

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

應用 WVR 及探空氣球資料於高精度 GPS 高程之研究

A Study on the Precise GPS Height using WVR and Radiosonde Sounding's Data

計畫編號：NSC 89-2211-E-009-040

執行期限：88 年 8 月 1 日至 89 年 7 月 31 日

主持人：陳春盛 國立交通大學土木工程學系 教授

一、中文摘要

GPS 相對定位精度之影響因素包含許多，其中，有的可藉由率定而得知，有些可利用差分方式來消除，有的則可用模式來加以修正；但是對於對流層延遲的誤差卻是最難以有效的降低。而近年來，國外卻有利用水氣微波輻射計（Water Vapor Radiometer, WVR）藉著直接觀察大氣對流層的氣象資料，來導入 GPS 高程計算中，可提高 GPS 高程之精度甚多。故本計畫擬以應用 WVR 測得之大氣對流層資料，配合中央氣象局探空氣球（Radiosonde Sounding）資料對 GPS 高程計算精度做一研究。並與常用的大氣數學模式所獲得之 GPS 高程精度作比較。

關鍵詞：全球定位系統、對流層延遲、水氣微波輻射計

Abstract

In GPS relative positioning, there are many factors dropping the precision of the results. Among the errors derived from these factors, which can be mostly reduced using mathematical models or calibration method, but the error derived from tropospheric delay is hard to eliminate. In the recent years, WVR data is applied for correcting the tropospheric delay, and more precise results of GPS heights can be obtained. In this project, WVR data and radiosonde sounding's data are collected and applied to

eliminate the tropospheric delay, the GPS heights are also determined using these data. Besides, a comparison will be made between the GPS heights determined using mathematical model and using WVR accompanied with radiosonde sounding's data to eliminate tropospheric delay.

Keywords: GPS, Tropospheric Delay, WVR

二、計畫緣由與目的

近來，全球定位系統（Global Positioning System；後簡稱 GPS）定位之載波相位（Carrier Phase）相對定位技術雖然漸趨純熟穩定，但是在大地測量領域方面對於點位精度要求較一般為高，因此改善 GPS 之定位精度以符合大地測量之需要，仍然為此領域之熱門研究主題。然而，要達到高精度並非為一容易之事，除了觀測計畫要嚴謹規劃之外，觀測時間與氣候皆要避開不良之時段，另外，再加上 GPS 系統誤差的消除以及對資料作正確的後級處理，才能所要求之目標。

雖然在 GPS 精密量測所需要用到的相位資料中，如時錶誤差（Clock Error）、軌道誤差（Orbit Error）、多路徑效應（Multi-path Effect）……等，大部份均能藉由差分及線性組合有效的消除，但是對於對流層誤差卻較無法有效的解決，故其所殘留之量對 GPS 基線的計算影響最大，特別是對於高程的誤差影響。也因而造成 GPS 的高程精度較水平精度為差。因此本研究擬就不同方式所獲得之對流層資料，引入 GPS 定位計算做一探討。

三、研究方法及成果

研究方法

本研究之研究主旨在於討論利用實測之大氣氣象資料對於 GPS 高程是否有所助益。因此，研究方法重點就在於 GPS 衛星觀測資料計算時，其進行對流層延遲效應修正之方式乃是藉由不同方法取得之大氣資料引入計算之結果做一分析比較。

對流層延遲效應之影響可分為乾延遲及濕延遲兩大部份，而乾延遲之量可以藉由量測地表之氣象資料進而十分準確的由數學模式推估而得，但是對於濕延遲這一部份仍舊並不十分理想。本研究擬利用 GPS 計算軟體 Bernese 4.0，以固定交通大學土木系 GPS 固定站點位之方式，求解中央氣象局台北氣象站之點位及該兩點基線。其計算過程中針對對流層延遲效應處理的方式分為下列四種：

1. 不修正對流層延遲效應。
2. 利用數學模式 (Saastamoinen) 修正台北氣象站對流層延遲效應。
3. 利用水氣微波輻射計 (WVR) 量測台北氣象站點位之氣象資料以為修正。
4. 利用探空氣球量測台北氣象站點位之氣象資料以為修正。

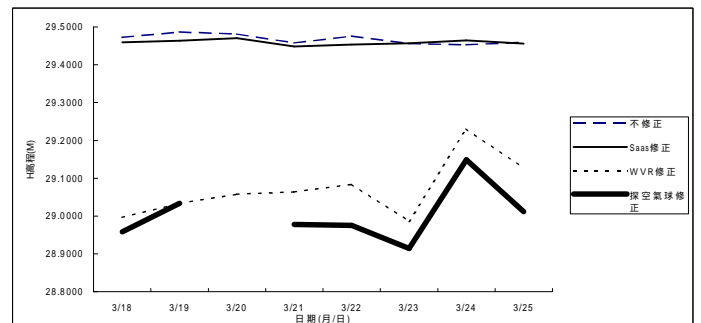
其中上述之後三者其進行計算時，交通大學土木系 GPS 固定站之對流層延遲修正皆固定採用 Saastamoinen 數學模式；而後兩者之乾延遲部份皆乃由觀測地面氣象資料而得。

研究成果

1. 四種不同對流層延遲資料引入計算後之台北氣象站高程成果如表一，其比較說明圖如圖一。
2. 四種不同對流層延遲資料引入計算後台北氣象站與交通大學土木系 GPS 固定站之基線長度成果如表二，其比較說明圖如圖二。

表一 台北氣象站高程計算成果比較表

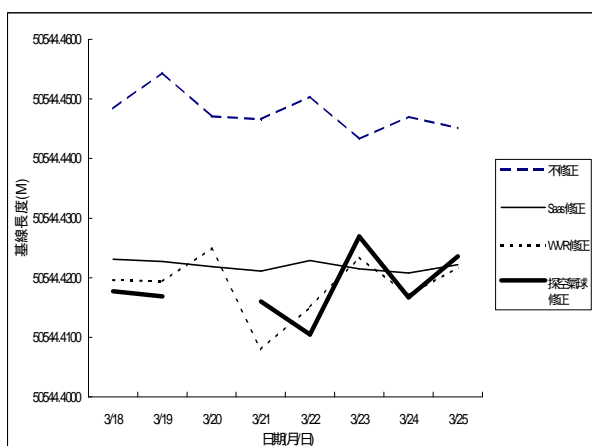
模式 \ 日期	不修正之 高程 (單位:m)	Saas 模式修 正之高程 (單位:m)	WVR 氣象 資料修正之 高程 (單位:m)	探空氣球氣 象資料修正 之高程 (單位:m)
1998年3月18日	29.4723	29.4592	28.9965	28.9582
1998年3月19日	29.4866	29.4633	29.0336	29.0338
1998年3月20日	29.4814	29.4706	29.0578	
1998年3月21日	29.4574	29.4484	29.0639	28.9782
1998年3月22日	29.4756	29.4530	29.0840	28.9756
1998年3月23日	29.4557	29.4571	28.9861	28.9143
1998年3月24日	29.4528	29.4647	29.2302	29.1487
1998年3月25日	29.4595	29.4559	29.1262	29.0114



圖一 台北氣象站高程計算成果比較圖

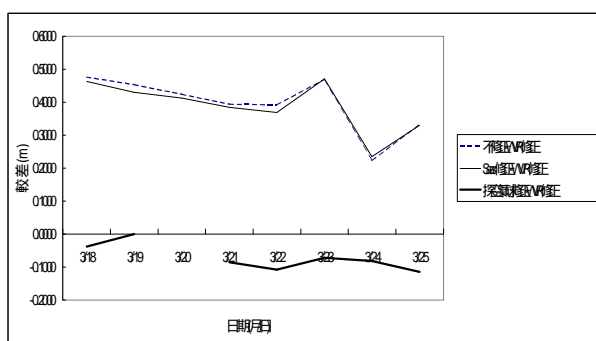
表二 台北氣象站與交通大學土木系 GPS 固定站之基線計算成果比較表

模式 \ 日期	不修正之 基線 (單位:m)	Saas 模式修 正之基線 (單位:m)	WVR 氣象 資料修正之 基線 (單位:m)	探空氣球氣 象資料修正 之基線 (單位:m)
1998年3月18日	50544.4484	50544.4231	50544.4196	50544.4177
1998年3月19日	50544.4544	50544.4227	50544.4194	50544.4169
1998年3月20日	50544.4471	50544.4219	50544.4249	
1998年3月21日	50544.4466	50544.4211	50544.4080	50544.4160
1998年3月22日	50544.4504	50544.4229	50544.4151	50544.4105
1998年3月23日	50544.4433	50544.4215	50544.4234	50544.4269
1998年3月24日	50544.4470	50544.4208	50544.4171	50544.4167
1998年3月25日	50544.4451	50544.4222	50544.4217	50544.4236



圖二 台北氣象站與交通大學土木系 GPS 固定站之基線計算成果比較圖

3. 以 WVR 對流層總延遲修正資料計算高程成果為基準，將不加入對流層總延遲修正、Saastamoinen 對流層總延遲修正以及探空氣球資料所得對流層總延遲修正，三種方式計算之高程結果與 WVR 資料所計算之高程成果相減，其中不加入對流層總延遲修正與 Saastamoinen 數學模式對流層總延遲修正此兩者之高程較差（與 WVR 對流層總延遲修正資料計算高程成果之差值）達 40 公分左右，而探空氣球資料所得對流層總延遲修正計算高程之較差則約在 10 公分左右，其較差比較圖如圖三。



圖三 不同氣象資料計算台北氣象站高程之較差比較圖

四、結論與討論

1. 本研究之成果分析顯現出實測氣象資料與數學模式之比較仍是有差距。因此，氣象資料之取得及其數據之處理在要求高

精度 GPS 觀測時仍然有其必要性。而對於正確氣象資料之取得方面，WVR 由於價格昂貴且於 GPS 觀測時同時使用多部該儀器同時進行聯測實屬不易。因此，加入探空氣球之數據進行求解便較為可行，對於探空氣球之數據雖然每日只有兩筆，但由於其延遲數值較為正確，因此，引用該資料所得之天頂向總延遲量對於 GPS 求解時仍然有一定的幫助。

2. 利用 WVR 及探空氣球這兩者直接量測對流層氣象諸元其所獲致之濕延遲量較利用 Saastamoinen 數學模式推估而得準確，因此這些差異便反應在計算出來的成果中，特別是在座標（尤其是高程）方面，而對 50 公里左右之基線則並沒有特別突出的影響。因此在進行 GPS 觀測或計算時如果能仔細的考量並加入對流層折射因素，則對於成果會有相當的助益。
3. 本研究中交通大學土木系 GPS 固定站之氣象資料，因無氣象設備觀察氣象諸元，且中央氣象局新竹氣象站亦無探空氣球資料，因此全部引用 Saastamoinen 數學模式修正對流層延遲數值，而台北氣象站則分別引用不同之氣象資料，利用這樣的情況所得之結果的確顯現出對流層延遲所導致之影響，而未來如能在分析對流層延遲效應時能獲取每個觀測點位之氣象資料而加以交叉比對分析，相信不僅對於對流層延遲效應能有更深的了解，對於 GPS 高程精度提升亦會有所幫助。
4. 一般 GPS 量測技術對於水平方向之定位已經達到相當高之精度，但是對於高程方面仍然有待突破，其中對流層之濕延遲效應可謂為一相當重要之因素，如果能藉由更為簡便之方法達到測站天頂方向對流層濕延遲值之獲得進而可容易的納入 GPS 計算當中，相信 GPS 高程量測的精度可整體提升許多，對於水準測量方法之精進亦會有所助益。

五、參考文獻

1. 周忠謨、周琪、易杰軍，1997，“GPS

- 衛星測量原理與應用”，測繪出版社
2. 陳春盛，1995，“對流層模式改良及高精度 GPS 高程之研究”，84 年度國科會專題研究計畫成果報告，NSC 84-2211-E009-030
 3. 陳春盛、郭隆晨、余水倍，1996，“改善對流層折射誤差造成 GPS 高程偏差之對策”測量工程,38 卷，第 4 期，3-13
 4. 陳春盛，1996，“對流層模式改良及高精度 GPS 高程之研究(二)”國科會 85 年度專題研究報告 NSC85-2211-E009-017
 5. 劉說安、楊名，1999，“GPS 估計可降水量：WVR 約束法”，大氣科學，第二十七期，第二號，131-140
 6. 劉說安，1999，“地面雙頻微波輻射計觀測濕延遲之空間變化”，航測及遙測學刊，第四期，第三卷，31-41
 7. 鄧諭敦，1999，“利用 GPS 估算可降水量”，中央大學太空科學研究所碩士論文
 8. Alber, C., Randolph Ware, Christian Rocken, Fredrick Solheim ,1997, GPS surveying with 1 mm precision using corrections for atmospheric slant path delay. Geophysical Research Letter, Vol.24, NO.15, pp.1859-1862.
 9. 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. J. Geophys. Res., 97, pp.15784-15801.
 10. Beutter, G., I. Bauersima, S. Botton, W. Gurtner, M. Rothacher, and T. Schidknecht ,1989, Accuracy and biases in the geodetic application of the Global Positioning System. Manuscripta Geodaetica, 12, pp. 28-35.
 11. Brunner, F. K., 1992. GPS high accuracy with long observation sessions: First results. Proc. Sixth Int. Geod. Symp. Satellite Positioning. Ohio, pp. 935-944.
 12. Brunner, F.K., Walter M. Wesch ,1993, Effect of the position on GPS measurements. GPS World January Innovation.
 13. Dodson, A. H., P.J. Shardlow et al ,1996, Wet tropospheric effects on precise relative GPS height determination. Journal of Geodesy, Vol.70, pp.188-202.
 14. Hogg, D. C., F. O. Guiraud, J. B. Snider, M. T. Decker, and E. R. Westwater, 1983, A steerable dual-channel microwave radiometer for measurement of water vapor and liquid in the troposphere, J. App. Meteorol., 22, pp.789-806.
 15. Hondy, M. R., F.K. Brunner ,1990, Modeling the zenith wet component of the tropospheric path delay for microwaves. Aust. J. Geod. Photogram. Surv., No. 53.