

嘉南藥理科技大學 99 年度教師專題研究計畫結案報告

以 RGPS 技術偵測波浪特性之研究

Using R-GPS for Monitoring Water Wave Patterns

執行期限：99 年 1 月 1 日至 99 年 12 月 31 日止

主持人：徐博賢 單位名稱：應用空間資訊系 計畫編號：CN9931

中文摘要

本研究主要是將 GPS 衛星接收儀整置於動態載具，整合右旋與左旋圓極化天線，動態接收將來自 GPS 之直接信號與地面或水面之微弱反射訊號，進行科學分析及應用研究。藉由微調接收天線使其可分辨來自 GPS 之直接與反射訊號，以獲取天線有效接收頻率與方位，再依此幾何方法，進一步利用各衛星與接收儀天線所在位置形成之對應投影，反推算所接收各組微弱反射訊號之地面或水面反射點位置。其中之接收處理方式，主要為應用 GPS 直接訊號與反射訊號之相位觀測量，比對其訊號強度、修正時間延遲量與大氣延遲量後，完成求解反射點位置與高程。

在實驗研究與分析過程中，將妥適調整接收儀之軟、硬體，在訊號處理與測試階段，能達到有效控制直接與反射訊號之接收，以整數周波未定數求解法則，應用於求解相位觀測量之周波未定值，藉以提昇反射點之坐標位置與高程精度。

Abstract

The purpose of this project is to develop a highly integrated GPS receiver with RHCP and LHCP antennas mounted on a moving platform for receiving direct and reflected GPS signals. In order to successfully acquire and track weak reflected GPS signals from ground and water-surface, there are several designs must be analyzed. First of all, both RHCP and LHCP antennas are employed and adjusted so that direct and reflected signals can be acquired. Then, the height of antennas foot print can be solved by analyzing the carrier phase of observation. During receiving GPS direct and reflected signals, by comparing intensity of signal, modifying time delay and atmospheric delay, the position and height of the reflected point of the signal can be solved.

During the development and test stage, the receiver as well as associated software is appropriately tuned that both direct and reflected signals can be processed. An integer ambiguity resolution algorithm will be implemented in order to obtain higher accurate position of the signal reflection point.

1. 前言

以 GPS 從事定位測量在信號處理時，通常會將多路徑效應(Multipath)之信號視為雜訊，予以濾除，但根據 Manandhar, *etal.* (2005) 強調，GPS 反射訊號所隱含之資訊包括反射物體介質本身與來自於反射訊號特性之變化與反射物體特性具密切關聯性。

近年來分析 GPS 反射訊號 (Reflected GPS signal, R-GPS) 去遙測地表資訊的技術逐漸受到重視，且由於 RGPS 具極佳的機動性且可以提供大範圍、高頻率、低成本的遙測資訊，依據相關論文文獻資料記錄、蒐集與分析(Shen, *etal.*, 2006; 陳建翰等,2007)，已成功的擷取來自地面與水面之微弱 GPS 反射訊號，並進行科學分析及應用之研究，例如以地形多路徑 GPS 訊號處理地表反射物體，成功解算獲得高精度的座標，其模式相對數位高程模式(DEM)可達大約 20 公分解析精度(Weiss, *etal.*, 2006; Shen, *etal.*, 2007)。

目前，國內 R-GPS 主要研究的方向為水面高度的量測及訊號的分析(經濟部水利署第一河川局, 2007)，可應用之領域包括測量海面高程、海面波場及風向、土壤含水量等(Shen, *etal.*, 2007)。過去對於大型水體測高均使用衛星測高，現今可以利用 GPS 全球衛星定位系統的訊號進行測高等相關性研究，可以提高測量成果的精度。對於未來應用於洪汛時期的水面測高，配合洪水災害監測，將有實際應用價值。

2. GPS 反射訊號定位原理

以 GPS 反射訊號解算水面高程模式可由圖一表示(陳建翰等, 2007; 沈立忠, 2009)，透過入射角等於反射角等幾何關係，配合可以接收反射訊號的左旋天線收集反射訊號的資料，解算直接訊號右旋天線與反射訊號左旋天線坐標後，可以得到直接訊號坐標為 (Lon, Lat, H) RHCP 轉換成卡氏坐標 (X_d, Y_d, Z_d)；同樣的在將反射訊號的左旋天線坐標 (Lon, Lat, H) LHCP 轉換成 (X_r, Y_r, Z_r)，因為 H₁=H₂ 可以知道接收直接訊號的右旋天線到反射面的垂直距離，以及反射面到接收反射訊號的左旋天線垂直距離是相同的，所以天線離地面或海水面的反射面高度為

$$\Delta H = \frac{1}{2} (H_{RHCP} - H_{LHCP}) \quad (1)$$

且海水面的高度坐標值為

$$H_{\text{surface}} = H_{RHCP} - \Delta H = H_{LHCP} + \Delta H \quad (2)$$

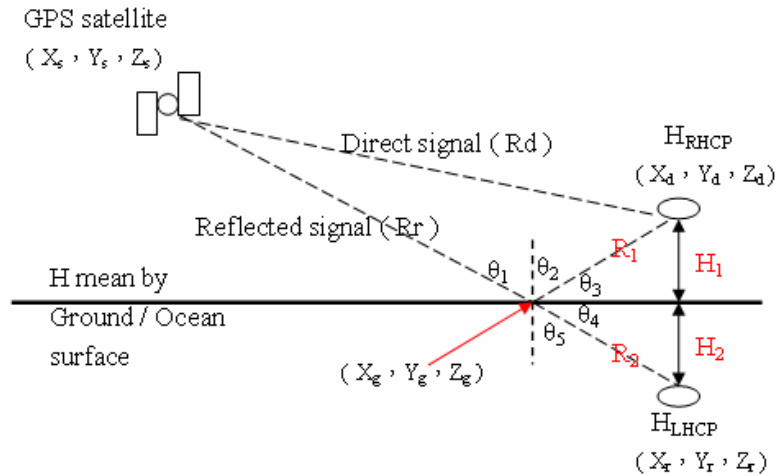
其中

ΔH ：接收儀到反射面的高度

H_{RHCP} ：接收直接訊號的右旋天線高度坐標值

H_{LHCP} ：接收反射訊號的左旋天線高度坐標值

H_{surface} ：反射面高度坐標值



圖一、GPS 反射訊號解算水面高程之幾何模式(陳建翰等，2007)

接收儀分別記錄右旋與左旋天線所接收到的 GPS 直接與反射訊號，其中包含了 L1、L2、P1、P2 等資料，至於解算 GPS 接收儀坐標反射信號之方式與直接訊號相同，亦即虛擬距離與載波相位測量，但是反射訊號非常微弱，在整個解算的過程中，先需搜尋 4 個或以上衛星之反射訊號虛擬距離解算接收儀坐標，接著處理相位觀測量，由於反射訊號微弱，使得 L2 接收困難，造成接收到的電離層與對流層延遲量大幅減少，但由於同一地點之電離層與對流層的延遲量，不管直接或反射訊號應該相同，因此在解算時若電離層與對流層延遲量異常，則可將右旋天線所接收到觀測量，作為解算左旋天線坐標之用(陳建翰等，2007；沈立忠，2009)。

接收反射訊號不穩定時，則接收儀先開始接收右旋天線的直接訊號，約過數分鐘待衛星訊號穩定後，觀察每顆衛星的 Doppler Shift 數值，再將接收儀切換成接收左旋訊號，若開始會有訊號脫鎖的情形，即利用指定 Doppler Shift 數值去搜尋各顆衛星的訊號，此方法可降低利用儀器接收反射訊號的困難度，增加接收效率。

3. 結果與討論

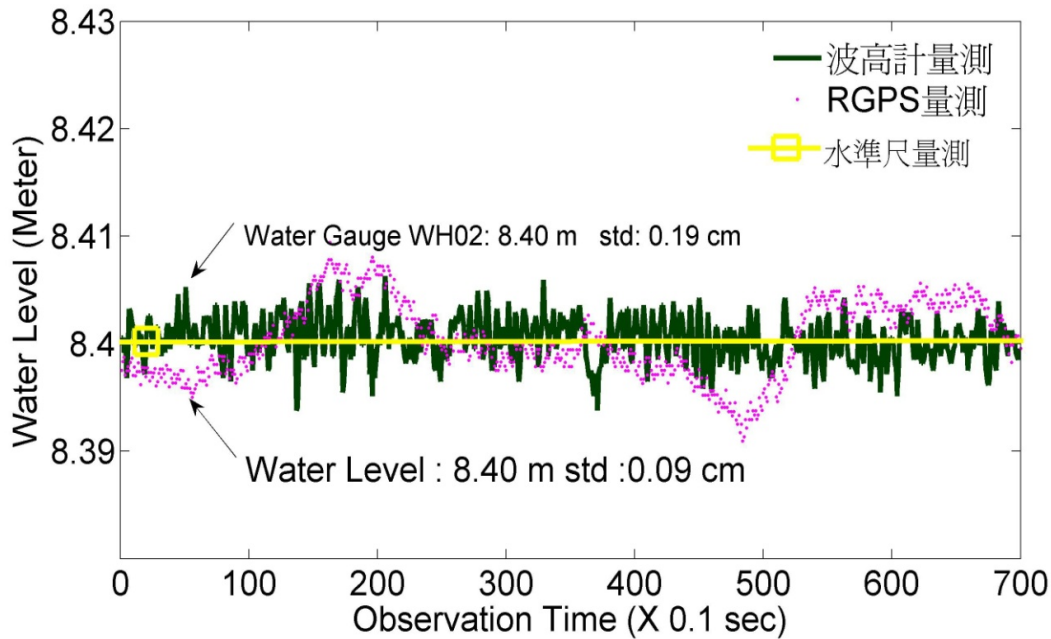
本研究在成功大學臺南水工實驗所斷面水槽內，先後進行前後兩次對斷面波形之測算，即前一次為靜態水位測量，後一次為動態漸變水位，以驗證衛星接收儀及其軟體運作達到設計之目標，同時進行水面波浪之平均高程計算與應用衛星反射訊號之反射點分析，以最小二乘法配合 LAMBDA 之演算，使量測高程精度提升至 5 公分，並與波高計記錄及水準尺水位量測進行比較。以驗證測量成果之精度。

在中型水槽進行靜水位與連續水位下降觀測之實驗，其程序與結果分述如下：全部實驗過程為 1 小時，波高計以 25Hz (0.04 秒) 記錄水位高，前一組採靜止水位實驗，取樣 120 秒共有 3000 筆數據(25^筆/秒×120 秒)、水準尺為每 1 分鐘提供一筆水位讀尺記錄，與 GPS 以 10 Hz 觀測資料比較。後 1 組為水位穩定下降時之觀測數據，取樣 3600

秒共有 90000 筆數據(25^筆/秒×3600 秒)。水準尺為每 1 分鐘提供一筆水位讀尺記錄，用來與 GPS 以 10 Hz 觀測資料做比較。

(1) 靜態水位測量觀測結果比較分析

靜態水位測量觀測結果如圖二所示，RGPS 反射點平均高程與波高計 WH02 水位量測值比較圖可以看出，由於反射點位置之大致相同，因為水面有風所造成水面小波之變化，這對計算會產生 0.5~1.0 公分之誤差。RGPS 之量測水位值標準差為 0.1 公分、波高計水位量測值之標準差為 0.2 公分



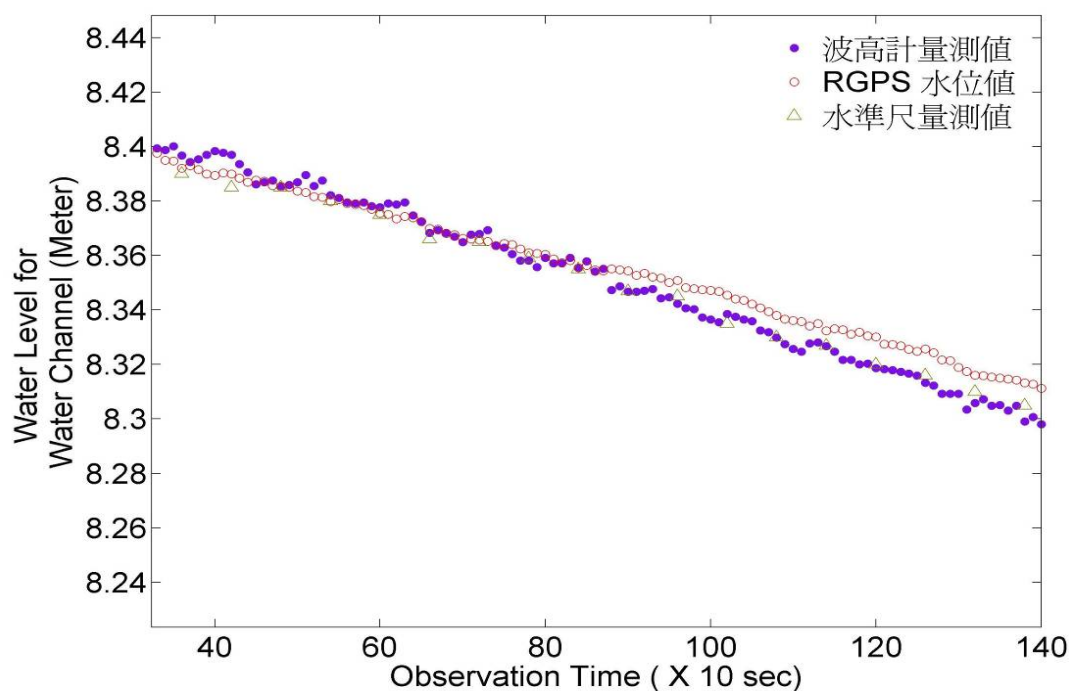
圖二、中型水槽靜態水位測量觀測，RGPS 水位變化與 HW02 (10 Hz)波高計水位量測值與標準差值比較圖

(2) 動態穩定漸變水位觀測結果比較分析

中型水槽動態穩定下降水位，以 RGPS 測量之反射點平均高程與波高計 WH01 水位量測值比較圖，如圖三所示，由圖中可以看出，RGPS 之水位高程值與水準尺量測值誤差約為 1.0 公分、而波高計水位量測值與水準尺量測值之誤差 1.8 公分。

在 1 小時之實驗結果中，RGPS 之水位高程值、波高計水位量測值與水準尺量測值均下降 30 公分，誤差維持在 0.5 公分內。

由中型斷面水槽實驗之分析得知，其靜水位觀測結果，RGPS 之量測值與水準尺誤差在 1.0 公分，而波高計水位量測值與水準尺量測值之誤差則在 0.5 公分。至於水位持續下降之觀測，RGPS 之量測值、波高計水位量測值與水準尺量測值之趨勢則相當一致。



圖三、 中型水槽動態水位穩定下降時， RGPS、水準尺與 HW01 (0.1 Hz)波高計水位量測之水位變化值比較圖

4. 計畫成果自評

本計畫原向國科會申請經費補助，後因申請案未通過，因此在資源上大為縮減，而工作內容亦無法與原計畫比擬。不過在計畫的執行過程中亦完成下列事項：

1. 蒐集各國對 GPS 反射訊號理論開發、應用方式與成果等之資料。
2. GPS 反射訊號定位理論與高程公式之推導，以及 GPS 反射訊號程式之修改。
3. 在國立成功大學臺南水工試驗所之中型水槽，進行靜水位與連續水位下降觀測之實驗，完成實際之 GPS 反射訊號接收處理與分析。

除此之外，在執行過程中並獲得下列結論：

1. 此次雖然以 RGPS 技術，在斷面水槽上進行實驗，加上租用儀器等硬體設備之限制，但在中型斷面水槽進行靜止水面觀測，以及 1 小時連續下降水位 30 公分觀測，結果與波高計和水準尺之量測作比較，顯示有很好的的一致性，偏差在 0.5~1.0 公分。
2. 由於衛星定位測量的便利性與精確性，本研究初步利用 GPS 直接訊號和反射訊號 RGPS 進行波浪水位觀測，所得結果在精確度和一致性上均顯示未來應用相當有潛力。

5. 參考資料：

- 沈立忠(2009)，“以整合型 GPS 接收儀運用反射訊號測算水流速度及地表土壤含水率之研究”，國立成功大學地球科學系博士論文，民國 98 年元月。
- 陳建翰、徐博賢、曾清涼(2007)，“GPS 反射訊號應用於蘭陽溪水面測高之研究”，2007 年台灣地理資訊學會年會暨學術研討會論文集, A123GN.
- Mananlhar, D., Shibasaki, R., Torioto, H.,(2005), “Prototype Software-based Receiver for Remote Sensing Using Reflected GPS Signals”. *ION Proceeding, GNSS 2005*
- Shen, L C, C L Tseng, J C Juang and C C Chang (2006), “Design of an Integrated GPS Receiver for the Processing of Reflected GPS Signals”, *ION GNSS 2006*, 26-30 September, Fort Worth, US.
- Shen, L C, J C Juang, C L Tseng and C C Chang (2007), “Applications of an Integrated GPS Receiver for Reflected GPS Signals L1/L2 Observation Techniques with River's Stream Flow and Water Altimetry”, *ION 63rd Annual Meeting*, 23-25 April, Cambridge, US.
- Shen, L C, J C Juang, C L Tseng, C L Tsai and C C Chang (2007), “New Application of Reflected GPS Signals L1/L2 Observation Techniques with an Integrated GPS Receiver for Remote Measurements and Digital Terrain Elevation Mapping”, *2007 Instrumentation and Measurement Technology Conference (IEEE IMTC 2007)*, 1-3 May, Warsaw, Poland.
- Shen, L C, J C Juang, C L Tseng, P Y Ko and C C Chang (2007) , “Applications of an Integrated GPS Receiver for Reflected GPS Signals L1/L2 Observation Techniques with Remote Sensing Ocean Altimetry and Ground Object Detection”, *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 23-27 July, Barcelona, Spain.
- Weiss, J.P., Axelrad, P., Anderson, S.,(2006), “Assessment of Digital Terrain Models for Multipath Prediction at Geodetic GNSS Installation”, *ION proceeding, GNSS 2006*.