

克利金空間推估應用於地面控制點選取與 影像幾何校正之研究

Application of Kriging Interpolation to Ground Control Point Selection and Image Rectification

國立臺灣大學生物環境系統工程學系
碩士

劉俊志

Jun-Jih Liou

國立臺灣大學生物環境系統工程學系
教授兼水工試驗所研究員

鄭克聲

Ke-Sheng Cheng

摘 要

影像畸變的幾何校正處理，常用的統計方法是透過原始影像和地理座標的地面控制點資訊計算其座標轉換模式。其中地面控制點選取與座標轉換模式對影像校正精度即扮演舉足輕重的地位。研究中以高程資訊輔助影像校正地面控制點之選取，發現與一般均勻分佈原則相比，呈現較合理的分佈，並建議一套用於高程起伏明顯地區之遙測影像地面控制點選取流程。空載多光譜掃描影像之校正方法比較，克利金空間推估模式相對於一次多項式模式計算出之影像校正精度最大改善效率達 40%。對於影像校正精度之計算方式上，建議以交叉驗證法代替傳統檢覈點法。

關鍵詞：影像畸變，幾何校正，地面控制點，高差位移，克利金空間推估模式，多項式模式。

ABSTRACT

Rectification of remote sensing images is often implemented using the polynomial trend mapping (PTM) model which employs a set of ground-control-points (GCPs) for estimation of model coefficients. The total number and spatial distribution of the ground control points play a decisive role in the accuracy of image rectification. Among many sources of image distortion, the relief displacement is of most significant, particularly in areas of rugged terrain; therefore, the objective of this study is to establish a GCP selection scheme that considers the spatial variation characteristics of the terrain elevation.

21. Ignacio Rodriguez-Iturbe and Andrea Rinaldo, Fractal River Basin, Cambridge University Press, 1996.
22. Mandelbrot, B. B., "How Long is the Coast of Britain?" Statistical Self-similarity and Fractal Dimension, Science, 156, pp.636-638. 1967.
23. Peckham, S. D. and V. K. Gupta, "A Reformulation of Horton's Laws for Large River Networks in Terms of Statistical Self-similarity," Water Resources Research, 35(9), pp. 2763-2777, 1999.
24. "River Tools 2.0 User's Guide," Research Systems, 1999.
25. Rinaldo, A., R. Rigon, and A. Marani, "Geomorphological Dispersion," Water Resources Research, 27(4), pp. 513-525, 1991.
26. Rinaldo, A., I. Rodriguez-Iturbe, R. Rigon, R. L. Bras, E. Ijjasz-Vasquez, and A. Marani, "Minimum Energy and Fractal Structures of Drainage Networks," Water Resources Research, 28(9), pp.2183-2195, 1992.
27. Rinaldo, A., R. Vogel, and Rodriguez-Iturbe, "Can One Gauge the Shape of a Basin? ", Water Resources Research, 31(4), pp. 1119-1127, 1995.
28. Rodriguez-Iturbe I. and J. B. Valdes, "The Geomorphologic Structure of Hydrologic Response," Water Resources Research, 15(6), pp.1409-1420, 1979.
29. Rodriguez-Iturbe I., A. Rinaldo, R. Rigon, R. L. Bras, A. Marani and E. Ijjasz-Vásquez, "Energy Dissipation, Runoff of Production, and the Three-Dimensional Structure of River Basins," Water Resources Research, 28(4), pp. 1095-1103, 1992.
30. Ross, S. M., Simulation, Academic Press, 1997.
31. Shreve, R. L., "Stream Lengths and Basin Areas in Topologically Random Channel Networks", Journal of Geography, 77, pp. 397-414, 1969.
32. Veneziano, D., G. Moglen, P. Furcolo and V. Iacobellis, "Stochastic Model of Width Function," Water Resources Research, 36(4), pp. 1143-1157, 2000.
33. Veitzer, S. A. and V. K. Gupta, "Random Self-similar River Networks and Derivations of Generalized Horton Laws in Terms of Statistical Simple Scaling," Water Resources Research, 36(4), pp. 1033-1048, 2000.

收稿日期：民國 92 年 4 月 30 日

接受日期：民國 92 年 5 月 27 日

克利金空間推估應用於地面控制點選取與 影像幾何校正之研究

Application of Kriging Interpolation to Ground Control Point Selection and Image Rectification

國立臺灣大學生物環境系統工程學系
碩士

劉俊志
Jun-Jih Liou

國立臺灣大學生物環境系統工程學系
教授兼水工試驗所研究員

鄭克聲
Ke-Sheng Cheng

摘 要

影像畸變的幾何校正處理，常用的統計方法是透過原始影像和地理座標的地面控制點資訊計算其座標轉換模式。其中地面控制點選取與座標轉換模式對影像校正精度即扮演舉足輕重的地位。研究中以高程資訊輔助影像校正地面控制點之選取，發現與一般均勻分佈原則相比，呈現較合理的分佈，並建議一套用於高程起伏明顯地區之遙測影像地面控制點選取流程。空載多光譜掃描影像之校正方法比較，克利金空間推估模式相對於一次多項式模式計算出之影像校正精度最大改善效率達 40%。對於影像校正精度之計算方式上，建議以交叉驗證法代替傳統檢覈點法。

關鍵詞：影像畸變，幾何校正，地面控制點，高差位移，克利金空間推估模式，多項式模式。

ABSTRACT

Rectification of remote sensing images is often implemented using the polynomial trend mapping (PTM) model which employs a set of ground-control-points (GCPs) for estimation of model coefficients. The total number and spatial distribution of the ground control points play a decisive role in the accuracy of image rectification. Among many sources of image distortion, the relief displacement is of most significant, particularly in areas of rugged terrain; therefore, the objective of this study is to establish a GCP selection scheme that considers the spatial variation characteristics of the terrain elevation.

Our approach of GCP selection is based on a premise that a GCP set that yields high interpolation accuracy of terrain elevation will also result in high image rectification accuracy. The premise is particularly applicable for areas of rugged terrain where relief displacement is the dominant type of geometric distortion. We first select a set of uniformly distributed initial GCPs, and subsequent GCPs are determined based on a kriging approach of elevation interpolation using digital terrain model (DTM) data. Both check point validation and cross validation were implemented to assess rectification accuracies. The accuracies of elevation interpolation and image rectification are found to be consistent. A criterion for determining the total number of GCPs needed for image rectification is also suggested.

Keywords: Geometric distortion, Polynomial trend mapping, Ground control point, Image rectification, Relief displacement, Kriging approach.

一、前言

遙感探測技術可提供涵蓋範圍廣、時效性強的資訊，近年來國內外應用為分析及決策規劃之依據。遙測影像隱含著無可避免的系統性和非系統性影像畸變，因此，遙測原始影像必須經過地理定位的處理，始可提供有效地理資訊。

影像前期處理，需要經過輻射校正和幾何校正以去除原始資料的影像畸變。系統性畸變的來源，包括全景畸變、地球旋轉和曲度、大氣折射、掃描時間扭曲、載台的位置、高度和速度及感測器掃描的非線性等，通常可以利用載台狀態參數或是已知的畸變成因，來校正所造成的誤差；非系統性畸變或未知的系統性畸變部分，其隨機變異與不可預測之部份使得影像畸變難以掌握，影像校正僅能透過地面控制點進行糾正。

探討統計校正方法的多項式模式階數適宜性，Welch 等(1985)針對 Landsat 影像資料，做多項式座標轉換與地面控制點數的評估，顯示在合適的地面控制點(Ground Control Points, GCPs)數目，低階多項式就能夠達到相當精確的校正結果；Ford and Zanelli (1985)以最小方差法表現幾何校正和衛星影像地理定位後的誤差，就座標轉換的整體正確率和地面控制點數目、位置、局部確認，進行分析與量化，說明由於高階多項式係數的不確定，多項式階數的增加並不能降低地面

控制點間的推估誤差。

針對地面控制點的定性研究，李良輝(1991)提出應注意 GCP 位置分佈的均勻性及其位置的明確性；Richards(1995)認為地面控制點應在特徵明顯處、易辨識，且其空間尺寸小，均勻散佈於整張影像及影像邊界；Schowengerdt(1997)認為地面控制點應有以下幾項特性：興趣點上對比明顯、特徵尺寸小、不隨時間改變、均處於相同高程位置。

本研究認為對空間變異量的描述，可以特定均勻基本點掌握其一般趨勢變化，局部變異可視其程度予以加密補充。對傳統的影像校正強調 GCP 的均勻分佈及數量充足原則上，應可做進一步的探討。

山區與平地影像在選擇 GCP 的考量上有著極大的差異，一般而言，由於山區影像常伴隨著嚴重的幾何扭曲，所以相較平地影像，需要更多合適 GCP 的資訊來輔助做地理定位的工作；因此在高程起伏明顯之影像上，對地面控制點選取應有更慎重之要求，所以本研究希望能建立一流程方法，做為高程起伏明顯地區之遙測原始影像選取 GCP 的依據。

二、理論介紹

2-1 影像幾何校正方法

Schowengerdt(1997)將影像幾何校正工作的

不同處理程序分別給予不同的定義與解釋：

- (1) 套合(Registration)：將一影像陣列定位至另一張相同區域之影像上。所以兩張影像上相同位置的任兩個像元就會被定位在一起。亦即呈現出地表上同一位置的兩個遙測採樣資訊。
- (2) 糾正(Rectification)：將一影像陣列定位至地圖上，影像校正結果近似地圖。
- (3) 地理定位(Geocoding)：為校正定位的一個特殊例子，包括須放大縮小成一規整、標準像元 GSI (Ground Sample Interval)。如此標準像元大小和座標系將方便於 GIS (Geographic Information System)處理，套疊地圖和不同感測器的影像資料。
- (4) 正射糾正(Orthorectification)：為了處理地形所引起的偏移，以逐點方式校正每一個像元。校正結果如同垂直觀測地面一般，稱之為正射影像。

Cheng 等(1999)將影像校正技術區分為兩大類，一是統計方法建立影像像元位置與相對應之地球投影(點)座標的數學關係；二是定率方法模擬幾何畸變來源的狀態並利用模式建立影像校正的公式。

影像幾何校正之統計方式包括多項式趨勢轉換(Polynomial Trend Mapping, 簡稱 PTM)模式、MIF (Multiquadric Interpolation Function)模式以及克利金空間推估三種模式。

PTM 模式 利用多項式迴歸分析作原始和校正影像之間的轉換模式。

$$\hat{X} = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^i a_{ij} x^{i-j} y^j$$

$$\hat{Y} = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^i b_{ij} x^{i-j} y^j$$

(x,y) 為 GCP 之原始影像座標(行,列)； (X,Y) 為地理座標值如橫麥卡脫投影座標 (Transverse Mercator Projection, 簡稱 TM)； (\hat{X},\hat{Y}) 為地理座標推估值； n 為 GCP 數； (a_{ij}, b_{ij}) 為轉換係數，利用一組已知 GCP 資料，以最小方差迴歸分析求得。

MIF 模式 針對二次多項式中 GCP 處之殘差予以修正，亦即使用 MIF 模式做校正處理時，GCP 上座標值將為零誤差之推估。

克利金空間推估模式 採取對資料做一階多項式之空間趨勢(Trend Surface)去除，將 GCP 上殘差值視為一隨機變域，分析其空間結構。詳細步驟如下：

- (1) 使用所有 GCP 資料以最小方差法求取一階多項式之各個參數。

$$\begin{bmatrix} \hat{X}(x,y) \\ \hat{Y}(x,y) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix}$$

其中 (x,y) 為原始影像座標(column,line)， (\hat{X},\hat{Y}) 為經過趨勢套配結果的地理座標推估值， (a_i,b_i,c_i) 為模式轉換係數。

- (2) 將東西向及南北向殘差值視為兩個獨立的二階定常性隨機變域，並對影像其他位置做克利金空間推估，表示式如下， λ_i 為權重係數， n 為 GCP 數。

$$Z_1(x,y) = dX(x,y)$$

$$= X(x,y) - \hat{X}(x,y)$$

$$Z_2(x,y) = dY(x,y)$$

$$= Y(x,y) - \hat{Y}(x,y)$$

$$Z_1^*(x,y) = \sum_{i=1}^n [\lambda_i \times Z_1(x_i, y_i)]$$

$$Z_2^*(x,y) = \sum_{i=1}^n [\lambda_i \times Z_2(x_i, y_i)]$$

- (3) 影像上其它位置之座標轉換計算方式如下。

$$\begin{bmatrix} \hat{X}^*(x,y) \\ \hat{Y}^*(x,y) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_1^*(x,y) \\ Z_2^*(x,y) \end{bmatrix}$$

克利金空間推估模式具統計上最佳線性無偏估性質 (Best Linear Unbiased Estimator, 簡稱 BLUE)，估計值為觀測值之線性組合，估計值之期望值等於隨機變數之期望值，而且估計值與觀測值差之變異數為最小。克利金空間推估模式於 GCP 位置上座標為零誤差推估，且半變異元更可分析非等向性問題，對空間變異結構有更完備的描述。

2-2 影像校正精度計算方式

檢覈點法 除了提供校正資訊的特定地面控制點之外，需找出另一特定檢覈點供精度計算之用。

交叉驗證法 意義上完全符合檢覈點法，唯一差別在於假設取出一地控點做為檢覈點時，模式及推估結果不受該點影響。所有 GCP 點位資料均用來計算影像校正精度，所以 GCP 點數即為總檢覈點點數。

三、研究方法與資料

3-1 研究方法

本研究是從原始影像輸入開始，經過人工選取影像與像片基本圖建立初選之 GCP 後，其次加入 DTM 資料分析 GCP 數量及位置分佈對影像校正結果與全域高程推估之效益，針對地形起伏明顯特性之遙測影像，嘗試建立其幾何校正 GCP 選取流程。研究流程如圖 1，詳細說明如下：

- (1) 收集影像及其像片基本圖資料。
- (2) 為掌握影像扭曲偏移之整體趨勢變化，參考影像品質及影像大小選定一群特定 GCP，均勻分佈影像涵蓋範圍。
- (3) 為控制因高程起伏變化之影像偏移量，吾人增加 DTM 資料輔助選取掌握局部變化 GCP 之位置。詳細步驟如下。

步驟一：選定一定間隔規整之 GCP 候選位置。

步驟二：以初選 GCP 之資訊，推估 GCP 候選位置上高程值，並以最大推估絕對誤差處做為優先選取 GCP 位置。其中 GCP 上高程值以最近鄰域法(Nearest Neighborhood Method)內插。

步驟三：於影像上相對位置找尋符合次像元精度之 GCP，若無符合精度需求之特徵點，依序尋找絕對推估誤差值次大之候選位置。

- (4) 計算增選局部 GCP 後之影像校正及高程推估效益。
- (5) 推估效益通過停止演算門檻值時，結束

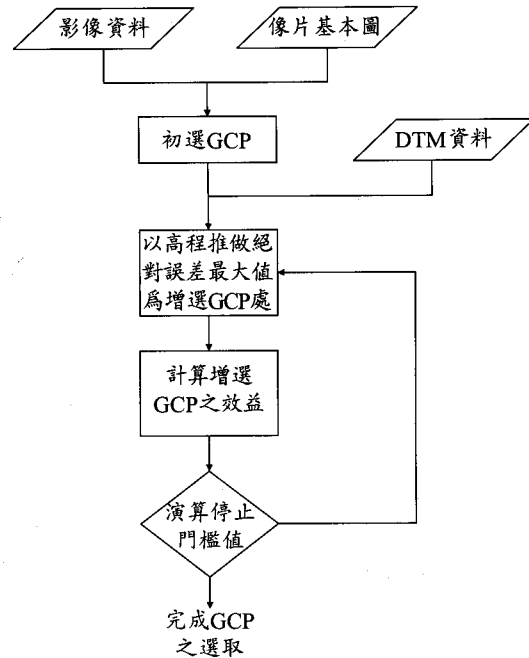


圖 1 研究流程圖

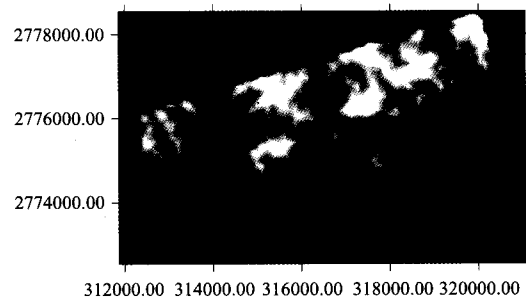


圖 2 研究地區高程資料之圖像展示

GCP 之增選；否則重複(3)步驟二，直至通過為止。

- (6) 計錄所有 GCP 資訊，進行影像幾何校正與重新取樣之處理。影像重新取樣工作以地球投影座標最近鄰域法執行。

3-2 研究區域概況

掃描地區為舊名'水返腳'的汐止，蒼綠綿疊山脈與流水悠悠基隆河成為其影像上醒目的特徵，地形變化的程度由圖 2 可見一斑，研究區高程統計量如表 1。

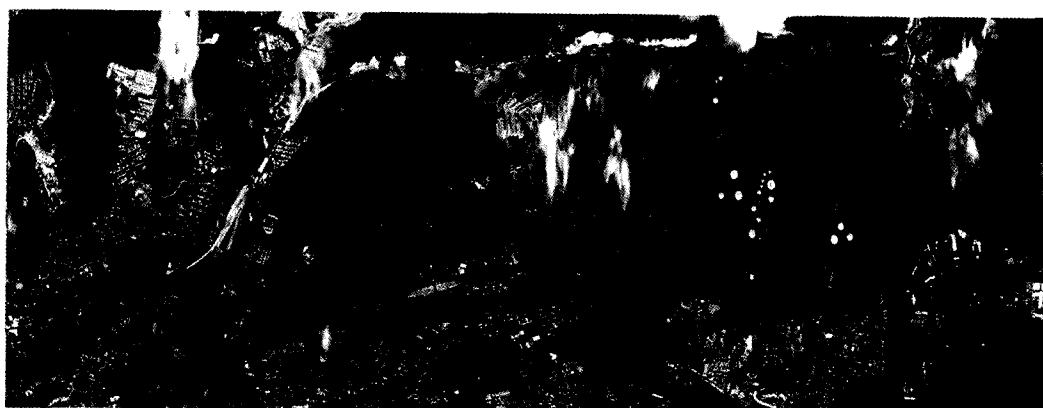


圖 3 汐止掃描影像 07 波段

表 1 研究區高程敘述統計量(公尺)

平均數(Mean)	45.42	極大值(Max.)	215.54
眾數(Mode)	11.41	極小值(Min.)	-1.67
全距(Range)	217.21	標準差(std.dev.)	38.31
中數(Median)	32.78		

表 2 研究影像基本資料

掃描地區	汐 止
掃描日期	86.12.26
航高	5500 英尺
航向	69 度
起點座標	(313.4, 2774.4)公里
終點座標	(318.0, 2776.2)公里
偵測器	光譜計& MCT 熱紅外線偵測器
橫座標像元數	736
縱座標像元數	1896
名義上之地面解像力	4.19 公尺
像幅(Swatch)	3.12 公里
航線長	7.94 公里
掃描面積	24.79 平方公里

3-3 影像資料

載具往東北向飛行，掃描影像如圖 3，基本資料如表 2，為 DS-1260 MSS (Multispectral Scanner)空載多譜掃描儀拍攝影像，除了具有較多波段外，對資料獲取的時效及機動性亦較高，可視任務需求調整飛行高度及時間，使其資料具備特定應用目的所需之空間解析力與時間解析力。但由於載具穩定性影響，使其掃描影像相對

表 3 DS-1260MSS 多譜掃描系統四組偵測器

偵測器名稱	波段光譜特性
(1)DE160 光譜計 (Spectrometer)	可接收十個頻道/波段的光譜反射資料，如表 3-2
(2)DE237 MCT 熱紅外線偵測器	適用於大氣窗口內波長 8~14 微米之常溫物體熱紅外線接收
(3)DE239C InSb 熱紅外線偵測器	適用於 3~5 微米波長之高溫物體熱紅外線偵測
(4)DE238B 紫外線 (UV)與可見光偵測器	適用於波長 0.3~0.4 微米間之探測

表 4 DE160 光譜計各頻道波長範圍表

頻道	波長(微米)	頻道	波長(微米)
1	0.38~0.42 紫	6	0.60~0.65 橙
2	0.42~0.45 靛	7	0.65~0.69 紅
3	0.45~0.50 藍	8	0.70~0.79 紅
4	0.50~0.55 綠	9	0.80~0.89 紅外
5	0.55~0.60 黃	10	0.92~1.10 紅外

表 5 MSS 系統參數

視野(FOV, Field of View)	85.92 度
每條掃描線像元數	716
瞬間視野(IFOV, Instantaneous Field of View)	2.5 毫弧度(mili-radian)
掃描速度(Scan Rate)	12.5、25、50、100 次/秒可供選擇

於大地衛星影像更具複雜之影像畸變。MSS 掃描系統配有四個偵測器，各特性參數如表 3~表 5。

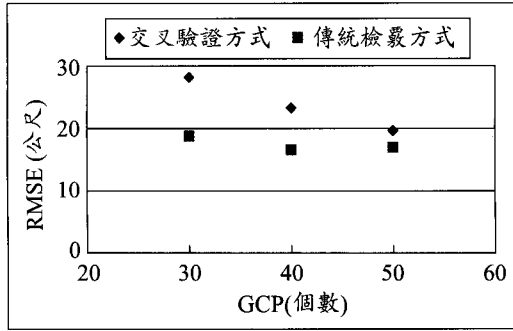


圖 4 影像校正精度

表 6 交叉驗證法與傳統檢覈法之影像校正精度(公尺)

GCP (個數)	CP (個數)	交叉驗證法			傳統檢覈法		
		東西向	南北向	整體	東西向	南北向	整體
30	22	28.20	66.75	72.46	18.84	47.27	50.88
40	21	23.29	58.20	62.69	16.62	40.34	43.63
50	24	19.65	53.59	57.08	17.01	42.74	46.00

四、結果與討論

4-1 傳統檢覈點法與交叉驗證法之比較

以 GCP-CP 均勻分佈整個空間原則，選出三組特定 GCP-CP，其傳統檢覈點法與交叉驗證法之 RMSE 計算結果如圖 4、表 6，顯示出隨著 GCP 增加，RMSE 有平滑減小的曲線變化，對影像校正效益而言，GCP 越多定位效果越好；再者隨著 GCP 增加，兩種計算方式所得之 RMSE 有接近的趨勢，代表 GCP 越多越符合交叉驗證之基本假設。因此若以最大量的 GCP 資訊做為校正模式資料，不但在理論上 GCP 越多，校正效益越好，更毋需另找出一特定檢覈點群供校正精度之計算，可以交叉驗證法計算影像校正精度之 RMSE 代替傳統檢覈點法。

經幾何校正模式處理後加以最近鄰域法重新取樣後之掃描影像 07 波段如圖 5(a)、(b)；由表 7 克利金空間推估模式相對於一階多項式之 RMSE 改善率(降低率)最大為 40%、東西向 RMSE 約為 5 倍掃描影像像元解析度，顯示克利金空間推估模式能有效地描述影像畸變之空間變異特性。



(a) 地面控制點數目 30



(b) 地面控制點數目 50

圖 5 以不同地面控制點數目校正後之影像

表 7 以交叉驗證法計算兩種模式之校正精度(公尺)

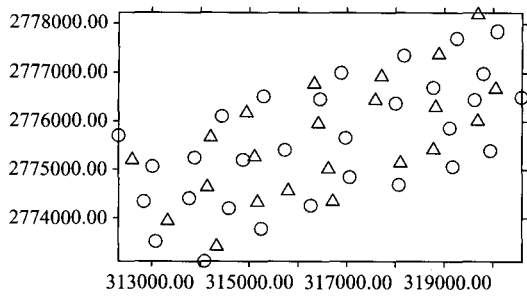
GCP (個數)	座標方向	一階多項式	克利金空間推估	改善效率 (%)
30	東西向	34.39	28.20	18
	南北向	76.91	66.75	13
50	東西向	33.01	19.65	40
	南北向	67.11	53.59	20

4-2 以 DTM 資料輔助選取 GCP 之探討

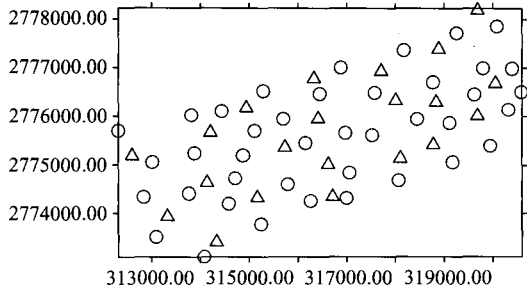
基於均勻分佈之初選 GCP 控制條件下，針對影像局部扭曲畸變大者，研究中以 DTM 高程資料輔助 GCP 選取之加密工作。

首先以初選 GCP 對全域各點做高程值之推估，地形起伏越大則高程推估絕對誤差越大，於影像扭曲偏移量之推估亦如此。故假設以 GCP 對空間任一位置做其高程與扭曲偏移推估，兩者之推估絕對誤差應存在遞增關係。當地形起伏小則高程推估絕對誤差小，偏移量推估誤差亦小；地形起伏大則高程推估絕對誤差大，偏移量推估誤差亦大。

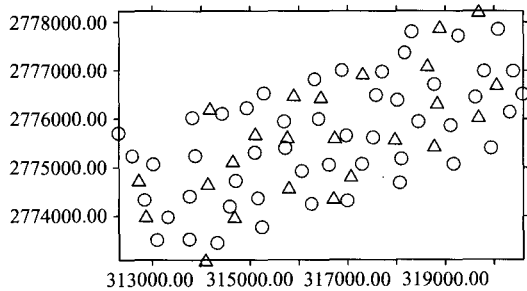
此假設理論上有地形影響偏移量的高差位移支持。雖然仍有其它因素如載具高度、掃描角及大氣折射等其它未知影響因子，但整體而言，單就比較高程與偏移量之推估誤差關係而言，地形起伏越大者，高差越明顯，對影像畸變之變化越難掌握。



(a)地面控制點數目30、檢覈點數目22



(b)地面控制點數目40、檢覈點數目21



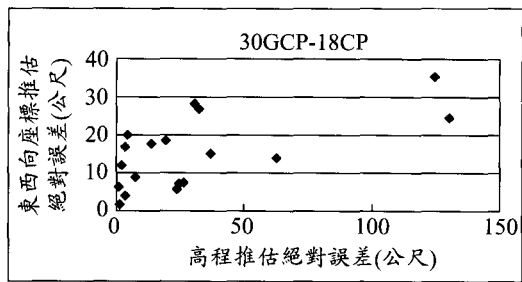
(c)地面控制點數目50、檢覈點數目24

圖 6 地面控制點、檢覈點之空間散佈圖

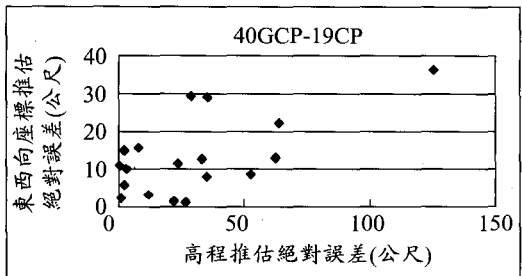
註 1：圖為 TM 二度分帶座標(公尺)

註 2：地面控制點圖徵為○、檢覈點圖徵為△

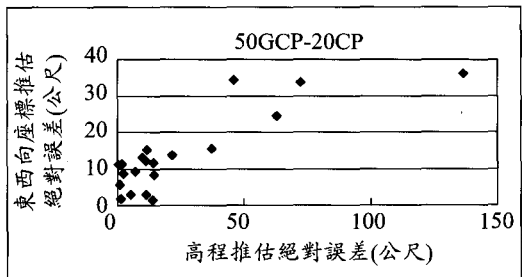
數據上之試驗，吾人以三組特定均勻分佈，數量為 30、40、50 之 GCP 對檢覈點位置做推估，其位置配置圖如圖 6(a)、(b)、(c)。座標推估絕對誤差與高程推估絕對誤差關係如圖 7(a)、(b)、(c)，解釋出基於均勻分佈 GCP 條件下，空間任一位置之高程推估絕對誤差與扭曲偏移推估誤差量確實存在遞增趨勢，證明出利用 DTM 資料輔助選取 GCP 之可行。討論畸異點形成原因有二，一為高程與偏移量之推估誤差為非線性關係，其它因素如載具高度、掃描角及大氣折射等其它未知影響因子雖以多項式模式去除，仍存在



(a)地面控制點數目30



(b)地面控制點數目40



(c)地面控制點數目50

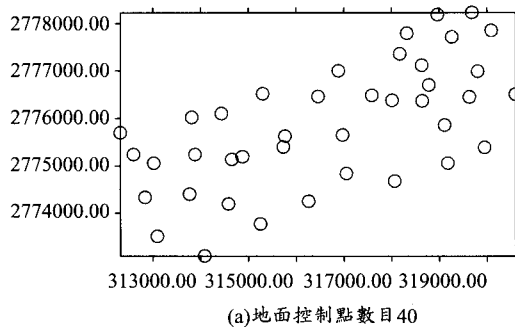
圖 7 東西向座標推估絕對誤差與高程推估絕對誤差關係圖

些微影響；二為 GCP 本身存在不可避免之人為觀測誤差及地圖精度影響。

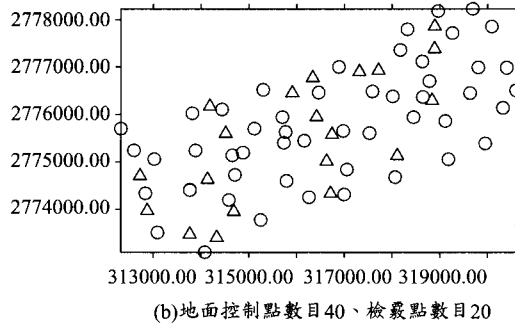
4-3 GCP 位置選取對影像校正精度之改善

研究中以傳統檢覈點法做為影像校正之精度評估，本研究建議選點結果在地形起伏明顯區域上有 GCP 加密的效果，更具合理之位置分佈，如圖 8(a)、圖 9(a)，檢覈點分佈如圖 8(b)、圖 9(b)。

討論表 8 之結果，顯示出一定 GCP 數條件下，建議選點方式相對均勻散佈原則應用於檢覈點之推估並未完全顯現其優勢效益，僅顯示接近相同之結果。推論其原因應為檢覈點數量不足，



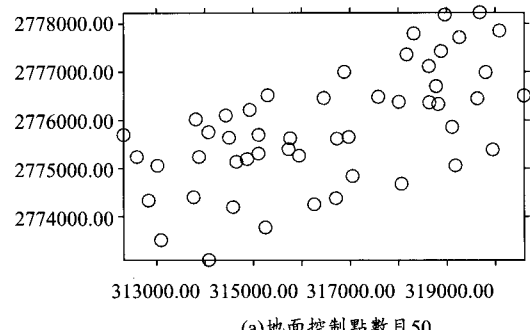
(a)地面控制點數目40



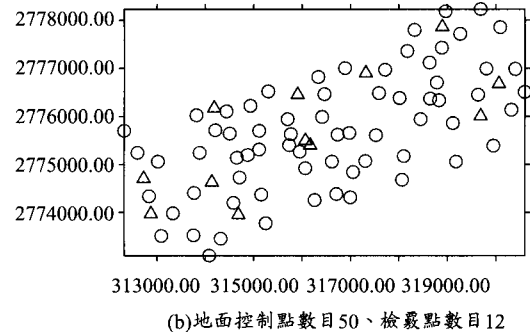
(b)地面控制點數目40、檢覈點數目20

圖 8 地面控制點、檢覈點之空間散佈圖

註 1：圖為 TM 二度分帶座標(公尺)
 註 2：地面控制點圖徵為○、檢覈點圖徵為△



(a)地面控制點數目50



(b)地面控制點數目50、檢覈點數目12

圖 9 地面控制點、檢覈點之空間散佈圖

註 1：圖為 TM 二度分帶座標(公尺)
 註 2：地面控制點圖徵為○、檢覈點圖徵為△

若能提供更多檢覈資訊，方有足夠證據顯現其優勢效益。

4-4 GCP 之高程推估效益及其影像校正精度相關性探討

以均勻分佈原則選取六組 GCP 分別為 30、40、50、52、61、74，計算其交叉驗證 RMSE，彙整如圖 10。由該圖東西向座標推估誤差曲線之變化情形，50GCP 以後曲線呈平滑變化，故在均勻分佈 GCP 原則下，合適 GCP 數約為 50 點。

採取掌握空間變化之 GCP 位置分佈，相較以均勻分佈 GCP 原則，演算法停止門檻值之合適 GCP 數應更少，因此將研究中建議以 DTM 輔選之每一點 GCP 紀錄其 RMSE 變化如圖 11。由該圖之東西向座標推估誤差曲線變化，選定 40 點上之反曲點為演算法停止門檻值之 GCP 數。

未來應用此流程做 GCP 選取乃以 DTM 資料演算決定，故計算增選 GCP 對該點高程推估之效益作為演算法停止門檻值之依據。研究中定義

表 8 以檢覈點法計算兩種地面控制點選取方式之校正精度(公尺)

GCP (個數)	均勻散佈原則		本研究建議 GCP 選取法		CP (個數)
	東西向	南北向	東西向	南北向	
40	15.30	37.48	14.25	40.01	20
50	10.99	31.98	10.14	31.70	12

增選一點 GCP 之高程推估效益，為未加入該點 GCP 前對其位置上之高程推估絕對誤差，彙整如圖 12、圖 13。相對應演算法停止門檻值之 GCP 數 40，可決定演算法停止門檻值之高程推估絕對誤差約為 2 倍高程標準偏差。

五、結 論

1. 以最大量的 GCP 做為影像幾何校正模式資料，但缺乏合適檢覈點供校正精度計算，因此可用交叉驗證法計算影像校正精度之 RMSE 代替傳統檢覈點法。

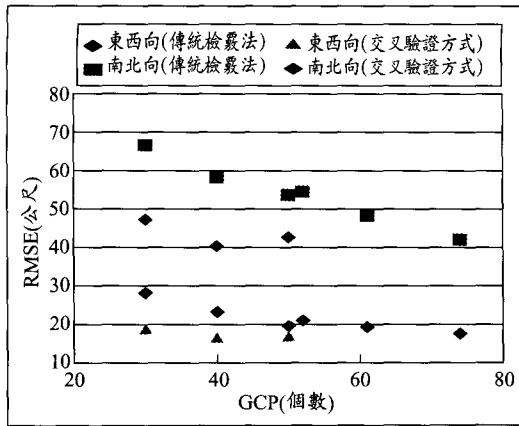


圖 10 均勻分佈地面控制點數目與影像校正精度變化圖

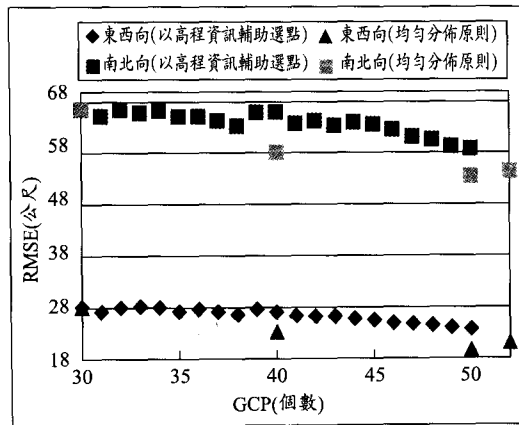


圖 11 以高程資料輔選地面控制點與其交叉驗證精度之變化圖

2. 空載多光譜掃描影像之影像校正方法比較上，克利金空間推估模式相對於一次多項式模式計算出之影像校正精度最大降低效率達 40%，而校正精度的改善範圍視 GCP 個數及方向而定。
3. 於地形起伏明顯區域之遙測影像，基於影像校正初選之均勻分佈 GCP，其餘影像位置之高程推估絕對誤差與座標推估絕對誤差存在遞增關係，可將 DTM 資料應用於增選足量之 GCP。
4. 研究中建議 GCP 選取法在地形起伏明顯區域上有 GCP 加密的效果，顯示該法相對於一般 GCP 均勻分佈原則更具合理之位置分佈。

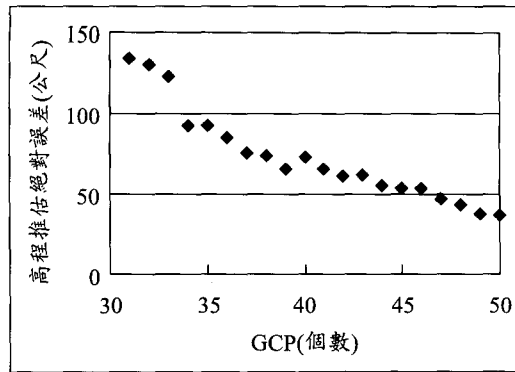


圖 12 高程推估絕對誤差與地面控制點數目之變化圖

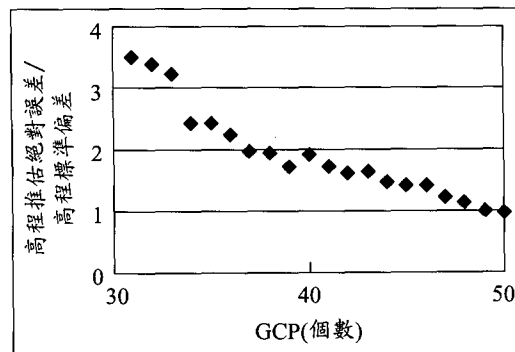


圖 13 高程推估絕對誤差及高程標準偏差比值與地面控制點數目之變化圖

5. 由影像校正精度與地面控制點數關係圖，可明顯看出兩段經由增加地面控制點所改善校正精度之效率，得研究影像之 GCP 增選演算法停止門檻值為 2 倍高程標準偏差。

參考文獻

1. 李良輝，1991。計算視覺方法於 SPOT 衛星影像之幾何特性分析，國立中央大學大氣物理研究所博士論文。
2. 蔡昌玕，1999。克利金空間推估應用於衛星影像校正之研究，國立台灣大學農業工程學研究所碩士論文。
3. Cheng, K.S., C. H. Tsai, H.C. Yeh, and I. Hueter, 1999. A new approach of image

- rectification by kriging. 1999 Annual Conference of the American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Portland, Oregon.
4. Cheng, K.S., H.C. Yeh, and C.H. Tsai, 2000. An anisotropic spatial modeling approach for remote sensing image rectification. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 73, No. 1, pp. 46-54.
 5. Ford, G.E., and C.I. Zanelli, 1985. Analysis and quantification of errors in the geometric correction of satellite images. *Photogrammetric Engineering & Remote sensing*, Vol. 51, No. 11, November pp.1725-1734.
 6. Richards, J.A., 1995. *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 56-71.
 7. Schowengerdt, R.A., 1997. *Remote Sensing, Models and Methods for Image Processing*, Second Edition, Academic Press, San Diego, pp. 329-340.
 8. Welch, R., T.R. Jordan, and M. Ehlers, 1985. Comparative evaluation of the geodetic accuracy and cartographic potential of Landsat-4 and Landsat-5 thematic mapper image data, *Photogrammetric Engineering & Remote sensing*, Vol. 51, No. 11, November, pp. 1799-1812.

收稿日期：民國 92 年 5 月 20 日

接受日期：民國 92 年 6 月 23 日