 11 小時又 58 分鐘,這樣的 設計使得在地表任一地方架設接收器,同時都可以接收到 4 顆以上的 GPS 衛星訊號資料 [Hugentobler et al., 2005]。

每顆 GPS 衛星上均配有頻率穩定的原子鐘,原子鐘的基本頻率為 10.23 MHz,由基本頻率分別乘以 154、120 倍而產生出 L1、L2 兩種頻率的載波。L1 的頻率為 1575.42 MHz、在 L1 載波上調制兩種頻率的電碼: Coarse-Acquisition Code (C/A 電碼)、Precision Code (P 電碼)。以及調制廣播星曆。L2 的頻率為 1227.60 MHz,在 L2 載波上則 調制 P 電碼,在較新型的 GPS 衛星 Block IIR-M 上則多了 L2C 電碼, C/A 電碼與 P 電碼此兩種電碼的頻率分別為原子鐘的基本頻率除以 10 以及基本頻率本身,C/A 電碼頻率為 1.023 MHz,P 電碼之頻率為 10.23MHz [Leick, 2004]。

下面我們簡述 GPS 定位理論,主要內容引自王傳盛的博士論文 [2009]。

2.1 GPS 觀測方程式

在一般的 GPS 定位中,通常會使用到載波相位(carrier phase)觀測 量或虛擬距離(pseudo-range)電碼觀測量。假設 GPS 衛星的軌道已知, 我們以 $Y_{r,l}^{s}(t)$ 表示觀測量;其中r = 1,....n 代表 GPS 接收儀數目, $s = 1,....m_r$ 代表 第r個 GPS 接收儀可接收到m顆 GPS 衛星數,l =1,...,4, l=1 及 l=2 代表 L1 及 L2 的相位觀測,l=3 及 l=4 代表 L1 及 L2 的虛擬距離電碼觀測量(通常為 P1 及 P2 或是 C1 及 P2)。根據上述 的字母代號定義, GPS 的基本觀測方程式可表示如下[Kleijer, 2004]

$$\begin{split} \mathcal{Y}_{r,l}^{s}(t) &- \tilde{\mathcal{Y}}_{r,l}^{s}(t) \\ &= \rho_{r}^{s}(t, t - \tau_{r}^{s}) + D_{r}^{s}(t) + \iota_{r,l}^{s}(t) + c \cdot \delta t_{r}(t) - c \cdot \delta t^{s}(t - \tau_{r}^{s}) \\ &+ br_{r,l}(t) - bs_{,l}^{s}(t - \tau_{r}^{s}) + \lambda_{,l} \cdot N_{r,l}^{s} + \lambda_{,l} \cdot \phi r_{r,l} - \lambda_{,l} \cdot \phi s_{,l}^{s} + dm_{r,l}^{s}(t) \\ &+ \varepsilon_{r,l}^{s}(t) \end{split}$$

(2-1)

 $\tilde{y}_{r_{l}}^{s}(t)$:先驗修正量(*a priori* correction);(單位:公尺)

t-t_r: 衛星送出訊號的時間(單位: 秒)

t:接收儀接收到訊號的時間(單位:秒)

τ_r: GPS 訊號傳遞的時間間隔(單位:秒)

1: 觀測量類別

ρ_r^s(t,t-τ_r^s):衛星S與接收儀r之間幾何距離;(單位:公尺)
 D_r^s(t):對流層延遲量;(單位:公尺)

us1: 電離層延遲量; (單位:公尺)

 $c \cdot \delta t_r(t)$:接收儀時錶誤差;(單位:公尺)

 $c \cdot \delta t^{s}(t - \tau_{r}^{s})$: GPS 衛星時錶誤差; (單位: 公尺)

c:光速;(單位:公尺/秒)

br_{rl}(t):接收儀硬體延遲量;(單位:公尺)

 $bs_{l}^{s}(t-\tau_{r}^{s})$: GPS 衛星硬體延遲量; (單位:公尺)

N_{r1}:整數週波未定值;(無單位)

 λ_l : 觀測量類別之波長; (單位:公尺; $\lambda_1 = \lambda_1, \lambda_2 = \lambda_2, \lambda_3 = 0$,

 $\lambda_{4} \doteq 0$

 ϕr_{r_l} :接收儀初始相位值;(無單位)

φs₁:GPS 衛星初始相位值;(無單位)

dm^s_{r1}(t):無法數學模型化之誤差;(單位:公尺)

 $\varepsilon_{r_l}^s(t)$: 觀測雜訊; (單位: 公尺)

2-1 中,先驗修正量項Ŷ^s_{r,l}(t),可以包含有衛星時錶誤差修正、天線盤相位中心偏移量及變化量修正、對流層延遲量修正、電離層延遲量修正、海潮(ocean tide loading)修正、地球固體潮(solid earth tides)

修正。多路徑效應(multipath)誤差則通常被歸類為無法數學模型化之誤差項dm^s_{rl}(t);但該項在一般情況下會假設為零。

在整個觀測方程式中除了衛星與接收儀間之幾何距離參數、對流 層延遲參數、時錶誤差參數之外,其他皆與觀測量類別相關。此外對 於 GPS 衛星的時錶誤差及 GPS 衛星硬體延遲誤差,通常也會假設兩 者是在一穩定的狀態,因此同一 GPS 衛星在相同觀測時間下,對不 同的接收儀而言,這兩個參數是不會改變的。而觀測雜訊*ɛ_{r,l}(t)*亦假 設為零。

2.2 GPS 相對定位理論

相對定位為 GPS 定位方法中求解兩測站之間相對位置的一種定 位方法,本文所使用的 GPS 定位計算方式即使用此法做為基礎,相 對定位其目的是從已知坐標之參考點推求出未知點的坐標。換句話說, 相對定位的目標乃在於決定兩點間之基線向量ΔR_{AB},如圖 2.1:

假設在某一坐標系中參考測站 A 的位置向量R_A為已知,若可利用 GPS 衛星決定出在相同坐標系中兩點間的基線向量AR_{AB},而根據向量 方程式:

$$R_B = R_A + \Delta R_{AB} \tag{2-2}$$



圖 2.1 GPS 衛星相對定位

則可求得在相同坐標系中未知測站 B 的位置向量R_B。 其中:

$$R_A = R^j - e_A^j r_A^j \tag{2-3}$$

$$R_B = R^j - e_B^j r_B^j$$
(2-4)

$$\Delta R_{AB} = R_B - R_A = \begin{bmatrix} X_B - X_A \\ Y_B - Y_A \\ Z_B - Z_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_{AB} \\ \Delta Y_{AB} \\ \Delta Z_{AB} \end{bmatrix} = e_A^j r_A^j - e_B^j r_B^j$$
(2-5)

R^j:為各衛星之位置向量(已知)

e_A、e_B:為各衛星之單位向量

r₄:為測站A至各衛星之距離

rgi:為測站B至各衛星之距離

j:為衛星編號,例如:1,2,3,4,.....

因此,兩測站若採取同步觀測,則大部分誤差,對於A、B兩測 站在進行基線向量計算時,或因誤差大小相同而對消;或因相似而絕 大部分已減小,使得殘留下來的誤差已大大減少。

相對定位常將原始的相位觀測量進行線性組合而產生新的準觀 測量,即所謂的"一次差(Single-Difference)"、"二次差 (Double-Difference)"、"三次差(Triple-Difference)"。其主要目的 為藉用差分過程以抵銷大部分的系統性誤差以提昇求解精度。

由於衛星與接收儀之間有相對運動存在。因此,衛星訊號之頻率 會受到 Doppler 效應之影響而改變。然而衛星訊號之相位卻不會受到 Doppler 效應之影響。因此,衛星訊號發射時刻的載波相位與接收儀 接收到訊號時刻的載波相位是相同的。這也是一般高精度 GPS 定位 計算僅利用相位觀測資料之原因。

GPS 載波相位觀測量,理論上是量測載波訊號在接收儀的瞬時載 波相位值,而在實際量測中,吾人無法直接測量出瞬時相位。因此, 一般所說的載波相位觀測量,實際上是測量接收儀內部振盪器所產生 的參考載波訊號相位與接收儀所接收到的衛星載波訊號相位之間的 相位差,而存在於衛星與接收儀之間的正確起始整週波數N²,並無法得 知。所以完整的相位差表示法,乃必須再加上一個起始整週波數,因 此完整相位差*o*²,(*T_r*)的表示式可寫為如下[*Leick*, 2004]:

$$\Phi_r^s = \Phi_r(T_r) - \Phi_s(T_s) + N_r^s$$
(2-6)

其中:

Tr:為接收儀 r 接收到衛星 s 所發射之載波訊號的時刻

Ts:為衛星 S 發射載波訊號的時刻

 $\Phi_r(T_r)$:為接收儀 r 內部之振盪器於接收到衛星載波訊號時刻 T_r 時, 所產生的參考載波訊號相位

 $\Phi_s(T_s)$:為衛星s於Ts時刻所發射之載波訊號相位

 N_r :為對應於起始觀測時刻 T_0 時,載波相位差的整週波數(未知)

在衛星載波訊號被接收之時刻Tr時,接收儀r內部振盪器所產生 的參考載波訊號相位Фr(Tr)如下式所示:

$$\Phi_r(T_r) = \Phi_r(T_0) + \int_{T_0}^{T_r} f_r dt$$
(2-7)

其中:

T₀:為起始觀測時刻

fr:為接收儀內部振盪器所產生之參考載波的頻率

而衛星於Ts時刻所發射之載波訊號相位Фs(Ts)亦可表示如下:

$$\Phi_{s}(T_{s}) = \Phi_{s}(T_{0}) + \int_{T_{0}}^{T_{s}} f_{s} dt$$
(2-8)

其中:

fs:為衛星所發射之載波訊號的頻率

但是衛星載波訊號在T,時刻被接收時,其訊號是在Ts時刻由衛星s 所發射的。因此,T,和Ts之間存在著訊號傳播的時間延遲,此延遲包 含有幾何路徑、電離層折射和對流層折射所造成的時間延遲,這兩者 之間的關係為:

$$T_s = T_r - (\tau + \Delta \tau) = T_r - (\frac{\rho_r^s(T_r)}{c} + \Delta \tau)$$
(2-9)

其中:

τ:為衛星載波訊號傳播過程之時間
 Δτ:為大氣層折射所造成的時間延遲
 ρ_r^s(T_r):為衛星與接收儀之間的幾何直線距離
 c:為光速

將 2-4、2-5、2-6 代入 2-3,則可進一步得到完整相位差 $\Phi_r^s(T_r)$ 之表示式,其表示如下所列:

$$\begin{split} \Phi_r^s(T_r) &= \Phi_r(T_r) - \Phi_s(T_s) + N_r^s \\ &= \frac{f_s}{c} \cdot \rho_r^s(T_r) + f_s \cdot \frac{(f_r - f_s)}{f_s} \cdot (T_r - T_0) + f_s \cdot (\delta T_r - \delta T_s) + \Phi_{atm}(T_r) + N_r^s \end{split}$$
(2-10)

$$\not \pm \dot{\Psi} : \end{split}$$

$$\frac{(f_r-f_s)}{f_s}$$
:為接收儀與衛星時錶頻率之偏移率 $\delta T_r - \delta T_s$:為接收儀與衛星之時錶誤差

顯然由 2-10 可以看出,只要考慮各種誤差因素就可以直接求解 地面座標。

2.2.1 GPS 載波相位一次差觀測方程式

一次差又分為地面一次差、空中一次差、時間一次差三種,在此 僅簡介較常使用之地面一次差。地面一次差相位觀測乃是指兩個接收 儀A、B,於同一時刻T₁觀測同一顆衛星*j*所得之兩個獨立相位觀測量 的差,其幾何關係表示如圖 2.2 所示。而根據 2-10 之關係可將其數 學模式表示如下:

$$\Phi_{AB}^{j}(T_{1}) = \Phi_{B}^{j}(T_{1}) - \Phi_{A}^{j}(T_{1})$$

$$= \frac{f_s^j}{c} \cdot \left(\rho_B^j(T_1) - \rho_A^j(T_1)\right) + (f_B - f_A) \cdot (T_1 - T_0) + \left(\Phi_B(T_0) - \Phi_A(T_0)\right) \\ + \Phi_{atm_{AB}}^{\ \ j}(T_1) + N_{AB}^j$$

(2-11)

其中:



圖 2.2 地面一次差相位觀測幾何關係

由 2-11 可以看出地面一次差觀測方程式中已將衛星時錶誤差的 影響互相抵銷,而由於衛星軌道誤差和大氣層折射誤差對兩測站同步 觀測結果的影響具有一定的相關性,所以其對一次差的影響將明顯減 弱,尤其是當基線較短時,此種有效性將更為顯著,但其缺點是減少 了觀測方程式的數量。

2.2.2 GPS 載波相位二次差觀測方程式

GPS 載波相位二次差觀測量乃是指兩個接收儀 A、B,於同一時 刻T₁觀測兩顆衛星*j、k*所得之兩個一次差相位觀測量的差。其幾何關 係如圖 2.3 所示。而根據 2-10 之關係可將其數學模式表示如下:

$$\Phi_{AB}^{jk}(T_{1}) = \Phi_{AB}^{k}(T_{1}) - \Phi_{AB}^{j}(T_{1})$$

$$= \left[\frac{f_{s}^{k}}{c} \cdot \left(\rho_{B}^{k}(T_{1}) - \rho_{A}^{k}(T_{1})\right) - \frac{f_{s}^{j}}{c} \cdot \left(\rho_{B}^{j}(T_{1}) - \rho_{A}^{j}(T_{1})\right)\right] + \Phi_{atm_{AB}}^{jk}(T_{1}) + N_{AB}^{jk}$$
(2-12)

其中:



圖 2.3 GPS 載波相位二次差觀測幾何關係

由 2-12 可以看出與接收儀時錶誤差有關之各項已相互抵銷。而 由於衛星時錶穩定性較高,所以衛星時錶頻率之偏差量與漂移量可以 忽略。

2.2.3 GPS 載波相位三次差觀測方程式

GPS 載波相位三次差觀測量乃是指兩個接收儀 A、B,於連續兩時刻T₁、T₂觀測兩顆衛星*j、k*所得之兩個二次差相位觀測量的差。其幾何關係如圖 2.4。



圖 2.4 GPS 載波相位三次差觀測幾何關係

而根據 2-10 之關係可將其數學模式表示如下:

$$\Phi_{AB}^{jk}(T_1, T_2) = \Phi_{AB}^{jk}(T_2) - \Phi_{AB}^{jk}(T_1)$$

$$= \left\{ \frac{f_s^k}{c} \cdot \left[\left(\rho_B^k(T_2) - \rho_B^k(T_1) \right) - \left(\rho_A^k(T_2) - \rho_A^k(T_1) \right) \right] \right\} - \left\{ \frac{f_s^j}{c} \right\}$$
$$\cdot \left[\left(\rho_B^j(T_2) - \rho_B^j(T_1) \right) - \left(\rho_A^j(T_2) - \rho_A^j(T_1) \right) \right] \right\} + \Phi_{atm}_{AB}^{jk}(T_1, T_2)$$

(2-13)

由 2-13 可以發現 GPS 載波相位三次差觀測方程式中已不再含有 未知的起始整週波數之差 N^{jk}。而由於三次差觀測量是由兩個二次差 觀測量相減而得,所以三次差觀測量之系統誤差及雜訊的殘餘量較小, 故很適合用來偵測週波脫落及過濾大誤差。

2.3 對流層延遲分析

對流層對於 GPS 衛星訊號之影響主要是在於訊號傳遞的速度比 在真空中要慢,以及訊號之傳播路徑是曲線而非直線,此兩者乃是由 傳播路徑上之折射率所引起。前者是由於對流層折射率大於真空折射 率,因而造成速度的延遲;後者則是因為大氣層各個高度之折射率不 同,而使其傳遞路徑形成彎曲的延遲。當衛星觀測仰角大於15度時, 其幾何延遲部分不大於1公分[Bevis et al., 1992]通常可以不考慮,若 是更進一步僅考慮天頂方向訊號傳播,則根據司乃耳定律(Snell's law) 訊號傳播的路徑會呈直線,幾何延遲便可去除,如圖 2.5 所示。



圖 2.5 Snell's Law (Kleijer, 2004)

在大氣層中,對流層延遲量可以寫為[王傳盛,2009]:

$$D_{trop}^{z} = 10^{-6} \left[\int_{H}^{\infty} \left(k_1 \frac{P_d}{T} \right) dz + \int_{H}^{\infty} \left(k_2 \frac{e}{T} \right) dz + \int_{H}^{\infty} \left(k_3 \frac{e}{T^2} \right) dz \right]$$
(2-14)

由理想氣體定律空氣密度可寫成:

$$\rho = \rho_d + \rho_w = \frac{M_d}{R} \left[\frac{P}{T} - (1 - \frac{M_w}{M_d}) \frac{e}{T} \right]$$
(2-15)

其中, ρ_d :乾空氣密度, ρ_w :溼空氣密度, R:莫耳氣體常數 等於 8.314 J/mol×K, M_w :水氣的莫耳質量, M_d :乾空氣的莫耳質量 等於 28.9644 g/mol。

大氣層通常符合流體靜力方程式:

$$\frac{dP}{dz} = -\rho g \tag{2-16}$$

代入上式積分可得:

$$\int_{H}^{\infty} \frac{P}{T} dz = \frac{RP_s}{M_d g_m} + \left(1 - \frac{M_w}{M_d}\right) \int_{H}^{\infty} \frac{e}{T} dz$$
(2-17)

其中, P_s 是地表總大氣壓值(hpa), g_m 是大氣垂直空氣柱質量中 心的重力加速度(m/s²),將上式代入延遲積分可以得到:

$$D_{trop}^{Z} = 10^{-6} \left\{ \frac{k_{1}R}{g_{m}M_{d}} P_{s} + \int_{H}^{\infty} \left[\left(k_{2} - k_{1} \frac{M_{w}}{M_{d}} \right) \frac{e}{T} + k_{3} \frac{e}{T^{2}} \right] dz \right\}$$
(2-18)

上式亦可寫為:

$$D_{trop}^{Z} = D_{trop,h}^{Z} + D_{trop,w}^{Z}$$
(2-19)

上式等號右邊第一項(以 $D_{trop,h}^{Z}$ 表示)可藉著測量地表總大氣壓值 得到,稱為流體靜力平衡延遲或稱為乾延遲,等號右邊第二項(以 $D_{trop,w}^{Z}$ 表示)必須要知道大氣層溫度和水氣壓的剖面資訊才能計算,通常稱 為溼延遲。由於上式過於複雜,一般使用模式近似之,常用的模式有 Saastamoinen 模式、Hopfield 模式和 Niell 模式。

Saastamoinen 模式(單位: m):

$$D_{trop,h}^{Z} = 0.002277 \times P \tag{2-20}$$

$$D_{trop,w}^{Z} = 0.002277 \times \left[\left(\frac{1255}{T} + 0.05 \right) \times e - B \right]$$
(2-21)

其中 P 為地表壓力(單位: hpa), T 為地表溫度(單位: K), e 為地表水氣 分壓(單位: hpa), B 為修正係數。 Hopfield 模式(單位: m):

$$D_{trop,h}^{Z} = 10552 \times 10^{-5} \times \frac{P}{T} (4.136 + 148.72 \times (T - 173.16) - H_{T})$$
(2-22)

$$D_{trop,w}^{Z} = 7.46512 \times 10^{-2} \times \frac{e}{T^{2}} (11000 - H_{T})$$
(2-23)

其中 P 為地表壓力(單位: hpa), T 為地表溫度(單位: K), e 為地表水氣 分壓(單位: hpa), H_T 為測站高程(單位: m)。

Niell 模式(單位: m):



(2-24)



其中 ε 為衛星仰角, H為高程, 不同下標之 a,b,c 為相關係數和常 數。

本研究預計採用 Bernese 5.0 軟體,以最小二乘法解算 GPS 觀測 資料,並估計天頂向延遲量。將對流層濕延遲輸入 Bernese 計算軟體 時,由於輻射計所觀測的延遲量格式無法被 GPS 軟體所接受,輸入 方式是將輻射計觀測的濕延遲轉成 RINEX M 檔或 Bernese 的 M 檔, 並完成三維定位計算與分析,藉以比較實測資料與經驗模式之量測精 度,並針對三維定位之內部精度及外部精度進行分析。

以載波相位觀測方程式計算待測站坐標(X_j, Y_j, Z_j)時,先將 D^Z_{trop,h} 以 模式求得的延遲量代入;且已知電離層延遲量的大小與載波頻率的平 方成反比,故可利用雙頻載波無電離層線性組合,消除電離層延遲量。 接著使用最小二乘法計算坐標,當測站坐標已知,衛星位置由精密星 曆可知,則測站至衛星的幾何距離即為已知值,可表示如下式[Wang et al., 2008]:

式中欲求解的未知數有 i、j 兩站天頂向對流層延遲量,但求解時 可觀測到的衛星顆數不只有兩顆,因為觀測量大於未知數數量,此處 採用最小二乘法進行參數求解。

溼延遲與可降水的關係,可由溼延遲的定義知:

$$D_{trop,w}^{Z} = 10^{-6} \int_{H}^{\infty} \left[\left(k_{2} - k_{1} \frac{M_{w}}{M_{d}} \right) \frac{e}{T} + k_{3} \frac{e}{T^{2}} \right] dz$$

 $D_{trop,w}^{Z} = 10^{-6} \left(k_{2}' + \frac{k_{3}}{T_{m}} \right) \int_{H}^{\infty} \frac{e}{T} dz$

其中, k_2' 為常數, $k_2' = k_2 - k_1 \frac{M_w}{M_d}$ 。我們定義可降水為一大氣垂 直空氣柱中液態水的總量,通常以高度為其單位,即:

$$PW = \frac{1}{\rho_l} \int_{H}^{\infty} \rho_w dz = \frac{1}{\rho_l R_w} \int_{H}^{\infty} \frac{e}{T} dz$$

Pw 是水氣密度, *P1* 是液態水密度, *Rw* 是水氣的氣體常數
(*Rw=R/Mw*)。由 GPS 得到的溼延遲量可轉換成可降水量 PW[Askne and Nordius, 1987; Bevis *et al.*, 1994]:

 $PW = \Pi \times D_{trop.w}^Z$

其中Ⅱ為轉換因子,而沿天頂向積分,大氣垂直總水氣含量 (Integrated Water Vapor, IWV)即為可降水乘上液態水的密度:

IWV = PW $\times \rho_{l}$

IWV 的意義為單位底面積的大氣垂直空氣柱中,含有多少單位重量 的水(kg/m²);而 PW 的意義為一單位面積大氣垂直空氣柱中含有多少 單位高度的水氣(mm)。

第3章 微波輻射計原理及在測量定位方面的應用

3.1 WVP-1500 輻射計

WVP-1500 水氣微波輻射計(圖 3.1)乃採用美國Radiometrics Corporation 公司所開發,為一被動式水氣微波輻射計,有5個操作頻 率, 分為 22.235 GHz、23.035 GHz、23.835 GHz、26.235 GHz 和 30.0 GHz,這些頻率位在水氣的吸收頻率 22.235 GHz 附近,所以對大氣 水氣的變化特別敏感,適合研究大氣水氣密度的分布。輻射計可觀測 至10 公里高的水氣剖面,同時觀察大氣可降水和液態水含量,可降 水可以轉變成溼延遲,對GPS測量而言,這是水氣微波輻射計最重要 的輸出值。 單筆觀測時間 (cycle time) 不大於10秒, 同時整套設備 亦具有量測地表溫度、壓力、相對濕度的功能。此外,該儀器還裝設 有Rain Effect Mitigation (REM)元件,以防止水滴附著輻射計天線罩上 造成量测的誤差,但此一功能在大雨時效果不彰。此外還有Azimuth Drive 元件是用來提供各方位角的量測(給予GPS 衛星星曆可具有追 蹤GPS 衛星的功能),可提供斜向溼延遲。水汽的量測誤差在1km 到 2km間最大約為 1 g/m³ 到 2 g/m³ 左右[Solheim, 1998]。



圖 3.1 WVP-1500 輻射計和 GPS 接收器在台北市立美術館樓頂進行 同步觀測的情形。

3.2 微波輻射計原理

為了獲得精確的觀測結果,我們必須先建立微波輻射計理論模式, 包括輻射傳輸方程及建立反演迴歸方程式,在建立反演模式的過程中, 我們使用了過去十年的氣球探空觀測資料,建立輻射計方程式,將觀 測的訊號轉換成適當的亮溫值,最後應用於觀測實驗,茲分述如下: 1. 輻射傳輸方程式

亮度 B(r)在空間中傳播經過 dr 的變化為

$$dB = B(r+dr) - B(r)$$

= dB(emission) - dB(extinction) (3-1)

由於在低頻微波波段大氣散射效應較弱可忽略不計, dB(emission)和 dB(extinction)可分表示為

$$dB(emission) = \kappa_a J dr \tag{3-2}$$

$$dB(extinction) = \kappa_a B dr \tag{3-3}$$

其中 K_a 為大氣吸收係數, J為 Planck 函數,代表大氣放射率。dB 表示為

$$dB = \kappa_a dr (J - B) = d\tau (J - B)$$
(3-4)

其中 $d\tau = \kappa_a dr$ 為光程 (optical depth) 的微變量。整理後得到微分形式的輻射傳遞方程式(radiative transfer equation; RTE)

$$\frac{dB}{d\tau} + B = J \tag{3-5}$$

其中光程 (optical thickness or optical depth)

$$\tau(r_1, r_2) = \int_{r_1}^{r_2} \kappa_a dr \tag{3-6}$$

求解微分形式的輻射方程式,可得輻射傳遞方程式的一般解

$$B(r) = B(0)e^{-\tau(0,r)} + \int_0^r \kappa_a(r')J(r')e^{-\tau(r',r)}dr'$$
(3-7)

Planck 函數在低頻微波波段時 hf << kT,可以使用

Rayleigh-Jeans 近似。其中 h 為 Planck 常數(6.63*10⁻³⁴joules), k 為 Boltzmann 常數(1.38*10⁻²³joule/K)。則 Planck 函數可表示為

$$J(r) \approx \frac{2f^2kT}{c^2} = \frac{2kT}{\lambda^2}$$
(3-8)

其中 λ 為波長,可由此定義亮度溫度 (brightness temperature; 簡稱 亮溫) T_b

$$T_b(f) \equiv \frac{\lambda^2}{2k} B(r)$$
(3-9)

將T,變為

$$T_{b}(r) = T_{b}(0)e^{-\tau(0,r)} + \int_{0}^{r} \kappa_{e}(r')T(r')e^{-\tau(r',r)}dr'$$
(3-10)

將地表視為無限遠處,則地表觀測的亮溫可表示為

$$T_{b} = T_{b}^{ext} e^{-\tau(0,\infty)} + \int_{0}^{\infty} \kappa_{a}(r) T(r) e^{-\tau(0,r)} dr$$
(3-11)

其中 T_b 表示觀測得到的亮溫; T^{ext} 表示宇宙背景亮溫,溫度為 2.7 K;T(r)表示大氣溫度剖面,上式中等號右邊第一項表示宇宙背景 輻射經過大氣層衰減後的貢獻,第二項為沿著觀測路徑上自 0 到無 限 (∞) 高度的大氣層之貢獻。

在微波波段,κ。可以表示為水氣、氧氣、雲水和雨個別貢獻的線
$$\kappa_a = 1.15\kappa_{O_2} + 1.08\kappa_{H_2O} + \kappa_L \tag{3-12}$$

式中係數值是採用 Keihm 所建議的修正量,其他大氣成分對吸收係 數的影響可忽略。我們使用 Leibe 和 Layton [27]於 1987 年提出的模 式計算水氣及液態水的吸收係數,Rosenkranz [28] 於 1975 年提出的 模式計算氧氣的吸收係數,圖 3.2 顯示到 100 GHz 為止,氧氣、水 氣和液態水的吸收係數。圖中顯示水氣的吸收係數在 22.235 GHz 有 一峰值,氧氣在 60 GHz 有一峰值,液態水吸收係數則隨頻率增加而 增加。所以 22.235 GHz 附近的頻率適合量測大氣水氣,氧氟變化對 溫度敏感,所以 60 GHz 附近頻率適合量測大氣溫度剖面,兩者組合 可以量測液態水。這就是為什麼 WVP-1500 輻射計操作頻率選在 22.235 GHz 附近的原因,而較靠近 30 GHz 頻率的操作頻道則對液態 水較敏感,可以用來區分可降水和液態水。



圖 3.2 不同頻率下不同大氣成份的吸收係數

2. 微波輻射計方程式

WVP-1500 輻射計為一精密的量測儀器,用來量測大氣在水氣波 段的輻射強度,也就是亮溫,利用亮溫可反演大氣的水氣分布。 WVP-1500 輻射計內部的電子電機元件運作可視為一線性輸入輸出 系統,其理想的微波輻射計方程式可寫為

$$T_{A,m} = \frac{T_{nd}}{V_{r+d} - V_r} (V_s - V_r) + T_r$$
(3-13)

其中*T_{A,m}*為天線溫度,*V_s*為輻射計指向天空時的電壓,*V_r*為輻射計在 嗓訊二極體關閉時指向儀器內參考黑體時的電壓,*V_{r+d}*為輻射計在嗓 訊二極體開啟時指向儀器內參考黑體時的電壓, T_{nd}為噪訊二極體溫 度用於校正, 整個方程式輸入大氣微波強度也就是V_s值,輸出亮溫值 也就是T_{A,m}值,整個系統的準確度由系統增益(T_{nd})和偏移值(T_r)決定, 此二值必須經過校正,輻射計輸出的亮溫才是正確的大氣亮溫。T_r值 可由儀器內參考黑體溫度決定,有相當精確度, T_{nd}必須依靠外在訊 號來源決定。沒經過校正的輻射計,其觀測資料會有相當大的偏差量, 足以影響精確度。

下面我們以內政部的兩台 WVP-1500 輻射計為例探討校正的重 要性,民國 95 年 1 月 14 日兩台輻射計(mp1512,mp1513) 同時放在中 央大學測試, 圖 3.3 為兩台輻射計所量到 26.235GHz 的亮溫值,二 者雖然顯示相同的趨勢,但亮溫值有相當的差距,亮溫值大約有 20% 的變異量,可以預期反演的大氣濕度也有相同的變異量,圖 3.4 為 兩台輻射計在五個頻道的亮溫差值,有相當的差距,最大差值可到 6 度。表 3.1 顯示兩台輻射計所量到亮溫平均差值及標準差,值相當 大。經過適當的校正後,圖 3.5 為校正後兩台輻射計所量到 26.235GHz 的亮溫值,二者亮溫值的差距明顯縮小至合理值,圖 3.6 為兩台輻射計在五個頻道的亮溫瞬間差值,差距明顯縮小到 1 度內。 表 3.2 為校正後兩台輻射計所量到亮溫平均差值及標準差,值縮小到 合理範圍。

上面的例子顯示,輻射計的亮溫值一定要利用輻射計的校正資訊 重新處理,處理過後的亮溫值,才能提供可靠的大氣水氣資訊,以滿 足 GPS 定位的精度需要。輻射計會定時做 Tipping curve 校正程序, 獲得所需 Tnd 值,但 Tnd 值仍須進一步做品質檢驗才能供輻射計校 正用,這整個校正程序原廠運作程式中並未提供自動化處理能力,需 要有專業技術的工作人員以人工方式處理,如果沒有經常更新 Tnd 值,所記錄的亮溫值容易產生較大誤差。如能將輻射計校正程序自動 化處理,就能確保所記錄的亮溫值有最佳的精確度。

	Average (K)	Std (K)
ch1 (22.235 GHz)	2.802	2.819
ch2 (23.035 GHz)	3.544	3.556
ch3 (23.835 GHz)	5.474	5.482
ch4 (26.235 GHz)	5.361	5.368
ch5 (30.000 GHz)	4.686	4.710

表 3.1 mp1512 及 mp1513 差值平均及標準差

	Average (K)	Std (K)
ch1	0.516	0.601
ch2	0.396	0.484
ch3	0.696	0.749
ch4	0.455	0.537
ch5	-0.305	0.568

表 3.2 校正後 mp1512 及 mp1513 差值平均及標準差



圖 3.3 兩台輻射計在 26.235 GHz 頻道量到的亮溫值



圖 3.4 兩台輻射計在五個頻道的亮溫差值



圖 3.5 校正後兩台輻射計在 26.235 GHz 頻道量到的亮溫值



圖 3.6 校正後兩台輻射計在五個頻道的亮溫差值

3.3 Tipping Curve 校正法

目前主要校正 Tnd 值的方法為液態氮法和 Tipping curve 法,液 態氮法為使用液態氮冷卻的參考黑體置於天線罩上得到準確的 Tnd, 這種方法費用昂貴,且只適合於適當場所實施,無法在野外進行,一 般野外輻射計校正是使用 Tipping curve 法[Han and Westwater,2000], Tipping curve 法假設大氣為穩定層狀分布,這表示大氣變數如溫度、 濕度和壓力,只是高度的函數,一般晴空情況下大氣滿足此一條件, 光程(式 3-6)可表示為下式

$$\tau(r_1, r_2) = \int_{r_1}^{r_2} \kappa \, dz \, / \sin\theta \tag{3-14}$$

其中θ為俯仰角,我們將r₁設於地表也就是為0,r₂設於無限遠處,如 同地面輻射計的條件,式 3-14只和角度有關,可寫成

$$\tau(\theta) = \frac{1}{\sin\theta} \int_0^\infty \kappa dz \tag{3-15}$$

不同角度的光程比只和角度有關,可寫成

$$a(\theta) = \frac{\tau(\theta)}{\tau(90^\circ)} = \frac{1}{\sin\theta}$$
(3-16)

由式 3-16 可知,如果我們在晴空下觀測不同的角度的光程應該要滿 足上式,俯仰角θ觀測到得光程乘以sinθ應該等於垂直方向的光程。 光程可以用觀測亮溫求的,我們定義大氣平均幅射溫度(atmospheric mean radiating temperature)如下式

$$T_{mr}(\theta) = \int_0^\infty \kappa(z) T(z) e^{-\tau(z)} \frac{dz}{\sin \theta} / (1 - e^{-\tau(\theta)})$$
(3-17)

利用上式,式 3-11 變成

$$T_{b}(\theta) = T_{bg}e^{-\tau(\theta)} + T_{mr}(\theta)\left(1 - e^{-\tau(\theta)}\right)$$
(3-18)

所以光程可以寫成

$$\tau(\theta) = \ln\left(\frac{T_{mr}(\theta) - T_{bg}}{T_{mr}(\theta) - T_{b}(\theta)}\right)$$
(3-19)

上式中T_{bg}為常數,T_b為觀測到的亮溫值,T_{mr} 無法直接得知,必須利 用T_b進行線性統計迴歸反演獲得,一般有相當高的精確度,求得不同 角度的光程後,在WVP-1500的設定為5個角度,為30度、45度、 90 度、135 度和 150 度,利用這5 個角度的光程配合式 3-16,可求得 5個天頂向光程,利用線性迴歸求得最佳天頂向光程及相關迴歸係數, 迴歸係數要大於 0.98 才被視為合理的 Tipping curve 校正,利用式 3-18 可以求得新的天頂向亮溫,再利用輻射計方程式(式 3-13)反求得 新的 Tnd 值,新的 Tnd 值會隨時間的變化而改變,如果所觀測到的 Tnd 值在一定時間內的平均值偏移調控檔內設的 Tnd 太多時,就必須 改變內設的 Tnd。但原廠並未提供自動修改系統增益值的功能,也就 是噪訊二極體溫度(Tnd),在本計畫中我們將發展自動校正系統增益 值的功能,這部分需要使用原廠提供的輻射計操作參數及 WVP-1500 的輻射計方程式,輻射計操作參數每台都有差異記錄在 mg.cfg 檔中, 輻射計方程式在下一章會介紹。系統增益值一旦校正完成,就可以利 用輻射計輸出的 level0 資料 ,結合輻射計方程式輸出亮溫值,也就 是 level 1 的資料, level 1 的資料可進一步反演大氣水氣含量, 用於估 算濕延遲。

Tipping curve 校正法會受一些因素影響[Han and Westwater,2000] 如地球曲率和大氣折射係數,天線波束寬,輻射計指向角度誤差,*T_{mr}* 的誤差,系統噪訊造成的誤差,輻射計方程式的正確性所造成的誤差, Han 和 Westwater 研究這些影響發現,地球曲率會造成 0.1 度的誤差, 6度天線波束寬會造成 0.5 度的影響,但如果天線波束可以以 Gaussian

剖面近似的話,誤差會降低到百分之幾度,T_{mr} 會造成約0.5度的誤差, 但可以降低到 0.1 度,如果使用地面大氣資料,天線指向誤差會造成 2 度的誤差,但如果使用對稱方式測量的話,如 30 度配 150 度的話, 可降低至 0.1 度誤差。以上這些方法皆以用於 WVP-1500 的 Tipping curve 校正,所得到的 Tnd 誤差在 0.5 度內。

1. 建立輻射觀測量反演水氣含量剖面迴歸方程

數種不同方法可以將觀測亮溫反演大氣水氣含量剖面,如原廠使 用類神經網路方法,這裡我們使用統計迴歸反演法,求得大氣水氣剖 面,我們以台北氣象站過去十年間(民國八十八年到九十八年)近5000 筆探空觀測資料進行迴歸分析,以降低季節性對迴歸品質的影響,迴 歸公式如下:

$$T(j) = A_o^j + \sum_i A_i^j \times Tb_i$$
(3-20)

其中 T(j) 代表第 j 層大氣水氣溼度(大氣層被分成 n 層, j=1,2,...n), A^j 為多維迴歸係數, i=1,2,...代表輻射計的不同操作頻率, Tb_i為第 i 頻 率觀測到的大氣亮溫,我們以將探空觀測資料帶入輻射傳輸數值模式 計算 Tb_i。但計算所得的亮溫, 不包含實驗及儀器誤差, 再以實際輻 射計所測得亮溫反演大氣剖面時,所得剖面會有不正常震盪發生, 為 了消除此種震盪, 我們將適量的高斯噪音加入計算所得的亮溫, 模擬

$$Tb_{reg} = Tb_{calc} + \text{Gaussian}$$
 noise (3-21)

其中Tb_{calc}代表數值模式計算所得的亮溫,Tb_{reg}代表用於迴歸分析的亮溫。

2. 建立輻射觀測量反演可降水含量、液態水含量和濕延量方程式

我們使用[Liljegren et al.,2001] 所發展的雙頻反演模式,由於操 作頻率的不同,我們以 23.385GHz 和 30.0GHz 兩個頻率,代替論文 中所採用的 23.8GHz 和 31.4GHz。

光程(式 3-6)可以分解成下式:

$$\tau = \int_{0}^{\infty} \kappa \, dr = \int_{0}^{\infty} \kappa_{o} \, dr + \int_{0}^{\infty} \kappa_{v} \, dr + \int_{0}^{\infty} \kappa_{L} \, dr = \tau_{dry} + \tau_{v} + \tau_{L}$$
(3-22)
其中 τ_{dry} , τ_{v} 和 τ_{L} 分別代表氧氣、水蒸氣和液態水的貢獻量。光程可
進一步寫成

$$\tau = \tau_{dry} + \frac{\tau_V}{V}V + \frac{\tau_L}{L}L \tag{3-23}$$

其中V和L代表大氣中的可降水和液態水含量,分別為

$$V = \frac{1}{\rho_{L,s}} \int_0^\infty \rho_V dr \quad L = \frac{1}{\rho_{L,s}} \int_0^\infty \rho_L dr$$
(3-24)

最後改寫成

$$\tau^* = \tau - \tau_{dry} = \kappa_{vap} V + \kappa_{liq} L \tag{3-25}$$

我們將兩個頻率的光程以上式表示:

$$\tau_1^* = \kappa_{vap,1} V + \kappa_{liq,1} L$$

$$\tau_2^* = \kappa_{vap,2} V + \kappa_{liq,2} L$$
(2-26)

如果我們知道兩個頻率的τ^{*}, κ_{vap}和κ_{liq},我們就可以反求可降水(PWV) 和液態水含量(LWP)。液態水和可降水可表示為

$$V = v_1 \tau_1^* + v_2 \tau_2^*$$

$$L = l_1 \tau_1^* + l_2 \tau_2^*$$
(3-27)

我們利用探空氣球資料,利用迴歸分析求得v₁和v₂, l₁和l₂, r_{dry,1}和r_{dry,2}即可反求液態水和可降水。

另外輻射計所量到的亮溫不是光程。從式 3-19 知,光程表示為

$$\tau(\theta) = \ln\left(\frac{T_{mr}(\theta) - T_{bg}}{T_{mr}(\theta) - T_b(\theta)}\right)$$
(3-28)

其中 T_{bg}和 T_b都已知, T_{mr} 是未知,我們必須利用探空氣球資料建立 T_{mr} 的迴歸式。所以在這個反演模式中,我們共需建立下面數個迴歸分析 式:

$$T_{mr} = a + bT_{sfc} + cRH_{sfc}$$

$$\tau_{dry} = a + b(P_{sfc} - e_{sfc})^{2} / T_{sfc}$$

$$v = a + bP_{sfc} + c_{1}T_{sfc} + c_{2}T_{sfc}^{2} + d_{1}e_{sfc} + d_{2}e_{sfc}^{2}$$

$$l = a + bP_{sfc} + cP_{sfc}e_{sfc} + de_{sfc}^{2}$$

(3-29)

上式中的T_{sfc}, P_{sfc}, e_{sfc}和 RH_{sfc}分別為地表的溫度,壓力,水氣分壓和 相對濕度,小寫英文字為迴歸係數。利用探空氣球資料得到迴歸細數 後,我們利用輻射計觀察到的地表溫濕壓計算T_{mr}和τ_{dry},配合觀測亮 溫計算τ和τ*,有了τ*後,就可以利用式 3-27 計算可降水和液態水含 量。

可降水可以藉由下式轉換成濕延遲

$$PW=V=\Pi \times D_{tron w}^{Z}$$
(3-30)

其中 PW 即為先前計算的 V, Π為轉換因子,值會隨大氣環境改變而 改變,在我們程式中一樣是使用探空氣球資料進行迴歸分析得到。

3.4 輻射計在測量定位方面的應用

全球定位系統(GPS)已被廣泛應用於精密定位的領域,在GPS 定 位分析方法中,針對降低對流層折射誤差而言,一般會先行採用大氣 模型,然後再輔以其他數值或觀測方式進行更進一步的修正。

在最先進的GPS 定位分析方法中,平面坐標的定位精度約在 1-2mm 左右,高程坐標的定位精度約在5-10mm 左右[Bock,1998; Johasson et al., 1998; Schenewerk et al., 1998]。高程定位精度較差的理 由有兩個。第一,因為衛星在天空中的分佈狀況有其理論上的極限值; 因此觀測者的最低仰角幾乎都定在15 度 [Santerre, 1991]。第二,由 於對流層的折射誤差;特別是水氣所造成的電磁波訊號延遲[Davis et al., 1985; Dodson et al., 1996; Emardson and Jarlemark, 1999;Herring, 1992; Liou and Huang, 2000]。

GPS衛星訊號在傳播的路徑中會穿過大氣層,會使GPS衛星訊號的傳播路徑改變及傳播速度改變,造成電磁波延遲到達。電離層的影

響可以使用雙頻電離層線性組合消除大部分,但中性大氣層,主要為 對流層與平流層下部的氣體所引起的,必須使用模式或其他觀測儀器 消除。估計GPS衛星訊號因中性大氣層造成天頂方向的對流層延遲量 可以得知該時刻大氣介質對GPS衛星訊號的影響。對流層延遲量可以 分為兩種類型:第一種為流體靜力延遲,又稱乾延遲,第二種為溼延 遲。乾延遲的量值在天頂方向約為2.3公尺,可以透過地表壓力值來 模式化進而移除乾延遲,其精度可達mm等級[Bevis et al., 1992],但 濕延遲無法有效地以模式移除。

乾延遲可以利用經驗氣象模式處理,這個方法的主要是利用天 頂向之對流層延遲量中密度剖面的模式,使得ZTD 成為只有地表氣 象參數的方程式。一般最被廣泛應用的模型有以下:Saastamoinen 模 式[Saastamoinen, 1973]、Hopfield 模式[Hopfield, 1971]、 Modified Hopfield 模式[Goad and Goodman, 1974]和Niell 模式[Niell, 1996]。 Saastamoinen[1973]所推導的靜力延遲(Zenithal Hydrostatic Delay, ZHD;又稱為乾延遲, Dry Delay)經過許多的驗證, 其精度可達1mm 或更優的等級[Mendes and Langley, 1999], Hopfield[1971]所導出的 天頂向流體靜力延遲和Saastamoinen 模式僅有少許的差異[Bock and Doerflinger, 2001]。這些地表氣象經驗模式,也都被應用在估計天頂 向濕延遲(Zenithal Wet Delay, ZWD)。然而由於水氣在大氣中的時

間和空間的不均勻性,使得應用地表氣象模式估計ZWD仍存在許多 的問題。ZHD模式在中緯度地區其精度約在2-3mm。從地表氣象資料 推估ZWD 其誤差約達3-5cm,而鋒面過境時則可達5-8cm[Askne and Nordius, 1987; Elgered, 1992; Janes et al., 1991; Liou and Huang, 2000] • Kim et al. [2003]在進行地區性高精度GPS 監測的任務中,發現地表 氣象參數的觀測有益於GPS 定位,但由於所使用的大氣數學模擬模 式仍屬經驗式,再加上大氣水氣場變化迅速,因此在對測站周圍進行 温度、濕度、壓力及水氣觀測並進行計算後,雖然能對GPS 定位有 所助益,但仍會留有殘差在計算所得的成果之中。併用標準的大氣狀 況及經驗氣象模式,來代替地面站的氣象觀測資料時,會得到不錯的 計算結果[Dodson et al., 1996; Janes et al., 1991; Niell, 1996], 不過這只 針對長時間的資料分析,其原因在於偶發的氣象事件會被平均掉。對 於常年的資料分析,氣候的變化可以被觀察及偵測出來,但對於數小 時或數天的測量,特殊的大氣情況,會反應在每日的坐標計算成果變 化上。Klobuchar and Kunches [2003]發現大氣對流層影響GPS 定位的 延遲量,會隨著觀測仰角的變低而呈倍數的增加。除非能準確地觀測 温度、濕度、壓力及水氣含量,並導入精密氣象方程式於定位計算中, 而不再使用標準大氣狀況,才可精進 GPS 定位成果[Klobuchar and *Kunches*, 2003] •

水氣微波輻射計(Water Vapor Radiometer, WVR) 為一遙測水氣 及相關資訊的儀器,WVR觀測可以提供精確的路徑濕延遲來修正 GPS定位。天頂靜力延遲通常使用經驗氣象模型,並配合地表氣象資 料或標準大氣資料來進行評估,並利用映射函數來進行其它方向的靜 力延遲估算,而濕延遲量則是從利用WVR遙測水氣含量獲得。不同 的WVR,在估計ZWD 時所產生的偏差,文獻報告約介於1-3cm,這 些儀器的內部精度大約在3-5mm[Rocken et al., 1991]。當與探空氣球 量測值比較時其偏差約在1-2cm[Elgered, 1993; Liou et al., 2001]。在 近15 年當中,使用WVR 於直接修正GPS 衛星訊號的斜向濕延遲量 時, 該方法所展現出精度的改進,對22-850 公里的基線而言,GPS 垂直坐標從2cm 進步到1mm[Alber et al., 1997; Ware et al., 1993; Ware et al., 1985]。不過, GPS 觀測誤差與大氣中水氣總量約成線性 關係[Liou et al., 2001],該技術用於台灣能否達到同樣精度,仍有待 進一步研究[王傳盛,2009]。

地面WVR 的發展已在前面提及,其改進成果已經展現出在天頂 濕延遲有5mm 的等級[England et al., 1992; Sierk et al., 1997; Weckwerth et al., 1999]。地面 WVR 站快速掃瞄的能力,現在已允許 在小於10 分鐘之內,連續的進行5 顆GPS衛星斜向濕延遲的量測。 這樣的方法已有報告指出在43 公里基線觀測11 天的垂直坐標方面

達到1.2mm 等級的精度[Alber et al., 1997],這個實驗是使用直徑85 公分的choke ring天線盤,能使多路徑效應降到最低。

在國內方面,直到最近幾年才由內政部引進輻射計配合GPS觀測, 王傳聖[2009] 探討參數估計和輻射計觀測修正對對流層延遲參數與 GPS高程坐標的影響,他發現以水氣微波輻射計資料進而配合異質觀 測修正方式,其結果大致與地表氣象觀測資料配合異質觀測修正方式 雷同;其對靜態觀測的基線長度與GPS 高程坐標而言,影響量值約 都在cm 等級;但就GPS 高程坐標的多日平均標準差而言,則較地表 氣象觀測資料為穩定。雖然參數估計方式的多日平均標準差,都較輻 射計觀測修正方式為穩定,但如果以對流層延遲量而言,事實上水氣 微波輻射計應當是最為可靠(天氣好的情況下),參數估計所求得的延 遲量卻不一定能得到真正的絕對量。所以良好的水氣微波輻射儀資料 進而配合異質觀測修正方式,事實上是可以對GPS 高程求解的精度

第4章 微波輻射計資料校正處理作業程序草案與校正程式

4.1 微波輻射計資料校正處理作業程序草案

微波輻射計資料校正處理作業程序大致分為近及時處理和 後處理程序兩個部分,近即時處理程序為每日定時更新系統 Tnd 值, 系統 Tnd 值正確與否對反演大氣水氣準確度影響最大, Tnd 值會隨觀 測做些微改變,所以需要定時更新,下一節會敘述處理方法。在近及 時更新系統中,如果 Tnd 值的大幅變化持續時間過長會無法有效處 理,所以我們需要需要後處理程序,後處理程序會執行整個圖 4.1 流 程,先進行 Tnd 校正,配合校正完的 Tnd 值,Level 0 資料可以轉成 Level 1 資料,進一步轉成 Level 2 資料。我們將在 4.3 節敘述。



圖 4.1 輻射計資料流程圖

- i. 近及時處理程序:
 - 1. 設定電腦每天定時(23:55)執行輻射計校正程式,計算新 Tnd 值。
 - 2. 電腦自動更新 mp.cfg 檔中的 Tnd 值。
 - 3. 記錄新 Tnd 值於記錄檔中。
- ii. 後處理程序(處理一組觀測資料):
 - 1. 計算每天新的 Tnd 值。
 - 2. 利用新 Tnd 值,將 Level 0 資料轉換成 Level 1 亮溫資料。
 - 3. 將 Level 1 亮溫資料轉換成 Level 2 大氣水氣資料。

4.2 系統自動校正程式開發

本計畫發展系統自動校正程式,可以利用 tip 的輸出資料,計算 當時系統增益值,利用新的 Tnd 值,將 level 0 的資料轉換成 level 1 的值,也就是亮溫值。同時將系統校正自動化,可以定時校正輻射計 設定檔中的系統增益值,免除後處理的步驟。原本預計使用 fortran 或 c 語言撰寫程式,以避免和輻射計觀測程式搶電腦資源,但目前電腦 系統進步快速,已太不需要顧慮電腦資源問題,所以我們使用 python 程式語言發展系統自動校正程式,執行時間一般在 10 秒之內, 此程 式目前會先讀取適當筆數的 tip 觀測資料,大於 500 筆和大於 5 天觀 測,計算新的 Tnd 值,如圖 4.2 顯示,同時將新的 Tnd 值寫入 mp.cfg 檔中,如圖 4.3 所示,mp.cfg 檔最右邊的 Tnd 值已被修改,未動到 其他值,完成系統增益值的更新。輻射計操作程式會在 00:00 重新 啟動,重新讀入 mp.cfg 檔,輻射計就會使用新的 Tnd 值計算亮溫值。 同時新的 Tnd 值會記錄在 *_Tnd.csv 檔中,其中 "*"代表年分。圖 4.2 中可看出有在民國 99 年 11 月 13 日 到 14 日 間觀測的 Tnd 值因 環境因素有大幅變化 , 偏離均值甚多,未來將進一步剔除和均值偏 差過大的觀測量,以免影響正常環境下 Tipping curve 校正的 Tnd 值。



圖 4.2 墾丁(KDNM)輻射計頻率 22.235GHz(Ch1)和 23.035GHz(Ch1) 在民國 99 年 11 月 13 日到 17 日 Tnd 值的變化趨勢和新舊平均 Tnd 值。

CHANNEL CALIBRATION BLOCK: 2007/09/19 19:17:18 Date of last factory LN2 calibration (New Synth 2007-02-10; new Downconverter 2007-09-01) 2007/09/19 18:36:30 Date of last user LN2 calibration .90 :target tolerance for ln2 cal 5 :number of frequencies Frequency, MRT, Window Coef, alpha, dtdg, Kl, k2, k3, k4, Tnd 22.235, 275.0, 000140, 1.09390, -0.23124436E+06, -0.45665307E+02, 0.39155021E+00, -0.10195993E-02, 0.73246346E-06, 23.035, 275.7, .000150, 1.0875, -0.2569236E+06, 0.559544531E+02, -0.81866831E+00, 0.33910608E-02, -0.44003008E-05, 23.835, 276.0, 000150, 1.07838, -0.29665324E+06, -0.14352386E+03, 0.14693834E+01, -0.50747312E-02, 0.59119920E-05, 26.235, 275.4, 000170, 1.05266, -0.41285887E+06, -0.15815767E+03, 0.15805178E+01, -0.53697918E-02, 0.62080033E-05, 30.000, 274.1, 000190, 1.08278, -0.24189866E+06, 0.34358792E+02, -0.49584580E+00, 0.20864107E-02, -0.27073946E-05,	133.3 139.01 125.45 190.25 202.8
CHANNEL CALIBRATION BLOCK: 2007/09/19 19:17:18 Date of last factory LN2 calibration (New Synth 2007-02-10; new Downconverter 2007-09-01) 2007/09/19 18:36:30 Date of last user LN2 calibration 90 :target tolerance for ln2 cal 5 :number of frequencies Frequency.MRT,Window Coef,alpha,dtdg,k1,k2,k3,k4,Tnd 22.235,275.0,000140,1.03930, -0.23124436E+06, -0.45665307E+02, 0.39155021E+00, -0.10195993E-02, 0.73246346E-06, 23.035,275.7,.000140,1.03930, -0.23124436E+06, -0.45665307E+02, 0.39155021E+00, 0.33910608E-02, -0.44003008E-05, 23.835,275.7,.000150,1.07838, -0.296653324E+06, -0.14352386E+03, 0.14693384E+01, -0.50747312E-02, 0.59119920E-05, 26.235,275.4,.000170,1.05266, -0.41285887E+06, -0.15815767E+03, 0.15805178E+01, -0.53697918E-02, 0.62080033E-05, 30.000,274.1,.000190,1.08278, -0.24189866E+06, 0.34358792E+02, -0.44984580E+00, 0.20864107E-02, -0.27073946E-05,	134.237 139.632 125.727 189.970 202.714
圖 43 跟新前和跟新後部分 mn cfg 横,只有晶大邊 Tnd 值有約	謠

回 4.5 政利則和政利後部分 Inp.clg 福,只有取石透 Ind 值有變動。

4.3 後處理程序開發

後處理程式包括,計算新的系統增益值 Tnd,利用新的 Tnd 值,將 level 0 的資料轉換成 level 1 的值,也就是亮溫值。最後將 level 1 的亮溫值轉換成 level 2 的大氣水氣資訊。

WVR-1500 輻射計的運作範圍,輻射計中電子元件的非線性效應 會對所計算的亮溫值造成影響,需要加以修正,依照原廠使用手冊, 我們定義下列參數:

Vsky 為當噪訊二極體關閉時,觀測天空所得接收器輸出電壓。 Vsky_nd 為當噪訊二極體開啟時,觀測天空所得接收器輸出電壓。 Vbb 為當噪訊二極體關閉時,觀測參考黑體所得接收器輸出電壓。 Vbb_nd 為當噪訊二極體開啟時,觀測參考黑體所得接收器輸出電 壓。 TkBB 為參考黑體有效輻射溫度。α 為非線性修正指數, Tnd290 為 TkBB 等於290 K 時噪訊二極體溫度, K1 到 K4 為工廠校正溫度係數, dTdG 為接收器硬體參數。以上這些值都可 level 0 的資料檔獲得。 Gain_sky 為觀測天空時增益值,表示為

Gain_sky = [(Vsky_nd^(1/ α)-Vsky^(1/ α))/(Tnd290+TC)]^ α

Gain_bb 為觀測參考黑體時增益值,表示為

Gain_bb = $[(Vb_nd^{(1/\alpha)}-Vbb^{(1/\alpha)})/(Tnd290+TC)]^{\alpha}$

Trcv_sky 為觀測天空時接收器溫度,表示為

Trcv_sky = Trcv_bb + dTdG*(Gain_sky-Gain_bb)

Trcv_bb 為觀測參考黑體時接收器溫度,表示為

 $\text{Trcv_bb} = (\text{Vbb/Gain_bb})^{(1/\alpha)} - \text{TkBB}$

其中

$$TC = K1 + K2 * TkBB + K3 * TkBB^2 + K4 * TkBB^3$$

最後 WVP-1500 的實際的輻射計方程式可寫成

 $Tsky = (Vsky/Gain_sky)^{(1/\alpha)} - Trcv_sky$ 4-1

level 0 資料轉 level 1 資料的程式在附錄三,也是使用 python 語 言完成,要從 level 0 資料計算 level 1 資料,除了先前提及的 WVP-1500 輻射計方程式(4-1)外,還需要下列式子:

$$TkBB = VTkBB/0.0249 - 0.15$$

$$Tamb = VTamb*100.0 - 40.0 + 273.15$$

Pres = VPres*52 + 800

Rh = VRh*100

Tamb 、Pres 和 Rh 分別為地面大氣溫度,壓力和相對濕度,使用雨

滴感測器判斷降雨,如果其電壓值(Vrain)大於 0.6 表示降雨。

36,09/24/10 0011811;8,12,04,93,014,4,9818;1009,64,725,04,18,00,307,41,106,77,100.98,86,44,54,12,40,61, 37,09/24/10 0011811;8,12,04,93,014,49,9518,1009,64,725,04,18,00,307,41,196,62,100,144,165,76,161,638,90,39, 81:09/24/10 0011811;8,10,74,97,014,195,144,1009,51M,90,001,90,001,90,0307,41,196,62,100,144,165,76,161,638,90,00, Record, Date/Time, 80,TD,SNR,Tamb (K), Rh (H), Pres (mb), Rain,Az (deg), El (deg), TkBB (K), 22:35, 23:035, 23:035, 23:035, 23:035, 23:035, 20:02,04,100,001133,81,32,44,81,300,42,100,11,1009,7,Y,50,04,22:65,306,96,191,18,184,96,165,02,111,80,86,52, 30:09/24/10 0010133,81,32,44,41,300,42,100,51,1008,61,Y,77,96,44,05,306,96,191,18,184,96,165,02,111,80,86,52, 30:09/24/10 0010213,81,32,54,47,300,57,100,06,1009,7,Y,50,04,22:65,306,96,20,70,194,46,174,32,119,30,83,86, 50:09/24/10 00102153,81,14,44,30,02,7,100,01,1008,7,Y,350,86,135,80,64,96,20,70,194,46,174,32,119,30,83,86, 50:09/24/10 00102153,81,14,44,30,02,7,100,01,1008,7,Y,350,86,135,80,108,86,138,182,139,111,70,70,97,54,027, 70:09/24/10 00102153,81,14,44,30,00,7,100,01,1008,7,Y,350,86,135,80,108,05,103,153,131,40,78,44,41,28, 70:09/24/10 00102153,81,14,44,30,00,7,100,01,1008,7,Y,350,86,135,00,96,129,133,161,77,70,97,54,027, 70:09/24/10 00102153,81,14,44,30,00,7,100,01,1008,7,N,320,86,41,350,00,59,104,45,129,137,110,70,70,97,54,027, 70:09/24/10 00102153,81,14,44,30,00,7,100,100,7,N,30,50,50,105,00,120,51,016,48,36,37,03, 100,09/24/10 00102150,81,164,63,300,52,99,96,1009,7,N,30,96,109,307,09,198,24,193,17,173,118,170,70,19,54,027, 70:09/24/10 00102150,81,164,45,300,52,100,100,7,N,30,56,307,09,198,24,193,17,173,13,118,70,91,82, 110,09/24/10 00102163,81,29,46,300,52,100,1008,7,N,30,64,103,037,09,198,24,193,17,170,30,8,162,27,30,35,100,11,005,7,N,30,30,100,307,09,198,24,193,17,170,108,63,162,47,24,113,00,112,108,14,49,530,124,100,00,112,13,116,10,91,008,7,N,30,20,100,307,00,93,109,133,40,112,44,40,30,125,14,44,50,300,47,100,00,100,00,100,7,N,30,30,00,00,307,00,93,007,09,198,24,193,012,131,16,10,91,008,7,124,112,00,114,109,100,111,100,7,N,30,30

圖 4.4 上為輻射計產生的 level 1 資料開頭,下為後處理所產生的

level 資料開頭。

利用前述方程式開發的程式,在使用一樣的 Tnd 值下,可以完全 得到原廠 level 1 的資料,圖 4.4 顯示原廠的 level 1 資料開頭和後處 理的 level 1 資料的開頭。 目視所及只有第 18 行 Pres 項從 1009.7 變 成 1009.6,就是最後一位小數位會有差別,綜觀整個檔案,差異都 在最後一位小數位加減 1 的差別,所以說我們從 level 0 到 level 1 的 後處理程式和原廠的程式在相同的輸入下,會產生近乎一樣的結果, 差別只在最後一位數加減 1 的差別,這可能是由於進位方式的差別所 造成的。

level 1 資料計算 level 2 資料的程式包含大氣可降水,液態水, 濕延遲,和大氣水氣剖面計算,使用 python 語言完成,反演方法詳 述於第3章,其中在計算可降水、液態水和濕延遲時,我們只使用有 雲的也就是液態水不為零的探空氣球觀測,以避免反演方程式出現除 零的奇異性,雲在探空氣球中並無紀錄,我們假設相對溼度大於 98% 時,表示有雲的出現。

圖 4.5 為反演大氣可降水和所有探空氣球觀測所計算可降水比 較,上圖橫軸為探空氣球觀測數,縱軸為可降水值,單位為mm,藍 色點為我們所反演的值,綠色點為探空氣球觀測計算值,可發現二者 變化趨勢非常相近,雖然我們只使用有雲的資料計算迴歸係數,但他 在晴空條件下也非常適用,均方根誤差(RMSE)只有 0.45mm,下圖

橫軸為探空氣球觀測可降水值,縱軸為反演可降水值,可看出絕大部 分結果都非常接近紅線,也就是理論上觀測點應該在的位置,我們將 觀測可降水和計算可降水做線性迴歸分析,發現斜率為 0.989 非常 接近理論值 1,偏移量為 0.432 也接近 0,顯示反演結果非常接近觀 測結果。圖 4.6 為反演大氣液態水和所有探空氣球觀測所計算液態 水比較,圖片符號使用如同上圖,反演大氣液態水和所有探空氣球觀 測所計算液態水間的均方根誤差(RMSE)值為 0.08mm,這是因為液 態水的含量較少所致,液態水含量高時,計算液態水有高估的情況發 生,將觀測液態水和計算液態水做線性迴歸分析,發現斜率為 0.912 非常理論值 1 但有些許偏移,偏移量為 0.015 也接近 0。圖 4.7 為反 演濕延遲和所有探空氣球觀測所計算濕延遲的比較,基本上整個趨勢 就近似可降水的趨勢,均方根值為 0.26cm,反演結果相當不錯。

圖 4.8 為統計迴歸法反演法所得結果和探空氣球資料比較的兩 個例子,顯示統計迴歸法反演法會平滑化探空氣球局部的變化趨勢, 但平均趨勢一致。圖 4.9 為水氣密度反演根均方誤差隨高度變化圖, 顯示誤差最大值在 1.5 公里處值約為 1.3 g/m^3,之後隨高度增加而 下降,根均方誤差顯示反演誤差在合理範圍內,跟其他反演方法所得 誤差值相近[Solheim, 1998],包括輻射計原廠所使用的類神經網路法。 雖然我們的結果在統計誤差分析和輻射計原廠所使用的類神經



圖 4.5 反演大氣可降水和探空氣球計算可降水比較。



圖 4.6 反演大氣液態水和探空氣球計算液態水比較。



圖 4.7 反演大氣濕延遲和探空氣球計算濕延遲比較。



圖 4.8 統計迴歸法反演法所得結果和探空氣球資料比較



圖 4.9 水氣密度反演根均方誤差隨高度變化圖



圖 4.10 原廠反演剖面和統計迴歸法反演的剖面比較。

網路法近似,但所產生的剖面有較大的差距,如圖 4.10 顯示其中一 個例子,類神經網路在3公里處水氣增加,但在我們的統計迴歸法並 無如此水氣增加區域,這顯示類神經網路較統計迴歸法敏感,但在無 探空氣球資料輔助下,我們並無法判斷何者較為正確,從相關文獻來 說,二者的正確性相當[Solheim, 1998]。

4.4 研擬校正資料自動化供應程序及作業流程

目前規劃之校正資料自動化供應程序是使用 Web 為基礎的校正 資料處理系統及供應系統,管理者使用 Web 系統管理和校正輻射計 資料,使用者可登入系統取得所需的資料,整個作業流程的初步規畫 如下:

- 在輻射計資料接收電腦中安裝 4.2 節所提的系統自動化校正程式
 ,在每天下午 11:55 分,自動執行系統校正程式,產生新的 Tnd 值以供使用。
- 系統具有 ftp sever 功能,可以直接將輻射計觀測資料從輻射計觀 測電腦傳至輻射計校正資料供應主機的特定目錄下。
- 雖然已經先進行系統校正程式,我們仍可進行更精確的校正,或 後處理程式改版後有更準確的結果,所以輻射計校正資料自動供 應主機具備後處理能力,管理者能進行觀測資料再處理程序,產 生適當的 Level1 及 Level2 資料。
- 4. 管理者可以定時將新接收的資料的連結加入 Web 資料庫系統中, 此時會同步進行後處理程序,同步加入新資料的後處理之 Level 1 和 Level 2 資料,同時更新 Web 系統現有資料顯示部分,此部分 也可交由系統自動定時執行。
- 資料使用者必須先註冊,由登入者發出請求,由系統自動產生鏈 結,供登入者下載。

目前已完成整套校正資料自動化供應程序及作業流程的實作原型,整 套系統將會自動化執行資料接收、再校正、後處理、登錄,下一章將 敘述整套系統使用方法。

第5章 輻射計校正程式使用手册

我們使用 python 語言發展整套系統,所以系統必須先安裝相關程式,主要程式列於下面:

- python (<u>http://www.python.org</u>),我們使用 2.7.1 版,不要使用 3.0
 以上的版本,目前會和其他程式不相容。
- numpy&scipy(<u>http://www.scipy.org</u>), python 的數值陣列運算程式, 我們使用 numpy 1.5.1 版和 scipy 0.9 版中配合 python 2.7 的版 本。
- matplotlib(<u>http://matplotlib.sourceforge.net/</u>), python 的繪圖程式, 使用 1.01 版配合 python 2.7 的版本。
- django(<u>http://www.djangoproject.com/</u>),使用 python 語言的 web
 發展工具,使用版本為 1.2.5。
- Apache HTTP server(<u>http://www.apache.org</u>), HTTP 伺服器,使用 版本為 2.2.17。
- mod_wsgi(<u>http://code.google.com/p/modwsgi/</u>),配合 Apache 之 python版cgi 處理程式,使用版本為 3.3 版適用 python 2.7 版和 Apache 2.2 版之版本。
- 7. 我們發展的 django 程式,發展目錄為 c:\django_project。

我們先安裝 python 程式和 Apache 程式,接著安裝 numpy、scipy 和 matplotlib,以上程式都有 windows xp 下的安裝程式,都安裝在內設 的目錄下即可。接著在 windows xp 系統中的環境變數裡的 path 中加 入,c:\Python27 和 c:\Python27\Scripts,Django 下載的檔案為 zip 檔, 我們先將其解壓縮至 c: 槽, 整個程式會位在 c:\django-1.2.5 下, 我 們使用 Console 程式 cmd.exe 進入 c:\django-1.2.5 下,執行 setup.py install 指令即會將 django 安裝在 c:\Python27\Lib\site-packages 目錄 裡, 最後將 mod_wsgi 的下載檔(mod_wsgi-win32-ap22py27-3.3.so) 移至 Apache 安裝 目錄 如 C:\Program Files\Apache Software Foundation\Apache2.2 中的 modules 裡, 並更名為 mod_wsgi.so。在 httpd.conf 中加入 "LoadModule wsgi module Apache 的 modules/mod_wsgi.so" 並在最後加入下列幾行: Alias /media/ C:/django_project/radiometer/media/

<Directory C:/django_project/radiometer> Order deny,allow Allow from all </Directory>

Alias /admin_media/ C:/django_project/radiometer/admin_media/

<Directory C:/django_project/radiometer>

Order deny,allow Allow from all

</Directory>

WSGIScriptAlias / C:/django_project/radiometer/apache/django.wsgi

<Directory C:/django_project/radiometer/apache>

Order deny, allow

Allow from all

</Directory>

其中 C:/django_project/radiometer/ 為我們為輻射計資料管理系統程式的目錄,可以移植到任何目錄,但要修改上面目錄修改成安裝目錄。

5.1 系統自動校正程式使用手册

我們利用 windows 系統的排程程式於每天的 23:55 分開始執行 系統自動校正程式,其設定如圖 5.1 所定,我們將 UpdateTnd.py 程 式加入 mp.cfg 所在檔案夾中, 圖 5.1 上圖為工作面設定,在執行處 加入 c:\Python27\python.exe UpdateTnd.py - n 1000 - m 5 - s 2011-04-10 字串,c:\Python27\python.exe 為 python 程式執行檔所在 位置,UpdateTnd.py 為更新 Tnd 值的 python 檔,其後參數皆有內設 值,可不輸入,-n 後便代表最少觀測筆數,內設為 600,如要使用其 他值,在此輸入,-m 後面代表最少觀測天數,內設為3天,如要使 用其他值,在此輸入,-s 後面代表觀測活動開始日期,此日之前的觀

python	? 🗙
工作 排程	設定安全性
C:\WIN	IDOWS\Tasks\python.job
執行(R):	^p ython27\python.exe UpdateTnd.py -n 1000 -m 5 -s 2011-04-10 瀏覽(B)
開始位置(工): 註解(①):	"C:\MP1513_Operating Folder"
執行身分(U):	GOGO-CE9AD731B9\Adminis 設定密碼(S)
 □登入後才執行 ☑啓用 (已排定) 	f化) 的工作會在指定時間執行)(E)
	確定 取消 套用(A)
python	<u> </u>
python 工作 排程	② ▲
python 工作 排程 萨 從 2010	② ▼ ② ● ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○
python 工作 排程 ご作 從 2010 工作排程(S): 一 毎日工作排程 毎周(E) 1	? ★ 設定 安全性 D/11/17 起,(每天)在下午 11:55 開始時間(I): ▼ 下午 11:55 章 進階(V) ↓ 天
文ython 工作 排程 一個 一個 工作 排程 工作 從 2010 工作 工作 毎日 毎日 毎日 毎日	② 定 安全性 D/11/17 起,(每天)在下午11:55 開始時間(I): ▼ 下午11:55

圖 5.1 輻射計系統自動校正程式設定
測資料就不會被使用於 Tnd 的計算中,當輻射計本體進行零件更動或 移到他處觀測,皆會對 Tnd 造成影響,必須設定此值,以免使用到不 適當的 Tnd 進行校正,開始位置為輸入輻射計 mp.cfg 檔所在位置。 下圖顯示排程的安排,我們安排在每天下午 11:55 分開始執行。

5.2 輻射計資料管理系統

本計畫使用 web 導向的輻射計資料管理系統,輻射計資料管理系統 主要有三個組件,分別為**輻射計、觀測方法和反演方法**。 I. 登入:

 如圖 5.2,於<u>http://localhost/admin/</u>網址分別輸入"使用 者名稱"及"密碼"後,按"登入"按鈕,即可登入。瀏覽 器顯示如圖 5.3。

● 登入 '輻射計資料管理系統' - Mozilla Firefox 檔案 (E) 編輯 (E) 檢視 (V) 歷史 (S) 書籤 (B) 工具 (T) 說明 (E)	
 C C A □ http://localhost/admin/ D 最常瀏覽 ◆ 新手上路 S 即時新聞 	값 · 왕 · Google 👂
□登入 '輻射計資料管… +	•
右百月-131.次心》 <i>经</i> 900 - 27 公太	
¹¹¹ 1月1月1日-111余初	
使用者名稱:	
密碼:	
登入	
完成 CEILING CAT IS WATCHING YOU S	SURF TEH INTARWEBZ - OH NOES!

圖 5.2 輻射計資料管理系統入口顯示

 劉站管理 「輻射計資料管理系統' - 檔案 ① 編輯 ① 檢視 (♡) 歷史 (S) 書籤 (B) ○ 最常瀏覽 ● 新手上路 ■ 即時新聞 ■ 副 ● ▲ ▲ ▲ + + + + = → ■ 網站管理 「輻射計資 	Mozilla Firefo 工具 (I) 說明 (I	x Coogle
輻射計資料管理系統 網站管理		歡迎, administrator. 文件 / 變更密碼 / 登出 📤
Auth		最近的動作
使用者		更 我的动作
群組	●新增 🧷 變	E XNCU20110303
Ohsdata		□ □ □ □ □ □ □ □ □ □
反演方法		更 反演方法
朝窓活動	▲新增 /樂	● HRSL20110328 更 反演方注
記録計	●新授 /型	#HRSL20110328
	• 4917 B • 503	~ 反演方法 // HRSI 20110328
Sites 细社	二、 主兵 地动 🕢 🍂 🏭	反演方法
79%D	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	▲ HRSL20110328 反演方法
		#HRSL20110328
		反演方法 ● HRSI 20110328
		反演方法 ✓
<		AUDCI 20110220
完成 CEIL	ING CAT IS WATCHING	YOU SURF TEH INTARWEBZ - OH NOES!

圖 5.3 登入輻射計資料管理系統顯示

II. 使用者:

- 1. 新增使用者:
 - A. 於圖 5.3 點選"使用者"後,瀏覽器顯示如圖 5.4,按畫 面右上角的"新增使用者"按鈕。

註:勾選"權限"項目下的"工作人員狀態",該名使用者才 能登入管理系統;勾選"超級使用者狀態"後,即具有管理者 的權限。

B. 分別輸入"使用者名稱"及"密碼"後,按"儲存"按鈕 如圖 5.5。如無意外,會出現圖 5.6 畫面,顯示註冊成功。

 ● 選擇 使用者 來變更 '輻射計資料管理系統' - Mozilla F 檔案 印 編輯 ① 檢視 ② 歷史 (S) 書籤 (B) 工具 ① 說明 (E) ・ C × ▲ ● http://localhost/admin/auth/user/ ● 最常瀏覽 ● 新手上路 ■ 即時新聞 ■ 貢 ● ▲ ▲ ▲ + + + + = ≟ ● 選擇 使用者 來變更 … ● 	Virefox
輻射計資料管理系統 戰唑, 首頁、Auth、使用者 選擇使用者來變更	administrator. 文件 / 變更密碼 / 登出 🍊 新增使用者 🔶
Action:	以工作人員状態 全部 是 否 以超級使用者状態 全部
2 使用者	· 否 以有效 全部 是 否
http://localhost/admin/auth/user/? CEILING CAT IS WATCHING YOU SURF	TEH INTARWEBZ - OH NOES!

圖 5.4 使用者系統

♥新增 使用者 輻射	計資料管理系統' - Mozilla I	Firefox 📃 🗖 🔀
檔案 (E) 編輯 (E) 檢視 (V) 歴史 (S) 書籤 (B) 工具 (I) 說明	
🔇 🕑 🕐 🕻 🚺 h	ttp://localhost/admin/auth/user/add/	्रि - 🚷 - Google 🔎
🖻 最常瀏覽 🅈 新手上路 🖻	即時新聞	N PA
◎ ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ● ●		
□ 利垣 医用台 = 釉约刮		•
輻射計資料管理系統		歡迎, administrator. 文件 / 變更密碼 / 登出
首頁 > Auth > 使用者 > 新增 使用者		
新增 使用者		
首先,輸入一個使用者名稱和密碼。	然後你可以編輯更多使用者選項。	
使用者名稱:		
	Required. 30 characters or fewer. Letters, digits a	nd @/./+/-/_ only.
sk 18 -		
·□I\$		
Password confirmation:		
	為檢查用,請輸入與上面相同的密碼。	
		儲存並新增另一個儲存並繼續編輯
完成	CEILING CAT IS WATCHI	NG YOU SURF TEH INTARWEBZ - OH NOES!

圖 5.5 新增使用者

 ◆ 變更使用書 檔案(E) 編輯(E) ◆ C ● 最常瀏覽 ◆ 業 ● 最常瀏覽 ◆ 業 ● 最東使用者 	者」「輻射計資料管理系統」 - Mozilla Firefox ③ 檢視 (型) 歷史 (S) 書籤 (B) 工具 (I) 說明 (II) ▲ ● http://localhost/admin/auth/user/7/ 新手上路 ■ 即時新聞 ▲ + + + + = → ↓ 「輻射計・ ■
◎ 「aaa」的密研	▲ 記住 IIII / Mocallost 上 記住 III / 此網站永不記 III 現在不記 III 国
輻射計資料管理	里系統 戰迎,administrator. 这件 / 變更密碼 / 登出 🤶
首頁 > Auth > 使用者 > a	aaa
♥ 使用者 "aaa" 已成功	功新增。 你可以在下面再次编辑。
變更 使用者	歴史 在網站上檢視 →
使用者名稱:	aaa Required. 30 characters or fewer. Letters, digits and @/./+/-/_ only.
密碼:	sha1\$87613\$f28dc32a6e1e459c5b0b1 使用 '[algo]\$[salt]\$[hexdigest]' 或是 修改密碼表單.
個人資訊	
名学:	
<	
完成	CEILING CAT IS WATCHING YOU SURF TEH INTARWEBZ - OH NOES!

圖 5.6 成功註冊畫面

- 2. 删除使用者:
 - A. 若要刪除一些使用者,可回到圖 5.4,點選要移除的使用 者左邊的方框,勾選欲刪除的使用者。
 - B. 於Action下拉式(圖 5.7)選單中選擇" Delete Selected 使用者"後,按"去"按鈕,。系統就執行刪除作業,執 行完畢後會告知完成作業如圖 5.8所示。

۲	選	擇 使用者	來變更 '輻射計	資	料管	理系統'	- Mozilla	Firefo	x _ L		×
稲	孫		檢視(⊻) 歴史(S) ■ http://localh.ort/	諅韱 admi	(<u>B</u>) n /au+1	工具(I) a	见9月 (<u>日</u>)	~	Capita		
	ノニー	「「」」「「」」」。	Nocaliosi 日政 Nocaliosi	aunn	n/auu	n/user/		N.	Coogle		
-	取	も御見 🕈 利丁	[특미(永元과대의 🚾 업데그그- - 🚣 🕂 🕂 +					S.	AN P		
	選	擇 使用者 來	變更 … +								Ŀ
	Q		Se	arch					漫響器		^
	Acti	on:	✓ 去 4 of 6	5 selec	ted			_	以 工作人員狀態		
		使用者名稱 🛛 🔻	電子郵件地址	名字	姓氏	工作人員狀態		- 1	是		
		administrator	skyan@csrsr.ncu.edu.tw			0					
		999				•		- 1	以 超級使用者狀態 全部		
		ppp				•			是		
		rrr				•			口石油		
		sky612	skyan@csrsr.ncu.edu.tw			•		- 1	全部		=
		www				•			是 否		
	6 健	明者									
											*
<						ш				>	
氕	瓬				CEILI	ING CAT IS WAT	TCHING YOU SUR	RF TEH IN	TARWEBZ - OH NOES!		

圖 5.7 點選數位使用者

 > 選擇使用者來變 檔案 ① 編輯 ① 檢視(○ 最常瀏覽 ◆ 新手上路 ○ 最常瀏覽 ◆ 新手上路 ○ 最常瀏覽 ◆ 新手上路 ○ 最常瀏覽 ◆ 和子上路 	更 '輻射計資料 ② 歴史(S) 書籤 http://localhost/admin ■ 即時新聞 +' +* - :	料管理系統 (B) 工具(T n/auth/user/	<mark>充' - Mozill</mark>) 說明 (丑)	a Firefox	gle P
輻射計資料管理系統 ^{首頁→Auth→使用者} Successfully deleted 4 使用 選擇 使用者 來變更	<u>rr</u> 1		₿	迎,administrator. 文件 / 新	<u>變更密碼</u> / 登出 ▲
Action: ● 使用者名額 ● 電子郵目 □ aaa ■	Search 、 去 0 of 3 select 件地址 名字	ted 姓氏 工作人員和	۲. Se		ژ <u>ن</u> ان ال
administrator skyan@ sky612 skyan@ 3 使用者 3	@csrsr.ncu.edu.tw @csrsr.ncu.edu.tw	0		以 超級使用者 全部 是 否 以 有效	{狀態
http://localhost/admin/passw	ord_change/	CEILING CAT IS	WATCHING YOU S	また 是 否 URF TEH INTARWEBZ - O	+ NOES!

圖 5.8 刪除成功顯示

III. 輻射計:

1. 新增幅射計:

A. 於圖 5.7 點選" 輻射計",之後按畫面右上角的"新增 輻射計"按鈕。

B. 輸入輻射計"名稱"後,按"儲存"按鈕(圖 5.9)。

 新增 輻射計 福射計資料管理 檔案 ① 編輯 ① 檢視 ⑦ 歴史 ⑤ 書籤 ・ ご 、 ● http://localhost/admii ● 最常瀏覽 ● 新手上路 ■ 即時新聞 ● 副 ▲ ▲ ▲ + + + +	系統'- Mozilla Firefox (B) 工具(T) 説明(H) n/obsdata/radiometer/add/ ☆ - 図- Google ア
輻射計資料管理系統	歡迎, administrator. 文件 / 變更密碼 / 登出
首頁 > Obsdata > 輻射計 > 新增 輻射計	
新增 輻射計	
名稱:	儲存並新增另一個儲存並繼續編輯
学史	

圖 5.9 新增幅射計

- 2. 删除輻射計:
 - A. 如果我們要移除輻射計、觀察活動或反演方法,其方法如同刪除使用者一般操作。現在以輻射計為例,我們先加入一個虛擬的輻射計名為mp1550,勾選欲刪除的輻射計(圖 5.10)。
 - B. 於 Action 下拉式選單中選擇"Delete Selected 輻射計"後,按"去"按鈕。出現畫面圖 5.11,顯示註冊成功

 ● 選擇 輻射計 來變更 '輻射計資料管理系統' - Mozil 檔案 (E) 編輯 (E) 檢視 (V) 歷史 (S) 書籤 (E) 工具 (T) 說明 (E) ・ C × ▲ ● http://localhost/admin/obsdata/radiometer/ ● 最常瀏覽 ◆ 新手上路 ■ 即時新聞 ■ 副 ● ▲ ▲ ▲ + + + + - 1 ● 選擇 輻射計 來變更 ···· + 	lla Firefox
輻射計資料管理系統	歡迎, administrator. 文件 / 變更密碼 / 登出
首頁 > Obsdata > 輻射計	
選擇 輻射計 來變更 Action: Delete selected 輻射計 ▼ 支 1 of 3 selected Action: Delete selected 輻射計 ▼ 支 1 of 3 selected Action: Delete selected 輻射計 ▼ 支 1 of 3 selected mp1510 mp1513 Delete selected 輻射計 ▼ 支 1 of 3 selected Action: Delete selected 輻射計 ▼ 支 1 of 3 selected Action: Delete selected 輻射計 ▼ 支 1 of 3 selected Action: Delete selected 輻射計 ▼ 支 1 of 3 selected Action: Delete selected 輻射計 ▼ 支 1 of 3 selected Action: Delete selected 輻射計 ▼ 支 1 of 3 selected Action: Delete selected 輻射計 ▼ 支 1 of 3 selected Action: Delete selected 輻射計 ▼ 支 1 of 3 selected Action: Delete selected 輻射計 ▼ 支 1 of 3 selected Action: Delete selected 輻射計 ▼ 支 1 of 3 selected Action: Delete selected 輻射計 ▼ 支 1 of 3 selected Action: Delete selected 輻射計 ▼ 支 1 of 3 selected Action: Delete selected 輻射計 ▼ 支 1 of 3 selected Action: Delete selected 輻射計 ▼ 支 1 of 3 selected Action: Delete selected 輻射計 ▼ 支 1 of 3 selected Action: Delete selected 輻射計 ▼ 支 1 of 3 selected Action: Delete selected 輻射計 ▼ 支 1 of 3 selected Action: Delete selected 輻射計 ▼ 支 1 of 3 selected Action: Delete selected 輻射計 ▼ j 1 of 3 selected Action: Delete selected 輻射 ▼ j 1 of 3 selected Action: Delete selected 輻射 ▼ j 1 of 3 selected Action: Delete selected 幅射 ▼ j 1 of 3 selected Action: Delete selected 幅射 ▼ j 1 of 3 selected Action: Delete selected 幅射 ▼ j 1 of 3 selected Action: Delete selected 幅射 ▼ j 1 of 3 selected Action: Delete selected 幅射 ▼ j 1 of 3 selected Action: Delete selected 幅射 ▼ j 1 of 3 selected Action: Delete selected 幅射 ▼ j 1 of 3 selected Action: Delete selected ௌ j 1 of 3 selected Action: Delete selected ௌ j 1 of 3 selected Action: Delete selected 幅 j 1 of 3 selected Action: Delete selected ௌ j 1 of 3 selected Action: Delete selected ஔ j 1 of 3 selected Action: Delete selected ஔ j 1 of 3 selected Action: Delete selected ஔ j 1 of 3 selected Action: Delete selete selete selected ஔ j 1 of 3 selected Action	新贈報射計 十
完成 CEILING CAT IS WATCHING YOU	SURF TEH INTARWEBZ - OH NOES!

圖 5.10 刪除一輻射計

❷選擇 輻射計 來變更 '輻射計資料管理系統' - M	Iozilla Firefox 📃 🗖 🔀
檔案 (E) 編輯 (E) 檢視 (V) 歷史 (S) 書籖 (B) 工具 (I) 說明	(<u>H</u>)
C X A http://localhost/admin/obsdata/radiometer/	🗘 - 🚷 - Google 🔎
🗖 最常瀏覽 ♠ 新手上路 🔤 即時新聞	ALO OF
□ 送择 捆纫 訂 不要卖 □	
輻射計資料管理系統	歡迎, administrator. 文件 / 變更密碼 / 登出
首頁 > Obsdata > 輻射計	
♥ Successfully deleted 1 輻射計.	
選擇 輻射計 來變更	新碧輻射計 🕂
Action: 🔄 🛨 🗴 0 of 2 selected	
□ 名稱	
mp1513	
mp1512	
2 輻射計	
完成 CEILING CAT IS WATCHIN	IG YOU SURF TEH INTARWEBZ - OH NOES!

圖 5.11 完成刪除輻射計

- 3. 上載資料加入資料庫:
 - A. 將欲上載的資料複製到 C:\Upload 資料夾。
 - B. 勾選欲上載資料加入資料庫的輻射計(一般是全選)。
 - C. 於 Action 下拉式選單中選擇"上載資料加入資料庫"

```
後,按"去"按鈕(圖 5.12)。
```

●選擇輻射計來變更 幅射計資料管理系統' - Mozill 檔案 ① 編輯 ② 檢視 ② 歷史 ③ 書籤 ④ 工具 ① 說明 ④	la Firefox
 ✓ C × A I http://localhost/admin/obsdata/radiometer/ □ 最常瀏覽 ♥ 新手上路 ■ 即時新聞 ■ ■ ■ ■ ▲ A A + + + + + - 1 	☆ Google P
□ 選擇 輻射計 來變更 ●	
輻射計資料管理系統	歡迎, administrator. 文件 / 變更密碼 / 登出
首頁 > Obsdata > 輻射計	
選擇 輻射計 來變更	新增輻射計 +
Action: 上載資料加入資料庫 💽 去 2 of 2 selected	
✓ 名募	
✓ mp1513 ✓ mp1512	
2 輻射計	
完成 CEILING CAT IS WATCHING CA	锢檔案ITN載神睡到下onl NGES3 秒)

圖 5.12 輻射計-上載資料加入資料庫

- 4. 重建資料庫:
 - A. 輻射計第二個 action 為重建資料庫(圖 5.13),有時資料 庫會因意外損毀,所以需要重建資料庫。勾選欲重建的資 料庫。
 - B. 於 Action 下拉式選單中選擇"重建資料庫"後,按"去" 按鈕。輻射計管理系統會遍覽所選定輻射計資料並建立適 當的連結。

 ● 選擇 輻射計 來變更」 「輻射計資料管理系統」 - Mozill 檔案 (E) 編輯 (E) 檢視 (W) 歷史 (S) 書籤 (E) 工具 (T) 說明 (E) () () <th>la Firefox</th>	la Firefox
輻射計資料管理系統	歡迎, administrator. 文件 / 變更密碼 / 登出
首頁 > Obsdata > 輻射計	
選擇 輻射計 來變更 Action: 重建資料庫 ▼ 支 1 of 2 selected	新贈 福射計 🕇
完成 CEILING CAT IS WATCHIN体 OL	围檔案HTN載中e練「下562m分e45秒)」

圖 5.13 輻射計-重建資料庫

- IV. 觀測活動:
 - 1. 新增觀測活動:
 - A. 於圖 5.8 點選點選"觀測活動",按畫面右上角的"新增 觀測活動"按鈕。
 - B. 分別輸入/點選"地點"、"開始時間"、"結束時間"
 及"輻射計名稱"後,按"儲存"按鈕(圖 5.14)。

 →新增觀察活動」報射計資料管理 檔案 (E) 編輯 (E) 檢視 (V) 歷史 (S) 書籤 () · C × (A) (D) http://localhost/adm □ 最常瀏覽 ● 新手上路 ■ 即時新聞 ③ 副 @ A A A + + + + + □ 新增觀察活動」報射… 	理系統' - Mozilla Firefox (B) 工具 (T) 說明 (H) in/obsdata/fieldcompaign/add/ 合 Google の
輻射計資料管理系統	歡迎, administrator. 文件 / 變更密碼 / 登出
首頁 > Obsdata > 觀察活動 > 新增 觀察活動	
新增 觀察活動	
地點:	
開始時間: Today 🗐	
結束時間: Today 🗐	
輻射計名稱: 💟 🗣	
	儲存並新增另一個儲存並繼續編輯
完成	CEILING CAT IS WATCHING YOU SURF TEH INTARWEBZ - OH NOES!

圖 5.14 新增觀測活動

- 2. 删除觀測活動:
 - A. 勾選欲刪除的觀測活動。
 - B. 於 Action 下拉式選單中選擇" Delete Selected 觀測活動"後,按"去"按鈕。
- 3. 修改資料庫:
 - A. 觀察活動有一個 action 就是修改資料庫,有時我們的觀察活動設定不正確要做修改,勾選欲修改資料庫的觀測活動。
 - B. 於 Action 下拉式選單中選擇"修改資料庫"後,按"去"

按鈕(圖 5.15)。

❷選擇 觀察活動 🤅	來變更 '輻射語	计資料管理系統' - Moz	zilla Firefox 📃 🗖 🔀			
檔案(E) 編輯(E) 検礼	見(V) 歴史(S) 書	籖(B)工具(T)說明(H)				
C C C C C C C C C C C C C C C C C C C						
■ 取吊倒見 ▼ 세丁上」	NV2					
□選擇 觀察活動 來	⋛··· [+]					
輻射計資料管理系統		₹	있迎, administrator. 文件 / 變更密碼 / 월出 🧰			
首頁 > Obsdata > 觀察活動						
♥ 觀察活動 "Kenting 2010-06	-28 2100-01-01" 已成功	前新增。				
選擇 觀察活動 來變	更		新增 觀察活動 🕇			
Action: 更改資料庫	✓ 去 2 of 7	selected				
1 輻射計名稱	地點	開始時間	結束時間			
mp1512	Kenting	六月 28, 2010	一月 1, 2100			
✓ mp1512	Kenting	一月 1, 2005	六月 27, 2010			
mp1512	Kenting	一月 1, 2005	一月 1, 2100			
mp1513	Beigang	十一月 19, 2010	一月 1, 2100			
mp1513	NCKU	十一月 12, 2010	十一月 17, 2010			
mp1513	Timali	十月 1, 2010	十一月 11, 2010			
mp1513	Beigang	一月 1, 2005	九月 30, 2010			
			>			
元成		CEILING CAT IS WATCHING YOU S	SURF TEH INTARWEBZ - OH NOES!			

圖 5.15 執行修改資料庫行動

- V. 反演方法:
 - 1. 新增反演方法:
 - A. 於圖 5.3 點選"反演方法",按畫面右上角的"新增反 演方法"按鈕。
 - B. 分別輸入"反演方法名稱"、"是否現役方法(is active)"、"反演程式"及"反演程式係數資料"後,按"儲存"按鈕(圖 5.16)。

 ●新増 反演方法 「輻射計資料管理 檔案 (E) 編輯 (E) 檢視 (U) 歴史 (S) 書籤 ● 本 ▲ ● http://localhost/adm ● 最常瀏覽 ● 新手上路 ■ 即時新聞 ■ 第 @ @ ▲ ▲ ▲ + + + + - → ■ 新増 反演方法 「輻射…」 	里系統' - Mozilla Firefox (B) 工具 (T) 說明 (且) n/obsdata/retrievalmethod/add/ ☆ S-Google P
輻射計資料管理系統	歡迎, administrator. 文件 / 變更密碼 / 登出
首頁 > Obsdata > 反演方法 > 新增 反演方法	
新增 反演方法	
名稱:	
現役方法乎	
反演程式碼: 瀏覽…	
反演程式係數資料:	
	儲存並新增另一個儲存並繼續編輯 儲存
今亡	
元內	CEILING CAT IS WATCHING YOU SURF TEH INTARWEBZ - OH NOES!

圖 5.16 新增反演方法

- 2. 删除反演方法:
 - A. 勾選欲刪除的反演方法。
 - B. 於 Action 下拉式選單中選擇" Delete Selected 反演方法"

後,按"去"按鈕。

- 3. 建立新反演方法觀測資料:
 - A. 反演方法有一 action 就是建立新反演方法的觀測資料,也 就是使用新反演方法重新處理資料庫現有觀測資料,勾選 欲建立新反演方法觀測資料的反演方法。
 - B. 於 Action 下拉式選單中選擇" 建立新反演方法觀測資料"

後,按"去"按鈕(圖 5.17)。

●選擇 反演方法 來變更 '輻射計資料管理系統' - Mo 檔案 E) 編輯 E) 檢視 W) 歷史 (S) 書籤 (B) 工具 (T) 說明 (H)	zilla Firefox 📃 🗆 🗙
 C × ↑ □ http://localhost/admin/obsdata/retrievalmethod/ □ 最常瀏覽 ◆ 新手上路 ➡ 即時新聞 	값 - 당- Google P
□ 選擇 反演方法 來變…	
輻射計資料管理系統	歡迎, administrator. 文件 / 變更密碼 / 登出
首頁 > Obsdata > 反演方法	
選擇 反演方法 來變更	新增反演方法 🕂
Action: 建立新反演方法觀測資料 v 去 1 of 2 selected	
反 该方法	
HRSL20110328	
Radiometrics	
2 反演方法	
完成 CEILING CAT IS WATCHING YOU	SURF TEH INTARWEBZ - OH NOES!

圖 5.17 建立新反演方法觀測資料

5.3輻射計資料配送系統使用者手册

我們使用 web 導向的輻射計資料配送系統,目前只是一個原型架

構,僅具基本功能,沒有過多的裝飾,請見諒。

- 1. 登入:
 - 於 <u>http://localhost/radiometer/</u>網址分別輸入"使用者名 稱"及"密碼"後,按"登入"按鈕,即可登入(圖 5.18)。
- 11. 建立新使用者:
 - 於 <u>http://localhost/radiometer/</u>網址按"請先註冊"按鈕(圖 5.19)。
 - 2. 分別輸入"使用者名稱"、"Email"及"密碼"後,按"建立新使用者"按鈕。

 ▶ Radiometer Data Dispatcher Syste 檔案 ① 編輯 ① 檢視 ① 歷史 ③ 書氨 ① C 合 D http://localhost/radiom ▶ 最常瀏覽● 新手上路 ▶ 即時新聞 	m - Mozilla Firefox 3) 工具(T) 說明(H) eter/	The second secon	× 1
■ ■ ■ ■ ▲ ▲ 本 + + + + - ユ ■ 載入中… ■ □ Radiomete	r Data D••• 🛛 🔸		
輻射計資料配設 使用者名稱: 密碼:	<u>全</u> 系統		
	登入 諸先註冊		
_ 完成 c	EILING CAT IS WATCHING YOU SU	RF TEH INTARWEBZ - OH NOES	5!

圖 5.18 輻射計資料配送系統畫面

VI Radiometer Data Dispatcher System - I	Mozilla Firefox
· 福桑 (1) · 補明 (2) · 陳虎 (2) · 歷史 (3) · 書戰 (3) · 上 G × ♠ □ http://localhost/radiometer/re	具 (」) 説明 (日) gistration/?submit=請先記☆ - 83 - Google
 □ 最常瀏覽 ◆ 新手上路 ▶ 前 ■ ▲ ▲ ▲ + + + + 	
↓ 载入中···· 図 □ Radiometer Data	D 🖾 🔹
輻射計資料配送系統	5
使用者名稱: Email:	
密碼:	
密碼(再輸入一次):	
建立	后使用者
完成	CAT IS WATCHING YOU SURF TEH INTARWEBZ - OH NOES!

圖 5.19 輻射計資料配送系統註冊畫面

III. 搜尋:

1. 點選/輸入各項搜尋條件後,按"送出查詢"按鈕(圖5.20)。



圖 5.20 輻射計資料搜尋系統

IV. 下載:

1. 於"資料查詢結果"畫面,點選任一連結下載(圖 5.21)。



圖 5.21 查詢結果

第6章輻射計觀測及基線計算

6.1 輻射計觀測說明

本計畫需完成三條基線的觀測業務,包括北港(PKGM)到墾丁 (KDNM)、太麻里(TMAM)到墾丁(KDNM)和台南成大(CK01)到墾丁 (KDNM)的基線計算,因為輻射計狀況連連,使原本三個星期的外業 要花兩個月時間完成。輻射計維修完成後我們首先進行北港(PKGM) 到墾丁(KDNM)的輻射計連線觀測,此觀測不需移動輻射計,我們於 民國民國 99 年 9 月 15 日和 16 日先去北港(PKGM)地政事務所和墾丁 (KDNM)國家公園管理處觀察輻射計運作,一切運作正常,如圖 6.1 及圖 6.2 所示,同時去太麻里(TMAM)地政事務所場勘,決定輻射計 安裝位置。之後我們收集 民國民國 99 年 9 月 17 日到 25 日的輻射計 觀測資料,圖 6.3 顯示北港(PKGM)和墾丁(KDNM)在民國民國 99 年 9月17日到25日的輻射計所觀測到的亮溫資料,顯示在某些時期亮 溫高達 200K 以上,如民國 99 年 9 月 19 日,表示這段時間有強降雨, 大雨會使輻射計觀測品質退化,所以這時期的觀測資料要小心處理。 圖 6.4 顯示同時間北港(PKGM)和墾丁(KDNM)輻射計所觀測的可降 水和液態水的變化,一樣顯示這段期間水氣變化劇烈。

在 民國 99 年 9 月 28 日將北港(PKGM)輻射計移到中央大學, 做

完基本檢測同是替儀器完成保險後,民國 99 年 10 月 6 日將輻射計安 裝在太麻里(TMAM)地政事務所樓頂衛星接收站旁(圖 6.5), 與墾丁 (KDNM)輻射計配合 GPS 接收器同步觀測,之後觀察墾丁(KDNM)輻 射計運作時發現墾丁(KDNM)輻射計因凡那比颱風導致輻射計傾倒, 太麻里(TMAM)輻射計電腦無法開機,墾丁(KDNM)輻射計安裝回去 後,再觀察發現轉動馬達有問題,無法追蹤 GPS 衛星,墾丁(KDNM) 輻射計電腦如同太麻里(TMAM)輻射計一樣無法開機,更換電腦後發 現 GPS 功能無法執行,推測 GPS 接收器損壞,墾丁(KDNM)輻射計 就改執行不含追蹤 GPS 功能的程序,輻射輻射計此程序只能量測垂 直方向的水汽量,剛好滿足基線計算的要求,這是由於目前 Bernese GPS 處理系統只能處理天頂方向的濕延遲量,所以輻射計狀況剛好滿 足基線計算最低要求。另外關於輻射計本體是否有損傷方面,我們只 能依以往經驗判斷從輻射計輸出的亮溫資料及大氣水氣合理,但輻射 計內部是否有損害,需進一步委請原廠檢驗。直到民國 99 年 11 月 4 日重新開始同步觀測。我們收集民國 99 年 11 月 4 日到 9 日的太麻里 (TMAM)和墾丁(KDNM)輻射計的觀測資料,圖 6.6 顯示太麻里 (TMAM)和墾丁(KDNM)在民國 99 年 11 月 4 日到 9 日的輻射計所觀 測到的亮溫資料,這段期間為梅姬颱風過後,顯示在某些時期亮溫高 達 200K 以上,表示這段時間有強降雨。圖 6.7 顯示同時間太麻里

(TMAM)和墾丁(KDNM)輻射計所觀測的可降水和液態水的變化。

民國 99 年 11 月 10 日將太麻里(TMAM)輻射計拆卸,民國 99 年 11 月 12 日將輻射計架在台南成大(CK01)測量及空間資訊學系樓頂, 測繪中心 GPS 接收器旁(圖 6.8),圖 6.9 顯示台南成大(CK01)和墾丁 (KDNM)在民國 99 年 11 月 13 日到 17 日的輻射計所觀測到的亮溫資 料,顯示除 13 日有強降雨外,其他日子,水氣含量不大。圖 6.10 顯 示台南成大(CK01)和墾丁(KDNM)輻射計所觀測的可降水(左)和液態 水(右)(民國 99 年 11 月 13 日至 17 日),圖 6.11 顯示台南成大(CK01) 和墾丁(KDNM)輻射計所觀測的大氣水氣密度不同高度隨時變化圖 (民國 99 年 11 月 13 日 至 17 日)。外業到此完成。



圖 6.1 北港(PKGM)輻射計觀測情形



圖 6.2 墾丁(KDNM)輻射計觀測情形



圖 6.3 北港(PKGM)和墾丁(KDNM)輻射計所觀測的亮溫值(民國 99

年9月17日至25日)



圖 6.4 北港(PKGM)和墾丁(KDNM)輻射計所觀測的可降水(左)和液

態水(右)(民國 99 年 9 月 17 日 至 25 日)



圖 6.5 輻射計在太麻里(TMAM)觀測



- 圖 6.6 太麻里(TMAM)和墾丁(KDNM)輻射計所觀測的亮溫值(民國
 - 99年11月4日至9日)



圖 6.7 太麻里(TMAM)和墾丁(KDNM)輻射計所觀測的可降水(左)和

液態水(右)(民國 99 年 11 月 4 日 至 9 日)



圖 6.8 輻射計在成大(CK01)測量及空間資訊學系上觀測情形



圖 6.9 台南成大(CK01)和墾丁(KDNM)輻射計所觀測的亮溫值(民國

99年11月13日至17日)



圖 6.10 台南成大(CK01)和墾丁(KDNM)輻射計所觀測的可降水(左)





圖 6.11 台南成大(CK01)和墾丁(KDNM)輻射計所觀測的大氣水氣密

度不同高度隨時變化圖(民國 99 年 11 月 13 日 至 17 日)

6.2 基線計算

第一條基線是計算民國 99 年 9 月 17 日到 25 日北港(PKGM) 到墾丁(KDNM)的基線長,表 6.1 為使用 Saastamoinen 模式的計算 結果,其他模式結果相近,

表 6.2 為使用 Niell 模式加上輻射計觀測結果, 表 6.3 為使用 不同模式計算基線不同方位的標準差,包括 Saastamoinen 模式、 Hopfield 模式、Niell 模式、Niell 模式加地面氣象資料和 Niell 模式 加輻射計觀測資料,皆可以發現加上輻射計觀測結果的基線計算標準 差反而大幅增加,尤其在北向和高程方面有較大的變化,這主要有兩 個原因造成,第一個原因是觀測期間凡那比颱風來襲造成強降水, WVP-1500雖然有降低降雨影響的機構,但在大雨情況下,效果很差, 造成亮温大幅增加,亮温的擾動也大幅增加,會產生不合理的可降水 也就是濕延遲估計,第二原因更為重要就是凡那比颱風造成墾丁 (KDNM)輻射計傾倒,使得輻射計觀測數據不合理,由於這兩個原因 使得使用輻射計計算北港(PKGM)到墾丁(KDNM)的基線長的結果更 糟。不過由於北港(PKGM)和墾丁(KDNM)兩站都有長期的輻射計觀 測資料,我們已從最後觀測資料中選取適當的資料,再進行一遍基線 計算,探討降雨對基線計算的影響。

表 6.1 從民國 99 年 9 月 17 日到 25 日北港(PKGM)到墾丁(KDNM)

DOY	X(m)	Y(m)	Z(m)	N(m)	E(m)	h(m)
260	-2951343.368	5049506.090	2535725.229	2608670.752	179111.771	42.669
261	-2951343.365	5049506.087	2535725.224	2608670.749	179111.770	42.663
262	-2951343.370	5049506.088	2535725.218	2608670.743	179111.774	42.664
263	-2951343.370	5049506.088	2535725.223	2608670.747	179111.774	42.666
264	-2951343.366	5049506.085	2535725.222	2608670.748	179111.772	42.661
265	-2951343.362	5049506.080	2535725.217	2608670.746	179111.771	42.653
266	-2951343.363	5049506.083	2535725.223	2608670.750	179111.770	42.658
267	-2951343.355	5049506.062	2535725.211	2608670.748	179111.774	42.633
Mean(m)	-2951343.365	5049506.083	2535725.221	2608670.748	179111.772	42.658
STD(mm)	5.0	9.0	5.4	2.9	1.7	11.1

基線(使用 Saastamoinen 模式)

表 6.2 從民國 99 年 9 月 17 日到 25 日北港(PKGM)到墾丁(KDNM)

DOY	X(m)	Y(m)	Z(m)	N(m)	E(m)	h(m)
260	-2951343.393	5049506.092	2535725.156	2608670.680	179111.791	42.653
261	-2951343.390	5049506.097	2535725.168	2608670.690	179111.786	42.660
262	-2951343.402	5049506.112	2535725.180	2608670.693	179111.789	42.682
263	-2951343.391	5049506.084	2535725.145	2608670.673	179111.794	42.641
264	-2951343.388	5049506.081	2535725.136	2608670.666	179111.793	42.633
265	-2951343.383	5049506.078	2535725.142	2608670.674	179111.790	42.631
266	-2951343.390	5049506.087	2535725.146	2608670.673	179111.791	42.643
267	-2951343.371	5049506.055	2535725.137	2608670.679	179111.791	42.605
Mean(m)	-2951343.389	5049506.086	2535725.151	2608670.678	179111.791	42.644
STD(mm)	8.8	16.7	15.7	9.0	2.3	22.5

基線(使用 Niell 模式 + 輻射計觀測)

Model	North	East	Height	3D
Saastamoinen	2.9	1.7	11.1	11.6
Hopfield	3.1	2.2	10.9	11.5
Niell	2.1	1.9	10.0	10.4
Niell+MET	2.1	1.9	10.1	10.5
Niell+WVR	9.0	2.3	22.5	24.4

的標準差(單位:mm)

第二條基線為太麻里(TMAM)到墾丁(KDNM),時間為民國 99年11月4日到9日,表 6.4 為使用 Hopfield 模式的計算結果, 其他模式結果相近,表 6.5 為使用 Niell 模式加上輻射計觀測結果, 表 6.6 為使用不同模式計算太麻里(TMAM)到墾丁(KDNM)基線不 同方位的標準差,使用 Niell 模式加上輻射計觀測結果雖然和其他模 式接近,但平均來說仍然差一點,主要原因可能為觀測期間剛好遇到 梅姬颱風,也有大的降雨,造成亮溫飆高,影響濕遲延的觀測,Tnd 值也必須將一些不合理觀測值剔除,太麻里(TMAM)附近的地形可能 也會造成一些影響,因為太麻里(TMAM)左邊面山右邊面海,所以常 有午後雷陣雨對觀測造成影響,且輻射計面山觀測時,在15到30度 會受到山的影響。目前已將前兩項因素儘量消除,進一步修正基線計 算值。圖 6.12 顯示太麻里(TMAM)到墾丁(KDNM)基線在三個不同 方向在觀測期間隨時變化圖,可以看出來加入輻射計觀測資料的結果 在平均值上和其他方法有較大差距,但有相近的變化趨勢。

表 6.4 民國 99 年 11 月 4 日到 9 日太麻里(TMAM)到墾丁(KDNM)基

DOY	X(m)	Y(m)	Z(m)	N(m)	E(m)	h(m)
308	-3034564.840	5048871.118	2437550.697	2501771.776	250768.808	58.679
309	-3034564.845	5048871.121	2437550.698	2501771.775	250768.810	58.684
310	-3034564.842	5048871.117	2437550.699	2501771.778	250768.810	58.680
311	-3034564.842	5048871.114	2437550.702	2501771.782	250768.811	58.679
312	-3034564.845	5048871.119	2437550.698	2501771.776	250768.811	58.683
313	-3034564.846	5048871.125	2437550.699	2501771.775	250768.809	58.688
Mean(m)	-3034564.843	5048871.119	2437550.699	2501771.777	250768.810	58.682
STD(mm)	2.4	3.9	1.6	2.6	1.4	3.7

線(使用 Hopfield 模式)

表 6.5 民國 99 年 11 月 4 日到 9 日太麻里(TMAM)到墾丁(KDNM)

基線(使用 Niell 模式+WVR)

DOY	X(m)	Y(m)	Z(m)	N(m)	E(m)	h(m)
308	-3034564.834	5048871.125	2437550.668	2501771.748	250768.799	58.671
309	-3034564.837	5048871.126	2437550.668	2501771.748	250768.801	58.673
310	-3034564.834	5048871.124	2437550.668	2501771.749	250768.799	58.670
311	-3034564.834	5048871.116	2437550.673	2501771.756	250768.804	58.665
312	-3034564.836	5048871.123	2437550.665	2501771.746	250768.802	58.669
313	-3034564.840	5048871.129	2437550.672	2501771.750	250768.802	58.678
Mean(m)	-3034564.836	5048871.124	2437550.669	2501771.749	250768.801	58.671
STD(mm)	2.3	4.5	2.9	3.5	1.7	4.3

表 6.6 使用不同模式計算太麻里(TMAM)到墾丁(KDNM)基線不

同方位的標準差(單位:mm)

	North	East	Height	3D
Saastamoinen	3.1	1.0	3.0	4.4
Hopfield	2.6	1.4	3.7	4.7
Niell	3.2	1.2	3.6	5.0
Niell+MET	3.0	1.1	3.8	5.0
Niell+WVR	3.5	1.7	4.3	5.8







圖 6.12 太麻里(TMAM)到墾丁(KDNM)基線在三個不同方向隨時變 化圖

第三條基線為台南成大(CK01)到墾丁(KDNM),時間為民國 99 年 11 月4日到9日。表 6.7 為使用 Niell 模式的計算結果,其他模式所得 結果相近,表 6.8 為使用 Niell 模式加上輻射計觀測結果,表 6.9 為 使用不同模式計算台南成大(CK01)到墾丁(KDNM)基線不同方位的 標準差,使用 Niell 模式加上輻射計觀測結果雖然和其他模式接近, 在 N 方向比其他方法好,但平均來說仍然差一點,主要原因可能為 觀測期間降雨,造成亮溫飆高,影響濕延遲的觀測,目前已將高亮溫 值的觀測資料消除,進一步修正基線計算值。

DOY	X(m)	Y(m)	Z(m)	N(m)	E(m)	h(m)
317	-2956618.825	5075902.253	2476625.689	2544368.813	170038.598	59.521
318	-2956618.820	5075902.251	2476625.695	2544368.820	170038.594	59.519
319	-2956618.833	5075902.249	2476625.688	2544368.812	170038.607	59.521
320	-2956618.826	5075902.257	2476625.690	2544368.812	170038.596	59.525
321	-2956618.827	5075902.258	2476625.693	2544368.814	170038.597	59.527
Mean(m)	-2956618.826	5075902.254	2476625.691	2544368.814	170038.598	59.523
STD(mm)	4.7	3.8	2.9	3.4	4.7	3.3

基線(使用 Niell 模式)

表 6.8 民國 99年11月13日到17日台南成大(CK01)到墾丁(KDNM)

	基線(使用	Niell	模式+WVR)
--	-------	-------	---------

DOY	X(m)	Y(m)	Z(m)	N(m)	E(m)	h(m)
317	-2956618.839	5075902.255	2476625.667	2544368.789	170038.609	59.520
318	-2956618.836	5075902.253	2476625.672	2544368.795	170038.607	59.519
319	-2956618.850	5075902.252	2476625.666	2544368.787	170038.620	59.523
320	-2956618.841	5075902.259	2476625.668	2544368.788	170038.608	59.525
321	-2956618.842	5075902.261	2476625.671	2544368.790	170038.608	59.528
Mean(m)	-2956618.842	5075902.256	2476625.669	2544368.790	170038.610	59.523
STD(mm)	5.3	3.7	2.7	3.1	5.2	3.5

表 6.9 使用不同模式計算台南成大(CK01)到墾丁(KDNM)基線

不同方位的標準差(單位: mm)

	North	East	Height	3D
Saastamoinen	3.3	4.9	3.0	6.6
Hopfield	3.7	5.0	3.1	6.9
Niell	3.4	4.7	3.3	6.7
Niell+MET	3.5	4.8	3.5	6.9
Niell+WVR	3.1	5.2	3.5	7.0







圖 6.13 台南成大(CK01)到墾丁(KDNM)基線在三個不同方向隨時變 化圖

由於此次外業恰巧遇到的天候狀況都不佳,因此造成解算精度反 而降低,在國外的相關文獻中也有同樣的記載,確切的對應之策,需 先完成李委員所建議的『擷取不同天候狀況的資料來進行分析』之後, 方能下定論,不同氣候條件下的基線計算將會在期末報告完成並加以 補充。另外現在 Bernese 版本只能輸入天頂向濕延遲,輻射計觀測到 的斜向濕延遲,也就是 GPS 和輻射計連線的濕延遲量,目前沒有有 效方法輸入 Bernese 中,使得濕延遲計算的準確度無法有效提高,如 果未來版本的 Bernese 處理系統能改善這方面的缺失,應可大幅提升 在惡劣天氣下的濕延遲估算的準確度。目前的基線計算已將強降雨所 造成的不合理亮溫觀測值剔除,以了解他們的影響。

為了探討下雨對基線觀測的影響,我們從北港(PKGM)和墾丁 (KDNM)輻射計的觀測資料篩選無下雨時期和下小雨時期比較,無下 雨時期為民國 99 年 182 到 192 日其中 186-187 日無資料, 下小雨時 期為民國 99 年 218 到 226 日。圖 6.14 顯示不同模式在無下雨時期 的標準差,其中 Niell+WVR1 為使用 Niell 模式和未校正的 WVR 資 料,Niell+WVR2 為使用 Niell 模式和校正後的 WVR 資料,除了在 北方向,有WVR 的觀測值有較大的標準差外,Niell+WVR2 的結果 最好,平均也是最好,而使用未校正 WVR 資料的 Niell+WVR1 的結 果最差,顯示在無下雨時期,如果 WVR 資料有校正過,所得結果會 優於模式。圖 6.15 顯示不同模式在下小雨時期的標準差,結果顯示 模式優於加入 WVR 資料的結果,但使用有校正過的 WVR 的結果優 於沒有校正過的結果。顯示在降小雨時期,無法以 WVR 資料有效改 善基線計算,其原因可能為輻射計在雨中觀測結果較差有關,但真實 原因能有待進一步研究。



圖 6.14 不同模式在無下雨時期標準差比較。



圖 6.15 不同模式在下小雨時期標準差比較。

第7章 校正過去觀測資料的可行性評估與研究

本章對民國 97 年到 99 年 11 月的觀測資料進行再校正的可行性 評估與研究,整個過程包括 Tnd 值的校正, Level 0 的資料轉換成 Level 1 的資料, Level 1 的亮溫資料轉換成 Level 2 大氣水氣資料, 所使用的程式為第4章所發展的程式。

7.1 Tnd 值校正

首先我們先對 Tnd 值進行校正,以了解 mp.cfg 內設定值的合理 性, 圖 7.1 為墾丁(KDNM)輻射計(mp1512)校正後 Tnd 時序值,圖 7.2 為北港(PKGM)輻射計(mp1513)校正後 Tnd 時序值,其中沒有顏 色的部分為資料缺漏,表示這段期間輻射計在維修中或資料異常,圖 中顯示輻射計 Tnd 值隨時變化大致平順,但有時會產生劇烈波動,如 墾丁(KDNM)輻射計在民國 98 年 12 月,Tnd 值劇烈變化,經檢查資 料發現是因為北港(PKGM)輻射計的 Tip 檔混到墾丁(KDNM)輻射計 資料中,另外還有民國 99 年 2 月 4 日到 6 日,輻射計在 4 日 20 時 35 分 45 秒時 Tnd 值突然增大,並持續 2 天,到 6 日 20 時 30 分 44 秒後恢復正常值,民國 97 年 6 月 14 日到 7 月 7 日 Tip 檔中的 Tnd 值 也突然變化,原因不明,可能是系統運作問題,將這些異常觀測事件 移除後,墾丁(KDNM)輻射計(mp1512)校正後 Tnd 時序值變化就較為

合理(圖 7.3),雖然偶爾仍有些小震盪。



圖 7.1 墾丁(KDNM)輻射計(mp1512)校正後 Tnd 時序值。

圖 7.4 為墾丁輻射計校正後 Tnd 值和內設值的差之時序圖已移除異 常值,圖 7.5 為北港(PKGM)輻射計校正後 Tnd 值和內設值的差之時 序圖,顯示北港(PKGM)輻射計有較佳的內設值,大部分跟校正後 Tnd 值差距在正負 2 度內,墾丁(KDNM)輻射計內設值較差,尤其在 23.835


圖 7.2 北港(PKGM)輻射計(mp1513)校正後 Tnd 時序值。

GHz 和 30 GHz 兩個頻率,從民國 97 年 10 月起 23.835 GHz 有 10 度 左右誤差, 30 GHz 的誤差更高達-20 度,這可能是儀器維護廠商校正 時發生錯誤所造成的結果,民國 99 年後墾丁(KDNM)輻射計内設 Tnd 值設定較為合理,和校正 Tnd 值的差在合理範圍內。



圖 7.3 移除異常值後墾丁(KDNM)輻射計(mp1512)校正後 Tnd 時序

值。



圖 7.4 墾丁(KDNM)輻射計(mp1512)校正後 Tnd 值和內定值的差之時序值。



圖 7.5 北港(PKGM)輻射計(mp1513)校正後 Tnd 值和內定值的差之時序值。

圖 7.6 和 圖 7.7 分別顯示墾丁(KDNM)輻射計在民國 98 年 8 月 29 日校正 Tnd 圖和民國 99 年 4 月 26 日校正 Tnd 圖,綠線為校正 後 Tnd 值,紅線為內設值,圖 7.6 有相當的誤差,圖 7.7 幾乎沒有誤 差,顯示人工校正的品質不穩定,如果能配合我們所發展的自動 Tnd 值校正程式,應可大幅降低反演大氣水氣的誤差。

7.2 Level 1 亮溫資料計算

使用 level 0 的觀測資料,配合校正過的 Tnd 值,我們可以重新 計算 Level 1 的亮溫資料,在計算亮溫值時,我們使用原廠的方程式, 所輸出的結果就如同原場的結果,可以讓我們了解 Tnd 值的誤差對亮 溫的影響,

圖 7.8 為墾丁(KDNM)輻射計(mp1512)未校正亮溫值和校正後亮 溫值的差之時序圖。從中可看出當 Tnd 有較大誤差時,亮溫值也有較 大的誤差,大約是呈線性關係,如民國 98 年的 23.835GHz 和 30GHz 兩 個頻道分別有 10K 到 20K 的亮溫誤差,這會對反演的大氣水汽量造 成相當的影響,在民國 98 年 12 月由於 Tnd 有不明原因的震盪,亮溫 也有較大的誤差。圖 7.9 為為北港(PKGM)輻射計(mp1513)未校正亮 溫值和校正後亮溫值的差之時序圖。由先前分析了解,北港(PKGM) 輻射計 Tnd 值誤差較小,所以亮溫的誤差也相對較低,大部分在 2K 以內,可以預期,反演得到的大氣水汽量也會較準確。



圖 7.6 墾丁(KDNM)輻射計在民國 98 年 8 月 29 日校正 Tnd 圖,綠線

為校正後 Tnd 值, 紅線為內設值。



圖 7.7 墾丁(KDNM)輻射計在民國 99 年 4 月 26 日校正 Tnd 圖,綠線

為校正後 Tnd 值, 紅線為內設值。





圖 7.8 墾丁(KDNM)輻射計(mp1512)未校正亮溫值和校正後亮溫值的

差之時序圖。





圖 7.9 北港(PKGM)輻射計(mp1513)未校正亮溫值和校正後亮溫值的

差之時序圖。

7.3 Level 2 資料計算比較

有了更新的 Level 1 亮溫資料,配合先前發展的反演程式,我們 可以將 Level 1 的資料轉換成 Level 2 的大氣水氣相關資訊,這裡我 們只比較可降水和濕延遲這兩個對 GPS 定位影響最大的參數。由於 輻射計在降雨時期,因水沾濕天線罩會造成不合理的亮溫值,所以這 次比對只比較沒降雨時期的可降水和濕延遲,同時我們將截斷角度設 為 30 度,這是因為我們目前反演方法在低角度高濕度的環境下會出 現異常,這時亮溫值接近地表值,由線性迴歸所得的T_{mr}可能非常接 近亮溫或低於亮溫,使得計算出的光程異常高或無法計算,所以必須 先排除一些高亮溫的觀測。

圖 7.10 到圖 7.17 為 民國 97 年到民國 98 年墾丁(KDNM)和北 港(PKGM)輻射計觀測可降水,原廠輸出值和我們的反演結果比餃。 當 Tnd 值正確時,大部分結果都位在中間紅線附近,隨著可降水量增 加,曲線向下彎,也就是在大部分的高可降水觀察,原廠預測的可降 水稍微低於我們反演的結果,少部分會不明原因散射如墾丁(KDNM) 輻射計民國 97 年 3 月的結果(圖 7.10),北港(PKGM)輻射計民國 97 年 7 月的結果(圖 7.13),北港(PKGM)輻射計民國 97 年 3 月的原廠 和我們反演結果的均方根誤差只有 0.21cm 但 7 月上升到 1.93cm, 有時原廠反演方法預估高可降水但我們方法預估為低的可降水,有時

107

正好相反,這些差異的起因不明需要進一步研究。有可能是雙方反演 方法在這些例子上並不適用所造成的結果,顯示斜向可降水的反演推 估方法能有改進的空間。當 Tnd 有很大誤差時,如墾丁(KDNM)輻射 計在民國 98 年時的情況,從圖 7.14 和圖 7.15 的結果可以看出集 體偏移紅線甚多,均方根誤差到達 4cm 左右,這顯示有正確的 Tnd 校正才能得到合理的可降水估計。



圖 7.10 墾丁(KDNM)輻射計民國 97 年可降水觀測資料比較 1



圖 7.11 墾丁(KDNM)輻射計民國 97 年可降水觀測資料比較 2



圖 7.12 北港(PKGM)輻射計民國 97 年可降水觀測資料比較1



圖 7.13 北港(PKGM)輻射計民國 97 年可降水觀測資料比較 2



圖 7.14 墾丁(KDNM)輻射計民國 98 年可降水觀測資料比較1



圖 7.15 墾丁(KDNM)輻射計民國 98 年可降水觀測資料比較 2



圖 7.16 北港(PKGM)輻射計民國 98 年可降水觀測資料比較1



圖 7.17 北港(PKGM)輻射計民國 98 年可降水觀測資料比較 2

圖 7.18 顯示我們主要觀測月份民國 99 年 11 月的原廠結果和我 們反演可降水的比較,上為 mp1512 也是墾丁(KDNM)輻射計,下為 mp1513,此時只有進行天頂向觀測,我們結果和原廠的結果相當吻合, 但 mp1512 在低可降水量時較原廠為大,可能是修正 Tnd 所造成的結 果。mp1512 的均方根誤差為 0.11cm,mp1513 均方根誤差為 0.14cm, 都非常小。



圖 7.18 民國 99 年 11 月 mp1512(上)和 mp1513(下)觀測結果比較

接著比對濕延遲,圖 7.19 和圖 7.20 顯示北港(PKGM)輻射計在 民國 98 年原廠的濕延遲和我們計算的濕延遲的比較,基本上和可降 水近似,所以我們只顯示北港(PKGM)輻射計在民國 98 年的觀測,但 濕延遲明顯較可降水遠離紅色理想線,從可降水推濕延遲使用式 3-30, 只多出П值,П值基本上是會隨大氣狀況改變在 0.16 附近進行微小



圖 7.19 北港(PKGM)輻射計民國 98 年濕延遲比對 1

變化,我們利用可降水和濕延遲可反推Π值,圖 7.21 是我們使用 mp1513 輻射計在民國 99 年 9 月 11 號到 15 號觀測資料反推Π值分佈 的結果,可發現原廠的Π值為一固定值約為 0.154,而適用台灣的Π值 應在 0.165 上下,這樣造成的差距大約 7%。



圖 7.20 北港(PKGM)輻射計民國 98 年濕延遲比對 2



圖 7.21 П值分布情況比對

由以上結果可知,後處理輻射計觀測資料是可行的,利用校正過 的 Tnd 值,可增進 Level 1 亮溫資料和大部分的 Level 2 水氣資訊 資訊,少部分後處理 Level 2 水氣資訊跟原廠有相當的差距,一部分 原因是我們目前的反演方法無法較正確處理高亮溫的觀測,亮溫值跟 地表溫度太過接近會造成反演的異常,另一部分原因是原廠反演方法 是一個黑盒子,我們不知他的性能好壞,如前面探討Π值問題,原廠 的處理方法是會影響精度。不過在靠近天頂方向的觀測雙方的結果相 當接近。

第8章 研究結果

本計畫的主要成果為:

- WVR 原理介紹包括輻射傳輸方程式,迴歸反演方法,微波輻射計 方程式,輻射計校正技術,回顧國際上關於輻射計在測繪領域的 應用資訊。
- 完成微波輻射計資料校正處理作業程序草案,大致分為近及時處 理和後處理程序兩個部分。
- 完成輻射計近即時校正程式及程序,可以增進輻射計觀測的精確 度。
- 完成輻射計資料後處理程式,可以先前觀測資料的再校正,提高 觀測的精確度,未來將進一步整合不同步驟的輻射計資料後處理 程式。
- 完成輻射計資料處理系統和資料分配系統原型,具有基本的執行功能。
- 6. 完成北港(PKGM)、太麻里(TMAM)和台南成大(CK01)外業觀測。
- 7. 解算北港(PKGM)到墾丁(KDNM)基線和太麻里(TMAM)到墾丁 (KDNM)基線,北港(PKGM)到墾丁(KDNM)基線由於觀測期間發 生輻射計傾倒事件,基線計算結果不佳,我們從先前觀測結果挑

120

選無下雨時期和下小雨時期基線計算結果,發現在無下雨時期, 使用校正過後 WVR 資料的結果最佳,使用未校正 WVR 資料的結 果最差,顯示在無下雨時期,校正過的 WVR 資料可以降低基線觀 測誤差。但在下小雨時期,模式的結果較佳,顯示下雨時期,目 前 WVR 觀測無法改善基線觀測。太麻里(TMAM)到墾丁(KDNM) 基線和成大(CK01)到墾丁(KDNM)基線的計算因觀測期間降雨無 法以 WVR 觀測改善基線計算。

- 發現原廠輻射計在將可降水轉成濕延遲的Ⅱ為一固定值,且此固 定值不適用台灣,會造成7%的誤差。
- 9. 完成再校正處理民國 97 年和民國 98 年的觀測資料的可行性評估 與研究,顯示再校正處理是可行的,但在大氣水氣量的反演上仍 有些差異需要去了解差異的來源。

第9章 建議事項

主要建議事項如下:

- 目前 WVP-1500 輻射計雖有 Rain Effect Mitigation 裝置,但在大 雨中效果不佳,從觀測資料可看出,當雨水或雨滴無法及時從天 線罩移除時,會造成亮溫值的飆高,產生不合理的濕延遲量,使 基線計算的擾動增加,未來應盡量避免下雨時使用,也就是當 Level 2 資料中雨滴感測器顯示為 Y 的觀測資料。
- 2. 另外當颱風來襲時,輻射計應盡量拆卸並移入室內安全地方安置, 以避免此次外業期間,墾丁(KDNM)輻射計因凡那比颱風造成的儀 器損害(儀器傾倒,轉動馬達功能不正常,GPS 接收器故障)發生。
- Bernese 處理系統目前無法讀入斜向濕延遲,未來將開發相關技術, 以增加濕延遲計算的準確度,以增加濕延遲計算的準確度。
- 目前我們的 Level 2 反演結果和原廠結果在某些例子有較大差異, 未來需要進一步研究了解其原因。
- 5. 我們目前的 Level 1 到 Level 2 的反演程式不適用高亮溫的觀測, 也就是水氣密度大的大氣環境,如降大雨和低角度觀測時,未來 需要進一步改進。
- 6. 目前輻射計觀測資料只能在無降雨時期改善基線計算,降雨時期

122

輻射計觀測資料無法有效改善基線計算,未來可發展應用於降雨 時期的技術。

 辐射計資料處理系統和資料分配系統原型僅具有基本的執行功能, 未來可開發更為完善的系統以利作業。

参考文獻

王傳盛,2009。對流層延遲效應與全球定位系統高程定位之研究,國

立中央大學太空科學研究所博士論文。

- 何人豪,2002。GPS 氣象中地面氣象模式之改進,國立中央大學太空 科學研究所碩士論文。
- 吴曉雯、楊名、江凱偉,2009。利用精密單點定位估計絕對天頂對流 層延遲量與可降水量之研究,第二十八屆測量及空間資訊研討 會。
- 陳彥杕、陳國華、楊名,2008。應用水氣輻射天頂延遲觀測量於 GPS

相對定位之研究,地籍測量。

鄧忠民,1998。利用全球定位系統估算大氣濕延遲量,國立中央大學

太空科學研究所碩士論文。

谢昀錐、吴究、谢吉修,2009。福衛三號結合 GPS 監測颱風過境時

期對流層天頂向延遲量,第二十八屆測量及空間資訊研討會。 蔡亦證,2005。近即時估計台灣 GPS 追蹤站網之對流層延遲效應,

國立宜蘭大學土木工程學系碩士論文。

內政部土地測量局,2006。e-GPS 衛星基準站即時動態定位系統

VBS-RTK 定位測試成果報告,內政部土地測量局。

Alber, C., R. Ware, C. Rocken, and F. Solheim (1997), GPS surveying

with 1 mm precision using corrections for atmospheric slant path delay, Geophysical Research Letters, 24(15), 1859-1862.

- Askne, J., and H. Nordius (1987), Estimation of tropospheric delay for microwaves from surface weather data, Radio science, 22(3), 379-386.
- Basili, P., S. Bonafoni, V. Mattioli, P. Ciotti, G. d'Auria, 2002. Monitoring atmospheric water vapour using GPS measurements during precipitation events, Proc. of IEEE/IGARSS, 24.
- Bar-Sever, Y. E., P. M. Kroger, and J. A. Borjesson (1998), Estimating horizontal gradients of tropospheric path delay with a single GPS receiver, Journal of Geophysical Research-Solid Earth, 103(B3), 5019-5035.
- Bevis, M., S. Businger, T. A. Herring, C. Rocken, R. A. Anthes, and R. H.
 Ware (1992), Gps Meteorology Remote-Sensing of Atmospheric
 Water-Vapor Using the Global Positioning System, Journal of
 Geophysical Research?Atmospheres, 97(D14), 15787-15801.
- Bevis, M., (1994), GPS meteorology: mapping zenith wet delays onto principitable water, Journal of Application Meteorology, 33, 379-386.
- Bock, O., and E. Doerflinger (2000), Atmospheric processing methods f or high accuracy positioning with the Global Positioning System, paper presented at COST-716 Workshop, laboratoire OEMI, Soria Moria, Oslo (N).
- Bock, O., and E. Doerflinger (2001), Atmospheric modeling in GPS data analysis for high accuracy positioning, Physics and Chemistry of the Earth Part a-Solid Earth and Geodesy, 26(6-8), 373-383.

- Bock, Y. (1998), Medium distance GPS measurements, in GPS for Geodesy, Lecture Notes in Earth Sciences, edited by P. J. G.
 Teunissen and A. Kleusberg, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York.
- Businger, S., S. R. Chiswell, M. Bevis, J. Duan, R. A. Anthes, C. Rocken,R. H. Ware, M. Exner, T. VanHove, and F. S. Solheim (1996), The promise of GPS in atmospheric monitoring, Bulletin of the American Meteorological Society, 77(1), 5-18.
- Chen, G., and T. A. Herring (1997), Effects of atmospheric azimuthal asymmetry on the analysis of space geodetic data, Journal of Geophysical Research-Solid Earth, 102(B9), 20489?20502.
- Davis, J. L., T. A. Herring, Shapiro, II, A. E. E. Rogers, and G. Elgered (1985), Geodesy by radio interferometry: effects of atmospheric modeling errors on estimates of baseline length, Radio science, 20(6), 1593-1607.
- Davis, J. L., G. Elgered, A. E. Niell, and C. E. Kuehn (1993), Ground-Based Measurement of Gradients in the Wet Radio Refractivity of Air, Radio Science, 28(6), 1003-1018.
- Dixon, T. H., and S. K. Wolf (1990), Some Tests of Wet Tropospheric Calibration for the Casa-Uno Global Positioning System Experiment, Geophysical Research Letters, 17(3), 203-206.
- Dodson, A. H., P. J. Shardlow, L. C. M. Hubbard, G. Elgered, and P. O. J. Jarlemark (1996), Wet tropospheric effects on precise relative GPS height determination, Journal of Geodesy, 70(4), 188-202.
- Elgered, G., J. L. Davis, T. A. Herring, and Shapiro, II (1991), Geodesy by radio interferometry: Water vapor radiometry for estimation of

the wet delay, Journal of Geophysical Research-Solid Earth, 96(B4).

- Elgered, G. (1992), Refraction in the Troposphere, paper presented at Refraction of Transatmospheric Signals in Geodesy, Netherlands Geod. Comm., Netherlands Geod. Comm., Delft.
- Elgered, G. (1993), Tropospheric radio-path delay from ground?based microwave radiometry. , in Atmospheric Remote Sensing by Microwave Radiometry, edited by M. A. JANSSEN, Wiley, New-York.
- Emardson, T. R., and P. O. J. Jarlemark (1999), Atmospheric modelling in GPS analysis and its effect on the estimated geodetic parameters, Journal of Geodesy, 73(6), 322-331.
- England, M. N., R. A. Ferrare, S. H. Melfi, D. N. Whiteman, and T. A.
 Clark (1992), Atmospheric Water-Vapor Measurements ?
 Comparison of Microwave Radiometry and Lidar, Journal of
 Geophysical Research-Atmospheres, 97(D1), 899-916.
- Gardner, C. S. (1977), Correction of laser tracking data for the effects of horizontal refractivity gradients, Applied Optics, 16(9), 2427-2432.
- Goad, C. C., and L. Goodman (1974), A modified Hopfield tropospheric refraction correction model, paper presented at Fall Annual Meeting of the American Geophysical Union, San Francisco, California.
- Han, Y. and E. R. Westwater(2000), Analysis and Improvement of Tipping Calibration for Ground-Based Microwave Radiometers, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 38, 1260-1276.
- Hauser, J. P. (1989), Effects of deviations from hydrostatic equilibrium on atmospheric corrections to satellite and lunar laser range

measurements, Journal of Geophysical Research (ISSN 0148-0227), 94.

- Herring, T. A. (1992), Modeling Atmospheric Delays in the Analysis of Space Geodetic Data., paper presented at Refraction of Transatmospheric Signals in Geodesy, Netherlands Geod. Comm., Netherlands Geod. Comm., Delft.
- Hopfield, H. S. (1971), Tropospheric effect on electromagnetically measured range: prediction from surface weather data, Radio Sci., 6(3), 357-367.
- Hugentobler, U., S. Schar, P. Fridez, E. Beutler, 2001. *Bernese GPS* Software: Version 4.2, Astronomical Institute, University of Bern.
- Janes, H. W., R. B. Langley, and S. P. Newby (1991), Analysis of tropospheric delay prediction models: comparisons with ray?tracing and implications for GPS relative positioning, Journal of Geodesy, 65(3), 151-161.
- Johasson, J. M., T. R. Emardson, P. O. J. Jarlemark, L. P. Gradinarsky, and G. Elgered (1998), The Atmospheric Influence on the Results from the Swedish GPS Network, Physics and Chemistry of the Earth, 23(1), 107-112.
- Jonge, P. J. d. (1998), A processing strategy for the application of the GPS in networks, Ph.D dissertation, Delft University of Technology.
- Kim, D., R. B. Langley, J. Bond, and A. Chrzanowski (2003), Local deformation monitoring using GPS in an open pit mine: Initial study, GPS Solutions, 7(3),176-185.
- Keshin, M., 2007. Sequential combination of troposphere time series, GPS Solutions, 11, 37-47.

- Kleijer, F. (2004), Troposphere modeling and filtering for precise GPS leveling, Ph.D dissertation, Delft University of Technology.
- Klobuchar, J. A., and J. M. Kunches (2003), Comparative range delay and variability of the earth's troposphere and the ionosphere, GPS Solutions, 7(1), 55-58.
- Leick, A. (2004), GPS satellite surveying, Wiley.
- Liljegren, J., E. Clothiaux, G. Mace, S. Kato and X. Dong(2001), A new retrieval for cloud liquid water path using a ground-based microwave radiometer and measurements of cloud temperature, Journal of Geophysical Research, 106(D13), 14485-14500.
- Liou, Y. A., and C. Y. Huang (2000), GPS observations of PW during the passage of a typhoon, Earth Planets and Space, 52(10), 709-712.
- Liou, Y. A., Y. T. Teng, T. Van Hove, and J. C. Liljegren (2001), Comparison of precipitable water observations in the near tropics by GPS, microwave radiometer, and radiosondes, Journal of Applied Meteorology, 40(1), 5-15.
- Macmillan, D. S. (1995), Atmospheric Gradients from Very Long-Base-Line Interferometry Observations, Geophysical Research Letters, 22(9), 1041-1044.
- Marini, J. W. (1972), Correction of satellite tracking data for an arbitrary tropospheric profile, Radio Science, 7(2), 223-231.
- Marini, J. W., and C. W. Murray (1973), Correction of laser range tracking data for atmospheric refraction at elevations above 10 degrees, NASA Tech. Rep. X-591-73-351 (NASA, Greenbelt, Md., 1973).

- McCarthy, D. D. (1996), IERS conventions (1996), IERS Technical Note, 21, 65-66.
- Mendes, V. B., and R. B. Langley (1999), Tropospheric zenith delay prediction accuracy for high-precision GPS positioning and navigation, Navigation, 46(1), 25-34.
- Niell, A. E. (1996), Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths, Journal of Geophysical Research-Solid Earth, 101(B2), 3227-3246.
- Owens, J. C. (1967), Optical refractive index of air: dependence on pressure, temperature and composition, Applied Optics, 6(1), 51-59.
- Rocken, C., J. M. Johnson, R. E. Neilan, M. Cerezo, J. R. Jordan, M. J.
 Falls, L. D. Nelson, R. H. Ware, and M. Hayes (1991), The Measurement of Atmospheric Water-Vapor Radiometer Comparison and Spatial Variations, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 29(1), 3-8.
- Rothacher, M., and G. Beutler (1998), The role of GPS in the study of global change, Physics and Chemistry of the Earth, 23(9-10), 1029-1040.
- Saastamoinen, J. (1972), Atmospheric correction for the troposphere and stratosphere in radio ranging of satellites. In the use of artificial satellites for geodesy, Geophys. Monogr. Ser. edited by Henriksen SW et al, 15, 247-251.
- Saastamoinen, J. (1973), Contributions to the theory of atmospheric refraction, Bulletin Geodesique, 47(1), 13-34.
- Santerre, R. (1991), Impact of GPS satellite sky distribution, Manuscripta Geodaetica, 16, 28-53.

- Schenewerk, M., T. M. van Dam, G. Sasagawa, S. Philipsen, and K. Larson (1998), A Detailed Analysis of Tropospheric Effects on Geodetic Observations at TMGO, Physics and Chemistry of the Earth, 23(1), 103-106.
- Scherneck, H. G. (1991), A parametrized solid earth tide model and ocean tideloading effects for global geodetic baseline measurements, Geophysical Journal International, 106(3), 677-694.
- Sierk, B., B. Burki, H. BeckerRoss, S. Florek, R. Neubert, L. P. Kruse, and H. G. Kahle (1997), Tropospheric water vapor derived from solar spectrometer, radiometer, and GPS measurements, Journal of Geophysical Research?Solid Earth, 102(B10), 22411-22424.
- Solheim, F. S., J. Vivekanandan, R. H. Ware, and C. Rocken (1999), Propagation delays induced in GPS signals by dry air, water vapor, hydrometeors, and other particulates, Journal of Geophysical Research, 104(D8), 9663-9670.
- Solheim, F. S., J. R. Godwin, E. R. Westwater, Y. Han, S. J. Keihm, K. Marsh and R. Ware (1998), Radiometric profiling of temperature, water vapor and cloud liquid water using various inversion methods, Radio Science, 33, 393-404.
- Thayer, G. D. (1974), An improved equation for the radio refractive index of air., Radio Sci., 9(10).
- Tralli, D. M., and S. M. Lichten (1990), Stochastic estimation of tropospheric path delays in global positioning system geodetic measurements, Journal of Geodesy, 64(2), 127-159.

Ulaby, F. T., R. K. Moore, and A. K. Fung (1981), Microwave remote

sensing: active and passive, Artech House, Norwood, MA, 2062.

- Wang, J., L. Zhang, A. Dai, T. van Hove, J. van Baelen, 2007. A near-global 2-hourly data set of atmospheric precipitable water from ground-based GPS measurements, *Journal of Geophysical Research*, 112, D11107.
- Wang, C. S., Y. A. Liou, T. K. Yeh, 民國 97. Impact of surface meteorological measurements on GPS height determination, Geophysical Research Letters, 35(23), L23809, doi: 10.1029/民國 97GL035929.
- Ware, R., C. Rocken, F. Solheim, T. Van Hove, C. Alber, and J. Johnson (1993), Pointed Water Vapor Radiometer Corrections for Accurate Global Positioning System Surveying, Geophysical Research Letters, 20, 2635-2635.
- Ware, R. H., C. Rocken, and J. B. Snider (1985), Experimental Verification of Improved GPS-Measured Baseline Repeatability Using Water-Vapor Radiometer Corrections, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 467-473.
- Weckwerth, T. M., V. Wulfmeyer, R. M. Wakimoto, R. M. Hardesty, J.
 W. Wilson, and R. M. Banta (1999), NCAR–NOAA lower-tropospheric water vapor workshop, Bulletin of the American Meteorological Society, 80(11), 2339-2357.

Wikipedia, 2008. http://www.wikipedia.org/.

附錄一 輻射計自動校正程式

import sys,csv,datetime,os import numpy as np

def calcTnd0(Flist):

```
Tnd = []
Dt = []
Tnd_old = []
Frq = []
for i in range(5):
     Tnd.append([])
for filename in Flist:
     fi = open(filename,'rb')
     TndReader = csv.reader(fi,dialect='excel')
     try:
         TndReader.next()
          for row in range(5):
               line = TndReader.next()
               if not len(Frq)==5 :
                   Frq.append(line[3])
                   Tnd_old.append(line[10])
         TndReader.next()
          for line in TndReader:
               for i in range(5):
                   Tnd[i].append(line[4+2*i])
     except csv.Error,e:
          print 'file %s, line %d: %s' % (filename, TndReader.line_num, e)
     fi.close()
tr = len(Tnd[1])
Tnd = np.array(Tnd,dtype=float)
Tnd_old = np.array(Tnd_old,dtype=float)
Tnd_new=np.average(Tnd,axis=1)
Tnd_std = np.std(Tnd,axis=1)
Tnd1\_new = Tnd\_new
Tnd1\_std = Tnd\_std
Tnd2\_new = Tnd\_new
```
```
Tnd2\_std = Tnd\_std
for i in range(5):
  cond = abs(Tnd[i,:]-Tnd_new[i]) < 3.0*Tnd_std[i]+0.0001
  Tnd1 = Tnd[i,cond]
  Tnd1_new[i]=np.average(Tnd1)
  Tnd1_std[i] = np.std(Tnd1)
  cond = abs(Tnd[i,:]-Tnd1_new[i]) < 1.5*Tnd1_std[i]+0.0001
  Tnd2 = Tnd[i,cond]
  Tnd2_new[i]=np.average(Tnd2)
  Tnd2_std[i] = np.std(Tnd2)
return Tnd2_new,Tnd2_std,Tnd_old-Tnd2_new,tr
```

```
def updateTndRecord(Tnd,Tnd_std,DTnd,tr,days,ds,path):
```

```
fn = ds[0:4]+'_TndRecord.csv'
```

TR = open(os.path.join(path,fn),'ab+')

TRwriter = csv.writer(TR,dialect='excel')

LN = 0

for line in TR:

LN = LN + 1

if LN == 0:

```
TRwriter.writerow(["Record", "Date", "Tnd_1", 'Tnd_2', 'Tnd_3',\
'Tnd_4', 'Tnd_5', 'Std_1', 'Std_2', 'Std_3',\
```

'Std_4','Std_5','DTnd_1','DTnd_2','DTnd_3',\

```
'DTnd_4','DTnd_5','Total Records','Total Days'])
```

```
LN = 1
```

```
def parseArgv(argv):
```

ds = datetime.date.today().isoformat()
start_ds = datetime.date(1999,1,1).isoformat()
path = os.path.abspath(")

```
min_number = 600
    min_days = 3
    arg_old = argv[0]
    for arg in argv:
         if arg_old == '-t':
               ds = arg
         elif arg_old == '-p':
               path = arg
         elif arg_old == '-n':
               min_number = int(arg)
         elif arg_old == '-m':
              min_days = int(arg)
         elif arg_old == '-s':
               start_ds = arg
          arg_old = arg
    return ds,start_ds,min_number,min_days,path
def calcTnd(ds,start_ds,min_number,min_days,path):
    new_date = datetime.datetime.strptime(ds, "%Y-%m-%d").date()+\langle
                  datetime.timedelta(days=1)
    start_date = datetime.datetime.strptime(start_ds,"%Y-%m-%d").date()
    tr = 0 ; idays = 0; Flist = []
    while tr < min_number or idays < min_days:
          new_date = new_date-datetime.timedelta(days=1)
          nds = new_date.isoformat()
          if new_date >= start_date:
               for root, dirs, files in os.walk(path):
                    for f in files:
                         if nds in f and 'tip.csv' in f:
                              Flist.append(os.path.join(root,f))
               idays = idays+1
               tnd_new,tnd_std,Dtnd,tr = calcTnd0(Flist)
         else:
               break
    updateTndRecord(tnd_new,tnd_std,Dtnd,tr,idays,ds,path)
    return tnd_new,tnd_std,Dtnd,tr,idays
```

def updateMPcfg(Tnd,path):

Snd = []

```
for i in range(5):

Snd.append('{0:7.3f}'.format(Tnd[i]))

cfg = open(os.path.join(path,'mp.cfg'),'r+')

for i in range(33):

cfg.readline()

seek1 = cfg.tell()

t1 = []

for i in range(5):

t = cfg.readline()

t1.append(t.replace(t[115:],Snd[i]+'\n'))

cfg.seek(seek1,0)

cfg.writelines(t1)

cfg.close()
```

```
if __name__=='__main__':
```

print sys.argv

ds,start_ds,min_number,min_days,path = parseArgv(sys.argv)

Tnd_new,Tnd_std,DTnd,tr,days = calcTnd(ds,start_ds,min_number,min_days,path) print Tnd_new,Tnd_std,DTnd,tr,days updateMPcfg(Tnd_new,path)

```
# date = datetime.date( \textbf{R} \textbf{w} 99,6,3)
```

```
# date_list = []
```

#

```
# for i in range(27):
```

date_list.append((date+datetime.timedelta(days=i)).isoformat())

```
# print date_list
```

```
# for date in date_list:
```

```
# argv = [-t', date, -p', c: \mp1513 \\', -n', 500']
```

```
# ds,min_number,path = parseArgv(argv)
```

```
# Tnd_new,Tnd_std,DTnd,tr,days = calcTnd(ds,min_number,path)
```

```
# print date,Tnd_new,Tnd_std,DTnd,tr,days
```

```
# updateMPcfg(Tnd_new,path)
```

附錄二 輻射計後處理程式

import os,csv,datetime

import numpy as np

import math

 $os.environ['DJANGO_SETTINGS_MODULE'] = "radiometer.settings"$

from django.conf import settings

from radiometer.obsdata.models import *

import radiometer

class Tnd:

	@ staticmethod
	def calcTnd(Flist):
	Tnd = []
	Dt = []
	$Tnd_old = []$
	Frq = []
	for i in range(5):
	Tnd.append([])
	for filename in Flist:
	fi = open(filename,'rb')
	TndReader = csv.reader(fi,dialect='excel')
	try:
	TndReader.next()
	for row in range(5):
	line = TndReader.next()
	if not len(Frq)==5 :
	Frq.append(line[3])
	Tnd_old.append(line[10])
	TndReader.next()
	for line in TndReader:
#	print line[0],line[1],line[2],filename
#	Dt.append(datetime.datetime.strptime(line[1],'%m/%d/%Y %H:%M:%S'))
	for i in range(5):
	Tnd[i].append(line[4+2*i])
	except csv.Error,e:
	print 'file %s, line %d: %s' % (filename, TndReader.line_num, e)

```
fi.close()
    tr = len(Tnd[1])
    Tnd = np.array(Tnd,dtype=float)
    Tnd_old = np.array(Tnd_old,dtype=float)
    Tnd_new=np.average(Tnd,axis=1)
    Tnd_std = np.std(Tnd,axis=1)
    print Tnd_new,Tnd_std,Tnd_old-Tnd_new
    Tnd1\_new = Tnd\_new
    Tnd1\_std = Tnd\_std
    Tnd2\_new = Tnd\_new
    Tnd2\_std = Tnd\_std
    for i in range(5):
         cond = abs(Tnd[i,:]-Tnd\_new[i]) < 3.0*Tnd\_std[i]+0.0001
         Tnd1 = Tnd[i,cond]
         Tnd1_new[i]=np.average(Tnd1)
         Tnd1\_std[i] = np.std(Tnd1)
         cond = abs(Tnd[i,:]-Tnd1_new[i]) < 1.5*Tnd1_std[i]+0.0001
         Tnd2 = Tnd[i, cond]
         Tnd2_new[i]=np.average(Tnd2)
         Tnd2\_std[i] = np.std(Tnd2)
    print Tnd2_new,Tnd2_std,Tnd_old-Tnd2_new,tr
    return Tnd2_new,Tnd2_std,Tnd_old-Tnd2_new,tr
@staticmethod
def updateTndRecord(Tnd,Tnd_std,DTnd,tr,date,path,ret_name):
    ds = date.isoformat()
    fn = ds[0:4]+'_+ret_name+'_TndRecord.csv'
    TR = open(os.path.join(path,fn),'ab+')
    TRwriter = csv.writer(TR,dialect='excel')
    LN = 0
    for line in TR:
         LN = LN + 1
    if LN == 0:
         TRwriter.writerow(["Record","Date","Tnd_1",'Tnd_2','Tnd_3',\
                                'Tnd_4','Tnd_5','Std_1','Std_2','Std_3',\
                                'Std_4','Std_5','DTnd_1','DTnd_2','DTnd_3',\
                                'DTnd_4','DTnd_5','Total Records'])
         LN = 1
    line = ["%3d" %LN,ds,"%7.3f" %Tnd[0],"%7.3f" %Tnd[1],"%7.3f" %Tnd[2], \
```

```
138
```

```
"%7.3f" %Tnd[3],"%7.3f" %Tnd[4],"%7.3f" %Tnd_std[0],

"%7.3f" %Tnd_std[1],"%7.3f" %Tnd_std[2],"%7.3f" %Tnd_std[3],

"%7.3f" %Tnd_std[4],"%7.3f" %DTnd[0],"%7.3f" %DTnd[1],

"%7.3f" %DTnd[2],"%7.3f" %DTnd[3],"%7.3f" %DTnd[4],"%4d" %tr]

TRwriter.writerow(line)
```

TR.close()

```
class LevelO:
```

```
def __init__(self,infile,new_tnd = None):
     try:
          fi = open(infile, 'rU')
          lv0reader = csv.reader(fi,dialect='excel')
          while True:
               row = lv0reader.next()
               if "MP1600" in row[3]:
                    rlineno = lv0reader.line_num
                    break
          for line in range(17):
               lv0reader.next()
          row = lv0reader.next()
          self.rain_sensor = float(row[3][0:3])
          for line in range(10):
               lv0reader.next()
          coef = [lv0reader.next()[3:13:1] for line in range(5)]
          coef = np.array(coef,dtype=float)
          self.frq,self.mrt,self.win_coef = coef[:,0],coef[:,1],coef[:,2]
          self.alpha,self.dtdg,self.k1 = coef[:,3],coef[:,4],coef[:,5]
          self.k2,self.k3,self.k4,self.tnd = coef[:,6],coef[:,7],coef[:,8],coef[:,9]
          for line in range(8):
               lv0reader.next()
          self.c0 = float(lv0reader.next()[3][0:9])
          self.c1 = float(lv0reader.next()[3][0:9])
          self.tamb_c = float(lv0reader.next()[3][0:9])
          self.rh_c = float(lv0reader.next()[3][0:9])
          self.tkbb_c = float(lv0reader.next()[3][0:9])
          indx = ['11','21','41','81']
          self.data = []
          for line in lv0reader:
```

try:
if len(line)>3 and line[2] in indx:
self.data.append(line)
except csv.Error,e:
print 'file %s, line %d: %s' % (infile, lv0reader.line_num, e)
self.data = [line for line in lv0reader if len(line)>3 and line[2] in indx]
if np.all(new_tnd):
self.tnd = new_tnd
except csv.Error, e:
print 'file %s, line %d: %s' % (infile, lv0reader.line_num, e)
finally:
fi.close()

class Level1:

#

```
def __init__(self,infile=None,lv0=None):
```

self.nfrq = 5

if isinstance(lv0,Level0):

self.lv0_to_lv1(lv0)

else:

self.lv1reader(infile)

def lv1reader(self,infile):

```
data = []
time = []
tb = []
```

try:

```
fi = open(infile,'rb')
```

lv1reader = csv.reader(fi,dialect='excel')

for line in lv1reader:

```
if line[2] == '11':
```

```
indx = [3,4,5,7,8,9,10,11,12,13,14]
```

```
try:
```

for i in indx:

line[i]=float(line[i])

time.append(datetime.datetime.strptime(line[1], "%m/%d/%y

H:M:S'')

data.extend([line[2]])
data.extend(['0','0'])
data.extend(line[3:10:1])

```
tb.extend(line[10:15:1])
```

except ValueError,e:

print 'file %s, line %d: %s' % (fi, lv1reader.line_num, e)

elif line[2] == '81':

indx = [5,6,7,9,10,11,12,13,14,15,16]

try:

for i in indx:

line[i]=float(line[i])

time.append(datetime.datetime.strptime(line[1], "%m/%d/%y

%H:%M:%S"))

```
data.extend(line[2:12:1])
```

tb.extend(line[12:17:1])

except ValueError,e:

print 'file %s, line %d: %s' % (fi, lv1reader.line_num, e)

except csv.Error, e:

print 'file %s, line %d: %s' % (infile, lv1reader.line_num, e)

self.len = len(time)

self.id = data[0::10]

self.ids = data[1::10]

self.snr = data[2::10]

self.tamb = np.array(data[3::10],dtype=float)

self.rh = np.array(data[4::10],dtype=float)

```
self.pres = np.array(data[5::10],dtype=float)
```

self.rain = data[6::10]

self.az = np.array(data[7::10],dtype=float)

self.el = np.array(data[8::10],dtype=float)

self.tkbb = np.array(data[9::10],dtype=float)

self.tb = np.array(tb,dtype=float).reshape(self.len,self.nfrq)

self.time = time

def lv0_to_lv1(self,lv0):

Tnd = lv0.tnd Vbb = np.zeros(self.nfrq) Vbb_nd = np.zeros(self.nfrq) Vsky = np.zeros(self.nfrq) Vsky_nd = np.zeros(self.nfrq) Tsky = np.zeros(self.nfrq) time = []

```
data = []
tb = []
    for line in lv0.data:
          indx = int(line[2])
          if ind x == 21:
               Vtkbb = float(line[3])
              Tkbb = Vtkbb/0.0249 + lv0.tkbb\_c
               for j in range(self.nfrq):
                    Vbb[j],Vbb_nd[j]=float(line[2*j+4]),float(line[2*j+5])
          elif indx == 41:
               Vtamb,Vrh,Vpres = float(line[3]),float(line[4]),float(line[5])
               Vtir,Vrain = float(line[6]),float(line[7])
          elif indx in [11,81]:
              if ind x == 81:
                    i = 5
                    ID = line[3]
                    SNR = line[4]
               else:
                    i = 3
                    ID = '0'
                    SNR = '0'
               Az,El = float(line[i]),float(line[i+1])
               for j in range(self.nfrq):
                    Vsky[j], Vsky_nd[j] = float(line[i+2*j+2]), float(line[i+2*j+3])
               for j in range(self.nfrq):
                    alp = 1.0/lv0.alpha[j]
                    TC = lv0.k1[j] + lv0.k2[j]*Tkbb + lv0.k3[j]*Tkbb**2 + 
                          lv0.k4[j]*Tkbb**3
                    gain_bb = ((Vbb_nd[j]^{**}alp-Vbb[j]^{**}alp)/(Tnd[j]+TC))^{**}lv0.alpha[j]
                    Trcv_bb = (Vbb[j]/gain_bb)**alp - Tkbb
                    gain_sky = ((Vsky_nd[j]**alp-Vsky[j]**alp)/(Tnd[j]+TC))**lv0.alpha[j]
                    Trcv_sky = Trcv_bb + lv0.dtdg[j]*(gain_sky-gain_bb)
                    Tsky[j] = (Vsky[j]/gain_sky)**alp - Trcv_sky
               tamb = Vtamb*100.0 - 40.0 + 273.15
               pres = Vpres*lv0.c1 + lv0.c0
               rh = Vrh*100
               if Vrain > 0.6:
```

try:

Lrain = 'Y'

else:

Lrain = 'N'

time.append(datetime.datetime.strptime(line[1], "%m/%d/%Y %H:%M:%S")) data.append([line[2],ID,SNR,tamb, rh,pres,Lrain,\

Az,El,Tkbb])

```
tb.append([Tsky[0],Tsky[1],Tsky[2],Tsky[3],Tsky[4]])
```

self.len = len(time)

self.id = [item[0] for item in data]

self.ids = [item[1] for item in data]

self.snr = [item[2] for item in data]

self.tamb = np.array([item[3] for item in data],dtype=float)

self.rh = np.array([item[4] for item in data],dtype=float)

self.pres = np.array([item[5] for item in data],dtype=float)

self.rain = [item[6] for item in data]

self.az =np.array([item[7] for item in data],dtype=float)

self.el = np.array([item[8] for item in data],dtype=float)

self.tkbb = np.array([item[9] for item in data],dtype=float)

self.tb = np.array(tb,dtype=float)

self.time = time

except (ValueError,ZeroDivisionError,IndexError),e:

print 'line %s : %s' % (line, e)

def save_to_file(self,filename):

flv1a = open(filename,'wb+')

flv1aWriter = csv.writer(flv1a,dialect='excel')

flv1aWriter.writerow(["Record", "Date/Time", "10", "Tamb(K)", "Rh(%)", \

```
"Pres(mb)", "Rain", "Az(deg)", "El(deg)", "TkBB(K)", \
```

```
" 22.235"," 23.035"," 23.835"," 26.235"," 30.000",""])
```

flv1aWriter.writerow(["Record", "Date/Time", "80", "ID", "SNR", "Tamb(K)", "Rh(%)", \

```
"Pres(mb)", "Rain", "Az(deg)", "El(deg)", "TkBB(K)", \
```

```
" 22.235"," 23.035"," 23.835"," 26.235"," 30.000",""])
```

for i in range(self.len):

dt = self.time[i].strftime("%m/%d/%y %H:%M:%S")

if self.id[i] == '11':

line = ["%6d" %(i+1),dt,self.id[i], \land

"%6.2f" % self.tamb[i],"%6.2f" % self.rh[i], \

"%6.1f" %self.pres[i],self.rain[i],

 $"\%6.2f" \% self.az[i], "\%6.2f" \% self.el[i], \label{eq:self}$

```
"%6.2f" % self.tkbb[i], "%6.2f" % self.tb[i,0],\

"%6.2f" % self.tb[i,1],"%6.2f" % self.tb[i,2],\

"%6.2f" % self.tb[i,3],"%6.2f" % self.tb[i,4],""]

elif self.id[i] == '81':

line = ["%6d" %(i+1),dt,self.id[i],self.ids[i],self.snr[i],\

"%6.2f" % self.tamb[i],"%6.2f" % self.rh[i], \

"%6.2f" % self.pres[i],self.rain[i],\

"%6.2f" % self.az[i],"%6.2f" % self.el[i],\

"%6.2f" % self.tkbb[i], "%6.2f" % self.tb[i,0],\

"%6.2f" % self.tb[i,1],"%6.2f" % self.tb[i,2],\

"%6.2f" % self.tb[i,3],"%6.2f" % self.tb[i,4],""]

flv1aWriter.writerow(line)

flv1a.close()
```

class Level2:

#

```
def __init__(self,infile=None,lv1=None,ret_coef= None):
     self.height = [i*0.1 \text{ for } i \text{ in range}(10)]
     self.height.extend([i*0.25+1 for i in range(37)])
     if isinstance(lv1,Level1) and isinstance(ret_coef,RetCoef):
          self.lv1_to_lv2(lv1,ret_coef)
     else:
          self.lv2reader(infile)
def lv1_to_lv2(self,lv1,ret_coef):
     indx = [i for item in self.height
               for i in range(ret_coef.height.shape[0])
               if abs(ret_coef.height[i]-item) < 0.00001]
      vd_coef = ret_coef.vd[indx][:]
     y = 373.16/lv1.tamb
     ex= (-7.90298*(y-1.0)+5.02808*np.log10(y)-
           (1.3816e-7)*(10**(11.344*(1.0-(1.0/y)))-1.0)+
           (8.1328e-3)*(10**(-3.49149*(y-1.0)-1.0))+
           math.log10(1013.246))
     es = 10^{**}ex
     e_srf=lv1.rh*es/100
     vd_srf=0.7223*e_srf*(300.0/lv1.tamb)
     t_srf = lv1.tamb; rh_srf = lv1.rh; p_srf = lv1.pres
```

```
nsm = lv1.len; nfrq = lv1.nfrq; nh = len(self.height)
tb = lv1.tb
ex = np.c_[np.ones(nsm),t_srf,rh_srf,p_srf]
tmr = np.zeros((nsm,nfrq))
for n in range(nfrq):
     tmr[:,n] = np.dot(ex,ret_coef.tmr[n,:])
ex = np.c_[np.ones(nsm),((p_srf-e_srf))**2/t_srf]
tau_dry = np.zeros((nsm,nfrq))
for n in range(nfrq):
     tau_dry[:,n] = np.dot(ex,ret_coef.tau_dry[n,:])
tau = np.zeros((nsm,nfrq))
for n in range(nfrq):
     tau[:,n] = np.log((tmr[:,n]-2.73)/(tmr[:,n]-tb[:,n]))
tauz = np.zeros((nsm,nfrq))
for n in range(nfrq):
     tauz[:,n] = tau[:,n]*np.sin(np.radians(lv1.el))
tauz_dry = np.zeros((nsm,nfrq))
for n in range(nfrq):
     tauz_dry[:,n] = tau_dry[:,n]*np.sin(np.radians(lv1.el))
tbz = np.zeros((nsm,nfrq))
for n in range(nfrq):
     tbz[:,n] = 2.73*np.exp(-tauz[:,n])+tmr[:,n]*(1.0-np.exp(-tauz[:,n]))
ex = np.c_[np.ones(nsm),p_srf,p_srf*e_srf,e_srf**2]
11 = np.dot(ex,ret_coef.11)
l2 = np.dot(ex,ret_coef.l2)
ex = np.c_[np.ones(nsm),p_srf,t_srf,t_srf**2,e_srf,e_srf**2]
v1 = np.dot(ex,ret_coef.v1)
v2 = np.dot(ex,ret_coef.v2)
self.Vint = (tau[:,2]-tau_dry[:,2])*v1 + (tau[:,4]-tau_dry[:,4])*v2
self.Lint = (tau[:,2]-tau_dry[:,2])*11 + (tau[:,4]-tau_dry[:,4])*12
np.where(self.Lint > 0.0,self.Lint,0.0)
self.ZVint = (tauz[:,2]-tauz_dry[:,2])*v1 + (tauz[:,4]-tauz_dry[:,4])*v2
self.ZLint = (tauz[:,2]-tauz_dry[:,2])*l1 + (tauz[:,4]-tauz_dry[:,4])*l2
np.where(self.ZLint > 0.0,self.ZLint,0.0)
self.Vint = self.Vint/10; self.ZVint = self.ZVint/10
ex = np.c_[np.ones(nsm),t_srf,e_srf,p_srf]
twm = np.dot(ex,ret_coef.twm)
Rv = 461.51
```

```
big_phi = 10^{**5/Rv}/(3.7^{*10**5/twm+22.1})
          self.WD = self.Vint/big_phi
          self.ZWD = self.ZVint/big_phi
          self.LWD = self.Lint/big_phi/10
          self.ZLWD = self.ZLint/big_phi/10
          self.vd = np.zeros((nsm,nh))
          ex = np.c_[np.ones(nsm),tbz,vd_srf]
          for n in range(len(self.height)):
               self.vd[:,n] = np.dot(ex,ret_coef.vd[indx[n],:])
          self.time = lv1.time
          self.len = len(self.time)
          self.id = [item if item == '81' else '12' for item in lv1.id]
          self.ids = lv1.ids
          self.snr = lv1.snr
          self.az = lv1.az
          self.el = lv1.el
          self.tamb = lv1.tamb
          self.rh = lv1.rh
          self.pres = lv1.pres
          self.rain = lv1.rain
     def lv2reader(self,infile):
          time,data,vd = [],[],[]
          try:
               fi = open(infile,'rb')
               lv2reader = csv.reader(fi,dialect='excel')
               for line in lv2reader:
                    if line[2] == '12':
                         try:
                               for i in range(3,len(line)):
                                    if i is not 6:
                                         line[i]=float(line[i])
                               time.append(datetime.datetime.strptime(line[1], "%m/%d/%y
%H:%M:%S"))
                               data.extend([line[2]])
                               data.extend(['0','0',90,90])
```

data.extend(line[3:8:1]) data.extend([0.0,0.0,0.0])

```
data.extend([line[8],0.0,0.0,0.0])
```

```
vd.append(line[9::1])
```

except ValueError,e:

print 'file %s, line %d: %s' % (infile, lv1reader.line_num, e)

elif line[2] == '81':

try:

for i in range(5,len(line)):

if i is not 10:

line[i]=float(line[i])

time.append(datetime.datetime.strptime(line[1], "%m/%d/%y

%H:%M:%S"))

```
data.extend(line[2:19:1])
```

vd.append(line[19::1])

except ValueError,e:

print 'file %s, line %d: %s' % (infile, lv2reader.line_num, e)

except csv.Error, e:

print 'file %s, line %d: %s' % (infile, lv2reader.line_num, e)

self.len = len(time)

self.time = time

self.id = data[0::17]

self.ids = data[1::17]

self.snr = data[2::17]

self.az = np.array(data[3::17],dtype=float)

self.el = np.array(data[4::17],dtype=float)

self.tamb = np.array(data[5::17],dtype=float)

self.rh = np.array(data[6::17],dtype=float)

self.pres = np.array(data[7::17],dtype=float)

self.rain = data[8::17]

self.Vint = np.array(data[9::17],dtype=float)

self.ZVint = np.array(data[10::17],dtype=float)

self.WD = np.array(data[11::17],dtype=float)

self.ZWD = np.array(data[12::17],dtype=float)

self.Lint = np.array(data[13::17],dtype=float)

self.ZLint = np.array(data[14::17],dtype=float)

self.LWD = np.array(data[15::17],dtype=float)

self.ZLWD = np.array(data[16::17],dtype=float)

self.vd = np.array(vd,dtype=float)

def save_to_file(self,filename):

flv2a = open(filename,'wb+')

```
flv2aWriter = csv.writer(flv2a,dialect='excel')
```

```
height_list=["%5.2f" %item for item in self.height]
```

line = ["Record", "Date/Time", "10", "Tamb(K)", "Rh(%)", "Pres(mb)", \

```
"Rain", "Vint(cm)", "Lqint(mm)"]
```

```
line.extend(height_list)
```

flv2aWriter.writerow(line)

```
line = ["Record", "Date/Time", "80", "ID", "SNR", "Az(deg)", "El(deg)",
```

```
"Tamb(K)", "Rh(%)", "Pres(mb)", "Rain", "Vint(cm)", "ZVint(cm)",
```

```
"VDly(cm)", "ZVDly(cm)", "Lqint(mm)", "ZLqint(mm)", "LqDly(cm)",
```

```
"ZLqDly(cm)"]
```

```
line.extend(height_list)
```

```
flv2aWriter.writerow(line)
```

```
for i in range(self.len):
```

```
dt = self.time[i].strftime("%m/%d/%y %H:%M:%S")
```

line = ["%6d" %(i+1),dt,self.id[i]]

srf_list = ["%6.2f" % self.tamb[i],"%6.2f" % self.rh[i],

"%6.1f" %self.pres[i],self.rain[i]]

vd_list = ["%5.2f" %item for item in self.vd[i,:]]

if self.id[i] == '12':

VL_list = ["%6.2f" %self.Vint[i],"%6.2f" %self.Lint[i]]

```
line.extend(srf_list)
```

line.extend(VL_list)

```
line.extend(vd_list)
```

```
elif self.id[i] == '81':
```

VL_list = ["%6.2f" %self.Vint[i],"%6.2f" %self.ZVint[i],

```
"\% 6.2f" \ \% self. WD[i], "\% 6.2f" \ \% self. ZWD[i],
```

```
"%6.2f" %self.Lint[i],"%6.2f" %self.ZLint[i],
```

```
"%6.2f" %self.LWD[i],"%6.2f" %self.ZLWD[i]]
```

```
SAT_list = [self.ids[i],self.snr[i],
```

```
"%6.2f" %self.az[i],"%6.2f" %self.el[i]]
```

```
line.extend(SAT_list)
```

```
line.extend(srf\_list)
```

```
line.extend(VL_list)
```

```
line.extend(vd_list)
```

```
flv2aWriter.writerow(line)
```

```
flv2a.close()
```

class RetCoef:

def __init__(self,infile):

self.extract_coef(infile)

def extract_coef(self,infile):

try:

```
fi = open(infile, 'r')
     line_list = fi.readline().split()
     self.nfrq = int(line_list[0])
     self.nvd = int(line_list[1])
     self.nh = int(line_list[2])
     ti = 10
     tl = (self.nh+9)/10
     height = []
     [height.extend(fi.readline().split()) for i in range(tl)]
     self.height = np.array(height,dtype=float)
     self.tmr = np.array([fi.readline().split() for i in range(5)],dtype=float)
     self.tau_dry=np.array([fi.readline().split() for i in range(5)],dtype=float)
     self.v1 = np.array(fi.readline().split(),dtype=float)
     self.v2 = np.array(fi.readline().split(),dtype=float)
     self.l1 = np.array(fi.readline().split(),dtype=float)
     self.12 = np.array(fi.readline().split(),dtype=float)
     self.twm = np.array(fi.readline().split(),dtype=float)
     self.vd = np.array([fi.readline().split() for i in range(201)],dtype=float)
except IOError as e:
```

print 'Unable to open '+infile+': %s\n' %e

finally:

fi.close()

```
def create_monthly_archives(fc_all,obs_all,ret,RadData_DIR):
```

```
file_types = ['lv1', 'lv2']
```

for fc in fc_all:

```
obsfr = obs_all.filter(obs_field_compaign=fc).
```

filter(retrieval_method=ret)

start_date_list, end_date_list = [],[]

```
start\_date = fc.start\_date
```

```
end\_date = fc.start\_date
```

while not end_date == fc.end_date:

start_date_list.append(start_date)

 $days = calendar.monthrange(start_date.year,start_date.month)[1]$

```
last_day = datetime.date(start_date.year,start_date.month,days)
    if last_day > fc.end_date:
         end_date = fc.end_date
    else:
         end_date = last_day
    end_date_list.append(end_date)
    start_date = last_day+datetime.timedelta(days=1)
for start_date,end_date in zip(start_date_list,end_date_list):
     start_time = datetime.datetime(start_date.year,\
                                           start_date.month,
                                           start_date.day,\
                                           0,0,0)
    end_time = datetime.datetime(end_date.year,\
                                        end_date.month,\
                                         end_date.day,\
                                        23,59,59)
    obs = obsfr.filter(obs__obs_time__gte=start_time).
            filter(obs__obs_time__lte=end_time)
    if obs.count() > 0:
          path = os.path.join(fc.radiometer.name,)
                                  str(start_date.year),\
                                  'MonthlyArchives')
         dst_path = os.path.join(RadData_DIR,path)
         print dst_path
         if not os.path.exists(dst_path): os.makedirs(dst_path)
         for ft in file_types:
              obsf = obs.filter(data_type=ft)
              filename = str(start_date.year)+'-'+
                            "\{0:0=2\}".format(start_date.month)+'-'+\
                            "\{0:0=2\}".format(start_date.day)+'-'+\
                            "\{0:0=2\}".format(end_date.day)+'-'+\
                            fc.location+'-'+\
                            ret.name+'-'+ft+'.zip'
              fullname = os.path.join(dst_path,filename)
              print fullname
              z = zipfile.ZipFile(fullname,mode='w',compression=zipfile.ZIP_DEFLATED)
              for ob in obsf:
                    fname = os.path.join(RadData_DIR,ob.path,ob.name)
```

```
z.close()
                        ma,created = MonthlyArchives.objects.get_or_create(
                             start_date=start_date,
                             end_date = end_date,
                             field_compaign=fc,
                            retrieval_method=ret,
                             path=path,
                             name=filename,
                             data_type=ft)
                        print ma.path,ma.name,ma.field_compaign.id,\
                               ma.start_date,ma.end_date,ma.data_type
def updateDatabase(RadData_DIR,retrievalmethod):
    ret_name = retrievalmethod.name
    lv0data = ObsData.objects.filter(data_type='lv0').\
                 filter(retrieval_method__name = 'Radiometrics')
    for lv0 in lv0data:
         lv1a name = lv0.name.replace('lv0',ret name+' lv1')
         if os.path.exists(os.path.join(RadData_DIR,lv0.path,lv1a_name)):
              lv1,created = ObsData.objects.get_or_create(
                        path=lv0.path,
                        name=lv1a_name,
                        obs=lv0.obs,
                        retrieval_method=retrievalmethod,
                        data_type = 'lv1')
              print lv1.path,lv1.name,lv1.retrieval_method
         lv2a_name = lv0.name.replace('lv0',ret_name+'_lv2')
         if os.path.exists(os.path.join(RadData_DIR,lv0.path,lv2a_name)):
              lv2,created = ObsData.objects.get_or_create(
                        path=lv0.path,
                        name=lv2a_name,
                        obs=lv0.obs,
                        retrieval_method=retrievalmethod,
                        data_type = 'lv2')
              print lv2.path,lv2.name,lv2.retrieval_method
def processingRadData(RadData_dir,retrievalmethod):
    ret_name = retrievalmethod.name
```

z.write(fname,ob.name)

```
print ret_name
```

coef = RetCoef(retrievalmethod.coef_data.path)

file_type = 'csv'

fcs = FieldCompaign.objects.all() #.filter(location="Kenting")

for fc in fcs:

print fc.location,fc.start_date,fc.end_date

```
lv0data = ObsData.objects.filter(data_type='lv0').
```

 $filter(obs_field_compaign=fc). \label{eq:field_compaign} \label{field_compaign}$

order_by('obs__obs_time')

tipdata = ObsData.objects.filter(data_type='tip').\
 filter(obs__field_compaign=fc).\
 order_by('obs__obs_time')

```
old_date = datetime.date(2005,1,1)
```

tnd_path = os.path.join(RadData_dir,fc.radiometer.name,'TndRecord')
if not os.path.exists(tnd_path): os.makedirs(tnd_path)

for lv0 in lv0data:

lv0 path = os.path.join(RadData DIR,lv0.path) new_date = lv0.obs.obs_time.date() print lv0_path, new_date if not new_date==old_date: tr = 0; i = 0while tr < 500 or i < 2: i = i+1end_date = new_date+datetime.timedelta(days=i) start_date = new_date-datetime.timedelta(days=i) end_datetime = datetime.datetime.combine(end_date,datetime.time(23,59,59)) start_datetime = datetime.datetime.combine(start_date,datetime.time(0,0,0)) new_data = tipdata.filter(obs__obs_time__gte=start_datetime). \ filter(obs__obs_time__lte=end_datetime) if new_data.count() > 0: Flist=[os.path.join(RadData_dir,td.path,td.name) for td in new_data] tnd_new,tnd_st,Dtnd,tr = Tnd.calcTnd(Flist) Tnd.updateTndRecord(tnd_new,tnd_st,Dtnd,tr,new_date,tnd_path,ret_name) lv0a = Level0(os.path.join(lv0_path,lv0.name),tnd_new) lv1a = Level1(lv0=lv0a)lv1a_filename = lv0.name.replace('lv0',ret_name+'_lv1') lv1a.save_to_file(os.path.join(lv0_path,lv1a_filename))

lv2a = Level2(lv1=lv1a,ret_coef=coef) lv2a_filename = lv0.name.replace('lv0',ret_name+'_lv2') lv2a.save_to_file(os.path.join(lv0_path,lv2a_filename)) else: lv0a = Level0(os.path.join(lv0_path,lv0.name),tnd_new) lv1a = Level1(lv0=lv0a)lv1a_filename = lv0.name.replace('lv0',ret_name+'_lv1') lv1a.save_to_file(os.path.join(lv0_path,lv1a_filename)) lv2a = Level2(lv1=lv1a,ret_coef=coef) lv2a_filename = lv0.name.replace('lv0',ret_name+'_lv2') lv2a.save_to_file(os.path.join(lv0_path,lv2a_filename)) $old_date = new_date$

if ______ == '____main___':

```
os.environ['DJANGO_SETTINGS_MODULE'] = "radiometer.settings"
from django.conf import settings
from radiometer.obsdata.models import *
import radiometer
RadData_DIR = radiometer.settings.RadData_DIR
om,created = RetrievalMethod.objects.get_or_create(name="HRSL20110327")
```

- # print RadData_DIR
- # processingRadData(RadData_DIR,om)
- # updateDatabase(RadData_DIR,om)

fc_all = FieldCompaign.objects.all()

obd_all = ObsData.objects.all()

create_monthly_archives(fc_all,obd_all,om,RadData_DIR)

附錄三 教育訓練公文

文稿頁面		A. 25 8 1		又號:100990110
20110201			樯 號:	
			保存年限:	
		カルが田上測絵	中心、派	
		內政部國工測續	T 13 124	
		機關地址:40	873台中市黎明路	2段497號4樓
		聯絡人及電話	:林承毅(04)2252	22966轉203
		傳真電話:(U 雪子郵件信箱	: 23121@mail.nl:	sc.gov.tw
	320	E 1 21 11 18 14		
	桃園縣中堰市中大路3	00號 <i>大學</i>		
	受义者·圆上十六	八子		
装	發文字號:測企字第]	000003588號		
	速别:普通件	e the ITE .		
	密等及解密條件或保容 附件:	后 央门 [1] ·		
		「侧池雨射計容料口」	暂校正作業研習	自會」教育訓
	主旨:貢校所选	做波轴引可具们的	前田, 復善	5 82 0
	練計畫書,	本中心问意依計畫	附理, 夜明 与	1
	說明:復 貴校1	00年4月15日中大遥	字第100600012	1號遊。
	正本:國立中央大學			
	副本:本中心企劃課			
訂				
	5 . F @			
	TIT	the doc		
	yanter and a second sec		for more thanks	
源				
3				
1				
-				
-				can be chief 1-4-521
				國元甲次八字
:		第1頁 共1章	Į.	001100
				1002201102

教育訓練計畫書

壹、 目的

為加強國土測繪中心員工輻射計操作相關知識,並導入輻射 計資料進行GPS 定位誤差修正,及輻射計資料在測繪領域的應 用,針對本案所發展之輻射計運作原理,輻射計校正原理,輻射 計資料反演方法,輻射計資料自動化供應程序和相關校正和反演 程式的操作進行教育訓練。

貳、 時間

本次教育訓練分兩場次,需分別報名:

一、輻射計運作原理,輻射計校正原理,輻射計資料反演方法、 輻射計資料自動化供應程序及相關程式操作:

民國100 年4 月26 日 (星期二) 9 時30 分至12 時10 分。

二、 導入輻射計資料進行GPS 定位誤差修正:

民國100 年4 月26 日 (星期二) 13 時30 分至16 時30 分。

参、 對象

一、 輻射計操作相關知識:國土測繪中心及各測量隊同仁。

二、 利用Bernese 軟體進行GPS 資料處理:國土測繪中心及各測 量隊同仁。

肆、 人數

每場次以20 人為原則。

伍、 地點

國土測繪中心第二會議室(台中市南屯區40873 黎明路2 段 497 號 5F)。



圖1. 國土測繪中心周邊路線圖

至善樓五樓



圖 2. 國土測繪中心配置圖

陸、 課目及課程大綱

一、 國土測繪資訊整合流通系統

時間	課目名稱		
9:30			
S	輻射計操作原理及校正原理		
10:20			
10:25			
S	輻射計反演方法		
11:15			
11:20			
S	輻射計校正程式及自動化供應程序程式操作說明		
12:10			

二、 GPS 定位結合輻射計修正資料

時間	課目名稱
13:30	
S	GPS 簡介及輻射計資料格式轉換
14:30	
14:30	
S	Bernese 軟體安裝說明(請學員自備筆記型電腦)
15:30	
15:30	
S	Bernese 軟體操作說明(請學員自備筆記型電腦)
16:30	

柒、 辦理單位

- 一、 主辦單位:內政部國土測繪中心
- 二、 執行單位:中央大學

捌、 費用

上課相關費用由本單位全額負擔。

附錄四 會議結論

I. 審查委員意見

	審查意見	改善情況	頁碼
楊委員名	 中央大學團 隊執行本研究 計畫成效良 好,予以高度肯 定。 	感謝肯定	
	2. 部分有數個	遵照辦理,皆以	P80~95
	線條的圖,例如	彩色列印。	
	圖 6.3、6.4、		
	6.6 ⋅ 6.9~		
	6.14,較難以清		
	楚閱讀,建議以		
	彩色呈現。		
	3. 测試基線之	遵照辦理,皆改	全文
	追蹤站站名,建	以正式名稱表	
	議各圖表中以	示。	
	點位正式名稱		

	表示,例如墾丁		
	(KMNM)、太麻		
	里(TMSM)、北		
	港(PKGM)等。		
	4. 針對結論及	謝謝	
	建議事項所提		
	出之進一步研		
	究項目,值得繼		
	續推動。		
劉委員明揚	1. 本計畫以	感謝肯定	
	Tipping Curve		
	法校正微波輻		
	射計,對於可降		
	水量,大氣水汽		
	量資料之掌握		
	更為精確,減低		
	濕延遲量之誤		
	差極有助益。		
	 2. 氣壓單位建 議修改為 hpa。 	遵照辦理,皆改	P18、19

		以 hpa 表示。	
	 3. 微波輻射計 資料校正處理 	遵照辦理,已在	第四章
	作業程序,建議	第四章進一步	
	可再強化,諸如 校正時之環境	修改說明。	
	條件,操作步驟		
	及資料處理程		
	序等。		
李委員振燾	 1.第1章:請於 本章針對 	遵照辦理,已在	P2
	level0、	第一章對輸出	
	level1、level2 作定義。	資料做定義。	
	2. 第2章:建	遵照辦理,公式	第二章、第三
	議公式編號加	編號皆加註	章
	註()。	() •	
	3. 第4章:請 說明白動校正	遵照辦理,已在	第四章
	m / f 动权工 Tnd 如何計	第四章做說明。	
	算?自動校正		
	Tnd 其後處理		
	所得 Tnd 是否		
	相同?		

 4. P52:圖 4.5、4.6標題 之 Corr.coef. 	差異原因為標 示疏忽,已修	P51 • 52
與圖內之 Corr.coef.呈 現差異之原 因?	改。	
5. 第5章:建	結案報告已依	第五章
議綜整系統使	合約完成草案	
用手册,並採用	規劃,再優於合	
單簽入多項系	約完成系統芻	
統方式登入。	型,含系統校正	
	使用手册以條	
	列式說明,方便	
	使用者操作。若	
	委辦單位未來	
	有需求,我們研	
	究團隊願意以	
	承接委託案,進	

		一步協助改善	
		系統。	
	6. 請研議如何	遵照辦理,說明	第九章
	降低高亮溫值	未來可開發應	
	對反演迴歸方	用於降雨時期	
	程式之影響。	的技術。	
	7. 建議採 WVR	遵照辦理,已在	第四章
	原廠值作修正	第四章與原廠	
	測試,以檢視其	比較。	
	效能為何?		
朱召集人杏修	1. P57『目前 <u>只</u> 有初步規劃』、	遵照辦理,皆已	P57、85、90、
	<u>P94『將在最後</u>	做修正。	93
	從觀測資料中		
	選取適當的資		
	料, 再進行一遍 其伯計算、D06		
	本 咏 司 卉 』 I 50 『 未 來 會 將 前		
	兩項因素儘量		
	消除,進一步修		
	正基線計算		
	值』、P99『 <u>未來</u>		
	會將高亮溫值		
	的觀測資料消		

	除,進一步修正 基線計算值』, 以上不確定用 語不適於期末 報告,請修正並 說明最終結 果。		
白委員敏思	1. P96 提及太 麻里的一個 可能也會 。 一明 一明 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一	 遵照辦理,已說 明因為太麻里 西邊面山東邊 向海,所以常有 午後雷陣雨對 觀測造成影 響,且輻射計面 山觀測時,在 15 到 30 度會受 到山的影響。 	P87

II. 工作小組初審意見

	修正及改正建議	改善情況	頁碼
1	所有圖表請以彩色列印	遵照辦理,皆以	全文
		彩色列印。	
2	第33頁方程式3-17及	遵照辦理,皆已	P33
	3-18 符號與用字重疊請修	修正。	
	正。		
3	1. 第35頁『3. 建立輻射	純屬排列錯	P35 、36
	觀測量反演水氣含量	誤,皆已修正。	
	剖面迴歸方程』及第		
	36頁『建立輻射觀測		
	量反演可降水含量、液		
	態水含量和濕延量方		
	程式』於報告第3.3		
	節並無1.及2.的敘		
	述,突然插入3.及		
	4.,是否為排列錯誤,		
	請說明並修正。		
4	本案為跨年度計畫請於提	遵照辦理,外業	全文

	到日期時加上年別並統一	與實驗提到日	
	以國民年表示(第86頁)	期處,皆以民國	
		年表示。	
5	請於第94頁6.2節基線	遵照辦理,已補	第 6.2 節
	計算分析中補充說明推估	充濕延遲說明。	
	大氣濕延遲內容。		
6	第169頁附錄四所發表之	已繳交8頁國	
	國外期刊論文英為本案執	內研討會論	
	行期間所發表,請補充提	文,以符合合約	
	送或刊登間將本中心納入	要求。至於國外	
	致謝內容內,令國內研討	期刊論文,投至	
	會不足8頁,請說明並提	期刊版本現為	
	出處理方式。	致謝內政部支	
		持,改版或完稿	
		時,將修正為致	
		谢內政部國土	
		測繪中心支持。	
7	請將期中、期末報告審查 委員意見及本案工作小組 審查意見改善情形列表,	遵照辦理。	
	納入期末報告修正本之附		

錄內,表中應包含會議結	
論(審查意見),執行及修	
正情形於期末報告中所在	
頁數。	

III. 錯別字及版面調整

	審查意見	改善情況	頁碼
1	本文中提及『迥	遵照辦理,已修	全文
	歸』多次,有時	正。	
	用迴歸、有時用		
	迴歸,請統一。		
2	本文中提及 『部分』多	遵照辦理,已修	全文
	次,請修正為 『部分』。	正。	
3	第35頁倒數第3	遵照辦理,已修	P35
	行;『再』以實際	正。	
	輻射,請修		
	正。		
4	第36頁最後1 行;我們將兩	遵照辦理,已修	P36
	個 頻 率 光 程 『以』上式表	正。	
	示,請修正。		

5	第44頁倒數第3	遵照辦理,已修	P44
	行,3.『記』錄	正。	
	新的 Tnd 值於		
	『紀』錄中,請		
	修正。		
6	第 62 頁第 1 行,資料就不	遵照辦理,已修	P62
	會被使用於 Tnd『計』算	正。	
	中,請修正。		
	第68百回對 第		
7	用 00 貝倒數用 1行,『測』,請	由於第五章改	
	向左對背。	為條列式說	
		明,此文字不存	
		在。	
8	第 104 頁 圖 6.15 圖名請調	遵照辦理,已修	P95
	整與圖同頁。	正。	
9	第105頁第7章	遵照辦理,已修	P96
	請往上移(留白	正。	
	太多)。		

10	第107及108頁	遵照辦理,已修	P97 • 98
	下方文字請調整	正。	
	至第106頁空白		
	處。		
11	第 112 頁 7.2 節第 2 行,我	遵照辦理,已修	P102
	們使用原『廠』 方程式,請修	正。	
	正。		
附錄五 國外期刊審查申請表

劉說安

-----Original Message-----From: em.gpss.0.1fe476.a8fb834d@editorialmanager.com [mailto:em.gpss.0.1fe476.a8fb834d@editorialmanager.com] On Behalf Of GPS Solutions Sent: Thursday, December 23, 2010 9:32 AM To: Yuei-An Liou Subject: Submission Confirmation

Dear Yuei-An Liou,

We acknowledge, with thanks, receipt of the revised version of your manuscript, "Water Vapor Radiometer Observations for the Determination of GPS Height", submitted to GPS Solutions

The manuscript number is GPSS335R1.

You may check the status of your manuscript at any time by accessing the following web site:

http://gpss.edmgr.com/

Your username is: ***** Your password is: ****

We will inform you of the Editor's decision as soon as possible.

With best regards, Editorial Office Springer P.O. Box 990 3300 AZ DORDRECHT The Netherlands

附錄六 發表之學術期刊論文

Editorial Manager(tm) for GPS Solutions Manuscript Draft

Manuscript Number: GPSS335R1

Title: Water Vapor Radiometer Observations for the Determination of GPS Height

Article Type: Original Article

Keywords: GPS, Tropospheric delay, GPS height, water vapor radiometer (WVR)

Corresponding Author: Yuei-An Liou, PhD

Corresponding Author's Institution:

First Author: Chuan-Sheng Wang, PhD

Order of Authors: Chuan-Sheng Wang, PhD;Yuei-An Liou, PhD;Kefei Zhang, PhD;Ta-Kang Yeh,

PhD;Suqin Wu, PhD

Abstract: Global Positioning System (GPS) has revolutionized the practice of surveying due to rapid technology advancement and used widely in a variety of areas, such as the Plate Boundary Observatory, crust deformation, and land survey. One of the main contributing factors for the poor performance of the height component is the uncertainty, rapid variation of the atmospheric water vapor, and the difficulty of its modeling. This research assesses the tropospheric effects on the determination of the GPS heights and baseline lengths using seven short to medium baselines. Two approaches, parameter estimation and water vapor radiometer corrections, were used to correct the zenith total delay in the estimation. The corrected zenith total delay derived from parameter estimation approach for short baselines demonstrates the phenomenon of large vibration. For the water vapor radiometer corrections, the clear sky is needed to assist with GPS campaign. For a case of 29 km baseline with 37 m difference in GPS heights, the water vapor radiometer corrections can improve the precision of the baseline lengths from 1.1 mm to 0.4 mm and from 1.8 mm to 0.5 mm for the daily baseline solution in two days. The corresponding RMSs were improved from 4.7 mm to 1.3 mm and from 9.6 mm to 1.6 mm in GPS heights.

Water Vapor Radiometer Observations for the Determination of GPS Height

- 1. Chuan-Sheng Wang
- 2. Yuei-An Liou
- 3. Ta-Kang Yeh
- 4. Kefei Zhang
- 5. Suqin Wu

1. School of Mathematical and Geospatial Sciences, RMIT University

2. Center for Space and Remote Sensing Research, and Institute of Space Sciences, National Central University

3. Institute of Geomatics and Disaster Prevention Technology, Ching Yun University

- 4. School of Mathematical and Geospatial Sciences, RMIT University
- 5. School of Mathematical and Geospatial Sciences, RMIT University

1.+61-3-99251046,

- 2. +886-3-4227151 ext:57631,
- 3. +886-3-4581196 ext:5726,
- 4. +61-3-99253272,
- 5. +61-3-99251046
- 1. e80147@ems.rmit.edu.au
- 2. yueian@csrsr.ncu.edu.tw
- 3. bigsteel@cyu.edu.tw
- 4. e41971@ems.rmit.edu.au
- 5. suqin.wu@rmit.edu.au

Abstract

Global Positioning System (GPS) has revolutionized the practice of surveying due to rapid technology advancement and used widely in a variety of areas, such as the Plate Boundary Observatory, crust deformation, and land survey. One of the main contributing factors for the poor performance of the height component is the uncertainty, rapid variation of the atmospheric water vapor, and the difficulty of its modeling. This research assesses the tropospheric effects on the determination of the GPS heights and baseline lengths using seven short to medium baselines. Two approaches, parameter estimation and water vapor radiometer corrections, were used to correct the zenith total delay in the estimation. The corrected zenith total delay derived from parameter estimation approach for short baselines demonstrates the phenomenon of large vibration. For the water vapor radiometer corrections, the clear sky is needed to assist with GPS campaign. For a case of 29 km baseline with 37 m difference in GPS heights, the water vapor radiometer corrections can improve the precision of the baseline lengths from 1.1 mm to 0.4 mm and from 1.8 mm to 0.5 mm for the daily baseline solution in two days. The corresponding RMSs were improved from 4.7 mm to 1.3 mm and from 9.6 mm to 1.6 mm in GPS heights.

Keywords

GPS, Tropospheric delay, GPS height, water vapor radiometer (WVR)

Introduction

Global Positioning System (GPS) is one space-based geodetic technology and has been successfully applied in many areas including plate boundary observatory (PBO), surveying, geodesy, crust deformation, and earthquake monitoring, as well as remote sensing of the atmospheric parameters (Liou and Huang 2000; Liou et al. 2000, 2001).

Typical positioning precision achieved using the advanced GPS data analysis algorithm is on the levels of 1–2 mm and 5–10 mm for horizontal and vertical components, respectively (Johansson et al. 1998; Bock and Doerflinger 2000). Due to the nature of the GPS satellite geometric distribution and the tropospheric path delay, especially because of the water vapor (or wet path delay) (Davis et al. 1985; Herring 1986; Herring 1992; Dodson et al. 1996; Emardson and Jarlemark 1999; Solheim et al., 1999), two major causes are accountable for the low precision in the height component (Johansson et al. 1998; Bock and Doerflinger 2000; Yeh et al. 2006).

Most GPS data analysis procedures utilize double differencing to eliminate the clock error. Cycle slips must be detected and repaired prior to the computation of final baseline solutions. Carrier phase ambiguities can then be eliminated by using triple differenced phase observations or resolved by mathematical algorithm, while the effect of ionospheric delay can be reduced by linear combinations of carrier phase measurements, e.g. the Ionosphere-Free (IF) combination (Leick, 2004; Xu 2007; Wang et al. 2009;Wen et al., 2010). However, the double-differenced GPS observations are still contaminated by the tropospheric path delay, which is associated with inhomogeneity and variability of water vapor. One millimeter error in the zenith tropospheric delay may result in a bias of 2.6-6.5 mm in the height component at the cut-off angles of 5° – 25° (Santerre 1991).

Two strategies are commonly used to resolve the effect of troposphere delay. They are the parameter estimation and external correction approaches (Bock and Doerflinger 2000). The parameter estimation approach requires the *a priori* values of the zenith total delay (ZTD) from the empirical meteorological models with "standard (constant) atmospheric value" (SAV) (Tregoning and Herring 2006) information or "surface meteorological measurements" (SMM) (Wang et al. 2008) directly. After the *a priori* ZTD is used for the initial correction, the parameters for the residual tropospheric delay along with other unknown parameters are then estimated using the least-squares method. The *a priori* ZTD correction with the SAV data is commonly used in GPS data analysis.

For the external correction approach, special instruments such as Water Vapor Radiometer (WVR) and/or other general surface meteorological measurement instruments (e.g. barometer, temperature and relative humidity sensors) at the GPS stations can be employed to correct the tropospheric delay directly (Leick, 2004;). With the real surface meteorological measurements, i.e. the SMM data, they are used as the input data into the empirical meteorological models, the ZTD values in the GPS observations can then be obtained. (Ware et al., 1986, 1993; Elgered et al. 1991; Glaus et al. 1995; Dodson et al. 1996; Alber et al. 1997; Emardson and Jarlemark 1999; Wang et al. 2008).

In this paper, the results from both the external correction with WVR measurements and the parameter estimation methods with the SAV data were compared and analyzed.

Tropospheric Path Delay

Path Delay

The electromagnetic wave propagation within the atmosphere is continuously refracted due to the changing refractivity of the air along the ray path. A ray path can be bent and/or retarded which generates an excess path length with respect to the propagation in vacuum. The excess path length from bending is generally about one cm at an elevation angle of 15°, which is usually negligible (Ichikawa 1995). Excess path length as the result of signal retarding in the troposphere (tropospheric path delay) is expressed as (Davis et al. 1985)

$$\Delta L = \int [n(s) - 1] ds = 10^{-6} \int N(s) ds$$
 (1)

 $N = (n-1) \times 10^6$ and *n* indicates the refractivity and index of refraction of the air at a point *S* along the ray path, respectively.

In GPS applications, it is usually impractical to obtain high precision meteorological measurements in the troposphere (Dach et al. 2007). Thus, most GPS users use standard tropospheric models to obtain approximate tropospheric delays using the SAV data at the user's location. The empirical tropospheric models usually model both hydrostatic and wet delays in zenith direction. The path delay in a given direction is then calculated by using a mapping function (or a tropospheric obliquity factor) below (Davis et al. 1985; Ghoddousi-Fard et al. 2009; Takeichi et al. 2010).

$$\Delta L = \Delta L_h^z \times m_h(\varepsilon) + \Delta L_w^z \times m_w(\varepsilon)$$
⁽²⁾

 ΔL is the total tropospheric delay at a given direction, whereas ΔL_{h}^{z} and ΔL_{w}^{z} represented the hydrostatic and wet delays at the zenith direction, respectively. $m_{h}(\varepsilon)$ and $m_{w}(\varepsilon)$ are the mapping functions for the two delay parts, respectively, and ε is the elevation angle. The zenith hydrostatic delay ΔL_{h}^{z} is approximately 2.30–2.60 m at the sea level and it represents over 90% of the ZTD. The zenith wet delay (ZWD) ΔL_{w} varies roughly from 0 to 40 cm between the poles and the equator, and from a few centimeters to about 20 cm during the year at mid-latitude area. One millimeter error in the ZTD may lead to a bias of 2.6–6.5 mm in GPS height components, depending mainly on the elevation cut-off angles (5°–25°) and the site latitudes (Santerre 1991).

Radiometric Sensing of ZWD

In the study, the Radiometrics WVP-1500 Water Vapor Profiler was adopted for measuring ZWD. We setup two sites for 7 baselines separately in Taiwan from the winter of 2006 to the spring of 2007. The atmospheric environment is typically wet and very dynamic. The YMSM GPS station was located at about 784 m height. The others were at the ellipsoid heights under 91 m. The instrument observed sky brightness temperatures at 22.235, 23.035, 23.835, 26.235, 30.000 GHz by using cut-off angle of 15°. The tipping curve measurements were used for calibration (Elgered 1993).

Radiometric sensing of ZWD is based upon radiative transfer theory (Liou et al. 2000),

$$T_{b} = T_{bc} e^{-\tau(0,\infty)} + \int_{0}^{\infty} k_{e}(r) T_{a}(r) e^{-\tau(0,r)} dr$$
(3)

 T_b is the brightness temperature observed by radiometer (K), T_{bc} is the cosmic brightness temperature (K), $\tau^{(0, r)}$ represents the optical depth between the WVR and position r, and k_e is the extinction coefficient of the atmosphere (dB/km). The water vapor, oxygen, and suspended water droplets are the major contributions to τ . Since the upper limit for cloud droplet radii in the earth's atmosphere is around 0.1 mm (Bean and Dutton 1968), absorption in liquid water cloud regions would exceed scattering by at least two orders of magnitude (Janssen 1993). It is well acceptable to ignore the scattering in (3).

Data Collection

This investigation focuses on the magnitude of the effects on the GPS height components and the length of baseline when WVR measurements were used to correct the ZTD in GPS observations.

The GPS data with a daily survey time of 24 hours were obtained from 8 GPS stations operated by the Ministry of the Interior (MOI), Central Geological Survey and Industrial Technology Research Institute (ITRI) in Taiwan from year 2006-2007. The distribution of the GPS stations is showed in **Fig. 1**.

Fig. 1 The distribution of the GPS stations.

The seven baselines used for testing are located at two different GPS height differences. The height differences of the baselines are on the ranges of about 4–60 meters and 727–747 meters. These baselines are labeled as Group1 and Group2 respectively for convenience. The three baselines in Group1 (with smaller height difference than that of Group2) consist of four GPS stations. The coordinate of PKGM station was fixed in the three campaigns. The four baselines in Group2 consist of five permanent GPS stations. The coordinate of YMSM station was fixed in the four campaigns. Both GPS and WVR measurements were collected synchronously for this research (**Fig. 2**). The detailed information on the observations, such as the dates of collection is shown in **Table 1**.

The precise orbits (SP3 files) and Earth rotation parameters (ERP files) were downloaded from the International GNSS Service (IGS) website (http://igscb.jpl.nasa.gov/). The phase centre of GPS receiver antennas are provided by the U.S. National Geodetic Survey (NGS) and IGS. According to Santerre (1991), the effects of solid earth tide and ocean tide are a few centimeters off, in which they were corrected by the solid earth tide models of McCarthy (1996) and the GOT00.2 (Scherneck 1991). The ocean tide model (GOT00.2) was obtained from the Centre for Astrophysics and Space Science in Sweden (http://www.oso.chalmers.se/~loading/). **Fig. 2** The site diagram for the GPS and WVR measurements are collected synchronously.

Table 1 The list of lengths, GPS heights, and observation times for the baselines.

Methodology

The dedicated GPS data processing software package, Bernese V5.0, developed by the Institute of Astronomy University of Berne, was used for the data analyses of this research. The cut-off angle for observing the GPS satellites was set up to 15 degrees. The double-difference equations of L3 carrier phases and the algorithm of quasi ionosphere-free for the ambiguity resolution were selected in the data processing (Dach et al. 2007).

The structure and strategies for the aforementioned parameter estimation and external correction approaches were presented in **Fig. 3**. In the parameter estimation approach, 24 tropospheric parameters are selected using the conventional method. For the calculation of the initial ZTD corrections, Saastamoinen dry part with Dry Niell Mapping Function (Niell 1996) was selected for the empirical model. In the external correction approach, WVR observations were used to correct the ZTD effects directly.

Fig. 3 The structure and strategy for the ZTD corrections computation using both parameter estimation and external correction approaches.

Results

The ZTD results of the short baselines in **Fig. 4** and **Fig. 5** derived from the parameter estimation approach are unstable. But the parameter estimation approach demonstrates good effects for the medial baselines in the **Fig. 6**.

However, the results from the external correction approach (the WVR results) are quite different. In **Fig. 4** and **Fig. 5**, the results at four stations: PKGM, YMSM, SILO and TFAM are stable, although relatively large vibrations are found at TKJS, GS25 and SLLO stations. In **Fig. 6**, the large variations from the WVR results are also shown at two end points of YMSM-PKGM baseline and YMSM station (Day of Year 352; DoY 352) of YMSM-KDNM baseline. Local weather factor contributes to the bad performance at these stations where either shower and/or heavy rain occurred during the period of observations. When a large vibration occurs, the weather happens to be bad during the sessions of the WVR data correction at these stations. To get good quality WVR measurements, a clear sky is a critical requirement during the collection of the WVR measurements.

Fig. 4 The comparisons of the ZTD results at Group1GPS stations (Short Baselines).

Fig. 5 The comparisons of the ZTD results at Group2 GPS stations (Short Baselines).

Fig. 6 The comparisons of the ZTD results at Group2 GPS stations (Medial Baselines).

Table 2 shows the results of all the estimated baselines in the two groups. For the baselines of PKGM-SILO, YMSM-TFAM, YMSM-SLLO (DoY 320) and YMSM-KDNM (DoY 351) (when weather was good), the RMS values from the WVR corrections are better than that of the parameter estimation approach. For baselines of PKGM-SILO and YMSM-TFAM, the differences in the estimated baseline lengths between the two sessions/dates from the WVR corrections

(0.5mm and 0.7 mm) are significantly smaller than that of the parameter estimation (3.1mm and 2.2 mm).

The RMS of the daily baseline estimation was improved under the good weather condition when incorporating the WVR observations. The comparison of the RMS of the baselines for the YMSM-TFAM cases, Group1 and the PKGM-SILO, Group2 shows a significant improvement for the small height difference group as addressed in Table 2. Not only the concentration was verified for the length of the PKGM-SILO baseline, but also the RMS of the daily baseline solution was improved from 1.1 mm to 0.4 mm and from 1.8 mm to 0.5 mm in two days.

Table 2 The comparisons of the baseline lengths using both parameter estimation

 and external correction approaches.

The results of the GPS heights for all baselines in the two groups are shown in **Table 3**. The RMS of the GPS heights from the WVR corrections for all baselines (except for PKGM-TKJS and YMSM-PKGM) are significantly less than that from the parameter estimation for the same baselines and in the same sessions. The reason for the larger RMS from the WVR corrections for baselines PKGM-TKJS and YMSM-PKGM is due to the poor quality WVR observations under unfavoured weather conditions (raining); also see **Fig. 4** and **Fig. 6**.

The main reason for the performance differences of the GPS heights between the two approaches is that there is no correlation between the GPS heights and the tropospheric parameters in the WVR corrections. Although the RMS of the daily GPS height solution using WVR corrections is almost less than using the parameter estimation approach, the results do not completely demonstrate the positive effects of WVR corrections. For the GPS height of TKJS (Group1) and KDNM (Group2), there are large differences between two DoYs adopting WVR correction at the same station in **Table 3**. However, the differences in the GPS heights between the two DoYs from the WVR corrections for SILO and TFAM stations (1.8 and 3.6 mm) are significantly smaller than corresponding differences using the parameter estimation method (19.8 and 11.3 mm). The effects of the WVR correction on the GPS height estimates are at the centimeter level.

The RMSs of the TFAM GPS heights, Group1 for the measurements in two days, were improved from 4.7 mm to 1.3 mm and from 9.6 mm to 1.6 mm. For the SILO station case, they were improved from 2.3 mm to 0.8 mm and from 3.8 mm to 1.2 mm. The obvious advancement for the GPS height determination by incorporating the WVR measurements was obtained under good weather condition especially for the small height difference group.

Table 3 The comparisons of the GPS heights using both parameter estimation and external correction approaches.

Conclusions

Since the measurement accuracy is degraded when the liquid water is present on the radiometer and there is heavy rainfall (Iassamen, 2009), only WVR measurements collected under good weather conditions were utilized. Under such circumstance, significant improvements were obtained for the solutions of GPS baselines and GPS heights. The RMSs of the daily GPS heights were improved from 4.7 mm to 1.3 mm and from 9.6 mm to 1.6 mm for the 29 km baseline with 37 m difference of GPS height. The advancements from 1.1mm to 0.4 mm and from 1.8 mm to 0.5 mm were attained for the daily baseline solution in two days. Based on the studied cases of this paper, it is clear that quality control is crucial to assure the advantage of incorporating the WVR correction in the high precision GPS positioning determination.

The relative tropospheric errors cause the height bias in GPS observations, whereas the absolute tropospheric errors cause the baseline bias in GPS observations (Beutler et al. 1988). In this research, the parameter estimation and the external correction approaches were investigated for the correction of the ZTD for the GPS heights and baseline lengths.

Because of the high correlation between the GPS height and tropospheric parameters, the corrected ZTD derived from parameter estimation approach from short baselines demonstrated the phenomenon of large vibration. The situation is improved with extended baseline lengths. For the WVR corrections, the clean sky is needed to assist with the GPS campaign.

The results indicated that for the short length of baselines selected in the clean sky, the WVR corrections are able to improve the precision of the estimated baseline lengths by a few millimeters for short baselines. In addition, the results of the GPS heights showed that the effects from WVR corrections are at the centimeter level.

Further work using a large amount of observations across a large range of network is needed in the investigation, with the intention that more affirmative conclusions can be obtained.

Acknowledgment

This work is supported by a grant from the Ministry of Interior (MOI) and National Science Council (NSC) of Taiwan and data from the Ministry of the Interior (MOI), Central Geological Survey and Industrial Technology Research Institute (ITRI). This research is also partially supported through an Australian Research Council project and two Department of Industry, Innovation, Science and Research of Australia International Science Linkage projects endorsed to a research consortium that involves RMIT University, UNSW, JCSDA/US, National Central University of Taiwan and Wuhan University of China.

References

Alber C, Ware R, Rocken C, Solheim F (1997) GPS Surveying with 1 mm Precision Using Corrections for Atmospheric Slant Path Delay. Geophys Res Lett, 24(15):1859-1862.

Alfred L (2004) GPS satellite surveying C6, 188-227, 3rd, John Wiley & Sons, Alexandria, VA, USA.

Bean BR, Dutton EJ (1968) Radio Meteorology, Dover, NewYork, U.S.A.

Beutler G, Bauersima I, Gurtner W, Rothacher M, Schildknecht T, Geiger A (1988) Atmospheric refraction and other important biases in GPS carrier phase observations. In: F.K. Brunner (ed) Atmospheric effects on geodetic space measurements. The University of NSW, Sydney, pp 15-43.

Bock O, Doerflinger E (2000) Atmospheric processing methods for high accuracy positioning with the Global Positioning System, COST-716 Workshop, Soria Moria, Oslo (N), July 10-12, Laboratoire OEMI, IGN-SR 00-003/L-COM-OB.

Dach R, Hugentobler U, Fridez P (2007) Bernese GPS Software v.5.0 tutorial. Astronomical Institute, University of Bern, Bern.

Davis J, Herring TA, Shapiro I, Rogers A, Elgered G (1985) Geodesy by radio-interferometry: effects of atmospheric modeling errors on estimates of baseline lengths. Radio Sci 20:1593-1607.

Dodson AH, Shardlow PJ, Hubbard LCM, Elegered G, Jarlemark POJ (1996) Wet tropospheric effects on precise relative GPS height determination. J Geod 70:188–202.

Elgered G, Davis J, Herring TA, Shapiro I (1991) Geodesy by Radio Interferometry: Water Vapor Radiometry for Estimation of the Wet Delay. J Geophys Res 96(B4):6541-6555.

Elgered G (1993) Tropospheric radio-path delay from ground-based microwave radiometry. In: M. Janssen (ed) Atmospheric Remote Sensing by Microwave Radiometry, John Wiley & Sons, New York, ISBN 0-471-62891-3, pp 215-258.

Emardson TR, Jarlemark POJ (1999) Atmospheric modelling in GPS analysis and its effect on the estimated geodetic parameters. J Geod 73:322–331.

Ghoddousi-Fard R, Dare P, Langley RB (2009) Tropospheric delay gradients from numerical weather prediction models: effects on GPS estimated parameters. GPS Solut 13:281-291, doi: 10.1007/s10291-009-0121-8.

Glaus R, Burki B, Kahle HG (1995) Recent Results of Water-Vapor Radiometry in Assessing Vertical Lithospheric Movements by Using Space Geodetic Radiowave Techniques. Journal of Geodynamicx 20(1):31-39.

Herring TA (1986) Precision of Vertical Position Estimates From Very Long Baseline Interferometry. J Geophys Res 91(B9):9177-9182.

Herring TA (1992) Modeling Atmospheric Delays in the Analysis of Space Geodetic Data, paper presented at Refraction of Transatmospheric Signals in Geodesy, Hague, Netherlands, 19-22 May.

Iassamen A, Sauvageot H, Jeannin N, Ameur S (2009) Distribution of Tropospheric Water Vapor in Clear and Cloudy Conditions from Microwave Radiometric Profiling. J Appl Meteorol Climatol 48(3):600-615.

Ichikawa R (1995) Estimation of atmospheric excess path delay based on three-dimensional numerical prediction model data. J Geod Soc Japan 41: 379-408.

Janssen MA (1993) An introduction to the passive microwave remote sensing of atmospheres. In:M. Janssen (ed) Atmospheric Remote Sensing by Microwave Radiometry, John Wiley & Sons,New York, ISBN 0-471-62891-3, pp 1-36.

Johansson JM, Emardson TR, Jarlemark POJ, Gradinarsky LP, Elgered G (1998) The atmospheric influence on the results from the Swedish GPS network. Phys Chem Earth 23:107–112.

Liou, Y.-A., and C.-Y. Huang, 2000: GPS observation of PW during the passage of a typhoon. Earth, Planets, and Space, 52(10), 709-712.

Liou YA, Huang CY, Teng YT (2000) Precipitable water observed by ground-based GPS receivers and microwave radiometery. Earth Planets Space 52:445-450.

Liou YA, Teng YT, Van Hove T, Liljegren J (2001) Comparison of precipitable water observations in the near tropics by GPS, microwave radiometer, and radiosondes. J Appl Meteor 40(1):5-15.

McCarthy DD (1996) IERS Conventions, IERS Technical Note 21, Observatoire de Paris, Paris.

Niell AE (1996) Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths. J Geophys Res 101:3227-3246.

Santerre R (1991) Impact of GPS satellite sky distribution. Manuscr Geod, 16:28-53.

Scherneck HG (1991) A parametrized solid earth tide model and ocean tide loading effects for global geodetic baseline measurements. Geophys J Int 106:677–694.

Solheim F, Vivekanandan J, Ware R, Rocken C (1999) Propagation Delays Induced in GPS Signals by Dry Air, Water Vapor, Hydrometeors and other Atmospheric Particulates. J Geophys Res 104:9663-9770.

Takeichi N, Sakai T, Fukushima S, Ito K (2010) Tropospheric delay correction with dense GPS network in L1-SAIF augmentation. GPS Solut 14:185-192, doi: 10.1007/s10291-009-0133-4.

Tregoning P, Herring TA (2006) Impact of a priori zenith hydrostatic delay errors on GPS estimates of station heights and zenith total delays. Geophys Res Let 33, L23303, doi:10.1029/2002GL027706.

Wang B, Miao L, Wang S, Shen J (2009) A constrained LAMBDA method for GPS attitude determination. GPS Solut 13:97-107, doi: 10.1007/s10291-008-0103-2.

Wang CS, Liou YA, Yeh TK (2008) Impact of surface meteorological measurements on GPS height determination. Geophys Res Lett 33, L23809, doi:10.1029/2008GL035929.

Ware R, Rocken C, Solheim F, Van Hove T, Alber C, Johnson J (1993) Pointed Water Vapor Radiometer Corrections for Accurate Global Positioning System Surveying. Geophys Res Lett 20(23): 2635-2638.

Ware R, Rocken C, Hurst K (1986) A Global Positioning System Baseline Determination Including Bias Fixing and Water Vapor Radiometer Corrections. J Geophys Res 91(B9): 9183-9192.

Wen D, Liu S, Tang P (2010) Tomographic reconstruction of ionospheric electron density based on constrained algebraic reconstruction technique. GPS Solut 14:375–380, doi:10.1007/s10291-010-0161-0.

Xu G (2007) GPS, Theory, Algorithms and Applications, Springer, Berlin Heidelberg New York.

Yeh TK, Wang CS, Lee CW, Liou YA (2006) Construction and uncertainty evaluation of a calibration system for GPS receivers. Metrologia 43(5):451-460, doi:10.1088/0026-1394/43/5/017.

Group	Properties	Name of Baselines (date)	Lengths of Baselines (km)	Heights of GPS stations
				(m)
Group1	Short baselines	PKGM-TKJS (DoY 73-74, 2007)	14	37, 91
		PKGM-SILO (DoY 76-77, 2007)	29	37, 51
		PKGM-GS25 (DoY 80-81, 2007)	56	37, 41
Group2	Short baselines	YMSM-TFAM (DoY 328-329, 2006)	11	784, 38
		YSAM-SLLO (DoY 320-321, 2006)	28	784, 57
	Medial baselines	YSAM-PKGM (DoY 218-219, 2006)	218	784, 37
		YSAM-KDNM (DoY 351-352, 2006)	365	784, 53

Table 1 The list of lengths, GPS heights, and observation times for the baselines.

Approach Baseline and Observation session			Parameter Estimation		External Correction (WVR Correction)		
Group	Name	DoY	Length of baseline (m)	RMS (mm)	Length of baseline (m)	RMS (mm)	
	PKGM-TKJS	73 (2007)	14743.9791	0.5	14743.9783	1.3	
Group 1		74 (2007)	14743.9800	0.6	14743.9769	1.2	
	PKGM-SILO	76 (2007)	29202.2009	1.1	29202.2032	0.4	
		77 (2007)	29202.2040	1.8	29202.2027	0.5	
	PKGM-GS25	80 (2007)	56498.2835	0.5	56498.2856	0.7	
		81 (2007)	56498.2835	0.5	56498.2858	0.8	
	YMSM-TFAM	328 (2006)	11544.2600	0.5	11544.2586	0.3	
Group 2		329 (2006)	11544.2622	0.9	11544.2593	0.4	
	YSAM-SLLO	320 (2006)	28130.4216	0.5	28130.4194	0.4	
		321 (2006)	28130.4235	0.6	28130.4210	0.6	
	YMSM-PKGM	218(2006)	217757.1175	0.8	217757.1012	1.5	
		219(2006)	217757.1145	0.8	217757.1008	1.6	
	YMSM-KDNM	351(2006)	365244.8255	0.7	365244.8043	0.5	
		352(2006)	365244.8236	0.6	365244.7985	0.8	

Table 2 The comparisons of the baseline lengths using both parameter estimation and external correction approaches.

Approach Baseline and Observation session		Parameter Estimation		External Correction (WVR Correction)			Difference between two		
Group	Name	DoY	GPS height (m)	RMS (mm)	Difference between two DoYs (mm)	GPS height (m)	RMS (mm)	Difference between two DoYs (mm)	approaches (mm)
	TKJS	73 (2007)	41.6117	2.3		41.5411	3.4		-70.6
Group 1	(PKGM-TKJS)	74 (2007)	41.6132	2.5	-1.5	41.5369	3.1	4.2	-76.3
	SILO	76 (2007)	57.2323	4.7		57.2338	1.3		1.5
	(PKGM-SILO)	77 (2007)	57.2125	9.6	19.8	57.2320	1.6	1.8	19.5
	GS25	80 (2007)	91.6679	2.1		91.6192	1.8		-48.7
	(PKGM-GS25)	81 (2007)	91.6638	2.2	4.1	91.6172	1.9	2.0	-46.6
	TFAM	328 (2006)	39.0275	2.3		39.0142	0.8		-13.3
Group 2	(YMSM-TFAM)	329 (2006)	39.0162	3.8	11.3	39.0178	1.2	-3.6	1.6
	SLLO	320 (2006)	57.2447	2.3		57.2357	1.2		-9.0
	(YSAM-SLLO)	321 (2006)	57.2511	2.7	-6.4	57.2345	1.7	1.2	-16.6
	PKGM	218(2006)	37.4884	3.4		37.4948	4.2		6.4
	(YMSM-PKGM)	219(2006)	37.4620	3.7	26.4	37.4928	4.0	2.0	30.8
	KDNM	351(2006)	52.9267	2.8		53.0308	1.3		104.1
	(YMSM-KDNM)	352(2006)	52.9257	2.7	1.0	52.9978	2.1	33.0	72.1

Table 3 The comparisons of the GPS heights using both parameter estimation and external correction approaches.



Fig. 1 Geographic distribution of the GPS stations.



Fig. 2 Photos of the field sites for the GPS and WVR measurements in the PKGM station (left panel) and YMSM (right panel) station.



Fig. 3 The structure and strategy for the ZTD corrections computation using both parameter estimation and external correction approaches.



Fig. 4 The comparisons of the ZTD results at Group1GPS stations (Short Baselines).



Fig. 5 The comparisons of the ZTD results at Group2 GPS stations (Short Baselines).



Fig. 6 The comparisons of the ZTD results at Group2 GPS stations (Medial Baselines).

對流層延遲誤差與 GPS 後處理動態定位精度之研究

劉說安¹, 黃成勇¹, 王傳盛², 張克非², 葉大綱³ 國立中央大學 太空及遙測研究中心¹, 皇家墨爾本理工大學 數學與地球空間學系², 清雲科技大學 空間資訊與防災研究中心³

摘要

全球定位系統(Global Positioning System; GPS)的定位精度,於近二十年來已經改進至相當程度,其主 要誤差或錯誤來源亦逐漸的被降低或消除,例如電離層折射、軌道誤差、天線相位中心偏移、環境造 成的訊號多路徑效應與散射、對流層折射。GPS 不論在動態和靜態定位中,於過去十年來由於技術逐 漸成熟,定位精度提升至相當的水準,因此已經成為導航和太空測地的重要技術。但對流層的不均勻 性及水氣所造成的訊號遲延,至今仍是 GPS 定位需要克服的重要課題之一。對流層延遲誤差對於 GPS 定位精度之影響,可分為相對延遲量誤差及絕對延遲量誤差兩部分。相對延遲量誤差部分主要是反映 於相對定位時的點位或動態載具之高程坐標,而絕對延遲量誤差則是對於單點定位之絕對坐標值及相 對定位時的基線尺度有所影響。本研究發現無限制的增加對流層參數於 GPS 精密單點定位方法,並 無法提高求解精度;再者,從 GPS 網形求解出的對流層參數再引入 GPS 精密單點定位方法,求取後 處理動態定位的成果最佳。而在引入 GPS 網形求解出的對流層參數於精密單點定位方法時,如果對 其中對流層參數殘差進行再一次的求解,則會降低高程坐標精度。

關鍵字:全球定位系統、對流層延遲、後處理動態定位

A study on the relationship between tropospheric delay and GPS post-kinematic

positioning

Yuei-An Liou¹, Cheng-Yung Huang¹, Chuan-Sheng Wang², Kefei Zhang², Ta-Kang Yeh³ CSRSR, National Central University¹ SMGS, RMIT University² IGDRT, Ching Yun University³

Abstract

The positioning accuracy of the Global Positioning System (GPS) has been studied extensively and used widely. It is still limited due to errors from sources such as the ionospheric effect, orbital uncertainty, antenna phase center variation, signal multipath, and tropospheric disturbance. For GPS static and kinematic positioning concerns, its accuracy has been significantly improved over the past few years with the advanced technology. Since the typical practice of GPS positioning ignores the natural inhomogeneity of atmospheric water vapor distribution, high precision positioning is limited, especially in its vertical component. The first step to reduce, if not to eliminate, the influence of the presence of tropospheric water, and thus delay, shall be understood and modeled. The results demonstrate adding the tropospheric parameters unlimitedly in observing equation is unnecessary. Furthermore, the tropospheric delay from the solution of the GPS network makes the result better than that estimated by the PPP method. If the tropospheric delay from the GPS network resolution is integrated for seeking the solution, using estimation method for tropospheric correction decreases the precision.

Keywords : GPS, Tropospheric delay, GPS positioning

- · Introduction

Global Positioning System (GPS) is a space-based geodetic technique and has been successfully applied in many fields including plate boundary observatory (PBO), surveying, geodesy, crust deformation, and earthquake monitoring, as well as remote sensing of the atmospheric parameters.

Typical positioning precision achieved by using the advanced GPS data analysis algorithm is on the levels of 1–2 mm and 5–10 mm for horizontal and vertical components, respectively [1][2]. Due to the nature of the GPS satellite geometric distribution and the tropospheric path delay, especially because of the water vapor (or wet path delay) [2-8], two major causes are accountable for the low precision in the height component [1][2][9].

This investigation addresses the tropospheric effect on GPS post-kinematic positioning determination. The impact is quantitatively examined by using data acquired from permanent GPS stations along with different tropospheric parameters. The post-kinematic coordinates of the permanent GPS stations were estimated by the precise point positioning (PPP) method.

二、 Tropospheric Path Delay

An electromagnetic wave propagating through the atmosphere is continuously refracted due to the varying index of refraction of the air along the ray path. A ray path can either bend or retard, both of which generate an excess path length with respect to the propagation in vacuum. The excess path length from bending is generally about 1 cm at 15° , which is usually negligible [10]. Excess path length as the result of signal retarding in the troposphere (tropospheric path delay) is expressed as [11]

$$\Delta L = \int [n(s) - 1] ds = 10^{-6} \int N(s) ds$$
(1)

 $N = (n-1) \times 10^6$ and *n* indicate the refractivity and index of refraction of the air at a point S along the ray path, respectively. In GPS applications, it is usually unlikely to precision meteorological obtain high measurements in the troposphere [12]. Thus, most GPS users use standard tropospheric models to obtain approximate tropospheric delays using the SAV data at the user's location. The empirical tropospheric models usually model both hydrostatic and wet delays in zenith direction. The path delay in a given direction is then calculated by using a mapping function (or tropospheric obliquity factor) below a [11][13][14].

$$\Delta L = \Delta L_h^z \times m_h(\varepsilon) + \Delta L_w^z \times m_w(\varepsilon)$$
⁽²⁾

 ΔL is the total tropospheric delay at a given direction, whereas ΔL_h^z and ΔL_w^z represent the hydrostatic and wet delays at the zenith direction, respectively. $m_h(\varepsilon)$ and $m_w(\varepsilon)$ are the mapping functions for the two delay parts, respectively, and ε is the elevation angle.

The zenith hydrostatic delay (ZHD) ΔL_h^z is approximately 2.30–2.60 m at sea level, and represents 90–100 % of the ZTD. The ZWD ΔL_w varies roughly as 0–40 cm between the poles and the equator, and from few cm to about 20 cm during the year at mid-latitudes. The variation in ZTD must be accurately and carefully monitored. The effect of a 1 mm error in ZTD results in a bias of nearly 2.6–6.5 mm in GPS station height, depending mainly on the elevation cutoff angle (5°–25°) and the site latitude [15].

三、 Methodology

The dedicated GPS data processing software package, Bernese V5.0, developed by the Institute of Astronomy University of Berne, was used for the data analyses of this research. The double-difference equations of L3 carrier phases and the algorithm of quasi ionosphere-free for the ambiguity resolution were selected in the data processing [12].

The GPS data with a daily survey time of 24 hours were obtained from 4 GPS tracking stations (YMSM, KDNM, PKGM, and PULI)

operated by the Ministry of the Interior (MOI) in Taiwan on day-of-year (DOY) 215 in 2006. The final precise ephemeris (SP3 file) and Earth rotation parameters (ERP file) were gathered from the IGS. The phase center of the antenna was provided by the U.S. National Geodetic Survey (NGS). As in Santerre [1991], the effects of solid earth tide and ocean tide were kept within few centimeters. In this study, both types of tide have been corrected from the solid earth tide [McCarthy, 1996] and the ocean tide of the GOT00.2 model [16]. The ocean tide models were obtained from the website http://www.oso.chalmers.se/~loading/,

maintained by the Center for Astrophysics and Space Science in Sweden.

Only smoothed code measurements were used to get post-kinematic coordinates as *a priori* coordinates. The residual of the measurements was generated and screened by the software. The zero difference method was applied (including code and phase measurement) for marketing identified outliers.

四、 Result and Conclusions

The difference between the daily solution (fix coordinate) and kinematic position in GPS height for YMSM, KDNM, PKGM, and PULI stations are shown in Fig 1(a), 1(b), 1(c), and 1(d). Table 1, Figure 2(a), and Figure 2(b) are the results from a statistic method for the analysis of the accuracy in vertical coordinate for four stations individually.

The results demonstrate adding the unlimitedly tropospheric parameters in observing equation is unnecessary. Furthermore, the tropospheric delay from the solution of the GPS network makes the result better than that estimated by PPP method. If the tropospheric delay from the GPS network resolution is integrated for seeking the solution, using an estimation method for tropospheric correction decreases the precision.



Figure 1(a). Comparison between the fix coordinates and the kinematic coordinates in GPS height for YMSM station using different strategies (DoY215, 2006)



Figure 1(b). Comparison between the fix coordinate and the kinematic coordinate in GPS height for KDNM station using different strategies (DoY215, 2006)



Figure 1(c). Comparison between the fix coordinate and the kinematic coordinate in GPS height for PKGM station using different strategies (DoY215, 2006)



Figure 1(d). Comparison between the fix coordinate and the kinematic coordinate in GPS height for PULI station using different strategies (DoY215, 2006)

Table 1. Comparison of the accuracy in GPS height for four GPS stations using different strategies.

Tropospheric parameters	GPS station	YMSM	PULI	KDNM	PKGM
(1).Estimate 144 Tropospheric Parameters	Average (m)	-0.2428	-0.8331	-0.3040	-0.1082
	Std. (m)	0.1015	0.3075	0.1987	0.4013
(2).Estimate 48 Tropospheric Parameters	Average (m)	-0.2401	-0.8251	-0.3024	-0.1322
	Std. (m)	0.0793	0.3314	0.0897	0.1048
(3).Estimate 24 Tropospheric Parameters	Average (m)	-0.2389	-0.8027	-0.3035	-0.1293
	Std. (m)	0.0634	0.0756	0.0765	0.0706
(4).Estimate 12 Tropospheric Parameters	Average (m)	-0.2367	-0.7942	-0.3044	-0.1218
	Std. (m)	0.0609	0.0602	0.0624	0.0473
(5).Introduce 24 Tropospheric Parameters (from GPS Network) and estimate 24 Tropospheric Parameters	Average (m)	-0.2362	-0.8079	-0.3034	-0.1259
	Std. (m)	0.0532	0.0750	0.0746	0.0669
(6).Introduce 24 Tropospheric Parameters (from GPS Network)	Average (m)	-0.2263	-0.7680	-0.2859	-0.0882
	Std. (m)	0.0395	0.0494	0.0507	0.0347



Figure 2(a). Comparison of the averages for four GPS stations using different strategies.



Figure 2(b). Comparison of the standard deviation for four GPS stations using different strategies.

Acknowledgments

This work is supported by a grant from the National Science Council (NSC) of Taiwan (NSC 98-2221-E-008 -075 -MY3) and the Ministry of Interior (NLSC-99-31) of Taiwan.
参考文獻

- [1] Johansson JM, Emardson TR, Jarlemark POJ, Gradinarsky LP, Elgered G (1998) The atmospheric influence on the results from the Swedish GPS network. Phys Chem Earth 23:107–112.
- [2] Bock O, Doerflinger E (2000) Atmospheric processing methods for high accuracy positioning with the Global Positioning System, COST-716 Workshop, Soria Moria, Oslo (N), July 10-12, Laboratoire OEMI, IGN-SR 00-003/L-COM-OB.
- [3] Davis J, Herring TA, Shapiro I, Rogers A, Elgered G (1985) Geodesy by radio-interferometry: effects of atmospheric modeling errors on estimates of baseline lengths. Radio Sci 20:1593-1607.
- [4] Herring TA (1986) Precision of Vertical Position Estimates From Very Long Baseline Interferometry. J Geophys Res 91(B9):9177-9182.
- [5] Herring TA (1992) Modeling Atmospheric Delays in the Analysis of Space Geodetic Data, paper presented at Refraction of Transatmospheric Signals in Geodesy, Hague, Netherlands, 19-22 May.
- [6] Dodson AH, Shardlow PJ, Hubbard LCM, Elegered G, Jarlemark POJ (1996) Wet tropospheric effects on precise relative GPS height determination. J Geod 70:188–202.
- [7] Emardson TR, Jarlemark POJ (1999) Atmospheric modelling in GPS analysis and its effect on the estimated geodetic parameters. J Geod 73:322–331.
- [8] Liou YA, Teng YT, Van Hove T, Liljegren J (2001) Comparison of precipitable water observations in the near tropics by GPS, microwave radiometer, and radiosondes. J Appl Meteor 40(1):5-15.
- [9] Yeh TK, Wang CS, Lee CW, Liou YA (2006) Construction and uncertainty evaluation of a calibration system for GPS receivers. Metrologia 43(5):451-460, doi:10.1088/0026-1394/43/5/017.
- [10] Ichikawa R (1995) Estimation of atmospheric excess path delay based on three-dimensional numerical prediction model data. J Geod Soc Japan 41: 379-408.
- [11] Davis J, Herring TA, Shapiro I, Rogers A, Elgered G (1985) Geodesy by radio-interferometry: effects of atmospheric modeling errors on estimates of baseline lengths. Radio Sci 20:1593-1607.
- [12] Dach R, Hugentobler U, Fridez P (2007) Bernese GPS Software v.5.0 tutorial. Astronomical Institute, University of Bern, Bern.
- [13] Ghoddousi-Fard R, Dare P, Langley RB (2009) Tropospheric delay gradients from numerical weather prediction models: effects on GPS estimated parameters. GPS Solut 13:281-291, doi: 10.1007/s10291-009-0121-8.
- [14] Takeichi N, Sakai T, Fukushima S, Ito K (2010) Tropospheric delay correction with dense GPS network in L1-SAIF augmentation. GPS Solut 14:185-192, doi: 10.1007/s10291-009-0133-4.
- [15] Santerre R (1991) Impact of GPS satellite sky distribution. Manuscr Geod, 16:28–53.
- [16] Scherneck, H. G. (1991), A parametrized solid earth tide model and ocean tide loading effects for global geodetic baseline measurements, Geophys. J. Int., 106, 677–694.