

於一千分之一地形圖製圖需求下三維網格模型 精度提升之技術探討

許展祥¹、林鷺均¹、王敏雄²

Chan-Hsiang Hsu, Lu-Chun Lin, Min-Shiung Wang

摘要

一千分之一地形圖係施政規劃之重要資料來源，其精度需求、內容物種類、更新頻率均有極高要求，目前繪製方式仍以航測立體測製技術為主，惟國內立體製圖能量不足，測繪業界逐漸提出改變傳統航測立體製圖方式的聲浪，其中存在以三維網格模型(mesh模型)繪製平面地形圖之方式，透過直覺性繪圖的操作降低製圖人員入門技術門檻，進而引進大量新進測繪人員擴大生產線提升整體產能。

但是三維網格模型數化製圖方式其測製精度普遍仍無法符合一千分之一製圖精度之要求(許展祥等人, 2021)。本研究嘗試應用三維網格模型建置軟體的進階功能進行粗差剔除及模型銳化等方式改善建置三維網格模型之幾何精度，希望能有助於提升後續數化製圖之品質。

經本研究實驗數據顯示改善前模型精度RMSE介於0.392~0.508 m，改善後模型精度RMSE介於0.319~0.384 m，且通過一千分之一地形圖精度要求(≤ 0.25 m)之抽樣點比例較改善前的比例高，說明了本研究的改善處理對於三維網格模型精度的提升是有助益的，但是其改善幅度仍無法讓其成果符合一千分之一地形圖的製圖精度需求。

關鍵字：三維網格模型、一千分之一地形圖、製圖精度、銳化。

一、前言

對於提升三維網格模型幾何精度而言，根據本研究團隊實際作業過程中發現，普遍存在2個影響建模品質及後續數化製圖的問題。

第1個問題是依照建模標準流程進行時，其影像方位重建的成果，在不同的案例中並非每次均能獲得理想的空三結果。一般來說於求解過程中穩定收斂，並且其誤差量(Reprojection Error)小於1個pixel時，會是理想的空三結果，但是本研究實際作業時，有部分測試區的成果無法順利縮減到1個pixel以下，這表示後續量測目標點時所得位置可能會有偏差。

第2個問題是位於人工構造物的稜角處，三維網格模型通常會有明顯的圓角圓

¹內政部國土測繪中心 應用圖資測製科 技士

²內政部國土測繪中心 應用圖資測製科 科長

邊現象，這對於後續數化的成果可能會造成錯誤的量測數據。

針對上述2個問題本團隊認為首要任務必須先提升影像方位重建的精度，確保建立密點雲時的結果是正確可靠的，後續組建模型時嘗試找尋銳化的方式修整模型成果。

二、模型精度改善方式

(一) 提升影像方位重建精度

本團隊參考USGS提出的工作流程文件（如圖 1），主要使用Metashape的漸進篩選（Gradual selection）工具進行過濾及偵錯。依序利用Reconstruction Uncertainty、Projection accuracy、Reprojection Error等3項指標進行篩選，分別說明如下：

1. Reconstruction Uncertainty

Reconstruction Uncertainty是三角交會點誤差橢圓的最大半軸與最小半軸的比率。一般會將Reconstruction Uncertainty限制在10以下，當Reconstruction Uncertainty等於10的時候，相當於製圖基高比為1:2.3，即視差交會夾角約為23°，當夾角越小其幾何強度越弱，則成果的不確定性越高，所以在工作流程中，第1個篩選步驟首先濾除高不確定性的連結點。

$$\sqrt{k_1/k_3} \text{ 其中, } k_1: \text{ 連接點協方差矩陣的最大特徵值, } k_3: \text{ 最小特徵值。}$$

2. Projection accuracy

Projection accuracy是測量連接點像坐標的平均像比例。是“關鍵點平均大小”的一種量測值；關鍵點大小（以pixel為單位）是在找到關鍵點的尺度下高斯模糊的標準偏差。標準偏差值越低，能更在空間中獲得更準確的定位結果。因此，關鍵點平均大小的值越小，關鍵點在影像中的定位就越精確。

$$\sum S_i/n \text{ 其中, } S_i: \text{ 該點在第 } i \text{ 個影像上的像比例。 } n: \text{ 被量測影像數量。}$$

3. Reprojection error

Reprojection error是連結點在各影像中平差前後像坐標殘差經正規化後的最大值，其單位是pixel。可以簡述為該連結點的最大殘差。

$$\max |x'_i - x_i|/S_i \text{ 其中,}$$

x'_i : 該點第*i*個影像中經平差後的點位投影坐標。

x_i : 該點在第*i*個影像中經量測的點位投影坐標。

S_i ：該點在第*i*個影像上測量相應投影坐標的像比例。

高重投影誤差通常表示點匹配步驟中相應點投影的定位精度較差，透過重複逐步刪除連結點及平差步驟，直至未加權的Reprojection error的RMS介於0.13~0.18之間，可有效降低Reprojection error。

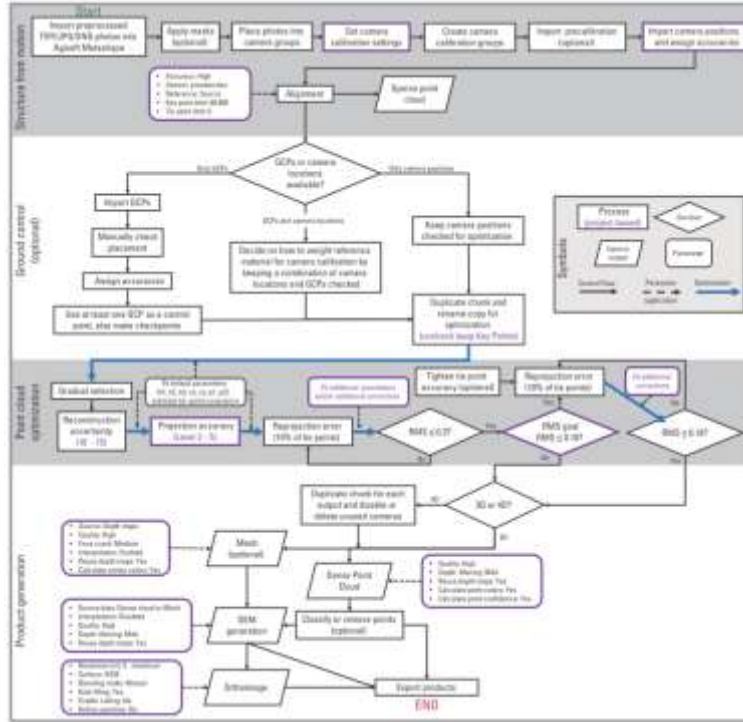
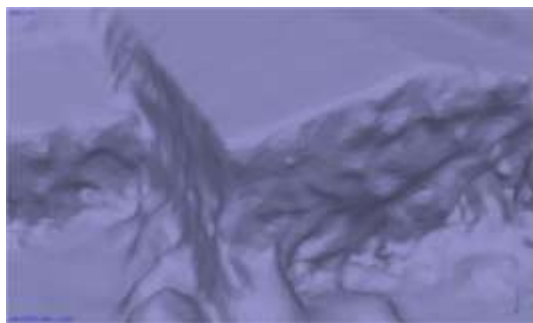


圖 1 USGS工作流程圖 (Over, et al., 2021)

(二) 改善構造物模型圓角

本研究團隊利用Metashape的自動化工具來處理，首先產生使用模型的extrapolated（外推模型）功能，續利用smooth工具及decimation工具進行模型邊緣銳化處理。



改善前



改善後

三、實驗結果與結論

本研究分別對3種不同等級像機所拍攝的影像資料進行實驗，各測試區均隨機抽選45點，分別以傳統立體製圖方式量測其坐標值作為參考坐標，另於三維網格模型數化方式量測其坐標值為量測坐標，其精度比對之統計結果如表 1。

表中顯示改善前RMSE介於0.392~0.508 m，改善後RMSE介於0.319~0.383 m，各測試結果之RMSE均為降低，小像幅改善較不明顯，中、大像幅改善較明顯，初步懷疑像機內方位之穩定性可能為另一項影響模型精度的因素。另外符合製圖規範的抽樣點數改善前合格比例為22.2%~40%，改善後合格率提升為29.5%~55.6%。

表 1 實驗統計結果

測試區代碼	南崗UAS_300 NG_300	南崗AOS5 NG_AOS5	南崗大像幅 NG_UXcam	
像機類型	消費型小像幅	中像幅5像機組	大像幅	
航線型態	井字(較疏)	普通平行航線 + 傾斜攝影	普通平行航線	
離地高 (m)	321.3	816.8	1055.0	
焦距 (mm)	36.4	51.6	100.5	
Pixel Size (um)	6.00	4.60	6.00	
GSD (cm)	5.52	6.87	6.30	
重疊率 (%)	85.6%	80.4%	80.1%	
抽樣點數	45	45	45	
改善前	RMSE (m) 合格製圖精度比例	0.392 34.1%	0.508 22.2%	0.410 40.0%
改善後	RMSE (m) 合格製圖精度比例	0.383 42.2%	0.384 29.5%	0.319 55.6%

四、結論

根據本研究實驗結果顯示，各測試區抽樣點之RMSE均有降低，且通過一千分之一地形圖製圖規範要求 (≤ 0.25 m) 的合格比例亦有提升；故透過提升影像方位重建精度及模型銳化等處理，雖然整體仍無法符合製圖規範要求，但對於幾何精度及視覺感受的提升仍有助益。

參考文獻

- 許展祥、林鶯均、王敏雄，2021。利用三維網格模型繪製一千分之一地形圖之精度評估，內政部國土測繪中心自行研究報告。
- Agisoft, 2020. Agisoft Metashape User Manual: Professional Edition, Version 1.6. Agisoft LLC.
- Over, Jin-Si R.; Ritchie, Andrew C.; Kranenburg, Christine J.; Brown, Jenna A.; Buscombe, Daniel; Noble, Tom; Sherwood, Christopher R.; Warrick, Jonathan A.; Wernette, Phillipe A., 2021. Processing Coastal Imagery With Agisoft Metashape Professional Edition, Version 1.6—Structure From Motion Workflow Documentation. Reston, Virginia: U.S.Geological Survey.