

GPS網形求解大氣遲延及可降水量之研究

王傳盛¹ 劉說安^{1,2}
太空科學研究所¹ 太空及遙測研究中心²
中央大學

摘要

全球定位系統(Global Positioning System, GPS)具有即時性及全區域性的特點，近幾年來其應用範圍已不再侷限於導航測量的目的。在大氣科學方面，藉由許多學者投入GPS的研究，進而帶動許多革命性技術的產生。目前國內GPS連續固定站的數目不斷的在增加，而這些衛星資料早期皆用於地殼變形或大地測量方面居多，但近幾年來許多研究發現，利用GPS訊號亦可從事大氣遲延的計算，進而估算大氣可降水量。之前，國內利用此方法皆僅限於單基線求解，因此本研究利用氣象局的GPS連續固定站資料進行區域性網形求解大氣遲延，及估算大氣可降水量，並將其成果與網形區域內的氣象儀器觀測結果做一分析比較，發現長距離GPS網型成果平均約高出5mm，而中長距離GPS網型成果約少1mm。

一、前言

全球定位系統(Global Positioning System, GPS)原本為美國國防部為了軍事定時、定位與導航所發展之系統，但由於開放民間使用，再加上該技術的迅速發展，對於太空科學、大氣科學、地殼變動、大地測量、土木工程等領域已成為一項重要且不可獲缺的工具。藉由GPS訊號的全球性及其即時性，目前有許多研究以此定位技術逆推地球大氣可降水及大氣濕折射係數；因此，對氣象監控、數值氣象而言，GPS技術亦逐漸佔有重要地位。

現今國際上正在進行這方面領域研究的最主要有美國SuomiNet、IGS、歐洲COST以及日本GSI，其主要目的在於利用地面GPS接收站所觀測的GPS資料求解大氣遲延進而推估大氣可降水。但國內目前從事該方面研究者仍為少數。

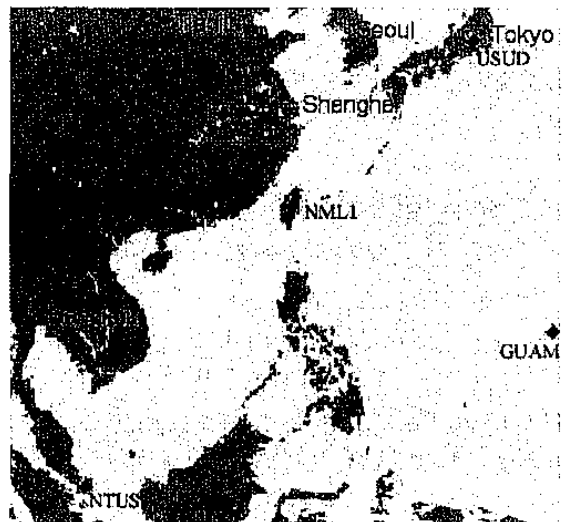
二、目的

目前國內GPS固定站的數目約250個，而且每年的數目仍持續的在增加當中，然而其建制的目的最主要皆在於地殼變動、地震監測、國土測量……等精密測量方面。有鑑於GPS求解大氣參數的技術不斷的發展，而且該技術在時間及空間的解析度上較一般的傳統氣象觀測儀器為優，因此本研究收集原本用於精密測量的GPS固定站資料，對區域性網型GPS固定站進行大氣遲延及可降水的研究，並探討其可行性，以期望GPS固定站的功用能更加以發揮。

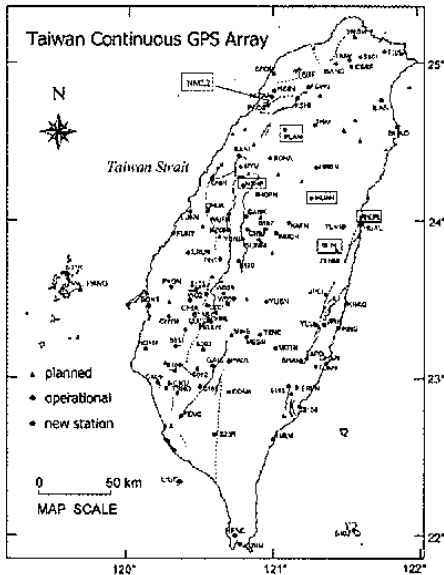
三、研究方法

(一)GPS固定站網型選定

本研究採用的GPS固定站共有七站，其中一站位於中國大陸武漢的WUHN，如圖一，其餘六站(NML2, PLAN, SLIN, HUAN, NSHE, PEPU)則全分佈於台灣(如圖二)，其理由是為了組成長基線網型以及中長基線網型以做為成果比較。這七個固定站皆有地表氣象觀測儀器與GPS接收儀同步進行溫度、濕度、壓力的觀測。



圖一 GPS固定站-武漢WUHN點位示意圖



圖二 台灣GPS固定站點位分佈示意圖
(圖片由余水倍教授提供)

(二)GPS資料處理

本研究計算資料是收集2002年1月1日至1月10日的GPS RINEX資料(包涵O檔及M檔)，計算程式是採用瑞士伯恩大學利用FORTRAN開發的GPS計算軟體BERNESE 4.2，其中BERNESE PROCESSING ENGINE(BPE)則為自行設計計算。

計算流程則使用原始的相位觀測資料組成二次差觀測方程式，利用QIF法求解週波未定值及點位坐標後，再利用固定網型點位坐標及GPS訊號反求各固定站天頂向之總遲延量及遲延修正量，Rothacher et al.(1996)。而GPS軌道則捨棄廣播星曆，改採用軌道精度約可達5公分的IGS精密星曆(Neilan et al. 1997)。

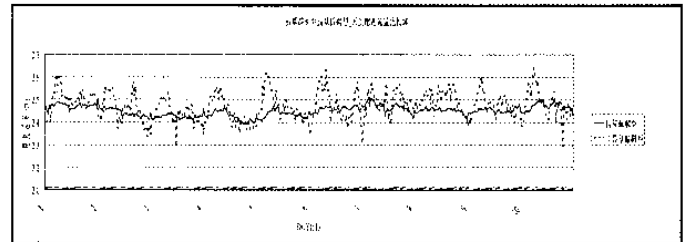
(三)探空氣球資料處理

由於選定的GPS網型中其中有一站(PEPU)位於花蓮，因此可利用該站的計算成果與附近氣象局的氣象站探空氣球資料做一比較。(以下圖表均以PEPU站為範例)

四、研究結果

(一)總遲延量成果比較

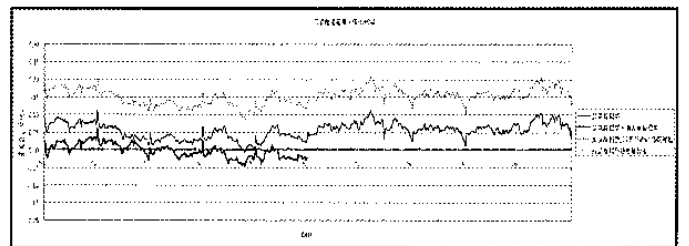
長基線網型是以加入中國大陸武漢WUHN組成約900公里左右的網型，而中長基線網型則是去掉WUHN而以合歡山HUAN為主組成各基線約100公里左右的網型。其中利用GPS資料計算天頂總遲延量的成果，以花蓮GPS固定站PEPU為例，如圖三。



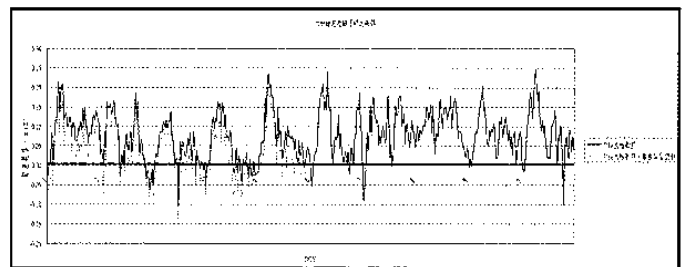
圖三 天頂總遲延量比較圖

利用GPS解算天頂總遲延量時，各點位皆需要給予一初始總遲延值，一般皆先假定海平面的溫度為 18°C 、濕度50%、壓力為1013.25mb，然後再藉由觀測點位的大約座標，推求該點位置的溫度、濕度及壓力，進而帶入數學模式進行總遲延的修正及求解。

本研究除了利用一般的方式求解之外，另外還分析了每個GPS固定站均加入地表氣象觀測值的天頂總遲延計算成果，以及初始值僅利用乾遲延量帶入計算的成果。此三種方式所得到之修正值，以長基線網型為例，呈現相同的趨勢，差別僅在於兩兩之間存在的偏移量，如圖四；其中的較差乃天頂總遲延的較差比較。但如果就中長基線網型而言，其偏移量就沒有長基線網型結果來的大，如圖五。



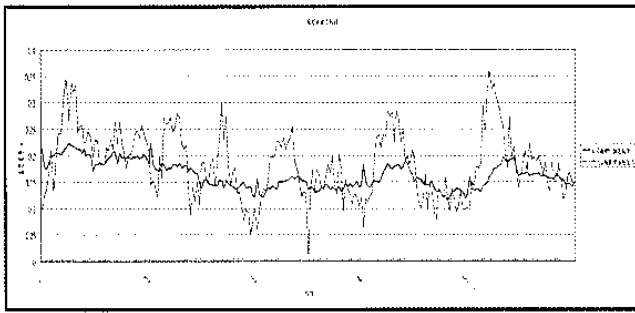
圖四 長基線網型天頂總遲延修正量比較圖



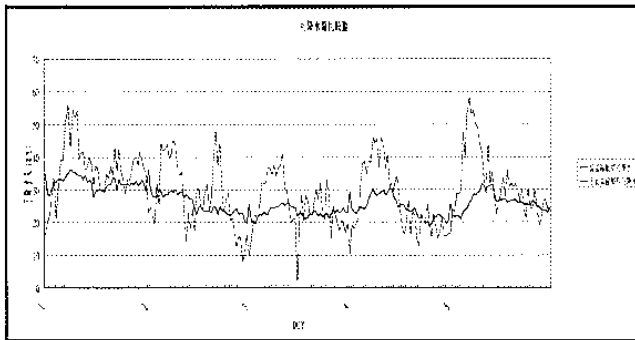
圖五 中長基線網型天頂總遲延修正量比較圖

(二) 濕遲延量、可降水成果比較

利用GPS不同網型的組合分別求得各GPS固定站的天頂總遲延量，因為各站在進行GPS觀測的同時亦同步進行地表氣象觀測，因此可利用地表氣象資料帶入Saastamoinen模式推估各GPS站的天頂乾遲延Bauersima(1983)，最後利用GPS求得的總遲延扣除Saastamoinen模式推估的乾遲延，即可得天頂濕遲延量，如圖六。而濕遲延量再乘上一轉換因子即可得到可降水，如圖七。



圖六 不同基線網型濕遲延量比較圖



圖七 不同基線網型可降水量比較圖

(三) 與探空氣球比較

由於GPS固定站PEPU附近有氣象局花蓮氣象站，該氣象站每日均會施放探空氣球，因此本研究便以此探空氣球的可降水數據與不同網型求得PEPU的GPS固定站之相同時間可降水數據做一比較，如表一。而GPS與探空氣球之差值數據比較，如表二。

表一 可降水量比較表

DOY	長基線網型可降水量(mm)	中長基線網型可降水量(mm)	探空氣球可降水量(mm)
1	34.58577	15.80349	27.19520
1.5	29.79159	36.62799	27.73799
2	36.31584	22.98648	23.38956
2.5	24.86639	30.46829	19.58094
3	25.43019	9.50235	18.26334
3.5	22.90386	21.35028	20.82755
4	29.52794	10.13978	20.99652
4.5	25.60858	23.59816	24.47470
5	25.86716	16.89884	21.90604
5.5	26.88414	29.75964	24.48345

表二 可降水量較差值比較表

DOY	長基線網型可降水較差值(mm)	中長基線網型可降水較差值(mm)
1	7.39057	-11.39171
1.5	2.05360	8.89000
2	12.92628	-0.40308
2.5	5.22545	10.88735
3	7.16685	-8.76099
3.5	2.07631	0.52273
4	8.53142	-10.85674
4.5	1.13388	-0.87654
5	3.96112	-5.00720
5.5	2.40069	5.27619
平均	5.28662	-1.17200
標準差	3.72600	7.90457

五、結論

(一)不同網型求得之天頂總遲延量，其數據分佈趨勢截然不同，根據文獻，GPS短距離單一基線，需利用相對的方式方能求得較為可靠之總遲延量鄧諭敦(1999)；但本研究利用中長距離網型(各基線約100公里)計算之結果顯示，其數據分佈雖呈現震盪現象，但並非完全偏離，顯示其仍有可改進之空間。而之所以探求中長基線網型之成果，乃著眼於將來台灣如欲利用GPS技術提供近即時或即時之大氣參數，勢必無法即時取得長基線之GPS觀測資料，最後仍需靠台灣內部之GPS固定站，因此中長基線網型成果之精進乃重要之課題。

(二)GPS資料合併地表氣象資料進行計算，原本是為了改進GPS定位之精度，但如將此數據用於求天頂總遲延量，可以發現對於長基線網型而言其總遲延量的修正值較僅利用GPS資料計算結果，呈現大幅下降的現象，而對中長距離網型的總遲延量修正值的變化並不大。

(三)與探空氣球可降水的成果比較，發現長距離網型的成果有偏高的現象，就5天的結果而言其平均值多了約5mm左右；而中長基線網型5天的計算平均成果雖然僅少了約1mm左右，但由於震盪的現象造成其標準差值反而大於長距離網型的成果。

(四)以前人對於此領域之研究及本文之初步成果而言，此技術確有其發展的潛力及相當多的優點，但國內目前的GPS固定站皆用於精密測量及定位之用，如能善加利用此資料，再輔以良好的資料連結系統，定能為台灣的氣象有所貢獻。

參考文獻

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

劉說安、楊名，1999，“GPS估算可降水量：WVR約束法”，大氣科學，27，131-140。

Bauersima I., 1983, NAVSTAR/Global Positioning System (GPS) II, Radiointerferometrische Satellitenbeobachtungen. Mitteilungen der Satelliten-Beobachtungsstation Zimmerwald, Bern, vol. 10.

Liou, Y.-A., C.-Y. Huang, and Y.-T. Teng, 2000: Precipitable water observed by ground-based GPS receivers and microwave radiometry. *Earth, Planets, and Space*, 52(6), 445-450.

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, Y.-A., Y.-T. Teng, T. Van Hove, and J. Liljegen, 2001b: Comparison of precipitable water observations in the near tropics by GPS, microwave radiometer, and radiosondes. *J. Appl. Meteor*, 40(1), 5-15.

Neilan, R. E., G. Beutler, J. Kouba, 1997. The International GPS Service in 1997 : 5 Years of Practical Experience, Oral Presentation, Scientific Assembly of IAG, Rio de Janeiro, Brazil.

Rothacher, M., L. Mervart, G. Beutler, E. Brockmann, S. Fankhauser, W. Gurtner, J. Johnson, S. Schaer, T. Springer, R. Weber, 1996. The Bernese GPS Software Version 4.0, Astronomical Institute, University of Berne.

Solheim, F., J. Vivekanandan, R. Ware, and C. Rocken, 1999, Propagation Delays Induced in GPS Signals by Dry Air, Water Vapor, Hydrometeors and other Atmospheric Particulates, *Journal of Geophysical Research*, 104, 9,663-9,770.