

以無人機系統搭載小像幅像機測製 大比例尺地形圖研究

林鷺均¹、陳昱芸²、邱依屏³、許展祥¹、王敏雄⁴

Lu Chun Lin, Yu Yun Chen, Yi Ping Chiu, Chan Hsiang Hsu, Min Shiung Wang

摘要

無人機系統 (Unmanned Aircraft System,UAS)具有高機動性、雲下作業，可補足航測資料獲取空隙，加速空間資料蒐集等特性，內政部國土測繪中心近年來亦致力於引進測繪新科技輔助圖資測製，並完成定翼型及旋翼型無人機之建置，為納入更多元之航拍與測繪方式型態，使一千分之一地形圖之測製方式不限於以中、大像幅航測作業，本研究針對無人機系統拍攝之小像幅航拍成果辦理一千分之一地形圖測製方式進行試辦及研究，透過不同實驗之配置與參數之調整實驗，希藉由本研究成果了解小像幅像機之精度及限制，供後續擬定相關規範時之參考依據。

本研究選定二幅一千分之一地形圖圖幅範圍進行試辦作業，研究成果中試辦區A以定翼UAS進行航拍，三維坐標比較結果，平面較差均方根誤差（以下簡稱RMSE）為11公分，高程較差RMSE為10公分，符合一千分之一地形圖製圖精度（平面精度25公分，高程精度30公分）。另外試辦區B以旋翼UAS進行航拍，三維坐標比較結果，平面方向較差RMSE為12公分，高程方向較差RMSE為32公分，推論係因試辦區B之航拍影像存有局部模糊的狀況，導致影像像點匹配位置偏離，造成高程方向之較差RMSE超過製圖精度。依本次研究結果，以UAS辦理一千分之一數值航測地形圖測制定翼機航拍較旋翼機航拍為穩定；另目前無人機均搭載非量測型像機，故須對於航空攝影影像品質、空中三角測量之作業流程與檢核應更加嚴謹。

關鍵字：無人機系統、UAS、小像幅像機、一千分之一地形圖。

¹內政部國土測繪中心 應用圖資測製科 技士

²中華民國航空測量及遙感探測學會 資源調查組組長

³中華民國航空測量及遙感探測學會 資源調查組工程師

⁴內政部國土測繪中心 應用圖資測製科 科長

本文內容摘自110年度研擬小像幅像機測製一千分之一地形圖規範委託研究採購案（承包廠商：中華民國航空測量及遙感探測學會）委辦案相關成果

一、前言

無人機系統 (Unmanned Aircraft System,UAS)相關技術具有更快速、機動性、自動化取得影像之特性，常用於輔助各項核心圖資更新，故以UAS搭載小像幅像機進行地形圖之測製方式需求日漸增加，為使測製方式更多元完備。本研究將透過試辦方式針對UAS拍攝之小像幅影像辦理一千分之一地形圖測製進行研究，經由實際驗證結果，提供相關作業參數之參考，期望未來航測產製一千分之一地形圖的方式將不僅限於中、大像幅航測作業方式。

二、試辦區航拍與載具

本研究選擇不同地區特性，分別以城區與城郊區之2幅一千分之一地形圖圖幅範圍(橫800公尺，縱600公尺)進行試辦實驗，採用國土測繪中心之定翼機及旋翼機，以實際資料進行試辦，以增加實驗成果之代表性。



(a)試辦區A-臺北市南港區中研院周遭
正射影像(定翼UAS)



(b)試辦區B-臺中市北屯區旱溪太原路
附近正射影像(旋翼UAS)

圖 1 試辦區航拍成果

試辦區A位於臺北市南港區中研院周邊，採定翼UAS進行航拍，使用CANON 5DSR數位相機像元大小為4.14 微米，搭配50 毫米焦距鏡頭，航高（離地高）約為800公尺，共拍攝7條航帶，影像重疊率前後約85%、側向約82%，拍攝影像數量合計187張，地面解析度(Ground Sampling Distance；GSD)約7公分。空中三角測量(以下簡稱空三)使用之地面控制點數量共34點(包含10點檢核點)，立體測圖驗證屋角點數量共50點。

試辦區B位於臺中市北屯區旱溪太原路周邊，採旋翼UAS進行航拍，使用Sony $\alpha 7III$ 數位相機像元大小為5.9 微米，搭配21 毫米焦距鏡頭，航高（離地高）約為250公尺，共拍攝9條航帶，影像重疊率前後約97%、側向約81%，拍攝影像數量合計1678張，地面解析度GSD約7公分。空三使用之地面控制點數量共54點(包含12點檢核點)，立體測圖驗證屋角點數量共50點。

三、實驗規劃

1、影像重疊率及控制點分布密度對於解算成果影響

研究按照實際航拍任務可行且實務上製圖多數採取的影像航拍要求，將試辦區B分別以90%及80%之前後重疊率(Overlap)、80%及60%之側向重疊率(Sidelap)，

並以3種密度的地面控制點分布，組合成12組實驗。其中控制點配置中密度高為外圍間距2基線及內部2間距基線布一點，共40點；密度中為間距5b橫貫航線控制鍊(航線頭中尾均有控制)，共20點；密度低僅測區外圍間距5基線及內部10間距基線布一點，共8點，並針對實驗結果評估UAS在未搭載GNSS或POS輔助空三之情況下，航帶間重疊率及控制點配置至少應具備之條件，才可有效消除透鏡畸變差，並符合一千分之一地形圖製圖精度。

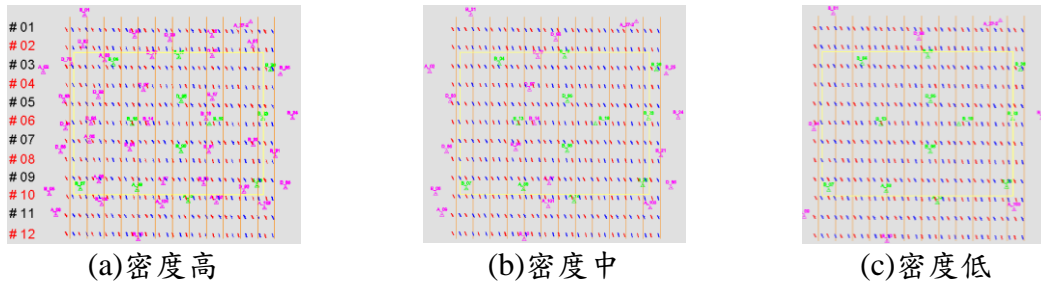


圖 2 試辦區B不同地控點實驗配置

2、小像幅像機是否搭載GNSS或其精度對於解算成果影響

實驗配置包含使用GNSS或未使用GNSS輔助空三解算，以目前UAS常見搭載之GNSS定位精度約可達5公分至1公分，評估在符合一千分之一地形圖製圖精度之前提下，以目前業界UAS普遍搭載之GNSS定位精度，探討控制點配置之最低要求。

四、實驗結果

以試辦區B航拍成果進行影像重疊率及控制點分布密度之實驗探討，圖 3中前後重疊率(O)、側向重疊率(S)、控制點分布密度(高H、中M、低L)，並評估UAS未搭載GNSS或POS之情況下，關於平面方向之物空間解算精度，重疊率和控制點密度並無造成太大的影響。由高程方向之物空間解算精度可知，低控制點密度時，劣化的幅度較大。建議方案採取物空間解算精度尚未大幅劣化前之最低要求，即前後重疊率80%(O8)、左右重疊率60%(S6)，控制點密度中(M)，較能確保最後的空三解算結果是穩定解算而得的。

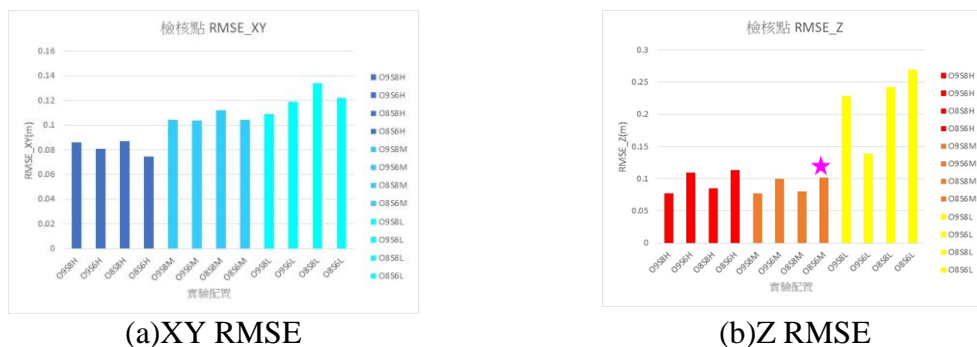


圖 3 試辦區B進行影像重疊率及控制點分布密度實驗探討之實際結果趨勢

並以此實驗結果對於試辦去A進行配置由於試辦區A測圖基線較試辦區B為長，控制點密度調變程度有限，重疊率O8S6對於試辦區A之2種GSD，無論控制點密度高或低對於解算精度並無明顯差異。而對於是否搭載GNSS之精度解算成果如

表 1，如未使用GNSS輔助空三，地控點的分布密度若只有外部4角點布設，則無法正常平差解算空三。如於內部控制點增加1點，則可平差解算空三，但解算精度仍不足。使用GNSS輔助空三有其效益，惟地面控制點分布，即便使用定位精度1公分的GNSS，僅使用外部4角點仍有不符一千分之一地形圖製圖精度之疑慮。建議內部控制點應至少增加1點，如此一來即便使用較低定位精度等級之GNSS輔助空三，亦可有效提升整體物空間解算精度，因此測區內部布設控制點是必須的。

表 1 試辦區B模擬實驗結果

實驗配置		RMSE(m)	
		XY	Z
無GNSS輔助	外4角點	無法收斂	
	外4角點內1點	0.821	0.941
GNSS輔助	外4角點+1公分定位精度GNSS	0.125	0.305
	外4角點+5公分定位精度GNSS	0.127	0.317
	外4角點+10公分定位精度GNSS	0.129	0.333
	外4角點內1點+1公分定位精度GNSS	0.099	0.229
	外4角點內1點+5公分定位精度GNSS	0.099	0.229
	外4角點內1點+10公分定位精度GNSS	0.100	0.230

五、驗證結果

依據實驗所得建議參數為前後重疊率80%、左右重疊率60%，控制點配置密度中，進行自率光束法空三，再組成立體模型採點，透過虛擬基準站即時動態定位測量測得屋角點坐標(檢核點)，作為後續以立體模型繪製一千分之一地形圖試辦成果之比對驗證。如表 2依據驗證比對結果，試辦區B驗證精度較試辦區A差，且高程方向的RMSE已超出規範高程精度30公分以下之要求。推測原因除定翼機航拍較旋翼機為穩定以外，進一步細究發現試辦區B之航拍影像，在特徵明確的影像控制點，存有局部模糊的狀況，使像點匹配位置偏離，在平差過程中亦容易被視為粗差，由此結果可作為後續製圖時應避開之不製圖區參考。

表 2 試辦區立測及地測之驗證比對結果

區域	GSD	檢核數量	平面較差(m)		高程較差(m)	
			均值	RMS	均值	RMS
試辦區A	7	42	0.10	0.11	0.08	0.10
試辦區B	7	46	0.10	0.12	0.26	0.32

六、結論與建議

透過本研究以UAS搭載小像幅航拍影像測製一千分之一地形圖確實可行，且尚能符合製圖精度，惟相較於有人飛機搭載中大像幅像機，小像幅之作業程序較為複雜，主要原因在於像幅較小，導致施測同樣範圍之航拍影像數量增加，增加計算量的同時也大幅提高作業成本，且航拍穩定度之問題與影像畸變差問題恐影響測製精度，故作業過程中須對於航空攝影影像品質、空中三角測量之作業流程與檢核應更加嚴謹，本次研究結果可供後續辦理相關測製之參考依據。