中華民國地籍測量學會期刊

國土潤輪與空間資訊

Taiwan Journal of Geoinformatics

第六卷 第一期

中華民國一O七年一月



Volume 6, Number 1

January 2018

Published by Chinese Society of Cadastral Survey & National Land Surveying and Mapping Center



 一、理監事合: 理 事 長:黃榮峰 副理事長:謝福來 常務理事:蕭輔導、高書屏、黃進雄 理 事:洪本善、崔國強、吳宗寶、江渾欽、楊 名、周天穎、吳相忠、王定平、王啟鋒、 蕭萬禧、梁崇智、紀聰吉、謝福勝、張元旭、邱仲銘、陳惠玲 常務監事:蘇惠璋 監 事:史天元、蕭正宏、容承明、白敏思 秘 書 長:鄭彩堂(兼任) 副秘書長:李文聖(兼任) 秘 書:黃錦桂(兼任)、陳鶴欽(兼任) 幹 事:何美娟、楊雅茜
二、各種委員會: (一)服務委員會: 主任委員:崔國強 委員:王定平、黃仰澤、賴澄標、鄭宏逵、蘇昱彰、朱上岸、黃建華、吳啟賢 總幹事:梁崇智 幹事:劉彥秀、吳震緯、蕭爵增
 (二)編輯委員會: 主任委員:楊 名 委 員:史天元、林老生、洪本善、洪榮宏、楊明德、黃倬英、詹士樑、趙鍵哲 陳繼藩、饒瑞鈞 總編輯:陳國華 編 輯:陳鶴欽
 幹 事:黃郁恩 (三)研究發展委員會: 主任委員:洪本善 委 員:王宏仁、林志清、林登建、吳宗寶、吳聲鴻、黃文華、賴偉君、駱旭琛、 蕭萬禧、謝福勝 總幹事:陳世崇 幹 事:謝東發、董荔偉
(四)獎章委員會: 主任委員:蕭輔導 委員:洪本善、張元旭、曾清凉、曾國鈞、謝福來 幹事:由本會秘書處兼任 (五)教育訓練委員會:
主任委員:劉正倫 委員:崔國強、李文聖、葉文凱 總幹事:蕭泰中 幹事:謝正亮 (六)國際事務委員會:
王仕委員:尚大親 委員:李文聖、葉美伶、曾耀賢、盧鄂生、羅正方 總幹事:邱明全 幹事:李佩珊、湯美華 (七)界址鑑定及諮詢委員會:
エロダ界・/温 ラァエ 委 員:邱仲銘、江渾欽、洪本善、崔國強、謝福勝、王年水、駱旭琛、吳宗寶、 吳相忠、曾耀賢、蕭萬禧、王啟鋒

學會地址:408台中市南屯區黎明路二段335巷28號

網 址:http://www.cadastralsurvey.org.tw

電子郵件:cscs.editor@gmail.com

國土測繪與空間資訊 民國一○七年一月 第六卷 第一期 第 1 頁至第 14 頁 Taiwan Journal of Geoinformatics Vol. 6, No. 1, pp. 1 ~ 14

行動裝置內建相機之內方位

及內建定位定向感測器精度分析

周孜恆1 王聖鐸2*

論文收件日期:105.12.08 論文修改日期:106.02.16

論文接受日期:106.02.26

摘要

近年來智慧型行動裝置的發展迅速,智慧型手機、平板電腦越來越普及,裝置內 建的相機解析度也日益提升,尤其內建了全球導航衛星系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)、陀螺儀(Gyroscope)、加速度計(Accelerator)等微機電晶片後, 其方便性更甚於一般數位相機。然而行動裝置內建相機之內方位參數穩定度有待檢驗, 感測器所提供之位置與姿態,是否足以作為拍攝影像之直接地理定位定向(Direct Georeferencing)亦有待評估。因此本研究將參考前人使用非量測性數位相機進行近景 攝影測量的研究成果及理論基礎,以實做方式分析使用行動裝置應用於近景攝影測量 之內、外方位參數精度。本研究項目有二:(1)裝置相機內方位之穩定性:本研究針 對同一型號四台平板,以及使用同一台行動裝置重複拍攝率定標,分別利用iWitness Pro軟體進行相機率定,以評估同一型號裝置與同一台裝置之內方位參數是否穩定。 (2)行動裝置內建定位定向感測器之精度:本研究針對同一型號四台平板之GNSS坐標 以及姿態角進行精度分析,同時與e-GNSS作比較,以評估平板電腦之外方位參數是 否穩定。

關鍵詞:行動運算裝置、近景攝影測量、相機率定、精度分析

¹ 碩士生,國立臺灣師範大學地理學系。

² 副教授,國立臺灣師範大學地理學系。

^{*} 通訊作者, TEL:(02)7734-1683, FAX: (02)2369-1770, Email: sendo@ntnu.ed.tw。

Accuracy Analysis on Built-in Camera's Interior Orientation and Sensors' Geo-referencing of Portable Devices

Zih-Heng Chou¹ Sendo Wang^{2*}

Abstract

Smart portable devices developed rapidly in recent years. Tablets and smartphones are more common for people. The resolution of the camera in these devices is also rising. In particular, after built-in GNSS, gyroscopes, accelerometers and other MEMS sensors, the device is more convenient than general digital cameras. However, the stability of the interior orientation parameters of the built-in camera has to be tested. The position and attitude provided by the built-in sensor, is sufficient as a direct geo-referencing of the shooting images, also yet to be assessed. Therefore, this study will be based on former research results about non-metric digital camera used in close-range photogrammetry. We will design experiments to explore the accuracy of interior and exterior orientation. This study has two issues. First, the interior orientation stability of the portable devices: we will repeat shooting the coded calibration targets by the same model four tablets and by a single tablet. Then we get interior orientation parameters by camera calibration in iWitness Pro. Second, the accuracy of GNSS and gyroscopes in portable devices: We analyze the precision of GNSS and attitude by the same model four tablets, then compared with e-GNSS.

Keyword: Accuracy Analysis, Camera Calibration, Close-range Photogrammetry, Portable Computing Devices,

¹ Master Student, Department of Geography, National Taiwan Normal University.

² Associate Professor, Department of Geography, National Taiwan Normal University.

^{*} Corresponding Author, TEL: +886-2-77341683, Email: sendo@ntnu.edu.tw.

一、前 言

近景攝影測量(Close-Range Photogrammetry)是透過對目標物進行攝影,且攝影 物距不超過 300 公尺之攝影測量(Wolf & Dewitt, 2000)。隨著相機的普及,今日可用 高解析度之非量測型數位相機(Non-Metric Digital Camera)來代替量測型相機。但非量 測型相機之內方位參數較不穩定,且鏡頭畸變差較嚴重,因此必須利用近景攝影測 量軟體進行相機率定,決定其內方位參數與鏡頭畸變差。市面上常見的商用近景攝影 測量軟體包含了 iWitness、Photo Modeler、LensPhoto。如(鄒芳諭,2010)使用了 iWitness、Photo Modeler、LensPhoto。如(鄒芳諭,2010)使用了 iWitness、Photo Modeler、LensPhoto 您如(鄒芳諭,2010)使用了 iWitness、Photo Modeler、LensPhoto 您如(鄒芳諭,2010)使用了 iWitness、Photo Modeler、LensPhoto 您如(鄒芳諭,2010)使用了 iWitness、Photo Modeler、LensPhoto 您都相機率定結果及像距與物距之關係。(吳笛 豪,2008)則是使用 iWitness 軟體進行相機率定並完成高雄市舊火車站之三維數位模 型,同時也利用地面雷射掃描技術進行三維建模,並分別探討兩技術所能達到之地 物測量精度。

傳統攝影測量要得到影像上任一點的地面坐標系的坐標值,必須經過像片坐標系的建立、利用控制點進行外方位參數的求解,再根據解算得到的外方位參數,計算影像點之地面坐標值,方法如單張像片之後方交會法、多張重疊像片之光束法平差等, 過程較為繁瑣。若能利用全球定位系統(Global Positioning System, GPS)提供相機中心 的三維地理坐標,和利用慣性量測單元(Inertial Measurement Unit, IMU)提供相機三個 軸向之旋轉姿態角,即能獲得六個方位參數(X₀, Y₀, Z₀, ω, φ, k),等於是影像之直接地 理定位定向(Direct Georeferencing)。如(周尚弘,2005)將 GNSS/IMU 直接測定的外方 位參數和空三計算之外方位參數結果進行內部精度比較分析。(李易唐,2014)則藉由 大型 UAV 搭載多相機進行直接地理定位,分析多相機系統的直接地理定位精度。

綜合上述,本研究將參考前人的研究成果及理論基礎,使用平板電腦、智慧型手 機完成拍攝作業後,進行相機率定,決定內方位參數及鏡頭畸變差,並確認其穩定與 否。接著設計實驗,評估平板電腦、智慧型手機內建 GNSS、陀螺儀及電子羅盤之精 度,確認其是否能夠使用於直接地理定位定向。若精度允許,建議後續研究可利用 Imagine Photogrammetry 或其他航測軟體組成立體模型,利用前方交會原理量測點位 的三維坐標,以便確認行動裝置拍攝影像作為攝影測量之用的精度。

3

二、使用之行動裝置

本研究使用之行動裝置為 ASUS MEMO Pad 8(ME581CL),表1為其產品規格:

表 1 ASUS MEMO Pad 8 產品規格(ASUS, 2015)

裝置名稱	ASUS MEMO Pad 8
作業系統	Android 4.4
相機畫素	5 百萬畫素後置鏡頭自動對焦、2 百萬畫素前置鏡頭
感測器	重力感測器、光源感測器、電子羅盤、霍爾感測器、陀螺儀
定位系統	GPS & GLONASS 雙星系統

另外使用智慧型行動電話 SONY Xperia Z3(表 2)作為對照組:

裝置名稱	Sony Xperia Z3
作業系統	Android 4.4
相機畫素	20.7 百萬畫素相機
	2.2 百萬畫素正面相機
感測器	加速度感測器、環境光感測器、氣壓計、陀螺儀、磁力計
定位系統	GPS & GLONASS & BeiDou 三星系統

表 2 Sony Xperia Z3 產品規格(SONY, 2014)

三、內方位參數率定

中心透視投影(Central Perspective Projection)是近景攝影測量的基礎,中心透視投影是由物體發出之光線,依照光線的直進性經過一投影中心,投影在像平面中。如圖 1 所示,物空間之物點 $A(X_A, Y_A, Z_A)$ 穿過透視中心 $O(X_0, Y_0, Z_0)$,投影在像平面中即為 像點 $a(x_a, y_a, z_a)$,形成 A, O, a 三點共線。點 P 為像平面上之像主點(Principal Point),像主點至透視中心的距離為像主距(Principal Distance),物距無窮遠時像主距等於焦距 f。



圖 1 中心透視投影示意圖(Arias, 2005)

(一)軟體使用

內方位元素(Element of Interior Orientation)為恢復拍攝瞬間,相機透視中心與像 片或影像間相對關係之參數,本研究選擇商用的近景攝影測量軟體 iWitness 進行相 機率定。iWitness 之影像坐標改正函數共使用 10 個參數,除了廣義的 3 個內方位參 數外,尚包括 7 個附加參數來表示鏡頭畸變差。其率定參數分別為:

- 相機內方位參數(Camera interior orientation): *f*, *x_p*, *y_p*
- 輻射畸變差參數(Radial distortion parameters) ∶ K₁, K₂, K₃
- 偏心畸變差參數(Decentering distortion parameters): *P*₁, *P*₂
- 仿射、非正交參數(Affinity, non-orthogonality): B₁, B₂
 相關數學函式如下:

$$\bar{x} = x - x_p$$

$$\bar{y} = y - y_p$$

$$r = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2}$$

$$dr = K_1 r^3 + K_2 r^5 + K_3 r^7$$

$$x_c = \bar{x} + \bar{x} \frac{dr}{r} + P_1 (r^2 + 2\bar{x}^2) + 2P_2 \bar{x} \bar{y} + B_1 \bar{x} + B_2 \bar{y}$$

$$y_c = \bar{y} + \bar{y} \frac{dr}{r} + P_2 (r^2 + 2\bar{y}^2) + 2P_1 \bar{x} \bar{y}$$

式中

$$\bar{x}$$
、 \bar{y} :改正像主點偏移之像坐標

r:像點至像主點之輻射距離

dr:對稱輻射畸變差

 $x_c \cdot y_c$:改正後之像點像坐標

(二)佈設率定實驗場

本實驗以 iWitness 原廠設計之率定標完成相機自動率定(AutoCal),首先佈設率定 檢驗場。率定標共有 12 片黑色紙板,內含排列成 T 字的 5 個實心圓點,共有 60 個率 定標點。圓點大小相同,顏色為紅色或綠色,每片率定標的圓點顏色組合皆不相同。 依據 iWitness Pro的軟體使用手冊建議,率定標應分布於大約 2.5 m x 2.5 m 的空間中; 率定標之間儘量不要在同一平面上,率定場中的某些率定標與其他率定標之間的高差 需在 15~20 公分之間。

因此,本研究佈設率定檢驗場時,將 12 片率定標置於長約 1.8 公尺、寬約 1.5 公尺的平面白色珍珠板上,使率定標和背景顏色形成對比,其中 1 片率定標置於高約 15 公分的物體上,使其與另外 11 片率定標位於不同平面,如圖 2 所示:



圖 2 iWitness 率定標及檢驗場佈設

(三)拍攝作業

首先將4台平板電腦與手機內建之相機基本設定調整如下表3,依據 iWitness Pro 的軟體使用手冊建議,相機焦距盡量設置為無窮遠;拍攝每張像片之間不可進行放大 縮小;拍攝時約距離率定標3公尺,並盡量使得率定標有分布在像片中的角落。

本研究利用每台相機分別對率定標共拍攝兩組影像,環繞率定標做 8 個方向(4 個邊和 4 個對角方向)正拍、與正 90 度旋轉相機機身拍攝,一共拍攝 16 張影像,圖 3 為拍攝 iWitness 率定標之 16 張影像。完成拍攝後將影像載入 iWitness 軟體中進行自動化的影像量測及參數率定,以得知平板電腦及手機內建相機之內方位參數。

行動裝置	解析度	對焦模式	ISO	白平衡			
ASUS 平板	2560x1920(4:3)	無限遠	400	自動			
SONY Z3 手機	5248x3936(4:3)	單點自動對焦	400	自動			

表3行動裝置內建相機之基本設定



圖 3 拍攝 iWitness 率定標之 16 張影像

(四)率定結果

本研究利用 4 台相同 ASUS 平板電腦為實驗組,各拍攝兩組(Set)影像,Set 1、Set 2 為同一裝置,Set 3、Set 4 為同一裝置,依此類推,Set 9、Set 10 則為 SONY Z3 手機所拍攝之影像作為對照組,一共 10 組像片之率定參數結果整理如下表 4 至表 6。

結果顯示,同一台裝置前後兩組像片之內方位參數差異不大,非常穩定。但同一型號之4台不同平板電腦之間的內方位參數都不盡相同,焦距(f)方面編號1及編號2 平板電腦較為接近,差距小於0.1mm。像主點位移量(x_p, y_p)方面,編號3之平板電腦 較大,其餘3台皆小於正負0.1mm。

對稱輻射畸變差方面,將結果進一步展示為二維圖示,如下圖4,縱軸為對稱輻射畸變差(*dr*),橫軸為像點至像主點之輻射距離(Radial distance),圖示清楚顯示同一台平板電腦之對稱輻射畸變差有相同的趨勢,而4台不同平板電腦之間差異相當大, 推測原因可能為不同鏡頭打磨時的不完美。



圖 4 ASUS 平板電腦及 Z3 手機之對稱輻射畸變差(dr),縱軸單位:mm

整體而言,同一台裝置前後兩組像片之內方位參數差異不大,而不同4台平板電 腦之間內方位參數皆不穩定,推測可能原因為在鏡頭裝配的過程當中之人為誤差所導 致。除4台平板電腦外,Set9以及Set10為SONYZ3手機拍攝兩組像片之率定結果, 結果顯示其焦距約為ASUS平板電腦的2倍,像主點位移量大致上皆大於平板電腦, 接近編號3平板,對稱輻射畸變差係數(K₁, K₂, K₃)則皆小於平板電腦。

7

相機參數	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4
f(mm)	10.909	10.805	10.945	10.935
$x_p(\text{mm})$	-0.067	-0.033	-0.045	-0.060
$y_p(\text{mm})$	0.018	-0.045	-0.029	-0.028
K ₁	-8.992×10^{-4}	-8.132×10^{-4}	-1.069×10^{-3}	-1.057×10^{-3}
K_2	3.329×10^{-5}	2.967×10^{-5}	3.988×10^{-5}	3.822×10^{-5}
K ₃	-3.304×10^{-7}	-2.720×10^{-7}	-4.236× 10 ⁻⁷	-3.949×10^{-7}
P ₁	-2.702×10^{-5}	-4.541×10^{-5}	-1.964×10^{-5}	-1.015×10^{-5}
P ₂	5.597×10^{-5}	3.894×10^{-5}	1.477×10^{-5}	4.039×10^{-5}
B ₁	-3.437×10^{-4}	-9.453×10^{-4}	-1.338×10^{-4}	-7.062×10^{-4}
B_2	-1.699× 10 ⁻⁴	4.387×10^{-5}	-1.535×10^{-4}	-2.527×10^{-4}

表4 編號1、2 ASUS 平板電腦 iWitness 率定參數之整理

表5 約	编號3	\ 4	ASUS	平板電腦	iWitness	率定	參數之	整理
------	-----	------------	------	------	----------	----	-----	----

相機參數	Set 5	Set 6	Set 7	Set 8
f(mm)	9.636	9.864	10.486	10.521
$x_p(\text{mm})$	-0.122	-0.115	-0.011	-0.010
$y_p(\text{mm})$	-0.200	-0.187	-0.070	-0.058
K_1	-7.569×10^{-4}	-8.269×10^{-4}	-1.110× 10 ⁻³	-1.018×10^{-3}
K_2	3.411×10^{-5}	4.135×10^{5}	4.657×10^{-5}	4.151×10^{-5}
K ₃	-3.625×10^{-7}	-4.192×10^{-7}	-4.988×10^{-7}	-4.316×10^{-7}
P ₁	4.914×10^{-5}	1.365×10^{-5}	-4.867×10^{-7}	1.509×10^{-5}
P ₂	-5.363×10^{-5}	-8.607×10^{-5}	-4.118×10^{-5}	-1.411×10^{-5}
B ₁	1.019×10^{-3}	1.335×10^{-3}	9.108×10^{-4}	5.227×10^{-4}
B ₂	1.970×10^{-4}	2.286×10^{-4}	-6.131×10^{-4}	-1.519×10^{-4}

相機參數	Set 9	Set 10
f(mm)	20.718	20.651
J (IIIII)	20.710	20.031
$x_p(\text{mm})$	0.168	0.097
$y_p(\text{mm})$	0.282	0.209
\mathbf{K}_1	-3.835×10^{-5}	-2.502×10^{-5}
K_2	5.120×10^{-7}	6.460×10^{-7}
K_3	-1.474×10^{-9}	-2.226×10^{-9}
P_1	7.707×10^{-5}	-1.099×10^{-5}
P_2	-3.171×10^{-6}	-1.741×10^{-5}
B_1	1.199×10^{-3}	7.050×10^{-4}
B_2	-9.801×10^{-5}	-5.105×10^{-4}

表 6 SONY Z3 手機 iWitness 率定參數之整理

四、內建定位定向感測器精度探討

外方位元素(Element of Exterior Orientation)為重建攝影瞬間相機透視中心於物空間坐標系統之位置與姿態,以六個參數表達。其中三個位置參數,包含攝影瞬間透視中心之物空間坐標(X₀,Y₀,Z₀);三個姿態參數,包括攝影瞬間之旋轉姿態角(ω,φ,k)。 當恢復相機內方位元素(f,x_p,y_p)及外方位元素(X₀,Y₀,Z₀,ω,φ,k)後,可達物點、相機 攝影中心與像點之三點共線條件,其共線關係可用共線方程式(Collinearity Equations) 來表示,其應用在攝影測量之各個層面,如空間前方交會與後方交會等。其中空間前 方交會(Space Intersection)即以共線方程式為基礎,利用立體對重疊影像之共軛光束實 施前方交會為攝影測量獲取物點坐標的基本做法。如圖1中心透視投影,物點A、透 視中心O、像點 a 三點共線,共線方程式如下所示:

$$x_a - x_p = -f \frac{m_{11}(X_A - X_O) + m_{12}(Y_A - Y_O) + m_{13}(Z_A - Z_O)}{m_{31}(X_A - X_O) + m_{32}(Y_A - Y_O) + m_{33}(Z_A - Z_O)}$$
(1)

$$y_a - y_p = -f \frac{m_{21}(X_A - X_O) + m_{22}(Y_A - Y_O) + m_{23}(Z_A - Z_O)}{m_{31}(X_A - X_O) + m_{32}(Y_A - Y_O) + m_{33}(Z_A - Z_O)}$$
(2)

 $x_a, y_a: a 點之像坐標$

 x_p, y_p :像主點偏移量

f:相機焦距

 X_A, Y_A, Z_A :點A之物空間坐標

X_o, Y_o, Z_o:攝影中心之物空間坐標

*m*₁₁~*m*₃₃:為 3×3 旋轉矩陣 R 之元素

攝影測量中為獲得物點之空間坐標,必須進行相機率定確認其內方位參數,並利 用手機內建的 GNSS 及陀螺儀確定外方位參數,才能進行空間前方交會獲得物點之三 維空間坐標。外方位參數的穩定性是在本研究進行近景攝影測量中需要探討的部分,因此本研究設計下列實驗,探討行動裝置 ASUS 平板電腦內部感測器之精度。

- (1) 平板電腦 GNSS 之精度檢驗
- (2) 平板電腦陀螺儀、電子羅盤之精度檢驗
- (3) 利用 e-GNSS 檢驗平板電腦之 GNSS 精度

(一)平板電腦 GNSS 之精度檢驗

本研究設計實驗檢測 4 台相同型號平板電腦之 GNSS 穩定度。實驗地點設在周圍 無遮蔽物且 GNSS 收訊良好之師大文學院頂樓,將 4 台相同型號的 ASUS 平板電腦 緊鄰放置,利用裝置中的 GPS Status 應用程式,顯示平板電腦中的 GNSS 定位結果, 如下圖 5,同時間每一台平板電腦皆每隔 30 秒截圖擷取 GNSS 數據,共擷取 10 次, 最後將數據取平均和標準差,以比較平板電腦內建 GNSS 之穩定性,另外也加入 SONY Z3 手機作為對照組。實驗結果如下表 7。



圖 5 GPS Status 定位結果截圖

	N、E坐標	平均值	標準差	全距
	N(m)	2768646.756	4.657E-10	0.000
編號1半板電腦	E(m)	303184.097	0.000	0.000
	N(m)	2768647.580	1.162	4.415
編號2平板電腦	E(m)	303188.957	1.714	5.063
編號3平板電腦	N(m)	2768641.909	6.561	17.719
	E(m)	303180.722	1.908	5.106
	N(m)	2768649.175	1.140	3.346
編號4半板電腦	E(m)	303184.638	2.930	9.088
SONY Z3 手機	N(m)	2768651.970	0.508	1.108
	E(m)	303186.095	0.002	0.004

表7 ASUS 平板電腦及 SONY Z3 手機之 GNSS 實驗結果

實驗結果顯示,編號1平板電腦與SONYZ3手機之GNSS數據最為穩定,編號 3的N坐標及編號4的E坐標數據從全距及標準差皆可以看出其較不穩定,而其餘觀 測數據之標準差則介於1至2公尺之間,與GPS Status應用程式上所顯示的誤差(Error) 相差不大。

表8四台平板電腦之平均值

Average	N(m)	E(m)
4 台平板平均值的平均值	2768646.355	303184.6034
4 台平板平均值的標準差	2.710	2.927

若將4台平板電腦分別之11次數據平均值擷取出再取標準差,如表8,可得在N、 E坐標上,4台平板電腦之精度大約分別為2.710公尺以及2.927公尺。整體而言,同 一裝置前後獲得之數據穩定,同一型號不同裝置之數據較不穩定,推測原因可能是不 同裝置之感測器所能接受衛星訊號的靈敏程度不同所致,但精度4公尺左右(如表8, N坐標標準差為2.71m,E坐標標準差為2.927m)的行動裝置,仍為可接受之範圍。

(二)平板電腦陀螺儀、電子羅盤之精密度檢驗

相機拍攝瞬間之外方位元素亦包含三軸旋轉角(Compass、Pitch 和 Roll),因此本 研究設計實驗,測試4台相同型號 ASUS 平板電腦三軸旋轉角之穩定度。實驗中使用 的應用程式是 Google Play Store 下載之「Angle Cam 角度相機」,此應用程式可記錄 拍攝像片時之三軸旋轉角及經緯度坐標,拍攝之後上述紀錄會直接記錄在.txt 檔中。 本實驗將4台平板電腦固定橫放於手機架上保持相同之三軸,每隔10秒按下拍攝, 擷取一次數據,共擷取10次,最後將數據取平均和標準差,以比較平板電腦內建陀 螺儀之穩定性,實驗結果如下表9、表10:

	Compass	Compass STDEV	Pitch	Pitch STDEV	Roll	Roll STDEV
編號1	95.90	0.70	-32.25	0.05	0.00	0.00
編號 2	97.50	0.81	-31.36	0.11	-0.97	0.05
編號 3	97.30	0.46	-31.95	0.14	0.00	0.00
編號 4	97.50	0.81	-30.76	0.08	0.00	0.00

表9 ASUS 平板電腦之陀螺儀與電子羅盤實驗結果

表 10 四台平板電腦之三軸旋轉角平均值(單位:度)

Average	Compass	Pitch	Roll
4 台平板平均值的平均值	97.05	-31.58	-0.24
4 台平板平均值的標準差	0.67	0.57	0.42

實驗結果顯示,同一裝置前後擷取的 Compass 差異較大,其中編號 2、4 平板電 腦 Compass 的標準差都達到 0.8 度,而同一裝置前後所擷取的 Pitch 和 Roll 差異不大,標準差幾乎皆小於 0.1 度,推測可能原因是羅盤較易受到周圍的磁場波動所影響,而 Pitch 和 Roll 值則不會受到周圍環境而影響。

若將4台平板電腦三軸旋轉角分別之10次數據平均值擷取出再取標準差,如表10,可得在Compass、Pitch和Roll上,4台平板電腦之精度大約分別為0.67度、0.57度以及0.42度。因此,整體而言,同一裝置前後獲得之Compass數據較不穩定,Pitch和Roll則非常穩定。同一型號不同裝置之Compass、Pitch和Roll皆較不穩定,但標準差皆小於1度。

(三)利用 e-GNSS 檢驗平板電腦之 GNSS 精確度

確定平板電腦之 GNSS 穩定性之後,利用編號 1 平板電腦與定位精度達公分等級的即時動態定位系統 e-GNSS 做比較,並以 SONY Z3 手機作為對照組,分析平板電腦及手機內 GNSS 之精度。

實驗地點設在周圍無遮蔽物且 GNSS 收訊良好之師大操場,選擇2個點位(C1、 C2)進行量測。首先架設 1.5 公尺高之 e-GNSS 天線,接著將 e-GNSS 控制器連接至國 土測繪中心進行即時動態定位,坐標數據 fix 之後即可記錄下來。坐標記錄完成後, 將編號1平板電腦與 SONY Z3 手機依序置於 e-GNSS 上方,並利用 GPS Status 應用 程式記錄經緯度坐標,最後利用坐標轉換公式將經緯度轉為 TWD 97,實驗結果如表 11 所示:

C1	N(m)	E(m)
e-GNSS	2768706.469	303070.872
SONY Z3	2768705.026	303071.846
ASUS	2768705.953	303069.823
C2	N(m)	E(m)
e-GNSS	2768736.619	303073.430
Sony Z3	2768737.144	303070.712
ASUS	2768734.964	303079.803

表 11 利用 e-GNSS 檢驗平板電腦之 GNSS 精度實驗結果整理

實驗結果顯示, SONY Z3 手機 GNSS 數據與 e-GNSS 較為相近,在 N、E 坐標上 誤差皆在 1-3 公尺左右, ASUS 平板電腦則較為不穩定,如 C2 點位的 E 坐標相差至 6 公尺。

就此 GNSS 實驗結果得知, ASUS 平板電腦之 GNSS 定位精度較 SONY Z3 低, 與 GPS Status 上所顯示之誤差(Error)相符合,原因應是兩台裝置內所使用之 GNSS 感 測器型號不同,導致接收衛星訊號靈敏程度不同所致,因此 SONY Z3 手機較 ASUS 平板電腦更為適合應用於近景攝影測量。

五、結論與後續研究

本研究進行行動裝置應用於近景攝影測量之內、外方位參數精度分析,實驗所得 結果如下:

(一)内方位參數率定結果

本研究使用 iWitness 近景攝影測量軟體進行平板電腦與手機拍攝之像片率定。結果顯示同一型號之4台不同平板電腦之間的內方位參數都不盡相同,推測可能原因為 在鏡頭裝配過程當中之人為誤差所導致。SONY Z3 手機之焦距約為 ASUS 平板電腦 的2倍,像主點位移量皆大於平板電腦,對稱輻射畸變差係數(K₁,K₂,K₃)則皆小於平 板電腦。但整體而言,同一台裝置前後兩組像片之內方位參數差異不大,非常穩定。

(二)內建定位定向感測器精度探討

本研究將使用直接地理定位定向獲取外方位參數,因此設計實驗探討平板電腦和 手機之外方位參數精度。GNSS 精度方面,結果顯示同一裝置前後獲得之數據穩定, 同一型號不同裝置之數據較不穩定,N、E坐標上,4 台平板電腦之精度大約分別為 2.710 公尺以及 2.927 公尺,推測原因可能為不同裝置之感測器所能接受衛星訊號的 靈敏程度不同所致。

利用 e-GNSS 檢驗平板電腦及手機之 GNSS 精度方面,結果顯示 SONY Z3 手機

GNSS 數據與 e-GNSS 較為相近,在 N、E 坐標上誤差皆在 1-3 公尺左右,ASUS 平板電腦則較為不穩定,需要更長的時間接收衛星訊號將數據 Fix。

陀螺儀及電子羅盤精度方面,同一平板電腦前後擷取的 Compass 較不穩定,Pitch 和 Roll 則非常穩定,標準差幾乎皆小於 0.1 度,推測可能原因為羅盤較易受到周圍的 磁場波動所影響,而 Pitch 和 Roll 值則不會受到周圍環境而影響。而同一型號不同裝 置之 Compass、Pitch 和 Roll 皆較不穩定,但標準差皆小於 1 度。

(三)後續研究

本研究確認同一行動裝置內建相機之內方位參數之穩定度,且確認行動裝置內建 設備之精度應足以使用於近景攝影測量之直接地理定位定向,惟拍攝時須注意周圍有 無可能的磁場波動影響。因此,後續之研究則將利用相機率定求出之內方位參數,配 合直接地理定位定向求出之外方位參數,使用 Imagine Photogrammetry 商業軟體組成 立體模型,利用前方交會原理量測點位的三維坐標,並以使用全測站經緯儀直接進行 地面測量求出地面物之三維坐標作為對照組,比較量測之精度。

致 謝

本研究部份承蒙科技部大專生計畫(NSC 104-2815-C-003-068-M)輔助得以完成, 謹申謝忱。

參考文獻

- 吳笛豪,2008,應用近景攝影與地面雷射掃描餘地物量測精度及三違建模之研究, 國立高雄應用科技大學土木工程與防災科技研究所碩士論文。
- 周尚弘,2005,GNSS與INS 結合同軸數位量測相機之外方位精度分析,國立成功大 學地球科學研究所碩士論文。
- 鄒芳諭,2010,以非量測性相機進行近景攝影測量探討,國立交通大學土木工程學 系碩士論文。
- Arias P., J. Herraez, H. Lorenzo, C. Ordonez, 2005, Control of structural problems in cultural heritage monuments using close-range photogrammetry and computer methods, *Computers and Structures*, 83, pp.1754-1766.
- Wolf P. R. and B. A. Dewitt, 2000, *Elements of Photogrammetry with application in GIS*, 3rd Edition, McGraw-Hill.
- ASUS, 2015, ASUS MeMO Pad 8 產品規格, http://www.asus.com/tw/, Last Checked 2017/05/05.
- SONY, 2014, *White paper Xperia Z3*, http://developer.sonymobile.com/tw/, Last Checked 2017/05/05.

國土測繪與空間資訊 民國一○七年一月 第六卷 第一期 第 15 頁至第 30 頁 Taiwan Journal of Geoinformatics Vol. 6, No. 1, pp. 15 ~ 30

臺灣海潮負載效應於測量改正計算之研究

黄鉅富^{1*}

論文收件日期:106.05.31 論文修改日期:106.09.20 論文接受日期:106.10.09

摘要

臺灣海潮負載(OTL)效應之數值推估重力模式 SGOTL(Hwang and Huang, 2012)、位移模式 DISOTL(Hwang and Huang, 2013)已分別開發完成,並對外發表網頁,提供各界進行 OTL 效應改正線上計算服務,特別是對於海潮變化較大的近岸測站,利用該模式改正後之觀測成果,精度確實獲得改善。

由於臺灣海峽週邊海潮效應明顯,分析馬祖 GPS 站之徑向各分潮振幅合量 最高可達 5.5 cm;新竹超導重力站之各分潮振幅合量約有 11 µgal,對於高精度 測量產生不小影響,有改正必要。

本文除發表內政部公告 219 個一等衛星控制點(GPS 連續觀測站)之 OTL 計算服務外,也進行 OTL 對於精密單點定位(Precise point positioning, PPP)技術計算成果影響與改正之研究。

關鍵詞:DISOTL、SGOTL、重力測量、海潮負載、精密單點定位、衛星定位

¹ 科長,內政部地政司;博士,國立交通大學土木工程學系。

^{*} 通訊作者,TEL: (02)2356-5270,E-mail: huangjiufu@gmail.com。

The study of ocean tide loading corrections in Taiwan

Jiu-Fu Huang^{1*}

Abstrat

A numerical model to compute SGOTL (gravity) (Hwang and Huang, 2012) and DISOTL (displacement) (Hwang and Huang, 2013) resulting from ocean tide loading (OTL) had been successfully developed, and online computation service was released, especially for coastal stations with large ocean tides.

By use of this mode, the accuracy of observation is indeed improved. Around the Taiwan Strait, OTL-induced vertical displacement of Matsu GPS station can be up to 5.5 cm, and the gravity of Hsinchu superconducting gravity Station is about 11 μ gal, where such large OTL effects will have a profound influence on the precise measurements.

Ministry of the Interior (MOI) announces a new set of geodetic datum and TWD97 coordinates at 2010. In the study, online service of OTL computation at 219 first-order GPS continuous stations has been released and the accuracy of precise point positioning (PPP) derived coordinates affected and modeled by OTL were analyzed.

Keywords: DISOTL, Gravimetry, Ocean tide loading, Precise point positioning, Satellite positioning, SGOTL

¹ Section Chief, Department of Land Administration, Ministry of the Interior; Ph. D., Department of Civil Engineering, National Chiao Tung University.

^{*} Corresponding Author, TEL: +886-2-2356-5270, E-mail: huangjiufu@gmail.com.

一、前 言

海潮負載(ocean tide loading, OTL)效應,指地球受海水質量引力變化影響所 造成之變形(deformation)情形(Huang, 2012)。由於月球、太陽天體運行,直接對 地球上各海水質點產生引力變化,形成海水質量來回不斷重新分布之週期性海 潮現象,除對地表上各點產生不同牛頓引力效應(Newtonian effect)外,亦因地 球非屬絕對剛體(彈性體),於是有了週期性的彈性效應(elastic effect),而這些效 應 原 則 上 可 以 精 密 測 量 方 法 獲 得 , 並 可 區 分 為 重 力 (gravity)、 位 移 (displacement)、傾斜(tilt)、應變(strain)及垂線偏差(deflection of the vertical)等不 同型態,皆屬海潮負載效應。

由於高精度(達 µgal 級)重力測量設備技術已獲得實現,海潮負載效應對於 觀測數據影響,已不容忽視,需藉由海潮負載理論模式進行觀測改正,又考量 理論模式與區域特性之差異,相關理論方法亦有先行評估驗證之必要,以獲得 較佳成果(Shum et al., 1997; Yamamoto et al., 2001; Baker and Bos, 2003; Boy et al., 2004; Neumeyer et al., 2005; Hwang et al., 2009);此外,全球衛星定位測量技 術已廣泛地運用於氣候變遷及地球動力相關研究,例如:板塊運動(plate motion)、冰期後地殼反彈(post glacial rebound)、全球海水面變化(sea level change) 等,根據筆者研究指出,GPS 相對定位要達到 cm 級精度時,即需要考慮儀器 與環境效應,其中包括海潮負載(OTL)所產生的位移變形。

內政部自 1993 年起運用 GPS 測量方法建立全國大地控制網,並自 2003 年 起陸續引進絕對重力儀、超導重力儀等精密設備實施全國重力網,由於內政部 測量成果要求一等精度規範,評估有必要進行海潮負載改正,足以依法作為國 內實施重力測量及 GPS 測量之依據。因此,筆者針對重力、位移之海潮負載效 應進行相關研究,提出高解析且高程相依之海潮負載效應計算方法,有關推導 高程相依理論公式、開發彈性運用模式、使用較新海岸線資料、區域海潮模型 等,皆是國內首次研究亦是重要特色。

二、臺灣海潮負載效應之區域特性分析

圖 1 顯示 13 個鄰近台灣的 IGS 站及附近 M2 分潮(NAO99b)分布圖,其中 包括位於台灣的 TWTF、TNML,位於大陸的 SHAO、WUHN、XIAN、KUNM、 LHAS,位於日本的 TSKB,位於南韓的 DAEJ,位於菲律賓的 PIMO,位於泰 國的 CUSV,位於關島的 GUAM,及位於馬紹爾群島(Marshall Islands)的 KWJ1 等站。根據圖中 M2 海潮強度分析,西太平洋地區以台灣海峽(近大陸東南海 岸)、南北韓交界西側黃海(近北緯 38 度)的振幅最強,約有 2.4 公尺;其次者為 大陸黃海北部(上海杭州灣外)、緬甸西南部海域,約有 2 公尺;泰國至緬甸間 大陸礁層水域較淺,至少有 1 公尺;至於大陸南海(菲律賓西部)、日本海(日本 西部)及太平洋海(關島、馬紹爾群島間)之海域,附近 M2 海潮並不明顯;而台 灣地區東部太平洋與西部台灣海峽之海潮變化快速,導致此地區的 OTL 位移影



響特別明顯(Huang, 2012)。

圖 1 台灣附近 13 個 IGS 站及 M2 海潮之分布圖

Huang(2012)参考相關文獻方式,以 8 個主要短週期分潮(M2、S2、N2、 K2、K1、O1、P1、Q1)加上 3 個長週期分潮(MF、MM 及 SSA)之振幅合量,作 為測站受 OTL 影響程度的評估指標。內政部 18 個 GPS 站之 11 個 OTL 主要分 潮的振幅情形,經計算結果如圖 2 至圖 4。其中,徑向分量部分,MZUM(馬祖) 站因附近 M2 海潮最大,其 M2 分潮影響約 2.0 公分,且該站的 11 個分潮合量 達 5.5 公分,也是 18 個站最大的;其餘站的合量約 3.0 ~ 4.5 公分,最小值則位 於 PLIM (埔里)及 PKGM(北港)站。另外,各測站東西向分量約在 2.0 至 2.7 公 分間,差異不大,最小值則位於 KMNM(埔里)及 NSAM(南沙太平島)站。至於 南北向分量,大致約 1.2 ~ 1.5 公分,各測站差異極小,最大值位於 CHYI(嘉義) 及 PKGM(北港)站。

大致上,內政部 18 個 GPS 站皆以徑向合量效應最強(MZUM 站約 5.5 公分),其次為東西向(SHJU 站約 2.7 公分),南北向(CHYI 站約 1.5 公分)。一般僅 就離岸遠近的條件而言,OTL 徑向位移合量會往內陸方向逐漸減弱,但由於台 灣面積小(約 3 萬 6 千平方公里),其影響差異並不會太大,以較為內陸的 PLIM、 PKGM 站為例,OTL 徑向位移合量確實較小,然而因為台灣東臨太平洋、西臨 台灣海峽的特性,也有 3.0 公分影響。換言之,利用國內 GPS 衛星追蹤站約制 解算高精度相對定位測量成果時,以精確的模式來改正 OTL 位移效應影響,確 實是非常重要的研究課題。

P1

Q1

MF

MM

SSA

70



MOI GPS stations

KDNM

KASH

HCHM

FUGN

FLNM

CHYL

0

10

20

OTL radial displacement



30



OTL E-W displacement

40

Sum of magnitudes (mm)

50

60

圖 3 TWD97【2010】大地基準之海潮負載位移效應評估(東西分量)



圖 4 TWD97【2010】大地基準之海潮負載位移效應評估(南北分量)

三、SGOTL 及 DISOTL 模式改正線上計算

由於海潮負載(OTL)效應的引力源來自海水質量,因此根據牛頓萬有引力 定律,可以將測點以外全球海水面上波浪海潮質量進行引力源積分,如圖5所 示。至於各海水質點q對任意測站p點產生的直接引力位T公式如下:

 ψ_{pq} : 指各海水質點 $q(\phi_q, \lambda_q)$ 與任意測站p點間的球距角度,其中 ϕ_q, λ_q 分別為q點所在緯度及經度坐標。

 h_a : 指海水質點 q 於平均海水面(mean sea level)上之潮高。

ρ_w:指海水平均密度(本研究使用 1,030 kgm⁻³)。

G: 指牛頓萬有引力常數,可以地球平均質量 M 及平均加速度 g 組合替代之。 R_e: 指測站 p 點附近高斯球面之平均半徑。

D: 指以整個球體為範圍之球積分域。

 $d\sigma_q$:指積分單位,相當於 $d\sigma_q = \cos \phi_q d\phi_q d\lambda_q$,在球面上相當於 $dS_q = R_e^2 d\sigma_q$ r_p :指測站p點至地心間的距離,近似於 $R_e + H_p$;其中 H_p 指p點所在正高(指 垂直於大地水準面上之幾何高)。



圖 5 測點與海水質點間產生海潮負載效應示意圖(修改自 Huang, 2012)

Huang(2012)已依測點與海水質點間產生海潮負載(OTL)效應關係,成功開 發數值推估模式 SGOTL(重力)、DISOTL(位移),特別是對於海潮變化較大的近 岸測站,利用該模式改正後之觀測成果,精度確實獲得改善。該模式特別考慮 與測站高程相依之 OTL 格林函數,除使用不同解析之區域、全球海潮模型,分 別積分計算測站近(內圈)、遠(外圈)區網格之牛頓引力(Newtonian)及彈性(elastic) 效應,並針對內圈範圍大小及網格間距進行效能測試,且積分所需海陸遮罩網 格來自於高解析之海岸線資料庫及數值地形模型,以提高解算精度。根據新竹 超導重力站及部分離島絕對重力觀測資料驗證結果,SGOTL 模式與國外部分既 有模式如:OLFG/OLMPP(Scherneck, 1991), SPOTL(Agnew, 2013), GOTIC2 (Matsumoto et al., 2005)及絕對重力儀設備(FG5)中內建的 g7.0 軟體 (http://www.microglacoste.com/)相比表現較佳,OTL 重力效應於新竹超導重力站 可達 0.1 µgal 級精度,且各分潮效應合量約 11 µgal。

此外,有關 DISOTL 模式推估 OTL 位移效應,以內政部新竹及馬祖衛星追蹤站(GPS)資料驗證結果,OTL 效應可推估達 1 mm 級精度。另分析 13 個鄰近 台灣的 IGS 站區域特性,西太平洋 KWJ1 站(位於馬紹爾群島)之徑向分量合計 可達 8.5 cm;因此,OTL 位移效應對於高精度之定位測量技術,確實產生不小影響,有予改正必要。以近岸及部分離島地區之 GPS 連續實測資料,進行 OTL 位移效應改正測試,其連續坐標解之標準偏差值明顯下降,最大可獲得 35%改善幅度。

臺灣 OTL 效應之數值推估模式 DISOTL(位移)、SGOTL(重力)計算服務網 已開發完成,並於 2013 年「第 32 屆測量及空間資訊研討會」發表(https:// gps.moi.gov.tw/SSCenter/CalculateProcess/otl4prdt/Runotl4prdt.aspx,圖 6,本文改版後 畫面),提供各界進行 OTL 改正線上計算(含地球質量中心修正 CMC 與否)服 務;由於臺灣海峽週邊海潮負載效應明顯,分析馬祖及台中港 GPS 站之徑向各 分潮振幅合量最高達 5.5 及 4.0 cm,對於高精度測量產生不小影響,特別是針 對海潮變化較大的近岸測站,利用該模式改正後,觀測成果精度確實獲得改善 (黃鉅富等, 2013)。

海潮負載效應改正 (OTL effect correction)

項目(Items)	條件(Conditions)
類型:	大地基準站 ▼
(Sites)	
运名· (Sites)	成功衛星追蹤站(CHGO) ▼
CMC :	
(Centre Mass	否(NO) 🔹
Correction)	
起始期間:	201101010000
(Start time)	輸入格式:yyyyMMddhhmm
結束期間:	201101100000
(End time)	輸入格式:yyyyMMddhhmm
間隔(分): Interval(min)	60
	計算(Run)

圖 6 OTL 效應改正於臺灣大地基準站之計算服務頁面

四、一等衛星控制點(GPS 連續站)之海潮負載影響與改正

臺灣地區 1997 大地基準(TWD97)及參考坐標系統之訂定,係採用衛星定 位測量技術,由內政部於87年3月17日函頒,嗣後於96年11月15日訂 定基本測量實施規則時,將大地基準及國家坐標系統納入該規則第6條規定, 其地心坐標框架及參考橢球體分別採用 ITRF94(International Terrestrial Reference Frame, ITRF)及GRS80。由於國內衛星追蹤站及各級控制點TWD97 坐標,已歷經 10餘年,其間因地殼板塊移動產生地殼變動、921 地震及莫拉 克風災等影響,長時間累積下,部分地區點位已產生明顯之位移,無法符合目 前測繪之精度需求,內政部公告最新的大地基準及坐標系統 2010年成果,簡 稱為TWD97【2010】,內容包括衛星追蹤站18站、一等衛星控制點(GPS連續 站)219點、一等衛星控制點105點、二等衛星控制點569點及三等衛星控制點 2,102點,共計3,013點位成果。其中一等衛星控制點(GPS連續站)係基於資源 共享理念,考量國內作業需要及空間分布情形,選自目前交通部中央氣象局、 經濟部中央地質調查所、經濟部水利署、中央研究院地球科學研究所、彰化縣 政府、花蓮縣政府、健行科技大學、中華電信股份有限公司電信研究所等8個 機關學校站台,公告其坐標成果提供各界辦理控制測量作業使用(圖7)。



圖 7 一等衛星控制點(GPS 連續站)於臺灣通用電子地圖分布情形

本文延續運用 DISOTL、SGOTL 模式,於原有 OTL 計算服務網頁,增加 TWD97【2010】 其中 219 個一等衛星控制點(GPS 連續觀測站)之振幅與相位係 數及瞬時改正量計算服務,協助各界即時計算 OTL 效應模式改正,提高重力及 衛星定位測量觀測精度。圖 8 是以台中港衛星追蹤站(TACH)為例,在輸入起始 時間 2010 年 1 月 1 日 0 時 0 分, 結束時間 2011 年 1 月 1 日 23 時 0 分, 並以每 60 分鐘為間隔計算出每個時點之 OTL 重力(µgal)、徑向、東西及南北分量位移 (mm)等4項改正數;另圖9呈現該站2011年1月1日之每小時徑向OTL改正 數時序變化情形,其中半日分潮及全日分潮之效應影響相當明顯。圖 10 是以馬 泪(MZUM)站為例, 在輸入起始時間 2011 年1月1日0時0分, 結束時間 2011 年1月2日0時0分,並以每60分鐘為間隔計算出每個時點之OTL 重力(µgal)、 徑向、東西及南北分量位移(mm)等 4 項改正數;另圖 11 呈現馬祖(MZUM)站 2011年1月1日至10日之4項改正數時序變化情形,其中半日分潮及全日分 潮之效應影響相當明顯。此外,本文前章介紹圖 2 至圖 4 內容已分析國內 18 個衛星追蹤站之 OTL 位移影響程度,可提供國內高精度定位解算選擇參考約制 站之參考。因此,於高精度之測量技術上(如 SG、AG、GPS、SLR),尤其是觀 測時數資料不足時,如何以模式方法消除其OTL效應影響,顯得非常重要(Penna et al., 2008),而本文線上計算服務便可有效協助處理相關改正。

類型: (Sites) な名: 合地港衛星追蹤は(TACH) CMC: (Centre Mass 至(NO) Correction) 起始期間: 201001010000 (Start time) 私格式:yyyyMMddhhmm 信頼研期間: 201001012300 (End time) 裕和式:yyyyMMddhhmm 間隔(分): 個目隔(分): 60 Interval(min) 60 Interval(min) 合の 日本海球目でにはないためでは、1000000000000000000000000000000000000
(Sites) 大地基準站 (Sites) 台地港衛星追蹤站(TACH) (Sites) 台地港衛星追蹤站(TACH) (Centre Mass Correction) 20100100000 (Centre Mass Correction) 20100100000 (Startime) 60.465: yyyyMMddhhmm 結束期間: 201001012300 (End time) 60.465: yyyyMMddhhmm 間陽(分): 60 Interval(min) 60 000000至(to)201001012300[間隔(0 000000至(to)201001012300[間隔(0 000000至(to)201001012300[間隔(0 000000至(to)201001012300[1][雨(0 000000至(to)201001012300[1][雨(0 000000至(to)201001012300[1][雨(0 000000 = 0.55.4 - 115.6 - 60.8 - 0.663.0 0.0049.00010.00007.00000 000000000000000000000000000000000000
(cdus) (cdus) (cdus) (cdus) (cdus) (cdus) (cdus) (cdus) (cdus) (cdus) (Centre Mass (C) (End time) (M) At& : yyy/Mddhhmm (E) (D) (E) (Interval(min) (E) (Interval(min) (C) (C) <
CSIES CSIES CMC:
CMC: (Centre Mass 否(NO) Correction) 一 超45期間: 201001010000 (Start time) 約.48式: yyyyMddhhmm 結束期間: 201001012300 (End time) 約.48式: yyyyMddhhmm 「間隔(分): 60 Interval(min) 60 「間隔(分): 60 「「「」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」
(Centre Mass) 至(NO) ・ 乙のrection) 起始期間: 201001010000 (Start time) 約차稀式: yyyyMMddhhmm 結束期間: 201001012300 (Ent time) 約차稀式: yyyyMddhhmm 間隔(分): 60 Interval(min) 60 (Context (min)) 60 (Alge (Run)) (Alge (Run)) (Alge (Run))
Correction) 記他期間: 2010010000 (Start time) %1%8: yyyyMddhhmm 结束期間: 201001012300 (End time) %1%8: yyyyMddhhmm 間隔(分): Interval(min) %1%8: yyyyMddhhmm 日常常電量證證达(TACH)达,時間(Time): 201001012300 (b) 0000至(to)201001012300[間隔(0 (CM ORDER: M2 82 N2 K2 K1 OI P1 Q1 MF MM SSA (M ORDER: M2 82 N2 K2 K1 OI P1 Q1 MF MM SSA (M ORDER: M2 158, -161.1, -176.4 -651.1, -63.1, -94.7, -158.5, -161.1, -176.4 (maputed by DISOTL by Jiu-Fu Huang, NCTU, 2013 OUMO ORDER: M2 S2 N2 K2 K1 OI P1 Q1 MF MM SSA (monorted by DISOTL by Jiu-Fu Huang, NCTU, 2013 OUNO ROBER: M2 S2 N2 K2 K1 OI P1 Q1 MF MM SSA (M ORDER: MLFLITUDES (m) > RAD, FW, N3; PHA2E3 (degree) -> RAD, FW, NS 438.00331.00331.00031.00033.00916.00926.000172.00032.00021.00027
起始期間: 201001010000 (Starttine) %3.465: yyyyMMddhhmm 结束期間: 201001012300 (End time) %3.465: yyyyMddhhmm 信用係(分): Interval(min) 60 日常(分): Interval(min) 60 日常(ク): Interval(min) 60 Interval(min)
(Start time) 輸入格式: yyyyMMddhhmm 結束期間: 201001012300 (End time) 60 間隔(分): 60 Interval(min) 60 日本(Run) 61 100084 00087
(計算期間:) 201001012300 (End time) 約248式:yyyyMMddhhmm 間に(分): 60 Interval(min) 60 (日本海軍法部路达(TACH)站・時間(Time): 201001010000至(to)201001012300[間隔(0 00000至(to)201001012300[間隔(0 00000至(to)201001010000至(to)201001012300[間隔(0 00000至(to)201001010000至(to)201001012300[間隔(0 00000至(to)20100102(to)201001010000至(to)2010010100007 (ののDOE: AMPLITUDE: (個頭目) > G; FHASES(degree) -> G 413.00054.00037.00024.00262.00232.00086.00049.00010.00007.00006 0.00049.00007.00024.00262.00232.00086.00049.00010.00007.00006 00000FB: M2 S2 N2 K2 K1 O1 P1 O1 MF MM SSA 00 NORDER: M2 S2 N2 K2 K1 O1 P1 O1 MF MM SSA 00 NORDER: M2 S2 N2 K2 K1 O1 P1 O1 MF MM SSA 00 NORDER: M2 S2 N2 K2 K1 O1 P1 O1 MF MM SSA 00 NORDER: M2 S2 N2 K2 K1 O1 P1 O1 MF MM SSA 00 NORDER: M2 S2 N2 K2 K1 O1 P1 O1 MF MM SSA 00 NORDER: M2 S2 N2 K2 K1 O1 P1 O1 MF MM SSA 00 NORDER: M2 S2 N2 K2 K1 O1 P1 O1 MF MM SSA 00 NORDER: M2 S2 N2 K2 K1 O1 P1 O1 MF MM SSA 00 NORDER: M2 S2 N2 K2 K1 O1 P1 O1 MF MM SSA 00 NORDER: M2 S2 N2 K2 K1 O1 P1 O1 MF MM SSA 00 NORDER: M2 S2 N2 K2 K1 O1 P1 O1 MF MM SSA 00 NORDER: M2 S2 N2 K2 K1 O1 P1 O1 MF MM SSA 00 NORDER: M2 S2 N2 K2 K1 O1 P1 O1 MF MM SSA 00 NORDER: M2 S2 N2 K2 K1 O1 P1 O1 MF MM SSA 00 NORDER: M2 S2 N2 K2 K1 O1 P1 O1 MF MM SSA 00 NORDER: M2 S2 N2 K2 K1 O1 P1 O1 MF MM SSA 00 NORDER: M2 S2 N2 K2 K1 O1 P1 O1 MF M0 SSA 00 NORDER: M2 S2 N2 K2 K1 O1 P1 O1 MF M0 SSA 00 NORDER: M2 S2 N2 K2 K1 O1 P1 O1 MF M0 SSA
(End time) 輸入協主: yyyMMddhhmm (End time) 輸入協主: yyyMMddhhmm (首席(分): Interval(min) 60 (計算(Run) (行為): (方面) (方面
(Lill ullic) Wickes: yyyuMadonnmin 間隔(分): Interval(min) 合中港衛星追蹤站(TACH)站、時間(Time): 201001010000至(to)201001012300[間隔() computed by SGOTL by Jiu-Fu Huang, NCTU, 2013 ouLMN ORDER: M2 82 N2 K2 K1 01 Pl 01 MF MM SSA OW ORDER: MDESTLDUES(mgal)-> G ; PHABES(degree)-> G 413.0094.0087.0024.00262.00232.00086.00049.00010.00007.00006 9.6 - 108.6 - 155.4 - 115.8 - 60.8 - 85.1 - 63.1 - 94.7 - 158.5 - 161.1 - 176.4 computed by DISOTL by Jiu-Fu Huang, NCTU, 2013 OULMN ORDER: M2 82 N2 K2 K1 01 Pl 01 MF MM SSA OW ORDER: ML SZ N2 K2 K1 01 Pl 01 MF MM SSA OW ORDER: ML SZ N2 K2 K1 01 Pl 01 MF MM SSA OW ORDER: MLTUTUES(m) - RAD.EW, NS; PHABES(degree)-> RAD.EW, NS 438.00331.00331.00033.00916.00812.00258.000172.00006.00002.00021.00022.
間隔(分): Interval(min) 60 計算(Run) 合中港衛星追蹤达(TACH)达・時間(Time): 201001010000至(to)201001012300[間隔() 0000日に、M2 82 N2 K2 K1 01 P1 01 MF MM SSA 00000日に、M2 82 N2 K2 K1 01 P1 01 MF MM SSA 0000日に、MRLITUDES(mgal)-> G 413 .00054 .00057 .00024 .00262 .00232 .00066 .00049 .00010 .00007 .00006 9.6 -108.6 -155.4 -115.8 - 60.8 - 65.1 - 63.1 - 94.7 -158.5 -161.1 -176.4 0000EEE: M2 82 N2 K2 K1 01 P1 01 MF MM SSA 000 COEEE: M2 82 N2 K2 K1 01 P1 01 MF MM SSA 000 COEEE: M2 82 N2 K2 K1 01 P1 01 MF MM SSA 000 COEEE: M2 82 N2 K2 K1 01 P1 01 MF MM SSA 000 COEEE: MD SSA (degree) -> RAD_EW,NS 438 .00331 .00033 .000516 .00516 .00526 .00172 .00032 .00021 .00022 44 .00267 .00138 .00073 .00244 .00161 .00077 .00031 .00006 .00000
Interval(min) Computed by SGOTL by Jiu-Fu Huang, NCTU, 2013 Computed by SGOTL by Jiu-Fu Huang, NCTU, 2013 OULNN ORDER: M2 S2 N2 K2 K1 01 Pl 01 MF MM SSA CM ORDER: MMPLITUDES(mgal)-> G ; PHASES(degree)-> G 413.00094 0.0028 .0024.00262 .0023 .00026 .00049 .00010 .00007 .00006 9.6 -108.6 -155.4 -115.8 -60.8 -85.1 -63.1 -94.7 -158.5 -161.1 -176.4 Omy ORDER: M2 S2 N2 K2 K1 01 Pl 01 MF MM SSA OW ORDER: MRLITUDES(m) > RAD_EW, NS; PHASES(degree)-> RAD_EW, NS 13.00034 .00231 .00031 .00916 .00912 .00232 .00023 .00021 .00022
計算(Run) 合中港衛星追蹤站(TACH)站,時間(Time): 201001010000至(to)201001012300[間隔() computed by SGOTL by Jiu-Fu Huang, NCTU, 2013 outUMN ORDER: M2 82 N2 K2 K1 01 Pl 01 MF MM SSA CM ORDER: MMFLITUDES(mgal)-S G; PHABES(degree)-S G 413.00094.00087.00244.00262.00232.00086.00049.00010.00007.00006 9.6 -108.6 -155.4 -115.8 -60.8 -85.1 -63.1 -94.7 -158.5 -161.1 -176.4 computed by DISOTL by Jiu-Fu Huang, NCTU, 2013 OLUMN ORDER: M2 S2 N2 K2 K1 01 Pl 01 MF MM SSA CM ORDER: MRLITUDES(m)-> RAD_EW, NS; PHABES(degree)-> RAD_EW,NS 438.00331.00331.00083.00916.00812.00258.00172.00032.000021.00022.
日本(KWU) 合中港衛星追蹤达(TACH)站、時間(Time): 201001010000至(to)201001012300[間隔() omputed by SGOTL by Jiu-Fu Huang, NCTU, 2013 OLUMN ORDER: M2 82 N2 K2 K1 O FI Q1 MF MM SSA OW ORDER: M2 82 N2 K2 K1 O FI Q1 MF MM SSA OW ORDER: M2 82 N2 K2 K1 O F1 Q1 MF MM SSA omputed by DISOTL by Jiu-Fu Huang, NCTU, 2013 OLUMN ORDER: M2 82 N2 K2 K1 O FI Q1 MF MM SSA OW ORDER: M2 82 N2 K2 K1 O FI Q1 MF MM SSA OW ORDER: M2 82 N2 K2 K1 O FI Q1 MF MM SSA OW ORDER: M2 82 N2 K2 K1 O FI Q1 MF MM SSA OW ORDER: M2 82 N2 K2 K1 O FI Q1 MF MM SSA OW ORDER: M0 S031 .00063 .00916 .00802 .00258 .00172 .00032 .00021 .00022 449 .00267 .00138 .00073 .00244 .00161 .00077 .00031 .00006 .00000
台中港衛星追蹤达(TACH)站・時間(Time): 201001010000至(to)201001012300[間隔(000000000000000000000000000000000000
COLUMN ORDER: M2 S2 N2 K2 K1 O1 P1 Q1 MF MM SSA MO RORER: MNPLTUTUBE(m) > RAD,EW,NS; PHASES(degree) > RAD,EW,NS 438.00331.00331.00083.00916.00802.00298.00172.00032.00001.00002 744.00267.00138.000073.00244.00161.00077.00031.00006.000003.0002
438 .00331 .00301 .00083 .00916 .00802 .00298 .00172 .00032 .00021 .0002 744 .00267 .00138 .00073 .00244 .00161 .00077 .00031 .00006 .00003 .00002
744 .00267 .00138 .00073 .00244 .00161 .00077 .00031 .00006 .00003 .00002
429 .00151 .00073 .00040 .00128 .00124 .00043 .00025 .00003 .00002 .00003
6.6 -100.6 -153.6 -105.6 -61.6 -85.5 -64.2 -93.1 -162.6 -163.8 -176.7
4.9 129.7 91.0 125.1 -136.0 -160.3 -137.7 -172.3 -34.4 -85.9 -162.8 6.5 -68.8 -112.8 -72.5 178.4 146.1 176.3 130.5 16.9 23.8 5.4
TIME G(microgal) RAD(mm) EW(mm) NS(mm)
0/01/01 00:00 -0.4898 -1.0 -8.3 -3.0
0/01/01 02:00 -3./845 -12.8 -3.9 -5.6
0/01/01 03:00 -6.6879 -24.0 4.0 -7.7
0/01/01 04:00 -6.1607 -22.6 5.4 -6.5
0/01/01 05:00 -4.7474 -17.9 4.5 -3.9
0/01/01 06:00 -3.0274 -11.8 1.7 -0.3

海潮負載效應改正 (OTL effect correction)

圖 8 台中港衛星追蹤站(TACH)之 OTL 重力(μgal)、徑向、東西及南北分量位移 (mm)改正數(2010 年1月1日,每60 分鐘間隔)

圖 9 台中港衛星追蹤站(TACH)2010 年 1 月 1 日每小時徑向 OTL 改正量(m)時序變 化情形

	MZUM站,時	時間:20110101	0000至201101	020000[間隔:	: 60] 運算結果 :		
2011/01/01 00:00	-12.2336	-28.1464	-3.3393	-0.6496			*
2011/01/01 01:00	-10.3752	-23.9326	-1.8402	0.3042		ſ	
2011/01/01 02:00	-6.5672	-15.6715	-0.6439	1.0663			
2011/01/01 03:00	-1.9539	-5.9840	-0.0824	1.5966			
2011/01/01 04:00	2.1652	2.2943	-0.2814	1.9112			
2011/01/01 05:00	4.6676	6.8458	-1.1278	2.0694			
2011/01/01 06:00	4.8952	6.4684	-2.2997	2.1501			
2011/01/01 07:00	2.8233	1.3877	-3.3521	2.2248			
2011/01/01 08:00	-0.9300	-6.7966	-3.8365	2.3338			
2011/01/01 09:00	-5.2593	-15.5191	-3.4250	2.4723			
2011/01/01 10:00	-8.8544	-21.9127	-2.0058	2.5894			=
2011/01/01 11:00	-10.5385	-23.5627	0.2732	2.6012			
2011/01/01 12:00	-9.5802	-19.1619	3.0260	2.4144			
2011/01/01 13:00	-5.8978	-8.8995	5.7117	1.9541			
2011/01/01 14:00	-0.1043	5.5191	7.7585	1.1897			
2011/01/01 15:00	6.6212	21.2329	8.7000	0.1515			
2011/01/01 16:00	12.8065	34.8823	8.2885	-1.0667			
2011/01/01 17:00	17.0378	43.4068	6.5594	-2.3203			
2011/01/01 18:00	18.3033	44.7845	3.8272	-3.4388			
2011/01/01 19:00	16.2448	38.5344	0.6159	-4.2588			
2011/01/01 20:00	11.2528	25.8508	-2.4614	-4.6561			_
2011/01/01 21:00	4.3805	9.3368	-4.8435	-4.5715			
2011/01/01 22:00	-2.9036	-7.6034	-6.1488	-4.0221			Ŧ
2011/01/01 23:00	-9.0642	-21.5654	-6.2582	-3.0973			1

圖 10 馬祖 MZUM 站之 OTL 重力(μgal)、徑向、東西及南北分量位移(mm)改正數 (2011 年1月1日至2日,每60分鐘間隔)

OTL_MZUM (20110101 - 20110110) 60 50 40 30 20 g (microGal) 10 radial (mm) ralue 2 east (mm) 0 north (mm) -10 -20 -30 -40 -50 time

圖 11 馬祖 MZUM 站之 OTL 改正數時序變化情形(2011 年 1 月 1 日至 10 日)

五、精密單點定位技術之海潮負載效應影響與改正

有關 OTL 效應影響與改正研究, Huang(2012)曾以近岸及部分離島地區之 GPS 連續實測資料,利用載波相位觀測量差分計算每 3 個小時解,進行徑向 OTL 位移效應改正測試,其連續坐標解之標準偏差值明顯下降,最大可獲得35% 改善幅度。本研究另使用 GIPSY_6.3 軟體進行精密單點定位解算(Precise Point Positioning, PPP)進行評估,改採直接處理載波單點定位觀測量,並以雙頻觀測 量的線性組合消除大部分電離層相對誤差,至濕對流層延遲量估計則另以未知 參數來估算(黃鉅富等,2014)。另衛星軌道的偏差及衛星時表誤差,則以精密 星曆與精密衛星產品改正,而接收機的天線相位中心改正,使用 IGS 所提供的 天線型號資料; 固體潮則使用 WahrK1 PolTid 模型進行改正。

圖 12 顯示 2010 年 1 月 1 日台中港衛星追蹤站(TACH)每小時 PPP 解之徑 向 OTL 影響與改正時序變化情形,除採用 DISOTL 模式改正外,另以 EOT11a、 NAO99b 模式進行比較;圖 13 顯示 2010 年 1 月 1 日至 3 日 TACH 站每 3 個小時 PPP 解之徑向 OTL 影響與改正時序變化情形。所有解均減去 TWD97【2010】 公告值(m)以利分析並方便呈現。

26

圖 12 TACH 站 2010 年 1 月 1 日每小時(24 筆)精密單點定位解之徑向 OTL 影響與 改正後(m)時序變化情形(減去 TWD97【2010】公告值)

圖 13 TACH 站 2010 年 1 月 1 日至 3 日每 3 小時(24 筆)精密單點定位解之徑向 OTL 影響與改正後(m)時序變化情形(減去 TWD97【2010】公告值)

以圖 12 成果分析,2010 年 1 月 1 日 TACH 站每小時徑向 OTL 影響最大可 達 4.0 cm(DISOTL),但 GIPSY_6.3 軟體計算每小時 PPP 解(OFF)之標準偏差值 約 4.9 cm,最大偏差可達 14.8 cm,再以 DISOTL、EOT11a、NAO99b 模式分 別改正結果(OFF - *)大致相符,各種 OTL 改正後之定位精度皆未有顯著改善。 另分析圖 13 成果,2010 年 1 月 1 日至 3 日 TACH 站每 3 個小時徑向 OTL 影響 亦為 4.0 cm(DISOTL),由於該測試之觀測時間(3 日)及資料取樣(3 小時)均增 加,整體 PPP 解(OFF)之標準偏差值降至 1.9 cm,最大偏差降至 6.0 cm,定位 精度明顯提高;再以 OTL 改正(OFF - DISOTL)後之標準偏差值降至 1.0 cm,改 善幅度約有 47%,成效顯著。

六、結 論

隨著衛星系統及重力儀設備逐漸精良、多樣化,測量技術也不斷地提升, 高精度的 OTL 位移及重力效應模式改正,已逐漸受到國內外學者重視。臺灣海 潮負載(OTL)效應之數值推估模式 SGOTL(重力)、DISOTL(位移)已開發完成, 特別是對於海潮變化較大的近岸測站,利用該模式改正後之觀測成果,精度確 實獲得改善(Huang, 2012)。本文延續運用 DISOTL、SGOTL 模式,於原有 OTL 計算服務網頁,增加 TWD97【2010】其中 219 個一等衛星控制點(GPS 連續觀 測站)之振幅與相位係數及瞬時改正量計算服務,協助各界即時計算 OTL 效應 模式改正,提高重力及衛星定位測量觀測精度。

本文以研究成果顯示,台中港衛星追蹤站(TACH)每小時徑向 OTL 影響最 大可達 4.0 cm,但 GIPSY_6.3 軟體計算每小時 PPP 解之標準偏差值約 4.9 cm, 最大偏差可達 14.8 cm,再以 DISOTL、EOT11a、NAO99b 模式分別改正結果 大致相符,各種 OTL 改正後之定位精度皆未有顯著改善。另 TACH 站每 3 個 小時徑向 OTL 影響亦為 4.0 cm,整體 PPP 解之標準偏差值降至 1.9 cm,最大 偏差降至 6.0 cm,定位精度明顯提高;再以 DISOTL 改正後之標準偏差值降至 1.0 cm,改善幅度約有 47%,成效顯著。

致 謝

本文感謝交通大學黃教授金維指導、成功大學郭教授重言及其研究團隊、台灣世 曦工程顧問股份有限公司王工程師世復等提供協助,也承蒙匿名審查委員提供修 正意見,特表謝忱。

参考文獻

- 黃鉅富、邵泰璋、王世復,2013,海潮負載效應於臺灣大地基準站之計算服務, 第32屆測量及空間資訊研討會C016M。
- 黃鉅富、施巧慧、郭重言,2014,臺灣海潮負載效應於精密單點定位技術影響與 改正之研究,第33屆測量及空間資訊研討會GE-24。
- Agnew, D. C., 2013, SPOTL: Some programs for ocean-tide loading, *Institute of Geophysics and Planetary Physics*, Scripps Institution of Oceanography, University of California, La Jolla, CA.
- Baker, T. F. and M. S. Bos, 2003, Validating Earth and ocean models using tidal gravity measurements, *Geophysical Journal International*, 152(2), pp.468-485.
- Boy, J. P., M. Llubes, R. Ray, J. Hinderer, N. Florsch, S. Rosat, F. Lyard, and T. Letellier, 2004, Non-linear oceanic tides observed by superconducting gravimeters in Europe, *Journal of Geodynamics*, 38, pp.391-405.
- Hwang, C., J. F. Huang, 2012, SGOTL: A computer program for modeling

high-resolution, height-dependent gravity effect of ocean tide loading, *Terrestrial, Atmospheric & Oceanic Sciences*, 23(2), pp.219-229.

- Hwang, C. and J. F. Huang, 2013, Numerical modeling of displacements due to ocean tide loading: case study at GPS stations in Taiwan and western Pacific, *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 36(8), pp.1017-1028.
- Huang, J. F., 2012, High-resolution and height-dependent ocean tide loading effects on near-shore SG and GPS stations: models, validations and corrections for gravity and displacement, Thesis (PH.D.), National Chiao Tung University.
- Hwang, C., R. Kao, C. C. Cheng, J. F. Huang, C. W. Lee, and T. Sato, 2009, Results from parallel observations of superconducting and absolute gravimeters and GPS at the Hsinchu station of Global Geodynamics Project, Taiwan, *Journal* of Geophysical Research : Solid Earth, 114(B7).
- Matsumoto, K., T. Sato, T. Takanezawa, and M. Ooe, 2001, GOTIC2: A Program for computation of oceanic tidal loading effect, *Journal of the Geodetic Society of Japan*, 47(1), pp.243-248.
- Neumeyer, J., J. del Pino, O. Dierks, H. P. Sun, and H. Pflug, 2005, Improvement of ocean loading correction on gravity data with additional tide gauge measurements, *Journal of Geodynamics*, 40(1), pp.104-111.
- Penna, N.T., M. S. Bos, T. F. Baker, and H. G. Scherneck, 2008, Assessing the accuracy of predicted ocean tide loading displacement values, *Journal of* geodesy, 82(12), pp.893-907.
- Scherneck, H. G., 1991, A parameterized solid Earth tide model and ocean tide loading effects for global geodetic base-line measurements, *Geophysical Journal International*, 106(3), pp.677-694.
- Shum, C. K., P. L. Woodworth, O.B. Andersen, G. Egbert, O. Francis, C. King, S. Klosko, C. Le Provost, X. Li, J. M. Molines, M. Parke, R. Ray, M. Schlax, D., Stammer, C. Temey, P. Vincent, and C. Wunsch, 1997, Accuracy assessment of recent ocean tide models, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 102(C11), pp.25173-25194.
- Yamamoto, K., K. Ishihara, S. Okubo, and A. Araya, 2001, Accurate evaluation of ocean tide loading effects for gravity in nearshore region: The FG5 measurements at Sakurajima Volcano in Kagoshima Bay, Japan, *Geophysical research letters*, 28(9), pp.1807-1810.

國土測繪與空間資訊 第六卷第一期

國土測繪與空間資訊 民國一〇七年一月 第六卷 第一期 第 31 頁至第 48 頁 Taiwan Journal of Geoinformatics Vol. 6, No. 1, pp. 31 ~ 48

利用衛星影像劃設金門海岸潮間帶與監測時序變化

曾國欣1*彭新雅2廖文弘3陳繼藩4郭重言5

論文收件日期:106.08.23

論文修改日期:106.10.25

論文接受日期:106.11.06

摘要

在氣候變遷與人為影響的陰影籠罩下,國人對於海岸地區的保護以及潮間帶等 生物棲地的保育觀念逐漸增強。內政部於 105 年公布之國土計畫法與 104 年公布之 海岸管理法中皆明確針對海岸地區增加保、防護機制,確保自然海岸零損失以促進 永續發展。然而在實務上仍缺乏一套大尺度的測量方法提供海岸地區的範圍劃設以 及變遷偵測。本研究主要利用衛星觀測結合潮汐模型的方式建置海岸地形,提供劃 設參考潮位線的依據以利後續制定潮間帶的範圍,研究區域以國內岸際變遷較為顯 著的金門縣為標的。金門海岸線近期疑因人為超抽海砂導致過去一、二十年產生顯 著變化,平均潮位線除人造設施外,多呈現退縮態勢,尤以金寧鄉西側水頭港口週 邊以及金沙鎮北側的蘭洋段較為嚴重。本研究首先製作海岸地形模型並以無人駕駛 航空 器 系統所 製 作 之 地 表 模 型 進 行 相 對 高 程 檢 核 ,兩 者 之 差 值 均 方 根 (root-mean-square of the difference, RMSD)在慈湖南側灘地為 53 公分。後續依據歷史 影像所劃設的動態海岸地形分析,金門西側水頭碼頭旁於 2006-2017 的平均潮位線 較 1996-2006 的平均潮位線退縮 81.21±8.56 公尺,北側蘭洋段為 77.10±8.21 公尺, 南側機場段為 16.09±3.92 公尺,若以長期平均來看,整體退縮速率介於每年 0.64-8.12 公尺,如此脆弱的地區亟待政府建立一套健全海岸保防護機制。

關鍵詞:多光譜遙測、金門、海岸變遷、潮汐模型、數值高程模型

¹助理教授,國立中央大學太空及遙測研究中心。

² 碩士生,國立中央大學土木工程學系。

³科長,中華民國內政部營建署綜合計劃組。

⁴ 教授,國立中央大學太空及遙測研究中心。

⁵ 教授,國立成功大學測量及空間資訊學系。

^{*} 通訊作者,TEL:(03)4227151 轉 57690,E-mail:khteng@csrsr.ncu.edu.tw。

Using Satellite Imageries to Delineate Intertidal Zone and Monitor Coastline Changes in Kinmen

Kuo-Hsin Tseng^{1*}, Hsin-Ya Peng², Wen-Hung Liao³, Chi-Farn Chen⁴, Chung-Yen Kuo⁵

Abstract

Under the looming of climate change crisis and threats by rapid urban expansion, coastal area has become a fragile zone that urgently needs a long-term management plan for a sustainable future. The Ministry of the Interior of Taiwan has promulgated Spatial Planning Act in 2016 and Coastal Zone Management Act in 2015, which aim to ensure zero loss of the natural coast and to prevent natural hazards damaging the environment. However, a practical solution applicable to delineate intertidal zone and to timely update tidal lines on a large scale has been poorly investigated. This study intends to utilize satellite remote sensing imageries and DTU10 tide model to first reconstruct a satellite-based coastal digital elevation model (DEM_{Sat}), and then delineate intertidal zones for protective purposes. We chose Kinmen island of Taiwan as an example to demonstrate a significant retreat of coastline at mean water owing to sea sand over-dredging in the strait. The coastal DEM_{Sat} is firstly validated by an independent DEM stereo-paired from unmanned aerial vehicle (UAV) images, with an accuracy of 53 cm. The temporal DEMs made in two epochs, 1996–2006 and 2006–2017, are compared to obtain retreating distances at 81.21 ± 8.56 m for west shore, 77.10 ± 8.21 m for north shore, and 16.09±3.92 m for south shore. The general retreating rate is ranging between 0.64 and 8.12 m per year in this area.

Keywords: Coastal Changes, Digital Elevation Model, Multispectral Remote Sensing, Tide Model, Kinmen

¹ Assistant Professor, Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University.

² Master Student, Department of Civil Engineering, National Central University.

³ Chief, Comprehensive Planning Department, Construction and Planning Agency, Ministry of the Interior.

⁴ Professor, Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University.

⁵ Professor, Department of Geomatics, National Cheng-Kung University.

^{*} Corresponding Author, TEL: +886-3-4227151 ext. 57690, E-mail: khteng@csrsr.ncu.edu.tw.

曾國欣、彭新雅、廖文弘、陳繼藩、郭重言:利用衛星影像劃設金門海岸潮間帶與監測時序變化

一、前 言

(一) 金門海岸變遷

金門縣(24.45 N,118.38 E)距臺灣本島西側約 200 公里,地處中國福建省廈門市 外海,其組成包括金門本島、烈嶼、大膽、二膽、獅嶼、猛虎嶼、草嶼、後嶼、東 碇島、復興嶼等十二島嶼,其海岸線包含沙岸與岩岸,總長度超過 130 公里,而總 面積約 151.66 平方公里(圖一)。金門屬海島地型,擁有許多獨特的生態系,雖然因 開發較早且經歷多次戰爭浩劫導致大型野生動物資源稀少,但金門島依然是眾多如 水獺、鱟以及文昌魚等瀕臨絕種保育類動物的重要棲地。且因地處歐亞大陸邊緣, 每年秋冬亦有為數可觀的候鳥到此過冬,在河口及潮間帶蔚為奇觀。然而近年來由 於人為因素導致地貌快速變遷,進而影響到棲息地的生態環境,因此對於海岸線周 邊的維護成為當地永續發展的重要課題。

過去幾年來金門海岸線疑似因為近岸海砂抽取造成顯著變化,並導致海岸地形 以及沉積物的種類改變,其中又以中國廈門填海造陸工程為該地區較顯著的人為活 動,例如位於大嶝島和小嶝島之間,建造中的第二座國際機場--翔安國際機場,預 計抽砂量為518萬立方公尺,另外再加上中國國家海洋局所通過的「晉江圍頭灣填 海造地工程」等,使得沙土需求量大增,但因中國禁止海砂及河砂開採,導致大量 業者轉往金門、漳浦一帶非法抽砂。在早期,中國抽砂船主要在金門東岸施作,但 近幾年來逐漸轉往北部,而劇增的抽砂量導致金門北部地區的海岸線顯著退縮。**國** 立中山大學李忠潘教授在 2010 年後便注意到中國抽砂船的影響 (http://www.cw.com.tw/article/article.action?id=5059679),由於抽砂過程會提取顆粒 較粗的沙土,海浪便可能直接侵蝕金門海岸上的泥土層,導致顆粒較小的沉積物快 速流失,岸際崩落的速度加快,而海岸流失後幾乎無法在短時間內恢復。根據李忠 潘教授表示:「中國抽砂船若抽走十萬立方公尺的海砂,就會造成金門北海岸範圍一 公里的沙灘下陷一公尺,海岸線更會因此倒退一百公尺」,如今中國方面盜抽砂土 的行為不僅影響金門北海岸的沿岸景觀,更嚴重破壞了許多保育類動物的棲地。因 此,為了率定海岸線及潮間帶的範圍,以及即時監測時序變遷,我們必須建構一套 觀測系統,長期追蹤自然與人為對海岸所造成的加乘影響。而在眾多方法中,又以 衛星觀測最能提供即時、大範圍的影像資料。透過多時期衛星影像描繪潮間帶範圍 並量化其變遷,以利後續追蹤研究。

(二) 衛星遙測資料與海岸地形

全球海岸線約有 7%為潮間帶 (Stutz and Pilkey, 2002),然而在過去研究中對於 潮間帶的大範圍劃設始終面對技術上的困難,主要癥結點為進行數值建模方法上的 限制。目前用以製作全球數值高程模型 (digital elevation model, DEM) 的遙測方法 多無法穿透水面,且在製作過程中導入海岸線資料庫 (如 Global Self-consistent, Hierarchical, High-resolution Geography Database, GSHHG)將水陸域分離,導致國際 間常用模型多無提供潮間帶周遭的高程資料(Tseng et al., 2017)。例如美國與德國共 同製作的 Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)使用 C/X 波段雷達,利用干涉 合成孔徑雷達技術進行 30 公尺解析度模型建置。同樣問題亦存在於使用光學影像 立體像對製作的產品,如日本 Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)模型。這些模型提供的資訊多在岸際潮上帶以上中斷,因而造 成海岸陸地與海面高程呈現一不連續面(Eakins and Grothe, 2014)。再者,因為數值 高程模型多以整數公尺為單位,且帶有數公尺的均方根誤差,因此與海岸地區的真 實性有很大落差。

圖 1 金門與廈門地區 2015 年 Landsat-8 Operational Land Imager (OLI)衛星影 像。 以 4,3,2 波段組成自然色影像並利用 Generic Mapping Tool (GMT)軟 體繪製。

其他數值建模方法如空載光達、多音束船載聲納等方式雖可突破水體限制,且 精度可達數公分到 20 公分 (Athearn et al., 2010),因此常用於繪製細部近岸海底地 形,然而這些方法並不適用於濁度較高且水深極淺的潮間帶,容易遭遇航行困難以 及可見光無法穿透等問題。再者,潮間帶的樣貌會受到潮汐、洋流、河流以及突堤 效應等影響,因此在製作過程中非常耗費人力及時間,若想利用全球導航衛星系統 (GNSS)的動態定位技術將整個潮間帶進行完整建置,料將不敷成本與效率,且在經 歷潮汐沖刷與大氣事件後任何高精度產品皆會略顯過時,需要不間斷的長期更新。 因此目前僅有少數數值地形模型中有含有海岸地形的資料。為了克服這些限制,本 研究使用 Tseng 等人於 2017 年研擬之方法,利用多時期光學遙測影像建置潮間帶的 數值高程模型,基於地形在影像期間內沒有顯著變化的假設下,海水位高度和海/
曾國欣、彭新雅、廖文弘、陳繼藩、郭重言:利用衛星影像劃設金門海岸潮間帶與監測時序變化

陸面積存在一定的轉換關係來估算影像網格中陸地的相對高程,經由水體出現機率 搭配潮汐模型以建立潮間帶高程模型,最後再以無人駕駛航空器 (unmanned aerial vehicle, UAV) 製作的局部數值地表模型 (digital surface model, DSM) 進行驗證。由 於海岸地區地表高程變化即為其地形,故在後文中簡稱此模型為 DEM_{UAV}。

在接下來的第二章節將介紹所使用的衛星影像及處理方法,第三、四章分別為 潮間帶建置成果與時序變遷偵測,第五章為結論。

二、 研究方法與衛星資料

(一)研究流程

本研究包含資料收集、水體判釋、淹水機率計算、建置沿岸地形模型、利用 UAV 高程模型驗證,乃至於繪製潮間帶等六大部分。其流程圖如圖二所示,首先我們收 集雲覆蓋率較低的 Landsat 與 Sentinel-2 系列影像,計算其改進常態化差異水指數 (Modified Normalized Difference Water Index, MNDWI) (Xu, 2006) 用來判釋水體出 現像元。接著從長時期的影像網格中計算水體出現次數,將出現次數除以總資料數, 以得到網格狀淹水機率圖,此機率圖間接代表了海岸地區的相對高程差異。接著我 們選擇 DTU10 潮汐模型 (Cheng and Anderson, 2010) 做為高度參考,將淹水機率轉 換為實際高程資訊。後續模型驗證為利用 UAV 與 Pix4D 軟體製作高程模型檢驗。 以下章節介紹各步驟之技術細節。



圖 2 流程圖

(二) 遙測衛星影像與計算流程

1. 光學影像

光學遙測資料是監測沿海環境的有力訊息來源 (Teodoro, 2016), 本研究中使用 Landsat-5/-7/-8 及 Sentinel-2 所拍攝的遙測影像進行水體判釋。Landsat 系列衛星 為美國太空總署 (NASA) 與地質調查局 (USGS) 共同維運,主要任務為研究地貌 及植物生長狀況、協助調查與管理自然資源,並可分析自然災害與環境汙染狀況, 其拍攝的影像可用於產製各種主題圖 (Thematic Map)。文獻中不乏利用 Landsat 系 列進行多尺度的時序觀測,例如 Siripong 運用 Landsat 影像檢測海岸線變化趨向及 其成因 (Siripong, 2010),以及 Ekercin 運用其多光譜資訊關注土耳其愛琴海東北海 岸線運動 (Ekercin, 2007)。本系列自 1972 年的 Landsat-1 起,直至今日的 Landsat-7/-8 兩顆衛星仍持續不斷提供 30 公尺多光譜遙測影像,並預計在 2023 年 發射 Landsat-9 繼續延長觀測時間。因此,這些穩定的資料源十分適合應用於觀察 長期環境變遷。Sentinel-2A 則為歐洲太空總署 (European Space Agency, ESA) 全球 環境與安全監測計劃的光學遙測衛星之一,於2015年6月23日發射,再加上2017 年發射之 Sentinel-2B,此星系無償提供中高解析力(10-60 公尺)影像。Sentinel-2A/B 的設計為多光譜地球觀測系統,可以互補 Landsat 與 SPOT 並提高影像的可用性 (Teodoro, 2016)。再加上 Sentinel-2A/B 與 Landsat 拍攝時間十分接近,可將 Sentinel-2A/B 拍攝的新影像與 Landsat 歷史影像結合,進行長時期的地表變遷監 涧。

(1) Landsat

Landsat-5 於 1984 年發射升空,裝載 Thematic Mapper (TM) 感測器與多光譜成 像儀 (Multi-Spectral Sensor, MSS),重訪週期為 16 天。其中 TM 感測器拍攝的影像 共有 7 個波段,涵蓋可見光至熱紅外光波段,空間解析度為 30 公尺。此衛星在 2011 年發生故障,為運行時間最長的光學遙測衛星。Landsat-7 於 1999 年發射,裝載的 感測器為 Enhanced TM Plus (ETM+),相較於 TM 感測器,增加了一個 15 公尺解析 度的全色態波段,並提升熱紅外光波段的解析度。衛星掃描地面每一張影像的像幅 的長寬分別為 185、170 公里。Landsat-7 使用旋轉反射稜鏡成像的感測器,然而於 2003 年感測器的掃描路線校正器 (Scan Line Corrector, SLC) 發生故障,導致影像中 出現許多無資料的條帶。這個問題導致 2003 年後的 Landsat-7 影像約減 22%拍攝 面積 (Storey et al., 2005),然而本研究仍然運用這些影像以提供水面積變化資訊, 增加可用的影像數量。使用方法為水體判釋完成後利用線性內插的填補方式,將寬 約 3-4 個像元 (90-120 公尺)的條帶填補,此方法對於大面積水體的水線可進行有 效回復 (Tseng et al., 2016)。

Landsat-8 於 2013 年發射,共裝載兩個感測器:陸地成像儀 (Operational Land Imager, OLI) 以及熱紅外感測器 (Thermal Infrared Sensor, TIRS),此研究中使用 OLI 影像進行水體判識。OLI 為推掃式感測器,感光元件排成一列同時成像,與 Landsat-7 有相同的幅寬。相較於 Landsat-7 ETM+ 影像,OLI 感測器還增加了三

36

曾國欣、彭新雅、廖文弘、陳繼藩、郭重言:利用衛星影像劃設金門海岸潮間帶與監測時序變化

個新的波段:深藍、短波近紅外光與用於檢測影像品質的波段。影像解析力同樣為 30公尺,重訪週期16天,與Landsat-7有8天的時間差。

目前所有 Landsat 系列的多光譜影像可由美國地質調查局網站免費下載,資料 以 GeoTiff 格式儲存。我們篩選出研究區水體受到較少雲層遮蔽的影像進行後續處 理。原始影像需由灰度值 (Digital Number, DN) 轉換為大氣層頂 (Top-of-Atmosphere, ToA) 反射率。使用式(1)與(2)處理 Landsat-5/-7 原始影像 (Chander et al., 2009),包含線性轉換以及考慮太陽與地球之間的幾何關係。

$$L_{\lambda} = gain \times DN + bias \tag{1}$$

$$\rho_{\lambda} = (\pi \times L_{\lambda} \times d^2) / (ESUN_{\lambda} \times \cos\theta s)$$
⁽²⁾

上式中, L_{λ} 為每個像元的輻射值,DN為像元的灰度值,gain為波段的增益值,bias為波段的偏差值, ρ_{λ} 為大氣層頂反射率,d為地球與太陽間的距離(以天文單位表示), $ESUN_{\lambda}$ 為平均大氣層外太陽輻照度, θs 為太陽天頂角。

針對 Landsat-8 影像,則需使用式(3)與(4)進行轉換(USGS, 2017):

$$\rho_{\lambda'} = M_{\rho} Q_{cal} + A_{\rho} \tag{3}$$

$$\rho_{\lambda} = \frac{\rho_{\lambda'}}{\sin(\theta_{\rm SE})} \tag{4}$$

式(3)中, ρ_{λ} 為未經過太陽照射角度校正的大氣層頂反射率, M_{ρ} 為針對各波段的相乘 參數, A_{ρ} 為針對各波段的相加參數, Q_{cal} 為校正後的灰度值。式(4)中, ρ_{λ} 為校正太 陽照射角度後的大氣層頂反射率, θ_{SE} 為當地太陽仰角。

本研究僅以大氣層頂反射率進行後續水體判釋,未計算改正大氣影響後的地表 反射率,因水體與陸地在光譜反差上較為明顯,僅以大氣層頂反射率便可進行分 類。

(2) Sentinel-2A/B

Sentinel-2A/B 任務包含兩顆搭載多光譜成像儀 (Multi-spectral instrument, MSI) 的衛星,希望能在較短時間內重複拍攝同一區域,多光譜成像儀使用推掃式觀測, 影像幅寬為 290 公里。同一顆衛星的重訪週期為 10 天,若兩顆衛星同時進行拍攝, 則可達到 5 天,於高緯度區域若不限視角甚至可小於 5 天。Sentinel-2 衛星共有 13 個波段,涵蓋可見光至短波紅外線,在可見光波段提供中高解析度(10 公尺),並在 紅外光波段提供中解析度(20、60 公尺)影像。

目前已有一些研究開始使用 Sentinel-2A 影像進行地物分類,例如 Paul 等人 (2016)使用此衛星的紅光與短波近紅外光波段比值進行冰川與岩相的分類,並與

Landsat、SPOT 衛星分類成果進行比較。此研究成果顯示 Landsat-8 由於空間解析 度較低,容易形成混合像元,增加冰川分類面積的誤判約 4-5%。相較之下 Sentinel-2 影像可提供更精確的分類成果,並有較短的重訪周期。 Lefebvre 等人(2016)則使用 Sentinel-2 影像監測都市地區變化,影像分類成果可以與其他 Landsat 衛星結合。 其研究也說明 Sentinel-2A 較高的時間解析力相對之下更可能拍攝到無雲的影像。

在資料取得上, Sentinel-2 可在歐洲太空總署的開放資料入口網站取得 (https://scihub.copernicus.eu)。在處理的過程中, Sentinel-2 的 Level 1 Geotiff 影像僅 需經過單純線性轉換即可將灰度值化算至 TOA。本研究總共利用 255 張 Landsat 系 列及 6 張 Sentinel-2 等 261 張影像進行後續計算。

2. 多光譜水體判釋

為分辨水線在衛星影像中的位置,後續將多光譜影像利用下列式(5)計算 MNDWI (Xu, 2006):

$$MNDWI = \frac{Green - MIR}{Green + MIR}$$
(5)

式中, *MNDWI* 為改良常態化差異水指數,值域為-1 至 1; *Green* 為校正後 Landsat 及 Sentinel-2 影像的綠光波段,分別代表 Landsat-5/-7 的 band-2, Landsat-8 的 band-3, 或 Sentinel-2 的 band-3; *MIR* 則為校正後影像的中紅外光波段,分別代表 Landsat-5/-7 的 band-5, Landsat-8 的 band-6,或 Sentinel-2 的 band-8。

由於水表面在綠光波段會有較強的反射,而在中紅外光波段有較強的吸收。因此兩波段影像計算之 MNDWI 會呈現大於 0 的數值,可以將水體由其他地物類型中 突顯出來。本研究針對 Landsat 影像選擇 MNDWI 等於 0.25 作為篩選門檻值,將門 檻值大於 0.25 的像元分類為水體,並在判釋之後與原始自然色影像實際比較,確認 此門檻值能準確分類。另外,由於 Sentinel-2 的波段中心與帶寬不同,因此另外設 定門檻值為 0,以求得較佳的分類成果。

3. 建置海岸地形模型

經由上述水體分類後,可將所有影像集合起來計算每一個像元之淹水機率,其計算方法如下 (Tseng et al., 2017):

$$P(i,j) = \frac{\sum_{k=1}^{n} S_k(i,j)}{n} \times 100\%$$
(6)

其中 *P(i,j)* 為每個像元在影像期間(1996–2017)內受水覆蓋機率,理想情況下 0%為影像中最高潮位陸側,100%為影像中最低潮位海側,數值界於其中為潮間帶 範圍。影像中的列與行以 *i* 和 *j* 表示。*S_k(i,j)* 為第 *k* 張影像經 MNDWI 判釋後之水 曾國欣、彭新雅、廖文弘、陳繼藩、郭重言:利用衛星影像劃設金門海岸潮間帶與監測時序變化

體分類,水體設為1而非水體設為0。n為總影像數量。

後續我們將水體機率透過縮放平移的計算,將其原本 0-100%的值域轉換為實際高程,其轉換方式如下:

$$DEM_{Sat}(i,j) = [P_s(i,j) \times (H_h - H_l) + H_l] \times M(i,j)$$
(7)

其中 DEM_{Sat}(*i,j*) 為利用 Landsat 或 Sentinel-2 等衛星影像計算第 *i* 列與第 *j* 之 地表高程。P_s(*i,j*) 為利用式(6) P(*i,j*)所轉換至值域為 0-1 的特徵機率。H_h為影像時間中所能得到的最高潮位高度,反之 H_l為影像時間中所能得到的最低潮位高度。最後再乘上一潮間帶遮罩 M(*i,j*)以限制高程計算範圍。M(*i,j*)將式(6)中 P(*i,j*) 機率介於 3-97%之值設為 1,其餘設為 0。此遮罩的目的是將低於較低低潮線與高於較高高潮線的區域屏除在計算之中,其原因有二:(1)後續定義潮間帶不需利用接近高低極值的海岸地形(2)高低極值區容易受少部分影像判釋誤差影響,造成機率 P(*i,j*)失真,故將其移除。經過上述計算後可得金門海岸地區的高程模型建置成果如圖三所示。



圖 3 1996-2017 由 Landsat 與 Sentinel-2 影像產生的 DEMsat,圖中色碼為以 DTU10 平均海水面為基準之公尺高度。

由圖三我們可以看出金門本島的潮間帶主要分佈在北側及西側,而烈嶼西側也 有一部份的潮埔地貌。從此圖亦能看出大、小嶝島一帶的潮間帶漸趨明顯,在其填 海造陸工程後許多地方已成為低潮時的裸露地。

(三)UAV 影像建模

為了與現地潮間帶地形進行驗證,本研究使用無人駕駛航空器 UAV 進行三維 建模並與衛星影像及潮汐模型所製作之潮間帶地形進行相對高程比較。驗證區域為 金寧鄉西側慈湖外灘地,該區域包含了較大面積的低潮裸露地,且在 UAV 飛行時 較不易受到訊號干擾。UAV 拍攝流程為利用大疆 (DJI) 公司所生產的 Inspire-1 於 慈湖外海岸進行拍攝。Inspire-1 為六軸旋翼式 UAV,垂直定位精度為 0.5m,水平 精度為 2.5m。利用本身所搭載之 1240 萬畫素 CMOS 相機所拍攝影像輸入 Pix4Dmapper 進行建模,此軟體是由瑞士 Pix4D 公司開發之航遙測影像處理軟體, 運用 UAV 所拍出的影像產生三維點雲並與原始空拍影像結合,結果產製具地理參 考位置的正射鑲嵌影像 (Orthomosaic) 與數值地表模型,相較於傳統的攝影測量方 法大幅降低了作業時間與成本(顏志憲等, 2015),同時也可達到高精度的標準,從文 獻當中可以得知,使用四軸無人載具搭配 GoPro 進行拍攝後建模,得到的精度可 小於 0.1 公尺(白絜成等, 2015),也有使用 Inspire-1Pro 拍攝後使用 Pix4D 建模, 呈現高程精度可達 0.05m (Stephenson, 2016)。

三、 金門海岸地形與潮間帶結果討論

(一)海岸地形模型驗證

為驗證利用衛星影像法所建立出海岸地區高程模型精度,我們於局部區域比較 DEM_{Sat}與 DEM_{UAV}的高程差異。在此 DEM_{UAV}的解析度以空間平均的計算方式重 新取樣至 30 公尺,並與 DEM_{Sat}對位。其比較結果如圖四所示,其中圖四(a)為 DEM_{UAV},圖四(b)為衛星影像繪製地形 DEM_{Sat},兩圖色碼皆以 DTU10 平均海水面 為零基準之公尺高程。兩模型共同顯示出灘地中央有一凸起之帶狀沙丘,此沙丘範 圍可從圖四(c)由 Sentinel-2 組成自然色影像看出。然而兩模型在慈湖出海口與後續 渠道的部分高程落差較大,差異可達 1 公尺。將兩模型 30 公尺網格加以比較可得 如圖四(d)之等值圖,其中橫軸為 DEM_{UAV},縱軸為 DEM_{Sat}。兩者於比較範圍內所有 像元之差值均方根 (root-mean-square of the difference, RMSD) 為 0.53 公尺,計算方 法為將所有像元數值相減後扣除平均值之數列計算其均方根。此值與內政部地政司 於近期產製的 5 公尺數值地形模型精度(0.5 公尺)雷同,亦足以呈現潮間帶的水高與 水面積變化的關係,唯海岸地區細部高程變動快速,後續仍需研究利用高解析衛星 (小於 10 公尺)與提升取樣頻率對高程精度影響。在此我們將利用在此驗證的垂直誤 差代表所有海岸地區地形模型的垂直精度。



圖 4 比較 UAV 與衛星影像製作之地表高程模型。(a)利用 UAV 製作之模型,將解析 度至 30 公尺(b)利用 Landsat 與 Sentinel-2 製作之 30 公尺解析度高程模型 (c)Sentinel-2 自然色影像(2016 年 7 月 13 日拍攝)(d)UAV 與影像高程模型之 比較等值圖。

值得強調的是,圖四(b)為利用近 20 年衛星影像所製作的平均地形高程,而圖 四(a)是由 UAV 所製作之瞬時高程,拍攝時間為 2016 年 6 月,由於長時間海岸過程 與季節性侵淤的浮動因素,兩者本身不可避免帶有相當程度的差異。例如從圖四驗 證過程中獲得相關係數 0.45,相較於先前於香山溼地研究中與潮位站相比的垂直精 度為 48 公分且相關係數為 0.94,本測區數值明顯偏低。主要因素為近年人為活動 導致潮間帶地形變化較大,UAV 瞬時高程與往年平均應有較大差異,其次為此區高 程差較小,在類似垂直精度(50 公分)的情況下相關係數較差。若想獲得更合理的產 品驗證,理應在短時間(如數個月內)收集大量衛星影像製作 DEMsat,減少時間上與 現地觀測的差異,應能更好地反映出本方法的垂直精度。然而目前由於衛星資料源 的限制,在此需假設驗證區域內三十公尺網格間僅有侵淤的整體變化,並忽略相對 高程變化,且細部地表變化已經在長時期衛星影像以及上述水體機率法中予以平滑, 因此本驗證僅能代表大尺度地貌起伏的相對正確程度。

(二)水平誤差分析

透過圖三所製作之地形模型,並搭配由 DTU10 計算之較高高潮位與較低低潮 位,可於地形模型上交會出相對應水線。然而當利用帶有垂直誤差的地形模型繪製 水線時,會因為坡度的因素導致水線在水平方向產生誤差。在不考慮坡度誤差的前 提下,水平方向誤差*o_H、垂直方向誤差o_V與坡度<i>θ*之關係為:

$$\sigma_H = \sigma_V \times \cot\theta \tag{8}$$

由 DTU10 計算之較高高潮位與較低低潮位之高度分別為 1.89 與-2.20,因此從 圖三計算相對應之等高線可獲得圖五中平均較高高潮線(紅)與平均較低低潮線(藍) 的位置。圖中白色線段為水平誤差示意圖,以圖例中單位長度 20 公尺的範圍比較 個別海岸段因其坡度緩與陡而分別造成水平誤差寬與窄的分佈。由此圖可以看出, 利用中解析度衛星影像製作帶有 0.53 公尺垂直誤差的高程模型,在海岸地區訂定水 線時約造成 27.31-75.29 公尺的水平誤差。此數值範圍於一般平面測量是相當大的 誤差量,然而在權衡大面積劃設效率,以及海岸地區並非需要十分高精度分界的情 況下,此方法仍不失是一種可行的選項,且誤差在可控制、可量化的範圍內。再者, 海岸地區侵淤變動迅速,任何高精度的現地測量都會隨著時間變化而遠離實際地形, 而失去施測當下的精度要求。



圖 5 由海岸地形搭配潮汐模式計算之平均較高高潮線(紅)與平均較低低潮線(藍) 地理位置

(三)人工編修潮間帶範圍

在此研究中我們希望能在現地資料缺乏的情況下,運用長時間衛星影像輔助定 義潮間帶的範圍。根據美國大氣暨海洋總署的定義,潮間帶為平均較高高潮線與平 均較低低潮線之間的區域。因此我們可利用圖五的資訊延續製作。



圖 6 人工編修後的潮間帶範圍

因為在前述自動化處理的過程中,過濾後的資料仍有1-2%影像包涵少許雲霧 以及其他水線判釋上的誤差,如海浪與拍岸浪衝濺等,進而造成水體像元判斷上的 雜訊,並導致淹水機率失真以及後續高程失準。為求潮間帶定義的合理與平整,我 們必須經由後續人工編修將少許雜訊移除。在編修過程中,會以圖五陸側的較高高 潮線(紅線)與內政部營建署所公布最新的海岸地區平均高潮線貼合,並在人工海岸 線地區以營建署資料為基準進行編修。而海側較低低潮線(藍線)編修時則先套疊最 低潮位之衛星影像,將小部分與影像明顯不符之鋸齒狀雜訊消除。最終編修後的潮 間帶範圍如圖六中黃色斜線所示。

四、 金門海岸時序變遷

根據水利署於 2011 年的報告,金門海岸地區於 2005 年起有較顯著的變動,因此我們將所有影像的中間值 2006 年作為基準分為兩組,一組為 1996–2006 年包含 106 張影像,以及另一組 2007–2017 年包含 155 張影像,將此兩組影像分別製作海岸地形並計算 DTU10 平均潮位面所對應的平均潮位線,依此量化過去二十年來受 自然及人為加乘影響的變化。若將 2007–2017 年的平均潮位線簡稱線 *a* (after),1996–2006 年簡稱線 *b* (before),則潮位線變化可由下式(8)計算:

$$C = \frac{(a_1 - b_1) + (a_2 - b_2) + \dots + (a_n - b_n)}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i - b_i)}{n}$$
(9)

曾國欣、彭新雅、廖文弘、陳繼藩、郭重言:利用衛星影像劃設金門海岸潮間帶與監測時序變化

其中 *a*_{*i*}與 *b*_{*i*}對應下標 1 至 *n* 為線段中依序尋找幾何距離最接近的兩個像元,在以 *a*_{*i*}為主搜尋 *b*_{*i*}最短距離中,*b*_{*i*}點位可能有被重複使用現象,但在此忽略可能造成的 差異。最後兩線段的平均變化距離可由 *n* 個點位在空間中的位移總和並取平均值, 設為 *C*。

同樣地,各線段在水平方向的誤差會造成計算線段變化量時的誤差,其誤差傳 播公式可由下式(9)及(10)計算:

$$\sigma_{C}^{2} = \sum_{i=1}^{n} \left[\left(\frac{\partial C}{\partial a_{i}} \right)^{2} \sigma_{a_{i}}^{2} + \left(\frac{\partial C}{\partial b_{i}} \right)^{2} \sigma_{b_{i}}^{2} \right]$$
(10)

$$\sigma_C = \sqrt{\frac{2\sigma_H^2}{n}} \tag{11}$$

其中式(10) σ_c 為變化量的誤差, σ_{a_i} 與 σ_{b_i} 為兩線段各像元自帶的水平誤差,嚴謹作法應依各像元所在的周遭坡度進行計算,然而在此為簡化計算, σ_{a_i} 與 σ_{b_i} 皆以該地區(圖 七下圖中十條海岸段)的整體平均坡度 θ ,以及垂直方向誤差 $\sigma_V = 53$ 公分計算平均水 平誤差 σ_H 。最終帶入式(11)中計算該海岸段的變化量誤差。





圖 7 (上圖)以 2006 年為界計算 1996 - 2006(綠線)與 2007 - 2017(紅線)之平均潮位 線變化。(下圖)量化之平均潮位線水平位移,數字格式為以公尺為單位的變化 量±誤差。

從圖七的上圖中可以看出中國大陸沿岸的潮位線向外延伸十分明顯,從代表 1996-2006 平均潮位線的線線移動到代表 2007-2017 平均的紅線,而金門縣幾乎看 不到明顯的擴張。我們將金門本島與烈嶼沿岸較明顯的 10 個線段進行平均分析, 其中金門本島共有 9 個線段,分別為茅山翟山段、機場段、機場右線段、田埔復國 段、山后壁山段、田敦鶯山段、蘭洋段、北山王氏段、碼頭旁段、以及烈嶼島的東 林東岡段。由圖七下圖,我們可以看出退縮最為嚴重的地區為碼頭旁段,退縮量到 達 81.21 公尺,其次是田墩鶯山段的 80.38 公尺以及蘭洋段的 77.10 公尺。整體而言, 與廈門較接近且海岸性質為沙岸或泥土質的地區呈現明顯退縮,南側從水頭聚落經 機場至料羅灣一帶的退縮較不明顯。若沿各鄉鎮界的海岸區域進行平均(金湖鎮、金 寧鄉、金城鎮、金沙鎮、烈嶼鄉),並排除人工建物(如:港口)產生的變化。經過計 算後可得到金沙鎮平均退縮約 32.4 公尺,其次則是金城鎮平均退縮 25.9 公尺。

從本研究結果中可以觀察出金門周圍的海岸線呈現整體退縮狀態,相較於水利 署在2011年對金門部分海岸線調查2005-2009這5年的變化量(李忠潘等,2011), 調查結果顯示山后碧山段、東林東岡段及尚義料羅段(機場段+機場右線段)海岸線 均向內移動約19公尺,相當於每年約4公尺的變化,然而此退縮速率與我們推算 出的量級(每年0.76-1.60公尺)要快速許多,主要可能來自於多種原因。首先,因為 本研究方法的地形建置需要較長時間獲取衛星影像,因此難以獲得相同高時間分辨 率的變化,造成年距的選擇無法相同,若侵蝕速率非等速則會有長期平均上的差異。 再者,兩者選取的地理範圍不盡相同,例如起迄點與沙岸、岩岸的分區,造成在平 均過程中產生誤差。但兩者在部分的變化量也有相符的地方,例如在少數淤積的部 曾國欣、彭新雅、廖文弘、陳繼藩、郭重言:利用衛星影像劃設金門海岸潮間帶與監測時序變化

分,靠近羅厝漁港區段平均淤積10公尺,東林區段平均淤積5公尺,在我們計算 中這兩個區域平均灘線外移的距離為10.54公尺以及3.69公尺。整體而言,對於金 門沿岸侵蝕、退縮以及流失現象在空間分佈上的評估結果相同。

五、結論

本研究利用衛星影像與潮汐模型結合的方式,建立出金門海岸地形以及劃設潮 汐水線的地理位置,提供劃設潮間帶的依據並監測平均潮位線的時間變化。雖然與 利用 UAV 製作的海岸地形進行相對高程檢驗,精度僅達 53 公分,且在一個標準差 的情況下或在水平方向造成 27.31-75.29 公尺的誤差,然而目前實務操作上缺乏一 套對於海岸大範圍區域可執行、可更新、低成本的監測方式,本方法所提供的水線 位置以及潮間帶範圍為實務上可參考的產品。且本方法的優勢為利用歷史影像可還 原過去的海岸變遷,在許多地方皆可回朔到 1980 年代,因此可回顧長期自然與人 為作用力在海岸過程的影響。而在金門地區的海岸變遷方面,雖然本方法在水線單 點的定位精度有限,但透過線段平均的方式我們可以觀察到較明顯的水線變遷,如 金門周遭的變化(6.41±2.50 公尺到 81.21±8.56 公尺)。若要觀測的較精準且小範圍水 線變遷,則必須在資料收集的部分納入更多高時空分辨率的影像源,如微衛星系列 影像(Planetscope),可提供 3-4 公尺且最高每日再訪週期,對於短期海岸變化能提 供更有效的觀測資訊。

参考文獻

- 顏志憲、陳昆廷、李心平、劉政儒、吳宗諭、詹勳全,2015,以無人載具航拍進行 河道穩定性監測之可行性研究,*水土保持學報*,47(3),頁1407-1416。
- 白絜成、劉益誠、蕭宇伸、連惠邦、林秉賢,2015,無人飛行載具掛載消費型攝影 機應用於防災可行性研究,中華水土保持學報,46(3),頁142-149。
- 李忠潘、陳陽益、薛憲文、張憲國、曾以帆,2011,*金門海岸基本資料監測調查計 畫*,經濟部水利署第八河川局。
- Athearn, N. D., J. Y. Takekawa, B. Jaffe, B. J. Hattenbach and A. C. Foxgrover, 2010, Mapping elevations of tidal wetland restoration sites in San Francisco Bay: Comparing Accuracy of Aerial Lidar with a Singlebeam Echosounder, *Journal of Coastal Research*, 26(2), pp.312-319.
- Cheng, Y. and O. B. Andersen, 2010, Improvement in global ocean tide model in shallow water regions, Paper presented at Ocean Surface Topography Science Team meeting, Lisbon, October 18–22.
- Chander, G., B. L. Markham and D. L. Helder, 2009, Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors, *Remote Sensing of Environment*, 113(5), pp.893-903.
- Eakins, B. W. and P. R. Grothe, 2014, Challenges in Building Coastal Digital Elevation Models, *Journal of Coastal Research*, 30(5), pp.942-953.

- Ekercin, S., 2007, Coastline Change Assessment at the Aegean Sea Coasts in Turkey Using Multitemporal Landsat Imagery, *Journal of Coastal Research*, 23(3), pp.691-698.
- Lefebvre, A., C. Sannier and T. Corpetti, 2016, Monitoring Urban Areas with Sentinel-2A Data : Application to the Update of the Copernicus High Resolution Layer Imperviousness Degree, *Remote Sensing*, 8(7), 606.
- Paul, F., S. H. Winsvold, A. Kääb, T. Nagler and G. Schwaizer, 2016, Glacier Remote Sensing Using Sentinel-2. Part II: Mapping Glacier Extents and Surface Facies, and Comparison to Landsat 8, *Remote Sensing*, 8(7), 575.
- Siripong, A., 2010, Detect the coastline changes in Thailand by remote sensing, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, 38(8), pp.992-996.
- Stephenson, N. M., 2016, *High resolution habitat suitability modeling for a narrow-range endemic alpine Hawaiian species*, Doctoral dissertation, University of Hawai'i at Hilo.
- Storey, J., P. Scaramuzza, G. Schmidt and J. Barsi, 2005, Landsat 7 scan line corrector-off gap-filled product development, *Proceeding of Pecora*, 16, pp. 23-27.
- Stutz, M. L. and O. H. Pilkey, 2002, Global distribution and morphology of deltaic barrier island systems, *Journal of Coastal Research*, 36(1), pp.694-707.
- Tseng, K. H., C. K. Shum, J. W. Kim, X. Wang, K. Zhu and X. Cheng, 2016, Integrating Landsat Imageries and Digital Elevation Models to Infer Water Level Change in Hoover Dam, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(4), pp.1696-1709.
- Tseng, K. H., C. Y. Kuo, T. H. Lin, Z. C. Huang, Y. C. Lin, W. H. Liao and C. F. Chen, 2017, Reconstruction of time-varying tidal flat topography using optical remote sensing imageries, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 131, pp.92-103.
- Teodoro, A. C., 2016, Optical Satellite Remote Sensing of the Coastal Zone Environment—An Overview, Environmental Applications of Remote Sensing, InTech.
- USGS, 2017, Using the USGS Landsat 8 Product,

http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php(Last Ckecked 2017/8/10).

Xu, H., 2006, Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), pp.3025-3033. 國土測繪與空間資訊 民國一○七年一月 第六卷 第一期 第 49 頁至第 74 頁 Taiwan Journal of Geoinformatics Vol. 6, No. 1, pp. 49 ~ 74

比對多衛星組合 RTK 與 e-GNSS

在地籍測量上之應用與分析

黄立信1* 羅量來2

論文收件日期:106.09.19 論文修改日期:106.11.30 論文接受日期:106.12.05

摘要

由於諸多全球導航衛星系統(GNSS)隨著科學發展的日漸成熟,多衛星RTK系統 組合儼然成為未來國際上衛星定位技術之研究課題,及地籍測量發展的新趨勢及改 革。本文利用多衛星RTK與e-GNSS觀測結果互作比對,應用於地籍圖重測區之圖根 測量,透過不同實驗區之作業,探討各自對定位精度之影響。

本文研究結果歸納如下:(1)在大溪區 RTK 不同衛星組合試驗,從單一 GPS 到 ALL 衛星組合比較,其平面精度皆提昇 33.33%~50%,另 e-GNSS 及 TTG 測量計算 結果,則需改正系統誤差後,才可符合規範,但仍有 8%超過±0.03 公尺。(2)在桃園 區 RTK 不同衛星組合試驗,從單一 GPS 到 ALL 衛星組合比較,其平面精度皆提昇 16.67%~33.33%,另 e-GNSS 及 TTG 測量計算結果,則需改正系統誤差後,才可符 合規範,但仍有 24%超過±0.03 公尺。歸納總結,評估本案例在地籍測量的適用性 上,多衛星 RTK 系統量測結果,較優於 e-GNSS 系統。

關鍵詞:e-GNSS(即時動態定位系統)、TTG(三維坐標轉換服務平台)、地籍圖重測、 多衛星RTK系統、圖根測量

¹ 副教授,國防大學理工學院環境資訊及工程學系。

² 碩士生,國防大學理工學院環境資訊及工程學系;技士,臺北市士林地政事務所。

^{*}通訊作者,TEL:(03)3800364#132,E-mail:shinn0329@gmail.com。

Comparison and Analysis of multi-satellite RTK Combined with e-GNSS on Cadastral Survey

Lih-Shinn Hwang¹*, Liang-Lai Lo²

Abstract

Because of many Global Navigation Satellite System(GNSS) organizations getting maturing with the development of science, multi-satellite RTK system become the future research topics of satellite positioning and newly trends of cadastral survey. This research applied multi-satellite RTK system and e-GNSS to implement the supplementary control point surveying on the cadastral resurvey, through different experimental areas of works, and investigated individual influences on the positioning accuracy.

The results of those studies are summarized as follow : (1) In Daxi District of multi-satellite RTK combined test , the precision of X-Y planes contrast between single GPS and ALL satellites is increased from 33.33% to 50%. Besides the result of e-GNSS and TTG measurement, they can meet the specifications after correct the system errors, there are still 8% more than \pm 0.03m level. (2) In Taoyuan District of multi-satellite RTK combined test , the precision of X-Y planes contrast between single GPS and ALL satellites is increased from 16.67% to 33.33%. Besides the result of e-GNSS and TTG measurement, they can meet the specifications after correct the system errors, there are still 24% more than \pm 0.03m level. Therefore, assessing the applicability of cadastral survey, the accuracy of multi-satellite RTK combined system is better than e-GNSS system in current.

Key words: Cadastral Resurvey 、 e-GNSS 、 Multi-Satellite RTK system 、 Supplementary Control Point Surveying 、 TTG

¹ Associate Professor, Department of Environmental Information and Engineering, National DefenseUniversity, C.C.I.T.

² Master, Department of Environmental Information and Engineering, National Defense University, C.C.I.T./ Employee, Land Affairs Office of Shihlin District, Taipei.

^{*} Corresponding Author, TEL:+886-3-3800364#132,E-mail : shinn0329@gmail.com.

一、緒 論

(一)、研究動機

因科技的發展迅速,測量儀器的精度也不斷地提昇中,不僅可有效解決土地問 題減少糾紛,更是推動土地現代化不可獲缺的要件,且地籍測量成果一經土地登記 程序完成,即具有法律之絕對效力,直接關係著人民財產權益。

測量設備從早期的測繩、皮尺、平板儀,到現代的經緯儀、全站儀及 GPS 衛星 定位儀,有效提昇測量精度及縮短作業時程,且現階段各縣市地政事務所辦理土地 複丈及法院囑託案件仍以經緯儀及全站儀為主,另於圖解區時則會使用 e-GNSS 衛 星接收儀進行施測;而國土測繪中心於各縣市政府協助辦理土地重測業務,也是以 經緯儀及全站儀為主,惟於辦理重測前期作業的加密控制點及圖根點業務時,才會 使用到 GPS 衛星定位儀做靜態觀測。

當前地籍測量需求就是快速、精準與坐標系統全國統一,所以國土測繪中心多 年推行 e-GNSS 即時動態定位系統,就是希望推動地籍圖重測時,能結合新型衛星 定位技術到一個全新的測量領域,也經過多年的運作。

e-GNSS 應用於地籍測量的重測作業,已有顯著成效,但目前 e-GNSS 系統實際僅只有就 GPS 及 GLONASS 雙衛星資料組合做運算,少部分點位亦有接收中國 大陸 BDS(BeiDou Navigation Satellite Syste)資料,但與現行發展全球四大衛星 (GPS/GLONASS/Galileo/BDS)導行系統之應用,有顯著的落差。多衛星 RTK 技術是 未來地籍測量發展的新趨勢及改革,目前國際發展幾套導航衛星系統已臻至成熟, 但多衛星組合如何應用於 RTK 技術上,仍有待研究,這也是興起本研究最大之動 機。

由於近代衛星接收儀及全球導航衛星系統(GNSS)隨著經濟及科學發展的突飛猛進,多衛星系統組合儼然成為國際上衛星定位技術之研究課題,所以本研究將著重於兩方面比對:A.多衛星組合及計算 B.與現行 e-GNSS 系統相較,應用於地籍測量之應用與分析,為本研究之目的。

另外 RTK 使用僅規範於地籍圖重測成果檢查作業須知 210 目次中,依其規定 辦理已知點檢測成果之檢查,採 RTK 觀測者之檢查標準,固定解點位平面誤差小 於 2 公分、高程誤差小於 5 公分,PDOP 值(衛星分布幾何狀況表)應小於 10,測點 不同主站重複觀測兩次較差應小於 2 公分,相鄰點位直接距離觀測檢測相對較差比 值應小於 1/3,000 或較差應小於或等於 3 公分,另 210 目次中圖根點位置檢查,檢 查標準:所得坐標與原坐標之較差不得超過 3 公分;及數值法地籍圖重測作業手冊 502 節中,圖根測量作業規定與精度要求,以 RTK 辦理圖根測量,點位間距離要大 於或等於 100 公尺,可接收頻道數要大於或等於 8 個頻道,最少須有 6 顆共同觀測 觀測衛星數,初始化時間要小於或等於 2 分鐘,固定解點位誤差,平面小於 2 公分, 高程小於 5 公分,PDOP 值(衛星分布幾何狀況表)小於 10,資料記錄速率小於或 等於 5 秒,及點位遮蔽仰角最小值 15 度(如表 1 所示),另於 802 節界址測量中, 依其作業規定與精度要求,重複觀測採 RTK 測量應就固定位置之界址點及施測範

51

圍附近之圖根點(含圖根補點)實施重複觀測,坐標值較差不得超過3公分(內政部, 2004)。

RTK辦理圖根測量	
項目	作業規定與精度需求
點位間距離	≧100公尺
可接收頻道數	≧8個頻道
最少須有共同觀測觀測衛星數	6
初始化時間	≦2分鐘
固定解點位誤差	平面小於2公分,高程小於5公分
PDOP值(衛星分布幾何狀況表)	<10
資料記錄速率	≦5秒
點位遮蔽仰角最小值	15度

表1 數值法地籍圖重測作業手冊(103年7月15日版)

本研究試以多衛星RTK成果在地籍測量法規相關規範之下應用於地籍測量,將 有助於提供在土地複丈、補建圖根點及辦理法院囑託界址鑑定作業等測量方法之新 選擇,亦可規範於地籍測量法規中,俾利辦理土地複丈、補建圖根點及辦理法院囑 託界址鑑定等時之作業依據。

(二)、研究目的

現今許多GPS儀器都能接收到多系統多頻率的衛星訊號,本研究將利用RTK測量方式,在發展健全之GPS、GLONASS及BDS系統觀測量與現有之Quasi-Zenith Satellite System[QZSS]及GALILEO系統觀測量結合下,與e-GNSS即時動態系統成果,進行兩者數據的比較,評估RTK接收多系統多頻率的衛星訊號,對測量精度與時間的提升做進一步分析與研究。主要目的綜合整理如下列所述:

1.熟悉e-GNSS系統的操作流程。

- 2.探究新興 BDS 與 Galileo 衛星導航之架構及應用。
- 3.多衛星(GPS/GLONASS/Galileo/BDS/QZSS)系統組合應用於RTK測量之試
 - 驗,比對其在提昇定位精度與減少觀測時間之研究。
- 4.多衛星 RTK 測量與 e-GNSS 兩者在地籍測量上應用與分析。
- 5.期許本研究成果可供手冊修正作業之參考。

依國外參考文獻資料可知,RTK測量於雙頻(GPS+GLONASS)時精度已達公分級,如本研究多衛星RTK成果合於規範,不僅可提供新測量方法的選擇,更可應用於現行地籍測量上,以提升測量精度的品質及為民服務的理念(Nordin, 2009; Robert, 2014; Robert, 2015; Rock, 2014)。有關採用RTK進行測量業於地籍圖重測成果檢查作業須知及數值地籍圖重測作業手冊中有相關規範,但無單(雙)衛星RTK規範本研究多衛星RTK之研究成果合於規範,則可於手冊或制定相關法規時提供參考,以為日後土地複丈、補建圖根點及辦理法院囑託界址鑑定...等作業標準的另一項新選擇(內政部國土測繪中心,2012;內政部,2004)。

(三)、研究流程

本研究分別以103年度桃園市桃園區及104年度桃園市大溪區地籍圖重測區公告之TWD97控制測量成果為基值,使用能接收多衛星系統組合的衛星接收儀(Trimble R8 Model 4)進行加密控制點及圖根點之地籍測量觀測作業,將接收成果進行不同衛星組合運算,分析不同衛星下與重測區公告之TWD97坐標差異處,再與先前人研究所採用國土測繪中心之 e-GNSS 接收之研究成果進行比較分析,如成果符合法規規範,則可增訂於手冊上與日後制定法規時參考之依據,並作為日後土地複丈、補建圖根點及辦理法院囑託界址鑑定...等作業標準。研究流程如圖1所示(王建得,2016;李俊擇,2016;劉榮山,2015)。



圖 1 研究流程圖

二、基礎理論

(一)、各式衛星介紹

由於全球導航衛星系統(GNSS)隨著科學發展的日漸成熟,多衛星RTK系統組 合亦成為未來國際上衛星定位技術之研究課題,及地籍測量發展的新趨勢及改革。 所謂的全球導航衛星系統(GNSS),基本上是由各國星系的統稱,包含全球四大定位 系統,如美國GPS、俄羅斯GLONASS、中國BDS、歐盟Galileo,尚還有各區域之擴 增系統,如日本QZSS及印度IRNSS衛星等(高書屏,2014)。

(二)、GPS 衛星定位方法介紹

GPS 衛星定位測量方法的不同,是在於衛星接收儀觀測欲施測點位所停留時間來區分,主要有靜態定位(static)、動態定位(kinematic)兩大類,又可細分為靜態基線、快速靜態(rapid static)、虛擬動態定位(pseudo-kinematic)、半動態(semi-kinematc)及即時動態(real-time kinematic)(楊名, 1997)。

(三)、e-GNSS介紹

由於網際網路及無線數據通訊傳輸技術蓬勃發展,GNSS 即時動態定位(RTK) 已成為國際測繪科技與定位技術之主流,特別是結合衛星定位、寬頻網路數據通 訊、Mobile Phone 行動式數據傳輸、資料儲管及全球資訊網站(Web)等5項先進 主流科技之核心定位技術-虛擬基準站(Virtual BaseStation,VBS)為基礎之網路化 即時動態定位(Network RTK)技術,在系統整體運用與資料供應層面上,更是現 今世界各先進國家積極建置營運之即時性、高精度的動態定位系統。e-GNSS 採用 VBS-RTK 即時動態定位技術。以所佈設之基準站組成GNSS 網絡評估基準站涵蓋 地區之定位誤差,配合最鄰近的實體基準站觀測資料,人為產製一個虛擬的基準站 做為RTK 主站,移動站所觀測之資料並不是接收某個實體基準站之實際觀測資 料,而是經過誤差修正後的虛擬觀測數據,如同在移動站附近架設實體的基準站一 樣,故被稱之虛擬基準站即時動態定位技術,簡稱VBS-RTK(如圖2所示)。控制及計 算中心之PIVOT軟體系統三大模組示意圖如圖3所示。



圖 2 e-GNSS 即時動態定位系統示意圖(內政部國土測繪中心, 2016)



圖 3 PIVOT 軟體系統三大模組示意圖(內政部國土測繪中心, 2016)

(四)、e-GNSS坐標系統

e-GNSS 系統理應以內政部 87 年度公佈 TWD97 國家坐標系統為基礎,不僅可 以避免坐標系統轉換所衍生之轉換誤差,亦可達到使用上之便利性。但臺灣地區位 處於地殼變動劇烈地帶,且全臺及離外島區域性之位移量均有明顯差異量,而造成 各基準站間坐標精度已不敷使用,國土測繪中心則自行定義 1 套以時間為函數之 e-GNSS 動態坐標系統,以做為進行即時動態定位坐標基準之平臺。

並配合內政部於 101 年 3 月 30 日公布 TWD97[2010]坐標系統,使 e-GNSS 動 態坐標系統仍以內政部公布 TWD97[2010]國家坐標系統為起算基準,並儘量達到 TWD97 及 TWD97[2010]坐標系統間之最大相關性,國土測繪中心整合 237 個具有 TWD97[2010]坐標成果之 GNSS 連續觀測站 103 年 12 月 1 日至 104 年 1 月 31 日之 62 天衛星觀測資料為基礎,採用 Bernese 軟體計算基線,依據內政部公告之 TWD97[2010]坐標框架定義,約制在國土測繪中心基準站三維空間坐標,解算各基 準站 e-GNSS[2015]精密坐標。至於澎湖、金門及馬祖地區維持原 TWD97[1997]坐標框架,不予變更,其定義如表 2 所示。另內政部已於 2017 年 5 月 1 日正式啟用 e-GNSS[2017] 坐標框架,其坐標框架定義之起始時刻有修外,餘與 e-GNSS[2015] 相同(內政部國土測繪中心,2016)。

	固定站點名	測繪中心(LSB0)			
	國際坐標基準框架	ITRF94			
	坐標定義起始時刻	2015年1月1日12:00:00			
X-坐標	X-坐標 -2967207.333 公尺		-0.0042 公尺/年		
Y-坐標	5010439.297 公尺	E-速度量 -0.0000 公尺/年			
Z-坐標	2593842.976 公尺	U-速度量	-0.0022 公尺/年		

表2 e-GNSS(2015)坐標框架定義

(五)、RTK 即時動態定位介紹

即時動態測量(Real-Time Kinematic)簡稱 RTK,是利用兩部儀器,一部為參 考站,另一部為移動站,為結合無線電數據通訊設備傳輸,將參考站之載波相位觀 測量傳送給移動站,移動站在接收到來自參考站與本身儀器所接收之載波相位資料 組成測成二次差觀測量後,經由OTF(On-the-Fly)週波未定值搜尋法快速解算週波未 定值,之後利用差分定位的概念,再計算移動站之瞬時坐標,意即移動站可在純動 態環境下,任一時刻求解相位未定值。然而由於軌道誤差電離層對流層延遲誤差多 路徑效應和雜訊等因素的影響,使得GPS原始觀測資料中存在系統誤差,從而使即 時動態GPS技術的應用在某種程度上受到了限制,為了保證達到一定的定位精度, 在實際應用求移動站與參考站間的距離不能太長。與其他的衛星測量方法相較起 來,RTK系統主要特色為以下兩項:

1、以無線方式傳輸參考站觀測量至移動站;

2、即時的求解二次差分之載波相位週波值。RTK施測迅速,操作方便,且不 需後處理的內業計算作業,因此被廣泛應用在各種測量工作上。

為簡化RTK定位演算法中的參數估計,一般將參考站與移動站間的對流層與電離層影響量視為高相關,並在組成的二次差分時忽略不計,但實際上當基線距離增長,其間系統誤差之空間相關性會持續降低,差分計算因此未能有效的消去系統誤差之影響量,導致定位精度降低,甚至無法正確求解週波值,因此單一參考站RTK之施測範圍十分有限,一般基線長度不會超過10公里。

三、資料蒐集與處理

(一)、研究區域

本研究區域有二,一為民國104年度辦理重測之桃園市大溪區番子寮段,辦理面積約199公頃,屬臺灣北部地區丘陵地形,平均高程約225公尺,本區同時為王建得(2016)實驗區之一(表3所示)。二為民國103年度辦理地籍圖重測區部分範圍之桃園市桃園區中路段,屬臺灣北部地區都市平地地形,本區為劉榮山(2015)實驗區之一(表4所示)。選擇研究兩重測區域,作為多衛星RTK資料數據研究範圍與其e-GNSS施測之比較。

100		小儿巴巴从在树船已 免上很						
控制點種類	點數	<u>點號</u>						
加密點控制點	3	GF09 · GF10 · GF17						
圖根點		BH045 • BH046 • BH047 • BH048 • BH049 • BH050 •						
		BH065 • BH066 • BH067 • BH068 • BH070 • BH071 •						
	25	BH072 • BH073 • BH074 • BH080 • BH081 • BH082 •						
		BH083 · BH119 · BH121 · BH122 · HH070 · HH071 ·						
		HH072						
- An office of the Station I. Jan 1991.		加密點為3點						
<u> </u>		圖根點為 25 點						
/#: >>-	BH045	、BH046、BH047、BH048 於 10 月 1 日 <u>施測尚存</u> ,經檢						
備莊	查業於	查業於 12 月 16 日鋪設柏油滅失。						

表3 大溪研究區已知控制點之一覽全表

表4 桃園研究區已知控制點之一覽全表

控制點種類	點數	黑上號				
加密點控制點	2	GF15 \ GF16				
		H082 \ BH085 \ BH086 \ BH095 \ BH096 \ BH097 \				
圖根加密點	14	H099 \cdot BH102 \cdot HN112 \cdot HN149 \cdot HN150 \cdot HN160 \cdot				
		HN161 v HN162				
本次施測點位數		加密點為 2 點 圖根點為 14 點				
備註	HN112方 失。					

(二)、研究測量設備與軟體說明

本次研究所使用儀器皆為Trimble R8 MODEL4衛星接收儀,可同時接收GPS、 GLONASS、BDS、GALILEO及SBAS(QZSS)衛星系統訊號,比一般僅接收雙 G(GPS+GLONASS) 接收儀,多增加解算的機率及減短接收的時間外,更可節省許 多外業作業時間(Trimble, 2016)。

TBC主要用於處理GNSS、點雲資料、影像和光學等資料,例如GNSS資料處理、 縱橫斷面繪圖和攝影測量功能,使用者能將觀測的資料直接使用於外業進行工作及 編輯資料成果,將資料於外業時進行放樣,可有效地將GNSS、點雲資料、水準、 光學、影像和3D掃描資料組合到軟體中,透過TBC軟體可將2D平面圖轉換成3D模 型,或載入影像檔進行分析,可用於多樣性用途使用(Trimble Business Center, 2016)。

(三)、研究區域點位公告坐標

研究區域分別在104年(大溪區番子寮段)及103年(桃園區中路段)辦理地籍圖重 測,本次所檢測之加密控制點及圖根點點位均以TWD 97坐標值為準,另RTK觀測 時,控制點與圖根點相對變動量均一致,為方便起見,所有觀測計算值亦化算至TWD 97為基準。

(四)、實驗時間與儀器設定說明

本實驗區於大溪區番子寮段(國防大學理工學院對面)及高速公路東西向旁桃園 市中路段進行RTK觀測。105年9月13日及9月15日先行檢測大溪及桃園實驗區之設 定,其成果符合地籍測量實施規則所規範的數值內,遂於106年1月24日施測大溪及 105年10月1日施測桃園實驗區之設定(如表5)。表6則為衛星系統組合設計,以便分 析多衛星系統組合對定位精度的影響。

觀測地點		大溪區番子	子寮段實驗區		桃園市中路段實驗區				
觀測名稱	RTK 檢測	RTK 檢測	RTK 觀測	RTK 觀測	RTK 檢測	RTK 檢測	RTK 觀測	RTK 觀測	
觀測日期	2016	.9.13	201	7.1.24	2016.9.15		2016.10.1		
當日觀測時間	1000-1200	1400-1600	1430-1545	1600-1650	1000-1200	1400-1600	1130-1330	1600-1800	
基準站名	GF	709	G	F10	G	F15	GF	716	
觀測狀況	成	果符合規範	可進行正式權	見測	成果符合規範可進行正式觀測				
點位觀 測時間				5s(連續權	観測3次)				
接收仰角				1	0°				
紀錄時間		1秒接收1筆							
使用儀器		Trimble R8 兩台							
廣播格式				CN	<u>/IRx</u>				

表5 研究區檢觀測時間及儀器設定表

表6 本研究觀測實驗分析設計表

計算軟體	TBC(Trimble Business Center) V3.81								
實驗設計	RTK短基線								
RTK計算時間	時間段分成5s(連續	時間段分成5s(連續3次)							
	GPS	代號:G							
	BDS	代號:B							
	GPS/GLONASS	代號:G/L							
衛星系統組合	GPS/GLONASS/Galileo	代號:G/L/A							
	GPS/GLONASS/ Galileo /BDS	代號:G/L/A/B							
	GPS/GLONASS/ BDS/QZSS	代號:G/L//B/Q							
	GPS/GLONASS/ Galileo /BDS /QZSS	代號:ALL							

四、數據分析與研究成果

(一)、大溪研究區RTK觀測作業及成果分析

1. 大溪研究區RTK觀測作業:

較差範圍 (公尺)	GPS 平面較差 (點)	BDS 平面較差 (點)	GL 平面較差 (點)	GLA 平面較差 (點)	GLAB 平面較差 (點)	GLBQ 平面較差 (點)	ALL 平面較差 (點)			
> 0.03	1	0	2	2	0	0	0			
0.02 ~ 0.03	3	3	2	1	3	3	3			
0.01 ~ 0.02	10	10	10	8	9	9	9			
$0 \sim 0.01$	8	9	8	11	10	10	10			
0	0	0	0	0	0	0	0			
備 註	點位較差在 0.03 公尺内點數共計 149 筆,有5筆(實為2點)超出 0.03 公尺。									
合計 點數	22	22	22	22	22	22	22			

表7 基站GF09觀測(1)成果與公告較差統計表(單位:公尺)



圖 4 基站 GF09 觀測(1)衛星組合平面較差圖

大溪研究區中,基站GF09觀測(1)成果區分為GPS平面較差、BDS平面較差、 GL 平面較差、GLA平面較差、GLAB平面較差、GLBQ平面較差及ALL平面較差成 果進行分析如圖4所示。

經檢測後超出 3 公分以上之點位有 2 點,點號 BH081 位於大樹下旁,另點號 BH049 於 GPS、BDS、GLONASS 及 Galileo 各衛星組合下,因受該時段周邊訊號 影響所致,雖外業觀測時,能順利接收 Fixed 解之觀測量,但由於觀測品質不佳, N 坐標誤差最大值為 0.036 公尺(點位 BH081),E 坐標誤差最大值為 0.023 公尺(點 位 BH049),此二點未予評列合格;但如經多衛星組合下,此二點精度皆提高至平 面較差在 0.03 公尺內,符合合格的規範,經整體分析結果得知,多衛星組合成果下 平面較差皆在 0.03 公尺內,由此得知本次觀測品質良好,測量結果符合到公分級精 度,如表 7 所示。

大溪研究區中,基站 GF10 觀測(2)成果區分為 GPS 平面較差、BDS 平面較差、 GL 平面較差、GLA 平面較差、GLAB 平面較差、GLBQ 平面較差及 ALL 平面較差 成果進行分析如圖 5 所示。

較差範圍 (公尺)	GPS 平面較差 (點)	BDS 平面較差 (點)	GL 平面較差 (點)	GLA 平面較差 (點)	GLAB 平面較差 (點)	GLBQ 平面較差 (點)	ALL 平面較差 (點)			
> 0.03	2	0	1	1	1	1	1			
0.02 ~ 0.03	0	2	1	0	0	0	0			
0.01 ~ 0.02	13	14	12	14	14	14	14			
0 ~ 0.01	7	6	7	7	7	7	7			
0	0	0	0	0	0	0	0			
備註	點位較差在	點位較差在 0.03 公尺內點數共計 147 筆,有7筆(實為2點)超出 0.03 公尺。								
合計 點數	22	22	22	22	22	22	22			

表8 基站GF10 RTK觀測(2)成果與公告較差統計表(單位:公尺)



圖 5 基站 GF10 觀測(2)衛星組合平面較差圖

經檢測後超出 3 公分以上之點位有 2 點,點號 BH081 位於大樹下旁,另點號 BH080 於 GPS 及 GLONASS 各衛星組合下,因受該時段周邊無線電訊號影響所致, 雖外業觀測時, 能順利接收 Fixed 解之觀測量,但由於觀測品質不佳,N坐標誤差 最大值為 0.079 公尺(點位 BH081),E坐標誤差最大值為 0.035 公尺(點位 BH049), 此二點未予評列合格;但如經多衛星組合下,此二點精度皆提高,但點位 BH081 於 該觀測時段受遮蔽影響較大,在多衛星組合系統解算下,仍無法使平面較差在 0.03 公尺內,僅 BH049 在多衛星組合系統解算下,符合合格的規範;經整體分析結果 得知,多衛星組合成果下平面較差皆在 0.03 公尺內,由此得知本次觀測品質良好, 測量結果符合到公分級精度,如表 8 所示。

2. 大溪研究區 RTK 成果分析:

就大溪研究區 RTK 成果以下列兩項進行分析:

(1) 大溪研究區 RTK 重複觀測 2 測回坐標分量成果分析

於點位上以不同基站重複觀測所得 2 組不同衛星組合坐標相減,不僅可求得其較差值,更可進一步瞭解其分佈狀況,研究區 RTK 不同衛星組合 2 測回分量中,E 分量(以ΔE表示)平均達 92.52%(GΔE 及 GLΔE 為 85.71%、BΔE 為 100%、GLΔΔE 為 90.48%與 GLABΔE、GLBQΔE 及 ALLΔE 為 95.24%)、N 分量(以ΔN 表示)平 均達 96.6%(GΔN 及 BΔN 為 90.48%、GLΔN 為 95.24%、GLAΔN、GLABΔN、 GLBQΔN 及 ALLΔN 為 100%)符合±0.02 公尺之規定,從 GPS(以 G 表示)平面坐標 較差分布為 76.19%,提升到 ALL 平面坐標較差分布為 85.71%,若剔除 N、E 分量 較差影響之點位,則可提升至 100%;綜上可知不同衛星數增加對點位精度皆有顯 著的提升,如表 9~10 所示。

										· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·				
研究區		G	J	В	G	L	GI	A	GL.	AB	GL	BQ	A	LL
<u>較差級距</u> (單位:公尺)	Е	Ν	Е	Ν	Е	Ν	E	Ν	E	Ν	Е	Ν	E	Ν
> 0.02	2	1	0	1	2	1	1	0	1	0	1	0	1	0
0.02~0.01	4	3	4	3	3	3	б	5	5	5	5	б	5	б
0~0.01	11	9	15	13	12	13	11	13	13	13	11	9	13	11
-0.01~0	2	7	2	3	2	3	1	3	2	3	3	б	2	4
-0.02~-0.01	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
< -0.02	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
個數合計		21												
N、E分量 符合圴.02(%)	85.71%	90.48%	100%	90.48%	85.71%	95.24%	90.48%	100%	95.24%	100%	95.24%	100%	95.24%	100%

表9 研究區RTK坐標2測回E、N坐標較差分布統計表(單位:公尺)

表10 研究區RTK坐標2測回平面坐標較差分布統計表(單位:公尺)

研究區	G	В	GL	GLA	GLAB	GLBQ	ALL					
<u>較差級距</u> (單位:公尺)		平面坐標較差										
> 0.02	5	5	4	4	2	3	3					
0.02~0.01	б	б	9	9	8	7	7					
0~0.01	10	10	8	8	11	11	11					
個數合計		21										
N、E 分量 符合±0.02(%)	76.19%	76.19% 76.19% 80.95% 80.95% 90.48% 85.71% 85.71%										

(2) 大溪研究區 RTK 觀測分量成果分析

研究區圖根點成果法定公告值只有平面坐標,故本節只針對 E、N 分量較差進 行分析,相關成果如下:

a. 基站 GF09 觀測(1):22 點

多衛星組合平面分量較差最大為 G 平面較差的 0.040 公尺、最小為 BΔ平面較差的 0.001 公尺;標準偏差最大為 GΔ平面較差、GLΔ平面較差與 GLA△平面較差的 0.008 公尺、最小為 GLBQ△平面較差及 ALL△平面較差的 0.006 公尺,如表 11 所示。

表11 基站GF09觀測(1)衛星組合平面分量與公告成果較差表(單位:公尺)

मान्न्यान												
听无画	GF09 觀測(1)											
衛星組合	G	В	GL	GLA	GLAB	GLBQ	ALL					
	平面較差	平面較差	平面較差	平面較差	平面較差	平面較差	平面較差					
最大值	0.040	0.029	0.037	0.037	0.028	0.026	0.026					
最小值	0.004	0.001	0.004	0.004	0.002	0.003	0.003					
平均值	0.013	0.013	0.014	0.013	0.011	0.012	0.012					
標準偏差	0.009	0.007	0.009	0.009	0.007	0.006	0.006					
3倍中誤差	0.026	0.022	0.028	0.027	0.020	0.018	0.018					

b. 基站 GF10 觀測(2):22 點

基站 GF10RTK 求得之 TWD97 坐標與公告值坐標較差,多衛星組合平面分量較差 最大為 G 平面較差的 0.080 公尺、最小為 B 平面較差的 0.001 公尺;標準偏差最大 為 G 平面較差的 0.016 公尺、最小為 B 平面較差的 0.006 公尺,如表 12 所示。

大溪 研究區 GF10 觀測(2) В G GL GLA GLAB GLBQ ALL 衛星組合 平面較差 平面較差 平面較差 平面較差 平面較差 平面較差 平面較差 最大值 0.080 0.023 0.072 0.071 0.046 0.047 0.047 最小值 0.006 0.001 0.002 0.002 0.001 0.001 0.001 0.014 0.014 平均值 0.015 0.016 0.013 0.015 0.014 標準偏差 0.013 0.016 0.006 0.014 0.008 0.008 0.008 3 倍中誤差 0.047 0.018 0.041 0.040 0.025 0.025 0.025

表12 基站GF10觀測(2)衛星組合平面分量與公告成果較差表(單位:公尺)

(二)、大溪研究區e-GNSS觀測作業及成果分析

1. 大溪研究區 e-GNSS 觀測作業:



圖 6 大溪研究區平移 TTG 後平面分量較差圖



圖 7 大溪研究區平移 TTG 修正後成果與公告較差分量圖

TTG 求得之坐標值與公告 TWD97 坐標較差, E 分量較差最大為-0.003 公尺、 最小為-0.067 公尺,介於±0.03 公尺者為 46.43%; N 分量較差最大為 0.027 公尺、 最小為-0.021 公尺,介於±0.03 公尺者為 100%;平面位置較差,最大較差為 0.068 公尺、最小為 0.009 公尺,小於 0.03 公尺者為 42.86%,較差仍過大需使用 TTG 平 移系統,進行平移後再次取得修正後坐標如圖 6 所示。

經坐標平移修正後超出3公分以上之點位有2點,點號BH121及BH049位於大樹 旁,雖外業觀測時,能順利接收Fixed解之觀測量,但由於觀測品質不佳,點號BH121 的E坐標誤差值為-0.039公尺,N坐標誤差值為-0.006公尺;另點號BH049的E坐標誤 差值為-0.015公尺,N坐標誤差值為0.030公尺,因屬該時段之遮蔽物影響接收精度, 而產生點位定位精度之誤差,故此2點未予評列合格;合格共計24點圖根點及2點加 密控制點,經分析結果得知,E坐標最大較差值0.025公尺,N坐標最大較差值0.026 公尺,E、N較差介於0.03公尺者皆為100%;平面位置較差,最大較差值0.028公尺, 小於0.03公尺者為92.86%,由此得知本次平移修正後成果,較符合法定公告測量結 果,符合到公分級精度,如圖7所示。

2. 大溪研究區e-GNSS成果分析:

大溪研究區以e-GNSS接收點位,擬先進行TTG運算成果與法定公告成果比對, 再透過TTG坐標平移系統之成果與法定公告值分析,如表13所示,相關成果分析如下:

	大溪									
町九迴		ΓTG 運算成	果	Ē	平移後成果					
項目	ΔE	$\triangle N$	平面 較差	ΔE	$\triangle N$	平面 較差				
最大值	0.003	0.027	0.068	0.025	0.030	0.039				
最小值	-0.067	-0.021	0.009	-0.039	-0.018	0.002				
平均值	-0.030	-0.002	0.032	-0.002	0.001	0.014				
標準偏差	0.013	0.011	0.012	0.013	0.010	0.009				
3倍中誤差	0.038	0.034	0.036	0.039	0.031	0.028				

表13 TTG運算及平移後觀測成果與公告較差統計表(單位:公尺)

從TTG運算成果的平面較差標準偏差為0.012公尺,到TTG平移後成果的平面較差標準偏差提升為0.009公尺。

(三)、桃園研究區RTK觀測作業及成果分析

1. 桃園研究區RTK觀測作業:

大溪研究區中,基站GF15觀測(3)成果區分為GPS平面較差、BDS平面較差、 GL 平面較差、GLA平面較差、GLAB平面較差、GLBQ平面較差及ALL平面較差成 果進行分析如圖8所示。



圖 8 基站 GF15 觀測(3)衛星組合平面較差圖

較差範圍 (公尺)	GPS 平面較差 (點)	BDS 平面較差 (點)	GL 平面較差 (點)	GLA 平面較差 (點)	GLAB 平面較差 (點)	GLBQ 平面較差 (點)	ALL 平面較差 (點)			
> 0.03	0	0	0	0	0	0	0			
0.02 ~ 0.03	1	1	1	1	0	0	0			
0.01 ~ 0.02	8	10	8	7	9	8	8			
0 ~ 0.01	6	4	6	7	6	7	7			
0	0	0	0	0	0	0	0			
備註	全部點位較差皆於 0.03 公尺内。									
合計 點數	15	15	15	15	15	15	15			

表 14 基站 GF15 觀測(3)成果與公告較差統計表(單位:公尺)

經檢測後無超出 3 公分以上之點號,另點號 HN161 位於兩排房子中間,因受 該時段遮蔽影響所致而使觀測精度不佳,平面較差最大為 0.027 公尺,但仍符合精 度要求;經整體分析結果得知,多衛星組合成果下平面較差皆在0.03公尺內,由此 得知本次觀測品質良好,測量結果符合到公分級精度,如表 14 所示。

大溪研究區中,基站 GF16 觀測(4)成果區分為 GPS 平面較差、BDS 平面較差、 GL 平面較差、GLA 平面較差、GLAB 平面較差、GLBQ 平面較差及 ALL 平面較差 成果進行分析如圖9所示。



圖 9 基站 GF16 觀測(4)衛星組合平面較差圖

較差範圍 (公尺)	GPS 平面較差 (點)	BDS 平面較差 (點)	GL 平面較差 (點)	GLA 平面較差 (點)	GLAB 平面較差 (點)	GLBQ 平面較差 (點)	ALL 平面較差 (點)		
> 0.03	0	1	0	0	0	0	0		
0.02 ~ 0.03	1	0	1	1	0	0	0		
0.01 ~ 0.02	9	11	8	8	1	1	1		
0 ~ 0.01	5	3	6	6	14	14	14		
0	0	0	0	0	0	0	0		
備 註	僅1筆超出0.03公尺外,其它筆較差皆在0.03公尺內。								
合計 點數	15	15	15	15	15	15	15		

表15 基站GF16 RTK觀測(4)成果與公告較差統計表(單位:公尺)

經檢測後超出3公分以上之點號為HN161,該點號坐落於兩排房子中間,因受該時段遮蔽影響所致而使觀測精度不佳,單BDS衛星成果平面較差最大為0.033公 尺超出規範,但於多衛星系統解算下,則符合精度要求;經整體分析結果得知,多 衛星組合成果下平面較差皆在0.03公尺內(點號HN161於BDS衛星成果外),由此 得知本次觀測品質良好,測量結果符合到公分級精度,如表15所示。

2. 桃園研究區 RTK 成果分析:

就桃園研究區 RTK 成果以下列兩項進行分析:

(1) 桃園研究區 RTK 重複觀測 2 測回坐標分量成果分析

於點位上以不同基站重複觀測所得 2 組不同衛星組合坐標相減,不僅可求得其較差值,更可進一步瞭解其分佈狀況,研究區 RTK 不同衛星組合 2 測回分量中, E 分量(以ΔE 表示)皆達 100%、N 分量(以ΔN 表示)平均達 95.92%(GΔN、BΔN、 GLΔN 及 GLAΔN 為 92.86%、GLABΔN、GLBQΔN 及 ALLΔN 為 100%)符合±0.02 公尺之規定,顯示 RTK 成果不因接收時間短而影響定位精度,另從 G、B、GL 及 GLA 平面坐標較差分布為 92.86%,提升到 GLAB、GLBQ 及 ALL 平面坐標較差分 布為 100%;綜上可知不同衛星數增加對點位精度皆有顯著的提升,如表 16~17 所 示。

研究區		G]]	В	C	ιL	GI	LA	GL	AB	GL	BQ	A	LL
較差級距 (單位:公尺)	Е	N	Е	Ν	Е	Ν	Е	N	Е	N	Е	Ν	Е	N
> 0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.02~0.01	1	0	2	0	0	0	1	0	1	1	2	1	2	1
0~0.01	9	6	3	4	8	5	б	б	5	5	б	4	6	4
-0.01~0	4	5	7	б	5	б	6	5	8	5	б	7	6	7
-0.02~-0.01	0	2	2	з	1	2	1	2	0	3	0	2	0	2
< -0.02	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
個數合計								14						-
N、E分量 符合±0.02(%)	100%	92.86%	100%	92.86%	100%	92.86%	100%	92.86%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

表16 研究區RTK坐標2測回E、N坐標較差分布統計表(單位:公尺)

表17 研究區RTK坐標2測回平面坐標較差分布統計表(單位:公尺)

研究區	G	В	GL	GLA	GLAB	GLBQ	ALL
較差級距 (單位:公尺)	平面位置較差						
> 0.02	1	1	1	1	0	1	1
0.02~0.01	2	5	4	5	6	4	4
0~0.01	11	8	9	8	8	9	9
個數合計			-	14	^	-	^
N、E分量 符合±0.02(%)	92.86%	92.86%	92.86%	92.86%	100%	92.86%	92.86%

(2) 桃園研究區 RTK 觀測分量成果分析

研究區圖根點成果法定公告值只有平面坐標,故本節只針對 E、N 分量較差進 行分析,相關成果分析如下:

a. 基站 GF15 觀測(3):22 點

多衛星組合平面分量較差最大為 B 平面較差的 0.027 公尺、最小為 GLBQ 平面較差 與 ALL 平面較差的 0.001 公尺;標準偏差最大為 G 平面較差、B 平面較差、GL 平 面較差與 GLA 平面較差的 0.006 公尺、其它都是 0.005 公尺,如表 18 所示。

表18 基站GF15觀測(3)衛星組合平面分量與公告成果較差表(單位:公尺)

माळान	桃園											
町九迴	GF15 觀測(3)											
衛星組合	G	В	GL	GLA	GLAB	GLBQ	ALL					
	平面較差	平面較差	平面較差	平面較差	平面較差	平面較差	平面較差					
最大值	0.026	0.027	0.026	0.026	0.023	0.020	0.020					
最小值	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001					
平均值	0.012	0.013	0.012	0.012	0.012	0.011	0.011					
標準偏差	0.006	0.006	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005					
3 倍中誤差	0.018	0.018	0.018	0.018	0.016	0.015	0.015					

b. 基站 GF16 觀測(4):22 點

基站 GF10RTK 求得之 TWD97 坐標與公告值坐標較差,多衛星組合平面分量較差 最大為 B 平面較差的 0.033 公尺、最小為 GLAB 平面較差、GLBQ 平面較差與 ALL 平面較差的 0.002 公尺;標準偏差最大為 G 平面較差與 B 平面較差的 0.006 公尺、 最小為 GLAB 平面較差、GLBQ 平面較差與 ALL 平面較差的 0.004 公尺,如表 19 所示。

साळान	桃園											
町九迴	GF16 觀測(4)											
衛星組合	G	В	GL	GLA	GLAB	GLBQ	ALL					
	平面較差	平面較差	平面較差	平面較差	平面較差	平面較差	平面較差					
最大值	0.030	0.033	0.026	0.026	0.019	0.018	0.017					
最小值	0.004	0.007	0.004	0.004	0.002	0.002	0.002					
平均值	0.011	0.014	0.011	0.011	0.007	0.007	0.006					
標準偏差	0.006	0.006	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004					
3倍中誤差	0.018	0.019	0.016	0.016	0.012	0.011	0.011					

表19 基站GF16觀測(4)衛星組合平面分量與公告成果較差表(單位:公尺)

(四)、桃園研究區e-GNSS觀測作業及成果分析

1. 桃園研究區 e-GNSS 觀測作業:

TTG 求得之坐標值與公告 TWD97 坐標較差, E 分量較差最大為-0.003 公尺、 最小為-0.067 公尺,介於±0.03 公尺者為 46.43%; N 分量較差最大為 0.027 公尺、 最小為-0.021 公尺,介於±0.03 公尺者為 100%;平面位置較差,最大較差為 0.068 公尺、最小為 0.009 公尺,小於 0.03 公尺者為 42.86%,較差仍過大需使用 TTG 平 移系統,進行平移後再次取得修正後坐標如圖 10。



圖 10 桃園研究區平移 TTG 後平面分量較差圖



圖 11 桃園研究區平移 TTG 修正後成果與公告較差分量圖

經坐標平移修正後超出3公分以上之點位有3點,點號BN085、BN086及HN150, 雖外業觀測時,能順利接收Fixed解之觀測量,但由於觀測品質不佳,N坐標誤差最 大值為0.034公尺(BN086),E坐標誤差最大值為-0.080公尺(BN085),因屬該時段之 多路徑效應誤差(因該點位於鐵皮屋及金屬招牌旁,測站環境不佳),故此三點未予 評列合格;合格共計10點圖根點,經分析結果得知,E坐標最大較差值0.024公尺, 介於±0.03公尺者為84.61%;N坐標最大較差值0.017公尺,介於±0.03公尺者為92.31 %;平面位置較差,最大較差值0.024公尺,最小較差值0.008公尺,小於0.03公尺 者為76.93%;由此得知本次平移修正後成果,較符合法定公告測量結果,雖符合到 公分級精度,但坐標平移修正後超出3公分以上之點位過多,如圖11所示。

2. 桃園研究區e-GNSS成果分析:

桃園研究區以e-GNSS接收點位,擬先進行TTG運算成果與法定公告成果比對, 再透過TTG坐標平移系統之成果與法定公告值分析,如表20所示,相關成果分析如下:
सार्खन	桃園					
听九迴	TTG 運算成果		平移後成果			
項目	ΔE	$\triangle N$	平面 較差	ΔE	$\triangle N$	平面 較差
最大值	0.398	0.257	0.530	0.024	0.034	0.080
最小值	-0.489	0.198	0.455	-0.080	-0.016	0.008
平均值	-0.457	0.222	0.508	-0.009	0.009	0.024
標準偏差	0.023	0.014	0.021	0.027	0.012	0.019
3倍中誤差	0.070	0.042	0.062	0.080	0.037	0.057

表20 TTG運算及平移後觀測成果與公告較差統計表(單位:公尺)

從TTG運算成果的平面較差標準偏差為0.021公尺,到TTG平移後成果的平面較差標準偏差提升為0.019公尺。

(五)、綜合討論

多衛星RTK測量與e-GNSS即時動態定位測量,就經費、人力需求、解算程序及 測量範圍等方面,說明如下:

- 多衛星RTK測量係透過無線電數據傳送,移動站接收訊號,無需花費任何費用 支出;e-GNSS即時動態定位測量係透過手機網路連線國土測繪中心之控制及計 算中心,將數據傳回移動站,進行「超短基線」RTK定位解算,需花費網路費 及連線國土測繪中心系統之測量費用。
- 多衛星RTK須有2部儀器,且需配置無線電模組,測量時最少需2人,1人於基站,另1人於移動站;e-GNSS即時動態定位測量只需單人進行即可施測。
- 3. 多衛星RTK測量只有一個參考基站,e-GNSS即時動態定位測量最少四個參考基站,如其中一個基站連線有問題,會影響其點位觀測精度。
- 多衛星RTK測量屬單一線性模式,可即時求得點位坐標,e-GNSS 即時動態定 位測量,需透過國土測繪中心之控制及計算中心內PIVOT\TTG模組解算,如網 路連線或解算模組發生問題,則無法求解點位坐標。
- 就本研究成果而言,現階段多衛星RTK測量求解精度,優於e-GNSS即時動態定 位測量的計算結果,未來e-GNSS(GPS/GLONASS)即有可能轉型成多衛星 e-GNSS(GPS/GLONASS/Galileo/BDS/QZSS),屆時觀測成果之比較則又是另一 個新的研究課題。

五、結論與建議

本研究比對多衛星RTK與e-GNSS應用在地籍測量之成果,應可歸納總結下列幾點的結論與建議,現分述如下:

(一)、結論

- 本次所檢測之加密控制點及圖根點點位均以TWD97坐標值為準,另RTK觀測時,控制點與圖根點相對變動量均一致,為方便起見,所有觀測計算值亦皆化算至TWD97為基準。
- 基站GF09觀測(1)衛星組合平面分量,從以單一GPS組合觀測來看,平面分量標 準偏差為0.009公尺,到ALL組合觀測來看,平面分量標準偏差為0.006公尺, 提昇率33.33%。基站GF10觀測(2)衛星組合ΔE分量而言,從GPS之ΔE標準偏差 為0.012公尺,到ALL之ΔE標準偏差為0.009公尺,提昇率25%;就衛星組合ΔN 分量而言,從GPS之ΔN標準偏差為0.017公尺,到ALL之ΔN標準偏差為0.010 公尺,提昇率41.18%;就衛星組合平面分量而言,從以單一GPS組合觀測來看, 平面分量標準偏差為0.016公尺,到ALL組合觀測來看,平面分量標準偏差為 0.008公尺,提昇率50%。大溪研究區RTK不同衛星組合2測回分量中,ΔE分量 平均達92.52%、ΔN分量平均達96.6%符合±0.02公尺之規定,顯示RTK成果不 因接收時間短而影響定位精度;只以單一GPS組合觀測來看,平面坐標較差分 布為76.19%,提升到ALL組合觀測來看,平面坐標較差分布為85.71%,若按 平差理論剔除3倍中誤差影響之點位,則可提升至100%;綜上可知不同星系衛 星數增加對點位精度皆有顯著的提升。
- 基站GF15觀測(3)衛星組合平面分量,從單GPS組合觀測來看,平面分量標準偏 3. 差為0.006公尺,到ALL組合觀測來看,平面分量標準偏差為0.005公尺,提昇 率16.67%。基站GF16觀測(4)就衛星組合ΔE分量而言,從GPS之ΔE標準偏差為 0.008公尺,到ALL之△E 標準偏差為0.005公尺,提昇率37.5%;就衛星組合△N 分量而言,從GPS之△N標準偏差為0.011公尺,到ALL之△N標準偏差為0.006公 尺,提昇率45.45%;就衛星組合平面分量而言,從單一GPS組合觀測來看,平 面分量標準偏差為0.006公尺,到ALL組合觀測來看,平面分量標準偏差為0.004 公尺,提昇率33.33%。桃園研究區RTK不同衛星組合2測回分量中,ΔE分量皆 達100%、ΔN分量平均達95.92%符合±0.02公尺之規定,顯示RTK 成果不因接 收時間短而影響定位精度,從GPS、BDS、GPS/GLONASS及GPS/GLONASS/ Galileo各別組合觀測結果來看,平面坐標較差分布為92.86 %,提升到 GPS/ GLONASS / Galileo / BDS、GPS /GLONASS / BDS / QZSS及ALL平面坐標較差 分布為100%;綜結上述可知不同星系衛星數增加對點位精度皆有顯著的提升。 大溪研究區以e-GNSS接收點位後,TTG運算所得坐標值與法定公告TWD97坐 4.
- 4. 人溪研充區以色GNSS接收點位後,「TG運算所得坐標值與法定公告TWD97坐 標值之檢核結果,平面較差最大為0.068公尺、最小為0.009公尺、標準偏差為 0.012公尺,由上可知TTG運算結果與法定公告TWD97坐標值間有區域性系統

差,需使用TTG坐標平移;平移後成果與法定公告TWD97坐標值之檢核結果, 平面較差最大為0.039公尺、最小為0.002公尺、標準偏差為0.009公尺。依地籍 圖重測成果檢查作業須知212節中,圖根點位置檢查規定,平移前、後平面分 量小於±0.03公尺者,分別為42.86%、92.86%;惟平移後平面分量大於±0.03公 尺仍有約8%,仍需配合各類地測儀器輔助,以提高整體精度。

- 5. 就桃園研究區以e-GNSS接收點位後,TTG運算所得坐標值與法定公告TWD97 坐標值之檢核結果,平面較差最大為0.530公尺、最小為0.455公尺、標準偏差 為0.021公尺,由上可知TTG運算結果與法定公告TWD97坐標值間有區域性系 統差,需使用TTG坐標平移;平移後成果與法定公告TWD97坐標值之檢核結 果,平面較差最大為0.080公尺、最小為0.008公尺、標準偏差為0.019公尺。依 地籍圖重測成果檢查作業須知210目次中,圖根點位置檢查規定,平移前、後 平面分量小於±0.03公尺者,分別為0%、76.93%;惟平移後平面分量大於±0.03 公尺仍有約24%,仍需配合各類地測儀器輔助,以提高整體精度。
- 6. 經本次研究實驗多衛星RTK所求得坐標,因可視衛星數目增加、觀測時間縮短,且獲得較高精度之點位坐標,但使用人力較多,無法像e-GNSS系統作業僅需一人操作即可;且e-GNSS測量範圍較為自由,較不受無線電波及周邊環境因素之影響,另e-GNSS系統需透過TTG運算後再經平移轉換,且需搭配地測儀器輔助,以提高測量精度,觀測品質不易掌控。以本案例而言,多衛星RTK系統組合計算精度優於e-GNSS系統計算。
- 7. 目前QZSS衛星僅1顆,本次研究加入QZSS對定位精度沒有影響。

(二)、建議

- 在本次使用多衛星RTK觀測,皆依法規規定於同一實驗區內,擺設兩個不同點 位基站接收,經觀測作業成果分析後,發覺無線電易受電波等因素影響,所以 仍建議以擺2個基站(RTK雙主站)接收點位,以供偵錯之用。
- 2. 使用e-GNSS系統雖提供區域性三維即時坐標轉換及網格坐標殘差修正模型,讓 用戶在外業現場測量可即時將e-GNSS系統測量成果轉換至法定坐標系統,但其 轉換後之坐標值,仍比多衛星RTK觀測成果差,則需再進行TTG坐標平移,才 會使較差變小,解算程序上較為複雜,且TTG解算內容尚未公告,且計算品質 不易掌控。
- 多衛星RTK系統組合與e-GNSS系統,兩種測量模式各有其特色,目前e-GNSS 系統僅有雙G(GPS/GLONASS)觀測量解算,未來發展定朝向多衛星系統組合接 收,屆時觀測成果之比較則又是另一個新的研究課題。
- 4. 本次實驗結果於雨天氣候無論使用e-GNSS系統或RTK觀測,對測量點位精度容易產生過大的誤差,不管單GPS或Multi-satellite(多衛星)組合,皆無法修正其點位精度,而使得整體平面分量過大,有可能是對流層與電離層效應影響,有待後續發展研究,但總結本研究之經驗,觀測時仍以選擇好天氣觀測為佳。

參考文獻

內政部,2004,數值地籍圖重測作業手冊,頁08-1~08-7。

內政部國土測繪中心,2012,*地籍圖重測成果檢查作業須知*,頁1-52。

- 內政部國土測繪中心,2016,*e-GPS即時動態定位系統*,http://www.egnss.nlsc.gov.tw, 最近檢索時間2016年10月。
- 王建得,2016,應用e-GNSS檢核地籍圖重測區加密控制測量精度分析之研究,國防 大學理工學院環境資訊及工程學系碩士論文。
- 李俊擇,2016,*多衛星系統組合對定位精度影響之分析*,國防大學理工學院環境資 訊及工程學系碩士論文。
- 高書屏,2014,衛星定位測量概論,二版,詹氏書局,臺北。
- 楊名,1997,公分級GPS衛星即時動態定位系統,中國測量工程,第39卷,第四期, 頁1-18。
- 劉榮山,2015,運用e-GNSS結合多元圖資辦理土地複丈之研究-桃園市桃園區、龜 山區為例,國防大學理工學院環境資訊及工程學系碩士論文。
- Trimble, 2013, Trimble R8, R6 and R4 User Guide Version 4.80 Revision A, http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-666216(Last Checked 2016/10/2).

Trimble Business Center , 2016 ,

https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-business-center_ (Last Checked 2016/10/2).

- Nordin, Z., W.A. Aziz, W.M. Akib, Z.M. Amin, and M.A. Yahya, 2009, Investigation on VRS-RTK Accuracy and Integrity for Survey Application, *International Symposium and Exhibition on Geoinformation*, Universiti Teknologi, Malaysia , pp.4-8.
- Robert, O., J.T., Peter and O., Dennis, Combined BDS, Galileo, 2014, QZSS and GPS single-frequency RTK, *GPS Solutions*, Vol. 19, No. 1, pp.151-163.
- Robert, O., J. T., Peter and O., Dennis, 2015, Combined GPS + BDS for short to long baseline RTK positioning, *Measurement Science and Technology*, Vol. 26, No.4, pp.1-9.
- Rock, S., P., Lin, C., Cai and J., Zhu, 2014, Single Point Positioning Using GPS,GLONASS and BeiDou Satellites, *Scientific Research*, Vol.5, No.4, pp.107-114.

投稿須知

所有稿件以未曾在國內、外以任何形式刊載為限,且稿件內容不得有侵犯他人 著作權或商業宣傳行為,否則由作者自行負法律之責任。文體以中文或英文撰寫為 原則,並附中文及英文摘要。稿件須加註標點、分段及編列頁碼。內容編排以下列 順序為原則:(一)封面:包括中文及英文之論文名稱、作者姓名、作者所屬單位、 聯絡地址、電話、傳真、電子郵件住址;(二)中、英文摘要及關鍵詞等;(三) 內文;(四)註釋;(五)謝誌;(六)參考文獻;及(七)附錄與圖表。審查通 過後,無法直接由電腦列印之圖、表,應另附完稿之圖、表(不超過A4紙張),以 利編排。圖或照片應以黑白為原則,如需彩色印刷請作者自行負擔費用。內文所引 用之文獻須列於參考文獻,參考文獻請以姓氏筆劃多寡,依序以中文列出,之後再 依英文姓氏之英文字母,依序以英文列出。各項格式書寫方式,請參考下列說明:

各項格式說明如下:

- 壹、文書檔案採 A4 直式橫寫書格式,版面邊界分別為上(2.54cm)、下(2.54cm)、 左(3cm)、右(2.8cm),字體以新細明體及英文 Times New Roman 等兩種字體 排版。
- 貳、 首頁 (Title page), 應包含下列內容:
- 一、標題(Article Title):包括中、英文章篇名。
- 二、作者 (Author's Name):
 - 1. 包括中、英文作者姓名。
 - 分別以中、英文註腳載明作者的職稱、單位。若作者有數人,則以阿拉伯數 字1,2,3…個別標示。
 - 3. 須標示通訊作者(加註*),註明連繫電話、E-mail,英文電話請以國際電話方 式書寫。
- 三、摘要(Abstract):包括中、英文摘要。
- 四、關鍵字(Keywords):包括中文、英文關鍵字,分別列於中、英文摘要之下。

參、正文 (Manuscript)

- 一、稿件標題章節編號層次及順序
 中文請按「一,(一),1.,(1),a」順序排列;英文則按「1,1.1,1.1.1...」
 順序排列。
- 二、引述用例
- (一) 直接引述:
- 中文請用單引號「」;英文請用雙引號"",並以括弧標示引述文獻頁次。 (二)引述中復有引述,或特殊引用時: 中文單引號「」在外,雙引號『』在內。英文雙引號""在外,單引號
 - ''在内。

三、文獻引述用例

- (一) 文中註明引述文獻
 - 1. 請以(作者,年份)方式表示。
 - 若有數篇文章以分號(;)區隔;中英文文獻分開,並各自以引述文獻之出 版年份先後依序排列。
 - 3. 若同一作者,有數篇文章同時引述,則以(作者,年份1、年份2);若同一 作者有同一年發表文章同時引述,則以(年份a,b)表示。
 - 4. 若一篇文章有 2 位作者,請全部列出。中文為(作者 A 與作者 B,年份); 英文為(作者 A and 作者 B,年份)
 - 5. 若一篇文章有3位以上作者(含3位),中文請用(第一位作者等,年份); 英文請(第一位作者 et al,年份)用。
 - 6. 英文期刊第一作者姓在前,名在後,第二作者之後,名在前,姓在後。
- (二) 文中已有作者姓名時
 - 1. 請以作者(年份)方式表示
 - 2. 若有數篇文章同時引述,則以作者A(年份)、作者B(年份)…表示
 - 3. 若有必要加註說明時,請用註腳,內文註腳號碼使用上標
- 四、圖版、插圖及表用例
 - 1. 圖名請置於圖之正下方,並以圖1、圖2……方式表示。
 - 2. 表名請置於表格之正上方,並以表1、表2……方式表示。
 - 3. 若引用他人圖表需註明資料來源。
- 五、公式寫法用例

以(1)、(2)、(3)…依序編號。例:
$$\hat{\mathbf{X}} = (\mathbf{A}^{\mathrm{T}}\mathbf{P}\mathbf{A})^{-1}\mathbf{A}^{\mathrm{T}}\mathbf{P}\mathbf{L}$$
 (1)

- 肆、參考文獻(References)
 - 一、專書:作者,年份,《書名》,版次,出版地:出版者。
 - 二、期刊論文:作者,年份,篇名,《期刊名》,卷期數,頁碼。
 - 三、研討會論文:作者,出版年,論文名稱,《研討會名稱》。
 - 四、博碩士論文:作者,年份,《論文名稱》,學校科系名稱(碩/博士論文)。
 - 五、網路等電子化資料:作者(單位),年份,篇名,網站名稱,網址。
 - 六、技術報告或研究報告:作者,年份,《報告名稱》,研究單位。

中華民國地籍測量學會「國土測繪與空間資訊」 期刊論文審查辦法

中華民國 101 年 09 月 25 日第 16 屆第 6 次理監事聯席會議通過

- 第一條 為規範「國土測繪與空間資訊」期刊論文審查辦法(以下簡稱本辦法), 得依本會編輯委員會組織簡則第二條規定訂定之。
- 第二條 來稿經登記後由總編輯就來稿性質,邀請相關專長之編輯委員推薦審 查委員。編輯委員會負責對審查委員及投稿作者保持雙向匿名方式審 查,審查作業程序如附圖。
- 第三條 審查委員應於接到論文後三週內審查完畢,並將論文審查表(如附表), 連同論文寄回編輯委員會,審查意見表中須明確勾選其中一項:
 - 1·刊登。
 - 2·修改後刊登(應列明審查意見及建議事項)。
 - 3·修改後再審(應列明審查意見及建議事項)。
 - 4·不適刊登(應列明審查意見)。

第四條 審查結果處理方式:

處理 第一位審查委 方式 員意見 第二位 審查委員意見	刊登	修改後刊登	修改後再審	不適刊登
刊登	刊登	寄回修改	寄回修改後再審	第三位審查
修改後刊登	寄回修改	寄回修改	寄回修改後再審	第三位審查
修改後再審	寄回修改後再審	寄回修改後再審	寄回修改後再審	不適刊登
不適刊登	第三位審查	第三位審查	不適刊登	不適刊登

附註:再審以一次為限。

第五條 本辦法經理監事會通過後實施,修改時亦同。



論文審查流程圖

國土測繪與空間資訊期刊

TAIWAN JOURNAL OF GEOINFORMATICS

編輯委員會

主任委員 楊名 國王	立成功大學測量及空間資訊學系
------------	----------------

編輯委員(依姓氏筆劃順序排列)

- 林老生國立政治大學地政學系
- 洪本善 逢甲大學土地管理學系
- 洪榮宏 國立成功大學測量及空間資訊學系
- 黃倬英 國立臺灣大學地理環境資源學系
- 詹士樑 國立臺北大學不動產與城鄉環境學系
- 楊明德 國立中興大學土木工程學系
- 趙鍵哲 國立臺灣大學土木工程學系
- 陳繼藩 國立中央大學太空及遙測研究中心
- 饒瑞鈞 國立成功大學地球科學系
- 總 編 輯 陳國華 國立臺北大學不動產與城鄉環境學系
- 編 輯 陳鶴欽 內政部國土測繪中心
- 幹 事 黃郁恩 國立臺北大學不動產與城鄉環境學系

發行人	黃榮峰
	劉正倫
出版所	中華民國地籍測量學會
	內政部國土測繪中心

國土測繪與空間資訊 TAIWAN JOURNAL OF GEOINFORMATICS

第六卷第一期

民國一〇七年一月

Vol. 6, No. 1

January 2018

目 錄

CONTENTS

行動裝置內建相機之內方位及內建定位定向感測器精度分析
周孜恆、王聖鐸1
Accuracy Analysis on Built-in Camera's Interior Orientation and Sensors' Geo-referencing of Portable Devices Zih-Heng Chou, Sendo Wang
臺灣海潮負載效應於測量改正計算之研究
黃鉅富15
The study of ocean tide loading corrections in Taiwan Jiu-Fu Huang
利用衛星影像劃設金門海岸潮間帶與監測時序變化
曾國欣、彭新雅、廖文弘、陳繼藩、郭重言
Using Satellite Imageries to Delineate Intertidal Zone and Monitor Coastline
Changes in Kinmen Kuo-Hsin Tseng, Hsin-Ya Peng, Wen-Hung Liao, Chi-Farn Chen, Chung-Yen Kuo
比對多衛星組合 RTK 與 e-GNSS 在地籍測量上之應用與分析
黃立信、羅量來
Comparison and Analysis of multi-satellite RTK Combined with e-GNSS on
Cadastral Survey Lih-Shinn Hwang, Liang-Lai Lo