

102-20-7669

MOTC-IOT-101-H2DB006b

海岸帶及近海衛星遙測技術之 整合應用研究(4/4)



交通部運輸研究所

中華民國 102 年 2 月

102-20-7669

MOTC-IOT-101-H2DB006b

海岸帶及近海衛星遙測技術之 整合應用研究(4/4)

著 者：邱永芳、李良輝、張富東、黃茂信

交通部運輸研究所

中華民國 102 年 2 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

海岸帶及近海衛星遙測技術之整合應用研究 (4/4)
/邱永芳等著.--初版.-- 臺北市：交通部運輸研究所，
民 102.02
冊 ； 公分
ISBN 978-986-03-6011-0 (平裝)

1. 海岸 2. 遙感探測 3. 衛星觀測 4. 地理資訊系統

351.9

102001614

海岸帶及近海衛星遙測技術之整合應用研究 (4/4)

著 者：邱永芳、李良輝、張富東、黃茂信
出版機關：交通部運輸研究所
地 址：10548 臺北市敦化北路 240 號
網 址：www.ihmt.gov.tw (中文版>中心出版品)
電 話：(04)26587176
出版年月：中華民國 102 年 2 月
印 刷 者：
版(刷)次冊數：初版一刷90冊
本書同時登載於交通部運輸研究所臺灣技術研究中心網站
定 價：200 元
展 售 處：
交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880
國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02) 25180207
五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1010200246

ISBN：978-986-03-6011-0 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部份內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：海岸帶及近海衛星遙測技術之整合應用研究(4/4)			
國際標準書號 ISBN978-986-03-6011-0(平裝)	政府出版品統一編號 1010200246	運輸研究所出版品編號 102-20-7669	計畫編號 101-H2DB006b
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳主任 計畫主持人：邱永芳、張富東 研究人員：黃茂信、林賢銘 聯絡電話：04-26587120 傳真號碼：04-26571329	合作研究單位：國立高雄應用科技大學 計畫主持人：李良輝副教授 研究人員：張庭榮 地址：807 高雄市三民區建工路 415 號 聯絡電話：07-3814526 轉 5256		研究期間 自 101 年 02 月 至 101 年 11 月
關鍵詞：無人載具，除霾，相機率定，三維重建			
摘要： 本研究主要目的在利用無人飛行載具(UAV)發展快速科技，加上自動導航及數位影像技術結合，使用廉價的相機，將其精確性、實用性與可靠性大幅度提升，可彌補專業與高價攝像系統之盲點，得到機動及低成本的高空測量技術。 本研究目標在於無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)測量系統的開發與應用。其研究內容包括： 1. 地面與低空 UAV 近景攝影與量測技術開發與建置。 2. UAV 空中近景技術於河床高度資料之獲取與精度分析。 3. 降質圖像之輻射品質精進處理，包括影像除霧、除霾、除陰影及色彩平衡。 4. 多來源圖像資料融合(Data Fusion)方法與處理。 本研究成果效益以及後續應用包含有： 1. UAV 近景攝影與量測技術開發與建置，可以提供國內各港務局、海巡署與漁業署等應用，提升海岸測量的效率與效益。 2. 本研究可以加速國內量測技術的提升與廉價化。 3. 本研究未來可以提供空中近景技術於河床高度資料之獲取與提高精度。			
出版日期	頁數	工本費	本 出 版 品 取 得 方 式
102 年 2 月	182	200	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按工本費價購。
機密等級： ☐ 密 ☐ 機密 ☐ 極機密 ☐ 絕對機密 (解密條件： ☐ 年 ☐ 月 ☐ 日解密， ☐ 公布後解密， ☐ 附件抽存後解密， ☐ 工作完成或會議終了時解密， ☐ 另行檢討後辦理解密) ☒ 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: Integrated Applications of the Remote Sensing Technique in the Coastal Zone Areas (4/4)			
ISBN 978-986-03-6011-0 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010200246	IOT SERIAL NUMBER 102-20-7669	PROJECT NUMBER 101- H2DB006b
DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Chiu Yuang-Fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chiu Yuang-Fang, Chang Fu-tung PROJECT STAFF: Huang Mao Hsin, Lin Hsien Ming PHONE: +886-4-26587120 FAX: +886-4-26571329			PROJECT PERIOD FROM February 2012 TO November 2012
RESEARCH AGENCY: National Kaohsiung University of Applied Sciences PRINCIPAL INVESTIGATOR: Lee Liang-Hwei PROJECT STAFF: Shei Chang Ting-Lung ADDRESS: 415 Chien Kung Road, Kaohsiung 807, Taiwan, R.O.C. PHONE: +886-7-3814526 ext5256			
KEY WORDS: UAV, shadow removal, camera calibration, Three-dimensional reconstruction			
ABSTRACT In recent years, unmanned aerial vehicles (UAV) development of rapid, with automatic navigation and automatic transmission technology in digital imaging combined with the use of general consumption of cheap camera, Accuracy, practicality and reliability have been improved significantly, It can make up for blind spots of the measurement camera, Its low-altitude, high-resolution surface images photography, will emphasize its mobile and low cost advantages. The subject of this study for the system development and application of Unmanned Aerial Vernicle, The expected results will obtain as following items: 1. A ground and low-altitude UAV close-range photogrammetry and measurement technology and implementation. 2. UAV aerial close-range in the riverbed of digital surfer model of data access and accuracy. 3. Lowering the quality of the image quality of radiation sophisticated processing, including image defogging, in addition to haze, in addition to shadows and color balance. 4. Multi-source image data fusion and processing. This research benefit and application include: 1. Unmanned aerial vehicles (UAV) system can provide some capability, which like transportation safety, efficiency, and benefit in Harbor Bureaus, Coast Guard Administration, and Fisheries Agency. 2. The Remote Sensing Technique can promote Lowering and Hi quality of the Coastal Zone surface. 3. In the future, the research can provide UAV aerial close-range in the riverbed of digital surfer model of data access and accuracy.			
DATE OF PUBLICATION February 2013	NUMBER OF PAGES 182	PRICE 200	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
目 錄	III
圖目錄	VI
表目錄	X
第一章 前言	1-1
1.1 緣起	1-1
1.2 UAV 應用現況	1-2
第二章 研究項目與工作時程	2-1
2.1 工作項目與內容	2-1
2.2 工作時程與進度	2-3
第三章 UAV 低空攝影系統規劃	3-1
3.1 前言	3-1
3.2 UAV 系統整體規劃	3-4
3.2.1 UAV 架構	3-4
3.2.2 各部功能	3-5
3.2.3 整合作業	3-5
3.3 UAV 之組件與規格	3-6
3.3.1 UAV 載具	3-6

3.3.2 UAV 地面控制站.....	3-9
3.3.3 UAV 攝影系統.....	3-11
第四章 UAV 影像處理關鍵技術與基本理論	4-1
4.1 概述.....	4-1
4.2 建置 UAV 拍攝系統與攝影規劃(含自動導航功能).....	4-1
4.3 數位相機之率定	4-4
4.3.1 率定參數.....	4-6
4.3.2 率定標拍攝.....	4-7
4.3.3 率定參數解算.....	4-7
4.4 傳統數位相機率定.....	4-9
4.5 UAV 影像坐標自動匹配量測.....	4-13
4.5.1 基於 SIFT 演算法之特徵點偵測	4-14
4.5.2 SURF 特徵匹配演算法.....	4-18
4.5.3 RANSAC 除錯與映射轉換	4-25
4.5.4 基於薄板樣條函數之影像校齊.....	4-26
4.5.5 輻射校正、除薄雲及去霾處理.....	4-29
4.5.6 無縫鑲嵌及色彩平衡.....	4-30
4.6 稠密影像點位匹配 (Dense Image Matching).....	4-33
4.6.1 前言	4-33
4.6.2 半全局匹配(SGM)匹配演算法	4-34
4.6.3 基於 SGM 的遙測影像匹配方法	4-35

4.6.4 試驗結果.....	4-37
4.7 CUDA 平行運算平台	4-38
第五章 UAV 影像作業系統的開發與實驗分析	5-1
5.1 實驗區選取.....	5-1
5.2 UAV 無人載具選用	5-4
5.3 UAV 影展之快速拼接與正射糾正.....	5-5
5.4 無人載具替代傳統航拍製圖	5-12
5.4.1 DEM 製作	5-16
5.4.2 正射影像製作	5-18
5.5 其它災後緊急應變 UAV 攝影與處理成果	5-21
第六章 結論與建議.....	6-1
6.1 結論與建議.....	6-1
6.2 成果效益及後續應用	6-3
參考文獻.....	R-1
附錄一 期中報告審查意見處理表.....	附 1-1
附錄二 期末報告審查意見處理表.....	附 2-1
附錄三 期中簡報資料	附 3-1
附錄三 期末簡報資料	附 4-1

圖目錄

圖 3.1 無人飛行載具(UAV).....	3-1
圖 3.2 UAV 系統整體架構圖.....	3-4
圖 3.3 MK Basicset Hexa XL 無人飛行載具	3-7
圖 3.4 6600 鋰聚合物電池與飛行時間關係.....	3-8
圖 3.5 6600 鋰聚合物電池與載重關係.....	3-8
圖 3.6 PCM9X II LIMITED 遙控器	3-9
圖 3.7 Zigbee Xbee Pro 900 無線通訊模組.....	3-10
圖 3.8 MikroKopter-Tool 自組導航介面	3-11
圖 3.9 Canon EOS 600 單眼數位相機.....	3-12
圖 3.10 CAMremote-2 PRO 模組	3-14
圖 3.11 MK HiSight SLR2 大型攝影平台	3-15
圖 3.12 MikroKopter 六軸加大攝影工作站.....	3-16
圖 4.1 相機感光元件與地面解析度之幾何關係.....	4-2
圖 4.2 航線規劃示意圖	4-3
圖 4.3 因透鏡畸變所產生之影像變形示意圖.....	4-5
圖 4.4 PI-3000 率定標示意圖	4-6
圖 4.5 率定標圖像拍攝方式	4-7
圖 4.6 一般數位相機戶外率定拍攝示意.....	4-10
圖 4.7 率定結果.....	4-10
圖 4.8 相機率定結果及鏡頭畸變差.....	4-11
圖 4.9 UAV 影像相機率定.....	4-12

圖 4.10 相機率定結果.....	4-12
圖 4.11 UAV 飛行之不穩定示意圖.....	4-13
圖 4.12 SIFT 演算法主要步驟.....	4-14
圖 4.13 DoG 運算元.....	4-15
圖 4.14 局部極值的位置.....	4-16
圖 4.15 SIFT 演算法特徵點描述圖.....	4-18
圖 4.16 積分圖像計算和 W 窗口內像元的灰度求和計算.....	4-20
圖 4.17 高斯二階微分模板以及簡化.....	4-21
圖 4.18 特徵描述表示.....	4-24
圖 4.19 TPS 影像校齊.....	4-28
圖 4.20 含霧影像成像之物理模型.....	4-29
圖 4.21 除霧技術之影像增強處理結果.....	4-30
圖 4.22 高雄港三十一張影像拼接成果圖.....	4-32
圖 4.23 色彩平衡.....	4-33
圖 4.24 陰影偵測與去除.....	4-33
圖 4.25 $d(x_i, y_i, IL, IR)$ 的定義.....	4-36
圖 4.26 路徑設置.....	4-37
圖 4.27 相關係數匹配視差圖.....	4-38
圖 4.28 半全局匹配視差圖.....	4-38
圖 5.1 實驗區示意圖(影像來源 Google Earth).....	5-2
圖 5.2 控制點施測情形.....	5-3
圖 5.3 UAV 飛行軌跡.....	5-4
圖 5.4 UAV 拍攝原始影像.....	5-5

圖 5.5 快速拼接步驟.....	5-5
圖 5.6 UAV 快速拼接流程圖.....	5-6
圖 5.7 最佳化控制點選取策略流程圖.....	5-8
圖 5.8 UAV 影像快速拼接成果.....	5-9
圖 5.9 UAV 影像 TPS Warping 參考影像.....	5-10
圖 5.10 TPS Warping 成果	5-10
圖 5.11 TPS Warping 成果套疊於 Google Earth 展示.....	5-11
圖 5.12 UAV 影像快速拼接之套疊分析.....	5-11
圖 5.13 UAV 替代傳統航拍之流程圖.....	5-12
圖 5.14 影像匹配之 ISAT Photo Coordinate 格式.....	5-13
圖 5.15 影像匹配點位轉入 ISAT 專案	5-14
圖 5.16 影像匹配載入 ISAT 量測介面	5-14
圖 5.17 ISAT 空三解算報表	5-15
圖 5.18 Match-T DEM 匹配設置.....	5-16
圖 5.19 Match-T DEM 匹配成果.....	5-17
圖 5.20 UAV 匹配 DEM 與 Lidar 斷面比較(單位：m).....	5-17
圖 5.21 單張影像正射.....	5-18
圖 5.22 單張正射影像對位.....	5-18
圖 5.23 鑲嵌線計算.....	5-19
圖 5.24 UAV 影像鑲嵌正射結果.....	5-19
圖 5.25 快速拼接與傳統正射比較.....	5-20
圖 5.26 UAV 飛行軌跡.....	5-21
圖 5.27 快速拼接結果.....	5-21

圖 5.28 正射糾正影像	5-22
圖 5.29 Google Earth 套圖	5-23
圖 5.30 空三解算及方位展圖	5-24
圖 5.31 DSM 製作	5-24
圖 5.32 DSM 三維顯示	5-24

表目錄

表 2-1 工作時程與進度表	2-3
表 3-1 飛行載重與飛行時間表	3-7
表 4- 1 航空攝影規劃資訊	4-3
表 4- 2 NiKon D40X 相機(資料來源：Nikon 官方網站).....	4-8
表 4- 3 Nikon D40X 相機率定成果.....	4-9
表 4- 4 Canon IXUS 310HS 相機規格	4-9
表 5- 1 地面控制點 GPS 實測資料	5-2

第一章 前言

1.1 緣起

臺灣四面環海，海岸線狹長，海岸地形演變過程複雜，整體環境在海洋與陸地的交互作用下，受到河川流路、流域內人為活動（如採砂）、潮汐、波浪、沿岸流等營造力的共同影響，衍生出多變性的地形系統。海岸地帶為海陸交互作用地區，對於國家而言，具有多重重要性，但海岸資源亦具有脆弱性與敏感性，一經破壞，甚難恢復，不但降低其利用價值與經濟效益，更且產生環境災害，危害人民生命財產、造成社會問題。但是，由於岸線遼闊、交通困難，若採用傳統人力進行海岸調查，耗時費力且費用太高，相當不經濟。且有些海岸根本無法到達，因此無法即時掌握大範圍之動態變化。

近年來由於衛星遙測技術之飛躍發展，攝像解析度大幅提高，如2008年中發射的 GeoEye I 衛星影像解析度已達 41cm，預計將發射的 GeoEye II 衛星影像解析度更高達 25cm；國內農航所已引入新型數位相機及製圖技術，攝影解析度可達 10cm 以內，顯示在對地觀測技術已具有多來源及高解析度之特色，可在製圖及調查工作上扮演極為重要的資料來源。近年來無人載具(UAV)技術快速發展，具有低成本、高機動即時攝像的特性，可補足一般遙測影像攝像時間解析度及天候條件之不足；新的空載雷射掃瞄(Airborne LiDAR)技術可獲取高精度海岸帶地形資料；另外差分雷達干涉技術(D-InSAR)可用以偵測大範圍、高精度的地面高程變化；同時建置網路基礎三維地理資訊系統(Web-3DGIS)管理模式，進行影像資料之儲存、管理、分析與應用，以期對海岸調查、規劃管理及即時掌握大範圍之動態變化，為海岸保護與永續經營提供有效之系統工具。

對地觀測之影像目前已經發展成熟為多來源及多解析度之階段，如主動(雷達)或被動式(光學)之衛星遙測，結合全球定位系統(Global Position System, GPS)及慣性量測系統(Inertial Measurement System,

IMU)之 POS(Position and Orientation)系統，配合新的數位航空相機(Digital Aerial Camera)，已可普遍獲得品質良好之影像，也已成熟的廣泛被應用。但是該類影像仍然受到拍攝時間周期、影像價格成本等因素，無法達到即時性及機動性的要求。

近年來無人飛行載具(UAV)發展快速，加上自動導航及數位影像自動傳輸技術的結合，使用一般消費型廉價的相機，其精確性、實用性與可靠性均已大幅度提升，正好彌補目前專業與高價攝像系統之盲點，其低空、高分辨率地表影像攝影，若能發展成熟，將突顯其機動及低成本之優點而達到相當實用之目標。由於 UAV 之低空攝影，受到拍攝環境的限制，如氣候條件、低階相機等因素，所拍攝影像將具有更大的後處理挑戰，有必要發展新的影像處理程序與方法，使 UAV 影像能達到應用之目的。本研究即將針對 UAV 影像發展必要及新的處理模式。

1.2 UAV 應用現況

遙測手段為利用任何之載具進行對地觀測，以達獲取空間資訊之重要方法之一，其中載台部分可以分為；對地觀測衛星、民航機及無人載具。這些載台都具有可能程度上面的限制，如衛星影像可獲取較穩定且多時序地對地觀測資料，但衛星受限於軌道限制，無法及時獲取所需位置之資料；航空攝影影像具有高解析度且可同時獲取地面 DTM 資料，但花費相對於衛星影像成本較高，且空域的申請可能需要較長的時間才有辦法升空進行拍攝；無人載具為近期較熱門之研究題材之一，無人載具具有較高的靈活度，可於需要時即時升空，即時獲取地面資料，並兼具較低成本之優點，無人載具使用鋰聚合物電池(Li-polymer)或汽油為燃料，相對於航空攝影來說可降低大量的成本。

近年來 UAV 內部元件微型化，飛行的穩定度及性能已大幅度提升，目前可以應用於海岸線救難、山林保育、水土保持、風災、水災土石流道路破壞等災難應變災情調查、道路交通監視、商業空中攝影

以及邊境巡邏、海域漁場巡視保護等工作上均有不錯之成效。正如前所述，UAV 攝影系統據以機動靈活、高效率快速之特點，且建置成本相對於傳統航拍來得便宜，因此將適用於高危險地須，或飛行困難地區快速獲取高解析度影像，可於第一時間將欲獲取之區域之資料蒐集，並提供給救災指揮官進行救災規劃及後續災害復原之重要參考資訊，UAV 無人載具攝影平台將補足傳統航拍之機動性及高成本之優點，於救災上將有更好之表現。

UAV 一般簡單分為定翼型與旋翼型，兩者各具不同的特點與優勢，定翼型具飛控電腦可全自動飛行且飛行穩定、航程時間長、酬載量較大；旋翼型無須跑道即可起飛，機動性高可隨時改變速度高度與拍攝角，亦可定點停懸拍攝，藉著利用兩種不同型態的無人載具，未來輔助應用在空間資訊獲取勢必成為主要趨勢。

第二章 研究項目與工作時程

2.1 工作項目與內容

本研究前三年完成的工作主題項目計有：

1. 第一年：海岸帶高分辨率遙測影像資料建置與管理。主要包括：
 - (1)臺灣周邊海域及島嶼遙測影像資料重整與局部更新。
 - (2)大型圖像之 3D 管理查詢及顯示系統平臺與功能之重置。
 - (3)無人飛行載具(UAV) 應用於即時海岸帶攝影實務及影像處理系統開發。
 - (4)多源圖像局部快速修測及更新之策略。
2. 第二年：基於遙測影像之岸線特徵資料萃取。主要包括：
 - (1)多源圖像海岸帶影像製圖的方法與程序。
 - (2)海岸帶空載雷射掃瞄(Airborne LiDAR)資料之處理與應用。
 - (3)基於影像資料之多尺度及次像元精度之岸線資料萃取、岸線變遷分析。
 - (4)遙測技術於海島及島礁調查之應用－以澎湖群島為例。
3. 第三年：整合遙測(PS 雷達干涉術)技術之海岸帶地層下陷特徵調查。主要包括：
 - (1)遙測技術之島礁調查。
 - (2)多尺度影像及次像元精度之岸線資料萃取、岸線變遷分析。
 - (3)高解析合成孔徑雷達(SAR)在海洋及海岸帶的應用。
 - (4)差分雷達干涉(D-InSAR)量測技術偵測海岸帶高程變形量(沉陷)。

4. 本年度計畫主題為：「無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)系統的開發與應用」。工作項目與內容為：

- (1)地面與低空 UAV 近景攝影與量測技術開發與建置。
- (2)UAV 空中近景技術於河床高度資料之獲取與精度分析。
- (3)降質圖像之輻射品質精進處理，包括影像除霧、除霾、除陰影及色彩平衡。
- (4)多來源圖像資料融合(Data Fusion)方法與處理。

預期成果：

- (1)地面或低空(UAV)近景攝影技術之開發與應用。
- (2)UAV 空中近景攝影技術於河床高度資料量測之作業方法與精度分析。
- (3)降質圖像之輻射品質精進處理，包括影像除霧、除霾、除陰影及色彩平衡。
- (4)多來源圖像使用不同的資料融合技術，包括色彩融合或色彩遷移方法。

預期效益及其應用：

- (1)可以提供內政部、各港務局、地方政府、國土測繪單位等，運用地面或低空(UAV)近景攝影技術之開發，可增加資料蒐集之機動性與經濟性。
- (2)UAV 空中近景技術可有效應用於河床高度資料量測、滑坡監測與交通事故現場調查之多元應用，精度可達需求，方法簡易且成本低。
- (3)善用低空或即時的攝影易受環境因素之影響造成圖像之降質，影像輻射品質之精進處理，可有效提升影像資料之可用性。

(4)利用圖像資料融合技術可有效整合不同或多來源影像，提升資料之可用性。

2.2 工作時程與進度

表2-1 工作時程與進度表

月次 工作項目	第一個月	第二個月	第三個月	第五個月	第六個月	第七個月	第八個月	第九個月
相關資料之蒐集與整理								
UAV 硬體與攝像系統配置								
近景相機之率定與影像資料處理系統之開發								
UAV 攝影與影像之前處理								
河床高程(DEM)資料之獲取與精度分析								
多源影像融合處理系統開發與應用實驗								
資料整理與分析報告撰寫								
技術與資料移轉								

第三章 UAV 低空攝影系統規劃

3.1 前言

對地觀測之影像目前已經發展成熟為多來源及多解析度之階段，如主動(雷達)或被動式(光學)之衛星遙測，結合全球定位系統(Global Position System, GPS)及慣性量測系統(Inertial Measurement System, IMU)之 POS(Position and Orientation)系統，配合新的數位航空相機(Digital Aerial Camera)，已可普遍獲得品質良好之影像，也已成熟的被廣泛應用。但是該類影像仍然受到拍攝時間周期、影像價格成本等因素，無法達到即時性及機動性的要求。

近年來無人飛行載具(UAV)發展快速，加上自動導航及數位影像自動傳輸技術的結合，其可用性及實用性已大幅提高，正好彌補目前攝像之盲點，其低空、高分辨率地表影像攝影，將突顯其機動及低成本之優點而達到相當實用之目標。UAV 目前主要以定翼機及旋翼機二種型式為主(圖 3.1)，二者各有其優缺點，定翼機飛行穩定、滯空時間長，但不能定點停留；旋翼機同樣飛行穩定、滯空時間短，但可定點停留。



(a) 定翼機



(b) 旋翼機

圖 3.1 無人飛行載具(UAV)

應用無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)遙測進行震後災情的監測工作是一個新的領域。它可突破了傳統監測方式的侷限，

與衛星、載人航空等現代遙測平臺相比，也擁有得天獨厚的優勢。UAV 有機動靈活的特點。它體積小，重量輕，可隨時運輸和攜帶。它對起降的要求低，隨時飛降。起飛時可手拋或彈射，降落時可在平整的區域或手接方式。它操作簡單可靠，智慧化程度高，能實現遙控、半自主飛行和按預編航線全自動航行功能。通常以自主導航飛行為主，遙控飛行為輔，非常適合高危險地區的探測。地震或水災災區的交通和通訊設施通常會受到嚴重破壞，救援人員無法抵達，無法及時、客觀地瞭解災情。但借助無人機能夠快速飛抵災區現場，獲取災區影像資料。

UAV 一般在雲下低空平穩飛行，彌補了衛星光學遙測和普通航空攝影經常受雲層遮擋獲取不到影像的缺點。它生存力強，對氣候條件要求低，對地形適應性強，同時它擺脫了重訪週期的限制。UAV 的製作和營運成本與其他遙測平臺相比較低，整套飛行系統，包括飛機及操作平臺，價格低廉。並且操作員的訓練時間短，還可免去調機和停機的費用。

UAV 遙測可垂直或傾斜成像，快速獲取高精度定位資料和達到公分級高空間解析度圖像。根據對高品質、連續區域、高精度定位影像的地形地貌等的特徵進行分析，對拍攝區域大面積災情一目了然，有利於對災害程度做出正確的評估和判斷，科學合理地制定救災方案，組織相應的人力、財力和物力投入，避免抗災救災工作的盲目性。利用 UAV 遙測能實現災區影像資料的即時傳輸。高時效性的資料不僅可以作為災情監測的依據，還可以作為災後恢復重建規劃，重建工作督查和重建專案驗收的依據。綜上所述，可以說 UAV 天生是為應急工作準備。UAV 遙測與衛星遙測、載人航空攝影有良好的互補性，可建設多層次的災情監測平臺網路。透過統一的標準化的防災減災遙測資料庫系統，實現從災情資料獲取、處理到應急指揮、評估重建工作的一體化、制度化，從而提高我國對地觀測技術和防災減災工作的綜合能力。

UAV 遙測系統主要由空中部分、地面部分和資料後處理部分組

成。其中空中部分：包括感測器(Sensor)子系統、遙測空中控制(Control)子系統、資料壓縮(Data Compression)子系統和 UAV 平臺(Platform)。地面部分包括航跡規劃(Path Planning)子系統、UAV 地面控制子系統以及資料接收解壓縮與即時顯示子系統。

1. 感測器系統：

指 UAV 搭載的各種遙測設備。根據攝影任務的不同，可整合 CCD 數位相機、紅外掃描器、陀螺儀(IMU)、全球衛星定位系統 (GPS)等，以獲取不同類型的遙測影像。目前，災情監測系統多採用感光度和色彩深度好、載片量大的 CCD 數位相機，廣角鏡頭可對焦至無窮遠處，以獲取高解析度的全色影像。

2. 遙測空中控制系統：

主要對感測器系統進行穩定和拍攝任務的控制。它能根據 UAV 的速度、高度、航線、姿態角以及設定的航攝比例尺和重疊度等資料，自動計算並控制相機的拍攝方式。同時將影像資料和拍攝時的方位、姿態等輔助參數傳遞給 UAV 飛行平臺。航跡規劃系統是在航飛前按照應用要求、飛行作業區特點、飛行器和感測器性能參數，規劃出飛行區域與航線、拍攝點，預先載入到 UAV 地面控制子系統和遙測空中控制子系統，用於控制 UAV 的飛行和遙測拍攝。

3. UAV 飛行平臺和地面控制系統：

透過無線電遙測遙控技術進行資訊的獲取、處理與傳輸。一方面，將獲取的遙測資料和設備的狀態參數、位置坐標等輔助資料傳送給地面控制系統。另一方面，將地面操縱人員的指令傳輸給飛行器。透過 GPS 導航定位裝置、姿態陀螺、飛控電腦等裝置，實現對飛行狀態的精確控制，完成對目標區域的覆蓋。

4. 資料壓縮和解壓縮系統：

主要為實現資料的即時傳輸。機載 CCD 感測器在獲取圖像後進行壓縮，傳遞給地面進行解壓縮處理，然後傳送給地面控制站的即時顯

示系統，便於地面作業人員對飛行和航攝過程進行直即時監控和粗略評估。

5. 資料後處理系統：

針對拍攝影像資料進行加工，以提取有效資訊。UAV 的不穩定性導致 UAV 的影像須經特殊的處理步驟，其中包括正射投影、地理定位、幾何精糾正、鑲嵌勻光、融合和分類提取等。針對 UAV 遙測影像開發的專用資料處理系統，能夠實現資料的快速處理，可以滿足災情監測的需要。例如可以透過快速計算災損狀況統計及評估，透過標註道路的阻塞範圍推斷救援路線的最佳選取等。地面操作員可透過隨身攜帶的移動寬頻系統，將資料及時發送到救災指揮中心指揮，為實施應急救助提供決策依據。

3.2 UAV 系統整體規劃

3.2.1 UAV 架構

UAV(Unmanned Aerial Vehicle)系統之基本構成包括飛行載具、飛行導航與控制系統（以下簡稱飛控系統）、地面導控系統、任務酬載設備、資料傳輸系統。圖 3.2 為 UAV 系統整體架構圖之示意圖。

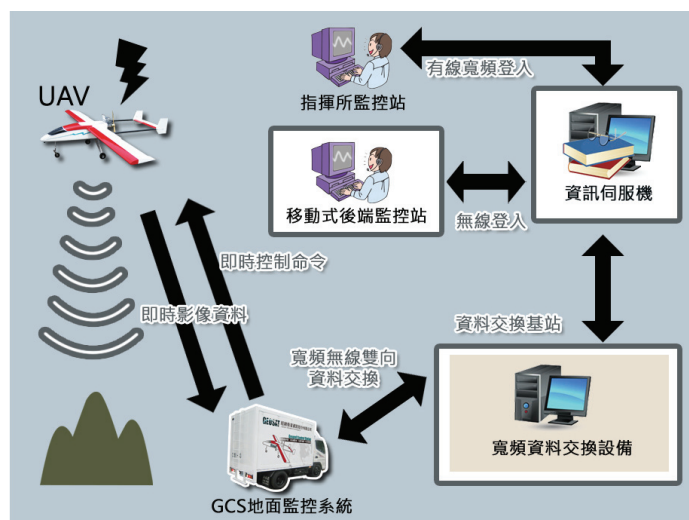


圖3.2 UAV系統整體架構圖

3.2.2 各部功能

1. 飛行載具

飛行載具負責裝載飛行導航與控制系統，並搭載各項任務酬載設備以執行航拍與遙測之飛行任務。

2. 飛控系統

飛控系統用於進行飛行載具的導航、定位和自主飛行控制。

3. 地面導控系統

地面導控系統用於任務執行前的飛行任務規劃與設計。任務執行中，通過資料傳輸系統，地面導控站可以向飛控系統發送資料和控制指令，並可接收、存儲、顯示、重播 UAV 的飛行資料，及顯示各設備工作狀態。

4. 任務酬載設備

任務設備依所裝載的設備不同，分別可進行航拍影像的獲取與存儲、即時監控影像的拍攝、近紅外光影像拍攝，或高光譜影像取像。

5. 資料傳輸系統

用於地面導控站與飛控系統以及其他酬載設備之間的資料和控制指令的傳輸，以及地面站與後端監控站的資料通訊交換。

3.2.3 整合作業

1. 執行任務前

由任務規劃人員根據航遙測任務條件，配合當地空域限制、飛行路徑與所經地形條件、及參考起降地點等資料，在地面導控系統軟體的導控地圖 GIS 平台上，標示出航點、航線、航拍與感測器啟動序列，及設定執行模式等，儲存成飛航任務檔。

2. 任務執行中

將飛航任務檔的任務資料傳輸至飛控電腦。由飛控電腦根據飛航任務資料進行自動控制飛行載具，並依控制任務設備操作序列執行任務工作。在執行任務的過程中，可以經由資料傳輸系統將機載設備以及飛行載具的狀態，即時地在地面導控系統軟體上各種儀表、導控地圖 GIS 平台上顯示，讓工作人員清楚了解任務執行中狀況。工作人員也可根據任務執行的狀況所需，即時經由資料傳輸系統上傳更新控制指令給飛控電腦，進行即時性的飛航任務調整與更新。

地面導控系統可透過有線或無線數據傳輸，將任務執行的資訊傳送給後端資料處理的電腦，進一步讓 UAV 執行任務取得的資料得到最大的利用價值。

3. 任務執行後

將機載所有感測器紀錄資料，與高解析數位影像進行下載，並進行資料後處理與其他加值應用。

3.3 UAV 之組件與規格

3.3.1 UAV 載具

UAV 之型式主要有定翼機與懸翼機二種。以本研究室使用之德國 MikroKopter 之多軸型 UAV 載具，型號為 MK Basicset Hexa XL 的懸翼機為例，說明其主要的規格。其主要特性為可定點升空，並不需考慮起飛位置，以及可定點拍攝，並取得較穩定之航拍影像，其 UAV 如圖 3.3 所示。



圖3.3 MK Basicset Hexa XL無人飛行載具

該 UAV 動力以鋰聚合物電池提供，並使用六顆無刷馬達進行機身帶動，可提供 1500g 載重，並有效降低拍攝時機身震動。飛行載重與飛行時間如表 3-1 飛行載重與飛行時間表所示。圖 3.4 為飛行時間圖，圖 3.5 為飛行時間與載重關係圖。

表3-1 飛行載重與飛行時間表

Lipo	Max. Flight time	Payload					
		200g	500g	750g	1000g	1250g	1500g
6600/4S	28min	24min	21min	18min	16min	14min	13min

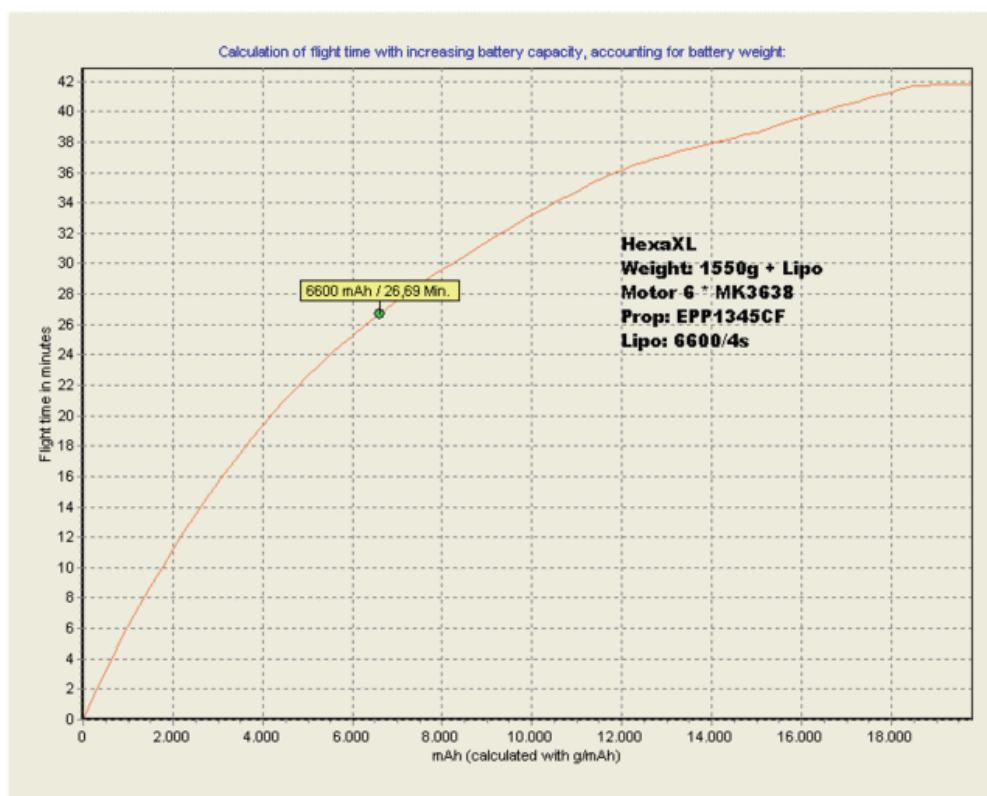


圖3.4 6600鋰聚合物電池與飛行時間關係

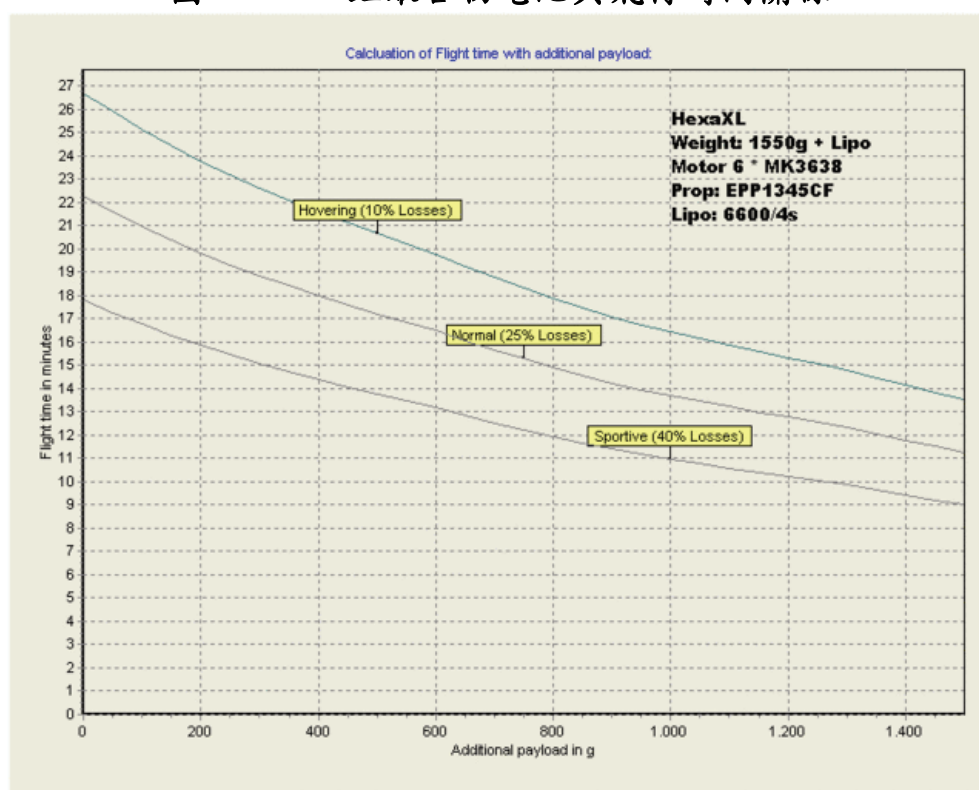


圖3.5 6600鋰聚合物電池與載重關係

3.3.2 UAV地面控制站

UAV 上搭載衛星定位系統(GPS)、慣性測量儀器(Inertial Measurement Unit; IMU，包含姿態儀和陀螺儀)及氣壓計，可提供自主飛行(Auto Pilot)功能。控制系統本研究採用 JRPROPO 遙控器，型號為 PCM9X II LIMITED 之九動遙控器，並採用 JETI model DOUPLEX 2.4GHZ 發射模組，以及 JETI BOX mini 模組進行即時訊號查詢與顯示如圖 3.6 所示。



圖3. 6 PCM9X II LIMITED遙控器

地面控制站採用 Zigbee Xbee Pro 900 無線通訊模組，該模組最遠可提供 10 公里之控制範圍以及最高 156Kbps RF 資料傳遞，並提供 128-bit AES 資料加密，可提供更穩定更高效之無線傳輸，該模組如圖 3.7 為 Zigbee Xbee Pro 900 無線通訊模組。

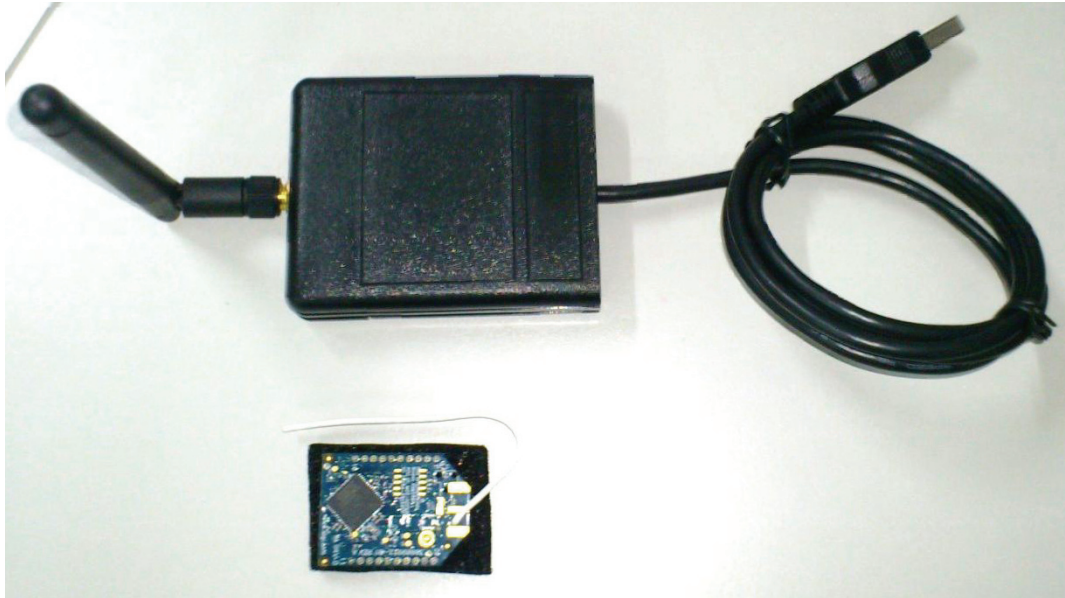


圖3.7 Zigbee Xbee Pro 900無線通訊模組

自主導航軟體採用 MikroKopter-Tool 軟體，該軟體可設置 MK 之 UAV 進行自主飛行，其中包含飛行點位、高度、方向、攝影角度及單一景物追蹤。其軟體介面如圖 3.8 軟體所示。該軟體可以設定 UAV 之飛行高度、距離、方位及攝影方向，屬於 MikroKopter-Tools 軟體中開發控制項目之一。自主導航方式該軟體提供 Area、Circle、Panorama 等方式，Area 提供使用者控制 UAV 進行區域飛行，飛行方向以方格方式進行。Circle 則讓使用者可以依據要拍攝的物體，進行繞行飛行。Panorama 方式提供使用這在天空進單一點位自我旋轉，讓使用者可以進行拍攝全景影像。



圖3. 8 MikroKopter-Tool自組導航介面

3.3.3 UAV攝影系統

1. 數位相機

本 UAV 攝影系統採用 Canon EOS 600D 單眼數位相機，Canon 600D 數位單眼在影像感測器為搭載使用 18 MP, APS-C 大小 CMOS 影像感測器，以及 DIGIC4 影像處理引擎，可以獲致更細膩的影像細節、得到更高的處理效能，在演算法的提昇下，也會有更純淨的高 ISO 影像。Canon EOS 600 單眼數位相機如圖 3. 9 所示。



圖3.9 Canon EOS 600單眼數位相機

Canon 600D 主要特色如下：

- ✓ 18 MP, APS-C 大小 CMOS 影像感測器(22.2×14.8mm)
- ✓ 1.6X 焦長轉換率
- ✓ 最大影像紀錄大小 5184 x 3456
- ✓ 可以設定影像的比例，除了 3:2，可拍攝 4:3、16:9、1:1 的照片
- ✓ EOS 整合式防塵系統
- ✓ iFCL 測光系統
- ✓ 搭載 DIGIC4 影像處理引擎
- ✓ 可以錄製 Full HD 影片,最大 1,920×1,080 @30/25/24fps,
- ✓ 影片大小 HD (16:9) 1920x1080P -30/25/24fps, 1280x720P -60fps/50FPS,
- ✓ 影片格式為 MOV (Video: H.264 編碼, Sound: Linear PCM)
- ✓ 額外的麥克風接孔
- ✓ 影片剪裁功能，可以運用感光元件中央錄製等同於三倍、七倍或十倍變焦的 VGA 影片

- ✓ 支援錄影時隨拍的模式
- ✓ 具備 HDMI 連接埠
- ✓ 支援 Basic+創意控制功能
- ✓ 在 ISO 方面，ISO 範圍在 ISO 100-ISO 6400，並可以延展至 ISO 12800
- ✓ 支援自動 ISO，可以控制 ISO 範圍
- ✓ 拍攝速度可達 3.7 fps
- ✓ 內建閃光燈 GN13@ISO100
- ✓ 快門速度在 30-1/4000 sec，支援 B 快門
- ✓ X-Sync，閃燈同步 1/200s
- ✓ 可以控制離機閃
- ✓ 搭載使用 3.0" LCD，翻轉式設計，104 萬像素
- ✓ 支援 Live View
- ✓ 在 Live View 模式，支援臉部對焦功能
- ✓ 九點廣域對焦，中央點是十字 f2.8
- ✓ 視野率 95%，放大率 0.85 倍
- ✓ 取消自動開關 LCD 的偵測器，改使用機身頂端的按鈕切換
- ✓ 使用電池 LP-E8 鋰電
- ✓ 支援新的垂直手把
- ✓ 支援使用 SDHC/SD/SDXC 記憶卡
- ✓ 133 x 99.5 x 79.8mm
- ✓ 重量 570g

2. 相機自動控制元件

為了達到自主飛行與自主拍攝之目的，本研究室使用單眼數位相機並搭配相機自動控制元件，該控制元件為 CAMremote-2 PRO 模組，該元件可控制目前大部分之數位相機，其中包含自動對焦，相機控制(快門速度、光圈大小、放大與縮小等)，並於 MK 飛行時加入相機控制參數，讓飛行至欲拍攝之位置，自動啟動相機拍攝功能。該模組如圖 3. 10 所示。

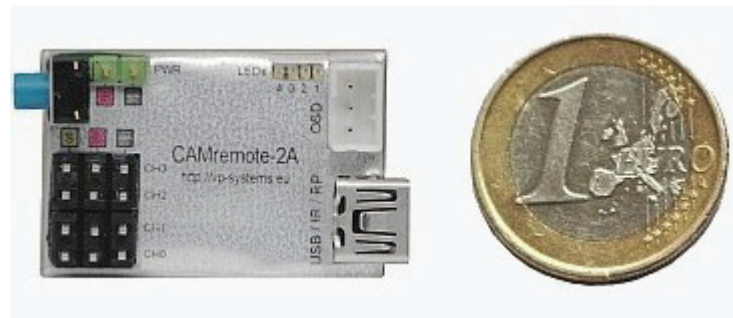


圖3. 10 CAMremote-2 PRO模組

取自(<http://vp-systems.eu/>)

3. 相機攝影平台與穩定系統

UAV 進行飛行時，易受測風及氣流引響，因此拍攝之影像容易模糊，或偏離預計航線，因此擁有一個良好的攝影平台與穩定系統為拍照時需去考慮之條件之一。本研究採用 MK HiSight SLR2 大型攝影平台，該攝影平台之擁有兩個伺服馬達，提供垂直與水平方向控制，並可由 MK 飛控板取得目前機身姿態資料，自動進行攝影平台校正，以達到穩定拍攝之目的，該攝影平台提供橡膠螺栓供該平台與 MK 系統連接，使用橡膠螺栓可有效降低飛行時之震動，該攝影平台最大可安裝 Canon EOS 5D Mark II 相機，其攝影平台如圖 3. 11 所示。



圖3.11 MK HiSight SLR2大型攝影平台

取自(<http://www.mikrocontroller.com>)

利用上述之軟硬體設備，進行多軸無人載具組裝及測試，MikroKopter 六軸加大 UAV 攝影系統如圖 3. 所示。



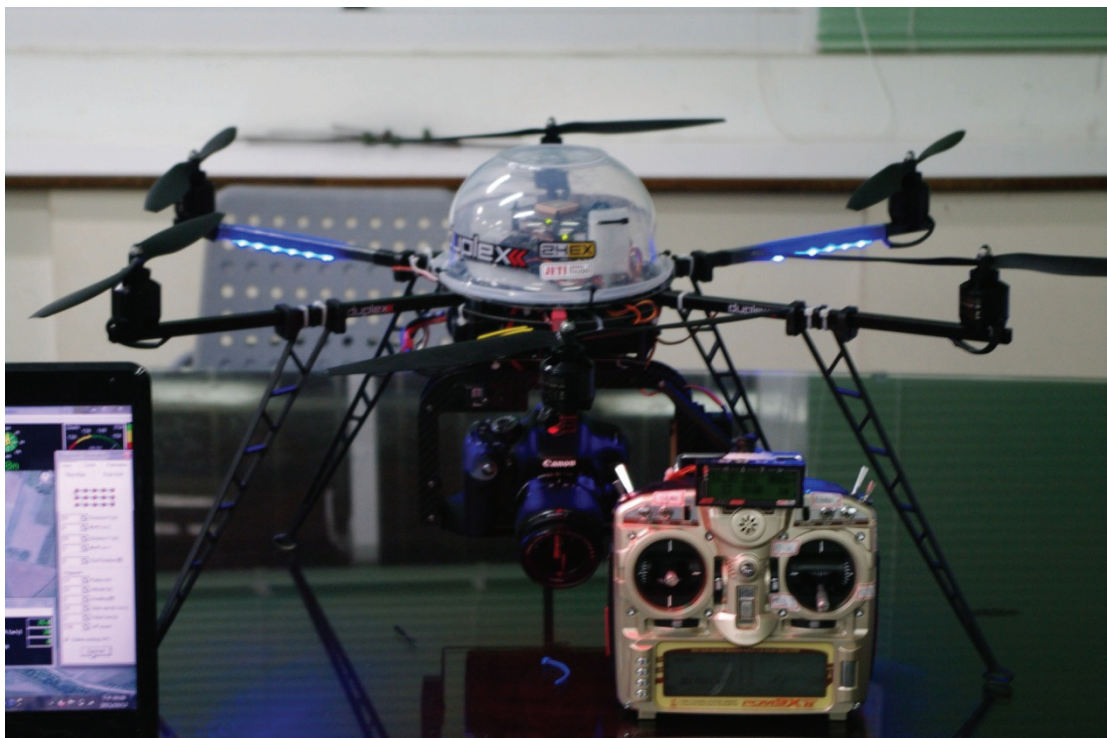


圖3. 12 MikroKopter六軸加大攝影工作站

第四章 UAV 影像處理關鍵技術與基本理論

4.1 概述

本研究主要選擇台一線大甲溪橋上下游 100 公尺範圍為實驗區域，使用 UAV 進行攝影，並完成河床高度資料(DEM)之獲取。實驗過程中依序完成攝影規劃、相機率定、影像前級處理(除霧、陰影去除等輻射處理)及主要處理(三維模型重建幾何處理)系統之設計、三維地形資料(DEM)獲取與建模、正射影像糾正及精度分析等工作。各關鍵技術與基本理論如後敘述。

4.2 建置 UAV 拍攝系統與攝影規劃(含自動導航功能)

無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)主要是指無人駕駛固定翼型飛機、直升機、飛艇及相關載具，採用無人飛行載具作為遙感平台進行低空監測及攝影系統。該系統以獲取低空、高分辨率地表影像資料為目標，集合無人飛行器、GPS 導航定位、遙感探測、近景攝影測量等多項高科技技術。該項技術具有機動靈活、經濟便捷的技術優勢，以高解析度的一般型相機為感測器，配合影像數據快速處理的技術，具有對地快速實施調查監測的能力，可廣泛應用於土地利用、動態監測、地表資源探勘、地質環境、災害調查、環境監控及地形圖更新等諸多領域的應用。

飛行控制系統為目前 UAV 負責收集地面特定地區資料成敗的關鍵，主要的項目為 GPS 導航定位裝置及飛行控制器，期望藉由航線的規劃及現地的遙控等方式，實現對載具姿態、高度、速度、航向及航線的精確控制，並能進行遙控、程式控制及自動導航等飛行模組。因此項功能已有良好的成品，因此本研究首先為以組裝與測試方式，完成該項功能。

本研究 UAV 航拍所使用之數位相機為 Canon EOS 600 APS-C 數位

單眼相機，相機感光元件解析度為 5184x3456 pixels，相機感光元件尺寸為 3.6cmx2.4cm，換算後可得到感光元件上每一像素之實際尺寸為 6.4 μ m (0.00064cm)。

由於每一像素之寬度與焦距長，相對於地面解析度 (GSD) 與航高 (AGL) 為相似三角形，如圖 4.1 所示。

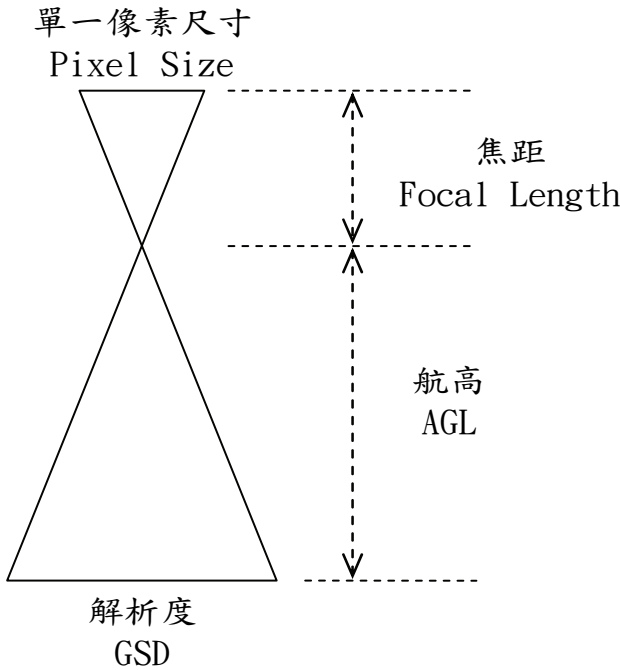


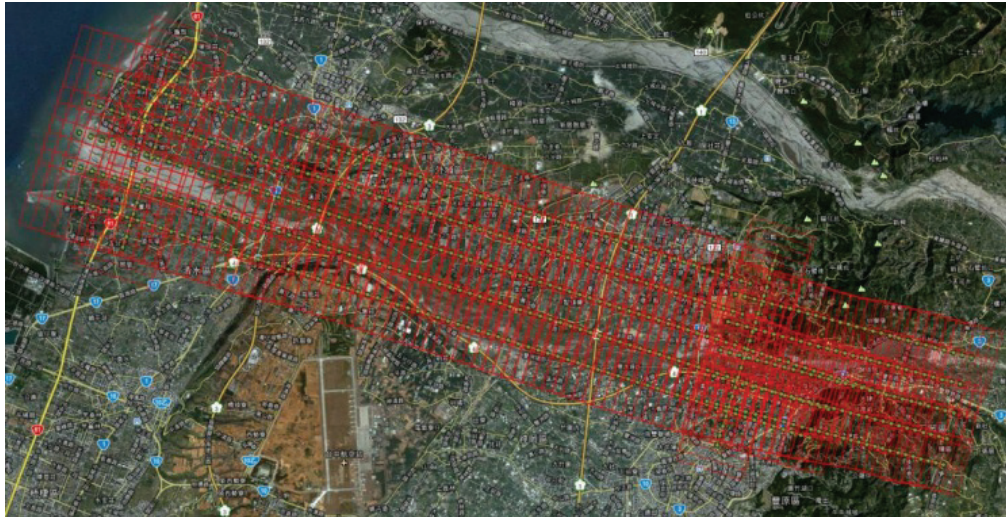
圖4.1 相機感光元件與地面解析度之幾何關係

因此可得下式：

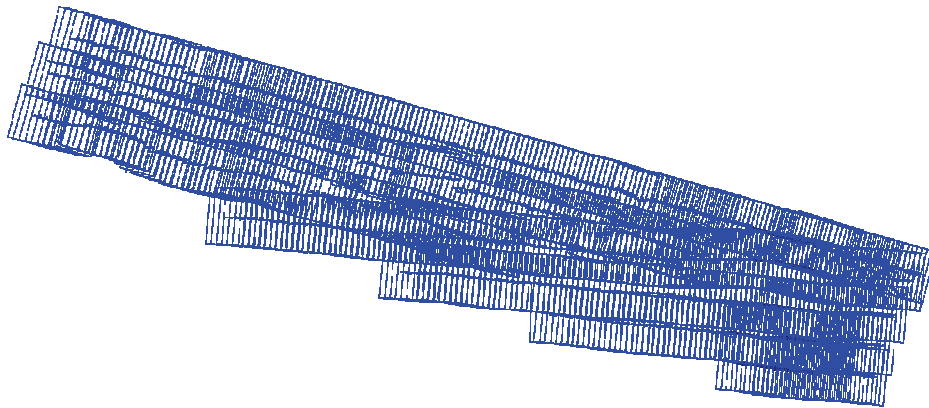
$$\frac{Pixel\ Size}{Focal\ Length} = \frac{GSD}{AGL} \dots\dots\dots (4.1)$$

根據上式，帶入拍攝像機鏡頭焦距、相機感光元件規格，及低空攝影航照地面解析度的需求。配合鏡頭焦距規格，代入計算後，即可計算出對應的航高規劃高度 (AGL)。

以 1/1000 高解析度航拍作業的航線規劃範例如圖 4.2，可達到 80% 以上的前後重疊率及 40% 以上之側向重疊率。表 4-1 為航空攝影規劃資訊。



(a)航線規劃



(b)拍攝航片

圖4.2 航線規劃示意圖

表4-1 航空攝影規劃資訊

項 目	資 訊	備 註
相機焦距	20 公釐	採用高素質 20mm 手動定焦鏡頭，避免 UAV 震動造成自動對焦位移。
像元解析度	6.4 微米	
航拍影像畫素	2100 萬	
航帶寬	約 330 公尺	航拍影像有效寬度
飛航高度	310 公尺	依照地形高程部分會有所調整

項 目	資 訊	備 註
航線間距	250~300 公尺	確保側向重疊率>40%
像片間距	55~60 公尺	確保前後重疊率>80%
側向重疊	40~50%	
前後重疊	80~90%	提高前後重疊，降低後續立製時遮蔽情形及提高正射品質
航空攝影	以 GPS/IMU 輔助	將提高空三及測圖等精度

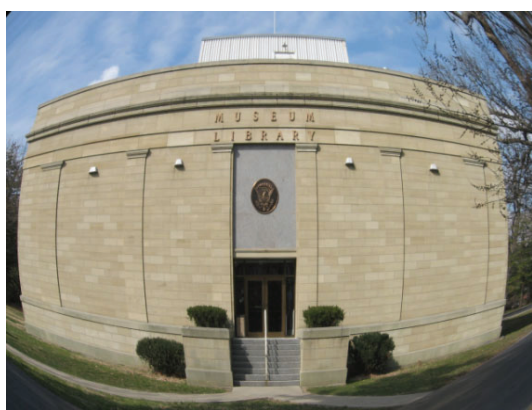
4.3 數位相機之率定

攝影測量領域中，相機率定(Camera Calibration)一直是個關鍵議題，不論是使用傳統量測性相機或是現今高解析度之數位相機。如今，隨著相關演算法及影像處理技術的成熟，相機率定已不再是一項繁雜的程序。本研究以近景軟體 PI-3000 對於本實驗現有之數位相機進行率定程序，以探討不同數位相機間之透鏡畸變程度。

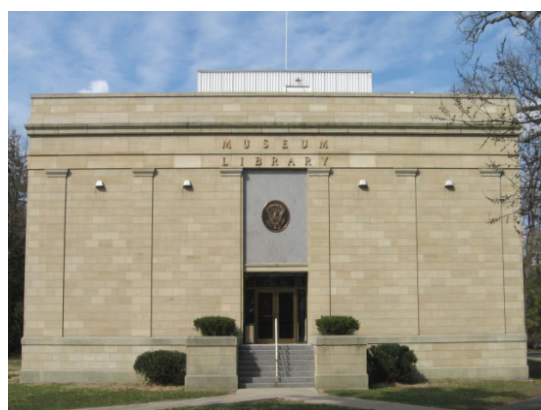
攝影測量之技術為由二維影像中獲取三維之空間資訊，而為了從影像中獲取精確且可靠之三維資訊，首要前提即是對於所使用相機之內部特性需有著充份的了解，該些特性即為相機內方位參數(Interior Orientation Parameter, IOP)，包含了相機之拍攝焦距(Focal Length)、像主點 (Principal Point) 位置偏移及各項透鏡畸變差參數，其中以自率 (Self-Calibration) 光束法平差求得相機之各項參數是最常見的方法。相機率定通常都是在率定檢驗場所進行，在率定場裡，會使用各式特定之率定標協助率定程序。攝影測量所採用之專業量測性相機(Metric Camera)，生產時即提供了精密檢定之內方位參數；目前一般的數位相機，並不提供內方位參數，且透鏡畸變(Lens Distortion)大，故於量測應用時必須先進行相機之率定(Camera Calibration)，以求得其內方位及透鏡畸變參數，以修正其攝影成像時之影像變形。

當相機按下快門的那一瞬間，物間景色將經由透視中心投影至 CCD 成像面，形成數位影像，而相機鏡頭本身為一非平面結構之凸透鏡，因此會使得投影光線產生折射現象而無法將光線正確投射至成像

面，除了使影像產生變形，也造成了影像坐標之非線性偏移，如圖 4.3 所示。在此情形之下，相機投影中心、影像點位及相應地面點位將無法達到三點共線之條件，因此需以相機率定程序求得相機之內方位參數，恢復攝影光束於相機內部之行進方向，進而獲取正確之影像點位坐標。除了內方位參數外，尚需對於造成影像變形之各項鏡頭畸變因素進行率定，主要包含了輻射畸變差(Radial Lens Distortion)、離心畸變差(De-centric Lens Distortion)、及 CCD 的仿射畸變差(Affinity Deformation)等。



(a)正確影像



(b)變形影像

圖4.3 因透鏡畸變所產生之影像變形示意圖

傳統率定檢驗場中，率定標均以三維型式進行布設，且率定過程較為繁雜，近年來，相機率定技術有了突破性之發展，且由於相關演算法之成熟，市面上亦出現各式商用軟體可供使用，因此相機率定不再是一項高難度之程序，僅需針對以二維型式布設之率定標進行不同角度之拍攝，在完成點位量測及自動影像匹配後，以附加參數(Additional Parameters)自率光束法平差進行參數求解後即完成相機率定程序，圖 4.4 為商用近景軟體 PI-3000 之率定標型範例。

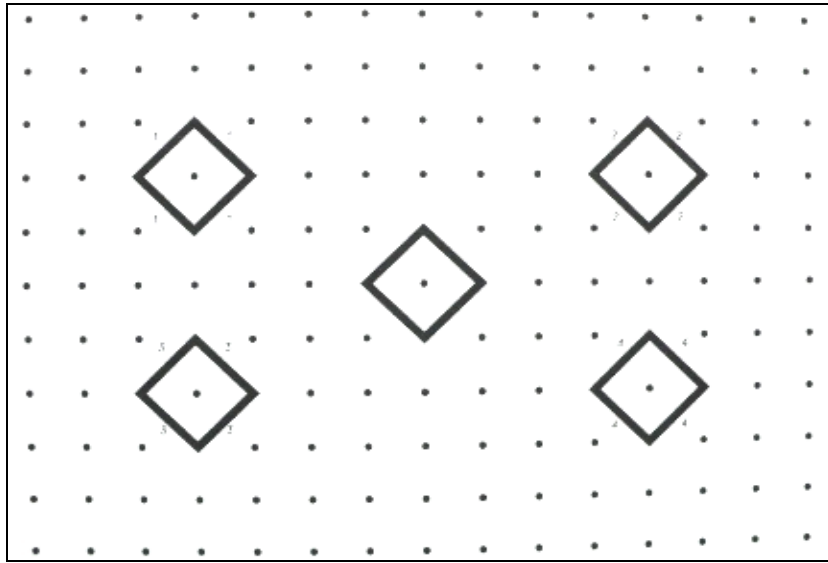


圖4.4 PI-3000率定標示意圖

4.3.1 率定參數

除了內方位參數之外，近景軟體 PI-3000 主要使用了五個附加參數來描述鏡頭畸變所產生的影像變形行為，所率定之參數分別如下所示：

✧ 內方位參數(Interior Orientation)： f, x_0, y_0

✧ 輻射畸變差參數(Radial Lens Distortion)： K_1, K_2, K_3

✧ 離心畸變差參數(Decentric Lens Distortion)： P_1, P_2

一般所使用之率定數學模式為：

$$\begin{aligned} x &= x_m - x_0 \\ y &= y_m - y_0 \end{aligned} \dots\dots\dots (4-2)$$

$$\begin{aligned} r^2 &= x^2 + y^2 \\ dr &= k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6 \end{aligned} \dots\dots\dots (4-3)$$

$$\begin{aligned} \Delta x &= x + x \cdot dr/r + P_1(r^2 + 2x^2) + 2P_2 \times x \times y \\ \Delta y &= y + y \cdot dr/r + P_2(r^2 + 2y^2) + 2P_1 \times x \times y \end{aligned} \dots\dots\dots (4-4)$$

式中 r ：像點之輻射距離

x, y ：以像主點為中心之影像坐標

x_m, y_m ：於影像上量測之原始影像坐標

x_0, y_0 ：像主點位置

$\Delta x, \Delta y$ ：經改正後之影像坐標

4.3.2 率定標拍攝

率定標拍攝為相機率定之首要步驟，率定標紙張大小隨相機焦距各異，且率定標需攤平貼附於平整牆面上，以增加影像匹配之準確度。率定標拍攝主要分成正面、右側、左側、上側及下側拍攝。(圖 4.5)

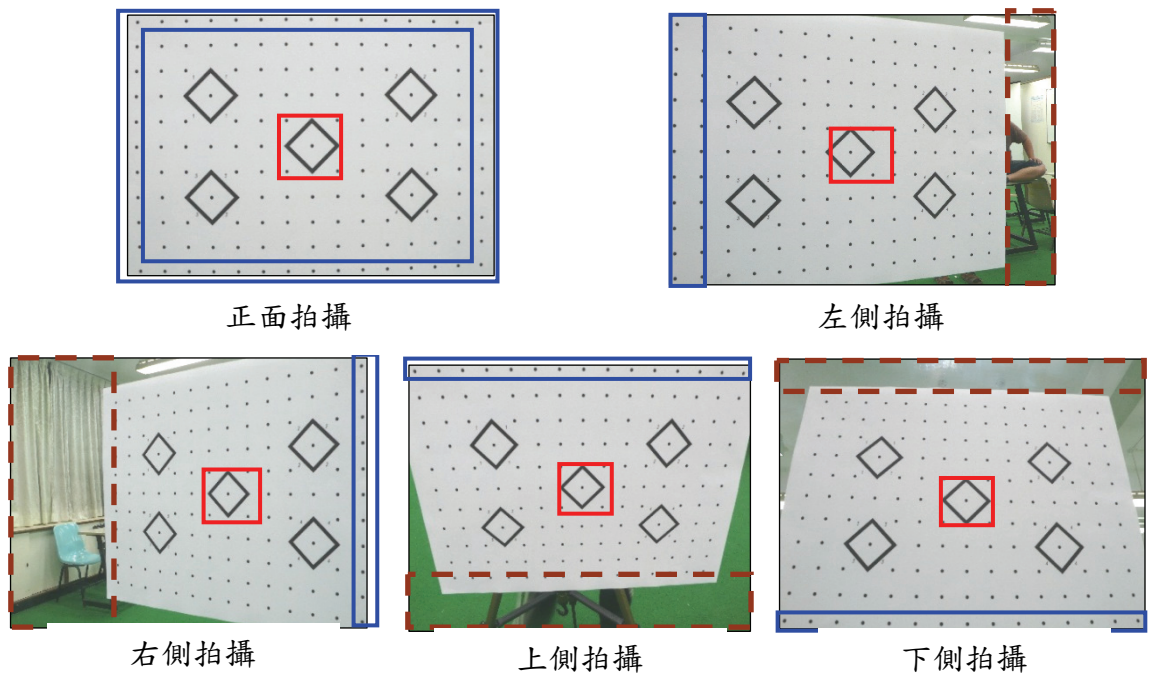


圖4.5 率定標圖像拍攝方式

4.3.3 率定參數解算

以上所提到的各項畸變差參數元素之選擇主要依當時之攝影條件及所使用之攝影配備有關，當選用合適之改正參數後，即可由共線式之附加參數自率定光束法平差進行各項參數之求解，在完成內方位參數求解後，即可恢復相機之光線投射狀態，並完成變形之影像坐標糾

正作業。

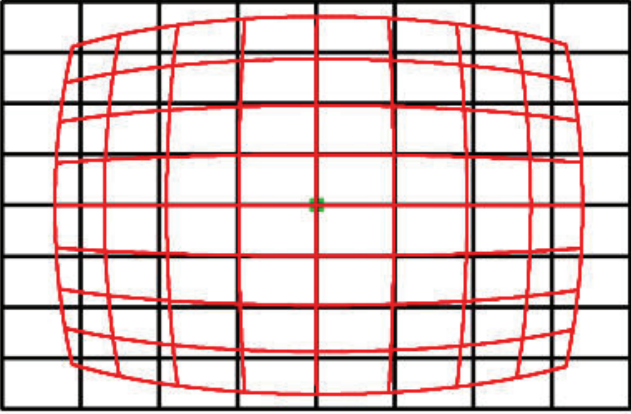
$$\begin{aligned} x - x_0 + \Delta x &= -f \frac{a_{11}(X - X^0) + a_{12}(Y - Y^0) + a_{13}(Z - Z^0)}{a_{31}(X - X^0) + a_{32}(Y - Y^0) + a_{33}(Z - Z^0)} \\ y - y_0 + \Delta y &= -f \frac{a_{21}(X - X^0) + a_{22}(Y - Y^0) + a_{23}(Z - Z^0)}{a_{31}(X - X^0) + a_{32}(Y - Y^0) + a_{33}(Z - Z^0)} \dots\dots\dots (4-5) \end{aligned}$$

式中 x, y : 影像坐標
 $\Delta x, \Delta y$: 透鏡畸變差改正量
 f, x_0, y_0 : 內方位參數
 X, Y, Z : 點位之地面坐標
 X^0, Y^0, Z^0 : 攝影站之空間坐標
 $a_{11} \sim a_{33}$: 旋轉矩陣之係數

表 4- 2 NiKon D40X相機(資料來源：Nikon官方網站)

單眼數位相機 (Nikon D40X)		
感光元件說明	有效 1020 萬像素 原色 CCD (DX Sensor)	
感光元件尺寸	23.6 × 15.8 mm	
影像大小	3872 × 2592	
ISO 感光度	Auto, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200	
儲存系統	NEF (RAW):12-bit,JPEG	
檔案系統	EXIF 2.21	
儲存媒體	SD 存儲卡, 相容 SDHC	
傳輸介面	USB 2.0	
對焦模式	手動 & 自動對焦	
鏡頭 (Nikon AF Nikkor 20mm F2.8D)		
焦距	20mm	
最小光圈	F22	

表 4- 3 Nikon D40X相機率定成果

	內方位參數	
	f (mm)	17.849098
	x_0 (mm)	11.432618
	y_0 (mm)	7.414378
	輻射畸變差	
	K_1	3.462748e-004
	K_2	-3.056595e-006
	K_3	3.456285 e-008
	離心畸變差	
	P_1	-5.830947e-005
Max of Before Correction : 92.935 Pixel	P_2	8.270214e-006

4.4 傳統數位相機率定

1. 戶外率定場

上述單眼數位相機都可以使用手動對焦模式，因此可以在室內進行相機率定，但一般傳統數位相機之對焦模式屬於全自動，在室內拍攝時每張照片均會執行對焦動作，因此無法正確進行相機率定，此時需在戶外場地建立大型率定場，而該大型率定場可以選擇兩棟大樓間之窗戶進行相機率定，首先於兩棟大樓中間進行拍攝，並確認拍照時相機已經不會再自動對焦，代表該相機使用無限遠之焦段進行拍照，本次實驗相機型號為 Canon IXUS 310HS，該數位相機有效像素可達 1210 萬畫素，Pixel size 為 2.3 μ m，詳細規格如下表 4-4 所示。拍攝照片如下圖 4.6 所示，來進行相機率定。

表 4-4 Canon IXUS 310HS相機規格

	尺寸:100.6 x 55.4 x 25 mm
	重量:150 g
	有效像素:1210 萬像素
	光學變焦:4.4 倍 (24-105 mm)
	感光元件:1/2.3"CMOS
	儲存媒體:SD / MMC SDHC (SDHC)
	電池:NB-6L 1000 mAh



圖4.6 一般數位相機戶外率定拍攝示意

其拍攝方式依據 4.3.2 節所拍攝之方式進行拍攝，率定後結果如下圖 4.7 及圖 4.8 所示。

Camera parameters

Information

Model: Canon IXUS 310 HS

Calibration date: 19/09/2012 15:34pm

Unique identifier: default Add unique ID

Sensor specifics

	Wide	High
Resolution (pixels):	4000	3000
Pixel size (mm):	0.0023	0.0023

Focal length and principal point

c (mm): 13.2763 Change camera

xp (mm): -0.1143 OK

yp (mm): 0.0683 Hide Details

Radial distortion

K1: 5.6963e-004

K2: 2.0530e-007

K3: -6.9477e-008

Decentering distortion

P1: 7.0879e-005 ☒ Fix Show Distortion Curves

P2: 3.6686e-005 ☒ Fix Show Distortion Grids

Linear distortion

B1: 0.0000 ☒ Fix

B2: 0.0000 ☒ Fix Run Calibration Bundle

圖4.7 率定結果

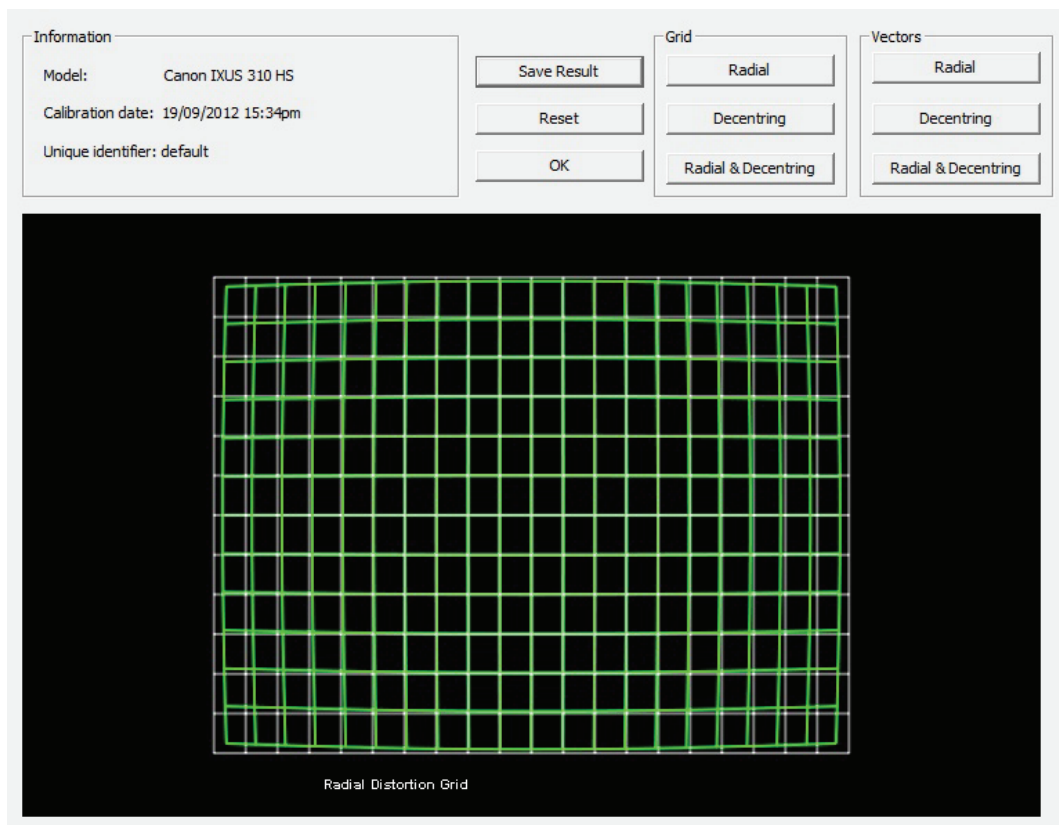


圖4.8 相機率定結果及鏡頭畸變差

由相機率定結果可得 Canon IXUS 310HS 相機之焦距 f 為 13.2763mm， x_0 ：-0.1143mm、 y_0 ：0.0683，及透鏡畸變參數為 K_1 ：5.6963e-004、 K_2 ：2.0530e-007、 K_3 ：-6.9477e-008、 P_1 ：7.0879e-005、 P_2 ：3.6686e-005。

2. 空拍影像之率定

由於一般數位相機在室內較難進行相機率定，也可能因飛行時之振動導致相機率定的焦距與室內外率定時之焦距有所相同，因此可以透過現地拍攝的方式進行二次相機率定的動作。首先一樣使用 Canon IXUS 310HS 相機進行 UAV 拍攝，其拍攝後影像及量測畫面如圖 4.9 所示。相機率定參數結果如圖 4.10 所示

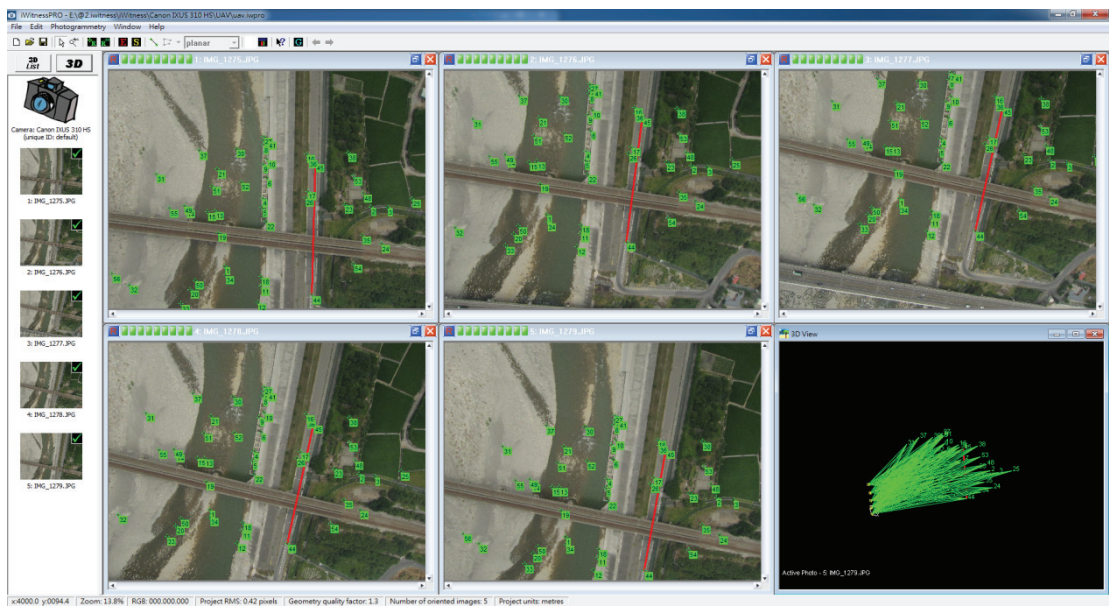


圖4.9 UAV影像相機率定

Camera parameters

Information

Model: Canon IXUS 310 HS

Calibration date: 05/10/2012 20:28pm

Unique identifier: default Add unique ID

Sensor specifics

	Wide	High
Resolution (pixels):	4000	3000
Pixel size (mm):	0.0023	0.0023

Focal length and principal point

c (mm): 6.7265 Change camera

xp (mm): 0.0078 OK

yp (mm): 0.2950 Hide Details

Radial distortion

K1: 4.7487e-004

K2: -6.6844e-006

K3: 1.3126e-007

Decentering distortion

P1: 3.8710e-005 ☒ Fix Show Distortion Curves

P2: -1.3753e-003 ☒ Fix Show Distortion Grids

Linear distortion

B1: 0.0000 ☒ Fix

B2: 0.0000 ☒ Fix Run Calibration Bundle

圖4.10 相機率定結果

4.5 UAV 影像坐標自動匹配量測

由於 UAV 之低空攝影，受到拍攝環境的限制，如氣候條件、飛行條件等因素，所拍攝影像容易受到霧或霾的影響造成影像之輻射品質降低，載具飛行的不穩定易造成相鄰影像間之旋轉(Rotation)及尺度(Scale)上的差異(圖 4.11)，對後續影像之處理將造成更大的挑戰。因此，有必要針對 UAV 影像之特性發展新的影像處理方法，以提高處理的成功率及所得結果之精確度。本研究針對前述之問題發展新的處理模式，內容包括影像之前處理，如除霧、霾及陰影，以增進影像之輻攝品質，可有效提升處理之精確度。另外，為克服影像間旋轉及尺度差異過大造成影像匹配(Image Matching)的困難或失敗，提出以特徵基礎(Feature Based)匹配演算法取代現有的面積基礎(Area Based)匹配演算法，可有效提升匹配量測之成功率。

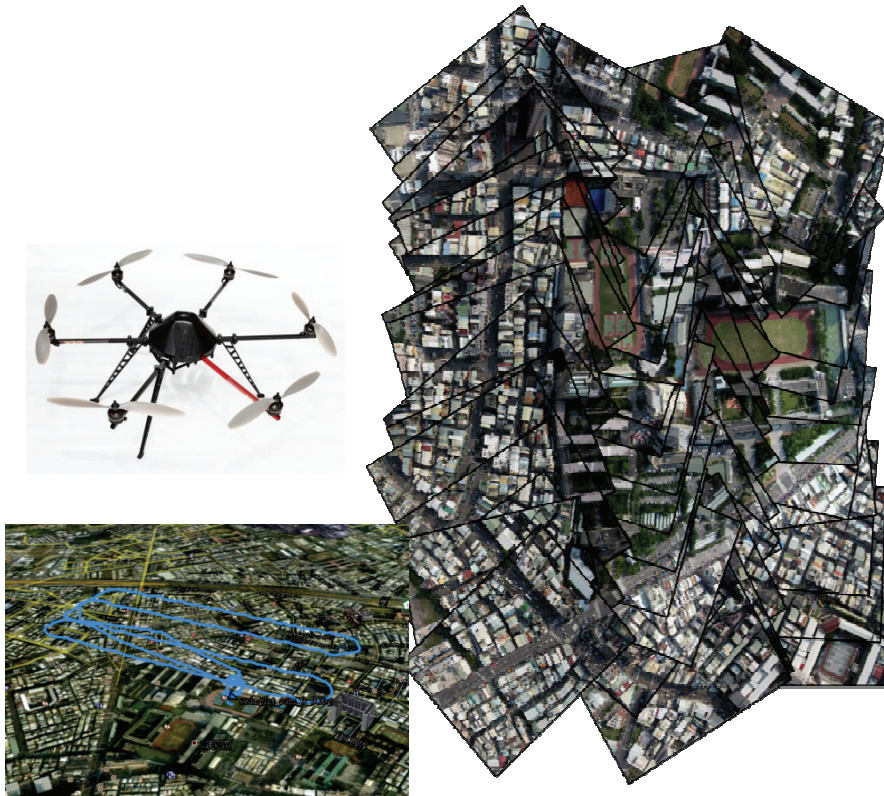


圖4. 11 UAV 飛行之不穩定示意圖

4.5.1 基於SIFT演算法之特徵點偵測

SIFT 演算法主要可分為四個步驟：

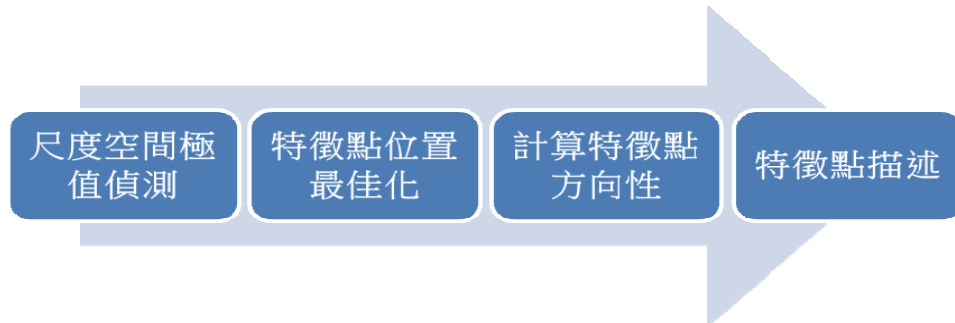


圖4. 12 SIFT演算法主要步驟

分別簡述各步驟的內容：

1. 尺度空間極值偵測

由 Koenderink[4] 以及 Lindeberg[6]所提出的論文中，該方法假設，一張影像經過高斯模糊後，最接近尺度空間(Scale-Space)。也就是說，將一張影像做了多次的高斯模糊後，接近於做縮放(Scaling)的動作。為了達到尺度不變的目標，採取了以上的理論，利用高斯模糊與影像金字塔(Image-Pyramid)，將尺度空間中，所有可能出現的特徵點找出。基本上，不可能將所有的尺度空間中所有的特徵點找出，因為這必須要將影像縮放到各種比例中，而且一個不漏的找出。所以 SIFT 方法中是採取類似取樣的方式，搜尋出各個尺度空間的特徵點，以達到尺度不變的目的。

先將原始影像以標準差 s (在此設為 2) 值作高斯模糊，做了四次後，到另一個 octave 中，將影像縮小一半，並將高斯模糊的標準差乘以 2 ($2s$)，也是一樣做了四次高斯模糊。總共要做四個 octave。求出四個 octave 後，將每個 octave 中的影像，兩兩相減，也就是做 Difference-of-Gaussian (DoG)，如圖 4. 13 所示。

找出 DOG 後，即可進行極值的偵測。所謂的極值(Extrema)就是，每個 octave 中，若在某個尺度的點 (x, y) ，為 26 鄰居像素(上、

下尺度各九個鄰居與本身尺度的八個鄰居)中的區域極大值(Local Maximum)或區域極小值(Local Minimum)，則稱此點為極值點，就是該方法要找的特徵點候選，如圖 4.14 所示。

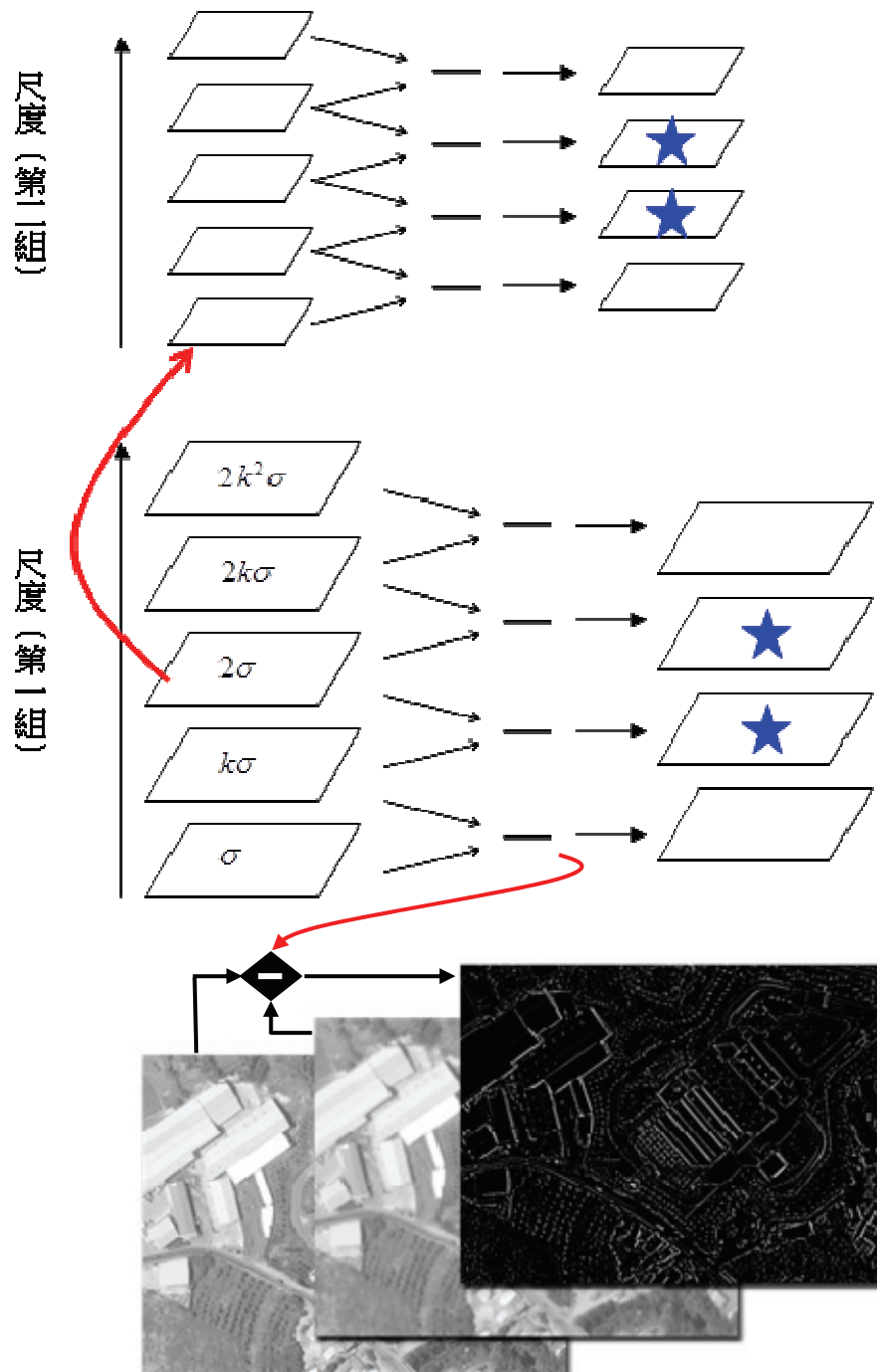


圖4.13 DoG 運算元

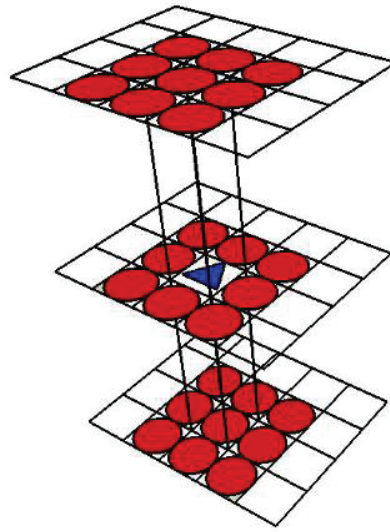


圖4.14 局部極值的位置

1. 特徵點位置最佳化

在前一個步驟中找出的候選特徵點，並非全部都是穩定的，所以要刪去一些不穩定的候選特徵點，包低對比及可能是邊緣的點位。首先，在刪除低對比的點上。

$$D(x) = D + \frac{\partial D^T}{\partial x} x + \frac{1}{2} x^T \frac{\partial^2 D}{\partial x^2} x \quad \dots\dots\dots (4-6)$$

其中， x 為候選特徵點， D 為 DOG 後的結果，而 T 為轉置矩陣。依據泰勒展開式，由 x 和 D ，可以求出一個偏移量(offset) $\hat{x}$ 。

$$\hat{x} = -\frac{\partial^2 D^{-1}}{\partial x^2} \frac{\partial D}{\partial x} \quad \dots\dots\dots (4-7)$$

該值可以視為實際上區域極值的位置，具有次像元(sub-pixel)之精度。將此偏移量(offset)以泰勒展開式，若求出的值取絕對值後小於 0.03 (像素值之範圍設定為[0,1] ,所以若對比小於此值，則將其刪除)，該方法目的為將低對比度之點位予以刪除。

$$\frac{Tr(H)^2}{Det(H)} < \frac{(\gamma+1)^2}{\gamma} \quad \dots\dots\dots (4-8)$$

在候選特徵點位置上求 H (Hessian Matrix) ，並算出它的 Tr (Trace) 和 Det (Determinant) ，其中 r (在此為 10) 為一個門檻值，若式不成立，表示此點有可能是邊緣，並將其刪除。

2. 計算特徵點方向性

本步驟最主要的目的就是為了形成特徵點描述的前置作業。首先，以特徵點位置為中心，取一個區塊(block)，其大小為 16×16 ，計算區塊內所有像素位置的梯度強度與方向：

$$m(x, y) = \sqrt{(L(x+1, y) - L(x-1, y))^2 + (L(x, y+1) - L(x, y-1))^2} \dots\dots\dots (4-9)$$

$$\theta(x, y) = \tan^{-1}((L(x, y+1) - L(x, y-1)) / (L(x+1, y) - L(x-1, y))) \dots\dots\dots (4-10)$$

其中 $m(x, y)$ 代表在座標位置 (x, y) 上梯度的強度； $q(x, y)$ 代表在座標位置 (x, y) 上，此像素的梯度的方向，而 L 則表示該方法所取的區塊內所有的像素位置。求出上述兩個值後，在這裡是用方向直方圖 (orientation histogram) 的方式去決定此特徵點的方向，換言之，進行統計一個特徵點位置周圍固定區塊大小內的所有像素其梯度的方向。然後，越接近特徵點位置的像素，其權值越大，最後將統計的結果紀錄下。以八個方向統計，最大的值該方法就將此方向設定給此特徵點；若得到兩個以上相同大小的值時，將此特徵點複製。

3. 特徵點描述

求出每個特徵點的方向後，接下來就是特徵點的描述。首先，以特徵點的方向為基準，將以特徵點為中心的區塊旋轉到以特徵點方向為北，因此，特徵點就可以達到旋轉不變性。另外，在此區塊內，將 16×16 的範圍切割為 4×4 的子區塊(sub-block)，分別統計每個子區塊內的方向直方圖，如圖 3.15 所示，區塊大小為 8×8 ，實際實作時是取 16×16 。所以， 4×4 的子區塊，每個子區塊統計八個方向，總共特徵點的向量維度為 $4 \times 4 \times 8 = 128$ 。

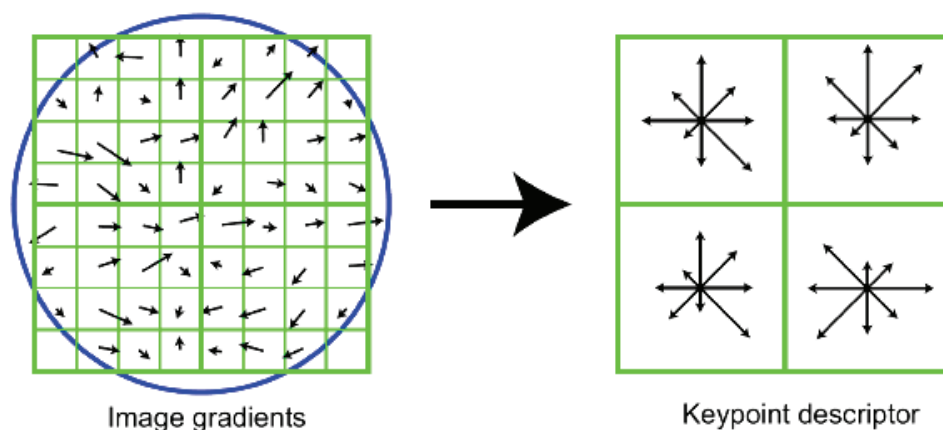


圖4.15 SIFT 演算法特徵點描述圖

4. 特徵點匹配

求出各特徵點位置的特徵點向量後，進行特徵點匹配。在匹配上，基本上為以計算歐式距離進行匹配點之判定。若影像 A 與影像 B 為兩張輸入影像，當兩張影像的特徵向量得出後，我們分別計算影像 A 中的某個特徵點，與影像 B 的全部特徵點之間特徵向量的歐式距離，計算後，將其排序，距離越接近者，即將影像 A 的此特徵點匹配給此點。此一排序過程，頗為費時，本研究將提出部份和(Partial Sum)的概念，以加快匹配演算法之速度。

4.5.2 SURF特徵匹配演算法

Lowe 所提出的 SIFT 演算法已被認為是最有效，同時也是最常用的特徵點提取法，但，假使不借助硬體條件的加速和專用圖形處理器的配合，SIFT 演算法以現有的計算機仍難達到即時的程度。對於需即時運算的場合，通常需在毫秒內完成特徵點搜尋、特徵點產生、特徵點量匹配，這樣 SIFT 就很難適應此需求。2006 年 Bay[21-24]等人提出 SURF (Speeded Up Robust Features)演算法，則是對 DoH (Determinant of Hessian)的簡化和近似，有別於 SIFT 演算法中使用 DoG 對 LoG 進行簡化，藉此提高搜索特徵點的速度。

1. 積分圖像

SURF 算法中借助積分圖像概念，將圖像與高斯二階微分模板的濾波轉化對積分圖像作加減運算。積分圖像(Integral image)的概念是由 Viola 和 Jones[25]提出來的，而將類似積分圖像用於盒子濾波(Box Filter)卻是 Simard 等人[26]提出的。

積分圖像中任一點(i,j)的值 $ii(i,j)$ ，為原圖像左上角到任意點(i,j)相應的對角線區域灰度值的總和，即

$$ii(i,j) = \sum_{i' \leq i, j' \leq j} p(i',j') \quad \dots\dots\dots(4-11)$$

式中， $p(i',j')$ 表示原圖像中點 (i',j') 的灰度值， $ii(i,j)$ 可用下面兩式迭代計算得到；

$$S(i,j) = S(i,j-1) + p(i,j) \quad \dots\dots\dots(4-12)$$

$$ii(i,j) = ii(i-1,j) + S(i,j) \quad \dots\dots\dots(4-13)$$

式中， $S(i,j)$ 表示一列的積分，且 $S(i,-1) = 0, ii(-1,j) = 0$ 。求積分圖像，只需對原圖像所有像素進行一遍掃描。如圖 4.16 所示，在求取窗口 W 內的像元灰度和時，不管窗口 W 的大小如何，均可以用積分圖像的 4 個相對應點 (i_1,j_1) 、 (i_2,j_2) 、 (i_3,j_3) 、 (i_4,j_4) 的值計算得到。也就是說，求取窗口 W 內的像元灰度與窗口的尺寸是無關的。窗口 W 內像元的灰度和為；

$$\sum_w = ii(i_4,j_4) - ii(i_2,j_2) - ii(i_3,j_3) + ii(i_1,j_1) \quad \dots\dots\dots(4-14)$$

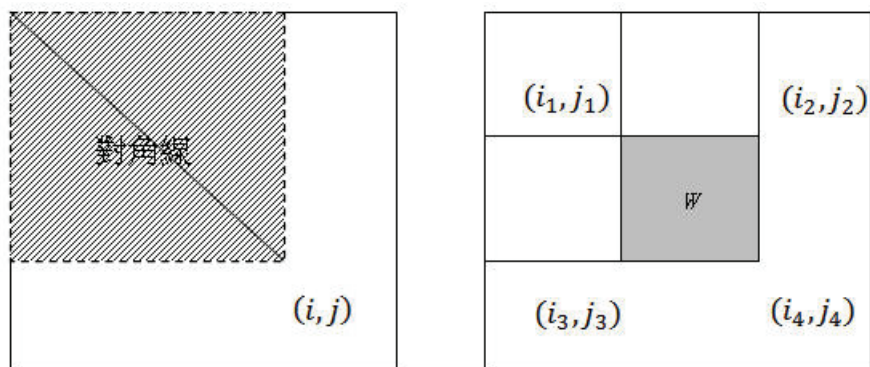


圖4.16 積分圖像計算和W窗口內像元的灰度求和計算

2. DoH 近似

SURF 利用 Hessian 矩陣行列式的極大值檢測斑點方法，給定圖像 I 中一個點 $x(x,y)$ ，在點 x 處尺度為 σ 的 Hessian 矩陣 $H(x, \sigma)$ 定義為

$$H(x, \sigma) = \begin{bmatrix} L_{xx}(x, \sigma) & L_{xy}(x, \sigma) \\ L_{xy}(x, \sigma) & L_{yy}(x, \sigma) \end{bmatrix} \dots\dots\dots (4-15)$$

式中， $L_{xx}(x, \sigma)$ 是二階微分 $\frac{\partial^2}{\partial x^2} g(x, y)$ 在點 x 處與圖像 I 的卷積， $L_{xy}(x, \sigma)$ 和 $L_{yy}(x, \sigma)$ 具有同樣的含義。

由於二階高斯微分模板被離散化和剪裁的原因，導致了圖像在旋轉奇數倍的 $\pi/4$ 時，即轉動到模板的對角線方向時，特徵點檢測的重複性(Repeatability)降低。而在 $\pi/2$ 時，特徵點檢測的重複性最高。但這一小小的不足不影響我們使用 Hessian 矩陣進行特徵點檢測。

為了將模板與圖像的卷積轉化成盒子濾波(Box Filter)運算，我們需對高斯二階微分模板進行簡化，使得簡化後的模板只是由幾個矩形區域組成，矩形區域內填充同一值，如圖 4.17 所示，在簡化模板中白色區域的值為 1，黑色區域的值為-1，灰色區域的值為 0。

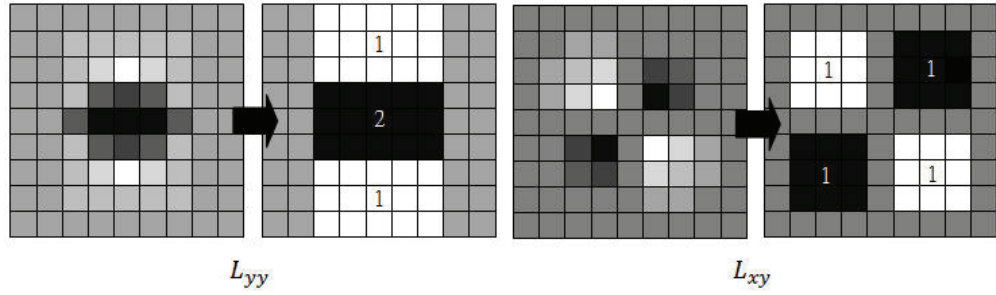


圖4.17 高斯二階微分模板以及簡化

對於 $\sigma = 1.2$ 的高斯二階微分濾波，設定模板的尺寸為 9×9 的大小，並用它作為最小尺度空間值對圖像進行濾波和斑點檢測。使用 D_{xx} 、 D_{yy} 和 D_{xy} 表示模板與圖像進行卷積的結果，這樣便將 Hessian 矩陣的行列式簡化如公式(4-16)。

$$\begin{aligned}
 \text{Det}(H) &= L_{xx}L_{yy} - L_{xy}L_{xy} \\
 &= D_{xx} \frac{L_{xx}}{D_{xx}} D_{yy} \frac{L_{yy}}{D_{yy}} - D_{xy} \frac{L_{xy}}{D_{xy}} D_{xy} \frac{L_{xy}}{D_{xy}} \\
 &= D_{xx}D_{yy} \left(\frac{L_{xx}}{D_{xx}} \frac{L_{yy}}{D_{yy}} \right) - D_{xy}D_{xy} \left(\frac{L_{xy}}{D_{xy}} \frac{L_{xy}}{D_{xy}} \right) \\
 &= A \left(\frac{L_{xx}}{D_{xx}} \frac{L_{yy}}{D_{yy}} \right) - B \left(\frac{L_{xy}}{D_{xy}} \frac{L_{xy}}{D_{xy}} \right) \\
 &= \left(A - B \left(\frac{L_{xy}}{D_{xy}} \frac{L_{xy}}{D_{xy}} \right) \left(\frac{D_{xx}}{L_{xx}} \frac{D_{yy}}{L_{yy}} \right) \right) \left(\frac{L_{xx}}{D_{xx}} \frac{L_{yy}}{D_{yy}} \right) \\
 &= (A - BY)C \dots\dots\dots (4-16)
 \end{aligned}$$

式中， $Y = \frac{|L_{xy}(1.2)|_F |D_{xx}(9)|_F}{|L_{xx}(1.2)|_F |D_{xy}(9)|_F} = 0.912 \cong 0.9$ ， $|X|_F$ 為 Frobenius 范

數。理論上說，對於不同 σ 值和對應的模板尺寸，Y 值是不同的，但為了簡化，可將其認為一常數值。同樣也可將 C 當為一常數，由於 C 不影響對於極大值求取，因此有公式(4-17)

$$Det(H_{approx}) = D_{xx}D_{yy} - (0.9D_{xy})^2 \quad \dots\dots\dots (4-17)$$

不過，在實際計算濾波影響值時需要使用模板盒子尺寸(面積)進行正規化處理，以保證使用一個統一的 Frobenius 范數能適應所有的濾波尺寸。如對於 9×9 模板的 L_{xx} 和 L_{yy} 盒子的面積為 15， L_{xy} 的盒子面積為 9。一般而言，如果盒子內部填充值為 $v^n \in \{1, -1, -2\}$ ，盒子對應的四個角點積分圖像值為 $\{p_1^n, p_2^n, p_3^n, p_4^n\}$ ，盒子面積分別為 S_{xx} 、 S_{yy} ($S_{xx} = S_{yy}$)和 S_{xy} ，那麼，盒子濾波響應值為

$$D_{xx} = \frac{1}{S_{xx}} \sum_{n=1}^3 v^n (p_4^n - p_2^n - p_3^n + p_1^n) \quad \dots\dots\dots (4-18)$$

$$D_{yy} = \frac{1}{S_{yy}} \sum_{n=1}^3 v^n (p_4^n - p_2^n - p_3^n + p_1^n) \quad \dots\dots\dots (4-19)$$

$$D_{xy} = \frac{1}{S_{xy}} \sum_{n=1}^4 v^n (p_4^n - p_2^n - p_3^n + p_1^n) \quad \dots\dots\dots (4-20)$$

從 D_{xx} 、 D_{yy} 、和 D_{xy} 的計算公式，可以看出，它們的運算量與模板的尺寸是無關的。計算 D_{xx} 和 D_{yy} 只有 12 次加減法和 4 次乘法，計算 D_{xy} 只有 16 次加減法和 5 次乘法。

使用近似的 Hessian 矩陣行列式來表示圖像中某一點 x 處的斑點

響應值，遍歷圖像中所有的像原點，便形成了在某一尺度下斑點檢測的響應圖像。使用不同的模板尺寸，便形成了多尺度斑點影響的金字塔圖像，利用這一金字塔圖像，就可以進行斑點響應及值點的搜尋，其過程完全與 SIFT 相同。

從 D_{xx} 、 D_{yy} 、和 D_{xy} 的計算公式，可以看出，它們的運算量與模板的尺寸是無關的。計算 D_{xx} 和 D_{yy} 只有 12 次加減法和 4 次乘法，計算 D_{xy} 只有 16 次加減法和 5 次乘法。

使用近似的 Hessian 矩陣行列式來表示圖像中某一點^x處的斑點響應值，遍歷圖像中所有的像原點，便形成了在某一尺度下斑點檢測的響應圖像。使用不同的模板尺寸，便形成了多尺度斑點影響的金字塔圖像，利用這一金字塔圖像，就可以進行斑點響應及值點的搜尋，其過程完全與 SIFT 相同。

3. 尺度空間表示

想要獲取不同尺度的斑點，必須建立圖像的尺度空間金字塔。一般方法是通過採用不同 σ 的高斯函數，對圖像進行平滑濾波，然後重新取樣圖像以獲得更高一層的金字塔圖像。Lowe 在 SIFT 方法中就是通過相鄰兩層圖像金字塔相減得到 DoG 圖像，然後再在 DoG 圖像上進行斑點和邊緣檢測工作。

SURF 採用盒子濾波和積分圖像，因此不需像 SIFT 算法那樣去直接建立圖像金字塔，而是採用不斷增大盒子濾波模板尺寸的間接方法。透過不同尺寸盒子濾波模板與積分圖像求取 Hessian 矩陣行列式的響應圖像，然後再反應圖像上採用 3D 非最大抑制，求取各種不同尺度的斑點。

4. 特徵點方向分配

SIFT 特徵描述子在產生特徵向量時使用的是高斯圖像，而 SURF 特徵描述子再產生特徵向量使用的則是積分圖像。這樣做的目的就是要充分利用在特徵點檢測時形成的中間結果(積分圖像)，避免在特徵向量產生時對圖像進行重複運算。

為了保證特徵向量與 SIFT 一樣具有旋轉不變性，需要對每個特徵點分配一個主方向。藉此虛以特徵點為中心，以 $6s$ (s 為特徵點的尺度) 為半徑的圓形區域內，對圖像進行 Haar 小波響應運算。實際就是對圖像進行梯度運算，只不過是需要利用積分圖像，提高計算圖像梯度的效率。在 SIFT 特徵描述子中，在求取特徵點主要方向時，是以特徵點為中心，在以 4.5σ 為半徑的鄰域內計算梯度方向直方圖。兩種方法在求取特徵點主方向時，考慮到 Haar 小波的模板帶寬，實際計算梯度的圖像區域為相同。

5. 特徵點特徵向量產生

產生特徵點描述子與確定特徵點方向有些類似，它需要計算圖像的 Haar 小波響應。不過與主方向確定不同的是在一個矩形區域來計算 Haar 小波響應，而非使用圓形區域。以特徵點為中心，沿主方向將 $20s \times 20s$ 的圖像劃分成 4×4 個子塊，每個子塊利用尺寸 $2s$ 的 Haar 模板近型響應值計算，然後對響應值進行統計 $\sum dx$ 、 $\sum |dx|$ 、 $\sum dy$ 、 $\sum |dy|$ 形成特徵向量，如圖 4.18 所示。

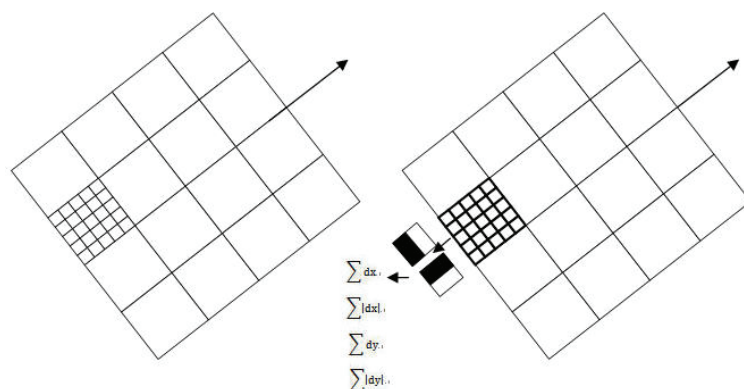


圖4.18 特徵描述表示

將 20_s 的窗口劃分成 4×4 子窗口，每個窗口中有 $5_s \times 5_s$ 個像元。使用尺度為 2_s 的 Haar 小波對子窗口圖像進行其響應值計算，共 25 次取樣，分別得到主方向的 d_y 和垂直於主方向的 d_x 。然後，以特徵點為中心，對 d_y 和 d_x 進行高斯加權計算，其 $\sigma = 3.3_s$ 。最後，分別對每個子塊的響應值進行統計，得到每個子塊的向量：

$$V = [\sum dx, \sum |dx|, \sum dy, \sum |dy|] \dots\dots\dots (4-21)$$

由於共有 4×4 個子塊，因此，特徵描述子共 $4 \times 4 \times 4 = 64$ 維特徵向量組成。SURF 描述子不僅具尺度和旋轉不變性，且對光照的變化也具不變性。使用小波響應本身就具亮度不變性，而對比度的不變性則是通過將特徵向量進行正規化來實現。

4.5.3 RANSAC除錯與映射轉換

匹配過後的特徵點並非全部為正確匹配，故必須進行偵錯，使影像校齊(Image Registration)所取的轉換參數能得到最佳的結果。本研究將使用 RANdom SAmple Consensus (RANSAC)方法，其演算法的步驟簡述如下，重複 N 次取樣：

- (1)隨機取出四對相對應的特徵對，代入映像函數，求出其參數 $\{m_0, \dots, m_7\}$ 。
- (2)將影像一中的各特徵點利用上個步驟所求的映像參數代入映像函數，求得在影像二上的坐標，計算此坐標與影像二上特徵匹配點之歐式距離。
- (3)當此距離值小於 $d = 2$ 時，稱此點為內點(inliers)，估計內點的數目。若 N 取樣中(在此我們將 N 取 30)，某次的內點數最多，就取此映像參數為影像校齊所用。

4.5.4 基於薄板樣條函數之影像校齊

一般而言，最常使用的影像套合方法是仿射轉換，但是仿射轉換無法校齊區域內非線性變化、或是地形起伏的區域（如山區）。而薄板樣條法（Thin-Plate Splines, TPS）是一種最常用來克服區域性幾何變化問題的方法，諸多研究均顯示 TPS 法可獲得良好之影像校齊結果。因此研究將藉由 SIFT 演算法或人工校正獲得的共軛點對，利用仿射轉換求出基本轉換函式後，再利用特徵匹配與區域匹配結合的方式找出更多的共軛點對，最後將所有的共軛點對結合並使用 TPS 法建立二影像間之校齊關係。

薄板樣條函數(TPS)法是以仿射轉換校正兩張影像全區域的尺度、旋轉、平移誤差後，再利用一個雙調和(Biharmonic)方程式擬合小範圍的幾何變形：

$$h(z) = Mz + t + \sum_{i=1}^n P_i K(\|z - z_i\|) \quad \dots\dots\dots (4-22)$$

其中 M, t 為仿射轉換係數 a1~a3, b1~b3, K(λ)為雙調和方程式， $K(\lambda) = \lambda^2 \log(\lambda^2)$ ，Pi 為 K(λ)的權重，z 為原始影像坐標，zi 為控制點對坐標，h(z)則是轉換後之影像坐標。

首先，將之前介紹的影像匹配方法並進行粗差濾除與方差(Variance)分量估計後的共軛點對，建立仿射轉換的平差模式 AX=L，並解得未知參數向量 X (其元素包含仿射轉換係數 M, t)，其中：

$$L_{2n \times 1} = [x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_n, y_n]^T \quad \dots\dots\dots (4-23)$$

$$A_{2n \times 6} = \begin{bmatrix} X_1 & Y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & X_1 & Y_1 & 1 \\ X_2 & Y_2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & X_2 & Y_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & X_n & Y_n & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (4-24)$$

$$X = [a_1 \ a_2 \ a_3 \ b_1 \ b_2 \ b_3]^T \dots\dots\dots (4-25)$$

$(x_i, y_i), (X_i, Y_i)$ 分別為兩張影像的影像坐標。

Q 矩陣為經過方差分量估計後之協因數矩陣， x_i, y_i, X_i, Y_i 分別為兩張影像的影像坐標。仿射轉換之協因數矩陣給定說明如下：由於 $Q=W^{-1}$ ，而給定權矩陣 W 時，將 SIFT 點匹配所求出最小距離 D_{min} 的倒數作為共軛點對之權，也就是 D_{min} 越小，表示特徵點的描述向量越相似，所以其權值越大，反之亦然。並且兩張影像利用 SIFT 演算法求得的共軛點對進行基本幾何校正後，才能進行邊緣點的搜尋與對應，因此取 SIFT 共軛點對之權的最小值，作為經由區域匹配與特徵匹配方式獲得的所有共軛點對之權。

求出仿射轉換係數後，接著利用仿射轉換後的坐標殘差值，求解 $K(\lambda)$ 的權重 P ：

$$\begin{bmatrix} x_1 - a_1 X_1 - a_2 Y_1 - a_3 \\ x_2 - a_1 X_2 - a_2 Y_2 - a_3 \\ \vdots \\ x_n - a_1 X_n - a_2 Y_n - a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & K(\lambda_{12}) \cdots K(\lambda_{1n}) \\ K(\lambda_{21}) & 0 & \cdots K(\lambda_{2n}) \\ \vdots & & \ddots \\ K(\lambda_{n1}) & K(\lambda_{n1}) & \cdots 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{x1} \\ P_{x2} \\ \vdots \\ P_{xn} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} y_1 - b_1 X_1 - b_2 Y_1 - b_3 \\ y_2 - b_1 X_2 - b_2 Y_2 - b_3 \\ \vdots \\ y_n - b_1 X_n - b_2 Y_n - b_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & K(\lambda_{12}) \cdots K(\lambda_{1n}) \\ K(\lambda_{21}) & 0 & \cdots K(\lambda_{2n}) \\ \vdots & & \ddots \\ K(\lambda_{n1}) & K(\lambda_{n1}) & \cdots 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{y1} \\ P_{y2} \\ \vdots \\ P_{yn} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (4-26)$$

其中 $\lambda_{i,j} = \|(X_i, Y_i) - (X_j, Y_j)\|$ ； $1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq n$ ，如此即求解出全部的

薄板樣條函數之係數。TPS 影像校齊如下圖 4.19 所示。

ThinPlateSpline

TPS Warping

test.jpg

OpenImage

cp14.txt

Open TPS Point

☐ Image Waping(Image to Image)

☒ Georeferencing Warping(Image to Geographic)

Total Warping Point:19

Control Point:16

Check Point:3

Processing TPS Warping

Copyright © 2012 by TRong KUAS.

Control,E,N,u,v

1,1908.923,5030.249,983,942

1,1887.909,4968.288,937,1070

1,1994.763,4814.781,1144,1388

1,2064.811,4786.489,1286,1443

0,2259.171,4585.640,1664,1861

1,2303.789,4571.133,1754,1889

1,2128.162,4682.403,1407,1649

0,1851.742,4911.252,859,1196

1,1866.738,4880.659,884,1258

1,2086.143,4755.806,1326,1504

1,2054.721,4697.671,1260,1629

0,2037.365,4775.538,1228,1469

1,2187.047,4713.667,1527,1592

1,2330.386,4566.548,1811,1892

1,2221.711,4644.986,1594,1734

0,2117.873,4738.388,1390,1540

1,1863.370,5023.147,889,964

1,1895.686,4852.815,943,1317

1,1867.060,4905.702,889,1209

(a)TPS Warpping

(b)輸入控制點方式



(c)TPS 影像校齊前



(d)TPS 影像校齊後

TPS Check Point RMSE↓				
Check Point(pixel)			Error(m)↓	
id	x(u)	y(v)	E(X)	N(y)↓
0	2128.16	4682.40	0.53126	5.31217↓
1	1851.74	4911.25	0.48481	1.70077↓
2	1866.74	4880.66	-1.06613	2.20443↓
3	2086.14	4755.81	-0.54613	0.83592↓
4	2054.72	4697.67	1.28931	1.86625↓
5	2037.36	4775.54	-0.32704	-0.18372↓
↓				
RMSE(m)↓				
E(x)	N(y)	Total↓		
0.78755	2.58801	2.70518↓		

(e)TPS 精度評估

圖4. 19 TPS影像校齊

4.5.5 輻射校正、除薄雲及去霾處理

攝影影像由於大氣因素及地形條件，可能產生降質之狀況，包括影像對比(Contrast)及色調之差異本研究將提出以視網膜(Retinex)與暗通道先驗(Dark Channel Prior)技術為基礎之影像色調重建技術來改善影像降質的問題，藉以增進影像之輻射品質，並進行影像品質之評估。品質評估指標將採用客觀指標，包括新的通用性品質指標(Universal Quality Index, UQI)及結構性相似性評估指標(Structural SSImularity, SSIM)在內。

視網膜技術基本演算法： $\Gamma(x_i) = I(x_i) + \log(\rho^{x_i}) - \log(\rho^{x_l}) \dots\dots(4-27)$

$I(x_i)$ 輸入測試影像的每一個像點

$\log(\rho^{x_i})$ 為待測像點的照明參數

$\log(\rho^{x_l})$ 為待測像點周圍的照明參數

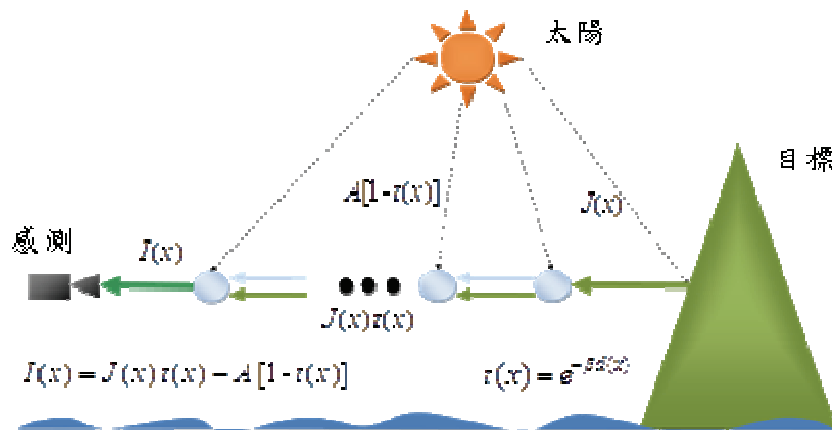


圖4.20 含霧影像成像之物理模型

含霧影像成像之物理模型為：

$$I(x) = J(x) \cdot t(x) + A(1 - t(x)) \dots\dots\dots(4-28)$$

式中 I 為觀測影像強度(Observed Intensity)；

J 為場景輻射(Scene Radiance)；

A 為整體大氣光(Global Atmospheric Light)；

t 用來描述場景輻射在大氣傳輸過程中未散射之透射率 (Transmission)。

圖 4.21 為除霧技術之影像增強處理結果

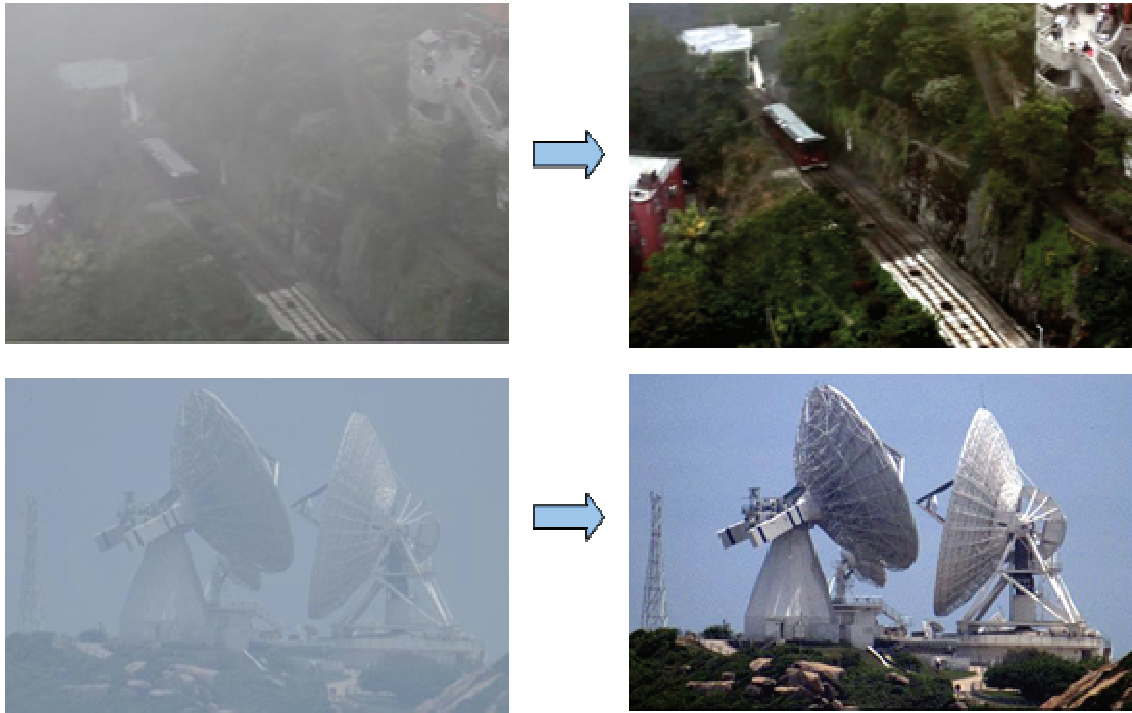


圖4.21 除霧技術之影像增強處理結果

4.5.6 無縫鑲嵌及色彩平衡

在遙測影像的應用中，一個應用區域往往需要多幅影像才能完全覆蓋，因而必須對多幅影像進行校準，並鑲嵌成一個整體，以便於能夠實現統一的分析、處理、解譯和其他的應用。較之傳統的鑲嵌方法，數值鑲嵌是一種更為有效的鑲嵌手段，能夠確保鑲嵌影像之幾何品質，也可使鑲嵌影像之整體色調一致，影像鑲嵌處理之程序如下：

1. 準備工作

首先要根據需要，挑選資料性質接近的遙測影像。在鑲嵌時，應盡可能選擇成像時間和成像條件接近的遙感影像，以減輕後續的色調調整工作。

2. 預處理工作

預處理工作主要包括輻射校正、去條紋與斑點和幾何校正。

3. 確定鑲嵌之演算法則

在進行多幅影像的鑲嵌時，鑲嵌方案的確定是較為重要的，可以節省時間和工作量。首先應確定標準像幅，標準像幅往往選擇處於研究區中央的影像，以後的鑲嵌工作都以此影像作為基準進行；其次確定鑲嵌的順序，即以標準像幅為中心，由中央向四周逐步進行。

4. 重疊區確定

遙測影像鑲嵌工作的進行主要是基於相鄰影像的重疊區。無論是色調調整，還是幾何鑲嵌，都是將重疊區作為基準進行。重疊區確定之準確將直接影響到鑲嵌的效果。

5. 色調調整

色調調整是遙感影像數值鑲嵌技術中的一個關鍵環節。影像色調的差異，將影響整體影像之視覺效果。因此必須進行色調調整這一工作。

6. 影像鑲嵌

在重疊區已確定和色調調整完畢後，即可對相鄰影像進行鑲嵌。所謂鑲嵌就是在相鄰兩幅待鑲嵌影像的重疊區內尋找一條接縫線(接縫線)。接縫線的品質直接影響鑲嵌影像的效果。在鑲嵌過程中，即使對兩幅影像進行了色調調整，但兩幅影像接縫處的色調也不可能完全一致，為此還需對影像的重疊區進行色調的平滑(亮度鑲嵌)，如此才能使鑲嵌後的影像中無接縫存在。



圖4.22高雄港三十一張影像拼接成果圖

色彩平衡(圖 4. 23)

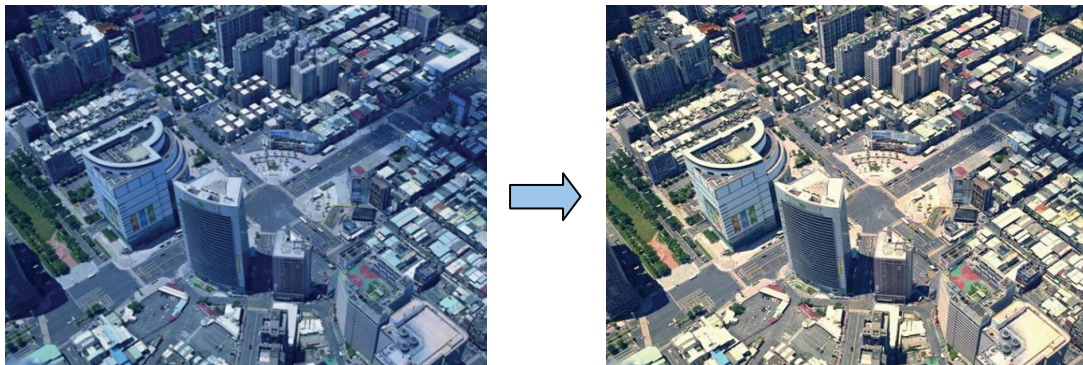


圖4.23 色彩平衡

陰影偵測與去除(圖 4. 24)

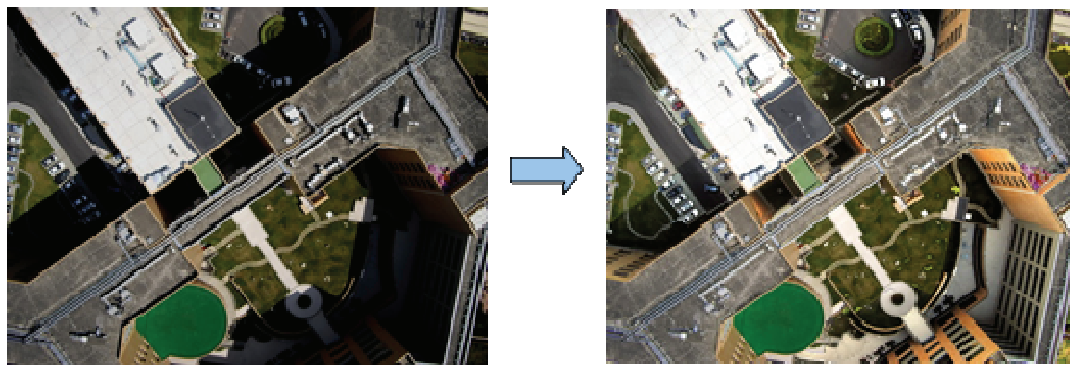


圖4.24 陰影偵測與去除

4.6 稠密影像點位匹配 (Dense Image Matching)

4.6.1 前言

匹配策略大體上可分為局部演算法和整體演算法兩大類。局部演算法，如區域匹配(Area-Matching or Block Matching)計算視差主要是由左影像中心圖元和周圍相鄰圖元的資訊和右影像對應的區域塊在一定的準則下比較得到的。局部演算法較為簡單，但有三種缺點：①在重複特徵區域很容易出現錯誤處理；②對於雜訊非常敏感；③在目標邊緣處易造成膨脹現象。整體匹配演算法則是透過全域約束(Global

Constraint)的能量最小化演算法來產生影像視差圖(Disparity Map)，如圖割法(Graph Cuts)、置信傳播法(Belief Propagation)。整體匹配演算法較局部演算法在穩定性、可靠性方面有著較大的優勢，然而獲取視差影像卻需要付出高昂的計算代價。

SIFT[38] (Scale Invariant Feature Transform)演算法由於其特徵對圖像的尺度變化和旋轉是不變數，而且對光照的變化和圖像變形具有較強的適應性，因此近年來取得了廣泛的應用。但由於它是在提取特徵的基礎上完成的，因此在某些情況下不可避免地會造成匹配點的不均勻或是不足夠，適合獨立點位之匹配獲取而不適合稠密(Dense)點位之匹配獲取。

半全局匹配(Semi-Global Matching, SGM)是一種產生在電腦視覺領域的影像匹配演算法[40][41]，它有效地解決了以上演算法的各種缺點，並利用互信息(Mutual Information)描述共軛像點之間複雜的對應關係。該演算法的基本思想是：首先基於互信息執行逐圖元代價計算；然後利用多個方向上的一維約束近似二維約束。本文將對 SGM 法說明其基本原理及相關匹配試驗結果。

4.6.2 半全局匹配(SGM)匹配演算法

1. 匹配準則

SGM 演算法是以互信息 $MI_{1,2}$ 為基礎的，它是透過兩張影像的資訊熵 H 及其聯合資訊熵 $H_{1,2}$ 來定義的，其中：

$$MI_{1,2} = H_1 + H_2 - H_{1,2} \dots\dots\dots (4-29)$$

對於單張影像，其資訊熵 H 可以通過長條圖描繪的概率分佈計算。聯合資訊熵 $H_{1,2}$ 可以通過互匹配影像灰度的聯合概率分佈來計算。

利用泰勒展開式，可以將 $H_{1,2}$ 轉化為一系列資料之和，亦即：

$$H_{1,2} = \sum_p h_{1,2}(p, d) \dots\dots\dots (4-30)$$

式中，p 為任意像點；d 為其與共軛像點的視差。

基於互信息的匹配代價(Cost)可得到如下定義：

$$C_{MI}(p, d) = -h_1(p) - h_2(p, d) + h_{1,2}(p, d) \quad \dots\dots\dots (4-31)$$

2. 匹配準則的優化

對於圖元 p，其匹配代價設為，影像視差 d 的計算是通過對所有一維方向上的最小代價路徑求和而得(路徑在 p 點結束，且視差為 d)。

假設 L_r 是方向 r 上的路徑。圖元 p 在視差為 d 時的代價 通過遞迴的方式定義為：

$$\begin{aligned} L_r(p, d) = & C_{MI}(p, d) + \min L_r(p - r, d), \\ & L_r(p - r, d - 1) + p_1, L_r(p - r, d + 1) + p_1, \\ & \min_i L_r((p - r, i) + p_2) - \min_i L_r(p - r, k) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (4-32)$$

路徑數最小是 8，為了對二維影像有很好的覆蓋，路徑數應是 16。

$$S(p, d) = \sum_r L_r(p, d) \quad \dots\dots\dots (4-33)$$

4.6.3 基於SGM的遙測影像匹配方法

1. 逐圖元匹配計算

函數 定義了兩點有多大可能性是共軛像點(Conjugate Point)：

$$d(x_i, y_i, I_L, I_R) = \min_{y_i - \frac{1}{2} \leq y \leq y_i + \frac{1}{2}} |I_L(x_i) - I_R(y)| \quad \dots\dots\dots (4-34)$$

式中 x_i 和 y_i 分別是左右掃描線上的像點。左掃描線上點 x 處的灰度定義為 I_L ， I_R 則是透過右掃描線上的取樣點線性內插得到的。

因為分段線性函數的極值點一定是中斷點，因此視差 d 的計算非常容易。如圖 4.25 所示，首先計算 y_i 和左臨近點 y_{i-1} 的中點：

$$I_R^- \equiv \hat{I}_R(y_i - \frac{1}{2}) = \frac{1}{2}[I_R(y_i) + I_R(y_i - 1)] \dots\dots\dots (4-35)$$

同樣的，計算 y_i 和右臨近點 y_{i+1} 的中點：

$$I_R^+ \equiv \hat{I}_R(y_i + \frac{1}{2}) = \frac{1}{2}[I_R(y_i) + I_R(y_i + 1)] \dots\dots\dots (4-36)$$

如此可以得到：

$$I_{\min} = \min[I_R^-, I_R^+, I_R(y_i)] \dots\dots\dots (4-37)$$

和

$$I_{\max} = \max[I_R^-, I_R^+, I_R(y_i)] \dots\dots\dots (4-38)$$

$$d(x_i, y_i, I_L, I_R) = \max[0, I_L(x_i) - I_{\max}, I_{\min} - I_L(x_i)] \dots\dots\dots (4-39)$$

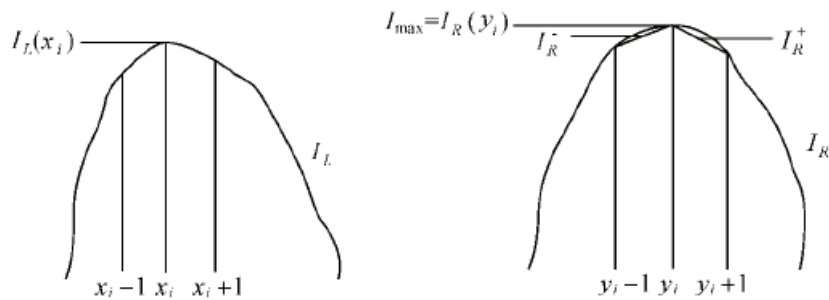


圖4. 25 d (xi, yi, IL, IR) 的定義

2. 用一維約束近似二維約束

如圖 4. 26 所示，在 P 的周圍，以 45° 為間隔設置了 8 個路徑。通過 8 個路徑計算最小代價路徑 $Lr(p,d)$ ，以此來近似二維約束匹配計算。

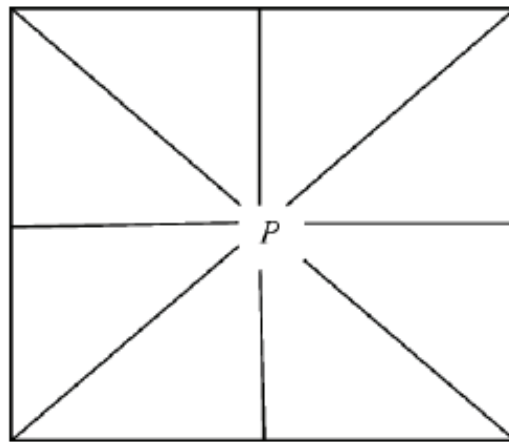


圖4.26 路徑設置

3. 視差計算

視差計算是通過反覆運算的方式得到的。首先用隨機的視差影像來糾正右影像，然後進行匹配，生成新的視差影像。本文使用了一種分等級的計算方法，它首先在半解析度的情況下計算出視差影像作為初始值，然後遞迴地利用得到的視差影像進行計算。

4. 誤匹配的剔除

左右影像共軛點匹配完成後，利用右影像中的點去匹配左影像中的共軛點。如果兩次匹配得到的視差不相同，則視為無效匹配。

4.6.4 試驗結果

如圖 4.27 為搜索區大小為 256 像元，匹配視窗大小為 5×5 像元時 800×800 像元區域的相關係數匹配所得的視差圖；圖 4.28 為搜索窗口設定為 256 像元時 800×800 像元區域半全局匹配所得的視差圖。

對比圖 4.27 和圖 4.28 可以發現：簡單的局部優化相關係數匹配演算法雖然執行效率比較高，但無法得到高品質的視差圖，需要結合一定的約束條件進行優化才能獲得較高的視差圖。而採用半全局優化匹配演算法則可以得到較高品質的視差圖。

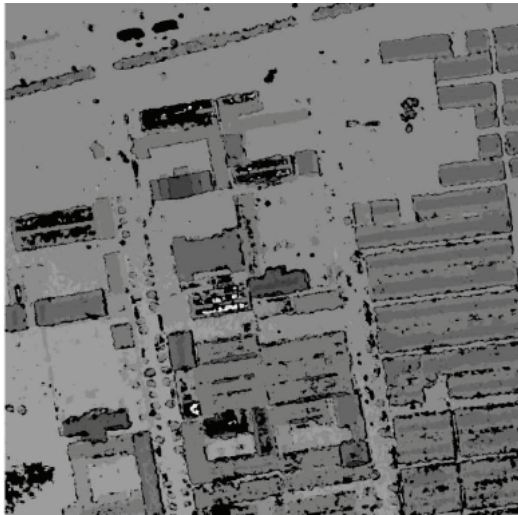


圖4.27相關係數匹配視差圖

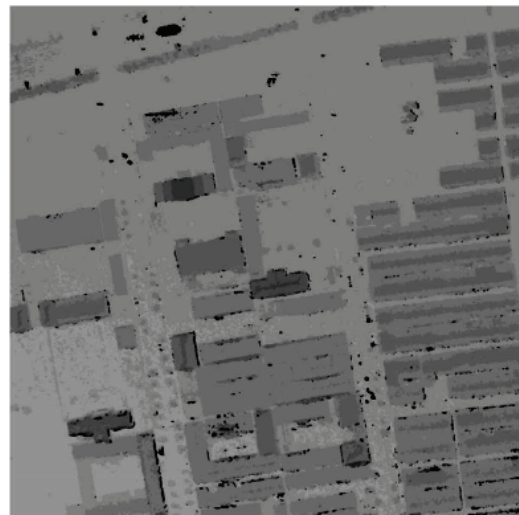


圖4.28半全局匹配視差圖

4.7 CUDA 平行運算平台

目前 UAV 所拍攝的影像訴求不要按照傳統航拍的方式，以任意拍攝的方式進行，而這樣的任意拍攝方式使用傳統的自動空中三角解算軟體，幾乎無法進行解算，而大量的影像及龐大的計算工作，一定要有一個非常良好的演算法搭配，才有辦法進行後續解算，而這樣的運算量可想而知一定非常龐大，面對龐大的資料與處理，本研究中嘗試加入 Nvidia CUDA 平行運算平台來解決該問題。

第五章 UAV 影像作業系統的開發與實驗分析

依據第四章所敘述之基本理論，針對 UAV 影像之特性，使用 C 語言配合 OpenCV 程式庫，自行開發所需之軟體系統，輔以既有之商業空中三角軟體 ISAT，完成實驗區影像之相關處理工作，包括影像資料之前處理、影像之快速拼接與基於 TPS 之影像糾正，基於特徵點之自動匹配與空中三角平差計算、稠密 DEM 資料之匹配產生、影像之正射化糾正、精度分析及建置影像資料於 Google Earth 平臺等序列的完整資料處理工作。

考量 UAV 在防救災應用之緊急應變處理中，其主要目的為快速獲取相關地表之環境資料，提供減救災之決策應用。因此在 UAV 影像之系統開發上，提出兩種建置方案：1.UAV 影像的快速拼接與糾正系統。2.UAV 替代傳統航拍之高精度航測製圖與 DEM 資料獲取等二種作業模式，以因應不同之需求使用。實驗之內容中，除獨立設計適合 UAV 影像所需之軟體系統外，依序完成所生產的 DEM 及正射影像等圖資，並進行成果之精度與作業成本之分析。

5.1 實驗區選取

為驗證 UAV 無人載具之快速拼接及製圖上面之應用，本實驗選擇大甲溪作為本次實驗區域，期區域位於大甲溪橋及台鐵橋之上下游範圍，面積約為 3 平方公里，其實驗區域如下圖 5.1 所示。



圖5.1實驗區示意圖(影像來源Google Earth)

圖中藍色線條為預計航線，並於上下河堤道路上佈設控制點，其控制點分布如上圖所示。控制點採用 RTK 方式進行實測，測量日期為 101 年 08 月 28 日，並使用 GJ01、L030 作為平面控制點，1081、1082 作為高程控制，其測量結果如下表 5-1 所示。

表5- 1地面控制點GPS實測資料

點號	觀測成果 N	觀測成果 E	轉換後 N	轉換後 E	dN	dE	dS	正高
GJ01	2689732.659	210557.220	2689732.659	210557.220	0.000	0.000	0.000	72.928
L030	2691484.087	208619.839	2691484.104	208619.825	0.017	-0.014	0.022	45.177
1081	2691584.825	210514.819	2691584.805	210514.818	-0.020	-0.001	0.020	60.089
1082	2689521.784	209739.685	2689521.782	209739.675	-0.001	-0.010	0.010	63.590
cp01	2689890.187	209711.609	2689890.187	209711.601	0.001	-0.008	0.008	58.979
cp02	2689801.375	210051.883	2689801.374	210051.877	-0.001	-0.005	0.006	62.220
cp03	2689746.068	210368.212	2689746.067	210368.210	-0.001	-0.002	0.002	66.225
cp04	2691118.820	209827.174	2691118.815	209827.168	-0.005	-0.005	0.007	57.212
cp05	2690998.280	210259.530	2690998.270	210259.527	-0.010	-0.003	0.010	64.434
cp06	2690839.699	210647.698	2690839.686	210647.698	-0.012	0.000	0.012	67.862
cp11	2689822.439	209929.610	2689822.437	209929.603	-0.002	-0.007	0.007	60.691
cp21	2689769.573	210233.759	2689769.572	210233.755	-0.001	-0.004	0.004	64.613

cp41	2691034.987	210122.000	2691034.978	210121.997	-0.009	-0.003	0.009	59.668
cp51	2690872.150	210564.487	2690872.138	210564.486	-0.012	-0.000	0.012	66.753

本次 UAV 航拍計畫預計 Pixel Size 為 10 公分，因此控制點採用直徑 20 公分之圓標進行佈設其控制點佈設及施測現況如下圖 5.2 所示。

			
CP1	CP1-1	CP2	CP2-1
			
CP3	CP4	CP4-1	CP5
			
CP5-1	CP6	施測情形	

圖5.2控制點施測情形

5.2 UAV 無人載具選用

無人載具類型可定翼機及旋翼機兩大類，各有其優缺點，本次因拍攝範圍較大，因此選擇定翼機進行拍攝。此無人載具升空採用向空拋投的方式進行起飛，降落以機腹摩擦草皮的方式降落，因此起飛地點可以選擇河床上或是草地均可，可符合本次航拍任務需求，本次選擇之起飛地點為大甲溪橋北岸，且於 101 年 09 月 18 號進行拍攝，航線規劃共計 8 條，並分成 3 次拍攝，如下圖航線軌跡圖 5.3 所示。

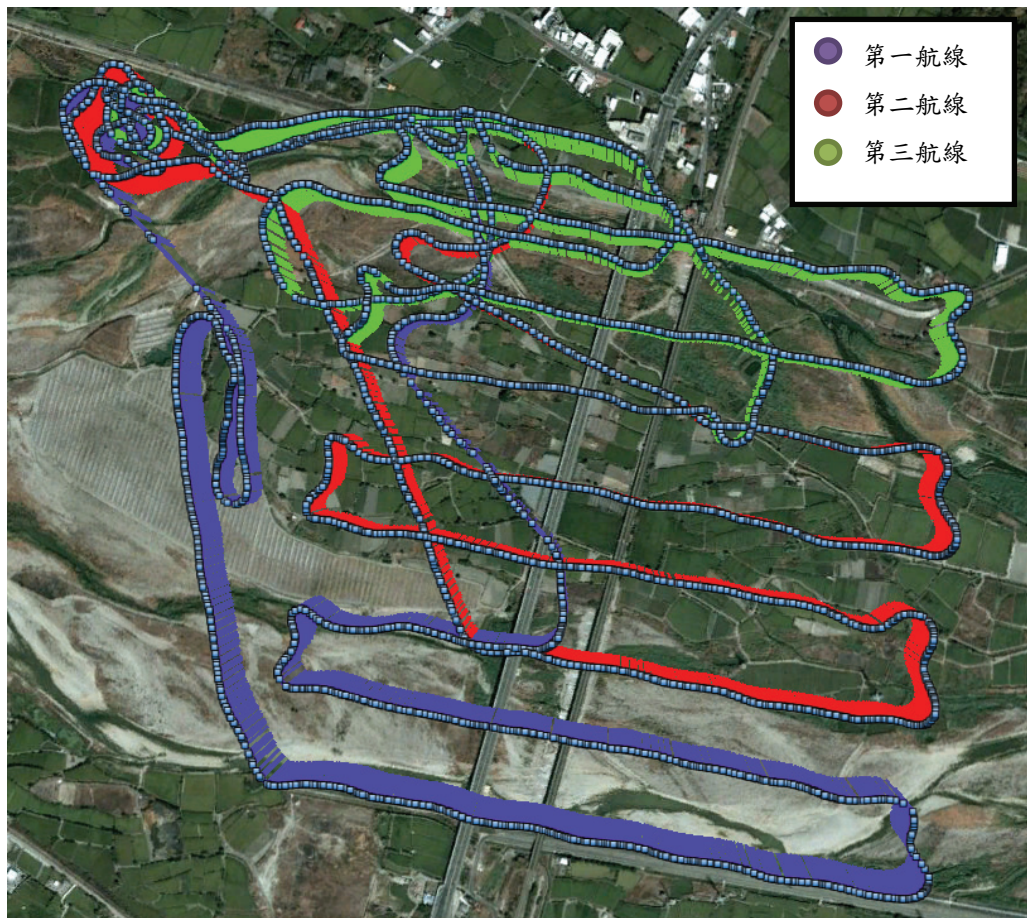


圖5.3 UAV飛行軌跡

相機為使用 Canon IXUS 310HS 數位相機，其相關相機率定方式及結果，已如 4.4 小節中。預計拍攝地面解析度為 10 公分，因此換算飛航高度約為 200 公尺，其拍攝影像如下圖所示，本次行拍作業共計拍攝 980 張影像，剔除拍攝傾角較大與品質不佳之影像後，剩餘 630

張影像，再利用這八條航帶進行後續相關實驗探討。拍攝影像如下圖 5.4 所示，該圖顯示單一航帶中之影像。

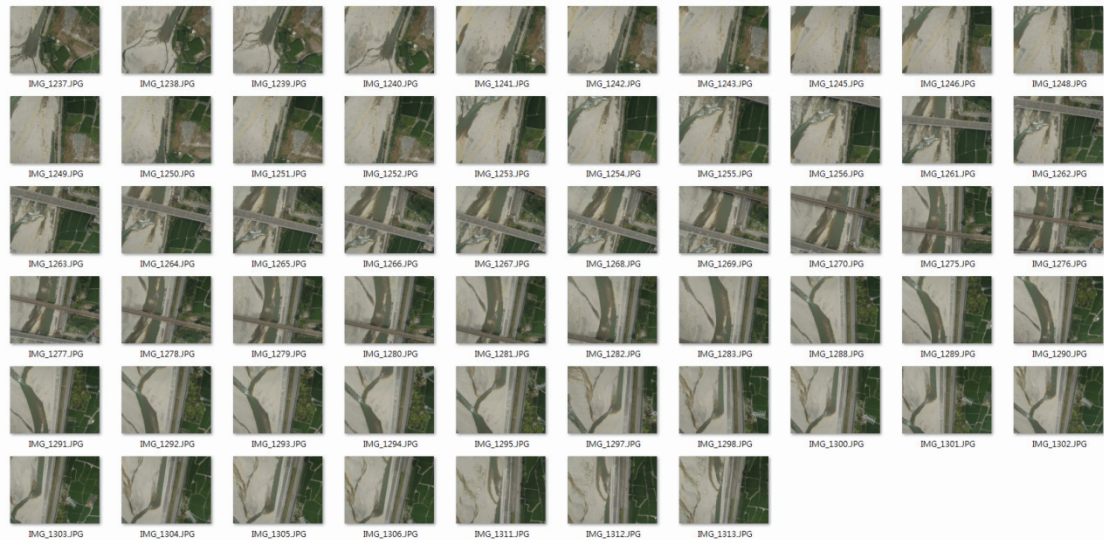


圖5.4 UAV拍攝原始影像

5.3 UAV 影展之快速拼接與正射糾正

以無人載具而言，目前最大的問題來自於載台飛行之穩定度，以及低空攝影方式，影像旋轉及尺度差異較大等問題。本研究提出不需按照傳統航拍方式進行拍攝，讓 UAV 可以放寬攝像限制的情況，以覆蓋為原則進行任意的拍攝，再利用特徵匹配演算法進行共軛點量測方式，達成快速之影像拼接處理。而影像快速糾正則採用基於特徵點匹配之控制點最佳選取策略獲得足夠數量之控制點後，再以薄板樣條函數(Thin Plate Splines, TPS)進行已拼接全區影像之糾正(Wapping)，達到類似正射影像的製圖方式。步驟如圖 5.5 所示。



圖5.5 快速拼接步驟

詳細快速拼接如圖 5.6 所示，利用影像自動匹配，並配合自動化控制點選取策略進行控制點選取。

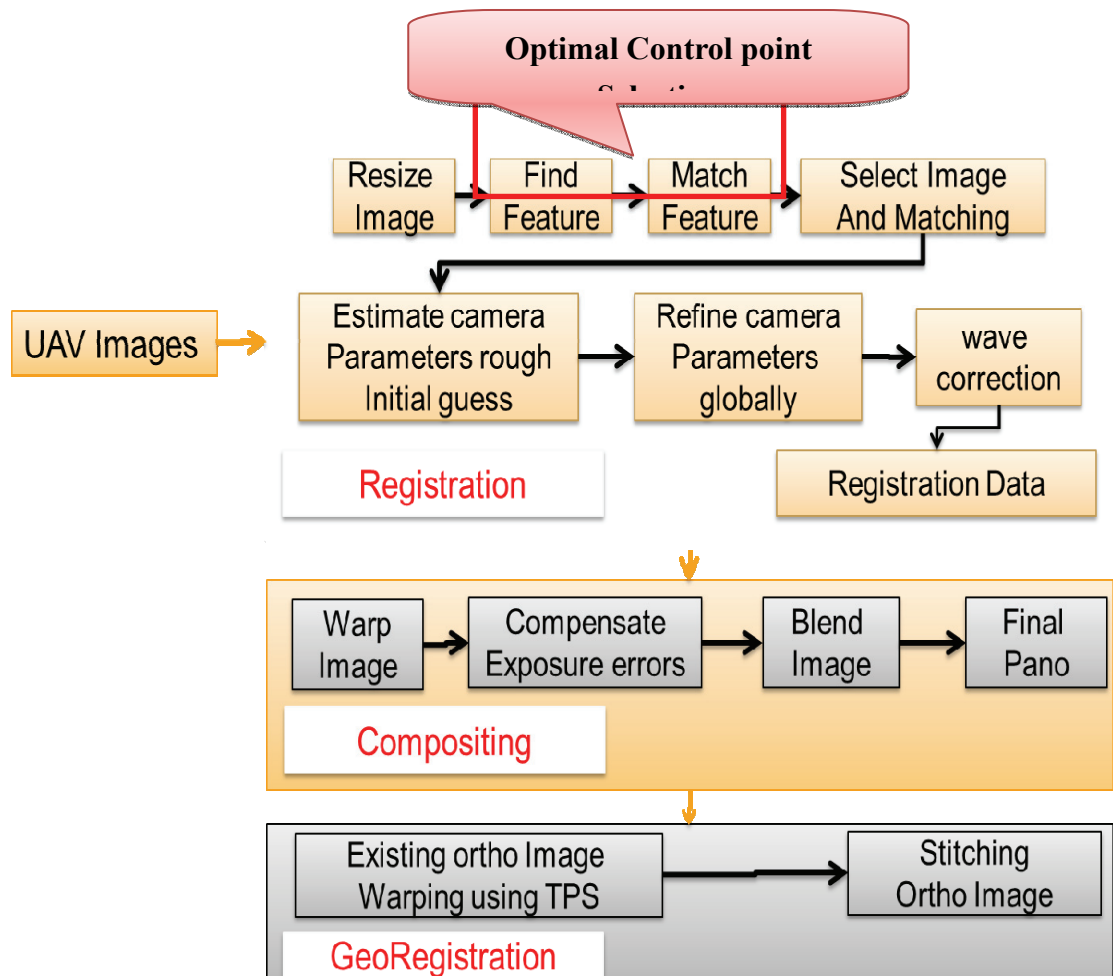


圖5.6 UAV快速拼接流程圖

本作業系統中加入最佳化控制點選取策略，讓特徵匹配之控制點擁有最佳化控制點之優點。1.幾何分布均勻之控制點、2.數量足夠之控制點、3.精度高之控制點。最佳化控制點選取策略以自動尋找均勻控制點的方法是以基於圖形理論(Graph Theory) 中之 Voronoi-Delaunay 對偶圖形，用來描述平面上一組離散點間鄰近關係的重要資料結構方法，用此來解決幾何分布均勻之問題，並使用特徵匹配方式，並配合 RANSAC/Affine Robust Estimation 除錯，以達到高可靠度及高精度控制

點之選取。

最佳化控制點選取策略共有三個步驟；1.概略定位、2.最佳化影像套合控制點選取、3.細部除錯/轉換函數。

1. 概略定位

UAV 所拍攝之影像須先進行相對定位，而相對定位方面可以使用特徵匹配演算法(SIFT、ASIFT、SURF 或 MSER)，先對影像進行兩兩匹配之動作，匹配後再使用 RANSAC 方式進行較大錯誤點位濾除，並求出影像之 Affine 轉換關係，並將影像進行概略定位。

2. 最佳化影像套合控制點選取

利用所求解之 Affine 參數進行預估，並在參考影像上，對已有之 n 個(起始時 $n=3$)控制點及定義處理範圍之邊界點共同組成 Voronoi 圖形，找出該圖形中具局部與整體最大距離之 Voronoi 點，該點即為下一個(第 $n+1$ 個)控制點選取之最佳位置。

3. 細部除錯/轉換函數

在細部除錯部分，本研究使用 TPS 函數中之彎曲能量值(Bending Energy)進行除錯，以 TPS 方法計算兩張影像之 bending energy，檢驗是否有 bending energy 過大的特徵點，不但作整體一至性檢查，可以消除細部錯誤。

經過上述方式將可達到最佳化控制點選取之策略，其流程圖如圖 5.7 所示。

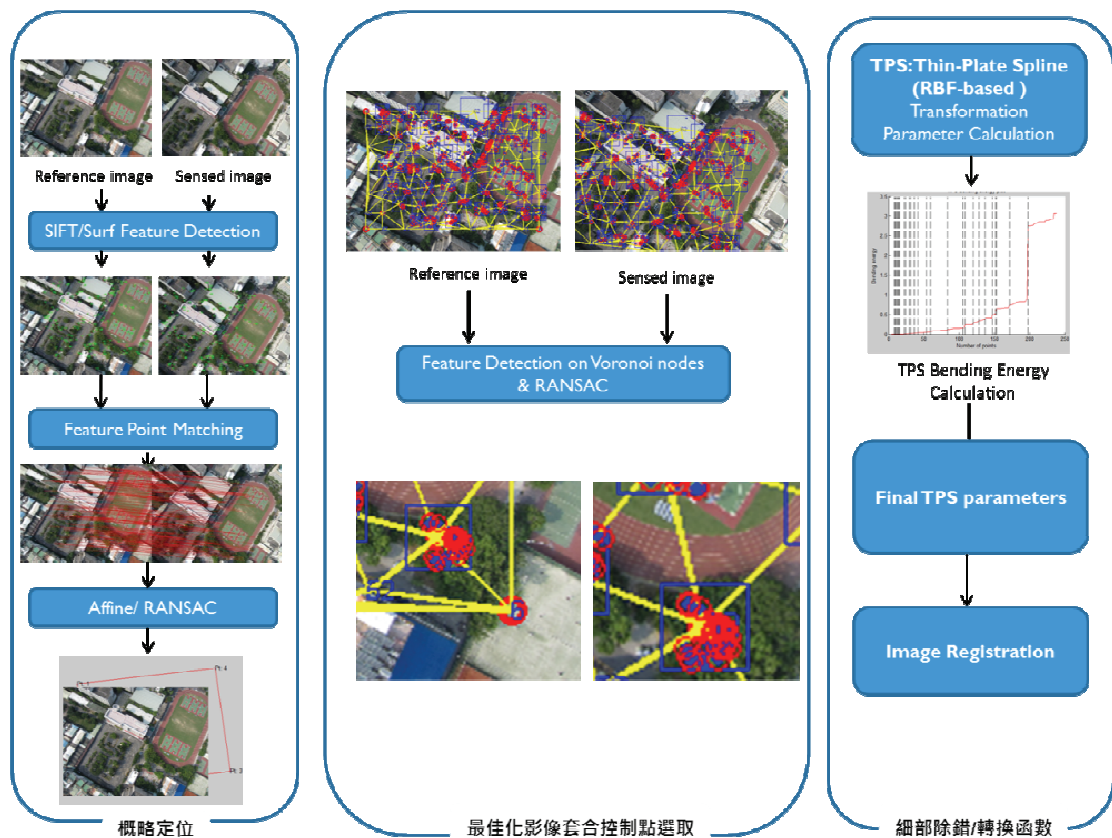


圖5.7 最佳化控制點選取策略流程圖

UAV 無人載具拍攝任務通常用於較緊急之用途使用，若要使用傳統航測方式進行空中三角解算外方位參數，再透過外方位參數與 DEM 資料產生正射影像，則需花費較長的一段時間，因此本研究採用快速拼接的方式，並配合 TPS Warping 方式進行幾何糾正，讓 UAV 影像可以快速達到應用之目的。以前述 630 張航拍影像進行拼接，獲得一張影像大小為 31740*35707 畫素的拼接影像(1133 百萬畫數)，拼接時間約 40 分鐘左右，拼接成果如下圖 5.8 所示。



圖5.8 UAV影像快速拼接成果

拼接後影像 Warping 可參照歷史影像資料，如 Google Earth 或是之前相關之地形圖、正射影像等均可。本實驗使用 100 年度大甲溪航拍千分之一正射影像作為參考影像，並利用特徵匹配演算法進行共軛點匹配，但因拼接影像與正射影像中並非 Affine 轉換可得，因此需於影像匹配弱區需進行人工補點的方式，因快速拼接之目的於快速取得該區域之成果，因此 Warping 後精度與使用之參考影像有關，可從檢核點之差異標準差評估其精度。Warping 方法採用 TPS 進行幾何糾正，其參考影像及成果如下圖 5.9 及圖 5.10 所示。



圖5. 9 UAV影像 TPS Warping參考影像
(100 大甲溪千分之一正射影像)



圖5. 10 TPS Warping成果

此應用可將 TPS Warping 後的影像套用於 Google Earth 中，進行影像展示，可藉此與歷史影像進行套疊分析，套疊於 Google Earth 影像如下圖 5.11 所示。



圖5.11 TPS Warping成果套疊於Google Earth展示

利用套疊分析，可發現 100 年度 9 月航拍影像與 101 年 9 月航拍影像不僅河道改變了，北側河岸也明顯被侵蝕，如下圖 5.12 比較所示。

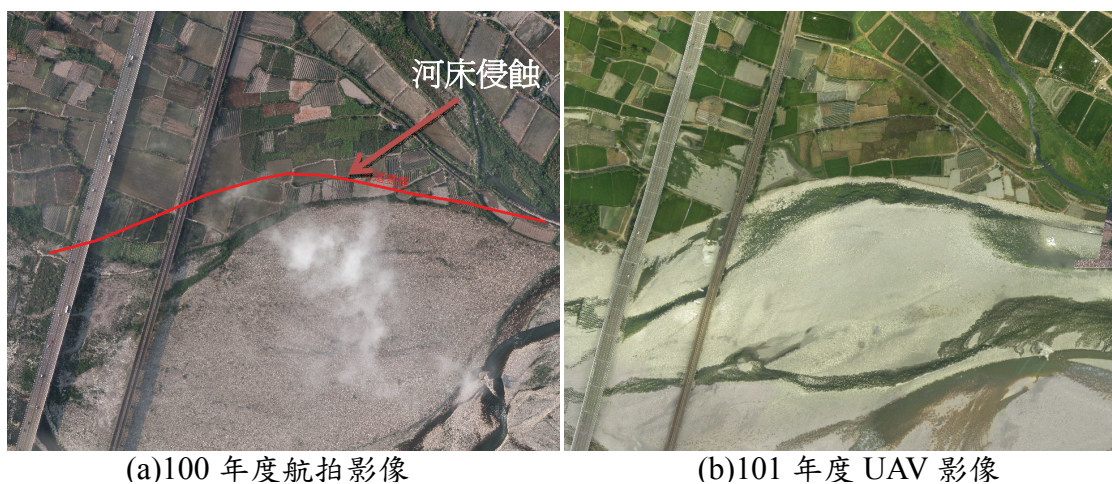


圖5.12 UAV影像快速拼接之套疊分析

5.4 無人載具替代傳統航拍製圖

使用 UAV 拍攝影像替代傳統航拍製圖是目前熱門的研究課題，以目前專業數值航測製圖軟體，空中三角處理的關鍵還是須按照傳統航拍的航線規劃，與較穩定之飛行方式進行拍攝，才可以進行空中三角計算，因此利用 UAV 所拍攝之影像因為旋轉、尺度縮放等不穩定因素關係，大部份均無法使用於目前商用數值航測軟體中。本研究利用特徵匹配方法，並配合最佳化控制點選取策略進行影像匹配，並利用相對之地面控制點或尺度約制求解外方位參數，得以替代傳統航拍，並獲取正射影像及 DTM 資料，其初步流程圖如下圖 5.13 所示。

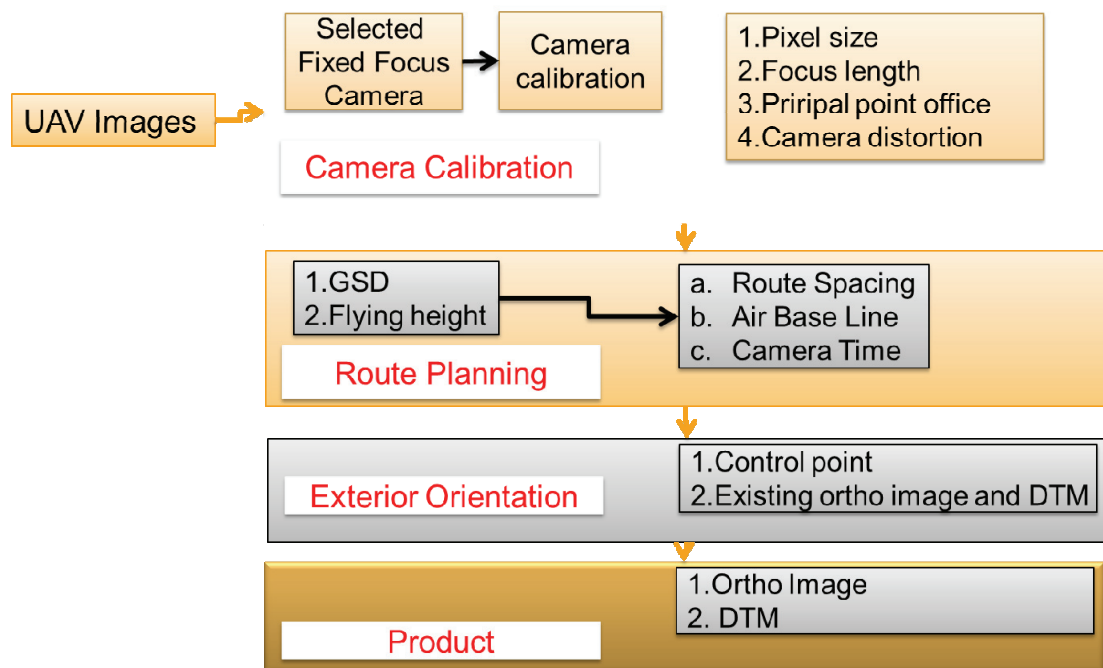


圖5.13 UAV替代傳統航拍之流程圖

傳統空中三角作法，需利用地面控制點及影像間之聯繫點(Pass Point、Tip Point)，進行外方位參數求取。而目前商用軟體均無法解算具有高旋角(超過 10°)、影像尺度差異過大(超過 1.2 倍比例)的 UAV 影像。推求外方位參數方法可由地面控制點約制進行求解，或是直接外方位參數(POS=GPS/IMU)之方式進行約制，而目前 UAV 上所搭載的 POS 資料，僅可用來飛行導航，或作為解算外方位參數之初始值使用，

因此本研究欲透過少量地面控制點，再配合影像匹配技術，達到影像間的幾何約制，以求取個張影像之外方位參數，再進行 DEM 求取及正射糾正，並探討在製圖上之應用。

為解決目前航遙測軟體無法對尺度及旋轉量較大之影像進行自動空中三角自動點位匹配，因此本系統中設計獨立的影像特徵點匹配演算法(SIFT、SURF、ORB)完成自動共軛點(Congugate Point)匹配後，再將資料匯入 Z/I Imaging 公司 ISAT(Image Station Automatic Triangulation)軟體進行空中三角的解算。相機率定部分因每次拍攝時焦距均可能有些微變動，因此每次任務均需要再做一次相機率定。

首先建立 ISAT 專案，再匯入共軛點匹配資料，並將匹配的共軛點轉成 ISAT 中 Photo Coordinate 格式，該檔案格式如下圖 5.14 所示。

IMG_1237	15000.000	1↓		
01_kuas_6	-2954.854932		-1984.854278	0↓
01_kuas_10	851.533729		847.664088	0↓
01_kuas_4	1026.394245		1228.242858	0↓
01_kuas_1	1005.822420		1187.099207	0↓
01_kuas_9	-63.912501		2741.300678	0↓
01_kuas_2	176.777793		-1965.533035	0↓
01_kuas_3	811.932589		912.054159	0↓
01_kuas_12	742.399718		859.904663	0↓
01_kuas_11	-474.423314		2650.373247	0↓
01_kuas_7	160.062871		-1950.957349	0↓
01_kuas_8	169.102283		-369.086747	0↓
01_kuas_5	1972.698213		-1806.101388	0↓
-99↓				
IMG_1238	15000.000	1↓		
01_kuas_58	-2326.813294		323.082540	0↓
01_kuas_13	-2941.910905		-467.904083	0↓
01_kuas_59	-2500.645313		374.512104	0↓
01_kuas_14	-2543.568626		-75.311061	0↓
01_kuas_26	-3219.253238		-457.219516	0↓
01_kuas_15	-2572.946163		-486.597210	0↓
01_kuas_60	-927.929167		888.807739	0↓
01_kuas_61	-485.634921		1300.244246	0↓

圖5. 14影像匹配之ISAT Photo Coordinate 格式

再次利用 ISAT 中 Translators->Import->Photo Coordinate 方式將所匹配到的影像載入專案使用，使用此方式計算可大量降低人工介入的

時間，配合 ISAT 中之誤差評估，將錯誤匹配點位剔除，及更高重點數之量測動作，將可完成該專案之空中三角計算，圖 5.15 為影像匹配點位轉入 ISAT 專案示意圖；圖 5.16 為匹配點位於 ISAT 中進行點位量測及錯誤點位剔除之介面。

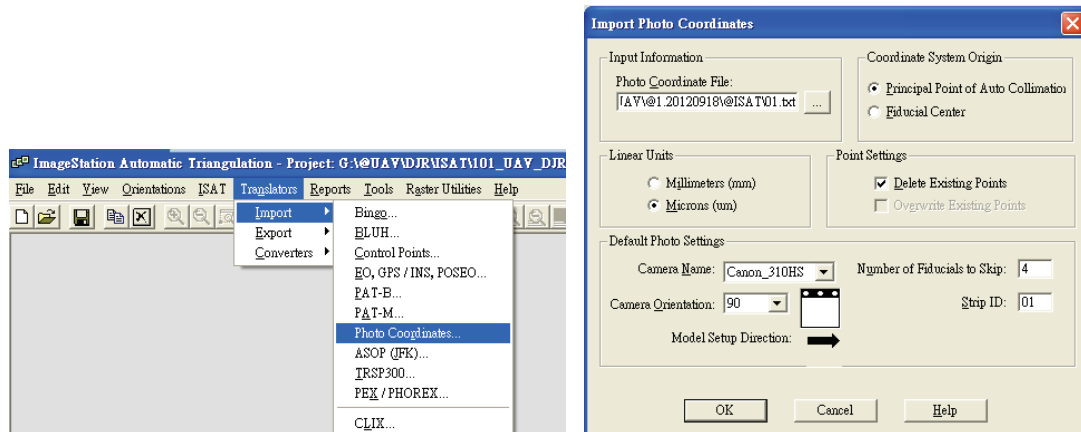


圖5.15 影像匹配點位轉入ISAT專案

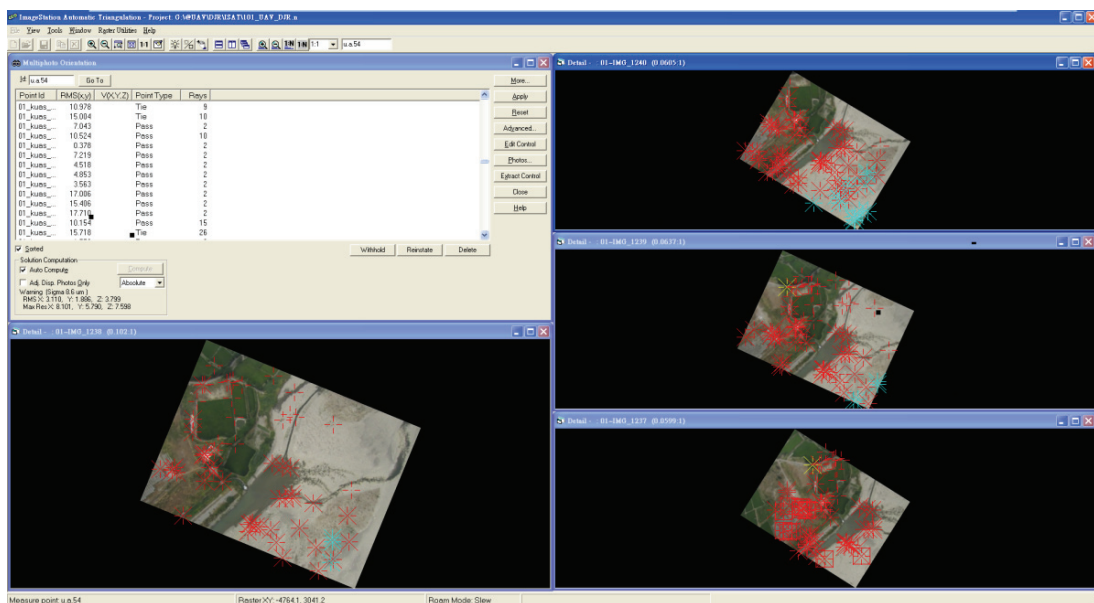


圖5.16 影像匹配載入ISAT量測介面

本實驗取實驗區之南側三條航帶進行實驗，共使用 132 張影像，控制點使用 9 點，檢核點共計 4 點，自由網空中三角解算之 Sigma 為 6.2um，強制複合 Sigma 為 6.6um，控制點 RMSE：(X:0.188，Y:0.213，Z:0.214)，檢核點 RMSE(X:0.210，Y:0.210，Z:0.220)，成果如下圖 5. 18

所示。

Photo-T Parameters and Results for Project 101_UAV_DJR

PhotoT Triangulation Options

Adjustment Mode : Absolute

Precision Computation : Disabled

Error Detection : Enabled

Camera Calibration : Disabled

Self-Calibration : Disabled

Given EO/GPS : Disabled

Antenna Offsets : Disabled

GPS Shift/Drift Correction : Disabled

INS Shift/Drift Correction : Disabled

Parameters

	Parameter	X/Omega	Y/Phi	Z/Kappa
	RMS Control	0.188	0.213	0.214
	RMS Check	0.211	0.208	0.213
	RMS Limits	0.001	0.001	0.001
	Max Ground Residual	0.222	0.252	0.220
	Residual Limits	0.001	0.001	0.001
	Mean Std Dev Object			
	RMS Photo Position			
	RMS Photo Attitude			
	Mean Std Dev Photo Position			
	Mean Std Dev Photo Attitude			

Key Statistics

Sigma: 6.6 um

Number of iterations: 13

Degrees of Freedom: 16680

Solution outside of RMS tolerance.

Solution outside of residual tolerance.

Current Count

Control Points Used:	9
Check Points Used:	4
Photos Used:	132
Photos Not Used:	0
Image Points Used:	12131

Cameras used: (1).

Camera Id	Lens	Distortion
Canon_310HS		On

Project Settings

Linear Units:	Meters
Angular Units:	Degrees
Atm Refraction:	Off
Earth Curvature:	Off

圖5.17 ISAT空三解算報表

5.4.1 DEM製作

本實驗 DEM 製作使用 Inpho ApplicationMaster 軟體中之 Match-T 進行 DEM 製作，依空三計算本專案可得 Pixel 約為 17cm，因此本 DEM 製作使用 0.2m 為匹配間距，再進行 DEM 及 DSM 匹配，如下圖 5.18 設置所示。

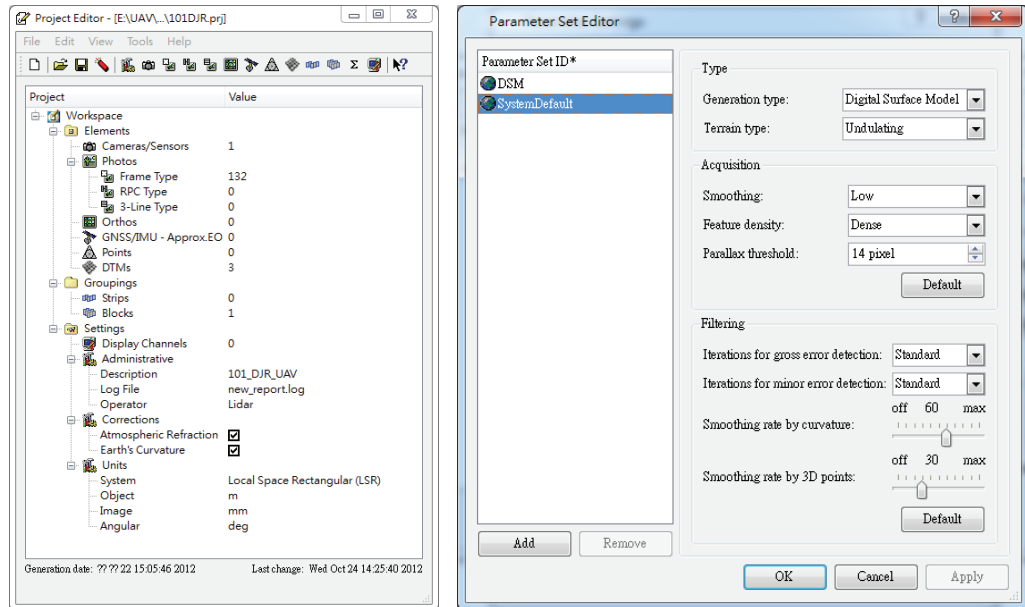
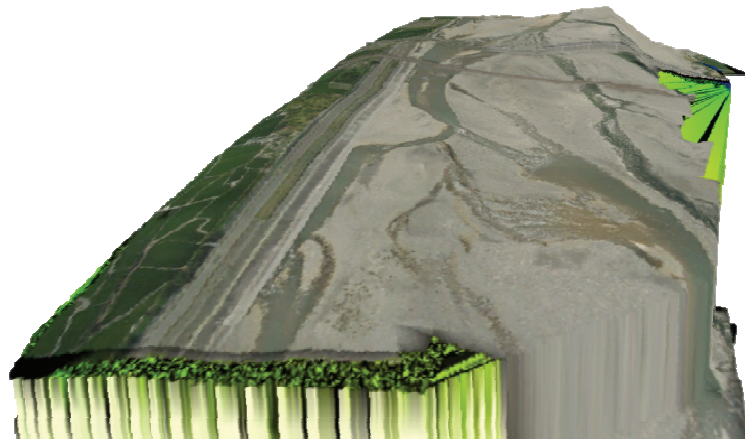


圖5. 18 Match-T DEM匹配設置

匹配結果如下圖 5. 19 所示。



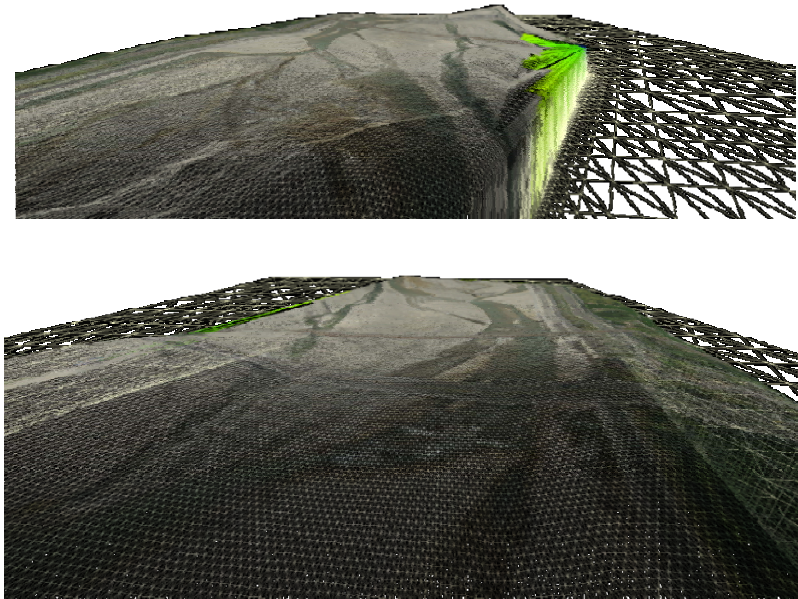


圖5. 19 Match-T DEM匹配成果

取 100 年大甲溪 Lidar 所製作之 DEM 資料與本次 UAV 匹配 DEM 資料進行斷面(編號：L01-1D-R01-1D)比較，其結果如下圖 5. 20 所示。

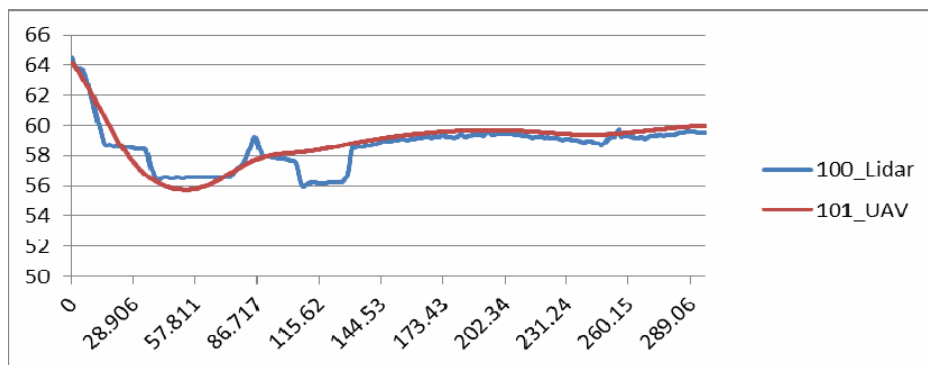


圖5. 20 UAV匹配DEM與Lidar斷面比較(單位：m)

圖 5.20 中藍色線條為 100 年度大甲溪 Lidar 所製作的 DEM 資料，紅色線條為本次實驗中所製作的 DEM 資料，依兩斷面資料進行相比，因匹配技術仍然受到拍攝時影像清晰度而有所差異，也因大甲溪流域均屬均調區，因此增加了匹配上的難度，並於河堤上較無法匹配出細緻之邊緣。平均中誤差為 12.6cm。

5.4.2 正射影像製作

正射影像可以透過外方位參數及解算出來的 DEM 進行正射糾正，並於正射糾正之後進行整體相片勻光動作，最後計算鑲嵌線，及最終正射影像製作。首先執行單張影像正射作業，如下圖 5.21 所示，鑲嵌線計算如下圖 5.24 所示，正射影像如下圖 x 所示。

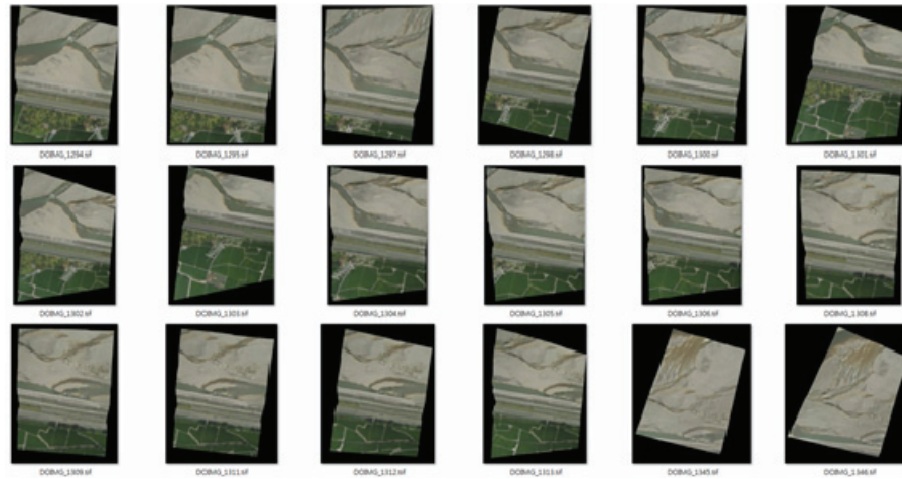


圖5.21 單張影像正射

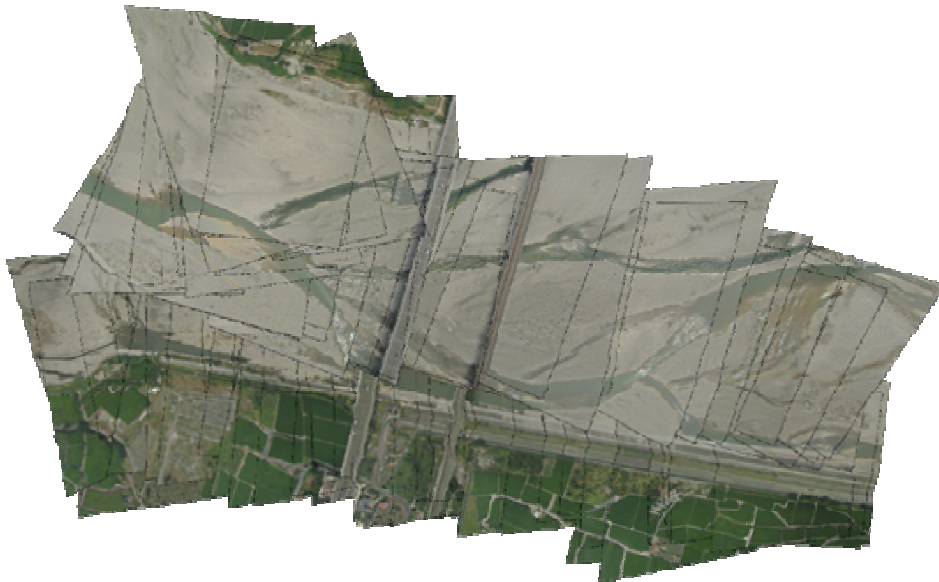


圖5.22 單張正射影像對位

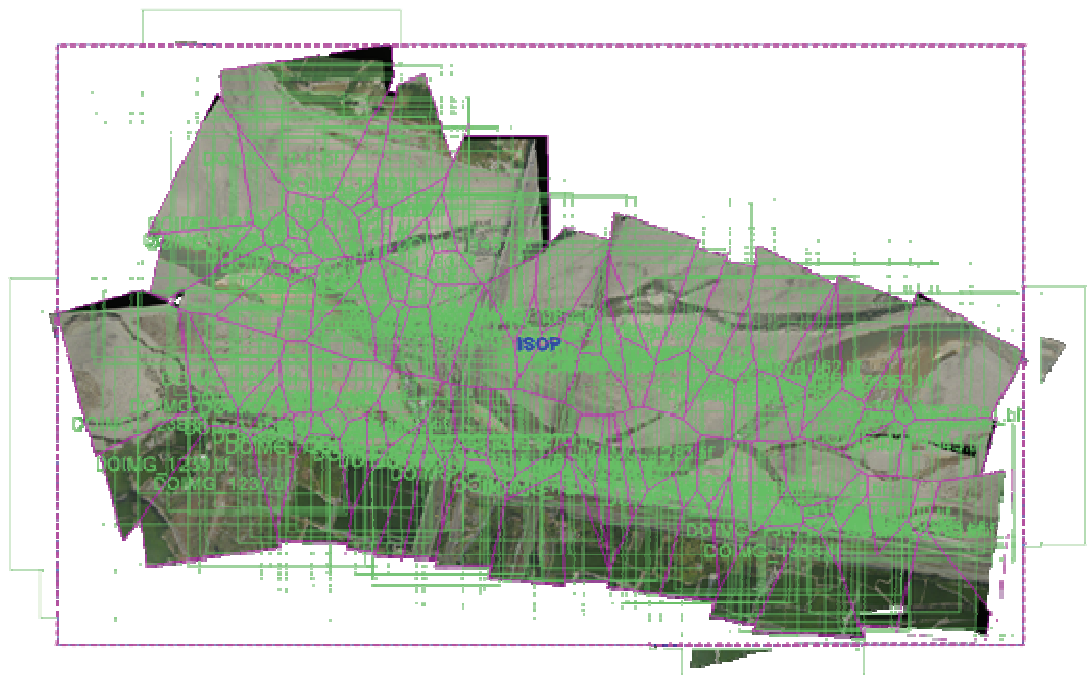


圖5.23 鑲嵌線計算



圖5.24 UAV影像鑲嵌正射結果

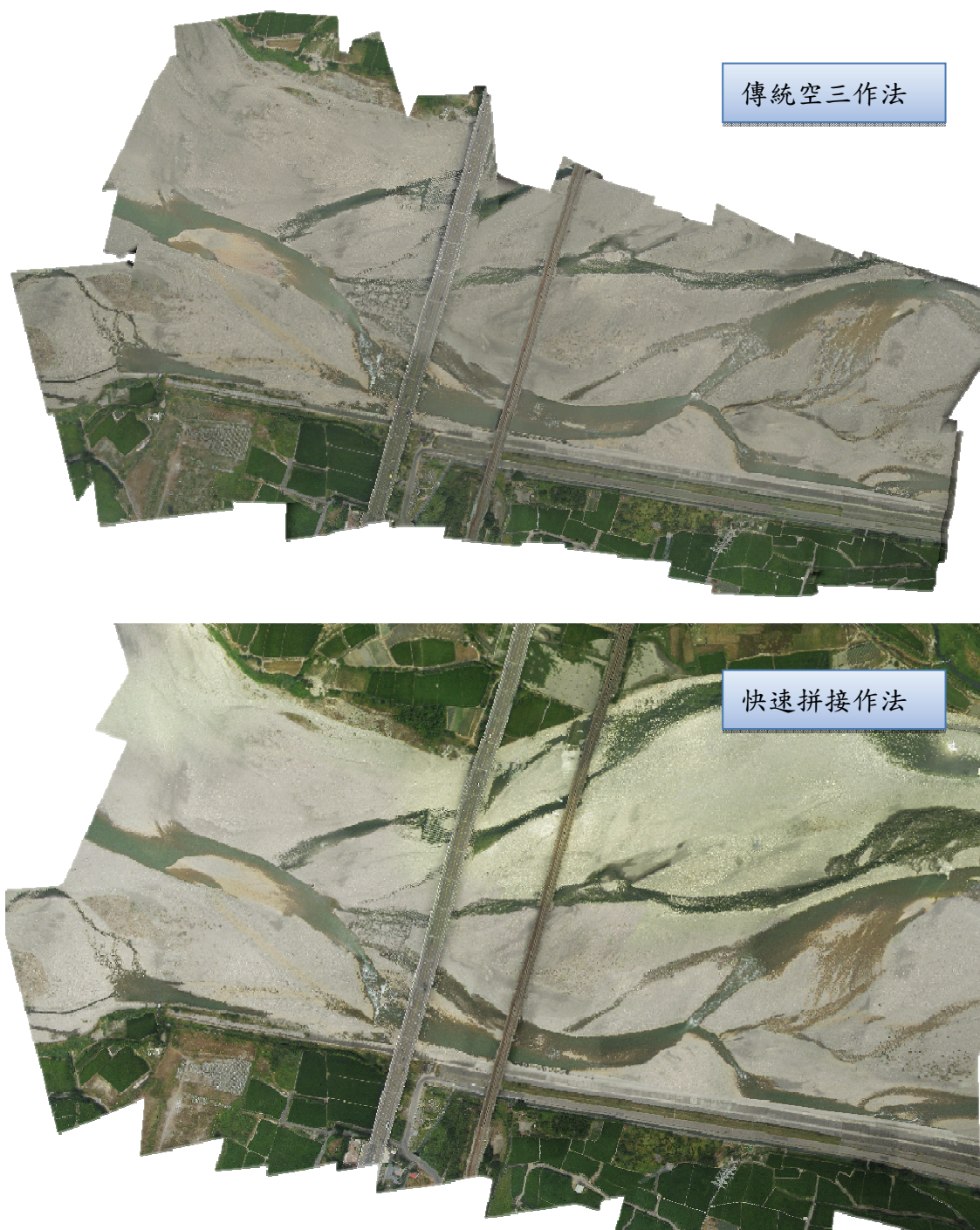


圖5.25 快速拼接與傳統正射比較

5.5 其它災後緊急應變 UAV 攝影與處理成果

此案例為顯示 UAV 影像在海岸帶減救災之應用，其拍攝、處理與前節所述均相同，僅展示其處理的結果，程序則不再贅述。

地點：花蓮縣秀林鄉崇德村

拍攝日期：101 年 8 月 3 日

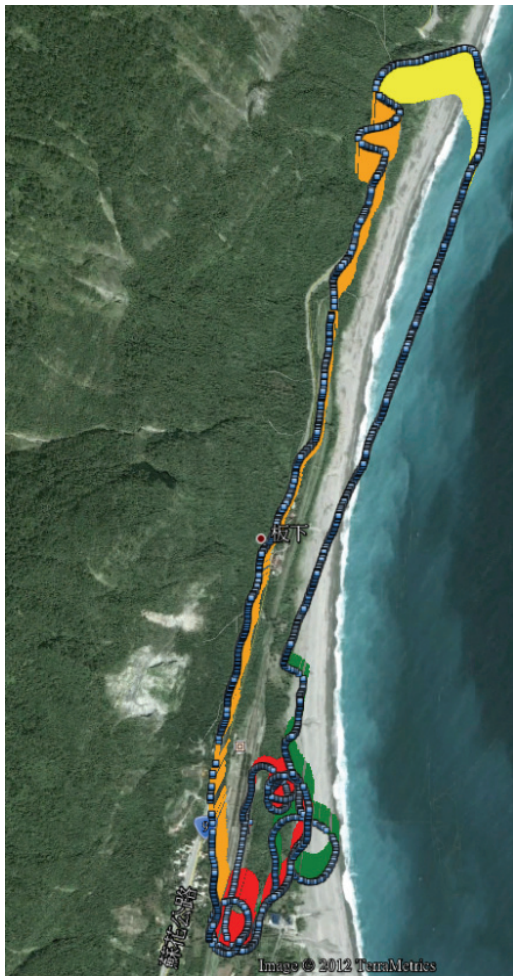


圖5.26 UAV飛行軌跡



圖5.27快速拼接結果



圖5.28正射糾正影像



圖5.29 Google Earth套圖



圖5.30 空三解算及方位展圖

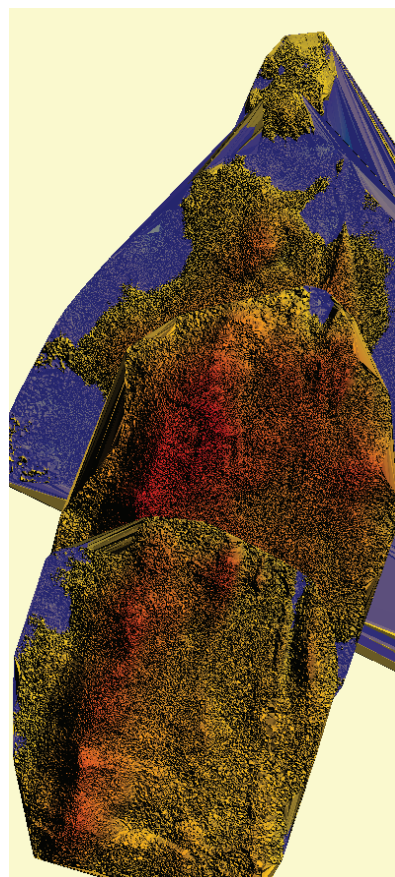


圖5.31 DSM製作

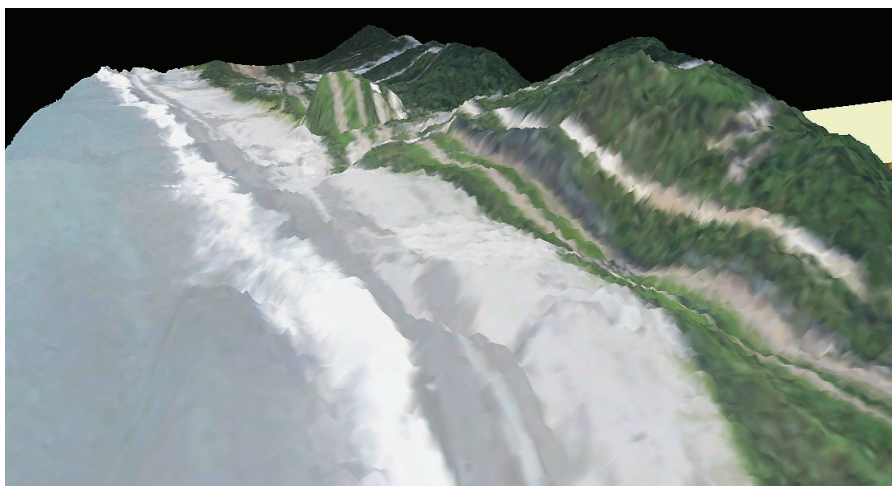


圖5.32 DSM三維顯示

第六章 結論與建議

本研究之主題為無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)系統的開發與應用。工作內容包括：

1. 地面與低空 UAV 近景攝影與量測技術開始與建置。
2. UAV 空中近景技術於河床高度資料之獲取與精度分析。
3. 降質圖像之輻射品質精進處理，包括影像除霧、除霾、除陰影及色彩平衡。
4. 多來源圖像資料融合(Data Fusion)方法與處理。

由於大甲溪橋由石崗霸至出海口 20 公里的長度範圍曾於民國 99~100 二個年度曾分別實施正規的航空測量作業，並以高精度航拍影像及空載雷射(Airborne LiDAR)獲取河床高度資料及一仟分一比例尺之正射影像，具有高品質的既有資料可供新的作業模式與資料獲取成果精度之比對。因此，本研究主要選擇台一線大甲溪橋上下游 100 公尺範圍為實驗區域，使用無人飛行載具(UAV)進行攝影，並完成河床高度資料(DEM)之獲取。實驗中將完成攝影規劃、相機率定、影像前級處理(除霧、陰影去除等輻射處理)及主要處理(三維模型重建幾何處理)系統之設計、三維地形資料(DEM)獲取與建模、正射影像糾正及精度分析等工作。另外也選擇今年八月水災重災區—花蓮縣秀林鄉海岸帶，利用 UAV 進行災後緊急應變應用之地形改變的快速資料獲取與處理，以評估 UAV 技術在在防救災應用之潛力。本研究就以上所述的具體實驗結果可獲得下列之結論：

6.1 結論與建議

1. 在使用之硬體設備上：使用無人飛行載具(UAV)配合一般的消費型數位相機替代常規的航空攝影(定翼機+專業相機)，就成本上而言大幅度的降低，攝影的機動性也大幅度的提高，由於 UAV 已可自

主導航的低空飛行，加上消費型數位相機已具有千萬以上之畫素，可以獲得良好的攝像解析度(GSD)，一般可達 5~10 公分以上，可應用於大比例尺之製圖。

2. 在影像資料的處理上：UAV 雖可自主導航的飛行，但其穩定度仍不若常規航拍之良好，諸如影像之前後或側向重疊、相鄰影像的旋轉及比例尺差異的過大，攝影天候造成影像的降質，均將造成常規影像資料的處理的困難，甚至無法處理。在本研究中分別對前述的困難提出處理的對策，針對 UAV 攝影的特性(缺點)發展新的輻射與幾何處理模式，可以有效克服常規處理上的困難。
3. 在資料獲取的精度上：由於消費型數位相機的內方位(焦距、影像中心點偏移)未知以及透鏡畸變差大，將明顯影響影像量測之精度，但透過現代相機率定(Camera Calibration)技術的進步，經由率定參數之校正可有效提升量測之精度。本研究結果顯示，對物間點位求定之精度，平面精度約為 ± 1.5 個像元以內，高程精度約為攝影距離(航高)之 1/3000~1/4000，可以滿足各比例尺常規製圖之精度要求。
4. 就總體效益而言：由於 UAV 攝影飛行高度及像幅大小之限制，就大範圍而言(一千公頃以上)，仍以常規之航空攝影為宜。但對小的範圍而言，UAV 的攝影將具有明顯的優勢，其作業成本只須常規航測作業的 1/3~1/4(硬體不計)。若於精度要求不高(3~5 公尺內)之防救災緊急應變資料獲取(攝影+快速拼接)，其處理效率可在數小時內即可完成。
5. 目前感測器(相機)的發展快速，如超寬角(Wide Angle)或全景(Panorama)相機，甚至新的主動式相機(3D 相機)，影像處理技術也有明顯的進步，對耗時的計算程序可配合 GPU 及 CUTA 改用平行處理演算法，計算效率可提升至少十倍以上，對使用 UAV 或地面的攝影技術將再獲得更進一步的發展，「平民化」與「即時化」的作業模式預期將會逐漸取代傳統「貴族化」的作業模式，同時也不再依賴傳統昂貴的硬體設備，如空載雷射儀。該技術的發展如同 GPS 衛

星定位技術明顯替代了地面傳統角邊測量技術。

6. 綜合本計畫全程四年的研究，分年使用了高解析度之衛星光學與雷達影像、航空攝影及低空之 UAV 等不同解析度之遙測影像，並分別應用於海岸帶區域進行地形資料調查、海岸帶製圖、地盤沉陷及防災等不同領域。整體而言，全程的研究之結果顯示，影像技術的確能為不同的應用領域作出有效的貢獻，航遙測影像是對大範圍面積或海岸線的調查有其最佳的選擇條件，只是成本略高，主動式的雷達干涉術對地面大範圍的沉陷有毫米級的偵測能力，而低空的高解析影像則具有機動性高、成本低且精度高的優勢，其實用之潛力，已成為未來發展的主流技術。

6.2 成果效益以及後續應用

本研究之成果效益以及後續應用包含有：

1. UAV 近景攝影與量測技術開發與建置，可以提供國內各港務局、海巡署與漁業署等應用，提升海岸測量的效率與效益。
2. 本研究可以加速國內量測技術的提升與廉價化。
3. 本研究未來可以提供空中近景技術於河床高度資料之獲取與提高精度。

參考文獻

- [1] 張永生，遙感圖像資訊系統，科學出版社，2003。
- [2] 朱述龍等，遙感圖像處理與應用，科學出版社，2006。
- [3] Canada Centre for Remote Sensing，Remote Sensing Tutorials.
<http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/learn/tutorials>.
- [4] Huang, M. J., S. W. Shyue, L. H. Lee, and K.C. Kao, ArcSME: Synthetic METOC Environment Tools for ArcGIS. Asia GIS 2006 International Conference, Malaysia, 2006.
- [5] Liu, C. S., S. Y. Liu, S. E. Lallemand, N. Lundberg, D. Reed Digital Elevation Model Offshore Taiwan and Its Tectonic Implications, Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences, TAO, Vol. 9, No.4, pp.705-738, 1998.
- [6] Chui, H., Non-Rigid Point Matching: Algorithm, Extensions and Applications, Phd. Dissertation, Yale University, 2001.
- [7] Lillesand, T. M., Kiefer, R. W. and Chipman, J. W., Remote Sensing and Image Interpretation, Fifth Edition, New York, John Wiley & Sons, Inc., 2004.
- [8] Bentoutou, Y., Taleb, N., Kpalma, K. and Ronsin, J., An Automatic Image Registration for Applications in Remote Sensing, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 43, No. 9, pp. 2127-2737, 2005.
- [9] Chon, J., Fuse, T., Shimizu, E. and Shibasaki, R., Three-Dimensional Image Mosaicking Using Multiple Projection Planes for 3-D Visualization, IEEE Transactions ON Systems, Man, and Cybernetics—Part B: Cybernetics, Vol. 37, No. 4, pp. 771-783, 2007.
- [10] DelMarco, S. P., Tom, V. and Webb, H. F., A Theory of Automatic Parameter Selection for Feature Extraction With Application to Feature-Based Multisensor Image Registration, IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 16, No. 11, pp. 2733-2742, 2007.

- [11] Falco, I. D., Cioppa, A. D., Maisto, D. and Tarantino, E., Differential Evolution as a viable tool for satellite image registration, *Applied Soft Computing*, No. 8, pp 1453–1462, 2008.
- [12] He ,Y. and Chung,R., Image Mosaicking for Polyhedral Scene and in Particular Singly Visible Surfaces, *Pattern Recognition*, No. 41,pp. 1200–1213, 2008.
- [13] Kern, J. P. and Pattichis, M. S., Robust Multispectral Image Registration Using Mutual-Information Models, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 45, No. 5, pp. 1494-1505, 2007.
- [14] Wen, G. J., Li, J. J. and Yu, W. X., A High-Performance Feature-Matching Method for Image Registration by Combining Spatial and Similarity Information, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 46, No. 4, pp. 1266-1276, 2008.
- [15] 張庭榮，” SIFT演算法於立體對影像匹配與影像檢索應用之研究”，國立高雄應用科技大學土木工程與防災科技研究所碩士論文，2008年7月。
- [16] 吳迪豪，應用近景攝影與地面雷射掃瞄於地物量測精度及三維建模之研究，國立高雄應用科技大學土木工程與防災科技研究所碩士論文，2008年7月。
- [17] 曾匹佑，使用地面攝影測量技術對遠距離崩塌地三維建模與應用之研究，國立高雄應用科技大學土木工程與防災科技研究所碩士論文，2011年7月。
- [18] 陳俊山，近景攝影測量於橋樑監測應用之研究，國立高雄應用科技大學土木工程與防災科技研究所碩士論文，2011年7月。
- [19] Jason Sanders, Edward Kandrot. *CUDA By Example an Introduction to General-Purpose GPU Programing*, PEARSON Education.2011
- [20] 張舒、褚豔利、趙開勇、張鈺勃，GPU高效能運算之CUDA，基峰出版社，2011。
- [21] Bay H., Tuytelaars T., van Gool L., SURF: Speeded up robust features. In *ECCV*, 2006
- [22] Bay H., Tuytelaars T., van Gool L., Speeded-Up Robust Features

(SURF), Computer Vision and Image Understanding, 2008

- [23] Bay H., From Wide-baseline Point and Line Correspondences to 3D. Ph.D. Thesis, ETH Zurich, 2006
- [24] Bay H., Fasel B., van Gool L., Interactive museum guide: fast and , 2006.
- [25] Viola P., Jones M., Rapid object detection using a boosted cascade of simple feature. In IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2001
- [26] Simard P., Bottou L., Haffner P. et al. Boxlets, A fast convolution algorithm for signal processing and neural networks, Advances in Neural Information Processing Systems, 1999
- [27] Matas J., Chum O., Urban M., and Pajdla T., Robust wide baseline stereo from maximally stable extremal regions. In Proc. of British Machine Vision Conference, pp.384-396, 2002
- [28] McCartney, E. J., Optics of the atmosphere: Scattering by Molecules and Particles. John Wiley and Sons, New York, 1976
- [29] Nayar, S. K. and Narasimhan, S. G., Vision in bad weather, The Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision,(2), pp.820-827, 1999
- [30] Chavez P., , An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data, Remote Sensing of Environment, 24, pp.450-479, 1988
- [31] He, K. M., Sun, J., Tang, X. O., Single rage haze removal using dark channel prior, Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision arid Pattern Recognition, Miami, USA, IEEE, pp.1956-1963, 2009
- [32] Levin, A., Lischinski, D., Weiss, Y., A closed form solution to natural image Matting, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 30(2), pp.1-15, 2008
- [33] Hu W., Yuan D. D., Dong, Z. Shu X.M., Improved single image dehazing using dark channel prior, Journal of Computer Research and

Development, 47(12), pp.2132-2140, 2010

- [34] Lillesand, T. M., Kiffer, R. W., Remote sensing and image interpretation, 3rd Ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, 2004
- [35] Francois Pitie, Anil C. Kokaram and Rozenn Dahyot, N-Dimensional Probability Density Function Transfer and its Application to Color Transfer. IEEE International Conference on Computer Vision, pp.1434-1439, 2005.
- [36] Boykov Y., Veksler O., Zabink., Efficient Approximate Energy Minimization via Graph Cuts, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 23(11), pp.1222-1239, 2001
- [37] Sun J., Shun H. Y., Zheng N. N., Stereo Matching Using Belief Propagation, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 25(7), pp.787-800, 2003
- [38] Hirschmuller H., Accurate and Efficient Stereo Processing by Semi-Global Matching and Mutual Information, IEEE Conference on CVPR, San Diego, pp. 807-814, 2005
- [39] Hirschmuller H., Stereo Processing by Semi-global Matching and Mutual Information, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 30(2), pp. 328-341, 2008
- [40] Gehrke S., Morin K., Semi-Global Matching: An Alternative to LiDAR for DSM Generation, IEEE Conference on CVPR, Miami, 2009.

附錄一 期中報告審查意見處理表

計畫名稱：MOTC-IOT-101-H2DB006b

海岸帶及近海衛星遙測技術之整合應用研究(4/4)

執行單位：國立高雄應用科技大學

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承 辦單位審查 意見
運研所港研中心 張金機前所長： 一、 p19 等系統圖，除照片外，建議繪製示意圖並加說明。 二、 UAV 等儀器，除功能介紹、數學演算法外，其方法應加強率定。簡報已有改進，但仍缺 UAV 穩定度測試率定(航跡、高度等)。 三、 計畫名稱與研究成果、效益(p4.5)不符。 四、 結論僅最後部分與本年度完成工作外，其餘為計畫內容與工作概述，應再修正(簡報以更正)。	將於期末報告中補充說明。 相機率定本為關鍵技術，已完成率定工作才能進行量測作業。UAV 只扮演攜帶相機之載具進行攝像，並不需要率定 遵照委員意見修正。期末將加入海案帶之實驗區。 遵照委員意見修正。並於期末報告補充說明。	已依照委員意見辦理。 已依照委員意見辦理。 已依照委員意見辦理。 已依照委員意見辦理。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
國立臺灣海洋大學 方志中教授： 一、 UAV 之硬體規格、航行時間限制、航空攝影規劃(表 4-1)，應更具體列表。供委託單位未來規劃採購使用。 二、 UAV 飛行速度可補充。	UAV 航行時間會受 UAV 形式不同而有所不同，如定翼機有較好的滯空時間、旋翼機就不受起降等因素。另遵照委員意見，於期末報告補充說明。 UAV 飛行速度依賴飛控系統進行設定，飛行速度則依據拍攝覆蓋率進行調整，以達到穩定拍攝為目的。	已依照委員意見辦理。
國立中山大學 薛憲文 教授： 一、 請說明 p.14 遙控器之詳細功能。	遙控器使用 JR-PROPO PCM9XII，此遙控器為 9 動遙控器，可於遙控器上控制 UAV9 個動作，其中包含油門、前進後拓、側飛、旋轉等動作外，還可以控制任務切換(Go Home、Next	符合規範要求。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承 辦單位審查 意見
二、 請說明 p.19 如何對攝影平台之重心進行控制。	Point)，飛航高控制及相機快門與相機拍攝角度之功能。 目前自動控制雲台可以輔助拍攝時，相機有良好的穩定效果，主要由 UAV 上之三軸陀螺儀取得修正參數，再利用兩軸伺服馬達進行作動，讓拍攝雲台可以隨時保持拍攝之水平。	符合規範要求。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
三、請說明航高多高時易受霧及霾之影響。	受霧及霾之影響以天候及大氣影響為主，基本上，航高得依前述條件而改變，無法獨立評估。	符合規範要求。
四、請說明本計畫採用 CUDA 之優點。	UAV 拍攝影像訴求為不需按照傳統航拍影像進行拍攝，因此拍攝後的相片數量及品質必須有更高速的處理方式，CUDA 平行運算可解決影像匹配，空中三角計算等，需要耗費大量時間運算之效率。	符合規範要求。
五、p.71 結論提及進行魚眼相機之率定，請在本文中說明之。	遵照委員意見修正。並於期末報告補充說明。	已依照委員意見辦理。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
六、請說明本計畫用 UAV 所生產之 DTM 精度與傳統航測所產生者可能之差異。	傳統航拍須按照正規航線計畫進行拍攝，有航片覆蓋率及航片交會角度等問題，屬於高精度之作法，而 UAV 所拍攝之影像訴求亂拍，在以後製方式進行處理，並使用與傳統航測不相同之匹配演算法，解決影像旋轉、尺度不相同等問題，而該演算法其精度已達到量測之精度要求，但匹配仍然比目前航測所使用之最小二乘法匹配略為遜色。而 UAV 與傳統航測最主要在於拍攝高度有所差別，所依據的方法仍然為空中三角之光束法。	符合規範要求。
國立臺灣海洋大學 張淑淨 教授： 一、請就 UAV 影像處理程序中各個處理方法/程式所採用的工具軟體或自行設計之模組架構，以及期間須人工介入的部分，作一綜整說明，並加入實際運作/操作流程圖。	遵照委員意見修正。	已依照委員意見辦理。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承 辦單位審查 意見
二、 P.25 圖 4.3 標示錯誤。	遵照委員意見修正。	已依照委員 意見辦理。
三、 P.25 4.3.1 內(4-2)(4-3)(4-4)內容參 數，建議加圖示說明以茲區分。	遵照委員意見補充 說明。	已依照委員 意見辦理。
四、 P.34 圖 4.11 請加說明(包含 k、星號 意義?)	遵照委員意見修正。	已依照委員 意見辦理。
五、 P.35 一段說明文字有誤或缺漏?請 補充說明清楚。	遵照委員意見補充 說明。	已依照委員 意見辦理。
運研所港研中心 何良勝科長： 一、 請於期末報告時，增列前三年研究 成果說明。	遵照委員意見補充 說明。	已依照委員 意見辦理。
二、 建議期末報告時，增列 UAV 攝影系 統之實際案例成果。	遵照委員意見於期	已依照委員 意見辦理。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位處理情形	本所計畫承辦單位審查意見
三、有關 UAV 系統之精確度(包含 2-D、3-D)宜多補充說明其校核或驗證方法。	末報告中補充相關 UAV 實際案例。 遵照委員意見修正。	已依照委員意見辦理。
運研所港研中心 洪憲忠 研究員： 一、本計畫善用 UAV 進行近景攝影與量測技術之研發。 二、期末是否進行量測地形與實際地行精度比較分析?以了解可用性。 三、p.9 圖 3.2 本計畫是否進行即時影像資料傳輸?請說明即時影像傳輸之限制及可行性。	感謝委員肯定。 遵照委員意見於期末報告進行相關實驗分析。 即時影像傳輸需透過 UAV 與地面控制站進行類比訊號傳輸，其主要功能在於即時取得 UAV 拍攝現況，而目前還拍任務均透過地面控制站及自動導航系統進行攝影控制，因此該功能已慢慢被取代，且傳輸回來之類比訊號	符合規範要求。 符合規範要求。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承 辦單位審查 意見
	有距離限制，無法 做較長距離之影像 傳輸，並且容易干 擾飛控系統上之無 線電接收。	

附錄二 期末報告審查意見處理表

計畫名稱：MOTC-IOT-101-H2DB006b

海岸帶及近海衛星遙測技術之整合應用研究(4/4)

執行單位：國立高雄應用科技大學

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
運研所港研中心(已退休) 張金機主任： 一、 期中報告審查意見未回覆。	遵照委員意見修正， 於期末報告補充。	已依照委員意見辦理。
二、 報告文詞應再修飾，部分內容不知所云(p.130,p.131,p.133 等)，部分圖缺單位不清楚。	遵照委員意見修正， 於期末報告補充說明。	已依照委員意見辦理。
三、 報告中第三、四章應為理想教材(講義)可以附錄處理，實作部分應再強調驗證。 1、飛行高度。 2、規劃測線與實際測線差異分析。 3、控制點應作平面及高程驗證。 4、河床高層應作斷面高程分析驗證(尤其是利用套裝軟體)，整個實作未見實測資料，利用 100 年航測資料比對航無異議。 4、圖 5-21 是哪個斷面?(缺單位)	第三、四章為 UAV 影像主要處理之關鍵技術，應用程式亦依該理論背景重新開發，並非標準教材之內容，希望能保留。控制點視同無誤差已在施測過程中完成精度分析，無需再驗證。飛行高度、規劃測線與實際測線差異亦無驗證之必要。其它成	已依照委員意見辦理。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
四、 P.135 後，未見說明，刪除或再補充。	果的比對為以相對精度進行比對，因經費因素，無法進行高成本的方式進行絕對精度的比對。 該內容仍屬本計畫之工作內容及成果，將遵照委員意見補充說明。	已依照委員意見辦理。
國立臺灣海洋大學 方志中教授： 一、 四年計畫之成果應具體展現，應在第二章加強說明各年度成果。 二、 績效指標應具展現。 三、 四年計畫之關聯性及軟、硬體規格應具體展現。 四、 應加入四年總計畫之「結論」。	遵照委員意見於期末報告補充說明。 遵照委員意見於期末報告補充說明。 遵照委員意見修正，於期末報告補充說明。 遵照委員意見修正，於期末報告補充說明。	已依照委員意見辦理。 已依照委員意見辦理。 已依照委員意見辦理。 已依照委員意見辦理。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
五、圖文參考文獻及來源應說明列，避免產生著作權問題。	遵照委員意見修正，並加入相關參考文獻來源依據。	已依照委員意見辦理。
國立成功大學 黃明志 教授： 一、4.6 節佔本報告近 1/3 篇幅，主要敘述各種特徵點演算法，但第五章未說明計畫採用何種方式及其優劣點。 二、第五章章目與本年度計畫主題完全一樣，是否修改為教切題之章目。 三、本報告初稿也許受限於 101/09/18 才進行 UAV 大甲溪拍攝作業，第五章未能充分呈現結果，如未見圖 5.23,5.25,5.26 之說明，5.5 節更是未見任何文字敘。	該演算法在第五章中為整合性應用，程式在執行中會依影像之特性而自動選擇適當之方法。優劣點已有另外學術論文進行探討與分析。 遵照委員意見修正，較適宜之章目名稱。 拍攝日期因受天候影響，及多次 UAV 飛行測試失敗之原因，導致拍攝日期延後，第五章為充分呈現部分將於期末報告中補充說明。	符合規範要求。 已依照委員意見辦理。 符合規範要求。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
四、 4.3 節 C_{x_p, x_y} 與 f_{x_0, y_0} 符號前後不一致。PI-3000 軟體與 iWitness pro v2 軟體不一致(K3)。 五、 錯別字處可見，應在中稿中修正。 六、 未見附件一。 七、 參考文獻請依規定格式撰寫。	相機率定軟體所使用內方位參數代號並非完全相同 C_{x_p, x_y} 與 $f_{x_0, y_{0z}}$ 分別指的是焦距即像主點偏移，將於期末報告中備註詳細說明。另外軟體所使用的鏡頭畸變差(distortion coefficients)參數並非完全相同，可按照所需進行率定參數之增減。 遵照委員意見修正。 遵照委員意見於期末報告中補充。 遵照委員意見於期末報告中補充。 遵照委員意見修正。	符合規範要求。 已依照委員意見辦理。 已依照委員意見辦理。
國立臺灣大學 蔡進發 教授： 一、 文章請依研究內容重新整理，以利閱讀及了解。	遵照委員意見修正與補充說明。	已依照委員意見辦理。

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
二、 第 121 頁 TPS 用 Bending Energy 進行除錯，但在第四章中並未提及。	遵照委員意見於期末報告中補充。	已依照委員意見辦理。
三、 請補上輔英 UAV 的規格。	遵照委員意見於期末報告中補充。	已依照委員意見辦理。
四、 UAV 的高度、速度及姿勢對拍攝、影像的處理的影響及解決的方式請概述。	UAV 飛行高度影響對地觀測之地面解析度 GSD(Ground Sample Distance)大小有關，主要影響量測精度問題，而飛行速度主要影響航片間的覆蓋率，覆蓋率不足將影響航片銜接量測之精度問題。因此航拍專案規畫時必須將欲製作之地面解析度加入規劃已決定飛行高度，並以覆蓋率來決定飛行速度。	符合規範要求
運研所港研中心 何良勝科長：		
一、 報告格式，請依本所規定辦理。	遵照委員意見修正。	已依照委員意見辦理。
二、 補充說明或增列部分。		

參與審查人員及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
1、摘要、結論部分補充說明。 2、增列期中報告審查意見表。 3、建議修正 chap2、chap4 之章名。	遵照委員意見補充說明。	已依照委員意見辦理。
三、 補強前三年之研究成果彙整。	遵照委員意見補充說明及彙整。	

附錄三 期中簡報資料



海岸帶及近海衛星遙測技術之整合應用研究(4/4)

期中報告 簡報



計畫主持人：李良輝
國立高雄應用科技大學

中華民國101年7月11日

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



內容大綱

- 計畫緣起
- 工作項目
- 工作內容與方法
- UAV影像關鍵技術
- 進度與結論



國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室





一、計畫緣起

- 臺灣四面環海，海岸線狹長遼闊，人力海岸調查困難，無法即時掌握大範圍之動態變化。
- 藉由多來源遙測影像資料，結合網路及資訊技術，對海岸帶及近海區域資源調查、海岸管理、環境監測與自然災害之減救災等提供實質之應用。
- 近年來由於對地觀測之遙測技術快速發展，攝像解析度大幅提高，而且型式多元，有多光譜及雷達衛星影像、數位航拍影像，及空載雷射(LiDAR)等。目前獨缺UAV影像。
- 近景攝影量測技術發展快速，成本低，機動性高，精度可達量測精度之要求，配合逐漸發展成熟之UAV作為載具，經濟效益極高。

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



二、工作項目

本計畫以四年時程，分階段完成相關工作項目，前三年已完成及第四年預期完成的研究主題為：

- 第一年：近岸及海岸帶遙測圖像資料之獲取、系統建置與資料局部更新。
- 第二年：近岸及海岸帶遙測圖像製圖及海岸線特徵調查。
- 第三年：整合遙測 (PS雷達干涉術) 技術之海岸帶地層下陷調查。
- 第四年：無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)系統的開發與應用。

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室





第四年：主題與工作項目

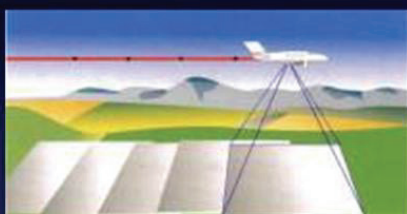
主題 — 無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)系統的開發與應用。

- 地面與低空UAV近景攝影與量測技術開發與建置。
- UAV空中近景技術於河床高度資料之獲取與精度分析。
- 無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV) 應用於即時海岸帶攝影實務及影像處理系統開發，包括：
 - ◆ UAV定位與導航方法規劃與設計。
 - ◆ 影像資料即時傳輸。
 - ◆ 影像資料幾何(Geometric)校正、輻射(Radiometric)處理及快速拼接(Stitching)。
 - ◆ 圖像鑲嵌(Mosaic)
- 多源影像融合(Fusion)處理。

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



航空攝影



航空攝影已於100年
07月28及08月04日完成
全區攝影，共計拍攝713
張影像。

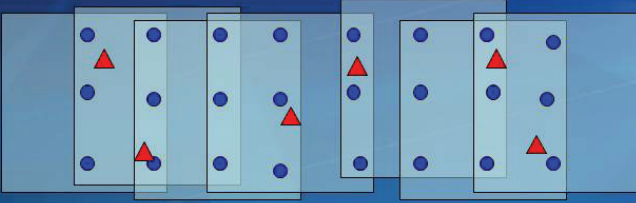
UltraCam-Xp
拍攝影像



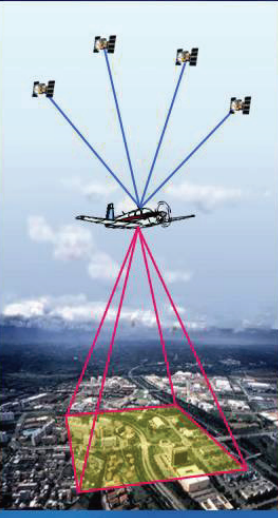
空中三角測量

 執行要點

- 連接點均勻分佈9個標準點位置
- 連接點以地面自然點為選定原則
- 採用光束法計算
- 自由網中誤差不超過 $10\mu\text{m}$
- 強制附合後中誤差增量不超過自由網中誤差30%



● 標準點位置 ▲ 控制點

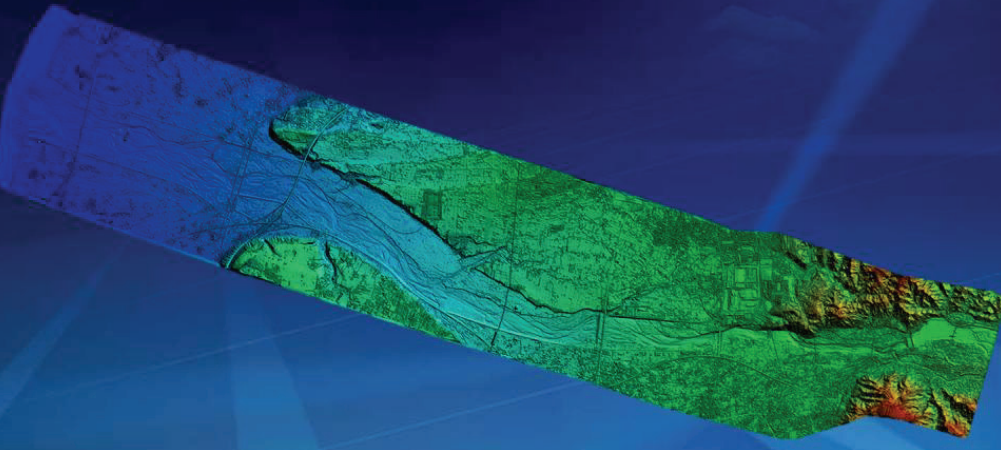


ISAT 自動
空中三角程式

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

空載雷射掃瞄 (Airborne LiDAR) 成果

大甲溪空載雷射掃瞄DSM全圖



國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



三、研究方法與進行步驟

(1) UAV低空攝影系統規劃



定翼機



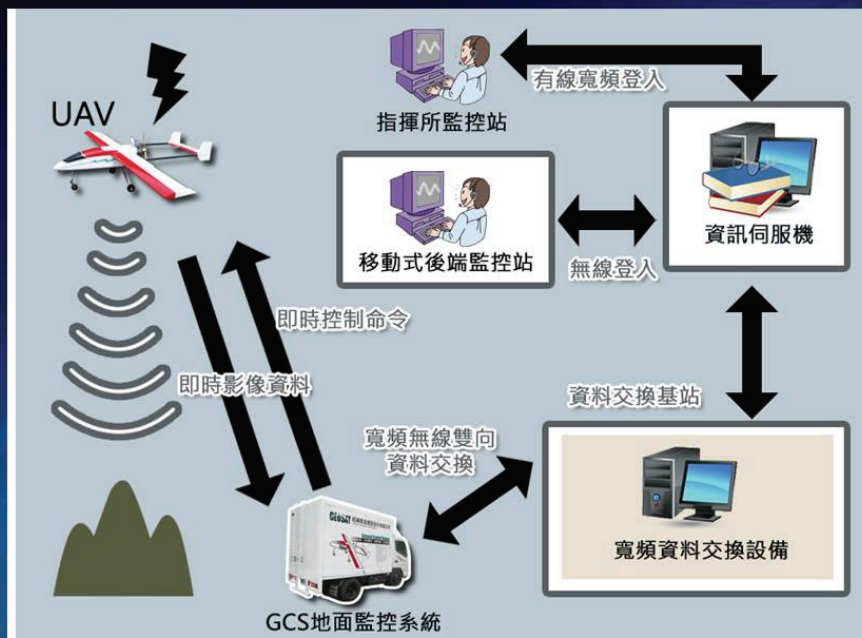
六軸旋翼機



直升機



UAV系統整體架構





MikroKopter-Tool 自組導航介面

1. 感測器系統
2. 遙測空中控制系統
3. UAV飛行平臺和地面控制系統
4. 資料壓縮和解壓縮系統
5. 資料後處理系統



國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室





(2) 相機率定

鏡頭畸變差(Lens Distortion)

Camera Calibration

A diagram showing a grid of points with red lines indicating lens distortion. The lines are curved, showing how a straight line in the real world would appear distorted in a camera image.

A large blue arrow pointing from the lens distortion diagram to the camera diagram.

A diagram of a camera lens with labels for focal length (焦距) and lens center (鏡頭中心). A red dashed line points from the lens center to the focal point, and a green arrow points to the lens center.

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室





(2)相機率定

相機率定的方法

鏡頭畸變差 (Lens Distortion)



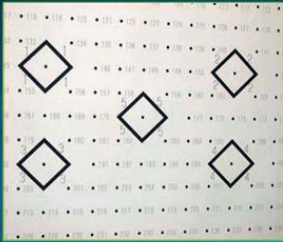
率定立體標



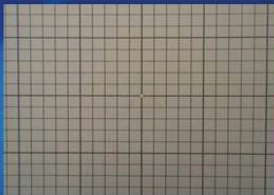
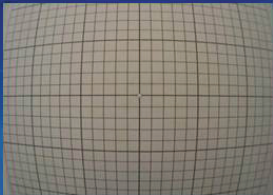
率定前



率定後



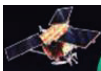
率定平面標



國立高雄應用科技大學 土木工程 空間資訊研究室

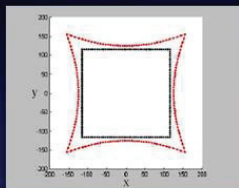






透鏡畸變

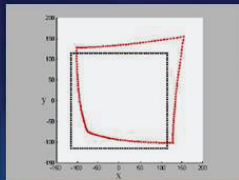
鏡頭畸變差 (Lens Distortion)



輻射畸變(Radial Lens Distortion, RLD)

$$\Delta x_{RLD} = K_1(r^2 - 1)x + K_2(r^4 - 1)x + K_3(r^6 - 1)x + \dots$$

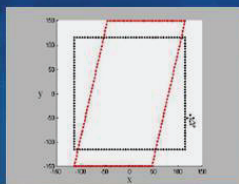
$$\Delta y_{RLD} = K_1(r^2 - 1)y + K_2(r^4 - 1)y + K_3(r^6 - 1)y + \dots$$



離心畸變(De-centric Lens Distortion, DLD)

$$\Delta x_{DLD} = P_1(r^2 + 2x^2) + 2P_2xy$$

$$\Delta y_{DLD} = P_2(r^2 + 2y^2) + 2P_1xy$$



仿射畸變(Affinity Deformation, AD)

$$\Delta x_{AD} = -B_1x + B_2y$$

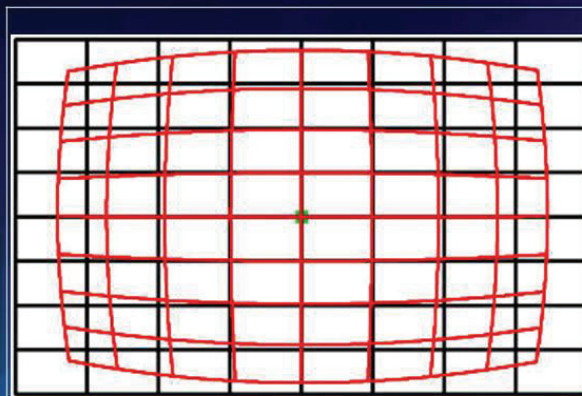
$$\Delta y_{AD} = B_1x$$

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



相機率定成果

Panasonic Lumix LX2



Max of Before Correction : 71.123 Pixel

內方位參數

f (mm) 6.163694

x_0 (mm) 3.458365

y_0 (mm) 2.143671

輻射畸變差

K_1 3.654513e-003

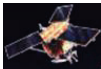
K_2 -5.564247e-005

離心畸變差

P_1 -1.054308e-004

P_2 -9.677860e-005





各類型相機率定成果

相機型號	鏡頭型式	名義焦距 (mm)	率定焦距 (mm)	最大改正 誤差(Pixel)
Nikon D40X	Nikon AF-S Nikkor	18-55	17.8491	92.935
	Nikon AF Nikkor	20	19.8384	67.634
	Nikon AF Nikkor	50	49.9445	19.015
Sony A100	Sony SAL	18-70	17.9296	95.962
	Sony SAL	75-300	74.5520	5.506
Panasonic LX2	Leica	5.8-17.4	6.1637	71.123
Leica D-LUX3	Leica	5.8-17.4	6.1630	68.265

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



魚眼鏡頭(Fisheye Lens)

- 魚眼鏡頭分為兩種：一種焦距位於10mm-16mm，稱為對角魚眼(Full Frame Fisheye)，成像為矩形（如下右圖），視角大約為 $150^{\circ} \times 100^{\circ}$ 。
- 另一種是8mm以下，稱為全周魚眼(Circular Image Fisheye)，成像為圓形（如下左圖），視角近似於 $180^{\circ} \times 180^{\circ}$ ；為全方位視覺影像。



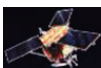
Circular Fisheye Image



Full Frame Fisheye

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室





魚眼鏡頭(Fisheye Lens)

本研究測試使用之魚眼鏡頭為SIGMA 8mm F3.5 EX DC CircularFisheye HSM（如下左圖），以及Nikon D3全片幅單眼數位相機（如下右圖），拍攝影像（如下頁）。

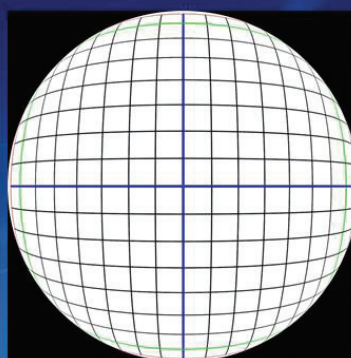
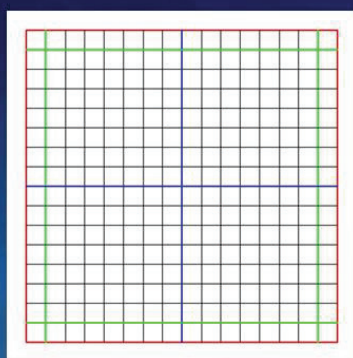


國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



魚眼鏡頭的畸變模型

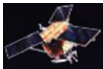
下左圖為原始影像，下右圖為魚眼鏡頭影像。魚眼影像具有很大的桶形畸變，也就是切線畸變，還有部分離心畸變。



國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

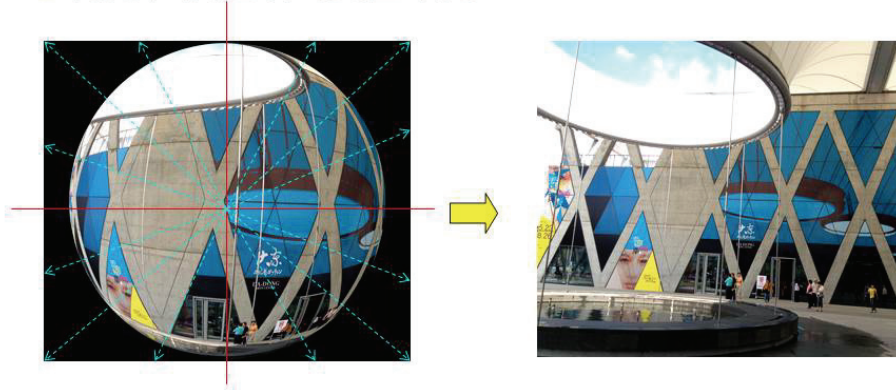




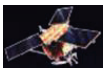


影像畸變校正

- 球面投影轉換成透視投影
- 內方位及透鏡畸變差率定

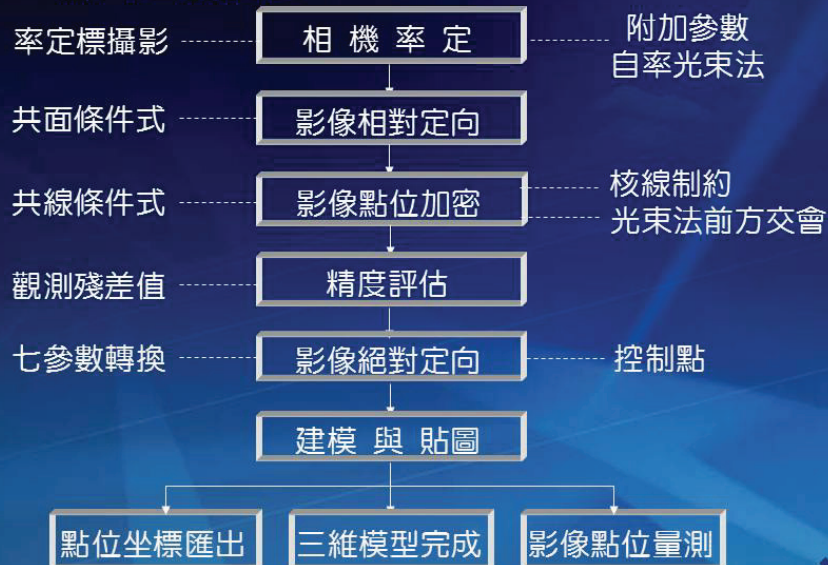


國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



(4) 模型坐標量測與物間坐標推定

近景攝影作業模式



國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



相機模式

地面攝影之附加參數光束法平差

從許多角度拍攝

在影像量測連繫點(Pass Point)

相機於任意位置與角度攝影

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

相機模式

航空攝影之附加參數光束法平差

拍攝距離： H ； 基線長： B ； B/H 比例不固定

基線： B

攝影距離： H

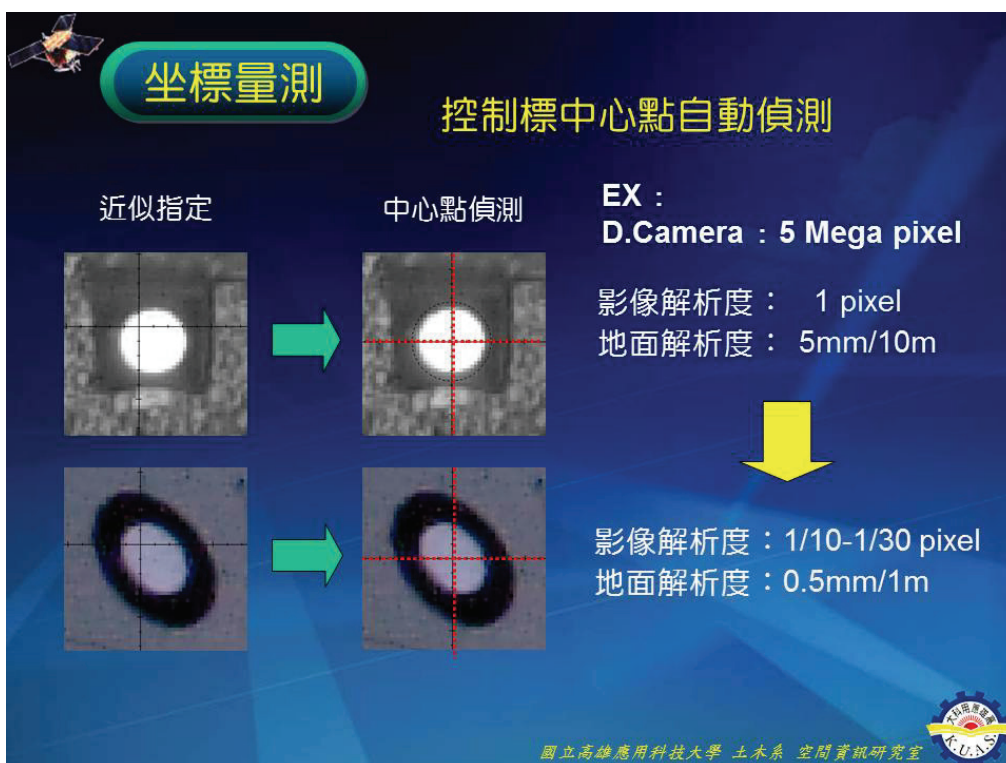
降低每個立體對影像
匹配精度的波動

從可能的多重
影像建立3D模型

減少需要的地面控制點數！

- 沒有地面控制點：使用參考尺度
- 最少地面控制點：4 點

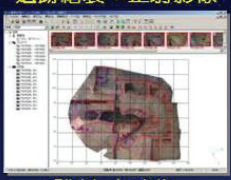
國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



應用

古蹟維護

遺跡繪製 + 正射影像



雕刻 / 建物



遺跡量測



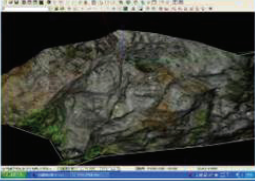
地形測量

等高線 + 正射影像

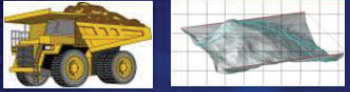


災害調查

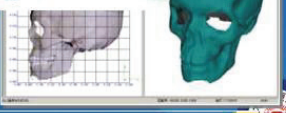
災害製圖 + 正射影像



體積測量



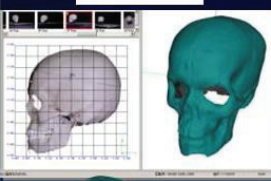
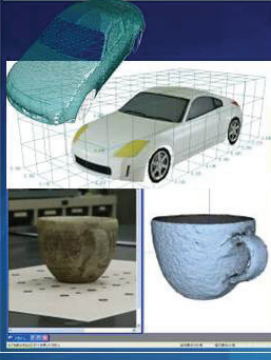

工業量測

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

應用

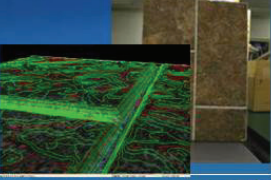
3D 建模

尺寸量測

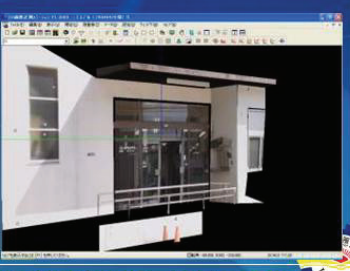
等高線, 剖面圖



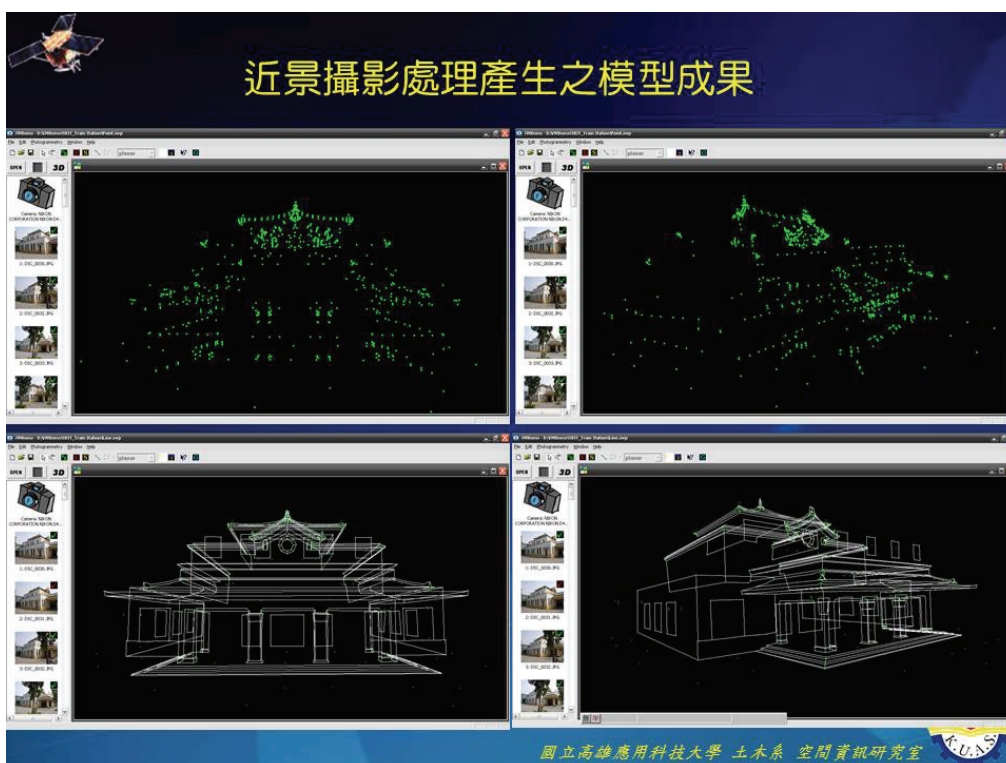


景觀模擬

建立精確尺寸模擬模型

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室





近景攝影與地面雷射精度之比較

檢核點精度

近景攝影測量 (短攝影距離組)	RMS X (m)	RMS Y (m)	RMS Z (m)	Total RMS (m)
	0.008	0.008	0.008	0.008
近景攝影測量 (長攝影距離組)	RMS X (m)	RMS Y (m)	RMS Z (m)	Total RMS (m)
	0.009	0.008	0.008	0.008
地面雷射掃瞄	RMS X (m)	RMS Y (m)	RMS Z (m)	Total RMS (m)
	0.011	0.008	0.014	0.011

平面精度：近景攝影測量 > 地面雷射掃瞄

高程精度：地面雷射掃瞄 > 近景攝影測量

整體精度：近景攝影測量 > 地面雷射掃瞄

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



UAV影像的問題

1. 影像幾何不穩定(尺度與旋轉)
2. 影像輻射易受天候影響(霧、霾及陰影)
3. 造成影像匹配處理困難
4. 必須發展新的處理方法



國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



新的特徵點提取方法－SIFT演算法

SIFT(Scale Invariant Feature Transformation)演算法

- 尺度空間極值求取
- 特徵點位置確定

特徵提取

- 特徵點方向確定
- 特徵點描述

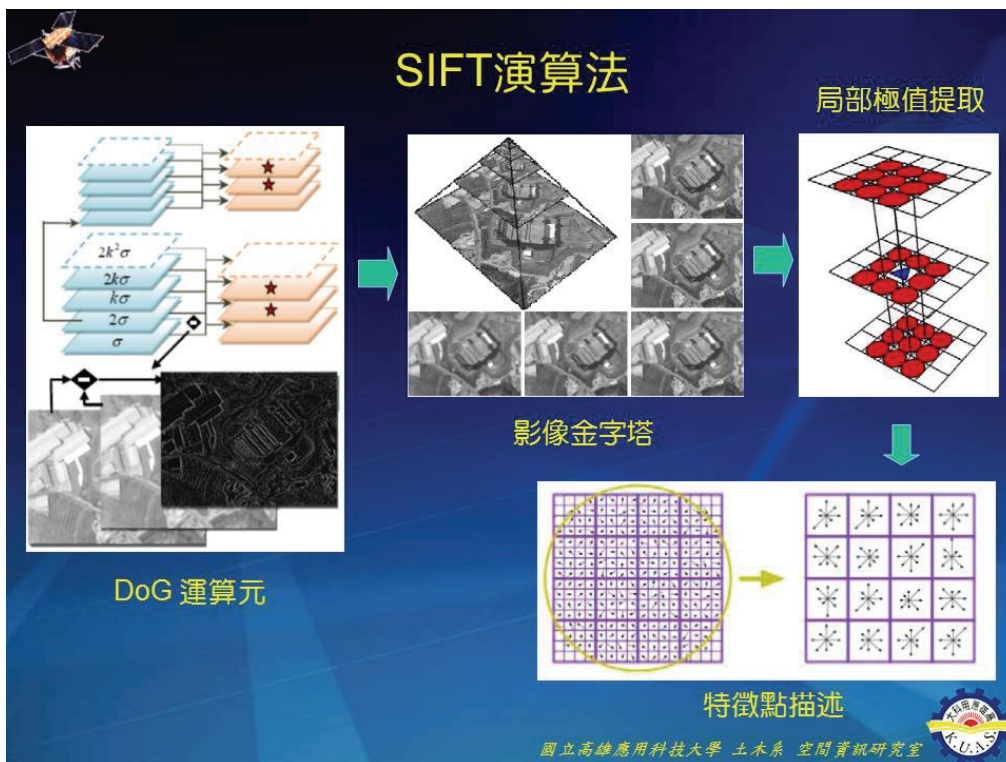
特徵描述

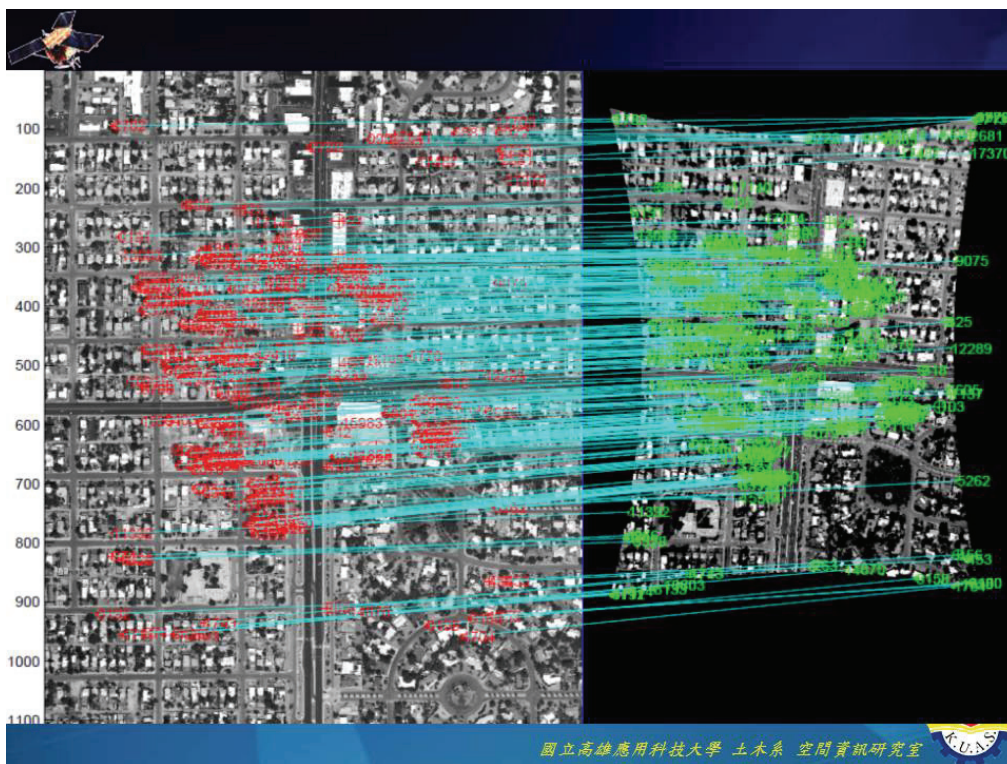
- 特徵匹配
- 除錯機制

特徵匹配

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



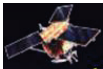




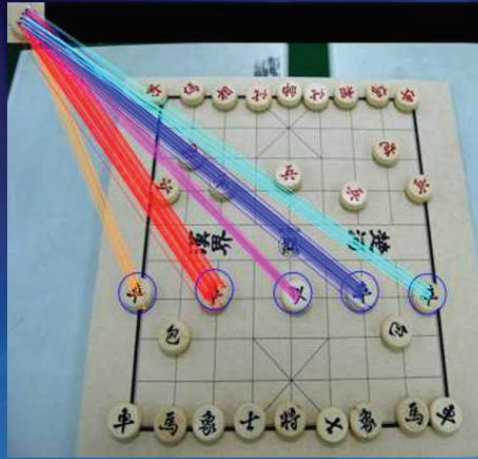
影像檢索及快速定位

一般特徵物不同位置檢索成功

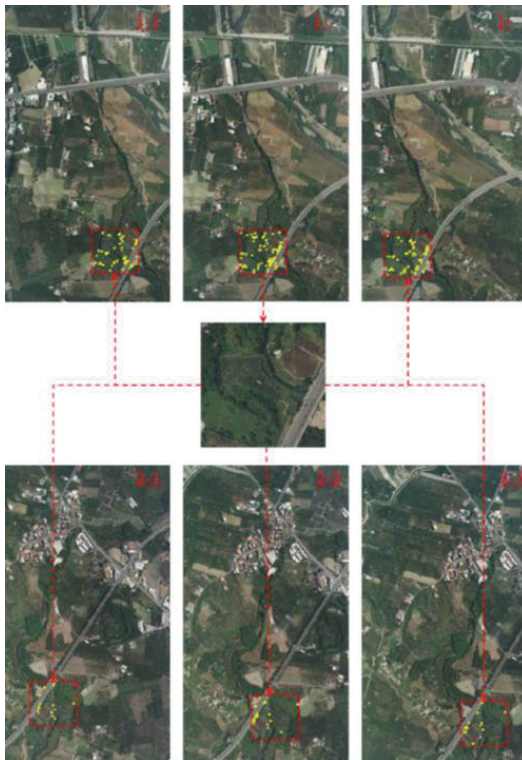
國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



多目標檢索之應用



國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



特徵點選取



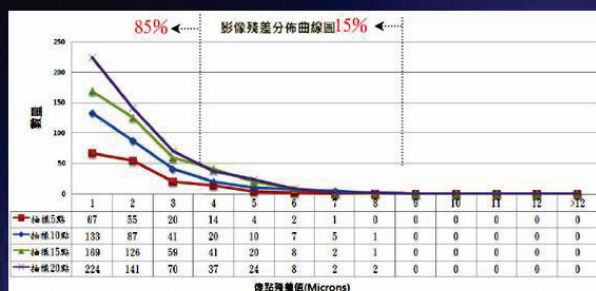
影像匹配



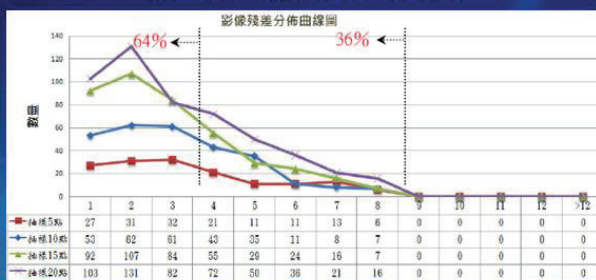
國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



點位精度分析



區域匹配之像點殘差值



SIFT 匹配之像點殘差值

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



(3) 遙測影像(UAV影像)之前級處理

輻射性處理 (Radiometric Processing)

針對影像灰度值進行相關之運算，如影像強化(Image Enhancement)、影像融合(Image Fusion)、除霾(Dehazed)、色彩平衡(Color Balance)、淡化陰影，以提升影像之色彩品質。

幾何性處理 (Geometric Processing)

1. 利用地控點(GCPs)及相關演算法修正因攝像時諸多因素對影像所造成之幾何變形，以確保影像幾何之正確性。糾正後影像應達 ± 2 個像元(Pixel)之幾何精度。
2. 影像鑲嵌(Image Mosaic)。

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室





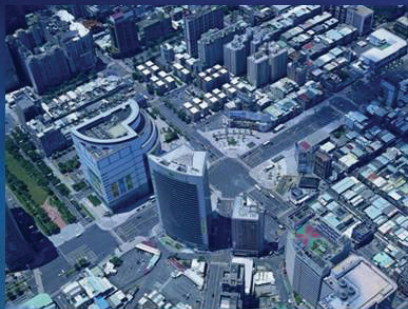
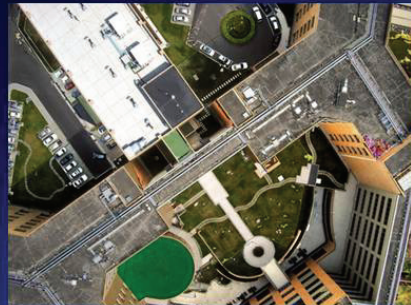
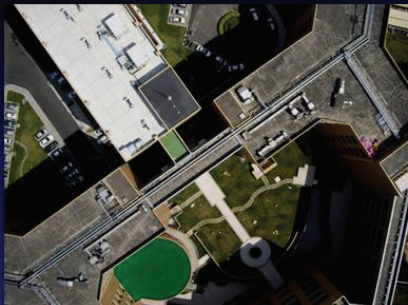
影像除霧處理



國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

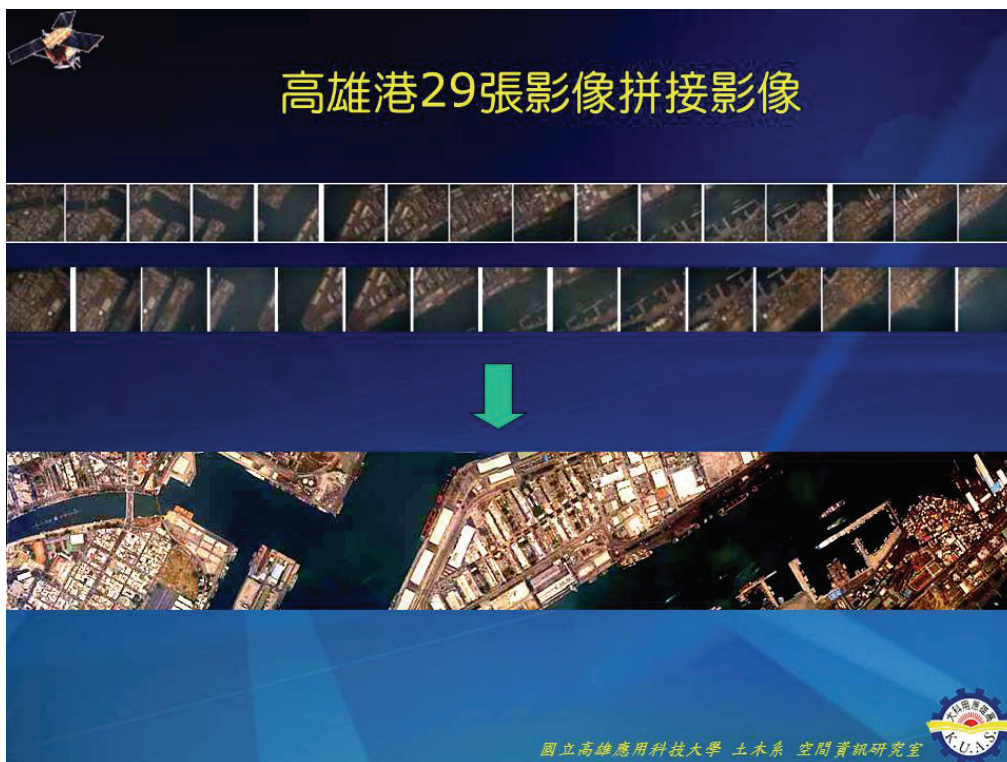


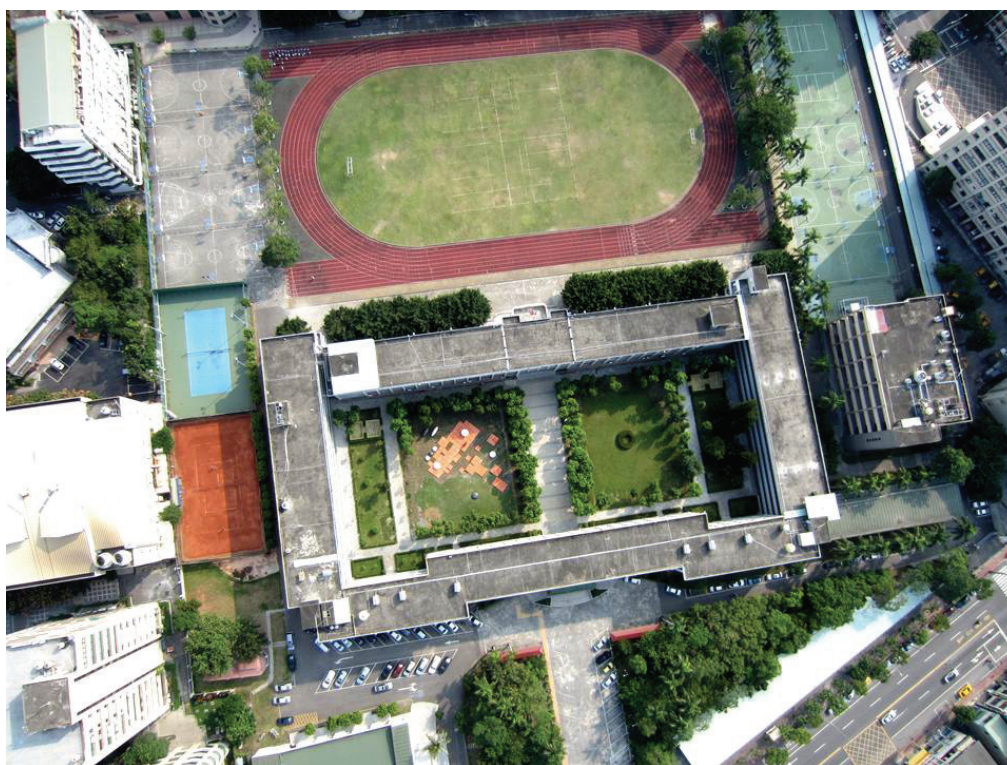
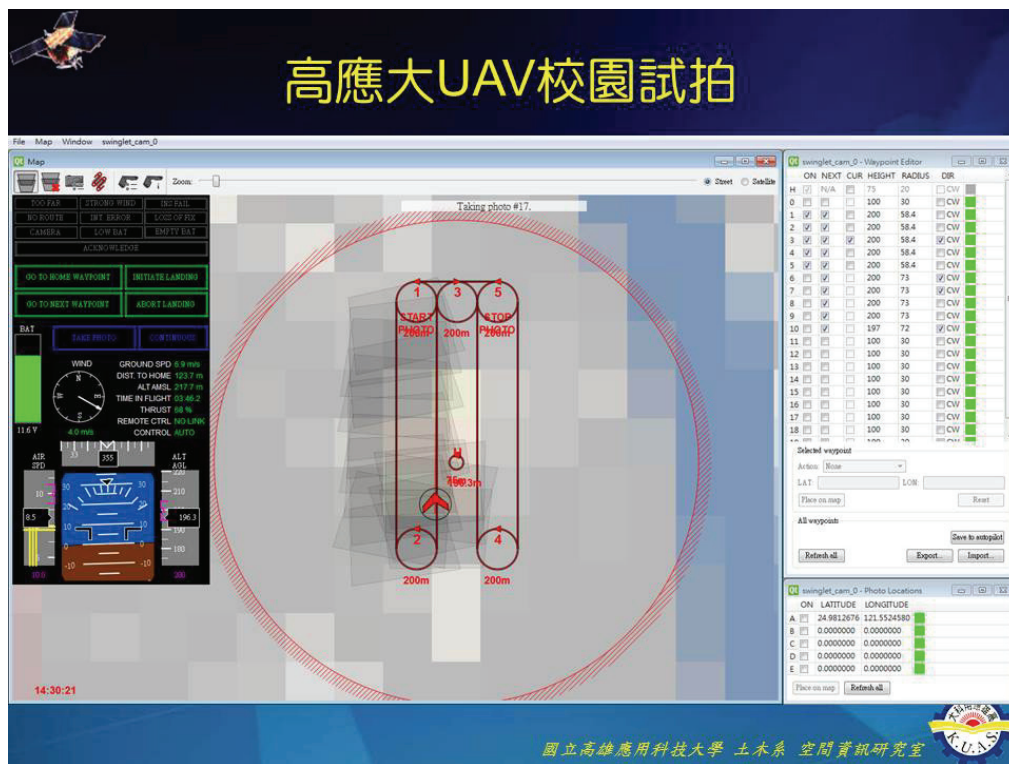
影像除陰影與白平衡處理

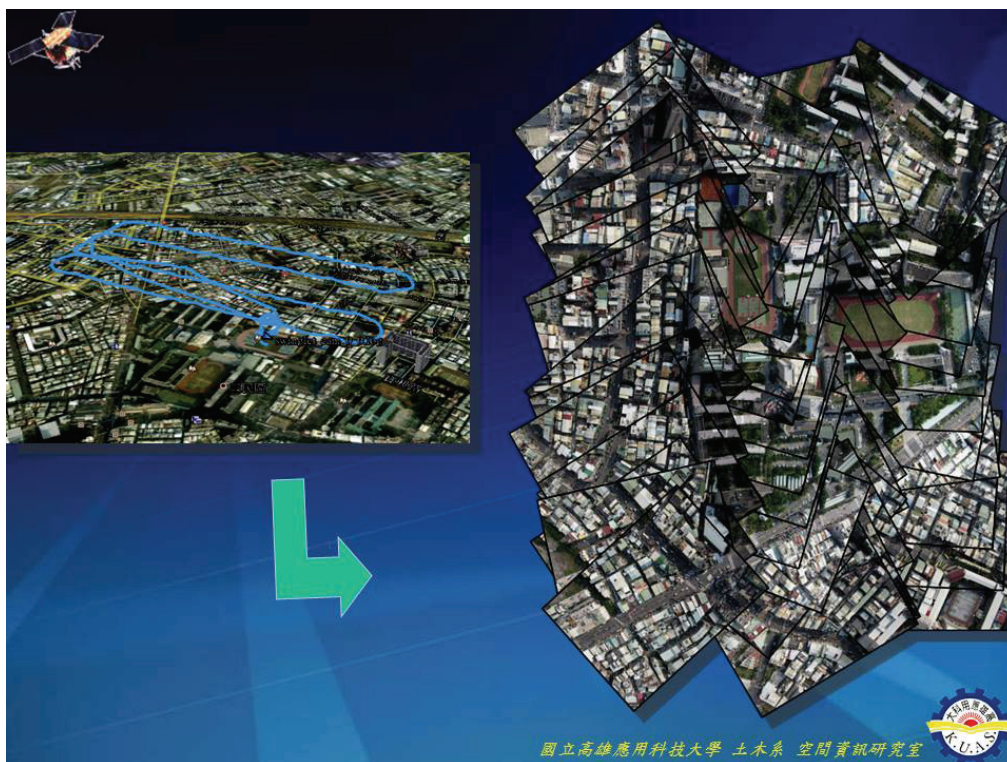


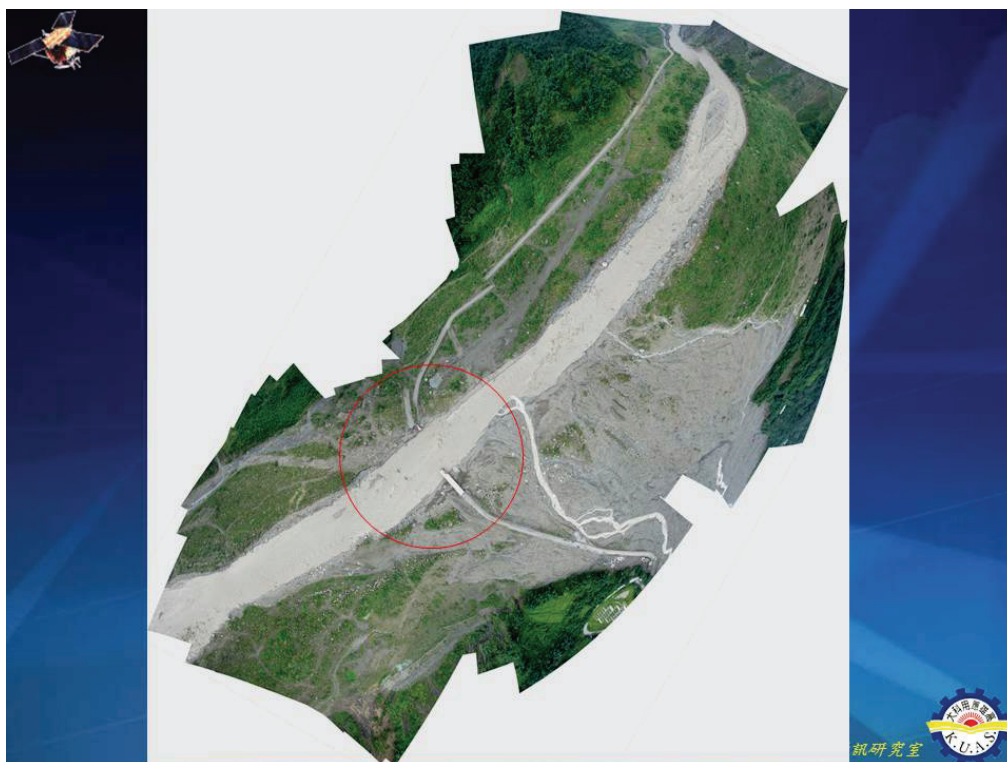
國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



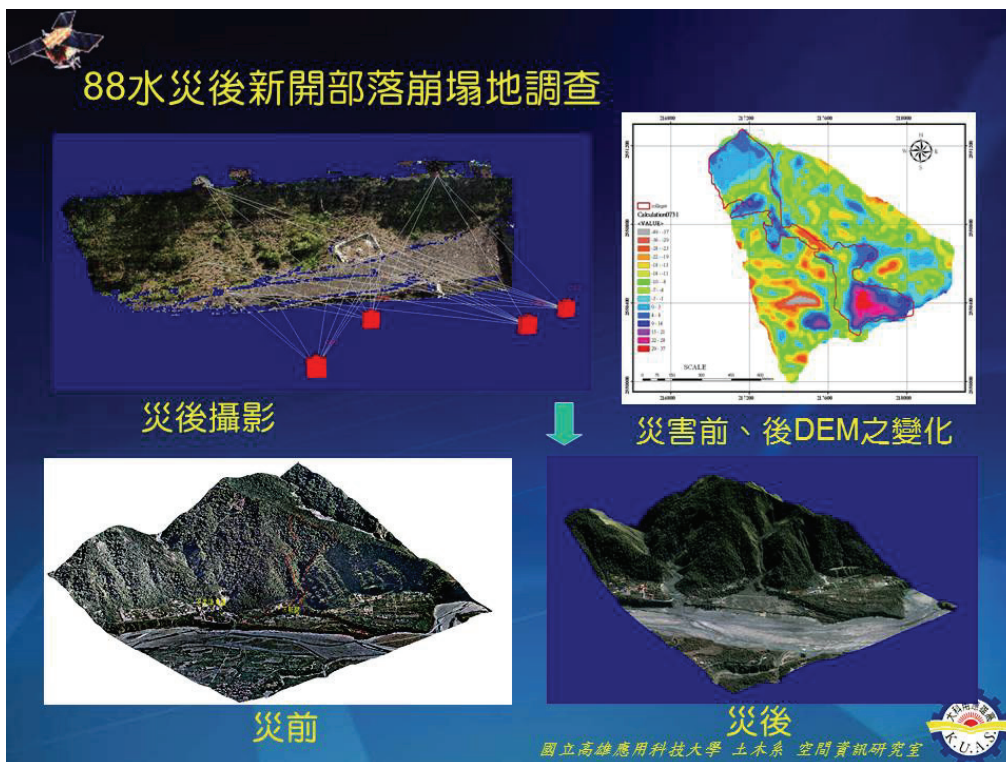












目前進度與成果

1. 六軸懸翼機之組裝與測試
2. 近景攝影系統之設計與組裝(含180° 魚眼鏡頭)
3. 攝影相機之率定(Camera Calibration)
4. 前級處理(Pre-Processing)程式之設計與測試
5. 主要處理程式(三維重建、拼接)之設計與測試

執行進度合預定進度。

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



五、結論

整合『航、遙測影像製圖』、『海洋測量』及『網路地理資訊系統(Web-GIS)』技術，提供本研究案之理論基礎。

效益及其應用：

- 近景攝影使用一般消費型相機，精度可達量測精度之要求(由mm至cm級)。
- 無人飛行載具(UAV)配合自動導航的使用，可有效應用於即時快速資料之獲取，機動性高且成本低。
- 針對UAV影像之缺點開發新的資料處理方法。



國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

附錄四 期末簡報資料



海岸帶及近海衛星遙測技術之整合應用研究(4/4)

期末報告 簡報



計畫主持人：李良輝
國立高雄應用科技大學

中華民國101年11月14日

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



內容大綱

- 計畫緣起
- 工作項目
- 工作內容與方法
- UAV影像關鍵技術
- 實驗例與分析
- 結論與展望



國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室





一、計畫緣起

- 臺灣四面環海，海岸線狹長遼闊，人力海岸調查困難，無法即時掌握大範圍之動態變化。
- 藉由多來源遙測影像資料，結合網路及資訊技術，對海岸帶及近海區域資源調查、海岸管理、環境監測與自然災害之減救災等提供實質之應用。
- 近年來由於對地觀測之遙測技術快速發展，攝像解析度大幅提高，而且型式多元，有多光譜及雷達衛星影像、數位航拍影像，及空載雷射(LiDAR)等。目前獨缺UAV影像。
- 近景攝影量測技術發展快速，成本低，機動性高，精度可達量測精度之要求，配合逐漸發展成熟之UAV作為載具，經濟效益極高。

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



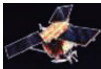
二、工作項目

本計畫以四年時程，分階段完成相關工作項目，前三年已完成及第四年預期完成的研究主題為：

- 第一年：近岸及海岸帶遙測圖像資料之獲取、系統建置與資料局部更新。
- 第二年：近岸及海岸帶遙測圖像製圖及海岸線特徵調查。
- 第三年：整合遙測 (PS雷達干涉術) 技術之海岸帶地層下陷調查。
- 第四年：無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)系統的開發與應用。

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室





第四年：主題與工作項目

主題 — 無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)系統的開發與應用。

- 地面與低空UAV近景攝影與量測技術開發與建置。
- UAV空中近景技術於河床高度資料之獲取與精度分析。
- 無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV) 應用於即時海岸帶攝影實務及影像處理系統開發，包括：
 - ◆ UAV定位與導航方法規劃與設計。
 - ◆ 影像資料即時傳輸。
 - ◆ 影像資料幾何(Geometric)校正、輻射(Radiometric)處理及快速拼接(Stitching)。
 - ◆ 圖像鑲嵌(Mosaic)
- 多源影像融合(Fusion)處理。

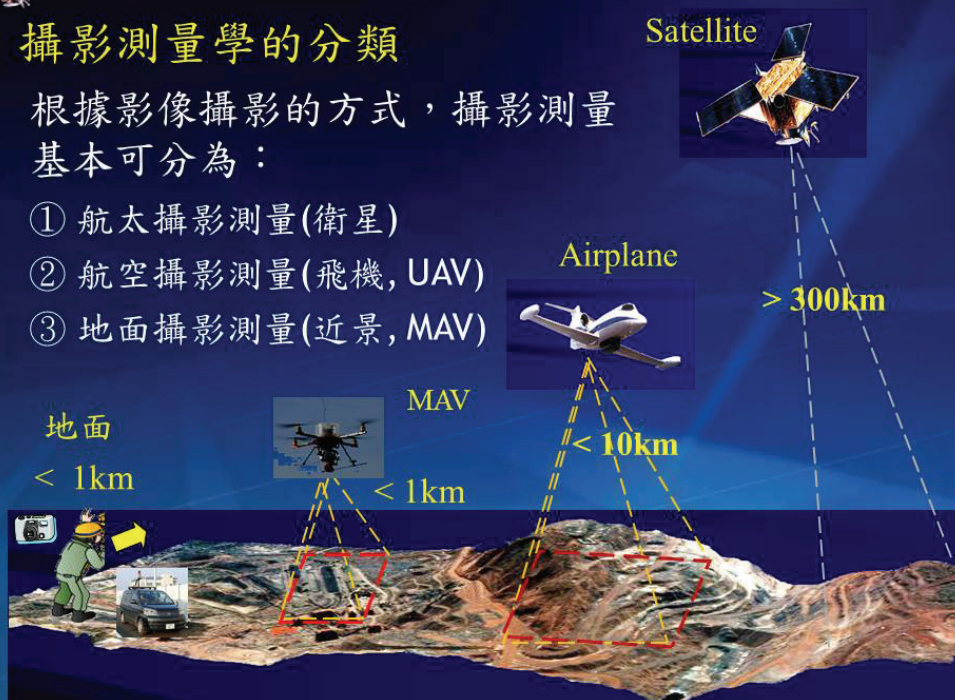
國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

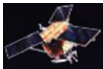


攝影測量學的分類

根據影像攝影的方式，攝影測量基本可分為：

- ① 航太攝影測量(衛星)
- ② 航空攝影測量(飛機, UAV)
- ③ 地面攝影測量(近景, MAV)





航/遙測技術攝像之機理

1. 攝影成像之物理機制 (Spectrum)

電磁光譜：可見光與不可見光

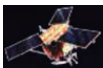
2. 載台 (Platform)

衛星、定翼機、無人飛行載具 (UAV：定翼機、懸翼機)、近景(腳架、手持或移動車)

3. 感測器 (Sensor)

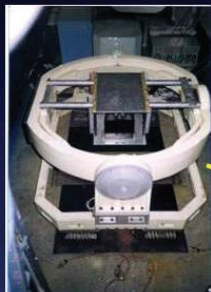
- * 主動式(Active)與被動式(Passive)
- * 框幅式(Frame)與線陣列式(Linear Array)
- * 雷射掃描(Laser Scanning)

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



機載航空攝影系統

OMIS imaging Spectrometer



Imaging Spectrometer



CCD Camera



CCD

RC30 Camera



國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室





Airborne Data Collection Systems



DMC



ADS80



Ultra-CAM

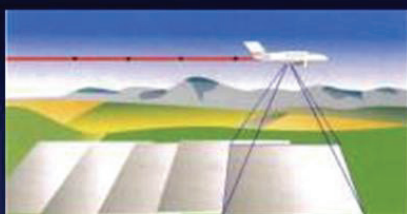


ALS60

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



航空攝影



大甲溪航空攝影於100年07月28及08月04日完成全區攝影，共計拍攝713張影像。

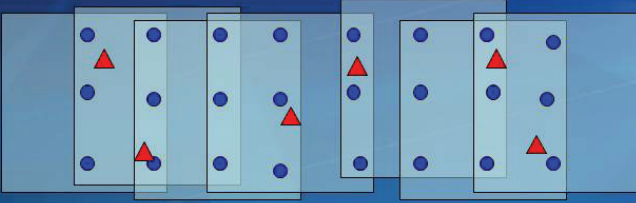
UltraCam-Xp
拍攝影像



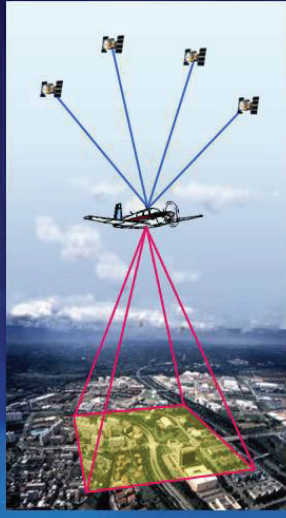
空中三角測量

 執行要點

- 連接點均勻分佈9個標準點位置
- 連接點以地面自然點為選定原則
- 採用光束法計算
- 自由網中誤差不超過 $10\mu\text{m}$
- 強制附合後中誤差增量不超過自由網中誤差30%



● 標準點位置 ▲ 控制點

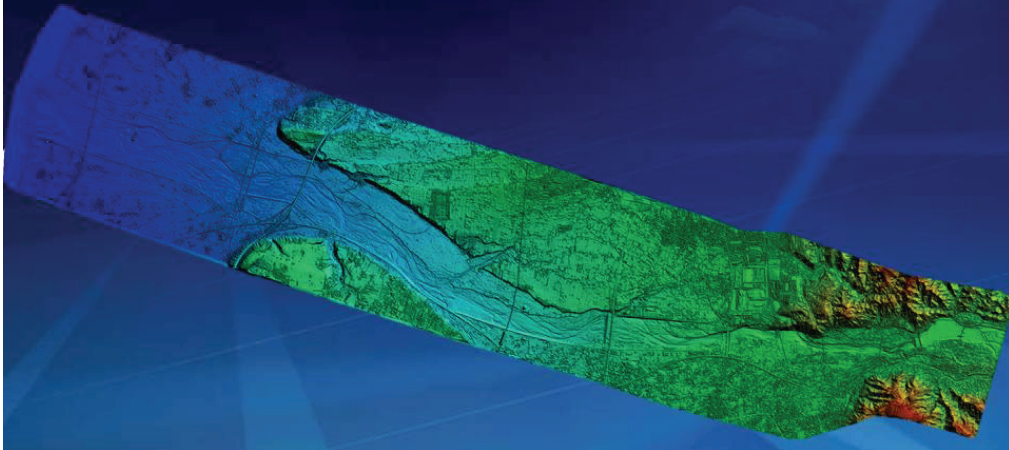


ISAT 自動
空中三角程式

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

空載雷射掃瞄 (Airborne LiDAR) 成果

大甲溪空載雷射掃瞄DSM全圖



國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



三、研究方法與進行步驟

(1) UAV低空攝影系統規劃



定翼機



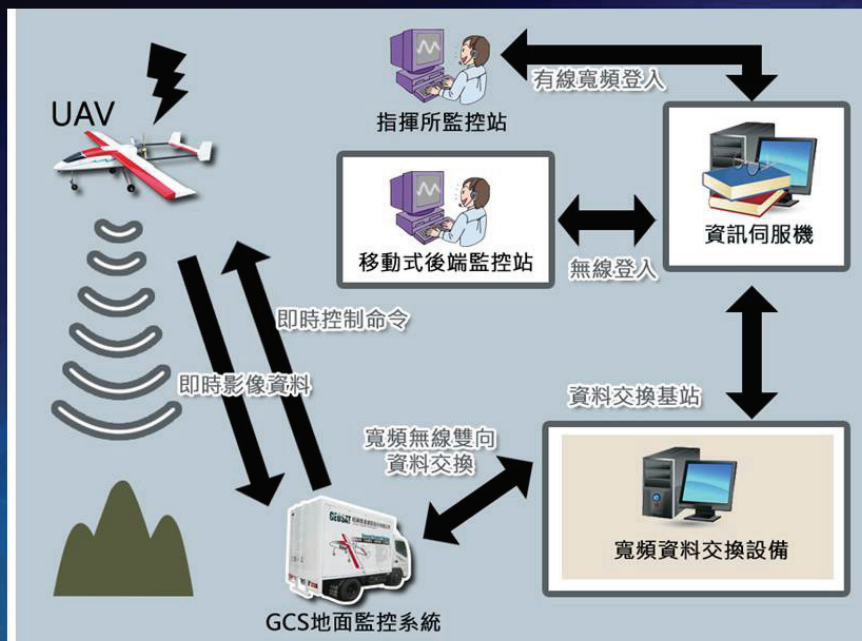
六軸旋翼機



直升機



UAV系統整體架構



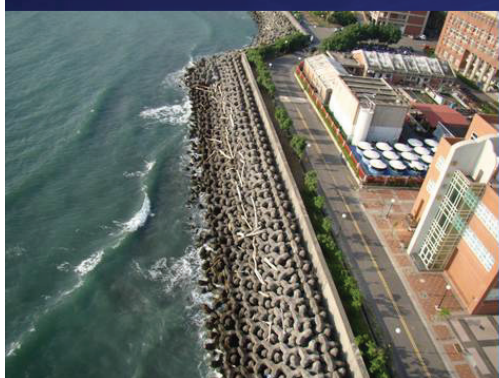


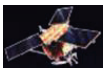
MikroKopter-Tool 自組導航介面

1. 感測器系統
2. 遙測空中控制系統
3. UAV飛行平臺和地面控制系統
4. 資料壓縮和解壓縮系統
5. 資料後處理系統



國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

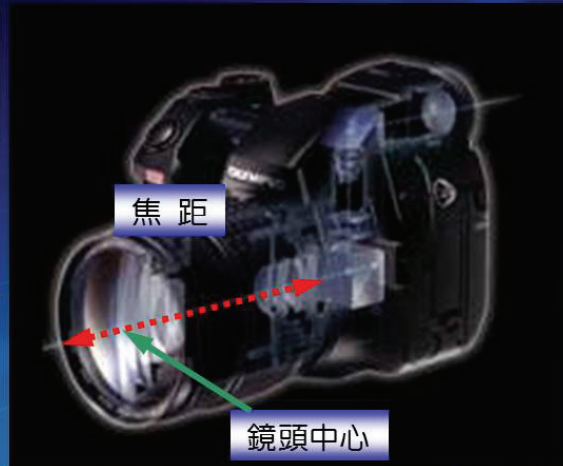
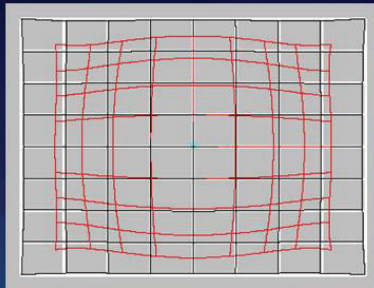




(2) 相機率定

鏡頭畸變差(Lens Distortion)

Camera Calibration



國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



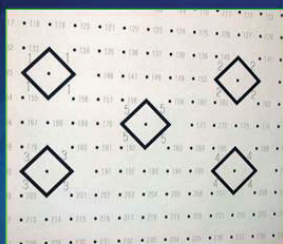
(2)相機率定

相機率定的方法

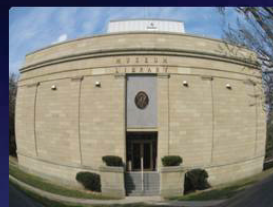
鏡頭畸變差 (Lens Distortion)



率定立體標



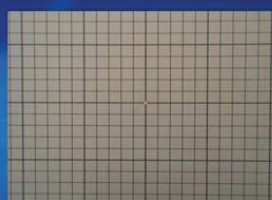
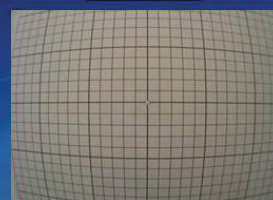
率定平面標



率定前



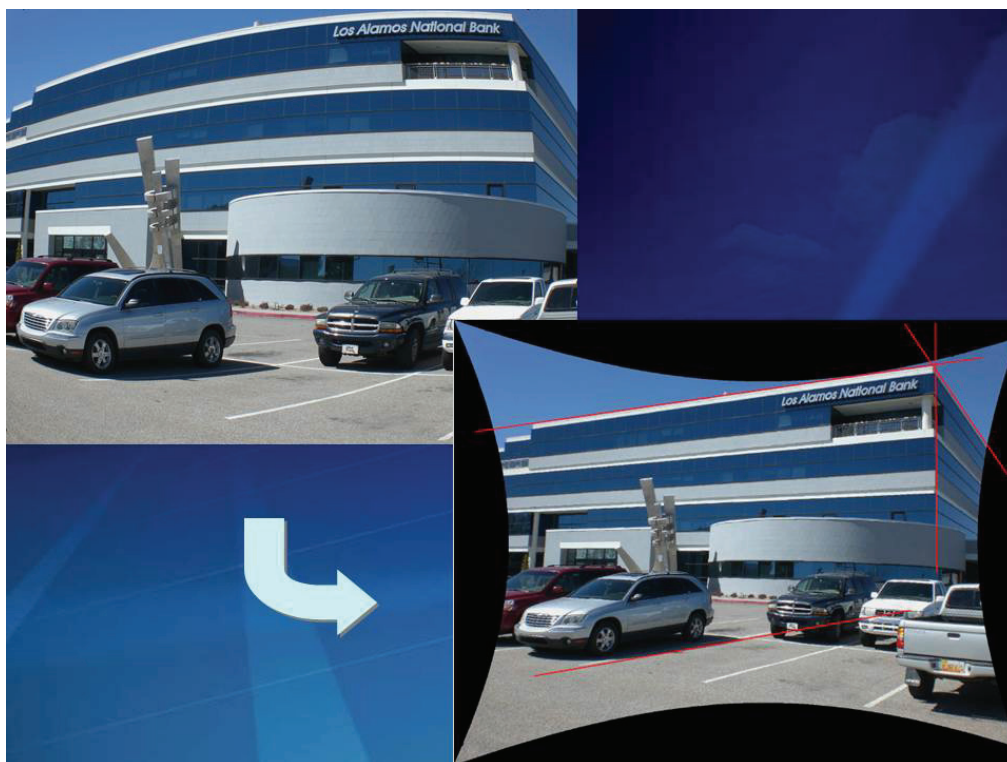
率定後



國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



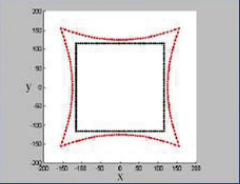
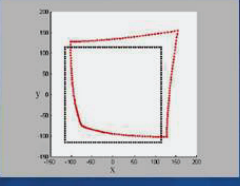
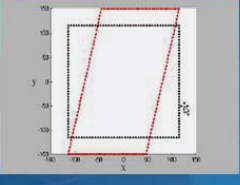






透鏡畸變

鏡頭畸變差 (Lens Distortion)

輻射畸變(Radial Lens Distortion, RLD)

$$\Delta x_{RLD} = K_1(r^2 - 1)x + K_2(r^4 - 1)x + K_3(r^6 - 1)x + \dots$$

$$\Delta y_{RLD} = K_1(r^2 - 1)y + K_2(r^4 - 1)y + K_3(r^6 - 1)y + \dots$$

離心畸變(De-centric Lens Distortion, DLD)

$$\Delta x_{DLD} = P_1(r^2 + 2x^2) + 2P_2xy$$

$$\Delta y_{DLD} = P_2(r^2 + 2y^2) + 2P_1xy$$

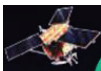
仿射畸變(Affinity Deformation, AD)

$$\Delta x_{AD} = -B_1x + B_2y$$

$$\Delta y_{AD} = B_1y$$

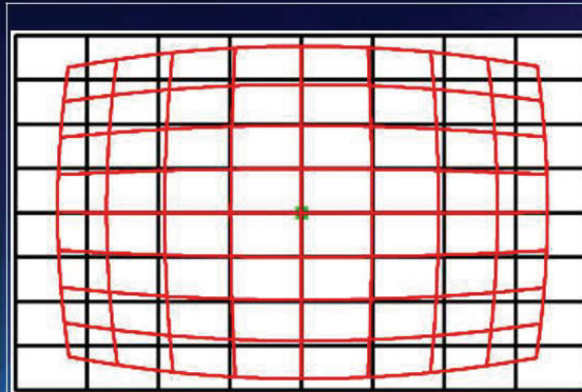


國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



相機率定成果

Panasonic Lumix LX2



Max of Before Correction : 71.123 Pixel

內方位參數

f (mm) 6.163694

x_0 (mm) 3.458365

y_0 (mm) 2.143671

輻射畸變差

K_1 3.654513e-003

K_2 -5.564247e-005

離心畸變差

P_1 -1.054308e-004

P_2 -9.677860e-005

9

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



各類型相機率定成果

相機型號	鏡頭型式	名義焦距 (mm)	率定焦距 (mm)	最大改正 誤差(Pixel)
Nikon D40X	Nikon AF-S Nikkor	18-55	17.8491	92.935
	Nikon AF Nikkor	20	19.8384	67.634
	Nikon AF Nikkor	50	49.9445	19.015
Sony A100	Sony SAL	18-70	17.9296	95.962
	Sony SAL	75-300	74.5520	5.506
Panasonic LX2	Leica	5.8-17.4	6.1637	71.123
Leica D-LUX3	Leica	5.8-17.4	6.1630	68.265

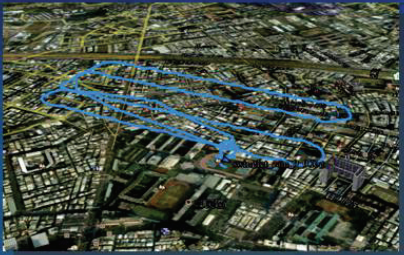
國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



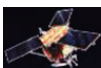


UAV影像的關鍵問題

1. 影像幾何不穩定(尺度與旋轉)
2. 影像輻射易受天候影響(霧、霾及陰影)
3. 造成影像匹配處理困難
4. 必須發展新的處理方法


➔


國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



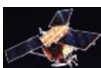
UAV影像之處理的問題

輻射性處理 (Radiometric Processing)

針對影像灰度值進行相關之運算，如影像強化(Image Enhancement)、影像融合(Image Fusion)、除霾(Dehazed)、色彩平衡(Color Balance)、淡化陰影，以提升影像之色彩品質。

幾何性處理 (Geometric Processing)

1. 克服影像間旋轉(Rotation)與尺度(Scale)的問題
2. 影像快速鑲嵌(Fast Image Mosaic)。



新的特徵點提取方法 – SIFT演算法

SIFT (Scale Invariant Feature Transformation)演算法

-  尺度空間極值求取
-  特徵點位置確定

特徵提取

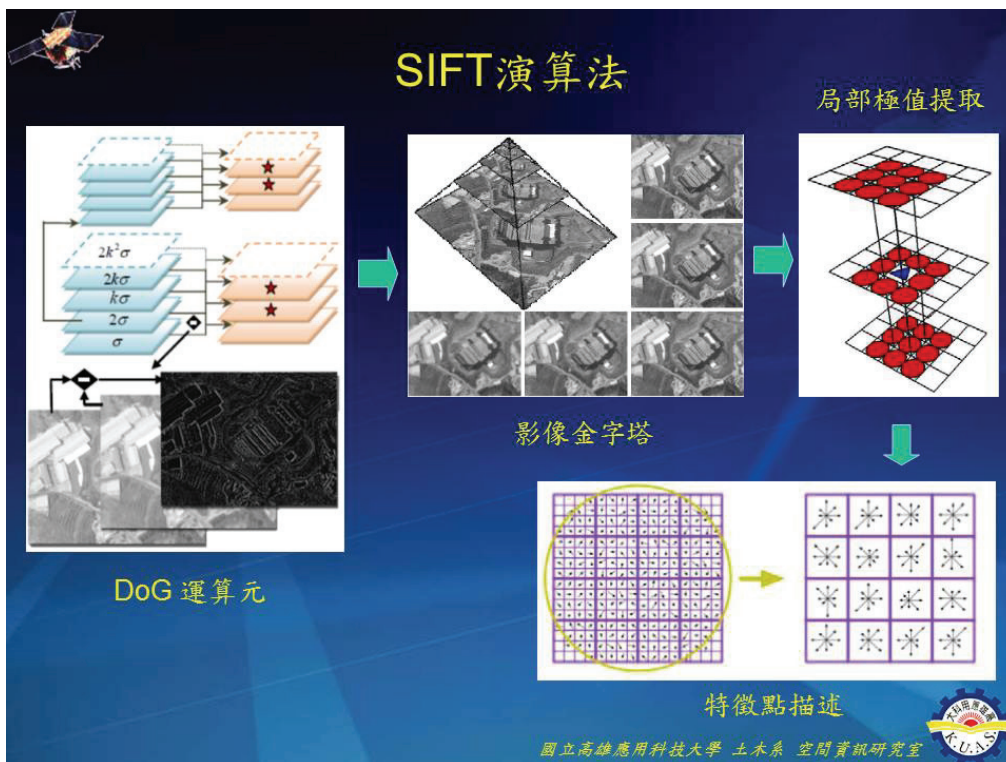
-  特徵點方向確定
-  特徵點描述

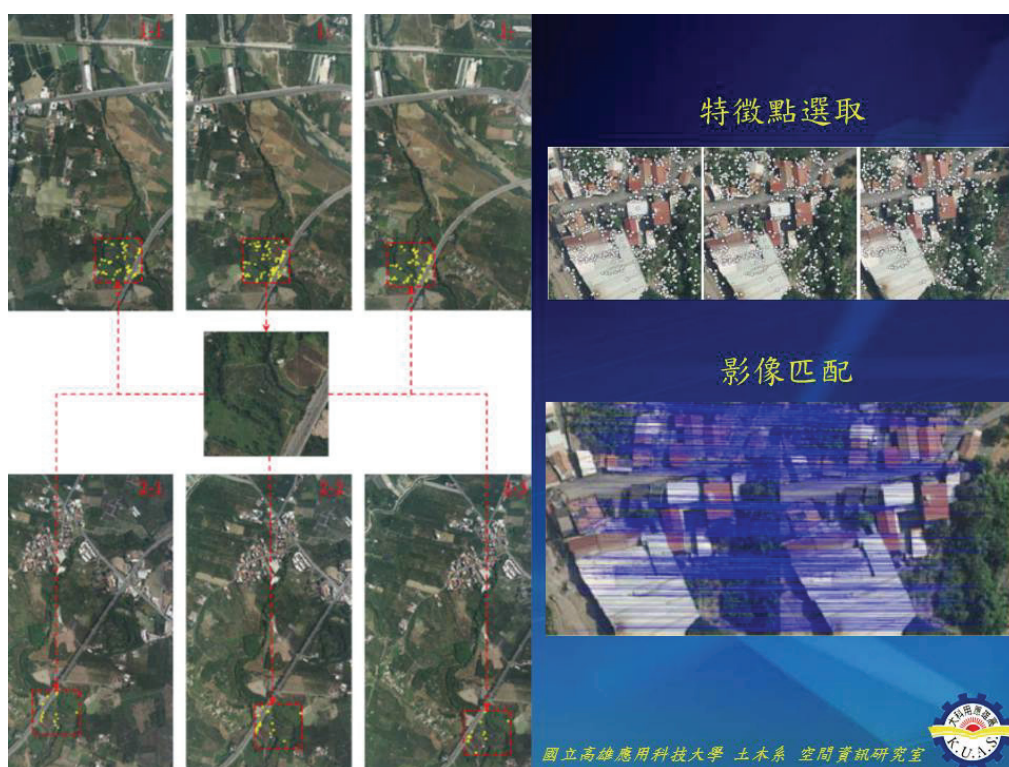
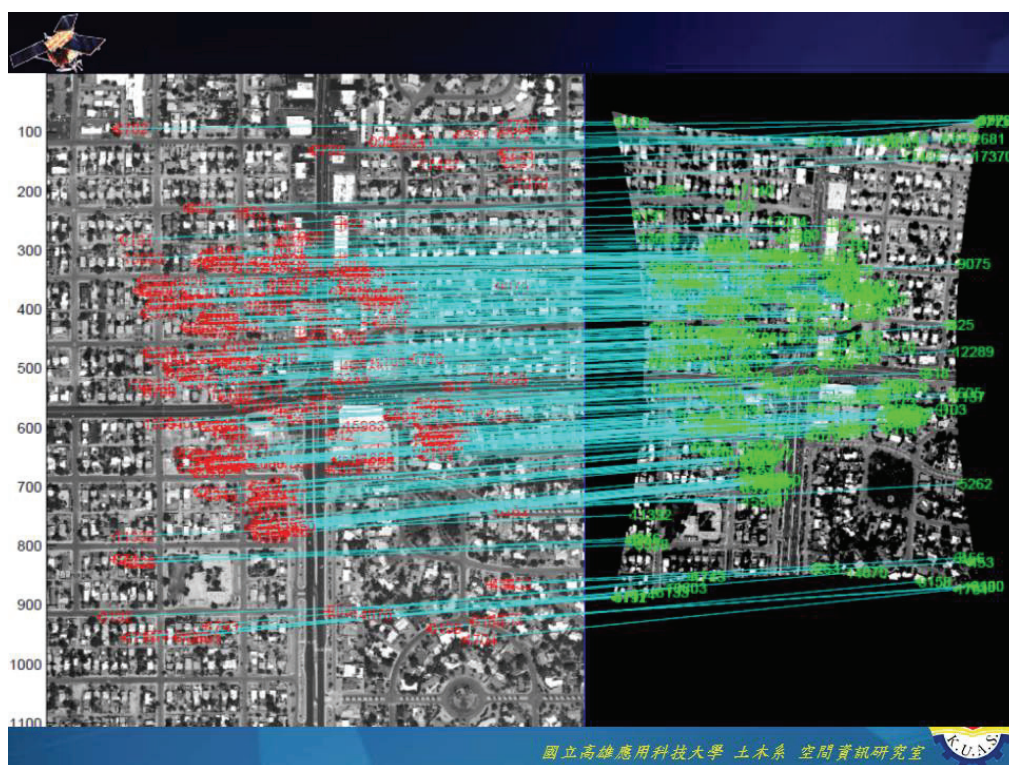
特徵描述

-  特徵匹配
-  除錯機制

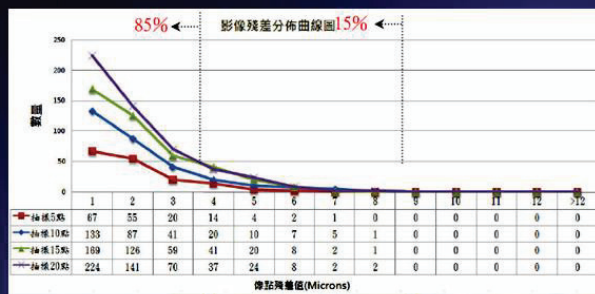
特徵匹配







點位精度分析



區域匹配之像點殘差值



SIFT 匹配之像點殘差值

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



遙測影像(UAV影像)之前級處理

輻射性處理 (Radiometric Processing)

針對影像灰度值進行相關之運算，如影像強化(Image Enhancement)、影像融合(Image Fusion)、除霾(Dehazed)、色彩平衡(Color Balance)、淡化陰影，以提升影像之色彩品質。

幾何性處理 (Geometric Processing)

1. 利用地控點(GCPs)及相關演算法修正因攝像時諸多因素對影像所造成之幾何變形，以確保影像幾何之正確性。糾正後影像應達 ± 2 個像元(Pixel)之幾何精度。
2. 影像鑲嵌(Image Mosaic)。

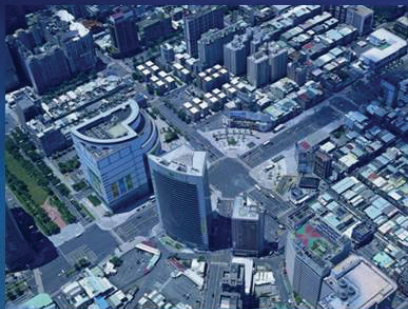
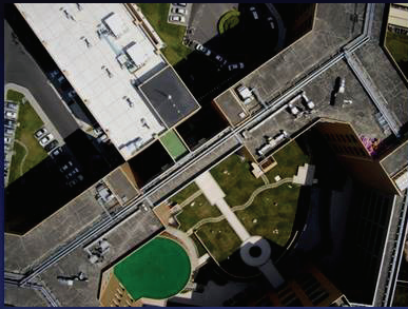
國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室







影像除陰影與白平衡處理

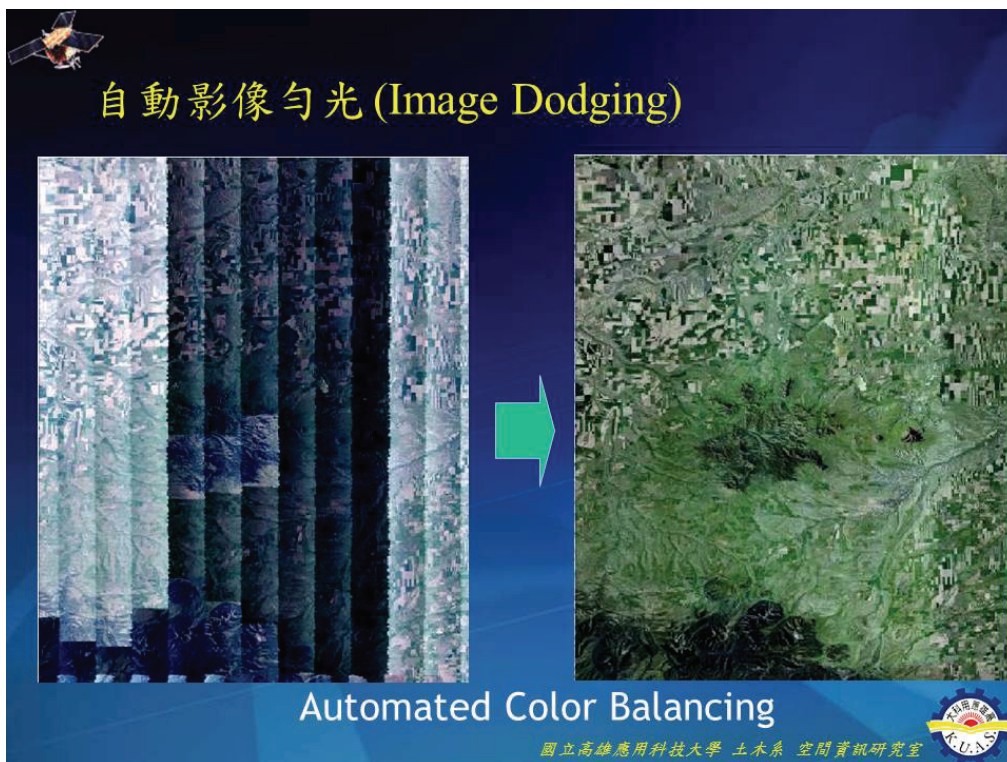


國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



影像修補 (Image Inpainting)



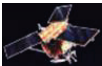




關鍵技術：影像匹配 (Image Matching)

1. 面積基礎之影像匹配 (Area-Based Image Matching)
NCC, LSM, ...
應用於共軛點資料之自動化量測
2. 特徵基礎之影像匹配 (Feature-Based Image Matching)
SIFT, ASIFT, SURF, MSER, BRIEF
有效解決影像間旋轉與尺度差異的問題
3. 半全域匹配 (Semi-Global Matching, SGM)
結合前述二種匹配方法之優點，應用於稠密點雲
DSM資料之產生

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



Semi-Global Matching (SGM)

SGM的影像匹配演法

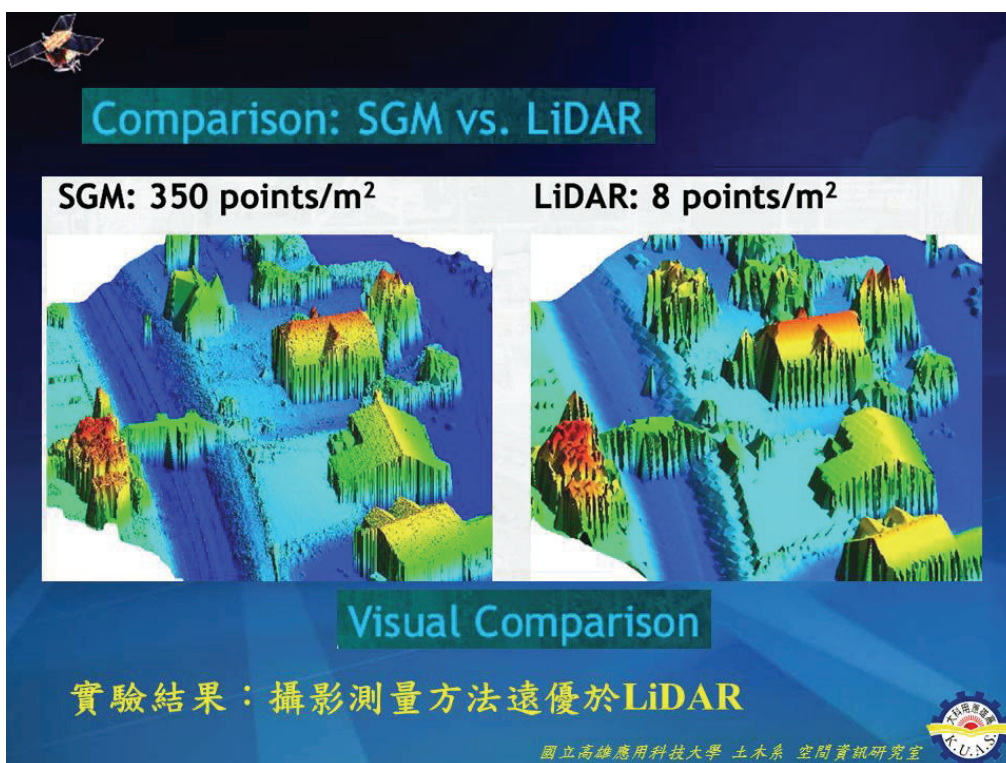
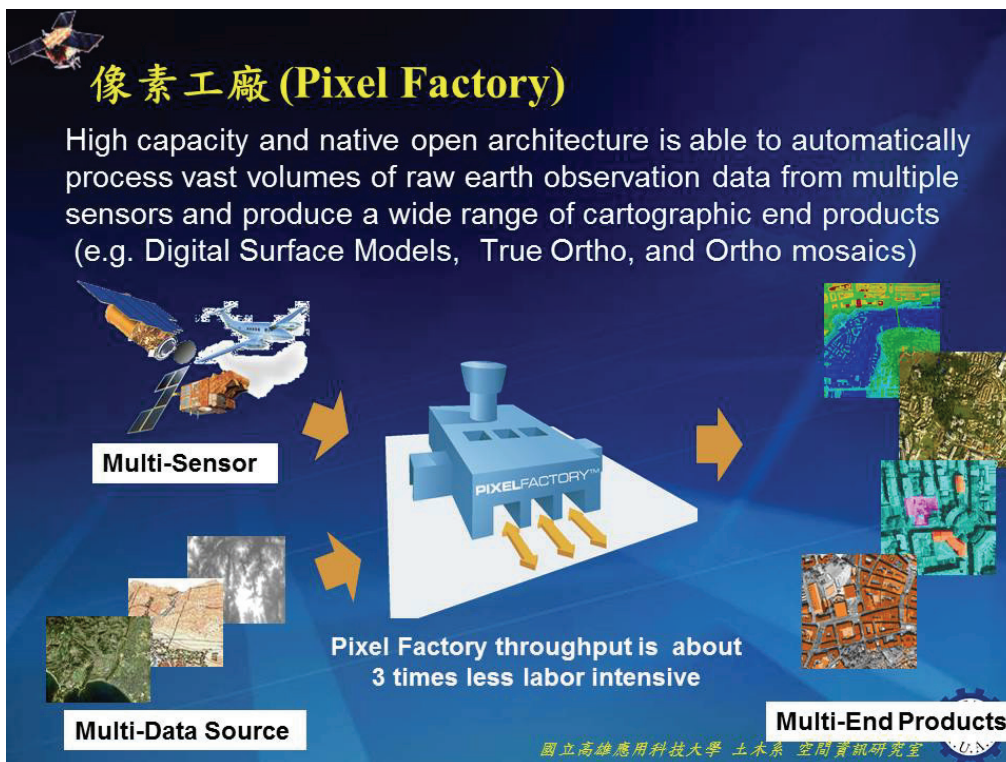
1. 匹配準則－互信息價值函數 (Cost Function)
2. 匹配策略－動態規劃法 (Dynamic Programming)

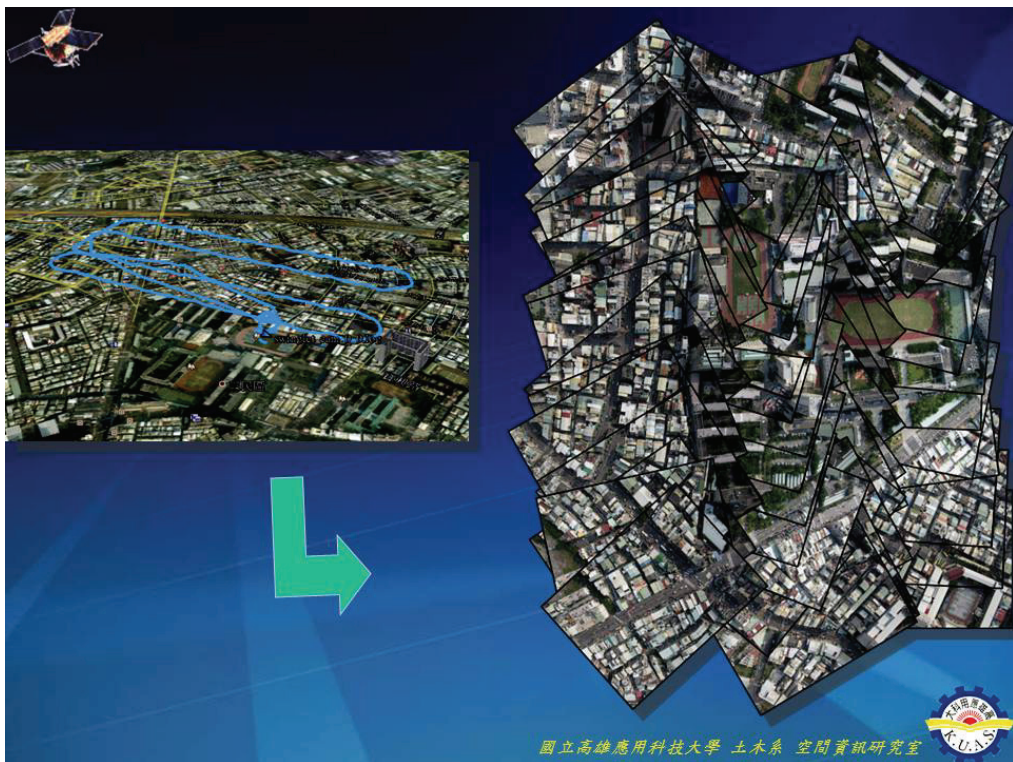
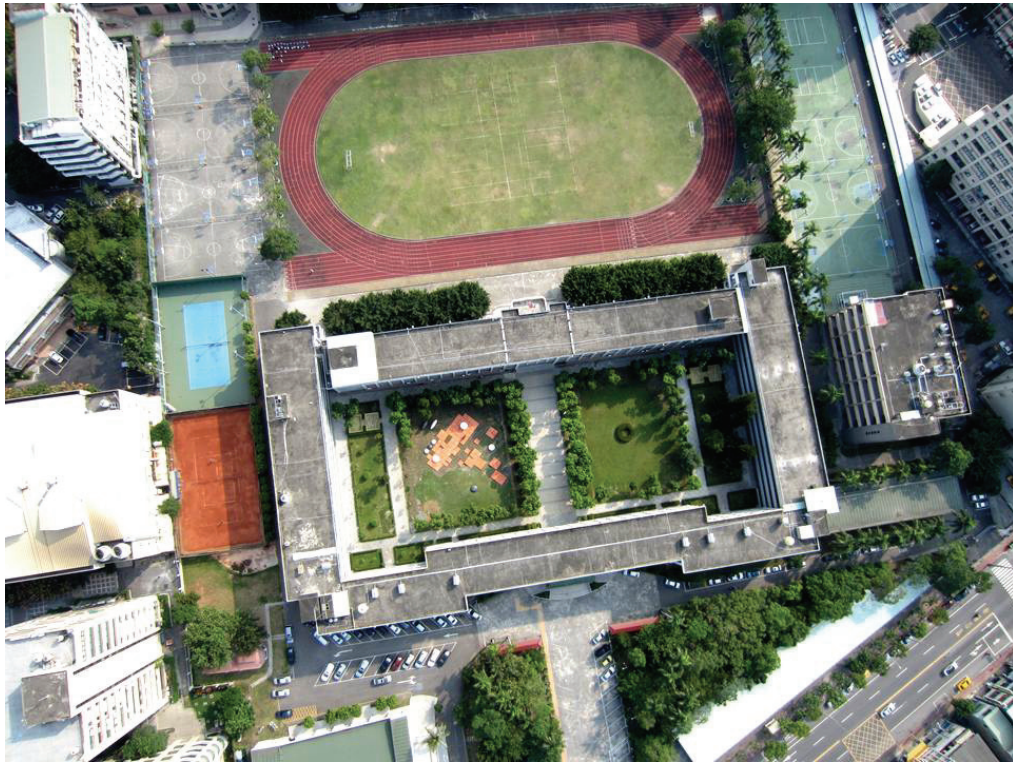
SGM的影像匹配程序

1. 逐圖元匹配計算
2. 用一維約束近似二維約束
3. 視差計算
4. 誤匹配的剔除

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室









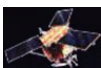
主要實驗例：大甲溪橋河床

範圍：大甲溪
橋河床上下游
約3km²
(300公頃)

測量日期為101
年08月28日，
並使用GJ01、
L030作為平面
控制點，I081、
I082作為高程
控制



國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

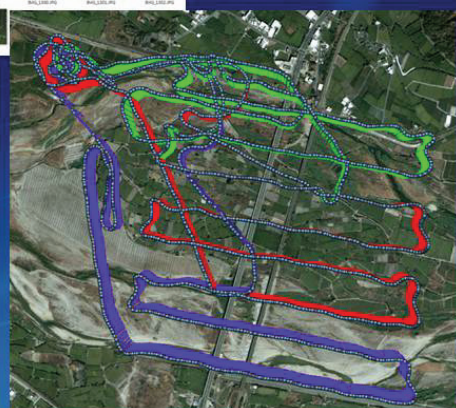


原始影像

實際飛行軌跡

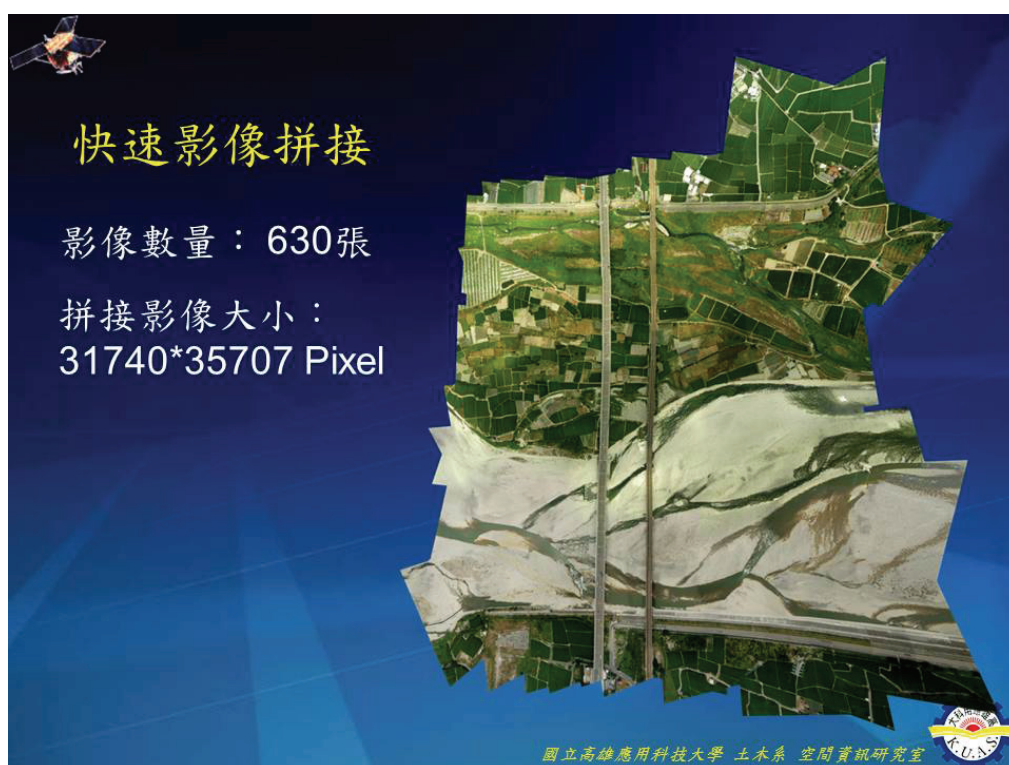


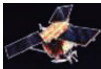
UAV



國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



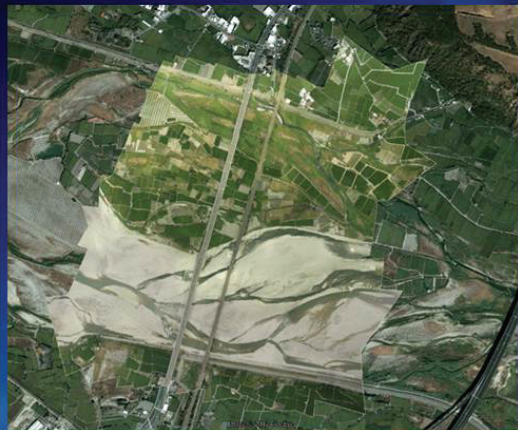




TPS Warpping結果與Google Earth套疊

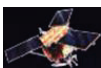


TPS Warpping

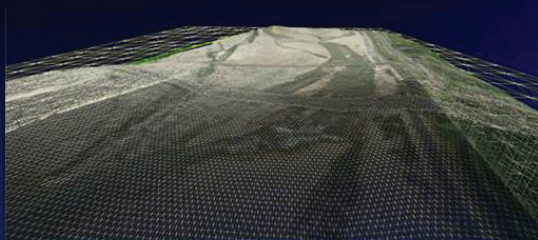


Google Earth套疊

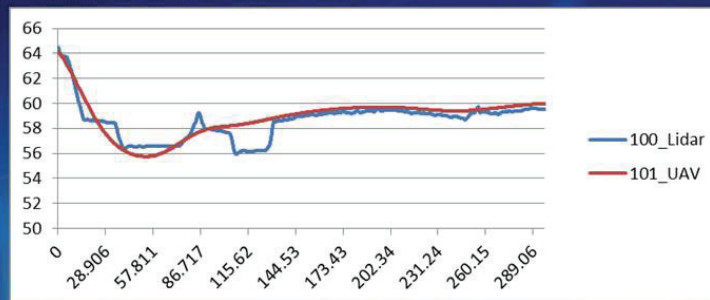
國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



DEM資料產生與精度分析



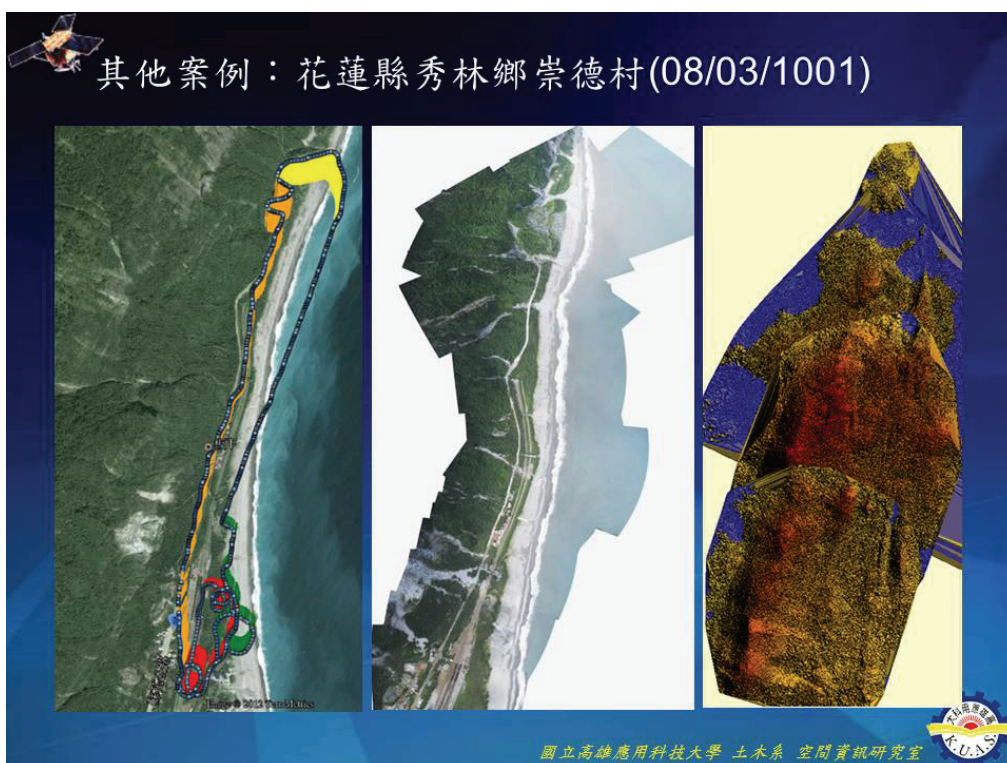
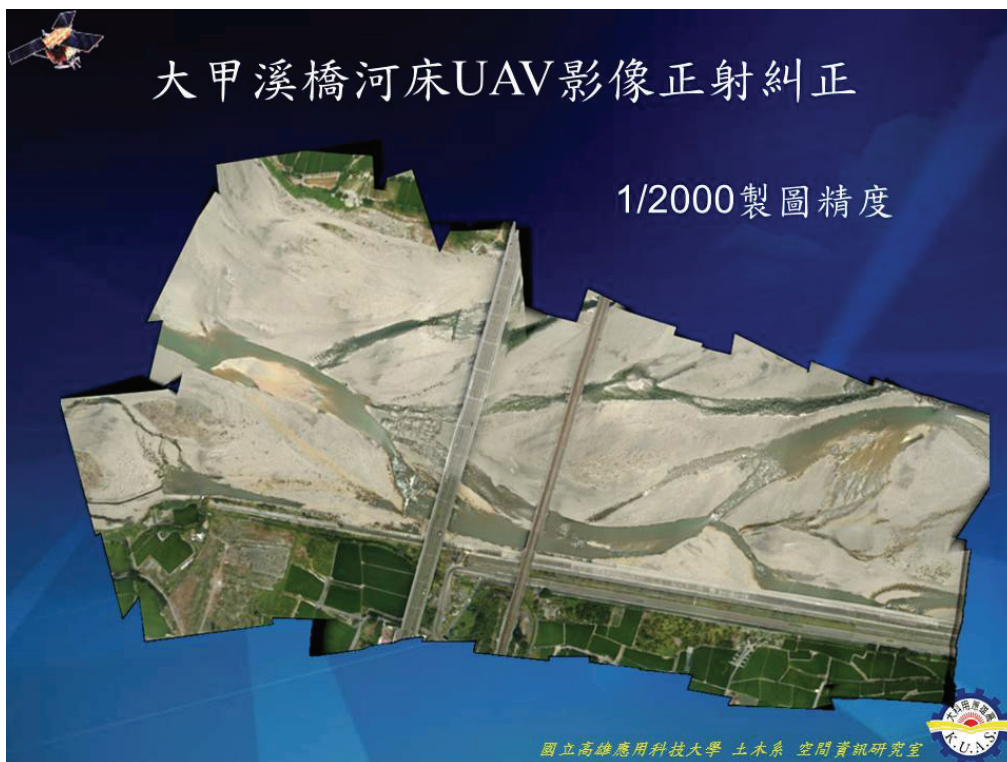
DEM資料產生



精度分析

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室







SV-1000A 飛行器系統

(觀天科技)



國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

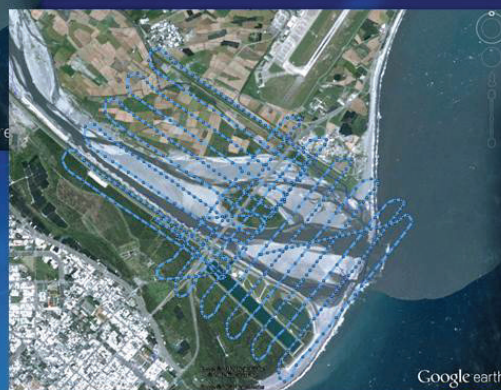


卑南溪河口 UAV 攝影案例 (11/09/2012)



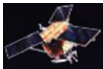
航線規劃

實際飛行軌跡



國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室

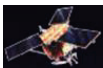




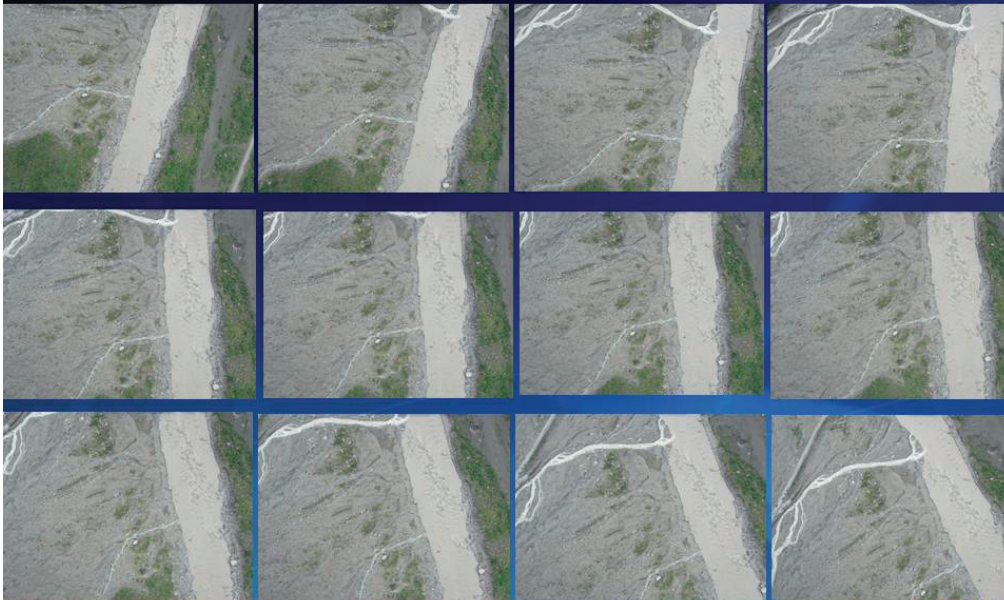
快速拼接結果 (600張影像)



國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



小林村地區 UAV 影像 Sample (2012/06/22)

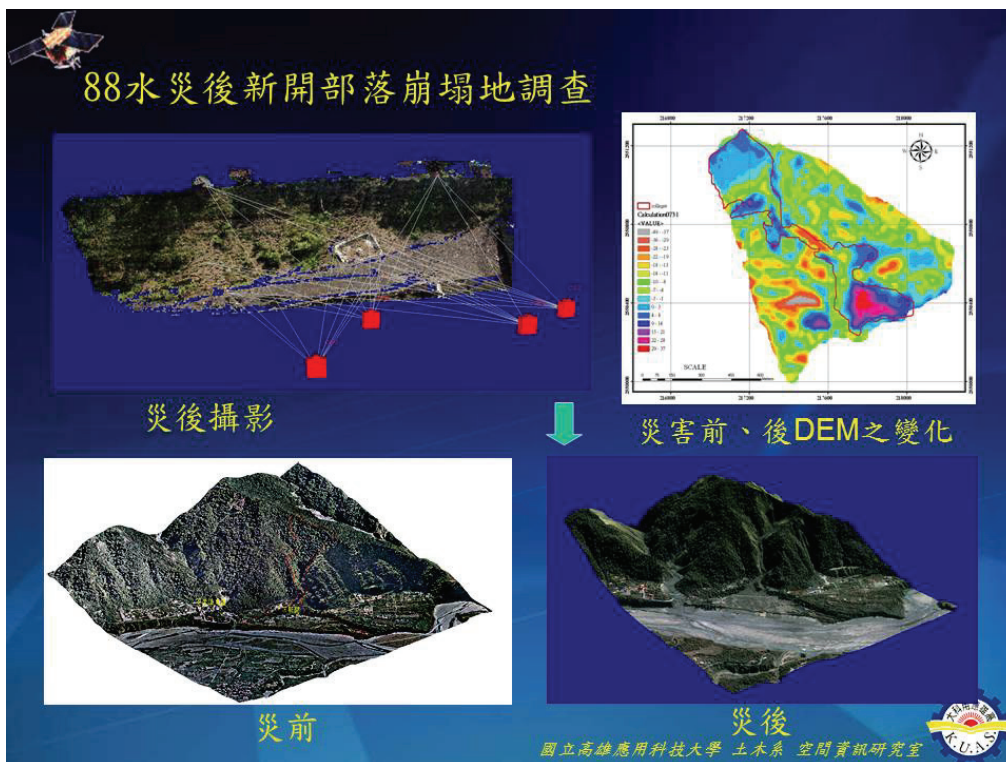


國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室









五、結論

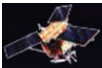
■ 在使用之硬體設備上：使用無人飛行載具(UAV)配合一般的消費型數位相機替代常規的航空攝影(定翼機+專業相機)，就成本上而言大幅度的降低，攝影的機動性也大幅度的提高，由於UAV已可自主導航的低空飛行，加上消費型數位相機已具有千萬以上之畫素，可以獲得良好的攝像解析度(GSD)，一般可達10公分以上，可應用於大比例尺之製圖。

國立高雄應用科技大學 土木系 空間資訊研究室



五、結論

- **在影像資料的處理上：**UAV雖可自主導航的飛行，但其穩定度仍不若常規航拍之良好，諸如影像之前後或側向重疊、相鄰影像的旋轉及比例尺差異的過大，攝影天候造成影像的降質，均將造成常規影像資料的處理的困難，甚至無法處理。在本研究中分別對前述的困難提出處理的對策，針對UAV攝影的特性(缺點)發展新的輻射與幾何處理模式，可以有效克服常規處理上的困難。



五、結論

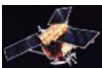
- **在資料獲取的精度上：**由於消費型數位相機的內方位(焦距、影像中心點偏移)未知以及透鏡畸變差大，將明顯影響影像量測之精度，但透過現代相機率定技術的進步，經由率定參數之校正可有效提升量測之精度。本研究結果顯示，對物間點位求定之精度，平面精度約為 ± 2 個像元以內，高程精度約為攝影航高之 $1/3000 \sim 1/4000$ ，可以滿足各比例尺常規製圖之精度要求。





五、結論

- 就總體效益而言：由於UAV攝影飛行高度及像幅大小之限制，就大範圍而言(一千公頃以上)，仍以常規之航空攝影為宜。但對小的範圍而言，UAV的攝影將具有明顯的優勢，其作業成本只須常規航測作業的1/3~1/4(硬體不計)。若於精度要求不高(3~5公尺內)之防救災緊急應變資料獲取(攝影+快速拼接)，其處理效率可在數小時內即可完成。



五、結論

- 目前感測器(相機)的發展快速，如超寬角或全景相機，影像處理技術也有明顯的進步，對耗時的計算程序將配合GPU及CUTA改用平行處理演算法，計算效率將提升十倍以上，對使用UAV或地面的攝影技術將再獲得更進一步的發展，「平民化」與「即時化」的作業模式將取代傳統「貴族化」作業模式，也不再依賴昂貴的硬體設備，如空載雷射。

