

## GPS 浮標即時觀測潮位之研究

林演斌<sup>1</sup> 陳聖學<sup>2</sup> 湯世燦<sup>3</sup> 黃清哲<sup>4</sup>

<sup>1</sup>成功大學近海水文中心計畫經理

<sup>2</sup>成功大學近海水文中心品保組員

<sup>3</sup>成功大學水利及海洋工程學系客座研究員

<sup>4</sup>成功大學水利及海洋工程學系教授、成功大學近海水文中心主任

### 摘要

河口地區之實測潮位資料可作為河川洪水演算之臨海邊界條件，然而因為環境條件限制，部分河口地區難以架設作業化之潮位計，因此有必要開發不受河口環境限制之作業化潮位觀測系統。Harigae et al. (2005) 研究動態 GPS 在浮標上可達 cm 級定位，並能量測長週期、小加速度之水位波動。唯動態 GPS 需岸基台的基準校正。本文引用動態 (kinematic) GPS 結合即時定位服務之技術，進行以 GPS 浮標即時潮位觀測技術研究。結果顯示，靜態條件下正高之標準偏差小於 1.3 cm。於模擬動態圓周運動情況下，以正高資料估計之運動軌跡波高與捲尺量測值相當，而實測週期與碼錶估計週期亦約略相當。經現場測試驗證，GPS 浮標已具備潮位即時觀測能力，潮位即時觀測誤差小於 7 cm。

關鍵詞：資料浮標、全球定位系統、即時動態定位

## Real-time observation of tide with a GPS buoy

Yen-Pin Lin\* Sheng-Hsueh Chen Shih-Tsam Tang Ching-Jer Huang

\* Manager, Coastal Ocean Monitoring Center, National Cheng Kung University

### ABSTRACT

Real-time tidal data is the boundary condition in calculating river flood in the estuary. Due to environmental constraint, it's difficult to establish an operational tidal station at estuaries. To develop tidal observation technology without geographical constraint becomes crucial. Harigae et al. (2005) shows that kinematic GPS can achieve cm-level accuracy and it could measure waves of long period and small acceleration. The output is calibrated from a base station. This study integrates kinematic GPS and real-time position service for real-time tidal observation. Our results indicate that the standard deviation of orthometric height is smaller than 1.3 cm for static condition. Heights of trajectory of the GPS receiver in circular motion agrees well with our measurements. The period has the same agreement between the GPS receiver and a software stopwatch. Based on the field test in Anping harbour, the GPS buoy is capable of real-time tidal observation, with error less than 7 cm.

Keywords: Data Buoy; Global Positioning System; Real Time Kinematic

### 一、前言

潮位之高低變化對於海岸及港灣地區的活動與安全有很大影響，例如船舶進出港灣需將潮位資料納入作為進出港口操船決策依據。另外，將潮位資

料依照學理分析，可以準確地預測天文潮變化，為海岸地區防災決策所需的基本資訊。設置在海岸之潮位站依據天文潮位變化，可分析颱風警報期間之暴潮偏差與海嘯警報期間之異常水位變化。可見潮位即時觀測之重要性。

國內各單位基於業務職掌需要而進行潮位觀測，主要有交通部中央氣象局、經濟部水利署、臺灣港務股份有限公司、交通部運輸研究所臺灣技術研究中心等。為能維持長期運作，大多選擇於穩固的結構物處架設儀器，亦有少數設置於海上觀測樁。所使用之儀器技術有浮筒式、音波式、壓力式、新一代音波式等。

然而河口附近之潮位，為河川洪水演算之重要參考依據，為防災決策不可或缺之資料。部分河口附近缺乏既有結構物作為架設儀器之基礎，而設置觀測樁又需額外之工程施工成本。另外，直接購買國外既有產品之價格相當高且日後自主維修能量之建立有困難。基於以上說明，實有必要研發於河口附近能夠長期且即時地觀測潮位之技術。有鑑於此，本研究目的為結合動態 GPS 接收器、即時通訊技術與資料浮標技術，並利用即時修正訊號提昇精度，進行以 GPS 浮標進行即時潮位觀測技術研發。

## 二、文獻探討

Harigae et al. (2005)研發低成本 GPS 以觀測波浪。該文並提及，於水平及垂直方向，kinematic GPS 在浮標上可達 cm 級定位，並可量測波浪。Kinematic GPS 好處是可量測長週期、小加速度之水位波動，例如海嘯及潮汐。即便使用雙頻 GPS 接收器，其操作範圍於當時約為離岸 20 km。另外缺點為系統複雜度及成本均很高。

內政部國土測繪中心(2009)進行平均海水面監測先期研究，其目的為評估 GPS 浮標在監測平均海水面之可行性外，與 GPS 浮標應用於率定衛星測高資料以監測海水面之可行性。該研究將三只 GPS 接收器安裝於浮標上記錄原始訊號，利用所記錄的訊號與基準站訊號進行事後解算，並與 GPS 浮標旁邊之潮位站資料比較，從變化圖可看出 GPS 浮標量測之水位變化趨勢與潮位站資料一致。

Doong et al. (2011)安裝 GPS 接收器於資料浮標上，擷取 GPS 接收器於三軸向之運動速度分析波浪，並以傳統的加速度計、傾角計、電羅經計算的結果驗證，波高與週期之相關係數達 0.95。以 GPS 接收器之運動速度為一種適當的波浪觀測替代方案。

Herbers et al. (2012)使用 GPS 浮標、GPS 漂流

浮標與傳統的加速度計、傾角計、電羅經浮標互相比較波浪觀測結果，發現在估計一維波譜與方向波譜有良好的的一致性。

從以上文獻可知，GPS 接收器輸出之各種訊號已被陸續應用於潮位、海嘯、波浪之觀測。加上相關技術逐漸成熟，促進本研究之進行。

## 三、研究方法

### 1. 即時動態定位技術

即時動態(Real Time Kinematic, RTK)定位技術為基於 GPS, GLONASS, Galileo 等定位系統訊號中的載波相位(carrier phase)技術，利用一參考站提供即時的修正訊號，以達到 cm 等級之準確度。

即時動態定位技術使用衛星載波本身作為量測訊號，而非取用包含於載波內之訊息。例如 GPS L1 載波內含的 C/A 碼(coarse-acquisition code)改變相位之頻率為 1.023 MHz，而 L1 載波頻率為 1575.42 MHz，其波長為 19 cm。若 L1 載波相位量測誤差為 1%，則相當於基線長度之量測誤差為 1.9 mm。

實務上一個 RTK 基準站可提供多個移動站修正訊號。移動站比較其接收之相位觀測量與從基準站收到的相位觀測量，而進行即時解算。使得移動站得以計算與基準站之相對位置達到公釐(millimeters)等級之準確度。一般而言，雙頻系統之準確度在水平向為  $1 \text{ cm} \pm 2 \text{ ppm}$ (parts-per-million)，而在垂向為  $2 \text{ cm} \pm 2 \text{ ppm}$ 。

虛擬參考站(Virtual Reference Station, VRS)擴展 RTK 技術之應用至參考站網之整個範圍，其可靠度與準確度是由參考站網之密度與性能決定。

本研究係使用內政部國土測繪中心提供之即時定位服務，透過網路即時取得虛擬基準站(Virtual Base Station, VBS)之修正訊號，再將即時解算後之資料傳輸至成大近海水文中心而得。

### 2. 誤差分析方法

本研究引用林(2006)說明常見之誤差分析方法，分析 GPS 浮標即時觀測潮位之誤差。包含有均方根誤差(Root Mean Square Error, RMSE)、平均絕對值誤差(Mean Absolute Error, MAE)、平均絕對值誤差率(Mean Absolute Percentage Error, MAPE)等指標。其數學式分別為：

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (1)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - \hat{y}_i| \quad (2)$$

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \quad (3)$$

其中  $y_i$  為四草潮位站之觀測值， $\hat{y}_i$  為 GPS 浮標觀測值。N 為全部樣本數， $i$  為下標，代表不同時刻。

## 四、結果與討論

### 4.1 實驗室測試

為檢驗 GPS 接收器之精度，於成大學生宿舍頂樓進行靜態測試。另外，本研究目標為研發具有觀測潮位功能之資料浮標。由於使用環境為動態，本研究亦進行初步的動態測試。

#### 1. 靜態測試

成大學生宿舍頂樓相當於 13 樓之高度，其四個方向之天空景觀如照片 1。



照片 1 四個方位之天空景觀

於靜態測試期間之解算、傳輸頻率皆為 1 Hz，擷取正高資料統計其樣本之標準偏差 (standard deviation)，所擷取之正高資料即為以大地水準面 (geoid) 為基準之高度 (altitude above geoid)。

測試、分析結果分別如圖 1、表 1，依據 GPS 接收器技術規格 (specification)，垂向誤差之均方根 (root mean square, RMS) 為  $1.5 \text{ cm} \pm 1 \text{ ppm}$ ，而分析圖 1 資料之敘述性統計量，結果如表 1，可知實測標準偏差為 1.3 cm，顯示實測結果符合技術規格，所量測之高度資料可達 cm 級精度。

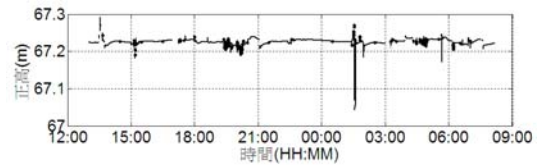


圖 1 靜態測試正高變化圖

表 1 正高資料敘述性統計結果

資料個數	遺失值個數	平均值 (m)	標準偏差 (m)	最小值 (m)	最大值 (m)	全距 (m)
68,400	3,843	67.226	0.012	67.042	67.291	0.249

統計時間：2012/08/24 13:00:00 ~ 2012/08/25 08:00:00 (19 小時)

#### 2. 動態測試

為取得高精度之解算成果，GPS 接收器之衛星訊號須符合一定之條件，因此研擬於天空遮蔽較少之處以手持 GPS 天線模擬圓周運動，測試 GPS 儀器之動態反應。

測試時將捲尺固定於直立桿件，零點在上往下拉直，當天線旋轉至上方時，約與捲尺零點同高度，而天線旋轉至下方時捲尺讀數約為 1 m，可知旋轉軌跡直徑約 1 m。旋轉週期以碼錶估計約為 9.0~10.0 sec。

動態測試正高資料變化如圖 2 所示，圖中資料之取樣頻率為 1 Hz，以該圖估計波高將近 1 m，而圖中於 3 min 期間內有近 17 個波動，計算平均週期約為 10.6 sec。從以上結果可知，以正高資料估計之運動軌跡波高與捲尺量測值相當，而實測週期與碼錶估計週期亦約略相當。

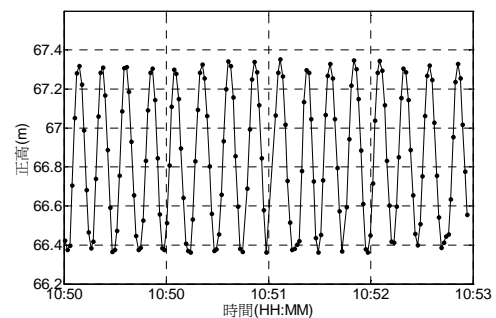
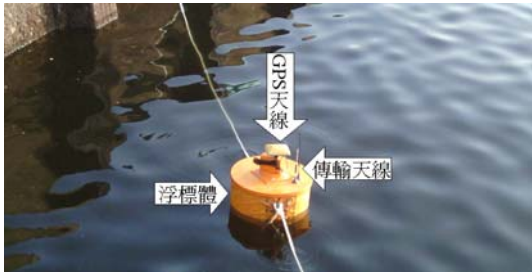


圖 2 動態測試正高資料變化

### 4.2 現場測試

因應現場測試之需求，經整合相關設備成為照片 2 之 GPS 浮標以進行現場測試，其目的為驗證動態 GPS 浮標即時觀測潮位之準確度。GPS 浮標測試地點為安平港內如圖 3，位於四草潮位站東南方約 8

km 之處，測試時間為 2012 年 8 月 30 日 18 時~31 日 12 時。



照片 2 GPS 浮標外觀



圖 3 GPS 浮標及四草潮位站位置圖

GPS 浮標之觀測與分析流程如下：

- (1) 每秒接收 GPS 修正訊號，並即時地進行 RTK 解算。
- (2) 擷取正高資料，取樣頻率為 1 Hz。
- (3) 每秒將資料傳送至成大近海水文中心。
- (4) 將每 6 分整往前 6 min 之原始資料，先去除錯誤資料後，再進行算術平均。

於測試的 18 小時期間，共應取得 179 筆統計資料，本次測試 GPS 浮標取得 168 筆，達成率近 94%。四草潮位觀測值係以基隆平均海平面為基準，由於 GPS 浮標之潮位資料為正高，與四草潮位觀測值之間存在一基準偏差，為易於觀察兩線之變化趨勢，將其調整為與四草潮位觀測值相同基準，如圖 4 所示，從圖中兩線的變化趨勢可知 GPS 浮標技術已具備潮位即時觀測能力。本研究亦發現，於 8 月 31 日 9 時前，GPS 浮標觀測之高潮位時刻較四草潮位站早，其原因可能為漲潮時潮位波動之波峰先抵達 GPS 浮標所在位置所致。

為驗證 GPS 浮標之準確度，將圖 4 中 GPS 浮標與四草潮位站相同時刻之各 168 筆觀測值進行誤差分析，表 2 之分析結果顯示 GPS 浮標與四草潮位資料相差小於 7cm。

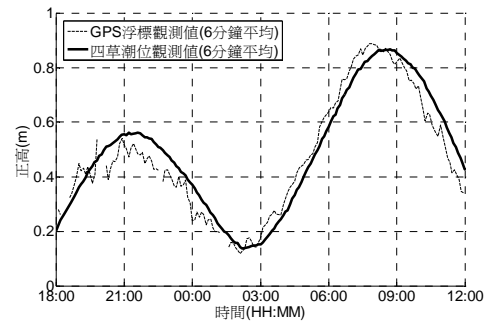


圖 4 GPS 浮標與四草潮位站資料比較圖

表 2 GPS 浮標潮位即時觀測誤差

誤差指標	RMSE(m)	MAE(m)	MAPE(%)
分析結果	0.065	0.056	0.021

## 五、結論與未來展望

本研究完成動態 GPS 浮標技術結合即時定位服務之技術研發與驗證，獲致以下結論：

- (1) 於靜態條件下即時解算正高標準偏差小於 1.3 cm。
- (2) 於動態條件下，以正高資料估計之運動軌跡波高與捲尺量測值相當，而實測週期與碼錶估計週期亦約略相當。
- (3) GPS 浮標技術結合即時定位服務已具備潮位即時觀測能力，潮位即時觀測誤差小於 7 cm。

本研究已完成階段性成果，未來有待持續研發，進一步作其他應用，包含：

- (1) 將動態 GPS 技術應用於可長期作業化觀測之資料浮標上，以觀測河口附近之潮位。
- (2) GPS 浮標具有海嘯監測與預警之潛力，唯需相關技術配合。

## 謝誌

感謝內政部國土測繪中心提供即時性衛星動態定位服務。與經濟部水利署、交通部中央氣象局建立與維持長期的海氣象觀測網，使本研究得以蒐集資料並順利完成，謹致謝忱。

## 參考文獻

1. 林茂文(2006)*時間數列分析與預測：管理與財經之應用*，華泰文化事業股份有限公司，第三版。
2. 內政部國土測繪中心(2009)*平均海水面監測先期研究案期末報告書*。
3. Doong, D.J., Lee, B.C. and Kao, C.C. (2011) "Wave Measurements Using GPS Velocity Signals," *Sensors*, Vol. 11, pp. 1043-1058.
4. Harigae, M., Yamaguchi, I., Kasai, T., Igawa, H., et al. (2005) "Abreast of the Waves: Open-Sea Sensor to Measure Height and Direction," *GPS World*, 16, 5, ABI/INFORM Trade & Industry, pp. 16-27.
5. Herbers, T.H.C., Jessen, P.F., Janssen, T.T., Colbert, D.B. and MacMahan, J.H. (2012) "Observing Ocean Surface Waves with GPS-Tracked Buoys," *J. Atmos. Oceanic Technol.*, Vol. 29, pp. 944-959.