

GPS RTK 與全測站經緯儀在都市地區土地測量的應用

Integrating of GPS RTK and Total Station for Land

Surveying of Urban Region

林老生

Lao-Sheng Lin

國立政治大學地政學系

摘要

全球定位系統 (GPS), 具有很多優點: 如 24 小時服務、點與點之間不需要通視、精度高、操作簡易等, 因此, 可以用 GPS RTK 實施控制測量或細部測量。然而, 使用 GPS 技術也有限制條件: 如作業時應避開多路徑環境、測站應對空無遮蔽等。在實際都市地區作業環境中, 例如在住宅區測量, 難免會遇到上述限制因素。所以, 有時候 GPS RTK 必須輔以其他傳統土地測量技術, 如全測站經緯儀測量等。此外, 測量成果大部分都會被輸入到有關的地理資訊系統 (Geographic Information System, GIS) 軟體, 供後續的土地利用監測或管理等運用。基本上, 每一塊宗地會對應一種土地利用類型; 而且, 就 GIS 的觀點來看, 每一塊宗地皆由一個閉合的多邊形所包圍。因此, 如果某一區域的土地利用類型改變, 則其對應的多邊形也會隨之改變。為了更新土地利用類型改變後之土地管理資料庫, 可以透過 GIS 圖層套疊分析, 找出需要重新測量的多邊形之轉折點或者是邊界線等資料, 然後交由外業人員實施測量, 以減少外業的時間。因此, 本文主要目的在於探討如何藉由土地利用類型變化分析, 以 RTK 和 TS 實施都市地區土地測量, 獲取都市地區土地利用變化之空間資訊。為了解台灣都市地區的土地利用變化類型, 以台北市木柵地區土地重劃前、後的地籍圖為研究對象, 經分析後將該區的土地利用變化類型歸納成三大類。此外, 以國立政治大學校區模擬作業區, 探討: (1) 經由土地利用變化類型分析後, 以 RTK & TS 實施土地測量的作業方式與優點, 及 (2) RTK & TS 在都市地區土地測量之精度、作業時間等效能比較。有關測量基本原理、作業程序與實驗結果將於論文中介紹。

關鍵詞: 全球定位系統 (GPS), 即時動態測量 (RTK), 全測站經緯儀 (TS), 土地利用

ABSTRACT

The Global Positioning System (GPS) is an all-weather, space-based navigation system. The real time kinematic (RTK) GPS positioning is one of the most popular topics in civilian applications. Normally, RTK GPS can be used to collect the land use change information successfully and quickly. However, RTK GPS doesn't work in

some cases, such as in urban areas or under trees. Then, all classical terrestrial methods, such as total station (TS), can be used to aid RTK. Since the collected land use change information using either RTK GPS or total station system will be entered to an existed land management system. Hence, the land use change styles of the interested region could be classified into a certain number of groups from the point view of Geographic Information System (GIS). In order to reduce the field surveying works of RTK GPS and/or total station, it is necessary to design an optimized and effective field surveying procedure by means of analyzing the land use change styles and environmental characteristics of the interested region.

The following issues will be addressed in this paper: (1) performance comparisons between using RTK GPS and using total station system on land use data capture and updating in terms of accuracy, speed, etc., (2) land use change styles analysis on the interested regions. The campus of NCCU was selected as a test region to test the performances of RTK GPS and total station system on land use change data collection. The cadastral maps (on different times) of Mu-Za district of Taipei City were analyzed to find the possible land use change styles. The main concepts of NCCU project, test procedures and test results will be described and presented in this paper.

Keywords: Global Positioning System (GPS), Real Time Kinematic (RTK), Total Station (TS), Land Use

一、前言

全球定位系統 (Global Position System, GPS) 為衛星定位測量技術之一種, 與傳統測量技術相比較, 具有諸多優點, 例如: 提供 24 小時服務、點與點之間不一定要通視、精度高、操作簡易等。其中, 即時動態測量 (Real Time Kinematic, RTK), 為一種精密的 GPS 測量方法, 一般可用 GPS RTK 實施控制測量或細部測量。雖然 GPS 測量有許多優點, 但是在現實環境中, GPS 測量可能會面臨某些問題, 以致無法作業。例如於都市地區, 由於建築物的阻擋, 使得接收機無法收到 GPS 衛星訊號; 或者造成基站和活動站的無線電無法通聯等。此時, 必須利用其他測量方法來輔助 RTK; 例如, 以全測站經緯儀 (Total Station, TS) 配合傳統土地測量方法, 實施補測的工作。此外, 不管是用 RTK 或 TS 實施土地測量, 其最後成果大部分都會被輸入到有關的地理資訊系統 (Geographic Information System, GIS) 軟體, 供後續的土地利用監測或管理等運用。基本上, 每一塊宗地會對應一種土地利用類型; 而且, 就 GIS 的觀點來看, 每一塊宗地皆由一個閉合的多邊形所包圍。因此, 如果某一區域的土地利用類型改變, 則其對應的多邊形也會隨之改變。為了更新土地利用類型改變後之土地管理資料庫, 可以透過土地利用類型變化分析, 找出需要重新測量的多邊形之轉折點或者是邊界線等資料, 然後交由外業人員實施測量。因此, 本文目的在於探討如何藉由土地利用類型變

化分析，以 RTK 和 TS 實施都市地區土地測量，獲取都市地區土地利用變化之空間資訊。第二章將簡單介紹 RTK 輔以 TS 實施土地測量的方法，有關土地利用類型對應之多邊形可能變化類型將於第三章討論，實驗分析結果將於第四章介紹。

二、RTK 輔以 TS 實施土地測量

即時動態測量 (RTK) 是採用 GPS 差分定位概念，利用高精度的雙頻載波相位觀測量，進行即時定位測量 (曾清涼 & 儲慶美, 1999)。RTK 測量至少需要兩部雙頻 GPS 接收機，分別安置在主站 (已知點位坐標) 與移動站 (點位坐標待求)，透過特定的通訊設備將主站的觀測量即時的傳到移動站的接收機，在移動的狀態下求解相位週波未定值 (整數模糊參數)，即時獲得活動站的點位坐標。與其他 GPS 測量方法相較，RTK 除了具有其他 GPS 測量方法的優點外，還具有施測迅速、移動快速、且不需要後級處理的內業計算工作等特性。

RTK 雖然有很多優點，但是也有一定的限制：例如由於建築物的阻擋，使得接收機無法收到 5 顆以上的 GPS 衛星訊號、主站與移動站間之無線電訊號無法傳輸等，都會影響到 RTK 的作業是否成功。如果發現無法以 RTK 在某一點 (如 P 點) 實施測量時，可以利用全測站經緯儀 (TS) 來輔助。RTK 輔以 TS 實施土地測的方法為：將 RTK 移動站的接收機安置在可以成功求解點位坐標的地方 (如點 A)，於地面做記號，並記錄坐標；按此要領以 RTK 施測 TS 作業所需要的控制點點對，然後在點 A 安置 TS，以 TS 測量方法測算 P 點的坐標。

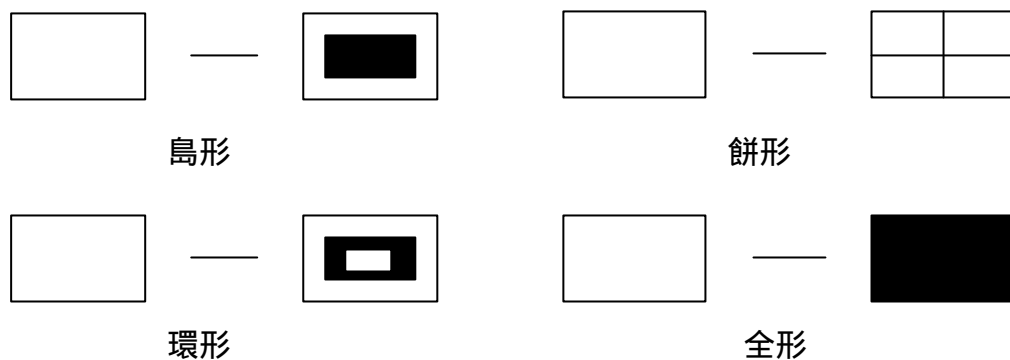
三、土地利用變化類型分析

為了優化土地測量作業方式，進而縮短外業時間，需要於事前分析目標區土地利用變化類型。換言之，由 GIS 的角度建立目標區之多邊形空間變化的概念模型，使得以 RTK&TS 從事目標區之測量作業更迅速。

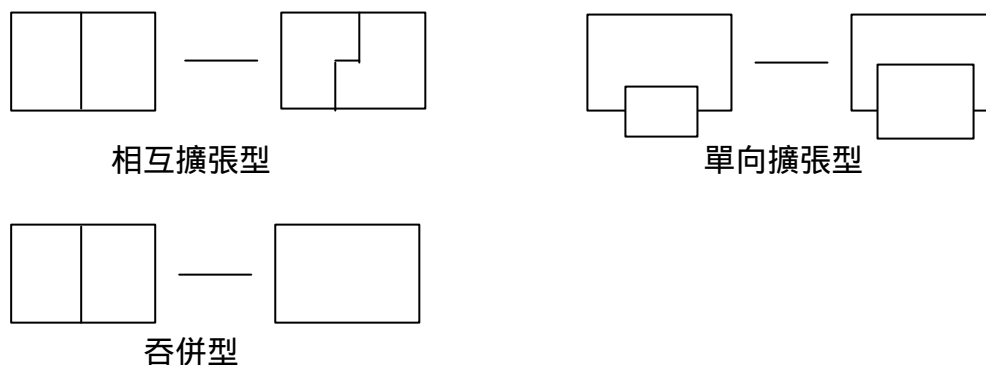
首先定義母多邊形與子多邊形的概念 (王曉棟、崔偉宏, 1998)。一個多邊形發生了變化，從變化後的角度來看，我們將此多邊形稱為母多邊形；多邊形發生變化後，原母多邊形範圍內所有的多邊形，稱為原母多邊形的子多邊形。

王曉棟、崔偉宏 (1998) 將土地利用變化類型歸納為：(1) 多邊形分裂，分裂後的各子多邊形與其母多邊形的相鄰多邊形無合併關係。這種類型又可細分為島形、餅形、環形與全形等四種 (如圖一所示)。(2) 單一多邊形分裂，其子多邊形與其母多邊形相鄰多邊形的子多邊形有合併關係。可分為相互擴張型、單向擴張型及吞併型 (如圖二所示)。

原則上，RTK 或 TS 作業方式是先確認測量目標區實體邊界 (多邊形)，然後再以 RTK 或 TS 測定構成多邊形之主要地形 (物) 點的點位坐標；例如，目標區是一個四邊形，那麼只要測量四邊形之四個頂點的坐標即可。將此項原則結合上述 (1) (2) 所討論的多邊形空間變化的類型，可進一步將 RTK 或 TS 外業的工作量減少，以簡化測量的外業流程。例如，對島形變化，只要量測的島形的邊界；餅形則量測形成餅形實體的徑向邊界；環形需提供環形的內外邊界



圖一、多邊形分裂，分裂後的各子多邊形與其母多邊形的相鄰多邊形無合併關係



圖二、單個多邊形分裂，其子多邊形與母多邊形相鄰多邊形的子多邊形有合併關係

四、實驗結果與討論

本章所要介紹的結果有：(1) 都市地區土地利用變化類型分析 - 以台北市木柵區為例，(2) 經由土地利用變化類型分析後，以 RTK & TS 實施土地測量，及 (3) RTK & TS 在都市地區土地測量之效能比較。

4.1 都市地區土地利用變化類型分析 - 以台北市木柵區為例

第三章所介紹者為一般土地利用變化的類型，為了進一步了解台灣都市地區的土地利用變化類型，以台北市木柵地區土地重劃前、後的地籍圖為研究對象，經分析後將該區的土地利用變化類型，可歸納為以下三大類：

(一) 重劃後，宗地分割以一條主軸為中心，如一般常見的將一塊宗地分割為兩部份。而此種類型又可以細分為下列幾類：(1) 有一主軸（可能平行或垂直於座標軸），而從兩旁分出水平分支：木柵一期重劃區由於重劃區域寬度較窄、長度較長，所以土地變化類型多屬此類。在其他重劃區如宗地屬於大面積（如橫跨一個街廓），重劃後也多屬此種類型。(2) 宗地面積不方正，或分割主軸非

為垂直或水平：此種變化類型繁多，但是皆由第一種主要類型所變化出。

(二) 重劃後，宗地分割有兩條以上主軸為中心：大面積宗地分割時較會產生此種情形。此種類型可再細分為：(1) 兩條主軸大約平行，且除主軸外另有其他分支：如宗地橫跨過道路則易產生此種情形。(2) 兩條主軸非為平行：大面積，且為凹多邊形宗地容易產生此種情形。(3) 多條平行主軸：沿著街廓，方正且大面積之宗地重劃後較易成為此種類型。

(三) 重劃後，為數塊宗地合併，原宗地邊界消失：多塊細碎宗地合併為一塊大宗地，這種情形在三期重劃區為最多。此種類型變化並不多，多為不同形狀之宗地合併為一塊，所以土地利用類型最後成為一方正宗地。

4.2 經由土地利用變化類型分析後，以 RTK & TS 實施土地測量

本實驗將以政治大學校區，模擬在都市地區實施土地測量，經由分析目標區的土地利用變化類型後，簡化 RTK & TS 土地測量之外業作業程序之狀況。

選取位於政治大學內之一塊四邊形校地當作實驗區，內有六層高建物，土地一臨邊亦有建物存在(如圖三所示)且在此地附近有一控制點。使用 RTK&TS 量測此四邊形之四個界址點 A001、A002、A003、A004 的點位坐標。

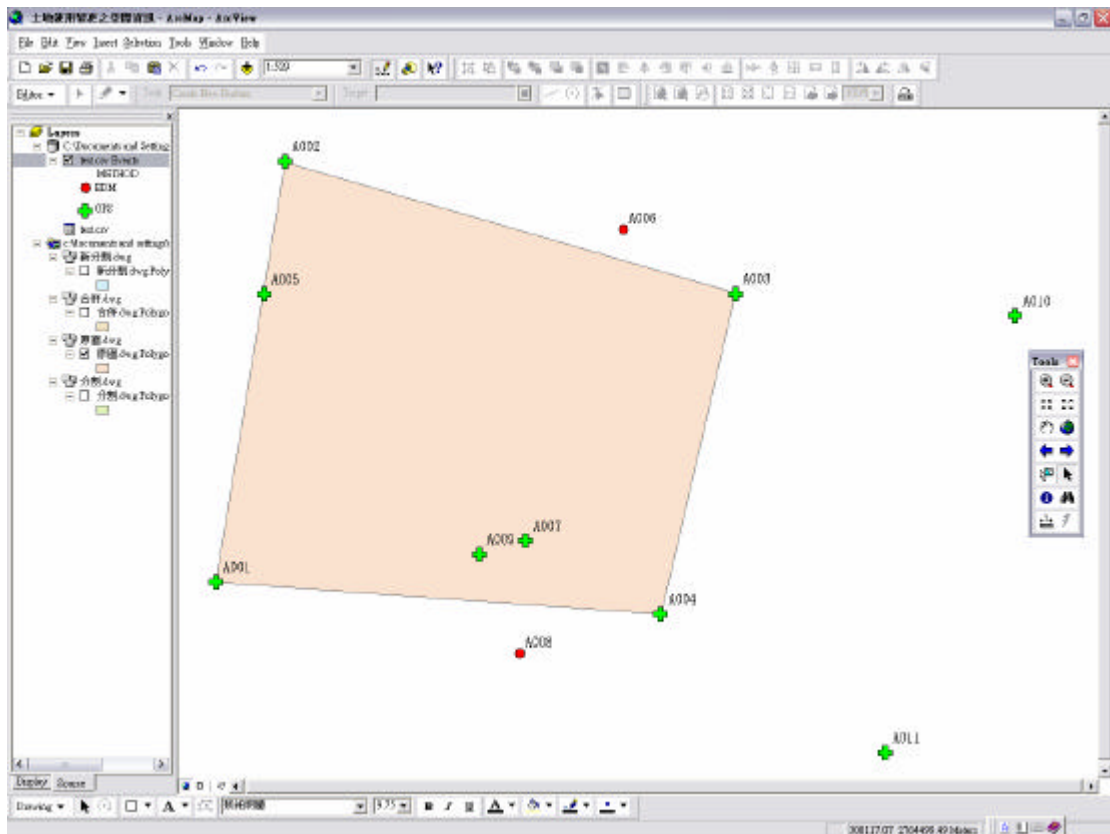
圖四為模擬獲取土地分割之空間資訊，原宗地界址點為 A001、A002、A003、A004，假設現分割為三筆土地，第一筆之界址點為 A002、A006、A007、A005；第二筆之界址點為 A006、A003、A004、A008、A007；第三筆之界址點為 A005、A007、A008、A001。根據前面所介紹的土地利用變化類型分析原則，這三個多邊形可視為餅形變化的一種，因此，只需以 RTK&TS 量測 A005、A006、A007、A008 等點位坐標即可。

在實驗過程中，除點 A006(建物遮蔽)，A008(建物及樹木遮蔽)外(圖中以圓紅點為標誌)，其餘皆可以 RTK 快速求得坐標(圖中以綠十字為標誌)(見圖四)。因此，必須以 TS 對點 A006、A008 實施點位測量。

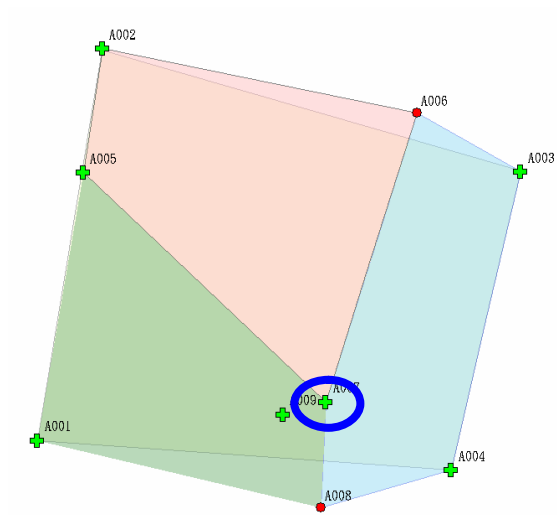
此外，模擬分割變遷及宗地合併(或擴大)等二種情況，圖五為分割變遷，可將其視為相互擴張型，中央的分割點從 A007 移動至 A009，所以我們只需觀測 A009 之坐標值，不需再觀測其他點位即可更新其空間資訊。圖六為宗地合併(或擴大)，原基地 A001、A002、A003、A004 擴充至 A010、A011。可視為單向擴張型的一種，我們只需量測點位 A010、A011 即可。

在以上模擬土地分割變更實驗時，除了有兩個界址點，因周圍環境影響 GPS 訊號的接收，以致無法以 RTK 觀測之外，其餘各測點都可以利用 RTK 觀測，每一站約只需停留三至五秒時間。至於無法直接利用 RTK 觀測的界址點，也可以利用第二章所介紹的方法，於界址點附近測量 TS 所需要的控制點對，因而也使得使用 TS 測量所需時間縮短許多。如圖四及圖五，在傳統的分割測量上，可能要將其視為三筆宗地去測量，但是現在我們只需量測分割後邊界發生變化之點位，如圖四中之 A005、A006、A007、A008 四點，測量時間及程序已較原測量程序簡化許多；而圖五中只需量測 A009 一點，即可進行地籍資料的更新，更是

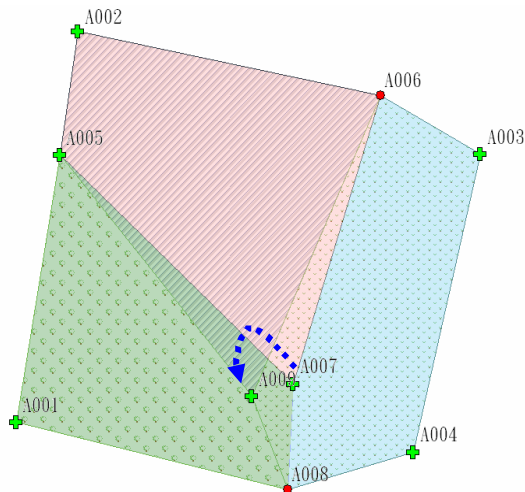
大大簡化了外業測量流程。



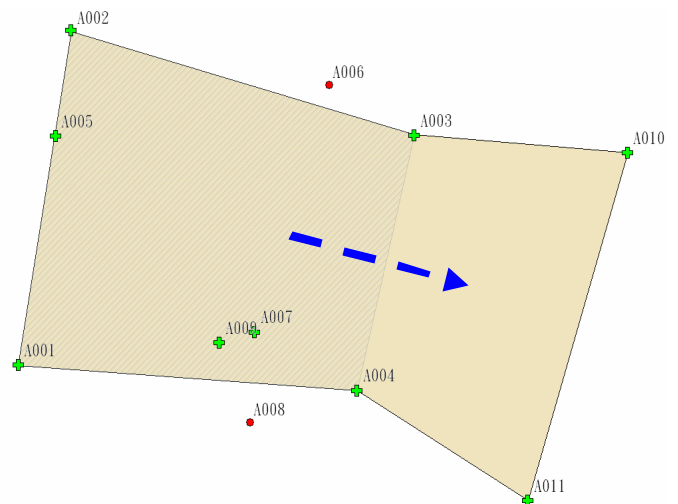
圖三、宗地範圍示意圖



圖四、模擬土地分割圖



圖五、 模擬分割變遷圖



圖六、 模擬土地合併(擴大)

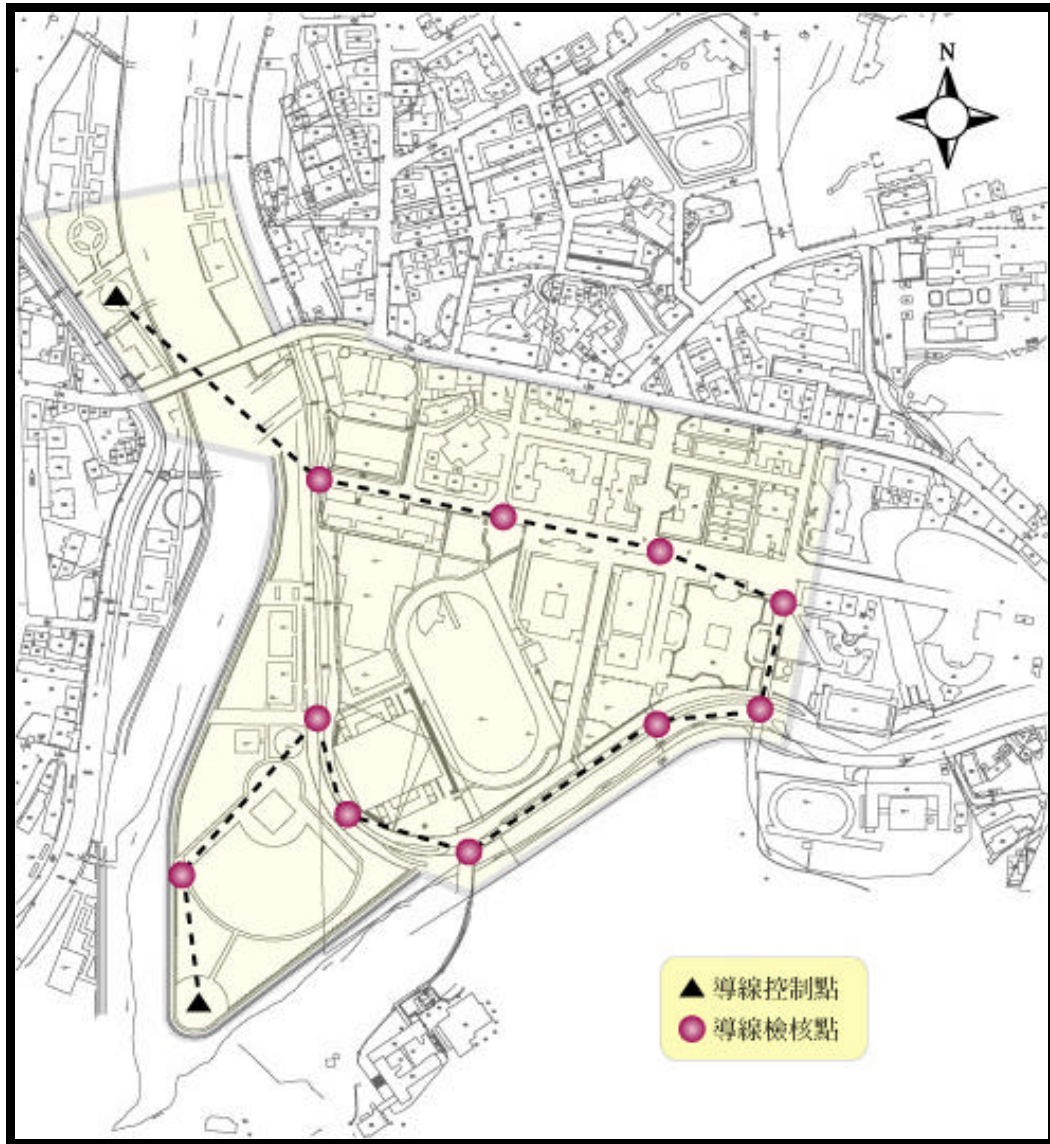
由上述實驗結果顯示：(1) 配合 GIS 軟體（如 ArcView）的功能與土地利用變化類型分析，可以明確標示需實施測量的界址點，進而簡化 RTK&TS 的外業工作。(2) RTK 在土地分割及合併測量上，的確是較傳統測量方式來得迅速有效率；但在建物密集地區，或對空通視有障礙的地區，RTK 在測量時會無法接收到足夠的衛星訊號，因此，必須以 TS 輔助之；此時 RTK 應在其他對空通視良好的地點佈設點位，提供 TS 後續測量之用。

4.3 RTK & TS 在都市地區土地測量之效能比較

為了比較 RTK & TS 在都市地區土地測量在精度、作業時間等效能，於國立政治大學校區選取 12 個點位，作為實驗對象，其中 2 點為導線控制點，另外 10 點當作檢核點，圖七所示為各點位的位置圖。

首先，利用靜態 GPS 測量方法，分別測定 12 個點位的坐標（每一測站實施 GPS 測量約 30 分鐘）。為了便於後續分析比較起見，這些靜態 GPS 測量計算之點位坐標將被假設為真值。然後，再分別以全測站經緯儀（以導線測量方式施測）及 RTK 對上述 12 個點位實施測量。每一個點位上，各以 TS 及 RTK 施測四個測回，其所測得之平均點位坐標，再與靜態 GPS 測量結果比較，計算坐標閉合差 f_x 、 f_y 與位置閉合差 f_s 。實驗所使用的硬體部分有 Ashtech Z-Surveyor 接收機與 RTK 設備及 Leica TC-605 全測站經緯儀；軟體部分有 Ashtech Office Suite, Astech Solution 2.6 等。

因為利用 TS 實施導線測量，必須有控制點，所以上述 12 個點位中之兩個點位被選為導線的控制點（如圖七所示之 2 個導線控制點），剩下的 10 個點位則作為檢核點。為了增加統計樣本，以 TS 及 RTK 在各檢核點上各測量四個測回，其所測得之平均點位坐標，再與靜態 GPS 測量結果比較，計算坐標閉合差 f_x 、 f_y 與位置閉合差 f_s 。



圖七、政治大學校區之導線檢核點與導線控制點分佈圖

表一所示為根據 10 個檢核點的成果比較分後，所歸納出 RTK 與 TS 測量的坐標閉合差與位置閉合差的比較表。由該表結果可見，RTK 之量測精度高於 TS。其中，RTK 之位置閉合差則約在 0.006m 至 0.021m 之間，而 TS 之位置閉合差則約在 0.030m 至 0.229m 之間。RTK 與 TS 位置閉合差的平均值及其標準差為別為 0.014m \pm 0.004m，0.163m \pm 0.063m。

除上述所作測量精度比較外，另外分別就 RTK、TS 作業所需之觀測時間及人力等方面加以比較，以了解其優缺點。於實驗中發現，如果 RTK 之無線電收訊良好，則可接收 4~8 顆衛星接，但由於少數點位可能有房屋遮蔽或衛星角度較差，故有收訊不連續的狀況出現，差分解算所須時間明顯地增加，故在時間上可能有比較大的落差。有關 RTK 與 TS 作業優缺點比較，詳如表二。

根據上述實驗結果，可以了解單獨使用 RTK 與 TS 實施測量的優缺點與精度的範圍，因此，可以判斷 RTK 與 TS 聯用時的測量精度（位置閉合差）應該介

於 0.014 公尺與 0.163 公尺之間。根據高書屏（2003）的研究結果顯示：於台中市的北區與北屯區選取 60 個圖根點，測試 RTK 與 TS 聯用時的測量精度，獲得點位之位置閉合差平均值為 0.033 公尺，中誤差為 ± 0.014 公尺。

表一、RTK 與 TS 測量的坐標閉合差與位置閉合差的比較表

點號	RTK			TS		
	fx (m)	fy (m)	fs (m)	fx (m)	fy (m)	fs (m)
1	0.021	0.004	0.021	0.001	0.030	0.030
2	-0.001	0.014	0.014	-0.112	0.083	0.139
3	-0.001	0.014	0.014	-0.112	0.083	0.139
4	0.000	-0.011	0.011	-0.178	0.075	0.193
5	0.006	-0.001	0.006	-0.189	0.117	0.222
6	0.006	-0.010	0.012	-0.152	0.127	0.198
7	0.014	-0.011	0.018	-0.136	0.154	0.205
8	-0.002	-0.018	0.018	-0.128	0.126	0.179
9	0.000	-0.014	0.014	-0.224	0.045	0.229
10	0.013	-0.004	0.014	-0.072	-0.056	0.091
最大值	0.021	0.014	0.021	0.001	0.154	0.229
最小值	-0.002	-0.018	0.006	-0.224	-0.056	0.030
平均值	0.006	-0.004	0.014	-0.130	0.078	0.163
中誤差	0.008	0.011	0.004	0.064	0.061	0.063

表二、RTK 與 TS 作業優缺點比較

測量方法	量測精度	每測站觀測時間	量測所須人力	觀測數據紀錄及處理	觀測環境要求
TS	較低	4~8 分	3 人以上	1.使用儀器紀錄。 2.下載後須再經程式解算以得導線平差後各檢核點之結果。	1.測站與測點間須可通視。 2.至少須有兩個控制點以定方位。
RTK	較高	0.5~2.5 分	1 人	1.使用儀器紀錄。 2.下載後直接可使用。	1.可全天候 24 小時量測 2.點位週圍透空度影響收訊（包括衛星及無線電） 3.於一公里內須有一控制點以架設主站，且最好能位於高處。

五、結論

本文以台北市木柵地區土地重劃前、後的地籍圖為研究對象，分析該區的土地利用變化類型；並以政治大學校區為實驗區，探討 RTK&TS 在都市地區實

施土地測量應用的有關議題。由上述實驗結果顯示：(1)就 GIS 觀點，每一塊土地都是由一個閉合的多邊形所組成；因此，在實施土地測量之前，可以就目標區的土地利用變化類型加以分析。(2)使用 GPS 技術來取得土地使用變化空間資訊的確較傳統的 TS 來得快速及有效率；但因 GPS 是靠著接收衛星的訊號來進行定位，因此在對空通視不良地區，使用 RTK 有其困難存在，此時必須以 TS 輔助施測。(3)為使作業流程迅速，在事前需先了解目標區的土地利用變化類型、待測點位及無法利用 RTK 進行量測之點位，根據此三者做好流程規劃，即可縮短外業作業時間；而內業處理方面，只要將土地使用類型發生變化處之坐標輸入，即可利用電腦對原圖形進行更新，不需重新繪圖，以節省內業處理時間。

六、誌謝

本研究由國科會專題計畫 NSC 91-2415-H-004-013 支持完成，特此致謝。

七、參考文獻

- 1) 王曉棟、崔偉宏 (1998)。GPS 技術在獲取土地利用空間變化數據中的作用，地理學與國土研究，第十四卷第四期，第 41-44 頁。
- 2) 高書屏(2003)。「建立臺中市地籍統一坐標系統 (TWD97) 與圖根點變問監測模式委託研究案」期末報告書，國立中興大學土木系測量資訊組。
- 3) 曾清涼、儲慶美 (1999)。GPS 衛星測量原理與應用，國立成功大學衛星資訊研究中心，台南，第 10-33 頁。