

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告 期末報告

以 GPS 輔助無人飛行載具不同感測器影像之精確定位定向

計畫類別：個別型計畫
計畫編號：NSC 101-2119-M-004-001-
執行期間：101年08月01日至102年12月31日
執行單位：國立政治大學地政學系

計畫主持人：邱式鴻

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：李敏瑜
碩士班研究生-兼任助理人員：林汝晏
博士班研究生-兼任助理人員：陳承一

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：

1. 公開資訊：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢
2. 「本研究」是否已有嚴重損及公共利益之發現：否
3. 「本報告」是否建議提供政府單位施政參考：是，內政部地政司 國土測繪中心

中華民國 103 年 03 月 01 日

中文摘要：本計畫原為整合型研究計畫「無人飛行載具多感測器之整合與火山監測之應用」的子計畫二「以高精度 GPS 定位資料輔助 UAV 上不同感測器影像之精確定位定向」的第一年計畫，其目標是以「高精度 GPS 定位資料輔助 UAV 上光學感測器影像之精確定位定向」。原整合型研究計畫僅有本子計畫二研究案經國科會核准通過補助，因此原研究題目主要是以「VBS-RTK GPS 輔助 UAV 影像自率光束法空三平差之研究」。

無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)於要求精度之圖資測製應用時，因飛行高度較低並可在雲下飛行取像，與大型載具相比可更機動性獲取空間解析度較高之影像，雖無法如大型載具酬載大像幅感測器供大區域圖資製作，但於小區域之圖資更新卻相當適合。但一般 UAV 因酬載重量限制，僅可酬載體積小且重量輕之感測器，如非量測型相機及低精度定位定向系統，即 AHRS 系統。因此，本研究嘗試在 UAV 上酬載 Trimble BD970 GNSS OEM GPS 接收模組，此 GPS 接收模組體積小且重量輕可安置於 UAV 上，並透過 VBS-RTK GPS 定位技術獲取 UAV 精確飛行軌跡資訊，再經時間內插相機曝光瞬時的 GPS 資訊供空中控制使用，輔助 UAV 影像空中三角測量(簡稱空三)平差，以降低地面控制點需求。

但欲引入 GPS 觀測量供空中控制使用必須考量 GPS 天線與相機投影中心偏移量之問題，但因 UAV 所酬載之非量測型相機，將造成此偏移量不易透過地面測量方式測得，於本研究將於空三平差時使用線性漂移參數克服此偏移量無法量測之問題；此外，UAV 所酬載之非量測型相機，相機參數乃透過地面近景攝影測量以自率光束法平差方式率定所得，但率定所得相機參數無法完全描述相機在航拍取像時的情況，故本研究於空三平差將採用自率光束法克服相機參數率定不完全之問題。實驗中，將驗證自率光束法平差於此研究的適用性、探討不同地面控制點配置及來源對空三平差之精度探討，並驗證 VBS-RTK GPS 輔助 UAV 影像自率光束法空三平差的可行性。

中文關鍵詞：無人飛行載具、虛擬基準站即時動態定位、線性漂移參數、自率光束法、空三平差

英文摘要：UAV(Unmanned Aerial Vehicle) is currently used in civil purpose such as mapping and disaster monitoring. One of UAV advantages is to collect images with high resolution for mapping demand. However, due to payload limitations of UAV, it is

difficult to mount metric aerial camera and precise POS(Positioning and Orientation System) device. Instead, only the non-metric camera and the low accurate AHRS (Attitude and Heading Reference System) can be installed. For mapping demands, Trimble BD970 GNSS OEM board will be carried on the UAV to collect the high accurate flying trajectory as control information for AT (aerial triangulation) by VBS-RTK(Virtual Base Station - Real Time Kinematic) GPS technique. Meanwhile self-calibration bundle adjustment will be employed for AT(Aerial Triangulation) to overcome the imperfect calibration of non-metric camera by the close-range photogrammetric approach. The precise offset between image perspective center and GPS antenna center, called GPS antenna-camera offset, is hard to measure in centimeter level by terrestrial measurement approach. Therefore the drift parameters will be utilized to solve the problem of GPS antenna-camera offset while performing bundle adjustment with self-calibration for AT of UAV images. In the experiments of this study, the adaptability of drift parameters and self-calibration for GPS supported AT of UAV images will be verified. Finally, the accuracy of AT by using different control information will be analyzed and appropriate configuration of GCPs(Ground Control Points) for VBS-RTK GPS supported self-calibration bundle adjustment for AT of UAV images will be proposed under the mapping demand with the scale of 1 : 5000.

英文關鍵詞： UAV； VBS-RTK GPS； drift parameter； self-calibration bundle adjustment； aerial triangulation.

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 期中進度報告
期末報告

以 GPS 輔助無人飛行載具不同感測器影像之精確定位定向
GPS-aided Precise Positioning and Orientation of Diverse UAV

Sensing Images

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 101-2119-M-004 -001 -

執行期間：101 年 8 月 1 日至 102 年 12 月 31 日

執行機構及系所：國立政治大學地政學系

計畫主持人：邱式鴻

共同主持人：

計畫參與人員：李敏瑜、林汝晏、陳承一

本計畫除繳交成果報告外，另須繳交以下出國報告：

赴國外移地研究心得報告

赴大陸地區移地研究心得報告

出席國際學術會議心得報告及發表之論文

國際合作研究計畫國外研究報告

處理方式：除列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權，一年二年後可公開查詢

中華民國 103 年 12 月 31 日

摘要

本計畫原為整合型研究計畫「無人飛行載具多感測器之整合與火山監測之應用」的子計畫二「以高精度 GPS 定位資料輔助 UAV 上不同感測器影像之精確定位定向」的第一年計劃，其目標是以「高精度 GPS 定位資料輔助 UAV 上光學感測器影像之精確定位定向」。原整合型研究計畫僅有本子計畫二研究案經國科會核准通過補助，因此研究目標主要是以「VBS-RTK GPS 輔助 UAV 影像自率光束法空三平差之研究」。

無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)於要求精度之圖資測製應用時，因飛行高度較低並可在雲下飛行取像，與大型載具相比可更機動性獲取空間解析度較高之影像，雖無法如大型載具酬載大像幅感測器供大區域圖資製作，但於小區域之圖資更新卻相當適合。但一般 UAV 因酬載重量限制，僅可酬載體積小且重量輕之感測器，如非量測型相機及低精度定位定向系統，即 AHRS 系統。因此，本研究嘗試在 UAV 上酬載 Trimble BD970 GNSS OEM GPS 接收模組，此 GPS 接收模組體積小且重量輕可安置於 UAV 上，並透過 VBS-RTK GPS 定位技術獲取 UAV 精確飛行軌跡資訊，再經時間內插相機曝光瞬時的 GPS 資訊供空中控制使用，輔助 UAV 影像空中三角測量(簡稱空三)平差，以降低地面控制點需求。

但欲引入 GPS 觀測量供空中控制使用必須考量 GPS 天線與相機投影中心偏移量之問題，但因 UAV 所酬載之非量測型相機，將造成此偏移量不易透過地面測量方式測得，於本研究將於空三平差時使用線性漂移參數克服此偏移量無法量測之問題；此外，UAV 所酬載之非量測型相機，相機參數乃透過地面近景攝影測量以自率光束法平差方式率定所得，但率定所得相機參數無法完全描述相機在航拍取像時的情況，故本研究於空三平差將採用自率光束法克服相機參數率定不完全之問題。實驗中，將驗證自率光束法平差於此研究的適用性、探討不同地面控制點配置及來源對空三平差之精度探討，並驗證 VBS-RTK GPS 輔助 UAV 影像自率光束法空三平差的可行性。

關鍵字：無人飛行載具、虛擬基準站即時動態定位、線性漂移參數、自率光束法、空三平差

Abstract

UAV(Unmanned Aerial Vehicle) is currently used in civil purpose such as mapping and disaster monitoring. One of UAV advantages is to collect images with high resolution for mapping demand. However, due to payload limitations of UAV, it is difficult to mount metric aerial camera and precise POS(Positioning and Orientation System) device. Instead, only the non-metric camera and the low accurate AHRS (Attitude and Heading Reference System) can be installed. For mapping demands, Trimble BD970 GNSS OEM board will be carried on the UAV to collect the high accurate flying trajectory as control information for AT (aerial triangulation) by VBS-RTK(Virtual Base Station - Real Time Kinematic) GPS technique. Meanwhile self-calibration bundle adjustment will be employed for AT(Aerial Triangulation) to overcome the imperfect calibration of non-metric camera by the close-range photogrammetric approach. The precise offset between image perspective center and GPS antenna center, called GPS antenna-camera offset, is hard to measure in centimeter level by terrestrial measurement approach. Therefore the drift parameters will be utilized to solve the problem of GPS antenna-camera offset while performing bundle adjustment with self-calibration for AT of UAV images. In the experiments of this study, the adaptability of drift parameters and self-calibration for GPS supported AT of UAV images will be verified. Finally, the accuracy of AT by using different control information will be analyzed and appropriate configuration of GCPs(Ground Control Points) for VBS-RTK GPS supported self-calibration bundle adjustment for AT of UAV images will be proposed under the mapping demand with the scale of 1 : 5000.

Keywords: UAV; VBS-RTK GPS; drift parameter; self-calibration bundle adjustment; aerial triangulation.

目錄

摘要	II
ABSTRACT	III
目錄	IV
圖目錄	V
一、 表目錄	VI
一、 前言研究目的	1
二、 文獻探討	2
三、 研究方法及步驟	3
四、 儀器及軟體	5
第一節 GPS 接收模組：BD970 GNSS OEM BOARD(TRIMBLE, 2010)	5
第二節 相機：CANON EOS 5D-II	6
第三節 UAV：定翼機 DoDo PRO	6
第四節 相機率定軟體：IWITNESSPRO	7
第五節 空三平差軟體：ORIMA	9
五、 實驗與分析	11
第一節 BD970 動態定位地面測試	12
(1) 實驗成果	13
(2) 小結	15
第二節 線性漂移參數之適用性	15
(1) 實驗設計	15
(2) 實驗成果	20
(3) 小結	21
第三節 自率光束法於 GPS 輔助空三平差之適用性	21
(1) 實驗設計	21
(2) 實驗成果	25
(3) 小結	26
第四節 點特徵航空影像控制資訊建置地控點之可行性	27
(1) 實驗設計	27
(2) 實驗成果	30
(3) 小結	31
第五節 GPS 輔助 UAV 影像自率光束法空三平差	33
(1) 實驗設計	33
(2) 實驗成果	34
(3) 小結	36
六、 結論與建議	36
第一節 結論	36
第二節 建議	37
七、 參考文獻	39

圖目錄

圖 3.1.	研究流程圖研究流程圖.....	4
圖 4.1.	TRIMBLE BD970 GNSS OEM 接收模組及天線.....	5
圖 4.2.	CANON EOS 5D-II 與 24MM 鏡頭.....	6
圖 4.3.	定翼式 UAV (國土測繪中心, 2010).....	6
圖 4.4.	UAV 組件示意圖(國土測繪中心, 2010).....	7
圖 4.5.	CANON EOS 5D MARK II 相機 24MM 鏡頭的相機率定場.....	8
圖 4.6.	率定時像片曝光站分布示意圖.....	8
圖 4.7.	率定標與相機於物空間分布圖示.....	8
圖 4.8.	ORIMA 不同觀測量加入之視窗.....	10
圖 4.9.	ORIMA 相機參數率定時之選項視窗.....	10
圖 5.1.	實驗流程.....	12
圖 5.2.	移動站之 GPS 天線靜置於車頂.....	12
圖 5.3.	後處理動態差分定位之定位軌跡.....	13
圖 5.4.	快速移動下 GPS 接收模組 BD970 之 VBS-RTK GPS 定位軌跡.....	13
圖 5.5.	高速移動下 BD 970 之 VBS-RTK GPS 與後處理動態差分定位成果套疊.....	14
圖 5.6.	快速移動下 VBS-RTK GPS 定位成果與後處理動態差分定位之差值部分成果顯示....	14
圖 5.7.	線性漂移參數適用性之高雄美濃試驗區.....	16
圖 5.8.	線性漂移參數適用性之試驗區連結點分布.....	16
圖 5.9.	線性漂移參數適用性之試驗區連結點與投影中心網形.....	17
圖 5.10.	模擬資料平差確定無誤之圖示.....	17
圖 5.11.	線性漂移參數模擬實驗之實驗流程圖.....	18
圖 5.12.	線性漂移參數模擬實驗時地面控制點配置.....	19
圖 5.13.	線性漂移參數模擬實驗時檢核點配置.....	19
圖 5.14.	各觀測量皆加入隨機誤差解算之漂移附加差數常數項.....	20
圖 5.15.	僅 GPS 觀測量加入隨機誤差解算之漂移附加差數常數項.....	20
圖 5.16.	花蓮縣吉安鄉航拍範圍.....	22
圖 5.17.	ORIMA 自率光束法空三平差時之相機參數設定.....	23
圖 5.18.	自率光束法空三平差適用性實驗中地面控制點及像片分布.....	24
圖 5.19.	自率光束法空三平差適用性實驗中檢核點及像片分布.....	24
圖 5.20.	自率光束法空三平差適用性實驗中連結點分布.....	24
圖 5.21.	自率光束法空三平差適用性實驗中連結點與投影中心網形結構.....	25
圖 5.22.	航帶首尾佈設控制鏈其地面控制點分布圖.....	28
圖 5.23.	增加正交航帶提升幾何條件其地面控制點分布圖.....	28
圖 5.24.	航帶首尾佈設控制鏈之 GPS 輔助自率光束法空三平差 檢核點分布圖.....	29
圖 5.25.	航帶首尾佈設控制鏈之 GPS 輔助自率光束法空三平差連結點分布.....	29
圖 5.26.	航帶首尾佈設控制鏈之 GPS 輔助自率光束法空三平差連結點 與投影中心網形結構.....	29
圖 5.27.	點特徵航空影像控制資訊建置地控可行性之網形幾何.....	31
圖 5.28.	地面控制點分布圖.....	34
圖 5.29.	GPS 輔助 UAV 影像自率光束法空三平差實驗地面連結點分布.....	34
圖 5.30.	GPS 輔助 UAV 影像自率光束法空三平差實驗網形.....	34
圖 5.31.	UAV 影像自率光束法空三平差未知數間相關係數.....	35
圖 5.32.	GPS 輔助 UAV 影像自率光束法空三平差未知數間相關係數.....	35
圖 5.33.	自率參數間相關係數示意圖.....	36

表目錄

表 4.1	CANON EOS 5D-II 相機規格.....	6
表 5.1	差值統計量.....	15
表 5.2	各觀測量之隨機誤差.....	18
表 5.3	模擬資料 GPS 輔助 UAV 影像自率光束法均方根誤差 MODE: NO (單位：公尺).....	20
表 5.4	模擬資料 GPS 輔助 UAV 影像自率光束法均方根誤差 MODE: DRIFT (單位：公尺).....	21
表 5.5	自率光束法於 GPS 輔助空三平差適用性試驗區相關試驗資料說明.....	22
表 5.6	相機參數.....	22
表 5.7	VBS-RTK GPS 輔助 UAV 影像光束法空三平差檢核點檢核表.....	25
表 5.8	VBS-RTK GPS 輔助 UAV 影像自率光束法空三平差檢核點檢核表.....	26
表 5.9	點特徵航空影像控制資訊建置地控可行性實驗試驗區 相關試驗資料說明.....	27
表 5.10	花蓮縣吉安鄉地面實測控制點配置其空三平差精度.....	30
表 5.11	花蓮縣吉安鄉點特徵航空影像控制資訊控制點配置其空三平差精度.....	31
表 5.12	點特徵航空影像控制資訊建置地控可行性空三平差精度比較表.....	31
表 5.13	GPS 輔助 UAV 影像自率光束法空三平差實驗試驗區相關試驗資料說明.....	33
表 5.14	UAV 影像空三平差精度檢核表(GCPS:點特徵航空影像控制資訊).....	35

一、 前言研究目的

較具規模之無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)由軍事應用所發展，美國軍方將 UAV 定義為不需乘載駕駛員，並可事先規劃飛行任務及酬載感測器，飛行時透過無線電設備在半自動或全自動下執行飛行任務(Eisenbeiss, 2004)。與傳統航測相比，UAV 被視為一種新的攝影測量平台，可依據任務需求選擇飛行高度以及感測器，除了航空攝影測量，還可應用於近景攝影測量於測繪人造或自然地物之三維模型(Lerma et al., 2010; Reich et al., 2012)。此外，在此平台上所酬載感測器，不再侷限於傳統光學的航攝感測器，熱紅外儀、近紅外相機、高光譜儀及光達感測器也可酬載於 UAV 平台(Berni et al., 2009; Hunt et al., 2005; Lin et al., 2011; Zarco-Tejada et al., 2012)。

UAV 具機動性強、成本低廉、即時回覆以及可於高風險之惡地環境下執行航拍之優勢，而廣泛應用於不同領域中，如災難即時監測、自然資源監控(Horcher and Visser, 2004; Zhou et al., 2005)、作物監控以及要求精度之古蹟數位典藏及維護(Grammatikopoulos et al., 2007)。於要求精度之圖資測製時，傳統航測因載具及航攝相機體積較龐大且需乘載駕駛員，無法以較低航高飛行。相較之下，與大型載具相比可更機動性獲取空間解析度較高之影像，雖無法如大型載具酬載大像幅感測器供大區域圖資製作，但於小區域之圖資更新卻相當適合。且 UAV 具機動性且可依據任務需求選擇飛行高度，獲取空間解析度較高之影像，並可在多雲天候條件下於雲下拍攝取像，因此在製圖應用層面，圖資測製時可產製正射影像(Bendea et al., 2007; Patias et al., 2007)、地形圖(Li, 2011)、數值地形模型(Eisenbeiss and Zhang, 2006; Haarbrink and Eisenbeiss, 2008)及三維模型建置(Pueschel et al., 2008)。甚至在建置三維虛擬城市時，亦可由 UAV 獲取高解析度的側拍影像，經適當的影像糾正後，可作為三維建物模型側面紋理來源(Küng et al., 2011)。

上述所提及於要求精度圖資測製時，航拍影像需先精確定位定向，方法分為直接地理定位(direct georeferencing)以及間接地理定位(indirect georeferencing)。所謂直接地理定位，即由高精度全球定位系統(Global Positioning Systems, GPS)與慣性導航系統(Inertial Measurement Unit, IMU)整合而成的定位定向系統(Positioning Orientation Systems, POS)獲取航拍時載具的定位定向資訊，再經過系統率定(boresight calibration)即可將定位定向成果歸算至相機外方位參數，免除空中三角測量(Aerial Triangulation, AT)，後簡稱空三。其中 IMU 的精度與體積、重量成正比，當 IMU 精度越高其體積重量也就越大，一般商用 UAV 將無法負荷。目前雖有研究針對 UAV 影像直接地理定位，但僅使用 GPS 單頻載波相位觀測量(carrier phase)以後處理動態差分定位獲得優於導航型之 GPS 三維定位資訊，並搭配導航級姿態參數，致使研究成果其均方根誤差達公尺級，精度無法應用至要求精度的圖資測製(Bláha et al., 2011; Chiang et al., 2012)。

因此，UAV 影像欲應用於要求精度的圖資測製時仍需透過間接地理定位，所謂間接地理定位是透過航測空三平差的作業程序，量測適當地面控制點(Ground Control Points, GCPs)及其在影像對應的像點坐標與影像間的連結點(tie point)坐標後，配合精確的相機參數，透過共線式條件以最小二乘法原理解算 UAV 航拍影像於物空間的成像位置與姿態(即外方位參數)。由於控制點之控制測量需耗費大量勞力、時間及成本，一旦測製區域為山區或不易到達之處，

將造成控制點取得不易或成本增加。若可減少地面控制點之需求，將可降低測製成本及提高測製效率。傳統航測已有相當多研究將 GPS 觀測量加入空三平差的程序，研究成果顯示可將地面控制點需求降低(Ackermann, 1997; Bilker et al., 1998; Friess, 1990)。

現今一般商用 UAV 平台大多使用單點定位之 GPS 定位成果與 AHRS(Attitude and Heading Reference System)提供飛行載具三維坐標以及姿態參數，其精度不如傳統航測載具所酬載 POS 系統，雖可作直接地理對位，但精度不佳，僅適用於不要求精度的土地利用調查及災難救援 (Bendea et al., 2007; Eisenbeiss et al., 2005)，對於要求精度圖資測製應用仍是有所侷限。國土測繪中心(2010)於「100 年度發展無人飛行載具航拍技術作業案」曾利用模擬資料測試 UAV 影像欲引入 GPS 及 IMU 資料輔助影像定位定向，其 GPS 精度需達公分級，IMU 精度則需達 0.003° 才可有效輔助 UAV 影像空三平差。但精度達 0.003° IMU 儀器重達六公斤，一般商用 UAV 無法酬載，且金額高達數百萬，若其酬載於一般商用 UAV 將不符風險效益。因此，本研究欲於 UAV 上酬載雙頻 GPS 接收模組並使用虛擬基準站即時動態定位(Virtual Base Station - Real Time Kinematic GPS, VBS-RTK GPS)技術，藉以提升 UAV 所酬載 GPS 模組之定位精度，輔助 UAV 影像精確定位定向。在空三平差程序中，將經時間內插的相機拍攝瞬間之 GPS 觀測量作為空中控制使用，以降低空三平差時地面控制點需求，增進 UAV 航拍影像測製圖資的效益。此外，於 UAV 上酬載雙頻 GPS 接收模組，與酬載高精度 IMU 相比，其風險較小、儀器成本亦較低，較具經濟效益。

因此，本研究目的係藉由符合測製精度需求之 GPS 三維坐標觀測量，以降低空三平差的地面控制點需求及重覆性的外業測量工作，節省測製成本，並促進 UAV 航測製圖之作業效率。此外，使用 VBS-RTK GPS 不僅可提供精確的飛行軌跡，在成本及勞力考量下，甚至不需派遣人員至測製區域內架設基準站，只需在 UAV 上酬載雙頻之 GPS 接收模組，便可透過國內國土測繪中心所建置之 e-GPS 服務，產生虛擬基準站觀測量，再以 RTK 定位技術以即時或後處理方式，求得 UAV 精確飛行軌跡，提供空三平差中高精度空中控制資訊。

二、 文獻探討

本研究擬以 VBS-RTK GPS 提高 UAV 上 GPS 觀測量的精度，再加入此高精度 GPS 觀測量至 UAV 影像空三平差，提供大量空中控制觀測量，降低地面控制點需求。欲達此目的，首先面臨 GPS 模組的選擇，該模組必須能夠接收雙頻載波相位觀測資料，且定位精度需符合 GPS 輔助空三平差之精度需求。因此，選取合適的 GPS 設備後，需於地面測試以 VBS-RTK GPS 定位其成果是否符合 GPS 輔助空三平差之精度需求。

確定 GPS 接收模組其定位精度符合需求後，即可將 GPS 設備酬載於 UAV 上進行航拍取像，但由於 GPS 定位成果與相機曝光瞬時三維位置及時間標籤並非一致，欲使用 VBS-RTK GPS 定位成果於要求精度之圖資測製的空三平差過程中，將面臨 GPS 定位成果空間歸算及時間內插問題。空間歸算部分於傳統大型載具，因酬載量測型相機，以地面測量時透過像片框標可約略測得相機投影中心，並藉由旋轉矩陣得 GPS 天線至相機投影中心偏移量；但 UAV 所酬載感測器為非量測型相機，相機中的感光元件(Charge Coupled Device, CCD)體積相當小僅數毫米且無法拆卸，造成 GPS 天線至相機投影中心偏移量無法量測。

過去文獻提及線性漂移參數(drift parameters)可克服 GPS 天線至相機投影中心偏移量量測

不完全所引起之系統誤差(Blankenberg, 1992)，而掛載於 LPS(Leica Photogrammetry Suite)上的空三平差軟體 ORIMA(ORIENTATION Management)作者 Hinsken 等人(2002)提出以線性漂移參數中常數項可克服 GPS 天線至相機投影中心偏移量未量測之問題；於其他文獻則是提及此線性改正參數除可克服 GPS 空間歸算及時間內插不完全所引起之系統誤差外，亦可解決 GPS 定位過程因週波脫落(cycle slip)導致整數週波未定值(integer ambiguity)解算不精確之問題，甚至坐標基準不同亦可透過此參數部分克服之(Ackermann, 1994)。將上述所提及之系統誤差影響降至最低，GPS 觀測資料才發揮空中控制之效用，降低地面控制點需求。

此外，因一般商用 UAV 酬載能力有限，僅重量較輕、體積較小的非量測相機可酬載於 UAV 上。但非量測型相機因製作成本較低，穩定性較量測型相機差，欲應用於精度要求之圖資測製時，相機需事先率定(Hongxia et al., 2007)。而目前率定方式多以地面近景攝影測量方式率定，加上各率定軟體具備不同相機率定標及率定流程，導致率定成果不一致，率定成果將因率定軟體、率定環境不同而有所變化。但 UAV 取像條件又無法與率定環境(尤其是取像距離)保持一致，因此導致率定所得參數無法完全描述相機於航拍取像時之情況，於空三平差過程將造成系統誤差。此時，可於空三平差時引入自率光束法平差(self-calibration bundle adjustment)克服 UAV 取像與率定環境無法保持一致之問題(謝幸宜, 2011; Lin, 2008; Tahar et al., 2011; Rosnell et al., 2011; Zhou and Wu., 2006)。

故本研究使用 GPS 輔助 UAV 影像空三平差，引入線性漂移參數解決 GPS 定位及歸算過程所造成之系統誤差；另一方面為克服非量測相機及率定不完全所引起像點系統誤差，則使用自率光束法空三平差克服。因於空三平差引入線性漂移參數及自率光束法，因此仍需搭配適當地面控制點以穩定未知數之求解。

由於地面控制點建置以往皆採用地面施測控制測量，此施測方式需耗費一定時間、人力及製圖成本。而歷年來已累積大量經空三平差之資料及圖資，若在已完成空三平差之立體模型量測自然點作為地面控制資訊，則可省略地面控制點之控制測量程序及成本，此概念稱為點特徵航空影像控制資訊(control information)。因此，本研究亦透過點特徵航空影像控制資訊概念，探討以點特徵航空影像控制資訊作為空三平差地面控制點是否恰當。

三、 研究方法及步驟

綜合上節所述，本研究將使用 Trimble 所開發之 BD970 GNSS OEM board GPS 接收模組解算的精確 UAV 飛行軌跡，此接收模組並非商用 GPS 接收儀，又因尚無文獻深入探討 VBS-RTK GPS 於高速移動情況下之定位精度及其輔助空三平差之可行性。因此於本研究第一部分，必須確定此接收模組在高速移動下其定位精度是否可達公分級，見圖 3-1 藍底黑字部分。若符合精度需求後續才可使用此模組以 VBS-RTK GPS 獲取 UAV 精確飛行軌跡。

後續將此接收模組安置於 UAV 上，並於 UAV 航拍取像過程中接收 GPS 雙頻載波相位觀測量後續以 VBS-RTK GPS 技術精確解算 UAV 飛行軌跡。但由於 GPS 記錄時間並非對應至相機曝光瞬間，必須以線性內插求出每一張像片曝光瞬時所對應之定位成果，見圖 3-1 紫底黑字處。經時間內插後的 GPS 觀測資料即可將其視為觀測量加入 UAV 影像空三平差。

然因 UAV 酬載非量測相機，使用前必須經相機率定，率定過程、方式皆依率定軟體 iWitnessPRO 建議布標及拍攝(Photometrix, 2010)，透過自動計算獲得相機參數，見圖 3-1 黃

底黑字部分。但由於率定環境與率定成果具有高相關性，加上 UAV 飛行取像時無法令取像時其外在條件(如取像距離)保持與率定環境一致，於平差過程將造成系統誤差。因此，後續空三平差將使用自率光束法克服相機參數率定不完全之問題。

而在地面控制點部分，嘗試引入點特徵航空影像控制資訊建立 UAV 影像空三平差之地面控制點，探討以點特徵航空影像控制資訊替代地面實測控制點於 VBS-RTK GPS 輔助 UAV 影像空三平差之可行性，見圖 3-1 白底黑字處。並探討 GPS 輔助 UAV 影像自率光束法空三平差與自率光束法空三平差之空三平差精度，見圖 3-1 綠底黑字處。

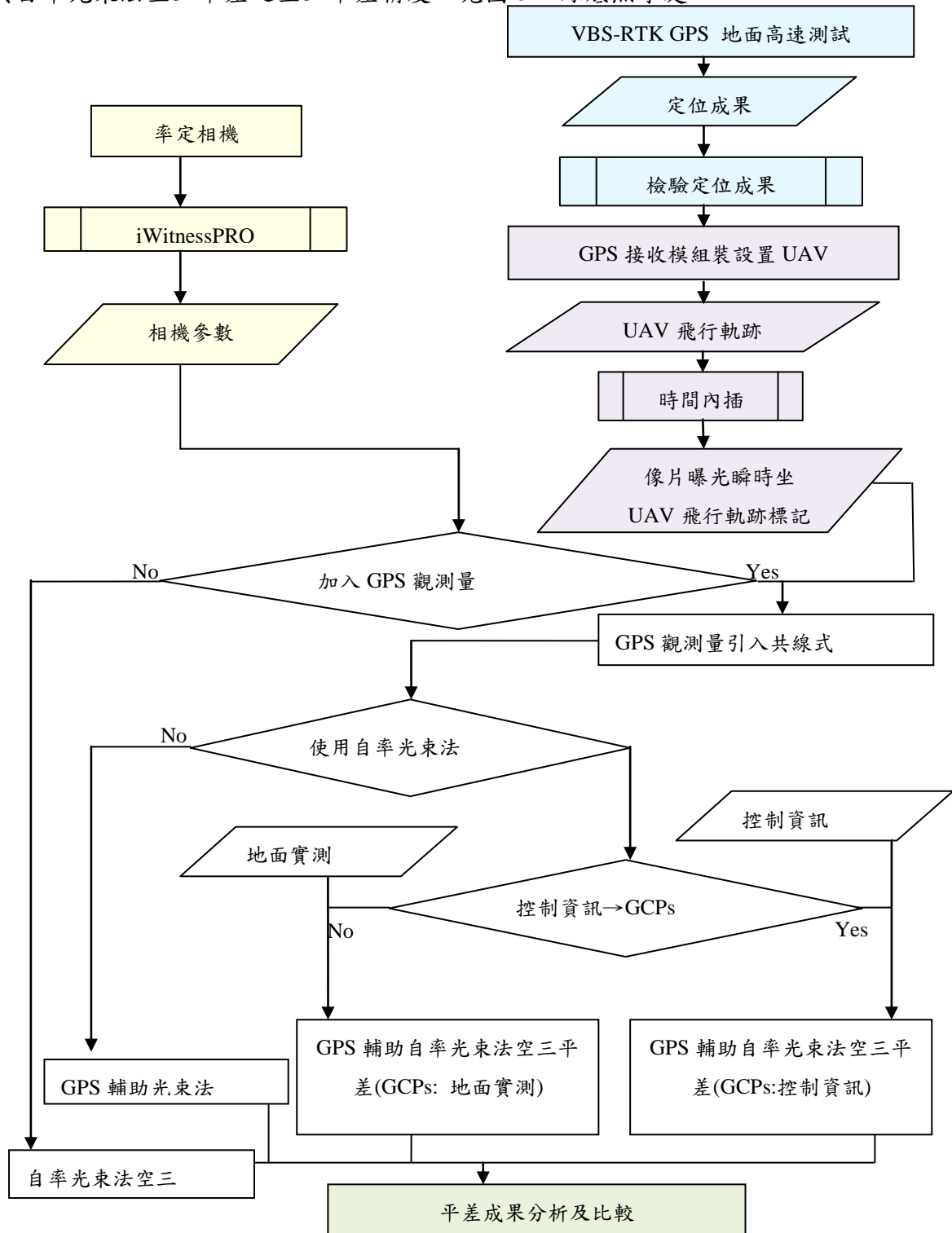


圖3.1. 研究流程圖研究流程圖

四、 儀器及軟體

第一節 GPS 接收模組：BD970 GNSS OEM board(Trimble, 2010)

由 Trimble 設計開發 BD970 GNSS OEM board 並搭配 ANTCOM GPS 天線 G5(以下簡稱 BD970)，如圖 4-1 所示，此接收模組體積小、重量輕，可酬載於 UAV 上，並可接收 GPS、GLONASS 及 Galileo 雙頻訊號。

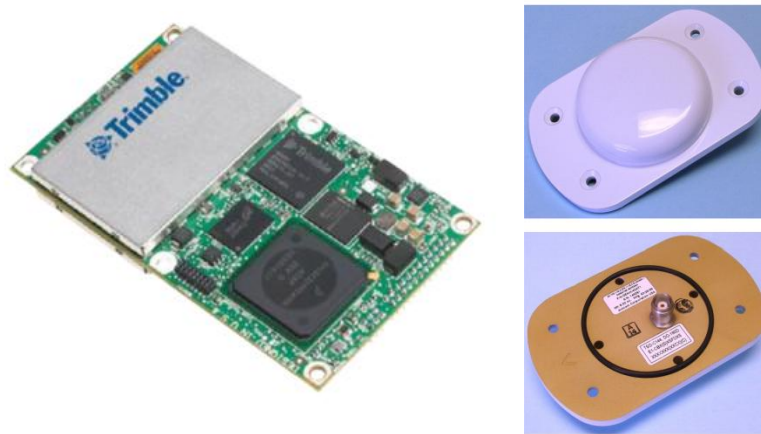


圖4.1. Trimble BD970 GNSS OEM 接收模組及天線

BD970 採用整合型多工低雜訊放大器(Low Noise Amplifier, LNA)，單一天線可接收多頻率訊號，並可同時處理 GPS、GLONASS、Galileo，交由 220 頻道相關器引擎進行電碼及載波比對，進而得到觀測量與衛星星曆。因大多數 GPS 接收儀接收速率受限於 1 Hz，此 GPS 接收模組最多可達 50 Hz，雖本研究於空三平差實驗階段，受限於無線電通訊問題，僅可以後處理 VBS-RTK GPS 技術獲取 1 Hz 之飛行軌跡，但考慮未來擴充性，一旦克服無線電之硬體設備後，便可以即時定位獲得高頻率之移動軌跡，因此在本研究將使用此 GPS 接收模組。另外，BD970 的主要特色說明如下：

1. 具備輸出 GNSS 原始載波相位觀測量及虛擬距離觀測量之功能。
2. 具備 2 組以上 RS-232 序列埠輸出/輸入功能及 1 組 USB 傳輸埠。
3. 具備內建及可外接天線功能，因此可連結其他廠牌 GPS 天線。
4. 具備 1 組 LAN Ethernet port：可支援連接至 10BaseT/100BaseT 網路，其網路協定支援 HTTP (web GUI)、FTP Server (when data logging is enabled)、FTP Push (when data logging is enabled)、NTPServer 及 NMEA... 等。

而 BD970 GPS 接收模組資料接收設定如下：

1. GPS 接收速率為 5 Hz，即每秒接收 5 筆，並接收雙頻載波相位觀測量。
2. 當 GPS 衛星高程角低於 15 度，容易造成多路徑效應，可在 GPS 接收前設定低於 15 度高程角之觀測資料予以刪除。
3. 接續利用 Internet 連接 e-GPS 服務，依據測區不同而選用適當服務區。

第二節 相機：Canon EOS 5D-II

本研究光學感測器選用非量測相機 Canon EOS 5D Mark II，並搭配同一廠牌之 24 mm 鏡頭(見圖 4-2)，詳細規格如表 4-1。於地面率定時將相機對焦至無窮遠後固定焦距至 UAV 航拍任務結束，於航拍取像時快門及光圈則設定為 1/1600 秒及 F/4。



圖4.2. Canon EOS 5D-II 與 24mm 鏡頭

表4.1 Canon EOS 5D-II 相機規格

最高畫素	5616 x 3744 (21.0 MP)
CCD 尺寸	36×24 mm CMOS
最高速快門	1/8000 sec
相機大小	152×114×75 mm
重量	810 g
Pixel 大小	6.4 μm

第三節 UAV：定翼機 DoDo Pro

根據飛行區域地理條件，應選擇不同 UAV 機種，依據 UAV 的飛行特性可區分為定翼機 (fixed wing) 與旋翼機 (rotary wing)。旋翼機可定點拍攝，不需跑道升降，可垂直起降，適用於建物密集的都市、地形崎嶇之地區。定翼機則是飛行過程可保持速度一致，取像時穩定性較佳，且續航力較高，缺點是起降時需要跑道(約莫 100 公尺)且無法定點拍攝。實驗區域為花蓮，地形起伏平坦、空曠，易於找尋 UAV 起降跑道，於研究中將採用定翼型 UAV，如圖 4-4 即為研究所採用國產的 DoDo Pro 定翼型 UAV。



圖4.3. 定翼式 UAV (國土測繪中心，2010)

DoDo Pro 擁有 5 公斤的酬載能力，飛行時間可達 3 個小時以上，且因重量較一般旋翼機重，故具有較佳抗風性能。因 DoDo Pro 有效酬載達 5 公斤，且有效酬載空間為 $16 \times 16 \times 20$ (cm^3)，因此可同時酬載單眼數位相機、GPS 接收模組以及 AHRS 等設備(國土測繪中心，2010)，見圖 4-4。



圖4.4. UAV 組件示意圖(國土測繪中心，2010)

第四節 相機率定軟體：iWitnessPRO

iWitnessPRO 為自動率定相機軟體，該軟體同樣使用近景攝影測量方式自動率定獲得相機參數。率定之數學模式為 Australis 模式，其數學模式修改 Brown 物理模式所得(Fraser, 1997)，見式(4-1)：

$$\begin{cases} \Delta x = -\Delta x_0 - \frac{\bar{x}}{f} \Delta f + \bar{x}r^2 K_1 + \bar{x}r^4 K_2 + \bar{x}r^6 K_3 + P_1(r^2 + 2\bar{x}^2) + 2P_2\bar{x}\bar{y} + b_1\bar{x} + b_2\bar{y} \\ \Delta y = -\Delta y_0 - \frac{\bar{y}}{f} \Delta f + \bar{y}r^2 K_1 + \bar{y}r^4 K_2 + \bar{y}r^6 K_3 + 2P_1\bar{x}\bar{y} + P_2(r^2 + 2\bar{y}^2) \end{cases} \quad (4-1)$$

- $\Delta x, \Delta y$: 像點改正量
- $\Delta x_0, \Delta y_0$: 像主點偏移量改正量
- \bar{x}, \bar{y} : 以影像中心為原點之像坐標
- r : 像點的輻射距離
- $f, \Delta f$: 像主距及改正量
- $K_1, K_2, K_3, P_1, P_2, b_1, b_2$: 相機畸變差改正參數

率定時要求 20 個率定標必須均勻分布且景深差異需 15~20 公分，見圖 4-5 為率定場現場布標狀況，此外率定取像之交會角度需介於 70~100 度之間。本研究率定過程其物距約莫 8 公尺，率定時像片曝光站分布(見圖 4-6)，每一曝光站拍攝時並按順序旋轉相機取像，共拍攝 9 張，率定標與相機於物空間分布情況見圖 4-7。



圖4.5. Canon EOS 5D Mark II 相機 24mm 鏡頭的相機率定場

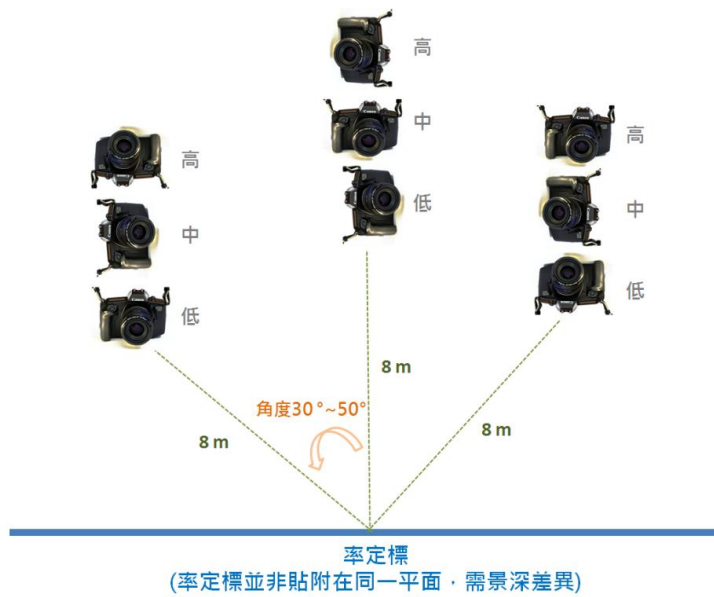


圖4.6. 率定時像片曝光站分布示意圖

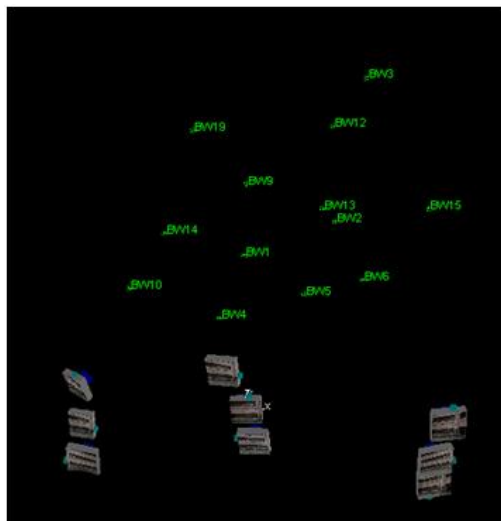


圖4.7. 率定標與相機於物空間分布圖示

第五節 空三平差軟體：ORIMA

本研究空三平差軟體採用掛於 LPS 軟體上空三平差解算軟體 ORIMA，此軟體除像點觀測量外，允許使用者加入 GPS 觀測量(見圖 4-8)，並可選擇線性漂移參數克服 GPS 天線至相機投影中心偏移量無法量測問題，因此可執行 GPS 輔助 UAV 影像空三平差。而對於像點觀測量提供自率附加參數—Brown 物理模式(Brown, 1976)， Δx 、 Δy 為描述像點的系統誤差，基本上可視為像坐標的函數，以 18 個參數所描述，而參數間近乎正交，以避免多數參數間高度相關，見式 4-2：

$$\begin{cases} \Delta x = f_1(x, y) \\ \Delta y = f_2(x, y) \end{cases} \quad (4-2)$$

$$\begin{aligned} \Delta x = & x_0 + x[a_1(r^2 - r_0^2)^2 + a_2(r^4 - r_0^4) + a_3(r^6 - r_0^6)] + b_1x + b_2y \\ & + \frac{x}{f}[c_1(x^2 - y^2) + c_2x^2y^2 + c_3(x^4 - y^4)] \\ & + d_1xy + d_2x^2 + d_3x^2y + d_4xy^2 + d_5x^2y^2 \\ \Delta y = & y_0 + y[a_1(r^2 - r_0^2) + a_2(r^4 - r_0^4) + a_3(r^6 - r_0^6)] \\ & + \frac{y}{f}[c_1(x^2 - y^2) + c_2x^2y^2 + c_3(x^4 - y^4)] \\ & + d_6x + d_7x^2 + d_8x^2y + d_9xy^2 + d_{10}x^2y^2 \end{aligned}$$

- $\Delta x, \Delta y$: 像點改正量
- x_0, y_0 : 像主點偏移量
- f : 像主距
- a_1, a_2, a_3 : 輻射透鏡畸變差
- b_1, b_2 : 仿射及非正交
- c_1, c_2, c_3 : 底片不平坦
- d_1, \dots, d_{10} : 底片變形及非輻射方向畸變差

ORIMA 並可讓使用者可個別選擇相機參數如像主距(CFL)、像主點(x0,y0)、透鏡畸變差(a1,a2,a3 and Optional terms)是否解算，見圖 4-9 別由 Locked、Constrained、Free 選項決定，其中 Locked 係空三平差過程不解算，而 Free 則是允許在空三平差過程中一併求解之，Constrained 則是介於兩者之間，解算時由所提供之相機參數值小幅變動。

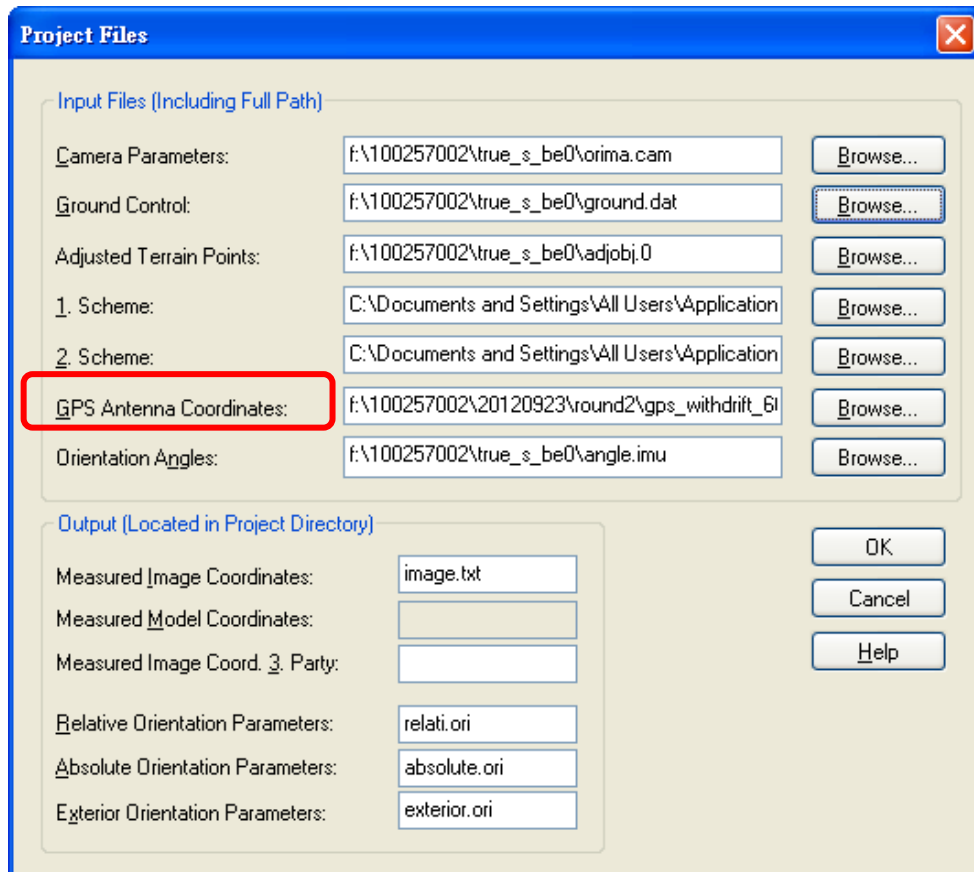


圖4.8. ORIMA 不同觀測量加入之視窗

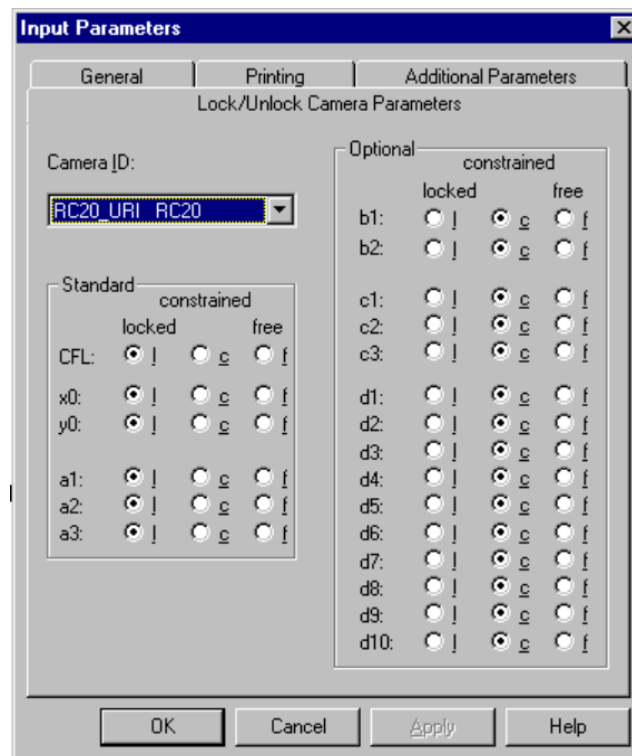


圖4.9. ORIMA 相機參數率定時之選項視窗

五、 實驗與分析

本研究實驗中空三平差地面控制點與檢核點皆以 RTK 實測所得，測得之橢球高藉內政部公告大地起伏轉換程式獲得三維控制及檢核資訊。空三平差精度分析均以檢核點均方根誤差(Root Mean Square Error, RMSE)分析。於自率光束法空三平差時，自率附加參數模式為 Brown 物理模式(Brown, 1976)，考量透鏡畸變差大部分來自輻射畸變差(Clarke et al., 1998)，平差過程僅允許像主距、像主點、輻射畸變差可變動，其他參數如底片不平坦、非輻射畸變差改正參數不納入空三平差中，如此一來亦可降低參數間因高相關而互相影響之問題。本研究實驗將分為下列五項，見圖 5-1：

(1) 實驗一：

測試使用 GPS 接收模組 BD970 在高速移動情況下是否仍可透過 VBS-RTK GPS 技術獲得高精度三維資訊。

(2) 實驗二：

由於 GPS 天線至相機投影中心無法量測，實驗二將使用以往真實 UAV 影像空三平差之成果，將觀測量予以改正為無誤差之觀測量。接續模擬測試於像點、地面控制點、GPS 觀測量加入隨機誤差。其中 GPS 觀測量是由解算所得之曝光站位置加上模擬偏移量，於空三平差以線性漂移參數檢驗其參數是否可克服 GPS 天線至相機投影中心無法量測之問題。

(3) 實驗三：

以實際 VBS-RTK GPS 觀測資料於 UAV 影像空三平差，比較使用自率光束法的空三平差精度是否提升，探討自率光束法是否適用於 VBS-RTK GPS 輔助 UAV 影像空三平差。

(4) 實驗四：

由於空三平差需耗費大量人力及成本建置地面控制點，實驗四將使用點特徵航空影像控制資訊作為 VBS-RTK GPS 輔助 UAV 影像自率光束法空三平差時地面控制點來源，探討點特徵航空影像控制資訊作為地面控制點來源之可行性，探討 VBS-RTK GPS 輔助 UAV 影像自率光束法空三平差精度是否足以符合 1/5000 基本圖圖資測製之精度要求。

(5) 實驗五：

確定自率光束法適用於 GPS 輔助 UAV 影像空三平差後，接續比較 GPS 觀測量引入後，其空三平差精度是否與需使用大量地面控制點之自率光束法空三平差精度差異不大，並分析同樣使用自率光束法執行空三平差之情況下，以 VBS-RTK GPS 輔助 UAV 影像自率光束法是否可降低未知數間之相關程度。

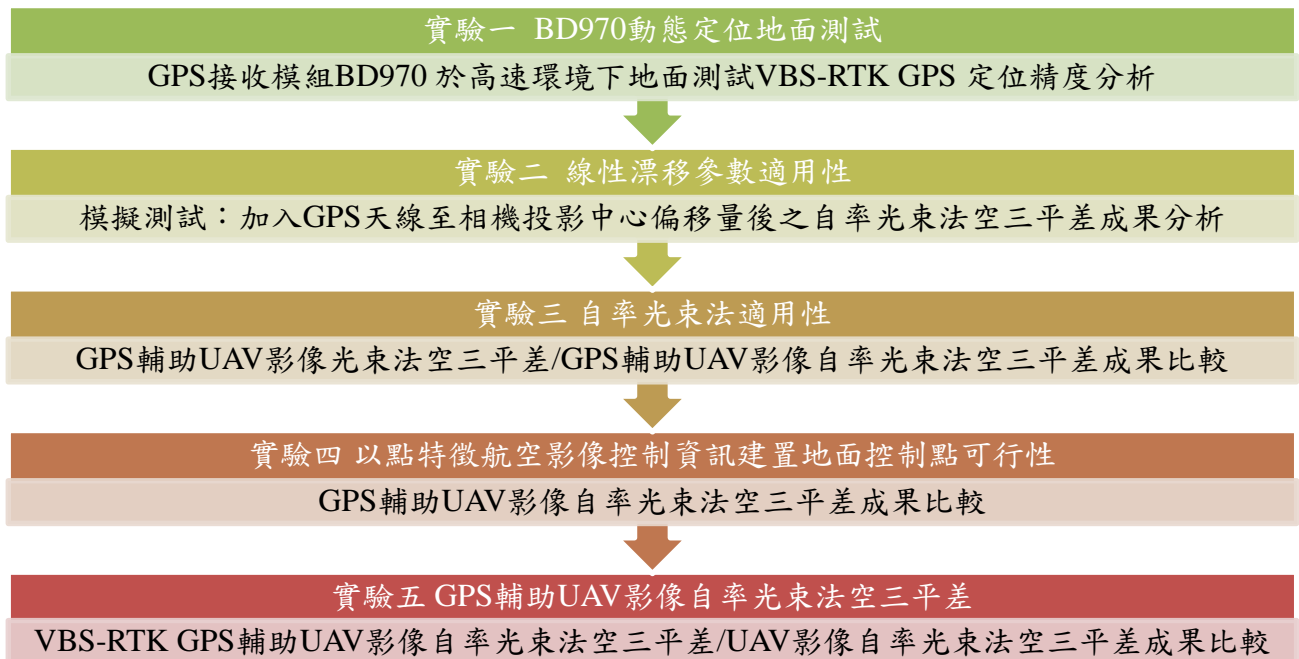


圖5.1. 實驗流程

第一節 BD970 動態定位地面測試

此實驗目的是為探討 GPS 接收模組 BD970 在高速移動下以 VBS-RTK GPS 即時解算之定位精度，測試時將 GPS 接收模組 BD970 之 GPS 天線架設於汽車車頂（見圖 5-2），並以 RS-232 線路將 GPS 天線與 GPS 接收模組 BD970 串接，以無線上網方式使用 e-GPS 即時定位服務。而 GPS 接收模組 BD970 之定位頻率仍設定為 5 Hz，即一秒記錄 5 筆即時定位資料，實驗路線為安坑交流道至國立政治大學，實驗時必須讓 GNSS 接收儀初始化約 5~10 分鐘，即可確定整數週波未定值，當週波未定值求解正確後，便可開始正確求解未知點之三維坐標進行即時定位，車子行駛時以時速約 100 公里的速度前進以模擬 UAV 之飛行速度。獲得定位成果後，在資料篩選部分，必須將衛星接收顆數 4 顆以下之定位資料將予以刪除，才可確保整數週波未定值可得到 FIX 解，便可獲得正確定位成果。



圖5.2. 移動站之 GPS 天線靜置於車頂

由於本實驗定位過程在高速移動情況下定位，無法取得每個曆元定位成果之坐標真值，因此檢核資料將使用後處理動態差分定位，在過去研究此定位技術可達數公分等級，滿足空三平差 GPS 觀測量需求之精度。後處理動態差分定位其移動站觀測資料同樣以 GPS 接收模組 BD970 記錄，基準站觀測資料則以國立政治大學社科院 16 樓樓頂 GPS 主站接收，移動站與基準站將同時接收之雙頻載波相位觀測資料，接續於室內以後處理動態差分定位方式解算每個曆元所對應之坐標值。

(1) 實驗成果

首先以視覺方式檢核，見圖 5-3 為後處理動態差分定位解算軌跡展繪於 Google Earth 底圖；圖 5-4 則為高速移動下 GPS 接收模組 BD970 以 VBS-RTK GPS 定位之軌跡展繪於 Google Earth 底圖，圖 5-5 則將兩者套疊至 Google earth 底圖並拉近放大，以視覺方式檢視，兩者差異並不大。實驗過程因交流道位於山區，遭遇地形及隧道遮擋而訊號中斷，見圖 5-3 與 5-4 紅框處，因此無法每個曆元皆定位成功。但以 UAV 執行航拍任務時，UAV 於空中執行航拍時其透空度良好，遮蔽情形應不會發生。



圖5.3. 後處理動態差分定位之定位軌跡



圖5.4. 快速移動下 GPS 接收模組 BD970 之 VBS-RTK GPS 定位軌跡



圖5.5. 高速移動下 BD 970 之 VBS-RTK GPS 與後處理動態差分定位成果套疊

接續以量化方式檢核 GPS 接收模組 BD970 以 VBS-RTK GPS 定位之成果，因定位點數多達 640 筆，因此僅呈現局部，將 VBS-RTK GPS 定位成果減去後處理動態差分定位成果，其差值皆為數公分級如圖 5-6。接續計算差值統計量，如平均值、最大值、最小值、RMSE，見表 5-1，可透過差值最小值與最大值在 E、N 方向絕對值皆低於 4 cm，而差值最小值與最大值於高程方向則是低於 6 cm，確定計算 E、N、h 差值時無粗差存在。以 RMSE 判斷 VBS-RTK GPS 定位精度，於 E、N 方向約莫 3 cm，高程則可達 6 cm。

	Time tag hhmmss.s	dE	Unit : meters dN	dh
73	171109.4	-0.024500000	0.036000000	0.059500000
74	171110.0	-0.022300000	0.035000000	0.055900000
75	171111.0	-0.023400000	0.033000000	0.052600000
76	171111.4	-0.025700000	0.038000000	0.055600000
77	171111.8	-0.026900000	0.036000000	0.054200000
78	171113.4	-0.021700000	0.035000000	0.058700000
79	171113.8	-0.028800000	0.039000000	0.053900000
80	171116.4	-0.017500000	0.034000000	0.058900000
81	171117.8	-0.027100000	0.029000000	0.059800000
82	171120.0	-0.018900000	0.038000000	0.055500000
83	171123.4	-0.026900000	0.038000000	0.058100000
84	171126.8	-0.022500000	0.035000000	0.059600000
85	171127.2	-0.018000000	0.036000000	0.056300000
86	171128.4	-0.026600000	0.039000000	0.059900000
87	171132.0	-0.019500000	0.037000000	0.055800000
88	171132.6	-0.020300000	0.039000000	0.052900000
89	171133.0	-0.016500000	0.031000000	0.046800000
90	171136.4	-0.014500000	0.038000000	0.040200000
91	171137.6	-0.018900000	0.034000000	0.056600000
92	171138.2	-0.019500000	0.038000000	0.048000000
93	171138.6	-0.021900000	0.038000000	0.054800000
94	171139.6	-0.019400000	0.031000000	0.054300000
95	171140.0	-0.023500000	0.037000000	0.059000000
96	171140.6	-0.024400000	0.039000000	0.059300000
97	171141.0	-0.017400000	0.037000000	0.051000000

圖5.6. 快速移動下 VBS-RTK GPS 定位成果與後處理動態差分定位之差值部分成果顯示

表5.1 差值統計量

統計量	單位：公尺		
	dE	dN	dh
平均值	-0.023	0.034	0.054
最小值	-0.036	0.023	0.037
最大值	-0.012	0.039	0.060
RMSE	0.023	0.034	0.055

(2) 小結

透過高速移動測試，確定在高速移動情況下仍可正常解算出每曆元(0.2 秒)相對應之三維坐標。然因，測試路徑為國道，受地形因素之影響，測試過程有訊號中斷情形發生，因此部分路段無法正確解算，但排除該路段後其均方根誤差平面在 E、N 方面可達 3 cm，而高程精度則可達 6 cm，皆符合 GPS 輔助空三平差其 GPS 觀測量之精度要求。也就是說使用 VBS-RTK GPS 定位方式若無 GPS 訊號遮蔽問題，使用此 GPS 模組 BD970 以 VBS-RTK GPS 定位技術確實可在高速移動情況下獲得數公分等級定位成果，可於後續應用 VBS-RTK GPS 定位成果於 UAV 影像空三平差實驗，並且可免除地面基準站之架設。

於後續實驗，GPS 模組 BD970 安裝至 UAV 後，因無法確定於高空中可透過 3G 網卡以無線上網方式連結 e-GPS 服務，且尚未克服無線電通訊問題，因此後續 GPS 輔助 UAV 影像空三平差，其 GPS 觀測量採用後處理 VBS-RTK GPS 獲得 UAV 飛行軌跡。

第二節 線性漂移參數之適用性

(1) 實驗設計

實驗二以模擬資料說明 GPS 其天線至相機投影中心偏移量以線性漂移參數克服之可行性。模擬資料乃使用已完成空三平差之資料。其涵蓋區域位於高雄荖濃溪上游，見圖 5-7，其 UAV 航拍航高約 1300 公尺，地面像元解析度(Ground Sampling Distance, GSD)約 30 公分，航拍影像前後重疊約 80%，左右重疊約 40%，航拍 4 條航帶，共計 112 張影像，該區地形起伏較大，空三平差時已自動匹配出地面連結點，共 3692 點，其分布見圖 5-8；而連結點與相機投影中心網形結構強，見圖 5-9，可保證模擬資料之平差結果不受弱網形結構之影響。



圖5.7. 線性漂移參數適用性之高雄美濃試驗區

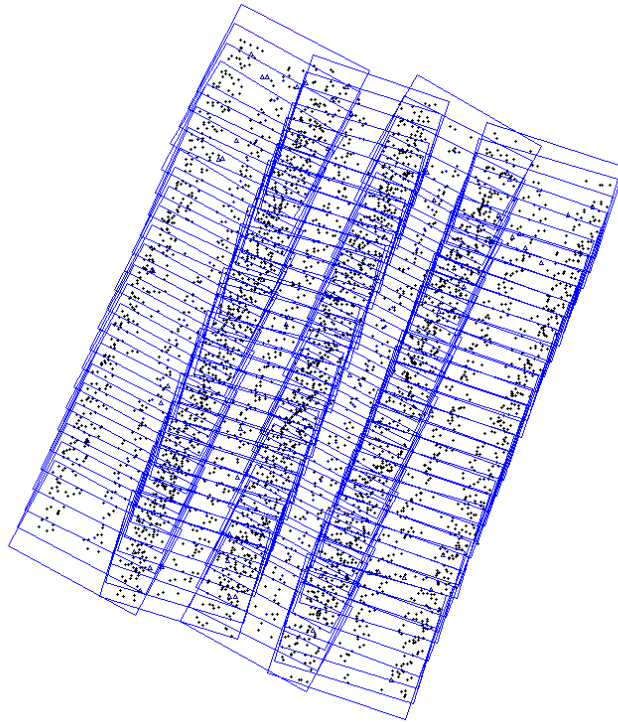


圖5.8. 線性漂移參數適用性之試驗區連結點分布

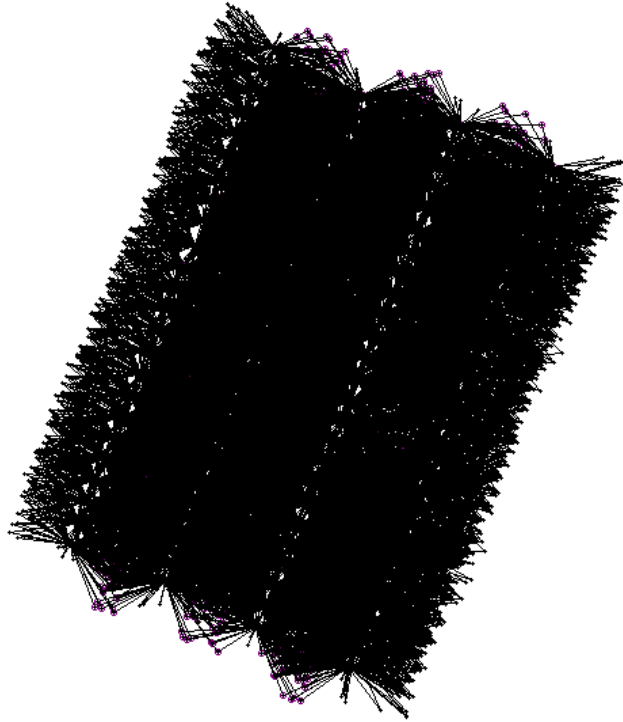


圖5.9. 線性漂移參數適用性之試驗區連結點與投影中心網形

將模擬資料進行像片及地面控制點之坐標改正，再使用空三平差軟體 ORIMA 進行平差解算，檢查平差成果像點及地面控制點無殘差，如圖 5-10 紅框處係平差後像點量測中誤差其值為 0。確保地面控制點、像點觀測量及曝光站位置及姿態符合共線式後，再擷取解算後像片外方位參數(X_0, Y_0, Z_0)，加上空間偏移量 0.6 m、0.6 m 及 0.6 m 以模擬 GPS 定位成果。並在像點、地面控制點及 GPS 觀測資料加上隨機誤差見表 5-2，進行試驗，其流程見圖 5-11。

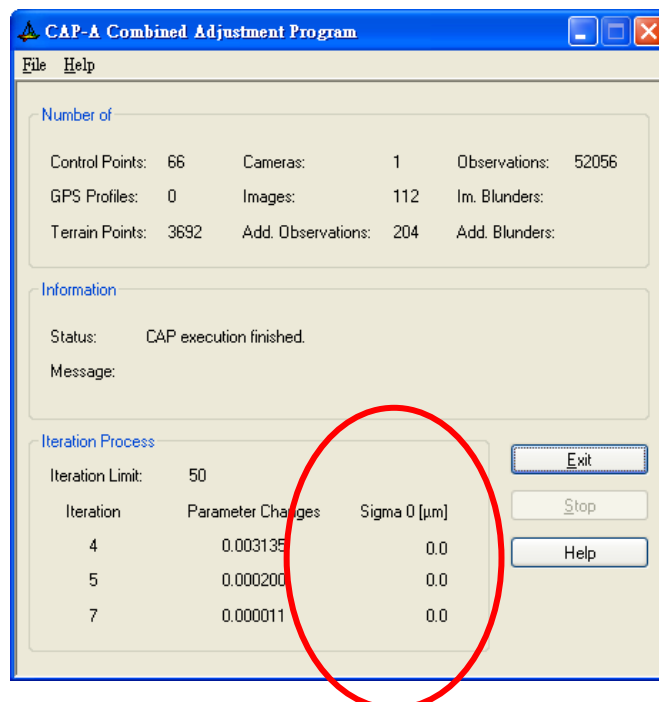


圖5.10. 模擬資料平差確定無誤之圖示

表5.2 各觀測量之隨機誤差

觀測量	標準差	觀測點數
像點	3 μm	26008
地面控制點	(5 cm, 5 cm, 10 cm)	10
GPS	(5 cm, 5 cm, 10 cm)	112

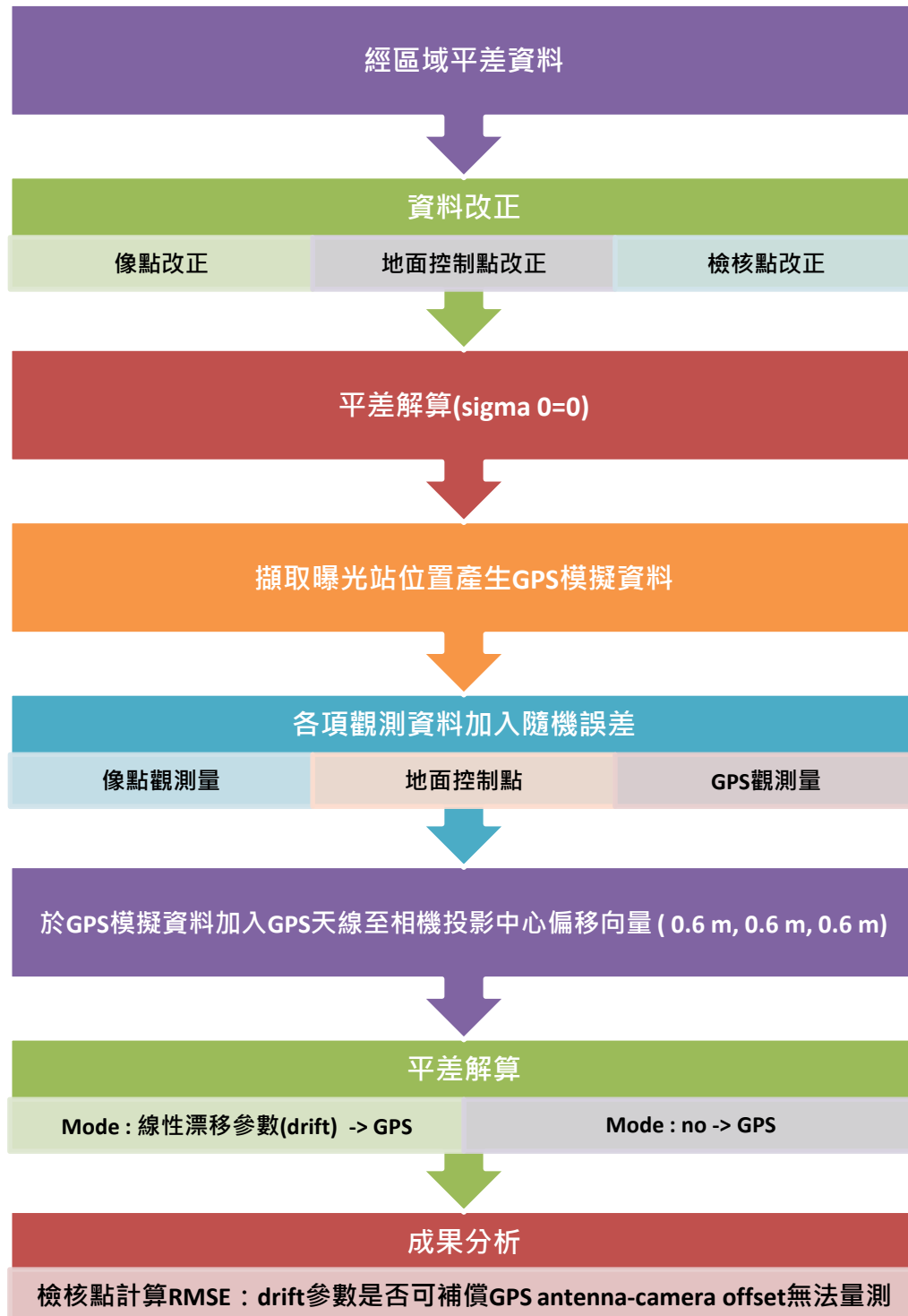


圖5.11. 線性漂移參數模擬實驗之實驗流程圖

本節實驗的地面控制點配置根據國土測繪中心民國 101 年 1/5000 基本圖測製說明—『採

用衛星定位測量 (Global Positioning System, GPS) 輔助空中三角測量時，則可在測區四角各佈設1組(2個)全控制點，並於航線首尾佈設橫貫測區之高程控制鍊，除測區左右側邊外，鍊上之高程控制點應位於航線重疊區內』，共佈設 14 地面控制點(見圖 5-12)且均為全控點。檢核點同樣依據 1/5000 基本圖測置規範—『檢核點必須均勻測設於測區中央 5 個以上檢核點，以驗證空中三角測量品質』，共佈設 25 檢核點(見圖 5-13)。空三平差過程中，像點量測精度設為 $8.5 \mu\text{m}$ ，控制點及 GPS 觀測量精度則設為(5 cm, 5 cm, 10 cm)，平差後其像點像點量測中誤差為 $4.4 \mu\text{m}$ 。

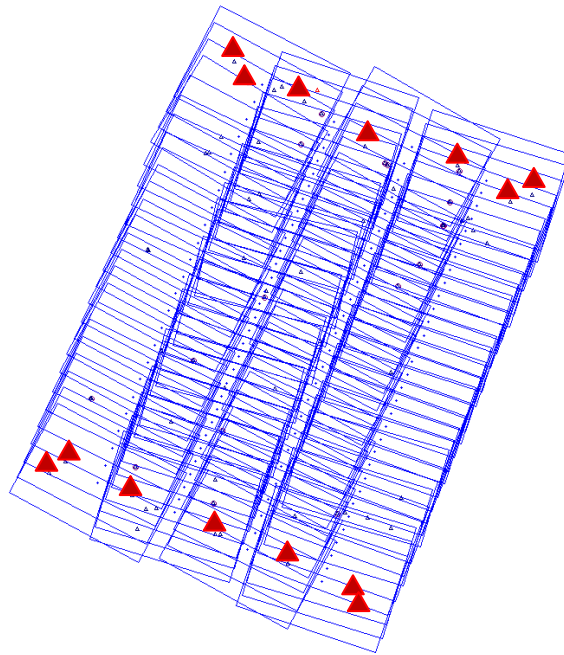


圖5.12. 線性漂移參數模擬實驗時地面控制點配置

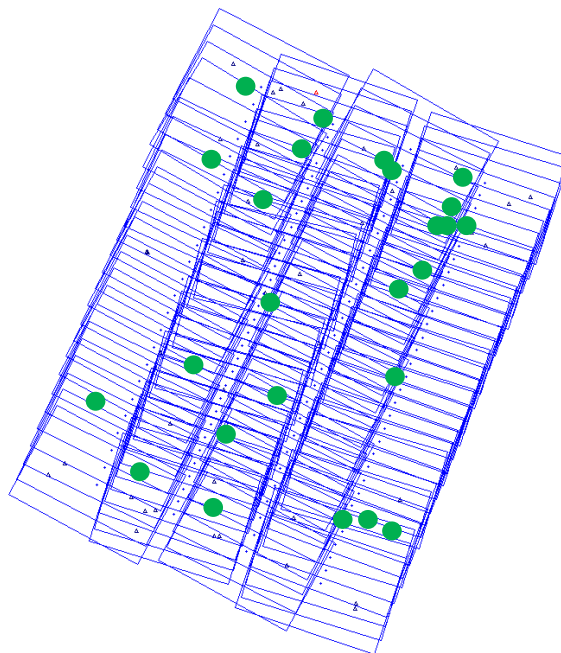


圖5.13. 線性漂移參數模擬實驗時檢核點配置

(2) 實驗成果

本節實驗模擬資料實驗目的是確認以線性漂移參數能否克服 GPS 天線至相機投影中心偏移量無法量測問題。實驗過程中，各觀測量僅加入隨機誤差，並於 GPS 模擬觀測資料加入 GPS 天線至相機投影中心偏移量。理論上若線性漂移參數可用以補償 GPS 天線至相機投影中心偏移量無法量測之問題則平差後線性漂移誤差其常數項應接近模擬 GPS 天線至相機投影中心偏移量，且乘數項應為 0。平差時理論上應可不用求解線性漂移誤差之乘數項，但因軟體限制無法不求解之，因此平差時會一併求解線性漂移參數之常數項及乘數項，此導致過度參數化，且因像點觀測量、地面控制點及 GPS 觀測量皆同時加入隨機誤差，解算時地面控制點僅 12 點，於求解過程不穩定，使得平差後常數項解算達數公尺不等(見圖 5-14)，與模擬 GPS 天線至相機投影中心偏移量 0.6 m、0.6 m、0.6 m 不相符。但僅 GPS 觀測量含隨機誤差時，解算所得線性漂移參數其常數項(見圖 5-15)，較接近 GPS 天線至相機投影中心偏移量 0.6 m、0.6 m、0.6 m。

Adjusted GPS drift parameters			
Profile ID	Constant		
	X	Y	Z
4	-2.554	-11.506	-14.714
3	6.851	11.468	-17.057
2	-1.496	-12.514	-14.236
1	0.407	13.529	-13.048

圖 5.14. 各觀測量皆加入隨機誤差解算之漂移附加差數常數項

Adjusted GPS drift parameters			
Profile ID	Constant		
	X	Y	Z
4	0.596	0.577	0.694
3	0.608	0.609	0.713
2	0.577	0.596	0.700
1	0.652	0.604	0.623

圖 5.15. 僅 GPS 觀測量加入隨機誤差解算之漂移附加差數常數項

雖上述模擬實驗因過度參數化造成 GPS 天線至相機投影中心偏移量解算不正確，但以 23 個地面檢核點檢驗空三平差精度來看，當未使用線性漂移參數補償 GPS 天線至投影中心偏移量無法量測所引起之系統誤差，其空三平差 RMSE 見表 5-3，在 E、N 方向 RMSE 約莫 0.70 m，相當於平面精度 0.99 m，而高程精度則為 1.73 m。使用線性漂移參數後，將可補償此偏移量無法量測所引起之系統誤差，同樣以 23 個地面檢核點其均方根誤差見表 5-4，RMSE 在 E、N 方向精度提升至 0.55 m、0.54 m(其平面精度為 0.77 m)，高程精度則提升至 1.36 m，在 E、N、H 改善幅度達 22%、20%、21%。

表 5.3 模擬資料 GPS 輔助 UAV 影像自率光束法均方根誤差 mode: no (單位：公尺)

	E	N	h
RMSE	0.71	0.68	1.73
	平面		高程
RMSE	0.99		1.73

表5.4 模擬資料 GPS 輔助 UAV 影像自率光束法均方根誤差 mode: drift (單位：公尺)

	E	N	h
RMSE	0.55	0.54	1.36
	平面		高程
RMSE	0.77		1.36

(3) 小結

從本節實驗成果，原欲透過線性漂移參數克服 GPS 天線至相機投影中心偏移量無法量測之問題，模擬資料在各觀測量加入隨機誤差，且在 GPS 觀測量加入 GPS 天線至相機投影中心偏移量，理想上解算出線性漂移參數其常數項應接近模擬值，才可有效補償 GPS 天線至相機投影中心偏移量無法量測之問題。但由於軟體限制，必須一併加入線性漂移參數之乘數項，導致過度參數化，實驗成果呈現當各觀測量(像點觀測量、GPS 觀測量、地面控制點觀測量)皆加入隨機誤差，且控制點個數僅 12 點，無法正確解算 GPS 天線至相機投影中心偏移量。但即便無法正確求解 GPS 天線至相機投影中心偏移量，透過空三平差成果，使用線性漂移參數後其空三平差精度優於未引入線性漂移參數之空三平差精度。因此本節實驗雖可能過度參數化，但實驗結果顯示線性漂移參數仍可部分補償 GPS 天線至相機投影中心偏移量無法量測所引起之系統誤差。

但在實務操作中，UAV 飛行取像過程中仍可能週波脫落及整數週波求解不精確，且 GPS 定位成果處理其時間內插不完全等問題仍須透過線性漂移參數乘數項補償。因此，於後續實驗中，以實際資料測試 GPS 輔助 UAV 影像自率光束法空三平差時，將以線性漂移參數克服 GPS 天線至相機投影中心偏移量無法量測之問題。

第三節 自率光束法於 GPS 輔助空三平差之適用性

(1) 實驗設計

因 UAV 所酬載感測器為非量測型相機，相機參數及畸變差皆不如量測型相機穩定，本研究將以自率光束法克服不精確相機參數所引起的系統誤差。因此，本節實驗旨在確定自率光束法於 GPS 輔助 UAV 影像空三平差之適用性，實驗以地面檢核點探討 VBS-RTK GPS 輔助 UAV 影像自率光束法空三平差與 VBS-RTK GPS 輔助 UAV 影像一般光束法空三平差結果相比之下，空三平差精度是否提升，精度提升程度為何？本實驗引入實際資料，實驗地區為花蓮吉安鄉，相關試驗資料說明見表 5-5，航拍取像範圍如圖 5-16，面積約 300 公頃，飛航高度約 550 公尺，前後重疊率約 80%，左右重疊率約 45%，搭載 Canon EOS 5DII 數位相機並搭配 24 mm 鏡頭，共取像包含 2 條正交航帶的 9 條航帶共 266 張影像，像元地面解析度 GSD 約 20 公分。空三平差使用相機參數為 iWitnessPRO 率定所得，其參數見表 5-6。唯須特別注意，率定之相機參數(像主距和像主點除外)帶入 ORIMA 執行時空三解算時，由於數學模式之差異，正負符號需變換，即正變負，負變正。

表5.5 自率光束法於 GPS 輔助空三平差適用性試驗區相關試驗資料說明

項目	說明
拍攝區域	花蓮縣吉安鄉
拍攝面積 (公頃)	300
拍攝解析度 (公分/像素)	20
飛行高度 (公尺)	550
航帶數	7+2(正交航帶)
像片數	266
控制點個數	8
檢核點個數	6



圖5.16. 花蓮縣吉安鄉航拍範圍

表5.6 相機參數

相機參數		率定值
焦距		24.5980 mm
像主點偏移量(mm)		(0.1220, 0.1740)
輻射畸變差	K ₁	1.2676000e-004
	K ₂	-3.4274000e-007
	K ₃	3.0652000e-010
離心畸變差	P ₁	5.7896e-006
	P ₂	9.7399e-006
Affinity Parameter x、y 軸尺度比	B ₁	-3.016e-004
Affinity Parameter x、y 軸非正交	B ₂	1.1545e-004

然因 VBS-RTK GPS 於本實驗進行時尚未克服無線電問題，因此採用後處理方式解算獲得 1 Hz 飛行軌跡，文獻回顧中 Ackermann(1994)雖提及 GPS 接收頻率須達 2 Hz，但過去文獻載具移動時速為 200 公里，而本研究 UAV 移動時速為 100 公里，即使後處理僅得 1 Hz 定位成果，判斷以線性內插 1 Hz 已可內插出與實際航拍取像相近的 UAV 飛行軌跡。

由於透鏡畸變差主要來源為輻射畸變差(Clarke et al., 1998)，因此空三平差軟體 ORIMA，其模式雖為 Brown 模式(Brown, 1976)，但平差時僅率定輻射畸變差(a1, a2, a3)，而其餘相機參數 b₁、b₂、c₁ 至 c₃、d₁ 至 d₁₀ 改正項則不使用，因此本節實驗率定之相機參數包含像主距(f)、像主點(x₀, y₀)以及輻射畸變差(a1, a2, a3)，設定見圖 5-16。

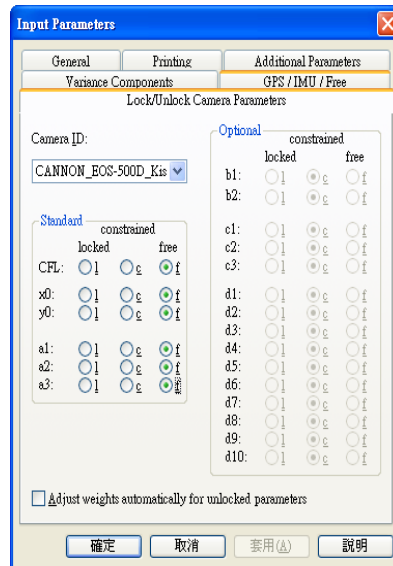


圖5.17. ORIMA 自率光束法空三平差時之相機參數設定

兩者空三平差之地面控制點配置相同，且皆以 RTK 實測所得，並將 RTK 測得橢球高以內政部公告之大地起伏轉換程式(精度 10 cm 以內)轉為正高，獲得三維控制資訊。於相關研究中方法(Cramer et. al., 2000;袁修孝, 2001)曾提及使用自率光束法於空三平差時，必須搭配大量地面控制點或加入正交航帶，本研究是以 GPS 觀測量輔助空三平差，目的即是降低地面控制點需求，因此本節實驗控制點佈設方式為加入正交航帶並搭配少數控制點。

其地面控制點佈設方式為首條及末條航帶及其正交航帶重疊區內各佈設兩點控制點，共佈設 8 GCPs，並依精度(0.05 m, 0.05 m, 0.10 m)設定控制點權值，但右下角航帶重疊區內為河道，無法佈設控制點，因此往左佈設控制點(見圖 5-18)。而檢核點以 RTK 實測所得，其配置乃依照國土測繪中心 101 年度 1/5000 基本圖測製說明—『檢核點必須均勻測設於測區中央 5 個以上檢核點，以驗證空中三角測量品質』，其分布見圖 5-19，共 6 點。地面連結點，以自動匹配並經除錯之後獲得約 6000 點，其分布見圖 5-20，與投影中心連結網形見圖 5-21，可保證平差結果不受弱網形結構之影響。平差時像點量測精度設為 6.4 μm，控制點及 GPS 觀測量精度設定為 (5 cm, 5 cm, 10 cm)，平差後其像點量測中誤差為 7.9 μm。

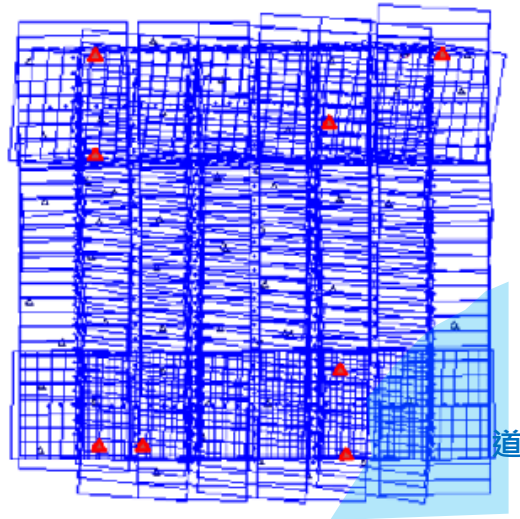


圖5.18. 自率光束法空三平差適用性實驗中地面控制點及像片分布

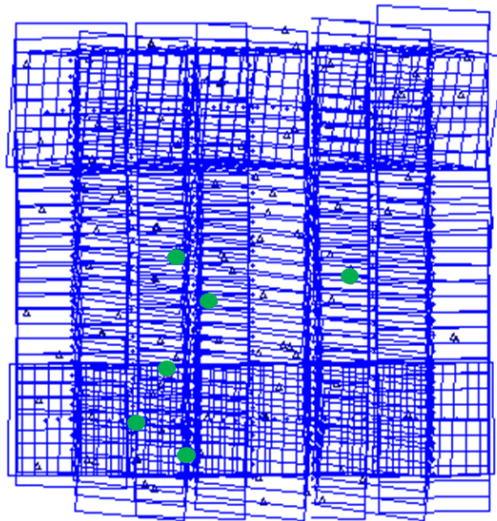


圖5.19. 自率光束法空三平差適用性實驗中檢核點及像片分布

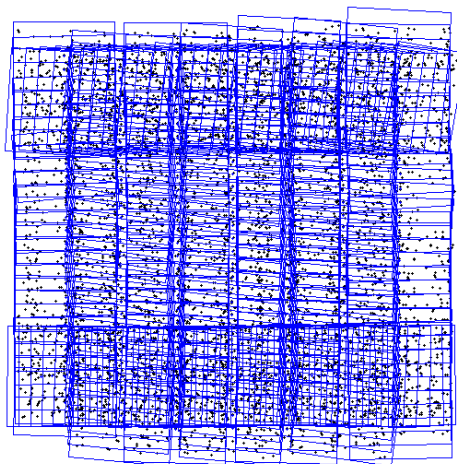


圖5.20. 自率光束法空三平差適用性實驗中連結點分布

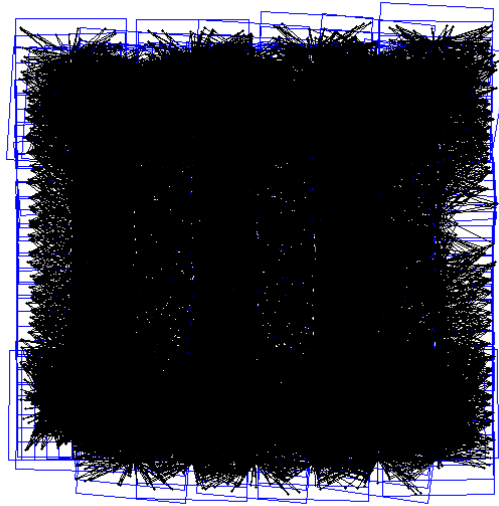


圖5.21. 自率光束法空三平差適用性實驗中連結點與投影中心網形結構

(2) 實驗成果

空三平差後，以地面檢核點探討使用自率光束法對於 VBS-RTK GPS 輔助 UAV 影像空三平差是否有助益，透過表 5-7 與表 5-8，於 VBS-RTK GPS 輔助下若僅使用一般光束法空三平差於 E、N、H 方向其 RMSE 為 0.49 m、0.45 m、1.31 m；而使用自率光束法空三平差，於 E、N、H 方向其精度可提升至 0.13 m、0.16 m、0.28 m，於三方向提升程度高達 3.8 倍、2.8 倍、4.7 倍。由於實驗所採用之附加參數為 Brown 物理模式(Brown, 1976)中輻射畸變差，如 a1、a2、a3 間雖有高相關的情形，但藉由實驗成果可以很明顯發現 RMSE 在三方向降低的幅度相當大，求解過程不因相機參數間高相關而精度惡化。不論在是各地面檢核點較差均大幅降低，因此確定 VBS-RTK GPS 輔助 UAV 影像空三平差時自率光束法之適用性。

表5.7 VBS-RTK GPS 輔助 UAV 影像光束法空三平差檢核點檢核表

點號	單位：公尺		
	橫坐標較差	縱坐標較差	高程較差
L06	0.31	-0.54	-1.71
L17	-0.97	-0.77	-1.11
L23	-0.16	-0.42	-1.59
L28	-0.32	-0.20	-1.59
FHLCH9	-0.37	-0.21	-0.75
FHLCH17	-0.40	0.25	-0.69

表5.8 VBS-RTK GPS 輔助 UAV 影像自率光束法空三平差檢核點檢核表

點號	單位：公尺		
	橫坐標較差	縱坐標較差	高程較差
L06	-0.14	-0.31	-0.18
L17	0.07	-0.04	-0.02
L23	-0.13	-0.09	-0.49
L28	0.20	-0.18	0.10
FHLCH9	-0.05	-0.04	0.28
FHLCH17	-0.16	0.13	0.36

(3) 小結

使用自率光束法對於本研究於 VBS-RTK GPS 輔助 UAV 影像空三平差來說，是必要的。透過本節實驗成果顯示，因 UAV 酬載非量測型相機，加上地面率定所得相機參數無法完全描述相機於航拍時之情況，若不使用自率光束法，其空三精度於 E、N、H 方向其 RMSE 為 0.49 m、0.45 m、1.31 m，無法使用於要求精度之圖資測製應用。使用自率光束法後，其精度於 E、N、H 方向提升程度達 3.8 倍、2.8 倍、4.7 倍，於 E、N、H 方向其精度可達 0.13 m、0.16 m、0.28 m，於此實驗可確定自率光束法於 VBS-RTK GPS 輔助 UAV 影像空三平差之適用性。因此接續小節中 VBS-RTK GPS 輔助 UAV 影像空三平差實驗中皆引入自率光束法，率定之相機參數設定皆同於本節實驗，即僅允許像主距(f)、像主點(x_0, y_0)以及輻射畸變差(a_1, a_2, a_3)在平差過程自率，其餘相機參數則不使用。

第四節 點特徵航空影像控制資訊建置地控點之可行性

(1) 實驗設計

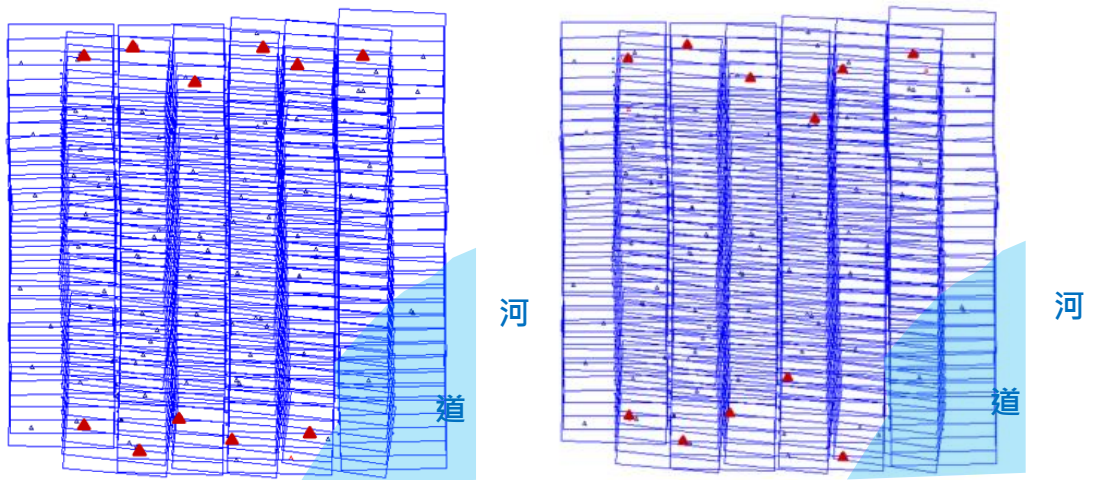
本實驗探討以點特徵航空影像控制資訊建立地面控制點其空三平差精度是否符合 1/5000 製圖要求。試驗過程使用國土測繪中心所建置 1/5000 地形圖時完成空三平差的航拍影像資料進行立體模型量測，量測時基高比(B/H)不小於 0.3，且量測三次取平均後作為本實驗使用之地面控制點，即為點特徵航空影像控制資訊。而作為比較之另一空三平差地面控制點來源則是地面 RTK 實測，其高程係利用所測之橢球高加上內政部公告大地起伏轉換程式轉為正高。測試區域與前一節實驗同為花蓮縣吉安鄉試驗區，面積約 300 公頃，飛航高度約 550 公尺，前後重疊約 80%，左右重疊約 45%，搭載焦距 24 mm 鏡頭之 Canon EOS 5DII 數位相機，其說明見表 5-9，使用 ORIMA 空三平差軟體執行自率光束法空三平差，同前一實驗選用之相機參數僅有像主距(f)、像主點(x_0, y_0)及輻射畸變差(a_1, a_2, a_3)。

表 5.9 點特徵航空影像控制資訊建置地控可行性實驗試驗區
相關試驗資料說明

項目	說明	
拍攝區域	花蓮縣吉安鄉	
拍攝面積 (公頃)	300	
拍攝解析度 (公分/像素)	20	
飛行高度 (公尺)	550	
航帶數	7+2(正交航帶)	
像片數	首尾控制鏈	正交航帶
	204	266
控制點個數	首尾控制鏈	正交航帶
	11	8
檢核點個數	6	

而控制點佈設分為兩種：(1) 航帶首尾佈設地面控制鏈；(2)增加正交航帶搭配 8 GCPs。兩者皆將控制點佈設至航帶重疊區內，但測製區域右下角為河道，無法佈設控制點。上述方式(1)以點特徵航空影像控制資訊建立地控點其分布見圖 5-22(a)，而地面 RTK 實測方式建立地控點分布見圖 5-22(b)。而方式(2)則與前一實驗相同，於航帶首尾增加正交航帶搭配 8 GCPs 佈設方式，以點特徵航空影像控制資訊建置其分布見圖 5-23(a)，而以地面 RTK 實測建立地控點其分布如圖 5-23(b)。方式(1)及方式(2)不論採地面實測或點特徵航空影像控制資訊佈設控制點，控制點分布皆相似，可確保控制幾何條件差異不大，而空三平差則依據精度給予不同控制程度，點特徵航空影像控制資訊於 E、N、H 三方向精度分別設定為(0.35 m, 0.35 m, 0.50 m)，地面實測控制點於 E、N、H 三方向精度則設為(0.05 m, 0.05 m, 0.10 m)。檢核點佈設與前一實驗相同，其分布見圖 5-24，共 6 點。因已於前一實驗中呈現正交航帶連結點及網形分布情形及其結果，以下僅描述航帶首尾佈設控制鏈之空三平差成果。於航帶首尾配置地面控制鏈方式，以自動匹配並經除錯之後獲得地面連結點約 4600 點，其分布見圖 5-25；

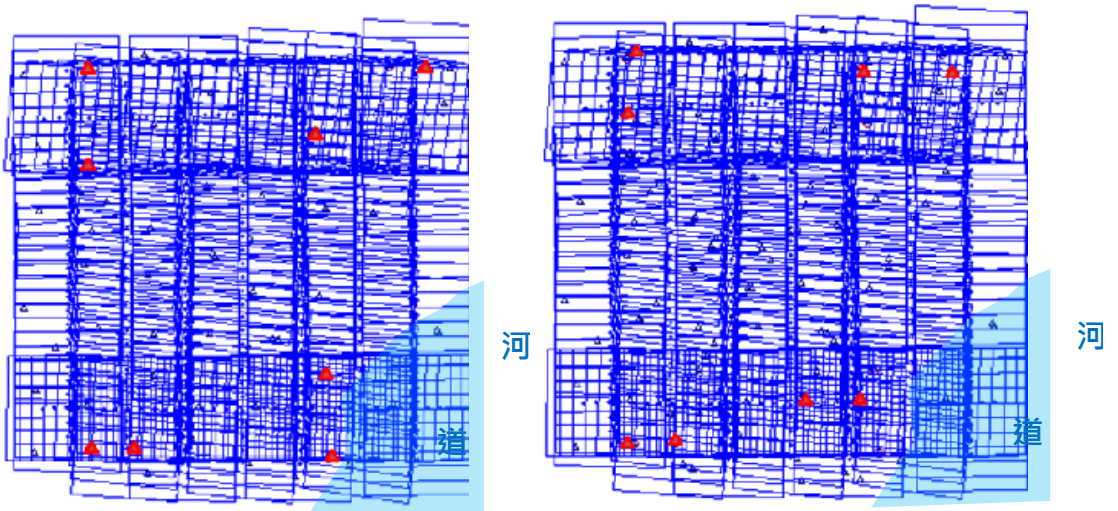
與投影中心連結網形見圖 5-26，可確保平差結果不受弱網形結構之影響。像點量測精度與前一實驗相同為 $6.4 \mu\text{m}$ ，控制點分為(5 cm, 5 cm, 10 cm)及(35 cm, 35 cm, 50 cm)，而 GPS 觀測量精度則為(5 cm, 5 cm, 10 cm)，平差後首尾部設控制鏈其像點量測中誤差為 $7.1 \mu\text{m}$ ，而加入正交航帶搭配 8 GCPs 方式與前實驗相同為 $7.9 \mu\text{m}$ 。



(a)點特徵航空影像控制資訊

(b)地面實測

圖5.22. 航帶首尾佈設控制鏈其地面控制點分布圖



(a)點特徵航空影像控制資訊

(b)地面實測

圖5.23. 增加正交航帶提升幾何條件其地面控制點分布圖

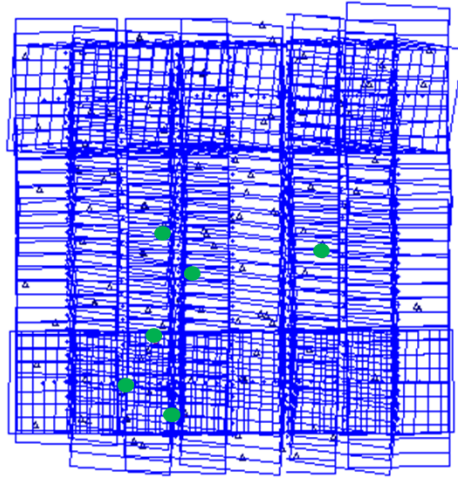


圖5.24. 航帶首尾佈設控制鏈之 GPS 輔助自率光束法空三平差
檢核點分布圖

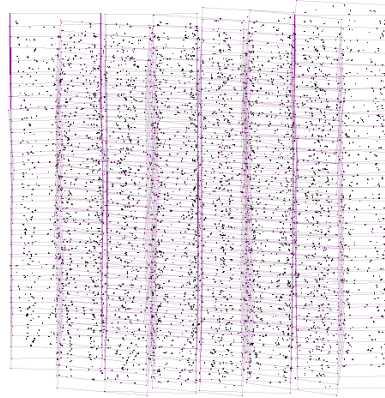


圖5.25. 航帶首尾佈設控制鏈之 GPS 輔助自率光束法空三平差連結點分布

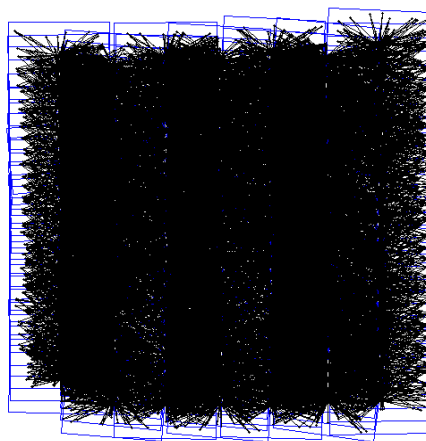


圖5.26. 航帶首尾佈設控制鏈之 GPS 輔助自率光束法空三平差連結點
與投影中心網形結構

(2) 實驗成果

根據 101 年度 1/5000 基本圖測製說明—『空中三角測量平差計算，須分 2 個過程進行。先以最小約制(或自由網)平差，以進行粗差偵測並得到觀測值精度的估值，其觀測值之殘餘誤差均方根值不得大於 10 微米。其次進行強制附合至控制點上平差，其觀測值之殘餘誤差均方根值不得大於 13 微米。』因大部分之觀測量為像點觀測量，因此上述觀測值之殘餘誤差均方根值即為平差後之像點量測中誤差。不論以點特徵航空影像控制資訊或地面 RTK 實測建立地面控制點，其像點觀測量皆相同，因此於自由網平差時其觀測值之殘餘誤差均方根值時，航帶首尾地面控制鏈配置為 7.1 μm ，而正交航帶配置則為 7.8 μm ；強制附合至控制點平差其觀測值殘餘誤差在航帶首尾地面控制鏈配置為 7.1 μm ，而正交航帶配置則為 7.9 μm ，兩者均符合 1/5000 基本圖測製其空三平差計算要求。

此外，1/5000 基本圖測製亦要求—『檢核點殘差平面及高程坐標均方根誤差值不得大於連結點量測三倍像點量測中誤差乘上像比例尺』。因此，方式(1)航帶首尾佈設控制鏈其空三平差精度於平面及高程需在 0.48 m、0.48 m 以內，其計算方式為 7.1 $\mu\text{m} \times 550 \text{ m} \div 24 \text{ mm} \times 3$ ；而方式(2)增加正交航帶搭配 8GCPs 其空三平差精度於平面及高程精度則需在 0.54 m、0.54 m 以內，計算方式則為 7.8 $\mu\text{m} \times 550 \text{ m} \div 24 \text{ mm} \times 3$ 。

由表 5-10，6 個地面 RTK 實測檢核空三平差精度的成果顯示航帶首尾地面控制鏈配置其 E、N、H 三方向 RMSE 為 0.16 m、0.23 m、0.37 m，而正交航帶配置搭配 8 GCPs 方式，在 E、N、H 三方向 RMSE 則為 0.13 m、0.16 m、0.28 m。因此，以地面實測佈設地面控制點方式，不論是以航帶首尾佈設地面控制點抑或增加正交航帶搭配 8 GCPs，兩地控制配置方式其空三平差精度皆符合 1/5000 基本圖測製要求。

表 5.10 花蓮縣吉安鄉地面實測控制點配置其空三平差精度

地面控制點配置	RMSE (單位：公尺)		
	E	N	H
首尾佈設控制鏈	0.16	0.23	0.37
正交航帶+8 GCPs	0.13	0.16	0.28

而當地面控制點以點特徵航空影像控制資訊取代時其空三平差精度見表 5-11，航帶首尾地面控制鏈配置方式其 E、N、H 三方向 RMSE 為 0.43 m、0.34 m、1.03 m；而以正交航帶增加幾何條件方式搭配 8 GCPs，其 E、N、H 三方向 RMSE 則為 0.30 m、0.20 m、0.86 m。將地面實測及點特徵航空影像控制資訊綜合比較其空三平差精度差異，見表 5-12，以點特徵航空影像控制資訊作為地面控制點時，方式(1) 航帶首尾佈設地面控制鏈控制方式其平面及高程空三平差精度皆無法符合 1/5000 基本圖測置規範所要求 0.48 m 以內。而方式(2) 正交航帶搭配 8 GCPs 控制方式其平面精度 0.37 m，符合 1/5000 基本圖測製規範要求 0.54 m 以內，但高程精度為 0.86 m 卻無法符合 1/5000 基本圖測製之要求 0.54 m 以內。

表5.11 花蓮縣吉安鄉點特徵航空影像控制資訊控制點配置其空三平差精度

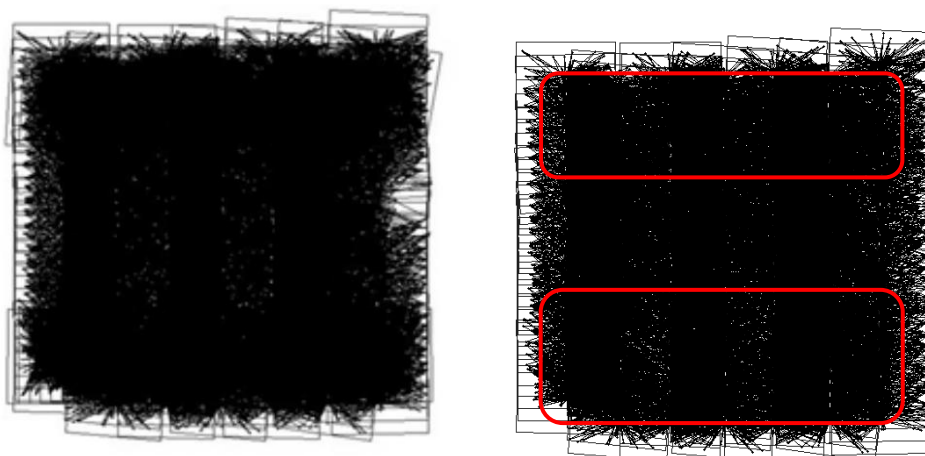
地面控制點配置	RMSE (單位：公尺)		
	E	N	H
首尾佈設控制鏈	0.43	0.34	1.03
正交航帶+8 GCPs	0.30	0.20	0.86

表5.12 點特徵航空影像控制資訊建置地控可行性空三平差精度比較表

地面控制點配置	RMSE (單位：公尺)	
	平面	高程
點特徵航空影像控制資訊		
首尾佈設控制鏈	0.54	1.03
正交航帶+8 GCPs	0.37	0.86
地面實測		
首尾佈設控制鏈	0.28	0.37
正交航帶+8 GCPs	0.21	0.28

(3) 小結

透過此實驗也可比較兩種地面控制點佈設方式對空三平差精度之影響，由於正交航帶加入，增進像點分布幾何，見兩者網形分布便可發現，航帶首尾佈設控制鏈方式航帶間連結性較差有空隙出現見圖 5-27(b)，但反觀正交航帶佈設方式，其網形分布較航帶首尾佈設控制鏈來的密集見圖 5-27(a)，再搭配精度雖較差之點特徵航空影像控制資訊，其採正交航帶搭配 8 GCPs 控制方式之空三平差精度會較佳。



(a)正交航帶+8 GCPs

(b)航帶首尾佈設控制鏈

圖5.27. 點特徵航空影像控制資訊建置地控可行性之網形幾何

但綜合兩者成果可得知，使用精度較差的點特徵航空影像控制資訊，僅檢視空三平差後像點量測中誤差雖可符合 1/5000 基本圖測製規範，但引入檢核點檢視時，不論是以正交航帶配置搭配 8 GCPs 抑或航帶首尾佈設控制鏈，其高程精度均無法符合測製規範需求，高程精度約莫 1/5000 基本圖測製規範要求精度的 1.5 倍至 2 倍之間。

雖以點特徵航空影像控制資訊建置地面控制點，其高程精度皆無法符合現行 1/5000 基本圖測製規範，但由於方式(2)增加正交航帶搭配 8 GCPs 其平面精度符合現行 1/5000 基本圖測置規範。因此，尚無法完全肯定或完全否定以點特徵航空影像控制資訊建立地面控制點之可行性，因此下一小節之實驗其地面控制點雖仍採用點特徵航空影像控制資訊配置，但於最後實驗討論控制點最適配置時，為使空三平差精度符合現行 1/5000 基本圖測置規範需求，將混合使用地面實測及點特徵航空影像控制資訊作為地面控制點建置來源，探討地面控制點最適配置。

因以點特徵航空影像控制資訊建置地面控制點，將可從過往已完成空三計劃，量測所需之點特徵航空影像控制資訊，不僅可降低地面控制點其控制測量所需的時間及成本，一旦測區不易到達抑或圖資測製任務具急迫性將可快速獲得三維控制資訊。如此一來，不僅對 GPS 輔助 UAV 影像空三平差之作業能提升效率，甚至在需要佈設一定數量地面控制點的一般光束法，也都有相當大的幫助。但仍需注意的是，欲引入點特徵航空影像控制資訊於空三平差，基高比(B/H)不得小於 0.3，其點特徵航空影像控制資訊必須多次量測取平均，確定量測無誤。

第五節 GPS 輔助 UAV 影像自率光束法空三平差

(1) 實驗設計

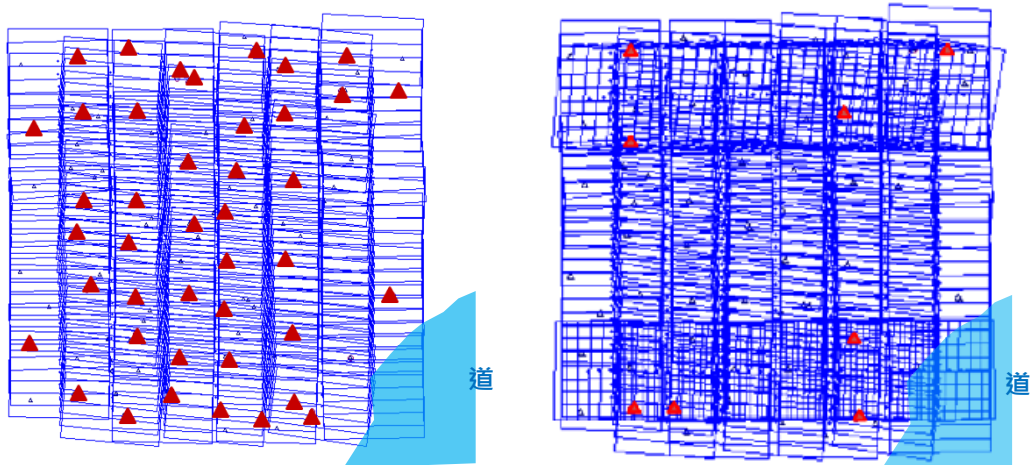
由於自率光束法空三平差，於平差過程引入自率參數，且自率參數又與外方位參數高相關，為避免迭代過程求解不穩定，需按照常規佈設大量地面控制點，需耗費大量人力、時間及成本於控制測量。因此，本節實驗將探討使用 VBS-RTK GPS 輔助 UAV 影像自率光束法與 UAV 影像自率光束法兩者空三平差精度是否差異不大下，確認引入 GPS 觀測量可將所需地面控制點降低；並分析引入 GPS 觀測量是否可降低相機參數與外方位參數之相關程度。

實驗地區與第 5.3 節實驗相同，同為花蓮縣吉安鄉試驗區，因此實驗區域描述將不多加贅述，其說明詳見表 5-13。使用 ORIMA 空三平差軟體執行自率光束法空三平差，同前兩個實驗選用之相機參數僅有像主距(f)、像主點(x_0, y_0)及輻射畸變差(a_1, a_2, a_3)。

表5.13 GPS 輔助 UAV 影像自率光束法空三平差實驗試驗區相關試驗資料說明

項目	說明	
拍攝區域	花蓮縣吉安鄉	
拍攝面積 (公頃)	300	
拍攝解析度 (公分/像素)	20	
飛行高度 (公尺)	550	
航帶數	7+2(正交航帶)	
像片數	自率光束法空三平差	GPS 輔助自率光束法空三平差
	204	266
控制點個數	自率光束法空三平差	GPS 輔助自率光束法空三平差
	42	8
檢核點個數	6	

於此實驗控制點量測方式及來源皆相同，同樣使用製作 1/5000 基本圖時完成空三平差的航拍影像資料進行立體模型量測，量測多次後取平均獲取地面控制點。透過前一實驗，增加正交航帶搭配 8 GCPs 航帶幾何條件較佳，此實驗將延用正交航帶搭配 8 GCPs，地面控制點分布見圖 4-42(b)。而一般光束法其地面控制點則是按照 101 年度 1/5000 基本圖測製規範—『未採用 GPS 輔助空中三角測量時，平面控制點應分布在測區(空中三角區域平差之測區)周圍界線上或界線附近，點與點之間隔約為 2 個至 4 個航空攝影基線(基線長以 60%之重疊率為準計算)。測區兩端應各測高程控制鏈 1 條，測區內部約每隔 5 個航空攝影基線應各測高程控制鏈 1 條並設於左右重疊區』，共 42 點，其分布見圖 5-28(a)。GPS 輔助 UAV 影像空三平差其檢核點、連結點及其網形同前一實驗，因此不多贅述之。而自率光束法空三平差地面連結點經自動匹配除錯之後共 4651 點，其分布見圖 5-29，連結點與投影中心之網形見圖 5-30。平差時像點量測精度設定與前一實驗相同為 6.4 μm ，控制點精度分別設定為(0.35 m, 0.35 m, 0.50 m)，而 GPS 觀測量精度則設定為(5 cm, 5 cm, 10 cm)，平差後像點量測中誤差與前實驗相同為 7.1 μm 。



(a) UAV 影像自率光束法空三平差 (b) GPS 輔助 UAV 影像自率光束法空三平差

圖5.28. 地面控制點分布圖

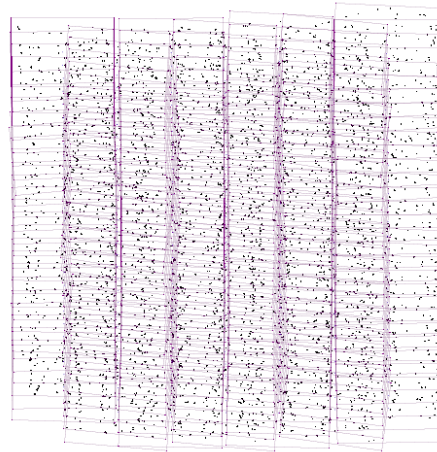


圖5.29. GPS 輔助 UAV 影像自率光束法空三平差實驗地面連結點分布

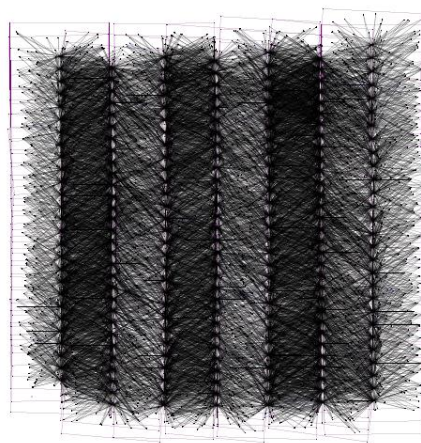


圖5.30. GPS 輔助 UAV 影像自率光束法空三平差實驗網形

(2) 實驗成果

由表 5-14 為自率光束法空三平差與 GPS 輔助自率光束法空三平差所得成果，使用 42 個點特徵航空影像控制資訊佈設地面控制點，其空三平差精度於 E、N、H 三方向為 0.27 m、0.28 m、0.93 m，平面及高程空三平差精度則為 0.39 m、0.93 m。平面精度雖符合 1/5000 基本圖測置規範所要求 0.48 m 以內，但高程精度仍超出規範 0.45 m。而 VBS-RTK GPS 輔助 UAV 影像自率光束法空三平差精度於 E、N、H 三方向為 0.30 m、0.20 m、0.86 m，引入 GPS 觀測量後使用較少的點特徵航空影像控制資訊作為地控點，其空三平差精度甚至可優於自率光束法空三平差。

表5.14 UAV 影像空三平差精度檢核表(GCPs:點特徵航空影像控制資訊)

地面控制點配置	RMSE (單位：公尺)		
	E	N	H
自率光束法	0.27	0.28	0.93
正交航帶+8 GCPs	0.30	0.20	0.86

另一方面，檢視兩者空三平差報表，因像片多達 204 張，僅選擇其一像片分析未知數間相關係數。UAV 影像自率光束法空三平差，外方位參數與相機參數間存有高相關情形，見圖 5-31 程中，兩參數求解將會相互影響，並且影響程度極高。反觀 VBS-RTK GPS 輔助 UAV 影像自率光束法空三平差，原自率參數和外方未參數間的高相關情形，透過 GPS 觀測量加入，提供大量空中控制使用，將可降低未知數之間相關程度，(見圖 5-32)相關係數從-0.99、0.87、0.93 降低至-0.36、0.30、0.33，大幅降低未知數間相關程度。接續則是分析自率參數間相關係數，見圖 5-33 VBS-RTK GPS 輔助 UAV 影像自率光束法仍無法克服自率參數間高相關，輻射畸變差間仍存有高相關，而像主點與像主距之間亦同。

	Proj. Center	St.Dev.	Ext.Reliab.	Correlation coefficients						
				c	x0	y0	a1	a2	a3	
X0	302275.59726	0.29723	0.068	XO	-0.41	0.60	0.38	-0.08	-0.01	0.02
Y0	2639290.18561	0.24281	0.091	YO	0.17	-0.14	0.03	-0.06	0.01	-0.01
Z0	520.62886	1.82734	0.237	ZO	-0.99	0.87	0.93	-0.01	0.00	0.00
Rot. Angles (deg)		St.Dev. (deg)								
Omega	5.47194	0.02903		P1	-0.74	0.65	0.69	0.06	-0.01	0.01
Phi	358.66543	0.02348		P2	0.27	-0.22	-0.24	-0.10	-0.03	0.05
Kappa	1.67113	0.00699		P3	0.08	-0.09	-0.06	0.02	0.02	-0.02
Rotation order: Omega, Phi, Kappa										

圖5.31. UAV 影像自率光束法空三平差未知數間相關係數

	Proj. Center	St.Dev.	Ext.Reliab.	Correlation coefficients						
				c	x0	y0	a1	a2	a3	
X0	304023.02426	0.16659	0.022	XO	-0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Y0	2639113.60926	0.20058	0.030	YO	-0.03	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00
Z0	525.08325	0.31408	0.078	ZO	-0.36	0.30	0.33	-0.01	0.01	0.00
Rot. Angles (deg)		St.Dev. (deg)								
Omega	1.43687	0.01339		P1	-0.21	0.17	0.22	-0.01	0.01	-0.01
Phi	3.83015	0.00642		P2	0.05	-0.05	-0.05	0.00	0.00	-0.01
Kappa	88.31407	0.00331		P3	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Rotation order: Omega, Phi, Kappa										

圖5.32. GPS 輔助 UAV 影像自率光束法空三平差未知數間相關係數

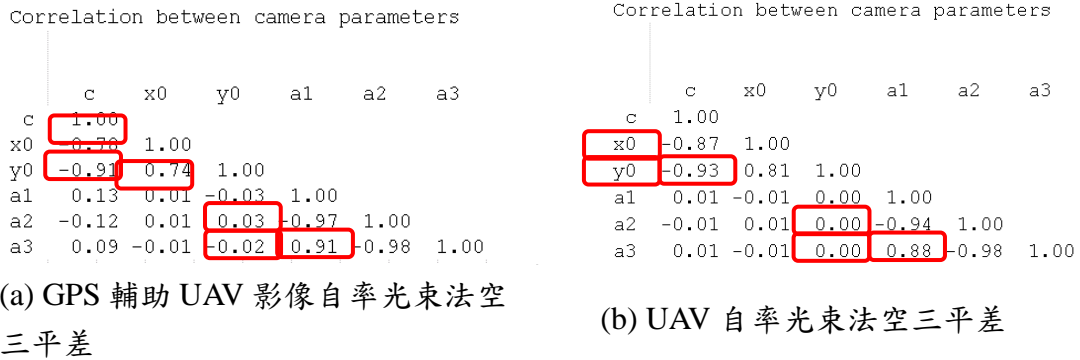


圖5.33. 自率參數間相關係數示意圖

(3) 小結

由於 UAV 使用非量測型相機，必須使用自率光束法空三平差克服率定所得之相機參數無法完全描述航拍取像時情況。但使用自率光束法空三平差，將造成除自率參數間存有高相關情形外，相機參數與外方位參數間也存有高相關，透過本節實驗成果，引入 VBS-RTK GPS 觀測量後，不僅可降低地面控制點需求，甚至可大幅降低外方位參數與相機參數相關程度，但相機參數間的高相關情形仍存在。

因此，與自率光束法空三平差相比，使用 VBS-RTK GPS 輔助 UAV 影像自率光束法空三平差將可降低未知參數間相關程度，並符合本研究之目的—降低地面所需控制點。因此，於下節實驗將針對 VBS-RTK GPS 輔助 UAV 影像自率光束法空三平差，降低地面所需控制點後，探討各地面控制點配置方式，嘗試結合不同控制點來源及其配置，探討其空三平差精度是否可符合 1/5000 基本圖測製之精度要求。

六、 結論與建議

本章將針對以 VBS-RTK GPS 定位方式輔助 UAV 影像空三平差其優缺點、線性漂移參數於 GPS 輔助 UAV 影像空三平差之適用性、自率光束法於 GPS 輔助 UAV 影像空三平差之適用性、使用點特徵航空影像控制資訊建立地面控制點其可行性、以及 VBS-RTK GPS 輔助 UAV 自率光束法空三平差實驗結果，提出結論及建議。

第一節 結論

(1) VBS-RTK GPS 可增進 UAV 影像空三之效益

由於 UAV 影像空三目前應用仍著重於局部修測，使用 VBS-RTK GPS 輔助 UAV 影像空三平差，執行航拍時，不需於測區內架設基準站，即便修測區域為河床、山區等不易架設基準站之區域，也可透過單一 GPS 接收儀，以 VBS-RTK GPS 獲得高精度飛行軌跡，對於測區內不易架設基準站之區域將有相當大之助益。即便測區內容易架設基準站，使用

VBS-RTK GPS 也可免除架設基準站之人力及成本。且 VBS-RTK GPS 將不侷限於輔助 UAV 航拍影像定位定向之應用，甚至可作其他應用，如移動載具即時精確定位需求。

(2) 線性漂移參數可補償 GPS 天線至相機投影中心無法量測之問題

透過第四章第四節實驗成果已證實使用線性漂移參數的確可補償 GPS 天線至相機投影中心偏移量無法量測之問題。因此 UAV 影像空三平差時，亦可在空三平差加入此線性漂移參數補償 GPS 天線至相機投影中心無法量測所引起之系統誤差。

(3) 自率光束法空三平差可補償不適當的相機參數所引起之系統誤差

UAV 所酬載感測器為非量測型相機，對 VBS-RTK GPS 輔助 UAV 影像空三平差而言，若僅使用一般光束法空三平差，以檢核點檢核僅可獲得公尺級空三平差精度，無法作要求精度之圖資測製應用。因此，為製圖需求，UAV 影像空三平差必須使用自率光束法才得以將不適當的相機參數所引起之系統誤差予以補償之。

(4) 點特徵航空影像控制資訊可增進 UAV 影像空三平差之效率

透過實驗成果，多數地面控制點建立的確可利用點特徵航空影像控制資訊建立之，可免除多數地控點的控制測量及其成本與增進製圖效率。一旦製圖有迫切需求且要求精度不如 1/5000 基本圖測置規範嚴謹時，則地控點全數即可以點特徵航空影像控制資訊建立，加速圖資測製。

第二節 建議

(1) 應多測試不同航高之 UAV 影像之空三平差精度

研究中使用實際資料皆為花蓮吉安鄉試驗區之航拍影像，其航高為 550 m，於本研究尚未測試其他航高。雖 1/5000 基本圖測製規範之精度要求將依像比例尺而變化，但本研究僅測試一航高，無法保證 UAV 在不同航高取像下，按本研究建議之地面控制點配置，其空三平差精度皆可滿足 1/5000 基本圖測製規範之精度要求。

(2) 提升點特徵航空影像控制資訊之精度

在本研究係利用立體像對前交量測自然點三維控制資訊，於立體像對僅使用兩張影像前交，其平面、高程控制資訊精度皆不如以多張影像交會求解方式佳。而本研究僅使用立測所測

得之點特徵航空影像控制資訊於 UAV 影像空三平差中，其空三平差中高程精度不符合 1/5000 基本圖圖資測製規範。若可使用多像交會求解，理想上可提高點特徵航空影像控制資訊之精度，獲得較佳控制資訊。

(3) 解決自率參數選擇及參數間高相關

因研究中已確定自率光束法空三平差之適用性，但目前仍無法避免相機參數間高相關情形，未來可探討如何避免自率參數高相關情形發生。建議未來研究可於空三平差試驗採用正交自率參數克服之，但須於相機率定與 UAV 影像空三平差時也需採用正交自率參數才可保證參數描述誤差項相同。

(4) 克服 VBS-RTK GPS 硬體問題

本研究進行中目前尚未克服無線電硬體通訊問題，克服後將可得到更高頻率飛行軌跡資訊，內插後將可獲得與實際飛行時更相近之飛行軌跡，此將可更即時獲取高精度飛行軌跡供 VRS-RTK GPS 輔助空中控制之用。

(5) 建立 UAV 影像測製 1/5000 基本圖之測製規範

由於過去製圖大多採用量測型相機，以地面檢核點檢核時，規範 E、N、H 三方向其 RMSE 不得大於 3 倍像元地面解析度，此要求因量測型相機其感測器較精密而容易達成。但近年越來越多非量測型相機應用於要求精度之圖資測製，其相機本身穩定性較差，因此即便 GSD 可與量測型相機比擬，其空三平差精度仍遜於量測型相機，導致空三平差高程精度無法符合 1/5000 基本圖測置規範。但理論上，訂定用於檢核空三平差精度，其高程精度應較平面來為寬鬆，因此建議 1/5000 基本圖測置規範使用 UAV 影像時可放寬高程之精度要求。

七、 參考文獻

- 內政部國土測繪中心，2010，「內政部國土測繪中心測繪科技發展後續計畫-發展無人飛行載具航拍技術作業執行計畫（100年~103年）」。
- 內政部國土測繪中心，2006，「e-GPS 衛星基準站即時動態定位系統 VBS-RTK 定位測試成果報告」。
- 袁修孝，2001，『GPS 輔助空中三角測量原理及應用』，北京：測繪出版社。
- 謝幸宜，2011，「以自率光束法提升四旋翼 UAV 航拍影像之定位精度」，國立政治大學地政學系碩士論文：台北。
- Ackermann, F.E. 1994, "On the Status and Accuracy Performance of GPS Photogrammetry, Proceedings of Mapping and Remote Sensing Tools for the 21st Century, Washington D.C., August 26-29.
- Ackermann, F., 1997, "GPS for Photogrammetry", International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 56(4): 387-406.
- Bendea, H. F., Chiabrandu, F., Tonolo, F. G. and Marenchino, D., 2007, "Mapping of archaeological areas using a low-cost UAV the Augusta Bagiennorum Test site", XXI International CIPA Symposium, Athens, Greece, October 01-06.
- Berni, J.A.J., Zarco-Tejada, P., Suárez, L. and Fereres, E., 2009, "Thermal and narrowband multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 47: 722-738.
- Bilker, M., Honkavaara, E. and Jaakkola, J., 1998, "GPS supported aerial triangulation using untargeted ground control", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 32(3): pp. 2-9.
- Blankenberg, L. E., 1992, "GPS supported aerial triangulation - state of the art", Photogrammetry Journal of Finland, 13(1): 4-16.
- Bláha, M., Eisenbeiss, H., Grimm, D. E. and Limpach, P., 2011, "Direct georeferencing of UAVs", Proceedings of the International Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics (UAV-g), Zurich, Switzerland, September 14-16.
- Brown, D.C., 1976, "The Bundle Adjustment: Progress and Prospects", International Archive of Photogrammetry, Helsinki, Finland.
- Chiang, K. W., Tsai, M. L. and Chu, C. H., 2012, "The Development of an UAV Borne Direct Georeferenced Photogrammetric Platform for Ground Control Point Free Applications", Sensors, 12(7): 9161-9180.
- Clarke, T. A., Fryer, J. G., and Wang, X., 1998, "The Principal Point and CCD Cameras", Photogrammetric Record, 16(92): 293-312.
- Cramer, M. Stallmann, D. and Haala, N., 2000, "Direct Georeferencing using GPS/inertial exterior orientations for photogrammetric application", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 33(B3): 198-205.
- Eisenbeiss, H., 2004, "A mini Unmanned Aerial Vehicle (UAV): System overview and image

- acquisition”, *Proceeding of the International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Pitsanulok, Thailand, November 18-20.
- Eisenbeiss, H., Lambers, K., Sauerbier, M. and Zhang, L., 2005, “Photogrammetric documentation of an archaeological site (Palpa, Peru) using an autonomous model helicopter”, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 34(5): 238-243.
- Eisenbeiss, H., Zhang, L., 2006, “Comparison of DSMs generated from mini UAV imagery and terrestrial laser scanner in a cultural heritage application”, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36(5): 90–96.
- Erdas Inc., 2008, “LPS Project Manager Use’s Guide”, Norcross, Georgia. Erdas Inc.
- Fraser, C.S., 1982, “On the use of non-metric cameras in analytical non-metric photogrammetry”, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 24(5): 156-166.
- Friess, P., 1990, “Kinematic GPS Positioning for Aerial Photogrammetry Empirical Results”, *International Symposium on Precise Positioning with the Global Positioning System*, 3(7):1169-1184.
- Grammatikopoulos L., Kalisperakis I., Karras G., Petsa E., 2007, “Automatic multi-view texture mapping of 3D surface projections”, *International archives of photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, 36:5.
- Haarbrink, R. B. and Eisenbeiss, H., 2008, “Accurate DSM production from unmanned helicopter systems”, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(B1): 1259-1264.
- Hinsken, L. U. D. G. E. R., Miller, S., Tempelmann, U., Uebbing, R. and Walker, A. S. 2002, “Triangulation of the LH Systems’ ADS40 using ORIMA GPS/IMU”, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 34(3A): 156-162.
- Hongxia, C., Zongjian, L. and Guozhong, S., 2007, “Non-metric CCD Camera Calibration for Low Attitude Photogrammetric Mapping”, *IEEE Electronic Measurement and Instruments*, 2: 689-696.
- Horcher, A. and Visser, R. J. M., 2004, “Unmanned Aerial Vehicles: Applications for Natural Resource Management and Monitoring”, *Council on Forest Engineering Annual Meeting*, Hot Springs (AR), USA, April 28-30.
- Hunt, E. R., Cavigelli, M., Daugherty, C. S. T., McMurtrey, J., and C. L. Walthall, 2005, “Evaluation of Digital Photography from Model Aircraft for Remote Sensing of Crop Biomass and Nitrogen Status”, *Precision Agriculture*, 6:359–378.
- Küng, O., Strecha, C., Fua, P., Gurdan, D., Achtelik, M., Doth, K. M. and Stumpf, J., 2011, “Simplified building models extraction from Ultra-light UAV Imagery”, *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, 38(1): 217-222.
- Lerma, J. L., Navarro, S., Cabrelles, M., and Villaverde, V. , 2010, “Terrestrial laser scanning and close range photogrammetry for 3D archaeological documentation: the Upper Palaeolithic cave of Parpall as a case study”, *Journal of Archaeological Science*, 37(3): 499-507.

- Li, S., 2011, "The use of Low-altitude unmanned aerial vehicle system in the measurement of large scale topographic maps ——Take the 1:2000 mapping of PuWen as an example," 11th South East Asian Survey Congress and 13th International Surveyors' Congress Innovation towards Sustainability, Malaysia, June 22-24.
- Lin, Z. J., 2008, "UAV for mapping-low altitude photogrammetric survey", *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(B1): 1183-1186.
- Lin, Y., Hyypä, J. and Jaakkola, A., 2011, "Mini-UAV-Borne LIDAR for Fine-Scale Mapping Geoscience and Remote Sensing Letters", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 8(99): 426–430.
- Pueschel, H., Sauerbier, M. and Eisenbeiss, H., 2008, "A 3D model of Castle Landenberg (CH) from combined photogrammetric processing of terrestrial and UAV-based images", *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(B8): 93-98.
- Patias, P., Saatsoglou-Paliadeli, C., Georgoula, O., Pateraki, M., Stamnas, A. and Kyriakou, N., 2007, "Photogrammetric documentation and digital representation of the macedonian palace in Vergina-Aegeae", XXI International CIPA Symposium, Athens, Greece, October 01-06.
- Reich, M.; Wiggengagen, M.; Muhle, D., 2012, "Filling the holes - Potential of UAV-based photogrammetric facade modeling", In: *Tagungsband des 15, 3D-NordOst Workshops der GFaI*, December 06-07.
- Rosnell, T., Honkavaara, E. and Nurminen, K., 2011, "On geometric processing of multi-temporal image data collected by light UAV systems", *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38: 01-06.
- Tahar, K.N., Ahmad, A., Wan Mohd Akib, W.A.A. and Udin, W.S., 2011, "Unmanned aerial vehicle technology for large scale mapping", ISG(International Symposium and Exhibition on Geoinformation) & ISPRS(International Society for Photogrammetry and Remote Sensing), Shah Alam, Malaysia, September 11-14.
- Trimble, 2010, *BD970 GNSS receiver module user guide, version 4.1*, Trimble.com.
- Zarco-Tejada, P.J., González-Dugo, V. and Berni-Fluorescence, J.A.J., 2012, "temperature and narrow-band indices acquired from a UAV platform for water stress detection using a micro-hyperspectral imager and a thermal camera", *Remote Sensing of Environment*, 117(1): 322–337.
- Zhou, G., Li, C. and Cheng, P., 2005, "Unmanned aerial vehicle (UAV) real-time video registration for forest fire monitoring", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1803-1806.
- Zhou, G. and Wu, J., 2006, "Unmanned aerial vehicle (UAV) data flow processing for natural disaster response", *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, Reno, Nevada, May 01-05.
- Photometrix (2010, August) . *Users Manual for iWitness and iWitnessPRO*. Retrieved January 9, 2012 from World Wide Web: <http://www.photometrix.com.au>.

國科會補助專題研究計畫項下出席國際學術會議心得報告

日期：103年2月10日

計畫編號	NSC 101-2119-M-004 -001 -		
計畫名稱	以 GPS 輔助無人飛行載具不同感測器影像之精確定位定向 GPS-aided Precise Positioning and Orientation of Diverse UAV Sensing Images		
出國人員 姓名	邱式鴻、吳志文	服務機構及職稱	政治大學地政學系 副教授與其學生
會議時間	102年10月20日至 102年10月24日	會議地點	印尼
會議名稱	(中文)第34屆亞洲遙測學會 (英文)The 34 rd Asian Conference On Remote Sensing		
發表論文題 目	(中文) (英文) FEASIBILITY STUDY OF VBS-RTK GPS SUPPORTEDAERIAL TRIANGULATION FOR UAV IMAGES USING CONTROL ENTITIES AS CONTROL POINTS		

一、參加會議經過

本次會議內容包括下述 11 個方向：(1)Sensor and Platform，(2)Methods Development and Image Processing，(3)Environmental Science，(4)Natural Resources，(5)Hazards，(6)Social economic science and policy，(7)Health Science，(8)Education，(9)Geographic Information Systems (GIS)，(10)GPS and Global Navigation Satellite Systems，(11) Mapping and geospatial information。本次大會共 52 個國家地區總共 1379 人與會，除印尼(402 人)、日本(151 人)外，台灣共 146 人參加是第三個與會最多的國家；本人除與學生共同以海報發表與本年度國科會計畫相關之研究：“FEASIBILITY STUDY OF VBS-RTK GPS SUPPORTEDAERIAL TRIANGULATION FOR UAV IMAGES USING CONTROL ENTITY AS CONTROL POINTS”之外，亦與博士生和另一位碩士生以海報發表另兩篇論文(圖一)，其中所指導之林柔安碩士生發表之“Automatic Recognition of Traffic Sign from Vehicle-Borne Images”獲得學生論文獎，如下圖二。



圖一 與研究生海報發表論文合影



(A)



(B)

圖二 林柔安碩士生論文海報發表(A)與所獲 ACRS 2013 學生論文獎證明(B)

大會(10/20)第一天報到之後，兩個 Workshop (1). Forest Monitoring Systems: Towards Operational Readiness for MRV and REDD+ Activities. (1).Multi-sensors Remote Sensing Technology for Sustainable Disaster Management 當天同時進行；大會第二天(10/21)早上才開幕(見圖三)，由印尼 Ministry of Research and Technology Prof. Dr. Ir. H. Gusti Muhammad Hatta 發表 KEYNOTE SPEECHES，下午各 Section 從一點開始，晚上則於海邊餐廳舉行 BANQUET AND CULTURAL NIGHT，台灣隊伍於表演時舞臺電源出問題，以至於無法得名。第三天(10/22)參與 8:20 展開的 Plenary Speeches，以及之後的 Special Sessions、Technical Sessions、Poster Session 等等。第四天(10/23)是印尼當地的年節，因此當天大會並未安排任何學術活動。第五天本人一早過去參與 Poster Section 的學生論文海報發表評選，隨即到 Technical Sessions 聽論文發表，大會於下午三點舉行閉幕。



圖三 開幕典禮

二、與會心得

本次會議主題分佈極廣，可發現除精進技術外，也嘗試擴展空間資訊領域其相關應用層面，如環境變遷等。此外，本次會議亦針對空間資訊領域之教育予以探討。但本屆 ACRS 大會安排議程非常混亂，除時間議程一再更改、亦未掌握確實全文投稿以及能到場發表的人數，導致有些 section 無人報告。即使如此，於本會議中，本人儘可能針對目前研究方向及感興趣報告聽取報告，主要可分成三個部份，分別為 UAV 相關應用與影像之處理、車載光達點雲處理、遙測影像之應用。

UAV 影像之處理的論文中，台灣成功大學饒見有老師指導的學生利用定翼 UAV 搭載 Miniature Multiple Camera Array，該儀器是一種多光譜的相機，透過對個別波段單獨率定然後再將各波段影像鑲嵌。另一篇文章亦是饒老師所指導的於 UAV 上搭載戰術級 IMU 和雙頻 GPS 接受器 SPAN CPT，搭配 Canon EOS 5D Mark II 相機製作高精度 DSM，使用三種軟體製作並比較 Pix4D Pix4UAV、Photomatrix Australis、Intergraph ISAT 之間的成果。其中 Pix4UAV 產製成果的精度最佳。

同樣是台灣台北大學黃金聰老師指導的學生則是使用 UAV 影像用 photosynth 產生 DSM，透過控制點將 photosynth 進行地理對位，在精度上比起之前的文章有較好的提升。Yi-Ting Tsai 等人所發表之”The Study On The DSM Generated By SIFT And SfM Used UAV Image”，其概念是將 Photosynth 之 SIFT 與 SfM 應用於 UAV 影像中製作 DSM，並與經自率光束法解算之成果比較後，其於草地覆蓋之高程 RMSE 約 0.5m，於礫石覆蓋之高程 RMSE 約 0.6m，並且繪製剖面線予以分析。

日本則是使用 UAV 做內陸洪水的計算，但文章內容非常簡略，感覺只是初步成果，不過這種應用搭配上即時影像回傳鑲嵌應該有很大的發揮空間。

在 UAV 相關文章中，較為特別的是馬來西亞發展了 UAV 上用的 SAR 系統，透過 UAV 就可以獲得 SAR 影像，不過因為還在發展中關係，獲得 SAR 影像之解析度和衛星 SAR 相差

不多。展場展示印尼 UAV 發展概況，見下圖四。



圖四 ACRS2013 展場展示印尼 UAV 發展概況

在光車載光達點雲處理，Chi-Min Chiu 等人所發表之”POLE-LIKE ROADSIDE OBJECTS EXTRACTION FROM MOBILE LIDAR POINT CLOUDS”，主要是針對車載光達點雲中之桿狀物予以萃取，除桿狀物萃取外，此研究議針對燈感之方向予以分析，透過此法將有助於道路 LOD3 模型之建置，然而此研究尚未加入影像資料，若未來加入影像資料，將有助於該燈感之屬性資料建立。

詹君平所寫的“Urban land cover classification of oblique aerial imagery using object-based image analysis method”，使用 object-based image analysis 做傾斜影像的影像分類，分成樹木、草地、建物正面、屋頂、道路和其他共六項。此研究使用 multiresolution segmentation algorithm 分割影像，此演算法藉由合併相似的颜色與形狀，將整張影像分成上述六項物件，在此篇研究中，作者可成功分類出建物正面與屋頂。Object-based image analysis 以光譜資訊、形狀、紋理、物件關係和附屬特徵為資訊來分類傾斜影像，作者認為這種方法獲得之成果優於傳統影像分類方式如監督式與非監督式分類，可減少椒鹽效應及更好的分類成果。此篇文章之研究流程如下：首先利用垂直影像及傾斜影像產製 SIFT 描述子、匹配結合點，應用光束法獲得外方位參數，並產製高密度點雲，利用該點雲產製地形圖及坡度圖，航空影像經由影像處理獲得影像邊緣與增強 RGB 之影像。以 Object-based image classification 分類出六個物件，利用上述所得知所有資訊作為分類條件，每個物件都有一組分類條件，若符合該組條件，即可視為該物件。此篇文獻雖有完整的分類條件及組合分類影像，但在這些指數中，並沒有

使用足夠可靠的統計方法作判斷，可能是以試誤法，直接定一數值判斷。

而於遙測影像之應用中，主要有雷達製作 DEM、雷達干涉等技術於地形變遷偵測以空載光達於森林地區之應用，此外有看到利用多光譜遙測影像影用於空氣品質之監測，此外，Junhee Youn 等人發表”Automatic Detection of Snowfall Intensity Using CCD Sensor”可應用於下雪反射度的偵測。

三、發表論文全文或摘要

本次會議以海報發表與本年度國科會計畫相關之研究：”FEASIBILITY STUDY OF VBS-RTK GPS SUPPORTEDAERIAL TRIANGULATION FOR UAV IMAGES USING CONTROL ENTITY AS CONTROL POINTS”之英文摘要如下：

ABSTRACT

Recently, UAV (Unmanned Aerial Vehicle) can be used in civil purpose such as mapping and disaster monitoring. UAV can collect high resolution images and fly under the cloud for mapping demands. VBS-RTK GPS (Virtual Base Station-Real Time Kinematic GPS) technique can be used to support bundle adjustment aerial triangulation of UAV images to reduce the demands of GCPs (ground control points). The offset between camera projection center and GPS antenna is solved by introducing drift parameter for each strip. Additionally, self-calibration bundle block adjustment can be employed in aerial triangulation to overcome imperfect calibration of non-metric camera. However, GCPs are still necessary to perform VBS-RTK GPS supported aerial triangulation for precise position and orientation of UAV images. In Taiwan, there are lots of historic aerial photogrammetric projects for large scale topographic mapping. If GCPs, called as control entities in this study, can be obtained from these projects, it can reduce the costs for surveying GCPs and improve the efficiency of aerial triangulation for UAV images. Therefore, this study will investigate the feasibility of GPS supported self-calibration bundle adjustment for UAV images by using control entities from historic aerial images as GCPs. Meanwhile, the appropriate configuration of control entities for VBS-RTK GPS supported self-calibration bundle adjustment for UAV images will be proposed in this study.

四、建議

UAV 於其他亞洲國家已加速應用，反觀國內受限於法令無法充分發展，建議相關部會應該盡速協調，製訂合宜的法令，使得 UAV 相關研究與發展可以與國際接軌。

五、攜回資料名稱及內容

ACRS2013 CD Proceedings

六、其他

無

國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2014/02/06

國科會補助計畫	計畫名稱: 以GPS輔助無人飛行載具不同感測器影像之精確定位定向
	計畫主持人: 邱式鴻
	計畫編號: 101-2119-M-004-001- 學門領域: 地理資訊系統與遙感探測
無研發成果推廣資料	

101 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：邱式鴻		計畫編號：101-2119-M-004-001-					
計畫名稱：以 GPS 輔助無人飛行載具不同感測器影像之精確定位定向							
成果項目		量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）	
		實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數（含實際已達成數）	本計畫實際貢獻百分比			
國內	論文著作	期刊論文	0	1	100%	篇	
		研究報告/技術報告	1	1	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（本國籍）	碩士生	2	2	100%	人次	
		博士生	1	1	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		
國外	論文著作	期刊論文	0	1	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	1	1	100%		
		專書	0	0	100%		章/本
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（外國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		

<p style="text-align: center;">其他成果</p> <p>(無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p>	無
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科 教 處 計 畫 加 填 項 目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以 100 字為限）

已發表文章' FEASIBILITY STUDY OF VBS-RTK GPS SUPPORTEDAERIAL TRIANGULATION FOR UAV IMAGES USING CONTROL ENTITIES AS CONTROL POINTS' 於印尼峇厘島舉行的第 34 屆亞洲遙測學會年會中，並已將期末報告成果以題目' VBS-RTK GPS-SUPPORTED BUNDLE ADJUSTMENT FOR AERIAL TRIANGULATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLE IMAGES ' 於 12 月投稿於期刊' The Photogrammetric Record' 。本研究成果應有機會進行技術移轉。

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

本計畫原為整合型研究計畫「無人飛行載具多感測器之整合與火山監測之應用」的子計畫二「以高精度 GPS 定位資料輔助 UAV 上不同感測器影像之精確定位定向」的第一年計劃，其目標是以「高精度 GPS 定位資料輔助 UAV 上光學感測器影像之精確定位定向」。原整合型研究計畫僅有本子計畫研究案經國科會核准通過補助，因此研究方向主要是以「VBS-RTK GPS 輔助 UAV 影像自率光束法空三平差之研究」。而整個研究成果顯示達成預期目標。

學術成就：

1. 已於 2013 年 10 月發表文章' FEASIBILITY STUDY OF VBS-RTK GPS SUPPORTEDAERIAL TRIANGULATION FOR UAV IMAGES USING CONTROL ENTITIES AS CONTROL POINTS' 於印尼峇厘島舉行的第 34 屆亞洲遙測學會年會中。

2. 並已將期末報告成果以題目' VBS-RTK GPS-SUPPORTED BUNDLE ADJUSTMENT FOR AERIAL TRIANGULATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLE IMAGES ' 於 2013 年 12 月投稿至' The Photogrammetric Record' 期刊。

3. 驗證 VBS-RTK GPS 輔助 UAV 影像自率光束法空三平差的可行性。

技術創新：

無人飛行載具 UAV 於小區域之圖資更新卻相當適合。但一般 UAV 因酬載重量限制，僅可酬載體積小且重量輕之感測器，如非量測型相機及低精度定位定向系統，即 AHRS 系統。因此本研究在 UAV 上酬載 Trimble BD970 GNSS OEM GPS 接收模組，此 GPS 接收模組體積小且重量輕可安置於 UAV 上，並透過 VBS-RTK GPS 定位技術獲取 UAV 精確飛行軌跡資訊，再經時間內插相機曝光瞬時的 GPS 資訊供空中控制使用，輔助 UAV 影像空中三角測量(簡稱空三)平差，以降低地面控制點需求。

社會影響：

於 UAV 影像精確定位定像時，減少地控點測製成本，將可加速局部圖資更新的速度，使得開發建設時蒐集圖資之速度增快，促進社會經濟繁榮。

評估研究成果之學術或應用價值：

由於所發展技術具實用性且已證實可行，將可立即應用無人飛行載具 UAV 於小區域之圖資更新。且本研究成果應有機會進行技術移轉。