

106-206-1379  
MOTC-IOT-104-PEB019

# 橋梁檢測工具效能提升計畫 (2/2)



交通部運輸研究所

中華民國 106 年 12 月



106-206-1379  
MOTC-IOT-105-PEB019

# 橋梁檢測工具效能提升計畫 (2/2)

著者：蘇振維、楊幼文、江明益、黃俊豪、姚乃嘉、  
蔡閔光、陳明正、葉啟章、吳明諺、白耀升、  
廖先格、莊友涵、廖艾貞

交通部運輸研究所

中華民國 106 年 12 月

橋梁檢測工具效能提升計畫(2/2)

著者：蘇振維、楊幼文、江明益、黃俊豪、姚乃嘉、蔡閔光、陳明正、  
葉啟章、吳明諺、白耀升、廖先格、莊友涵、廖艾貞

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.iot.gov.tw](http://www.iot.gov.tw) (中文版) > > 本所出版品)

電話：(02)2349-6789

出版年月：中華民國 106 年 12 月

印刷者：全凱數位資訊有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 15 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定價：非賣品

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分內容者，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：橋梁檢測工具效能提升計畫(2/2)			
國際標準書號（或叢刊號）	政府出版品統一編號	運輸研究所出版品編號 106-206-1379	計畫編號 104-PEB019
本所主辦單位：運輸計畫組 主管：張舜淵 計畫主持人：蘇振維(前主管) 研究人員：楊幼文、江明益、黃俊豪 聯絡電話：(02)2349-6805 傳真號碼：(02)2545-0428	合作研究單位：國立中央大學 計畫主持人：姚乃嘉 研究人員：蔡閔光、陳明正、葉啟章、吳明諺、白耀升、廖先格、莊友涵、廖艾貞 地址：桃園市中壢區中江路 300 號 聯絡電話：(03)4227151 轉 34034	研究期間  自 104 年 5 月 至 104 年 12 月	
關鍵詞：橋梁檢測、無人飛機、影像辨識			
<p>摘要：</p> <p>我國橋梁約 3 萬座，主要分由臺鐵局、高公局、公路總局及各縣市政府負責管養，依據公路養護規範、公路鋼結構橋梁檢測及補強規範、公路鋼筋混凝土結構橋梁之檢測及補強規範規定，橋梁檢測作業可分成經常巡查、定期檢測及特別檢測 3 類。其中經常巡查係平時以乘車目視方式所實施；定期檢測係透過步行、攀爬、作業車輛或船隻等方式，儘可能接近橋梁構件後，以目視判定橋梁狀況。特別檢測係重大事故或災害發生後，緊急實施之不定期目視檢測。</p> <p>整體而言，橋梁檢測以目視為主儀器為輔，一般進行檢測作業時，多係以徒步及攀爬方式儘可能接近橋梁結構物後，再以目視判定橋梁狀況，如遇高橋墩或跨河橋梁時，雖可利用橋梁檢測車、高空作業車或小型船艇輔助趨近，然對於車流量大或偏遠山區橋梁而言，由於檢測車械體積較大、操作費時且成本較高，因此本所於 103 年透過「橋梁檢測工具效能提升計畫」，成功整合低價位無人飛行載具及相關軟硬設備，開發出有助於提升橋梁檢測作業品質及效率之旋翼式無人機橋梁檢測離型模組(Unmanned Aerial Vehicle, 簡稱 UAV)。</p> <p>鑑於 UAV 於實測飛行過程中，受現場環境變化(如障礙物、強側風、訊號不穩)，相關功能仍待精進或新增，爰本年度提出防撞式 UAV 橋梁構件影像自動擷取系統，並著眼 4 大功能模組之提升，包含：障礙物偵測模組(旋翼式無人機可偵測航行範圍內的障礙物並自動閃避)、定位精進模組(當旋翼式無人機於橋下時仍能具備定位能力)、飛行耐久模組(允許旋翼式無人機完成逾百米橋長的複合飛行路徑)、影像提升模組(搭載等級較高攝影機取得精細度更高的影像)和 3D 生成模組(將旋翼式無人機的檢測結果合併生成 3D 橋梁影像)。綜合而言，此防撞式 UAV 橋梁構件影像自動擷取系統將更能符合橋梁現地檢測之使用，並同時具備與第二代橋梁管理資訊系統(TBMS2)整合之優勢。</p> <p>本研究計辦理 3 場成果推廣訓練活動，經調查 85% 的學員均表示未來有可能使用 UAV 進行橋梁檢測，且 82% 的學員同意新增模組可增進檢測之信心，顯示計畫成果確有助於協助提升橋梁檢測作業效能。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
106 年 12 月	158	非賣品	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定價價購。
<p>機密等級：</p> <p><input type="checkbox"/>密 <input type="checkbox"/>機密 <input type="checkbox"/>極機密 <input type="checkbox"/>絕對機密</p> <p>(解密條件：<input type="checkbox"/>年 月 日解密，<input type="checkbox"/>公布後解密，<input type="checkbox"/>附件抽存後解密， <input type="checkbox"/>工作完成或會議終了時解密，<input type="checkbox"/>另行檢討後辦理解密)</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> 普通</p>			
備註：本研究期間因專利申請(新型第 M516006 號)，爰至今(106)年辦理出版，有關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: Enhancing Efficiency of Bridge Inspection Equipment(2/2)			
ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER 106-206-1379	PROJECT NUMBER 104-PEB019
DIVISION: Transportation Planning DIVISION DIRECTOR: Shuen-Yuan Chang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Cheng-Wei Su PROJECT STAFF: Yu-Wen Yang, Ming-Yi Jiang , Jyun-Hao Huang PHONE:(02)2349-6805 FAX: (02)2545-0428			PROJECT PERIOD FROM May 2015 TO December 2015
RESEARCH AGENCY: National Central University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Prof. Nie-Jia Yau PROJECT STAFF: Ming-Kuan Tsai, Ming-Cheng Chen, Chi-Jang Yeh, Ming-Yan Wu, Yao-Sheng Bai, Hsien-Ke Liao, Yu-Han Chuang; Ai-Chen Liao ADDRESS: No. 300, Zhongda Rd., Zhongli District, Taoyuan City 32001, Taiwan (R.O.C.) PHONE: (03)422-7151 ext. 34034			
KEY WORDS: Bridge inspection, Unmanned Aerial Vehicle, Image recognition			
<b>ABSTRACT:</b>  <p>There are almost 30,000 bridges in Taiwan. Taiwan Area National Freeway Bureau, The Taiwan Railway Administration, and The county governments manage these bridges. Based on several maintenance manuals regarding freeways, bridge inspection could be divided into general inspection, regular inspection and special inspection. For the general inspection, bridge managers should ensure the smooth of freeways. For regular inspection, bridge managers should observe the conditions of bridge components so that the safety of bridges could be confirmed. For the special inspection, bridge managers should check the conditions of bridges after some important hazards or events.</p> <p>In sum, bridge inspection depends on visual observation. When bridge managers investigate some bridges that cross rivers and mountains, they could apply specific vehicles during bridge inspection. However, these vehicles are big. Thus, the operation time and cost are high. Therefore, IOT successfully integrated low-cost of UAV by “Enhancing Efficiency of Bridge Inspection Equipment” during 2015.</p> <p>In view of UAV test during flight, Scene by environmental changes (Such as obstacles, crosswinds, signal instability), the relevant function remains to be upgrading or addition, therefore this year we focus on four major functional modules: obstacle detection module, upgrading positioning module, flight durable module, the image hoisting module and 3D generation module. In general, this type UAV will better meet the detection of the use of the bridge now, and also have the advantage of TBMS2 to integration.</p> <p>The study also handles three training activities, research has shown 85 percent of participants have indicated possible future use of UAV performed bridge inspection, and 82% of the participants agreed to enhance confidence in the new module can be detected, the program displays the results of that there help to assist the relevant units to enhance the effectiveness of bridge inspection.</p>			
DATE OF PUBLICATION December 2017	NUMBER OF PAGES 158	PRICE Not for sale	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

# 目錄

目錄.....	III
圖目錄.....	V
表目錄.....	VIII
<b>第一章 緒論 .....</b>	<b>1</b>
1.1 計畫背景.....	1
1.2 研究內容與工作項目 .....	1
1.3 研究範圍與對象.....	2
1.4 研究流程.....	3
1.5 報告架構.....	3
<b>第二章 國內外重要文獻回顧 .....</b>	<b>5</b>
2.1 我國橋梁管理系統.....	5
2.2 橋梁檢測設備.....	7
2.2.1 橋梁檢測車.....	7
2.2.2 3D 雷射掃描技術.....	9
2.2.3 行動裝置.....	12
2.2.4 遙控飛機.....	13
2.2.5 影像辨識.....	14
2.2.6 其它橋梁檢測設備.....	16
2.3 國際特殊橋梁檢測設備.....	18
2.4 我國橋梁檢測設備應具備之功能需求.....	20
<b>第三章 前期計畫回顧 .....</b>	<b>23</b>
3.1 UAV 組裝 .....	23
3.2 UAV 測試 .....	27
3.3 系統架構.....	31
3.4 地面控制程式.....	32
3.4.1 飛行數據模組.....	34
3.4.2 航點計畫模組.....	35
3.4.3 切換相機模組.....	39
3.4.4 DERU 填寫模組.....	40
3.5 小結.....	42
<b>第四章 本期計畫新增模組 .....</b>	<b>43</b>
4.1 障礙物偵測模組.....	43
4.2 定位增強模組.....	46
4.3 續航改善模組.....	50
4.4 影像精進模組.....	51

4.5 3D 生成模組.....	52
4.6 小結.....	56
<b>第五章 橋梁現地測試 .....</b>	<b>57</b>
5.1 測試流程.....	57
5.2 「南山大橋」檢測概要.....	57
5.3 「彩虹二橋」檢測概要.....	58
5.4 「蘇樂橋」檢測概要.....	59
5.5 「華中橋」檢測概要.....	59
5.6 測試結果.....	60
5.7 3D 生成結果.....	67
5.8 橋梁構件影像與 Google Earth 之整合 .....	70
5.9 小結.....	71
<b>第六章 教育訓練 .....</b>	<b>79</b>
6.1 訓練內容.....	79
6.1.1 北部場教育訓練.....	80
6.1.2 中部場教育訓練.....	80
6.1.3 南部場教育訓練.....	81
6.2 意見綜整.....	81
<b>第七章 結論與建議 .....</b>	<b>87</b>
7.1 結論.....	87
7.2 建議.....	88
<b>參考文獻.....</b>	<b>89</b>
<b>附錄一 期中審查委員意見暨回覆說明 .....</b>	<b>93</b>
<b>附錄二 教育訓練簡報內容 .....</b>	<b>99</b>
<b>附錄三 教育訓練問卷 .....</b>	<b>115</b>
<b>附錄四 期末審查委員意見暨回覆說明 .....</b>	<b>117</b>
<b>附錄五 期末審查簡報檔 .....</b>	<b>123</b>

## 圖目錄

圖 1.1	本期計畫適用橋梁類型	2
圖 1.2	研究流程圖	3
圖 2.1	第一代 TBMS 畫面	6
圖 2.2	第二代 TBMS 畫面	6
圖 2.3	第二代 TBMS App 畫面	6
圖 2.4	吊籃式橋梁檢測車	8
圖 2.5	桁架式橋梁檢測車	8
圖 2.6	迷你型橋梁檢測電動車	8
圖 2.7	迷你檢測車檢測案例	9
圖 2.8	掃描儀座標系與物空間座標系之關係圖	10
圖 2.9	3D 雷射攝影用於橋梁裂縫辨識	11
圖 2.10	第二代 TBMS App 於橋梁檢測之成果	12
圖 2.11	定翼式 UAV	13
圖 2.12	旋翼式 UAV	13
圖 2.13	自動化影像辨識橋梁裂縫流程	14
圖 2.14	橋梁構件說明示意圖	16
圖 2.15	裂縫觀察儀	17
圖 2.16	新竹中正大橋與橋梁安全預警系統	17
圖 2.17	長桿攝影機	18
圖 2.18	紅外線掃瞄車	19
圖 2.19	超音波鐵路橋檢測車	19
圖 2.20	爬行檢測車	20
圖 3.1	前期計畫所比較的不同飛行控制器	24
圖 3.2	支援 4-8 軸的電源配置器	24
圖 3.3	輔助支架支撐平板電腦	25
圖 3.4	前期計畫使用的攝影機雲臺	26
圖 3.5	前期計畫使用的攝影機轉向接頭	27
圖 3.6	測試使用的不同設備	27
圖 3.7	測試使用的不同電池	28
圖 3.8	應用橋梁構件影像自動擷取系統於橋梁檢測的流程圖	32
圖 3.9	橫向操作地面控制程式	34
圖 3.10	直向操作地面控制程式	34
圖 3.11	UAV 即時狀態	35
圖 3.12	現地確認 GIS	36
圖 3.13	選擇飛行航線檔案	36

圖 3.14 設定航點類別.....	37
圖 3.15 應對不同橋梁構件的 UAV 航點型式(I) .....	38
圖 3.16 應對不同橋梁構件的 UAV 航點型式(II) .....	38
圖 3.17 切換攝影機鏡頭.....	40
圖 3.18 由觀看影片填寫 DERU.....	41
圖 3.19 由觀看照片填寫 DERU.....	41
圖 3.20 DERU 檢測表.....	42
圖 4.1 光學辨識偵測障礙物.....	43
圖 4.2 聲波辨識偵測障礙物.....	44
圖 4.3 本期計畫的防撞式 UAV .....	44
圖 4.4 LV-Max 感測器偵測右側障礙物 .....	46
圖 4.5 Lidar-Lite 感測器偵測下部障礙物 .....	46
圖 4.6 雙 GPS 示意圖 .....	47
圖 4.7 GPS 訊號放大規格 .....	47
圖 4.8 測試雙 GPS 模組之 UAV .....	48
圖 4.9 單 GPS 模組定位情況 .....	48
圖 4.10 雙 GPS 模組定位情況 .....	49
圖 4.11 雙 GPS UAV 移入室內 .....	49
圖 4.12 室內定位結果.....	49
圖 4.13 本期計畫使用之 UAV .....	50
圖 4.14 修正魚眼效應(左圖為未修正；右圖為修正後).....	51
圖 4.15 修正攝影光圈和聚焦緩慢(左圖為未修正；右圖為修正後).....	51
圖 4.16 GoPro Hero3+ Black 和 Canon S120 實拍照片比較.....	52
圖 4.17 建立新專案目錄.....	53
圖 4.18 選擇橋梁構件相片.....	54
圖 4.19 座標系統確認.....	54
圖 4.20 完成設定.....	55
圖 4.21 進行模型生成.....	55
圖 4.22 確認橋梁構件 3D 模型.....	56
圖 5.1 現地測試流程圖.....	57
圖 5.2 南山大橋現況.....	58
圖 5.3 彩虹二橋現況.....	58
圖 5.4 蘇樂橋現況.....	59
圖 5.5 華中橋現況.....	59
圖 5.6 南山大橋全橋檢測路線.....	61
圖 5.7 南山大橋第六橋孔鋼筋外露.....	61
圖 5.8 南山大橋第四墩鋼筋外露照片.....	62
圖 5.9 彩虹二橋橋下鏽蝕照片.....	62

圖 5.10	彩虹二橋橋頂鏽蝕照片.....	63
圖 5.11	蘇樂橋橋臺支承照片.....	63
圖 5.12	蘇樂橋橫隔梁照片.....	64
圖 5.13	華中橋橫隔梁照片.....	65
圖 5.14	華中橋第六墩照片.....	65
圖 5.15	2015 年南山大橋檢測報告.....	66
圖 5.16	2014 年彩虹二橋檢測報告.....	66
圖 5.17	2014 年蘇樂橋檢測報告.....	66
圖 5.18	2014 年華中橋檢測報告.....	67
圖 5.19	南山大橋之橋面板.....	68
圖 5.20	南山大橋之橋側.....	68
圖 5.21	南山大橋第六橋孔之大梁.....	69
圖 5.22	南山大橋第三橋墩.....	69
圖 5.23	彩虹二橋拱圈.....	70
圖 5.24	蘇樂橋橋臺.....	70
圖 5.25	橋梁 3D 模型中發現疑似劣化情勢.....	71
圖 5.26	透過照片再次確認.....	71
圖 5.27	適用本系統之橋梁.....	72
圖 5.28	檢測成本與檢測橋數之關係.....	75
圖 5.29	彩虹二橋底部交錯.....	77
圖 5.30	彩虹二橋的斜桿錯誤.....	77
圖 6.1	北部場教育訓練.....	80
圖 6.2	中部場教育訓練.....	80
圖 6.3	南部場教育訓練.....	81

## 表目錄

表 2.1 3D 雷射掃描儀比較.....	11
表 2.2 U AV 與其他橋梁檢測設備之比較.....	21
表 3.1 飛行控制器的比較.....	23
表 3.2 影像設備比較.....	26
表 3.3 UAV 穩定性測試.....	29
表 3.4 UAV 耐久性測試.....	30
表 3.5 Google Android 平板電腦比較.....	33
表 3.6 不同橋梁構件適用之 UAV 航點.....	39
表 4.1 障礙物偵測感測器.....	45
表 4.2 障礙物偵測感測器實測結果.....	45
表 4.3 大容量電池的測試結果.....	50
表 4.4 攝影機比較.....	52
表 4.5 3D 生成套裝軟體.....	53
表 5.1 自動飛行模式測試結果.....	60
表 5.2 篩選結果.....	72
表 5.3 篩選結果.....	73
表 5.4 篩選結果.....	73
表 5.5 篩選結果.....	73
表 5.6 篩選結果.....	73
表 5.7 篩選結果.....	74
表 5.8 建議之防撞式 UAV 規格.....	74
表 5.9 本計畫與坊間 UAV 解決方案之全生命週期比較.....	75
表 6.1 中部場與北部場教育訓練內容議程.....	79
表 6.2 南部場教育訓練內容議程.....	79
表 6.3 橋梁檢測年資彙整.....	81
表 6.4 使用過之橋檢工具彙整.....	82
表 6.5 目前所使用之橋檢工具是否造成不便彙整.....	82
表 6.6 UAV 特色之滿意度彙整.....	82
表 6.7 同意使用 UAV 「具有速檢測的便利性」彙整.....	83
表 6.8 是否有助於工作效率提升彙整.....	83
表 6.9 未來使用 UAV 之可能性.....	83
表 6.10 本期計畫新增模組是否有增加使用者信心彙整.....	84
表 6.11 操作解說之滿意度彙整.....	84
表 6.12 整體使用之滿意度彙整.....	84
表 6.13 執行速度之滿意度彙整.....	85

表 6.14 系統功能便利性滿意度彙整.....	85
表 6.15 UAV 輔助與 3D 模型應用程式是否有助於工作效能之提升彙整.....	85
表 6.16 3D 模型是否有助橋梁構件劣化之判斷彙整.....	86



# 第一章 緒論

## 1.1 計畫背景

橋梁會隨氣候及環境之交替而逐漸老舊劣化，故需定期巡檢，並籌編足額經費適時改善。我國橋梁約 3 萬座，並分由臺鐵局、高公局、公路總局及各縣市政府負責管養，按公路法相關規定，橋梁養護首重檢測，各橋梁管理機關除應適時針對所轄橋梁實施橋梁檢測作業外，並應針對損壞部分採取適當維修對策，以維行車安全。

依據「公路養護規範」、「公路鋼結構橋梁檢測及補強規範」及「公路鋼筋混凝土結構橋梁之檢測及補強規範」規定，我國橋梁檢測作業可分成「經常巡查」、「定期檢測」及「特別檢測」三類。其中「經常巡查」係於平時以乘車目視方式所實施之經常性檢查；「定期檢測」係透過步行、攀爬、作業車輛或船隻等方式，儘可能接近橋梁構件後，以目視判定橋梁狀況之定期性檢測。「特別檢測」係重大事故或災害發生後，為了解損傷程度而實施之不定期目視檢測。整體而言，橋梁檢測以目視為主，儀器為輔，故一般進行檢測作業時，多係以徒步及攀爬方式儘可能接近橋梁結構物後，再以目視判定橋梁狀況，如遇高橋墩或跨河橋梁時，雖可利用橋梁檢測車、高空作業車或小型船艇輔助趨近，然對於車流量大或偏遠山區橋梁而言，由於檢測車械體積較大、操作費時且成本較高，故相關巡檢作業仍有精進空間。

鑑此，本所於 103 年「橋梁檢測工具效能提升計畫」(下稱「前期計畫」)整合低價位無人飛行載具、GPS、極限運動攝影機及平板電腦，開發出無人旋翼機橋梁檢測雛型模組。透過該模組，橋梁檢測人員可利用平板電腦快速簡易的設定飛行檢測路線後，讓無人旋翼機按指定路線自動飛行趨近橋梁，並立即擷取橋梁構件影像供檢測人員評估橋梁狀況，亦並可透過影像辨識應用程式進行橋梁構件劣化初步辨識，有效提升橋梁檢測作業之品質、效率及人員安全。

前述無人旋翼機橋梁檢測雛型模組現雖已可運作，然仍有許多功能可再增進，為調校已完成模組，強化系統功能，進而擴大適用範圍，爰辦理本次計畫，俾持續提升橋梁檢測作業之品質及效率。

## 1.2 研究內容與工作項目

本計畫主要目的係以橋梁檢測人員角度，開發整合操作簡單、適用範圍較廣、成本較低且能讓橋梁檢測人員快速簡易地取得橋梁目視檢測所需影像或照片之儀器、設備、技術及相應軟體，相關成果如能具備影像辨識比對功能更佳。本計畫主要工作內容如下：

1. 蒐集資料：持續蒐集國內、外有助於提升橋梁檢測作業效率及品質之儀器、設備、技術應用、定位方法、發展情形及相關法規限制。
2. 模組功能擴充：以「前期計畫」所開發之無人旋翼機橋梁檢測雛型模組

為基礎，賡續開發障礙物偵測及迴避功能，並嘗試提高定位精準度、訊號穩定性及動力耐久性，如能透過其它輔助定位系統調校或提升飛行檢測精度更佳。

3. 實地測試及回饋修正：依本所指示邀集橋梁管理機關進行全橋完整檢測(至少 2 座橋，每橋長至少逾百公尺)，嘗試以複合性路徑飛行及建置 3D 影像，並適度參酌使用者意見及建議，調整修正相關研發成果。
4. 綜合評估及推廣應用：評估研究成果之實施成效。以全生命週期觀點，分析採購、租用或引進相關軟、硬體設備所需成本，並依本所指示辦理研究成果推廣(至少 3 場)。
5. 其它：依合約規定期程進行期中及期末報告審查。製作微電影(至少 3 分鐘)簡介無人機橋梁檢測作業情形。擇選適當研究成果投稿至國、內外期刊或學術研討會(至少 2 篇)。

### 1.3 研究範圍與對象

本期計畫所開發的防撞式 UAV 橋梁構件影像自動擷取系統適用於不同橋梁管理單位，包含交通部及所轄之公路總局、高公局及鐵路局，內政部營建署及各縣市政府。可檢測的橋梁類型包含所有臺灣地區現有車行橋梁(圖 1.1)，公路橋部分計有版橋、梁式橋、箱型橋、拱橋、桁架橋、斜張橋、剛架橋、 $\pi$  橋及吊橋，共 9 類；鐵路橋部分計有版橋、梁式橋、箱型橋、拱橋、桁架橋及剛架橋，共 6 類。礙於計畫時程僅七個月，本期計畫將主要針對公路橋中之版橋、梁式橋及箱型橋進行實地測試，其餘類型橋梁和劣化可於後續計畫中進行普測和擴充。

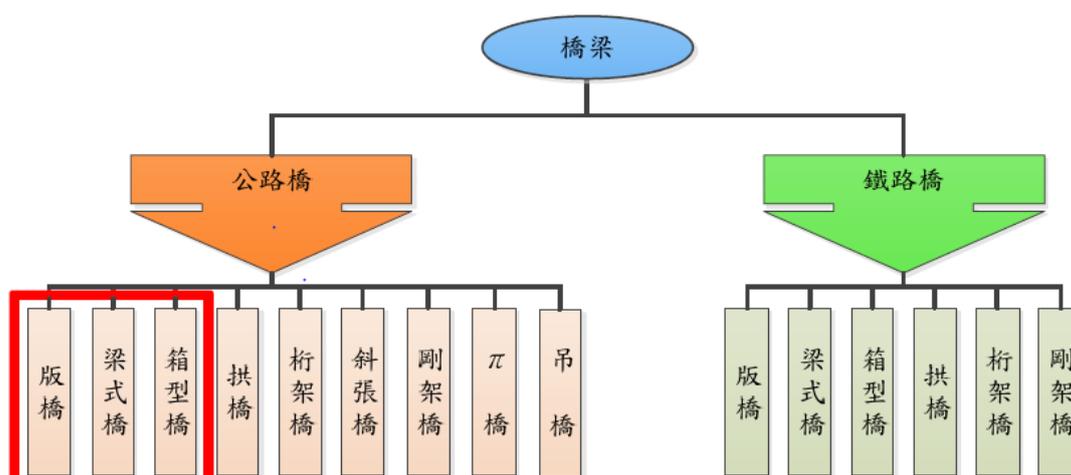


圖 1.1 本期計畫適用橋梁類型

## 1.4 研究流程

依據上開 1.2 及 1.3 節所述，本計畫研究流程如下圖 1.2。

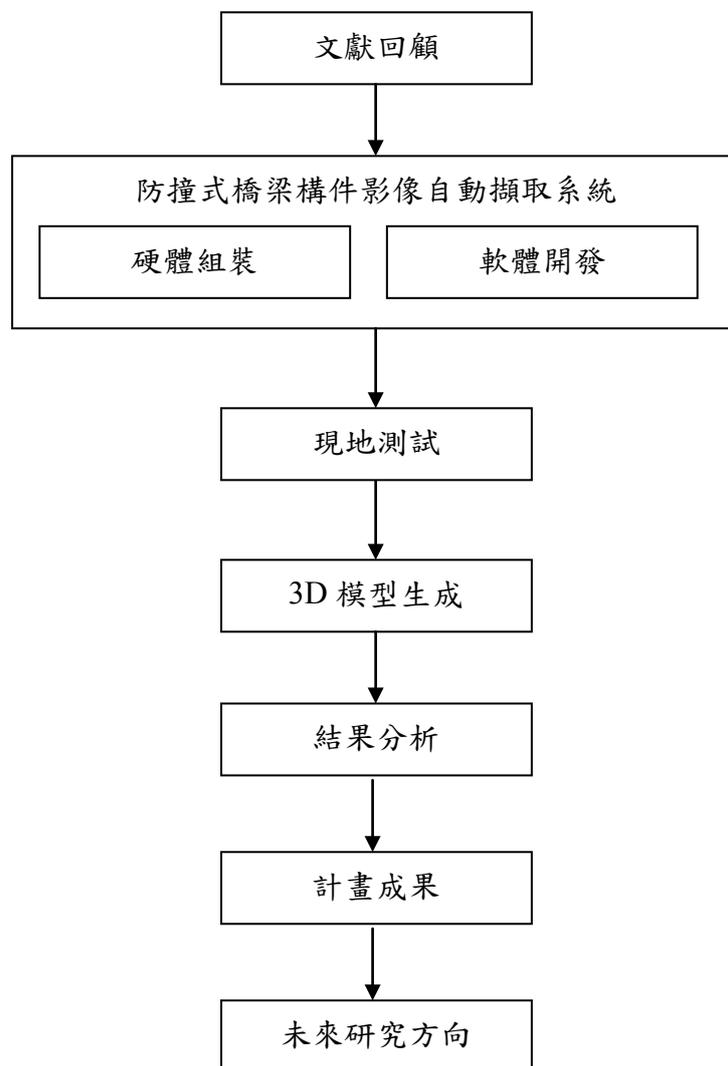


圖 1.2 研究流程圖

## 1.5 報告架構

基於研究流程(圖 1.2)，本期計畫之期中報告共分七章。第一章為緒論，說明計畫背景、研究內容等。第二章則為國內外有關橋梁檢測技術的重要文獻回顧。根據前期計畫(「橋梁檢測工具效能提升計畫」第三章)之成果，第四章說明本期計畫開發防撞式橋梁構件影像自動擷取系統之過程和現地測試結果、3D 模型生成(「橋梁檢測工具效能提升計畫」第五章)。第六章為本期計畫之研究成果教育訓練。第七章說明本期計畫執行結果之總結與建議。



## 第二章 國內外重要文獻回顧

### 2.1 我國橋梁管理系統

橋梁為陸上運輸之重要節點，對於山多平原少的臺灣，橋梁更是不可或缺的重要交通設施，許多鄉、鎮、部落更只有少數聯外橋梁以保持對外交通，一旦這些橋梁中斷便與外界隔絕，影響至鉅。我國橋梁分屬公路總局、高公局、鐵路局、觀光局、營建署及各縣市政府負責管理。為了確實掌握全國各橋梁主要管理機關之橋梁數量與現況，並利各層級進行整體性之橋梁管理、預算分配及災害防救等業務，本所於民國88年與國立中央大學合作開發臺灣地區橋梁管理系統(Taiwan Bridge Management System, 簡稱TBMS)。

TBMS(圖2.1)自開放使用迄今已14年，期間我國遭逢多次重大颱風豪雨侵襲，並因而發生多起橋梁斷落、人員傷亡之不幸事件。臺灣地區位處板塊交界，地震頻繁且地質條件複雜多變，同時每年颱風豪雨頻繁，河川劇烈沖刷淤積情形十分普遍，加上橋體老劣化、早年興建之橋梁施工品質良莠不齊、車輛超載及河川砂石盜採等不利因素影響下，橋梁劣化受損之風險也常隨之不斷增加，爰於民國102年，TBMS進入第二代系統的開發(圖2.2)。

相較於第一代TBMS，第二代TBMS主要著眼於三項改進：

1. 構件化：具備生成大多數橋梁型式之「橋梁構件生成模組」，俾讓使用者能循序逐構件建置各橋梁之概略圖像模型，並能讓使用者將橋梁檢測結果存儲於相應構件內，以利管理者能快速掌握各構件之變化歷程，及進一步了解橋梁例行檢查作業之完整及詳實情形。
2. 行動化：開發可隨即於現場記錄及上傳橋梁檢測結果至TBMS相應構件欄位之行動裝置(圖2.3)或相關應用程式，以提升橋梁檢測作業之效率及品質。
3. 客製化：強化TBMS對橋梁耐洪能力、耐震能力、載重能力及老舊劣化情形之掌握，並具備客製化之綜合瀏覽及多維分析功能，能自動以宏觀角度呈現出所轄橋梁概況及重要數據，並能讓橋梁管理機關快速、簡易地自TBMS內萃取出重要資訊。



圖 2.1 第一代 TBMS 畫面



圖 2.2 第二代 TBMS 畫面

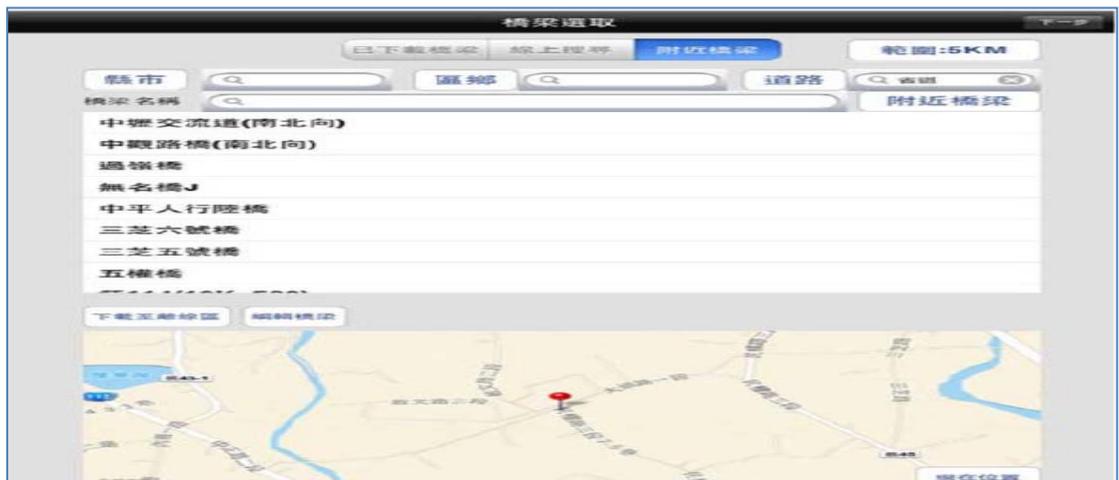


圖 2.3 第二代 TBMS App 畫面

然而，不管當前TBMS功能如何強大，該系統仍然需要倚賴橋檢人員繳交檢測紀錄才能達到有效的橋梁管理目的。換言之，提供一個能夠更密切搭配TBMS的橋梁檢測設備將能進一步地提升TBMS的資料正確性與使用性。

## 2.2 橋梁檢測設備

### 2.2.1 橋梁檢測車

橋梁檢測車是可用於橋梁檢測和維修作業的專用汽車，最早出現在歐美國家，例如奧地利Palfinger，美國Hydra、Aspen Aerials 和德國Moog 等。其工作原理是由液壓系統將工作臂彎曲深入到橋底對橋梁進行檢測。類型上又可分成多種形式，例如吊籃式(圖2.4)和桁架式(圖2.5)。吊籃式橋梁檢測車也稱折疊臂式橋梁檢測車，其結構小巧，受橋梁結構限制較少，工作靈活，既可檢測橋下也可升起檢測橋梁上部結構，有時候也可以作為高空作業車使用，價格相對桁架式橋梁檢測車低。桁架式橋梁檢測車採用通道式工作平臺，穩定性好，承載能力大，使用時檢測人員能方便地從橋面進入平臺或返回橋面，如配置升降機則可大大增加下橋深度。桁架式橋梁檢測車具備多段式伸縮、回轉能力，因此形成了三維空間，六個自由度的空間運動體系。而且在底盤上加裝了穩定器、自行走式支撐腳輪、固定式配重，具有實施檢測作業方便、不中斷交通、工作機動靈活、作業效率高、操作方便、安全可靠性等突出優點。無論哪一類型的橋梁檢測車，最終目的即讓橋梁檢測人員在檢測過程中能獲得作業平臺和檢測儀器。

相較於過去龐大體積的橋梁檢測車，為因應都市繁忙交通或山區狹隘道路，體積輕巧的橋梁檢測車亦孕育而生。這類橋梁檢測車所具備的共同特質即使用純電力驅動、輕便的車體結構和加載外部影像設備。圖 2.6 為日本 Zivil 公司所推出的迷你型橋梁檢測電動車。該檢測車將高性能的影像攝影機(1200 萬像素)安裝於車臂前端，橋檢人員可將車臂前端下伸至橋下結構及構件等以便錄製影像，如圖 2.7 所示。如橋寬大於 15 公尺，必須裝載可放大影像之攝影機，因橋檢車之手臂水平長最長為 7.2 公尺，中間之結構和構件無法清楚照攝到，所以必須裝置具有放大功能之攝影機。迷你橋檢車的鉛直竿長為 10.7m，能夠調查桁架至 3~4m 高。其餘特色包含：攝像機可移動範圍為 360°、可以透過有變焦功能(10 倍光學)的錄影機檢查細縫裂紋、操作車也能夠於緊密的步道內進行橋梁檢測、檢測作業可用螢幕來確認即時影像。經本期計畫洽談日本 Zivil 公司後，迷你檢測車目前仍屬研發階段，故該車並無販售而是採租賃方式，每次費用(含一名駕駛員)約 20,000 臺幣。



圖 2.4 吊籃式橋梁檢測車



圖 2.5 桁架式橋梁檢測車



圖 2.6 迷你型橋梁檢測電動車

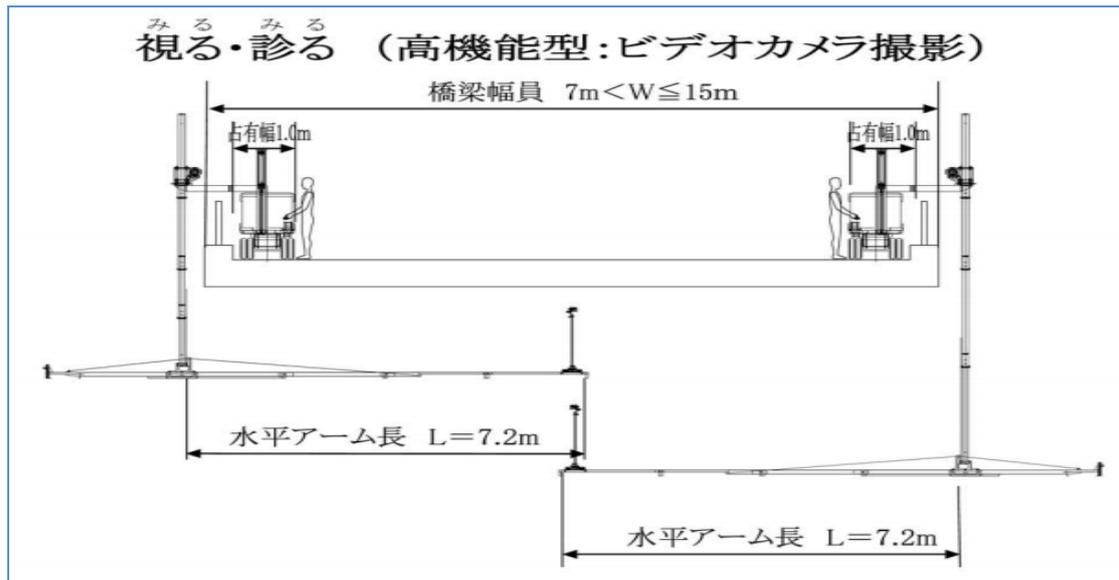


圖 2.7 迷你檢測車檢測案例

### 2.2.2 3D 雷射掃描技術

3D 雷射掃描技術為建立三維資料建檔所衍生之高科技產品，是一種能在短時間內快速獲取大量高精度三維點位相對座標的儀器。它詳細地記錄了待測物體及其周遭景物的三維資訊。不同於以往測量儀器「點」的測量，而是以「面」的方式對待測物進行整體掃描。換言之，3D 雷射掃描儀只要能有一個儀器立足點，即能以不接觸被測物的方式快速獲得非常高密度且高精度的大範圍三維點位。尤其適用於困難甚至危險到達的測量環境，其主要構造是一部快速準確的雷射測距儀加上一組可導引雷射光以等角速度掃描的反射稜鏡，雷射測距儀可主動發射雷射光，同時接收物體表面反射之訊號進行測距，針對每一掃描點可測得測站至掃描點的斜距，再配合掃描的水平與垂直方向角，即可推求得每一掃描點與測站之三維空間的相對座標差，若測站本身之三維座標為已知，則可求得每一被掃描點之三維座標。

經3D 雷射掃描儀作業後所得到之眾多三維空間座標其專有名詞稱為「點雲」，再透過雷射掃描儀本身的同軸攝影機(照相機)，將取回的點雲資料賦予相機拍攝到的顏色資訊，使點雲資料中不只有坐標資訊，同時還帶有色彩資訊以及反射強度資訊。由於獲得的點雲座標資訊為相對於雷射掃描儀本身之座標系統，因此，若要將點雲座標資訊轉換至有意義的空間資訊，則需要再經過坐標轉換之處理，掃描儀坐標系與物空間座標系之關係可表示如圖2.8 所示，其中S為掃描儀的位置（3D雷射掃描儀坐標系原點），P點為待測點的位置，O點為物空間座標系的原點。 $\rho$ 為S到P之間的距離， $\alpha$ 為S與P點之間的垂直角， $\theta$ 為其水平角。由掃描座標系轉換到物空間座標系的數學式可寫成如公式(1)式，利用三個或以上的物空間之已知控制點座標進行轉換如公式(2)式。

$$\overline{R_p} = M\overline{r_p} + \overline{R_s} \dots \dots \dots (1)$$

$\overline{r_p} = [x_p \ y_p \ z_p]^T$  : P 點在掃描座標系中的坐標向量。

$\overline{R_p} = [X_p \ Y_p \ Z_p]^T$  : P 點在物空間座標系中的坐標向量。

$\overline{R_s} = [X_s \ Y_s \ Z_s]^T$  : 掃描座標系原點S 在物空間座標系的座標向量。

M 為一分別繞X、Y、Z 軸旋轉 ( $\omega$ 、 $\phi$ 、 $\kappa$ ) 角度之旋轉矩陣。

M =

$$\begin{bmatrix} \cos \phi \cos \kappa & \cos \omega \sin \kappa + \sin \omega \sin \phi \cos \kappa & \sin \omega \sin \kappa - \cos \omega \sin \phi \cos \kappa \\ -\cos \phi \sin \kappa & \cos \omega \cos \kappa - \sin \omega \sin \phi \sin \kappa & \sin \omega \cos \kappa + \cos \omega \sin \phi \sin \kappa \\ \sin \phi & -\sin \omega \cos \phi & \cos \omega \cos \phi \end{bmatrix} (2)$$

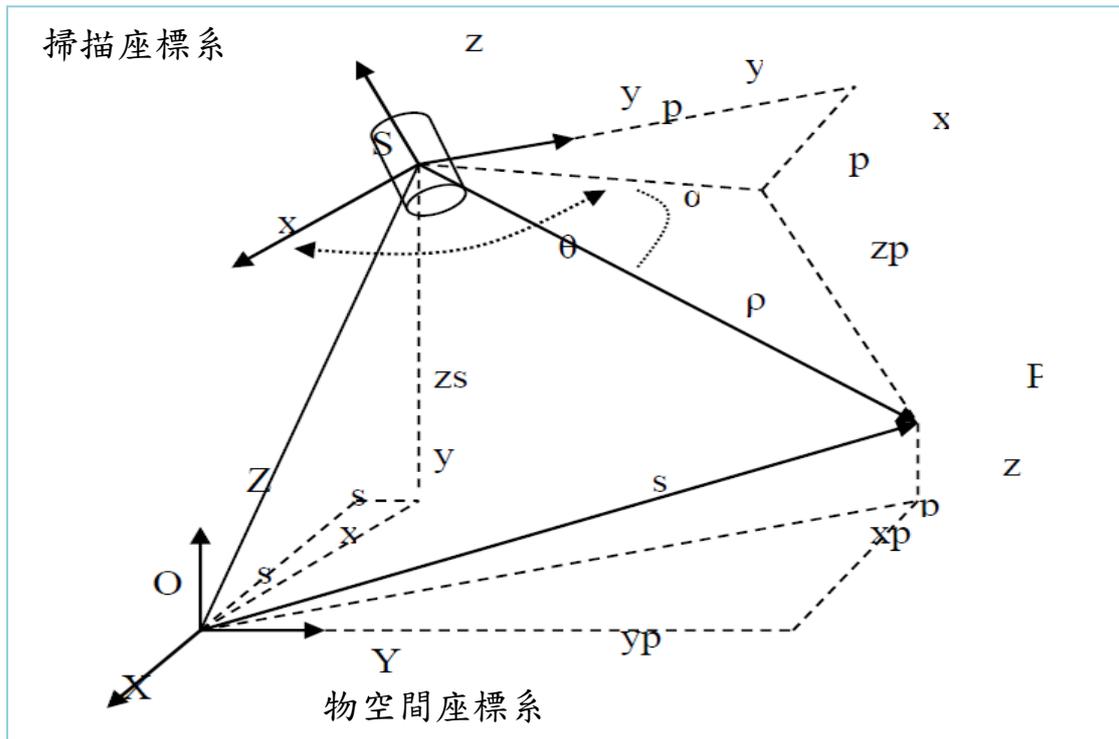


圖 2.8 掃描儀座標系與物空間座標系之關係圖

目前3D雷射掃描的硬體規格是一日千里，功能集中、體積縮小，且速度可達每秒數萬點，短時間內就能量測大量的觀測資料，精度也都能達到mm等級。利用掃描技術可建立橋梁之空間數位座標，後續除可以繪製CAD圖之外，亦可長期比對結構物的變形、裂縫等，對於吊橋或懸索橋而言，更可以比對纜索的鬆弛及損傷變形。選用之儀器則視所需之精度以及能到達之距離，一般來說，短距離之3D 掃描儀其精度較高，而較長距離之掃描儀由於雷射測距會隨者距離放大而使精度降低，因此較長距離(較高功率)之3D掃描儀其精度會較差。較適合於橋梁檢測的掃描儀如Trimble TX5、Z+F IMAGER 5010、Riegl VZ-400，其規格如下表2.1 所示。圖2.9 為臺灣迅聯光電透過3D點雲結合影像量測進行橋梁裂縫之成果。

表 2.1 3D 雷射掃描儀比較

	Trimble TX5	Z+F IMAGER 5010	Riegl VZ-400
測距範圍	0.6-120 米	0.3-187 米	1.5-600 米
測量速度	12,000/秒, 244,000/秒, 488,000/秒, 976,000/秒	1,016,000 /秒	42,000 /秒
測距誤差	± 2m@ 25m	± 1m@ 25m	± 1.25m@ 25m
分辨率	7 千萬彩色像素	外掛不同畫數相機	外掛不同畫數相機
視場(垂直/水平)	300°/360°	320°/360°	60°/360°
作業環境溫度	5 度至 40 度	-10 度至 45 度	0 度至 40 度
尺寸	24x20x10 cm 5 公斤	17.0 x 28.6 x 39.5 cm 9.8 公斤	18x 18x30.8 cm 9.6 公斤
價格(新台幣)	2,500,000 元	6,000,000 元	6,000,000 元
照片			

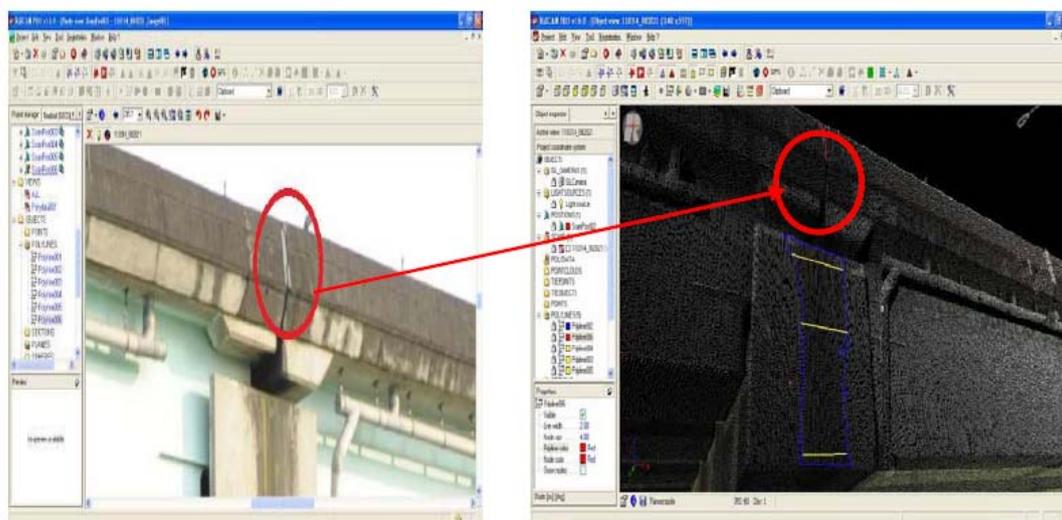


圖 2.9 3D 雷射攝影用於橋梁裂縫辨識

### 2.2.3 行動裝置

由於目前橋梁檢測仍以目視為主，為提升檢測效益和簡化資料傳遞，行動裝置已成為一大利器，例如智慧型手機和平板電腦，因為這些行動裝置不僅具備無線網路存取、高速運算、全球衛星定位和數位攝影，亦能長時間使用和便於攜帶。以第二代TBMS App 為例(圖2.10)，橋檢人員於橋梁現地進行作業時，可迅速存取下列功能：

1. 透過 WIFI 或 3G 自 TBMS 下載橋梁基本資料 (含照片) 及前一次檢測資料。
2. 新增橋梁基本資料 (含照片)，及編輯以下載之橋梁基本資料 (含照片)。可進行橋梁定期檢測，程式會根據橋梁基本資料自動產生相對應之 3D 模型。
3. 使用者可點選 3D 構件進行拍照及 DERU 值之評估，亦可拍攝影片。檢測過之構件會變為灰色，若構件狀況較差，當 D=3 會變為黃色，D=4 則變為紅色。
4. 檢測過程中可提供劣化輔助照片，使用者僅需點選照片，系統會自動將 D 值及該劣化類型所對應之 R 填入評估表中，使用者可再依現場狀況修改 D 及 R 值。
5. 檢測完成之資料及照片可透過資料上傳模組，自動將檢測資料上傳至 TBMS，並且針對同一座橋梁，一個月內上傳主系統之各筆檢測資料會自動合併為一筆定期檢測資料，因此可多組人同時進行同一座長橋之檢測。
6. 能輔助檢測人員進行橋梁檢測，並確保橋梁構件無論好壞均有檢測照片佐證，檢測結果直接上傳至第二代 TBMS，節省回辦公室整理照片之時間，避免人工輸入可能發生之錯誤。

The screenshot shows a mobile application interface for bridge inspection data entry. The title bar reads "DER檢測表-三義鄉第二陸橋-主構件(大梁) S001". The main content area has a teal background and includes the following elements:

- 劣化類型: 混凝土裂縫**
- Three rows of radio buttons for **D**, **E**, and **R** values, each with options 1, 2, 3, and 4. The '2' option is selected for all three.
- A **輔助照片** button and a small photo thumbnail.
- Fields for **劣化範圍** (Length, Width, Depth) in cm.
- A **建議維修工法** dropdown menu with "內建清單" selected.
- A **U** value dropdown menu with options 1, 2, 3, and 4.
- Fields for **損壞原因** and **數量** (with a **單位** dropdown).
- Two buttons: **構件有其它劣化** and **構件無其它劣化**.

圖 2.10 第二代 TBMS App 於橋梁檢測之成果

#### 2.2.4 遙控飛機

遙控飛機主要是一種不承載駕駛員的飛行裝置，因此又被稱為無人飛機 (Unmanned Aerial Vehicle, UAV)。在過去幾十年中，遙控飛機主要是用在軍事行動、國土規劃和環境監控。因為這個方法提供許多優點，例如裝置成本便宜、運行快速、操作簡單，許多政府機構、企業和個人亦開始使用遙控飛機於各種領域上。目前常見的遙控飛機構造可分成定翼式(圖2.11)與旋翼式(圖2.12)。這兩類別的遙控飛機最大差別在於巡航起降、範圍、方向和速度均有不同。



圖 2.11 定翼式 UAV



圖 2.12 旋翼式 UAV

對於橋梁檢測而言，旋翼式遙控飛機(遙控直升機)較為適合，因須能正確且精準的取得橋梁於三維空間的影像資訊，而僅非俯視資訊而已。此外，遙控飛機的操作方法主要可分成手控操控(地面操控員藉無線電波訊號加以操作)、半手控飛行(以手控操控為主，微電腦感測器為輔)及全自動飛行(微電腦自主控制進行航道飛行)三類型。這三種操作方法都可用於地形、地貌偵照及監控、空中觀測與錄攝影和災情調查。

## 2.2.5 影像辨識

影像辨識為取得橋梁檢測資料後的處理分析技術。其工作原理為當檢測目標構件物影像由影像擷取裝置轉換為數位影像資料後，去除影像中的雜訊、加強對比與分離影像中的檢測目標物與背景，藉以改善影像的清晰度並同時提升影像分析時的準確度。例如，圖2.13 為一自動化影像辨識橋梁裂縫之案例。以數位相機取得混凝土橋梁裂縫表面影像後，數個重要步驟包含：

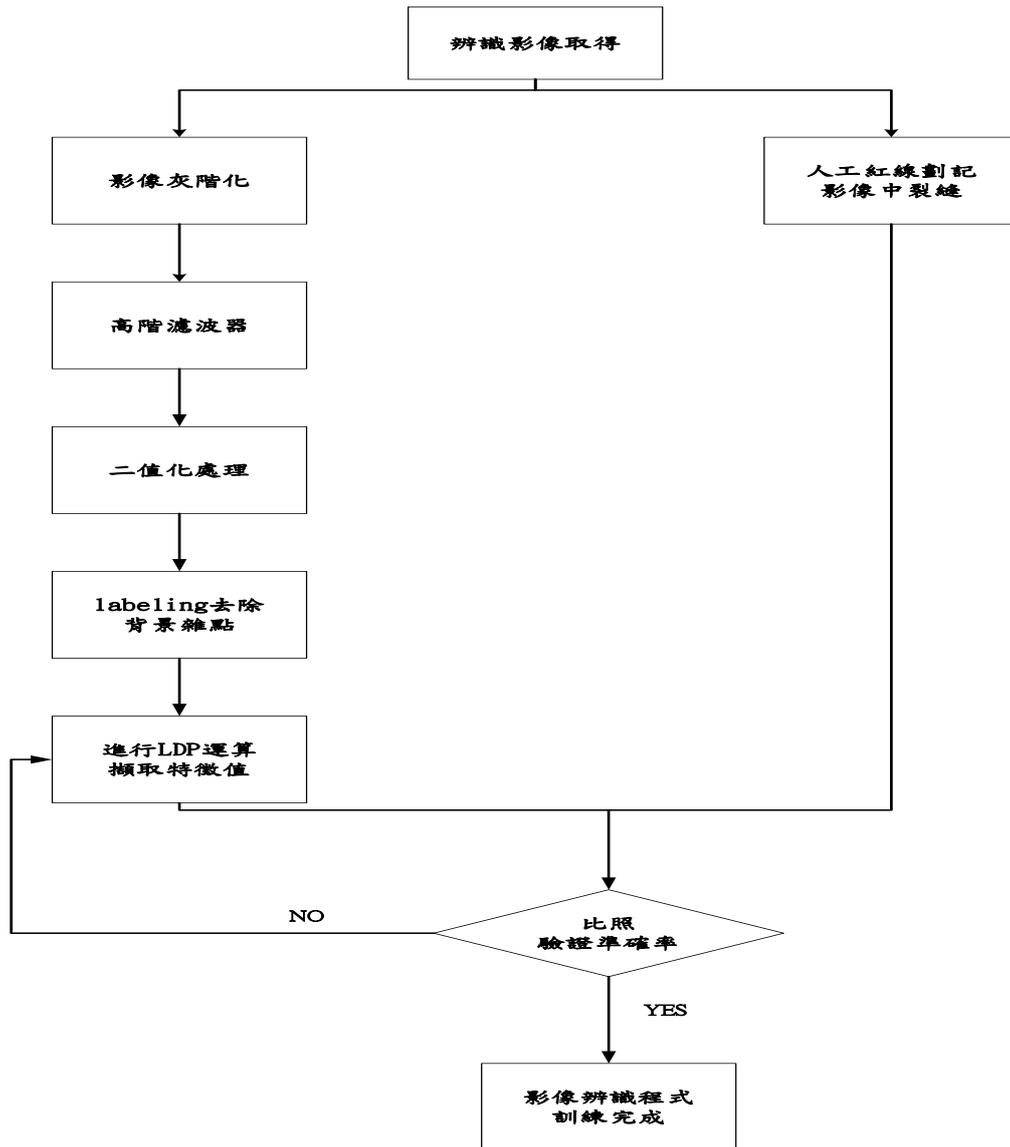


圖 2.13 自動化影像辨識橋梁裂縫流程

1. 影像灰階化處理取得之原始彩色影像：以人眼來看待彩色影像，可以很輕易的辨識出照片裡的物體，對於電子機器來說，用於辨識的影像色彩越單純，構圖背景越簡單，越能快速的辨識出裡面的物體；一張彩色影像由 RGB(紅色，綠色，藍色)三種色彩參數構成，而每種參數的範圍依照深淺

度不同各有 256 個值(0~255)，若是以原始彩色影像給予電子機器做辨識會使其運算工作龐大影響效率，所以影像灰階化在於將由 RGB 三原色共 24 位元且不同參數數值 0~255 所組合而成的彩色影像轉換至僅由不同深淺之灰度值所以組成 8 位元黑白影像，如此一來可以大幅減少機器在運算時所耗費的時間資源和記憶體使用空間，且不會造成運算式過於冗長。

2. 高通濾波器去除影像內低頻雜訊：濾波器常用來處理數位訊號工具，其基本功能為選擇特定之訊號頻率使其通過和抑制雜訊的干擾，只要具備上述兩者功能便可稱為濾波器，其運用範圍相當多方面，例如特定電子訊號的過濾，音訊頻率挑選和去除雜音，而本研究則利用濾波器用來處理影像圖片中的雜訊，經由此步驟可有效降低灰階化圖片銳利程度，使影像邊緣較平滑，有效降低影像中雜訊干擾，讓裂縫特徵突顯出來。
3. 二值化分離出影像之主題與背景：二值化為影像分割手法，由於二值化後影像較容易儲存、處理與辨識，因此在形態學及影像辨識處理中經常會被使用到，形態學(morphology) 係研究動植物形態生物學門，但在影像方面，則是用來擷取出影像中特定資訊的技術。在影像處理中，如影像分割 (Segmentation)，邊緣檢測 (Edge detection)，細線化 (Thinning)，骨架抽出(Skeletonizing)，去雜點(Labeling)皆是影像型態學的技術之一；與具有強大認知能力的人眼視覺不同，影像辨識處理及電子機器視覺技術對於色彩鮮豔或是複雜構圖認知能力遠不及人類，但如果透過二值化處理可以降低影像圖片中之複雜訊號，影像圖片黑白色差會相當明顯，能夠將背景和主題清楚分開，使其在後續定位和辨識處理減少辨識錯誤率的發生及可加快影像處理速度。
4. labeling 去除不必要的雜點：影像二值化之後，可以得到一個二元的影像圖片，但亦由於取樣影像混凝土表面因素，除裂縫被突顯出來外，有許多雜點一併顯示出來，因此經過 LABEL 去除影像中干擾主體之雜訊，LABEL 能對以 RGB 和限制條件輸出之影像去除不需要之雜訊，且設定去雜訊大小。
5. 演算法擷取裂縫之特徵：原始裂縫影像經過上述影像處理步驟後，已可得較明顯裂縫影像，但於影像辨識上略顯不足，由於影像已經二值化處理，對於機器觀點屬於非裂縫和屬於裂縫像素點皆屬於灰階閾值為0的黑點，為減少辨識誤差，利用裂縫主線彎曲不平方向性進行特徵擷取。例如，LocalDirectional Pattern 演算法，可計算影像邊緣在不同方向梯度值，並將其編碼，找出該像素點在不同方向特徵值，由於梯度值變化比灰階值相比更為穩定，即使影像中有雜訊或非單一光源情況下，該演算法仍能求得相同之特徵值。
6. 原始圖上裂縫部分畫記紅線比對以驗證其辨識準確率。

## 2.2.6 其它橋梁檢測設備

除了上述橋梁檢測設備與技術外，輔助檢測之監測網路亦已普遍被使用。由於橋梁構件(如大梁、橫梁、橋面版和支承等)多達20餘種(圖2.14)。換言之，一座橋梁可能有數百甚至上千個構件。為使橋梁檢測更即時和簡便，在橋梁重點構件上安裝敏感性感應器(如地震儀、風速計和光纖網路)後，檢測人員可掌握橋梁的結構情況(如位移、速度、加速度和溫度)，進而達成橋梁檢測目的。例如，一旦橋梁構件感應器發出異常訊息時，橋梁檢測人員可以透過監視設備觀察現場並做出判斷。此外，針對特殊目的，例如裂縫寬度、混凝土崩落厚度，所設計的特定檢測儀器(圖2.15)亦可用於橋梁檢測上，唯僅能獲得有限的檢測資料。

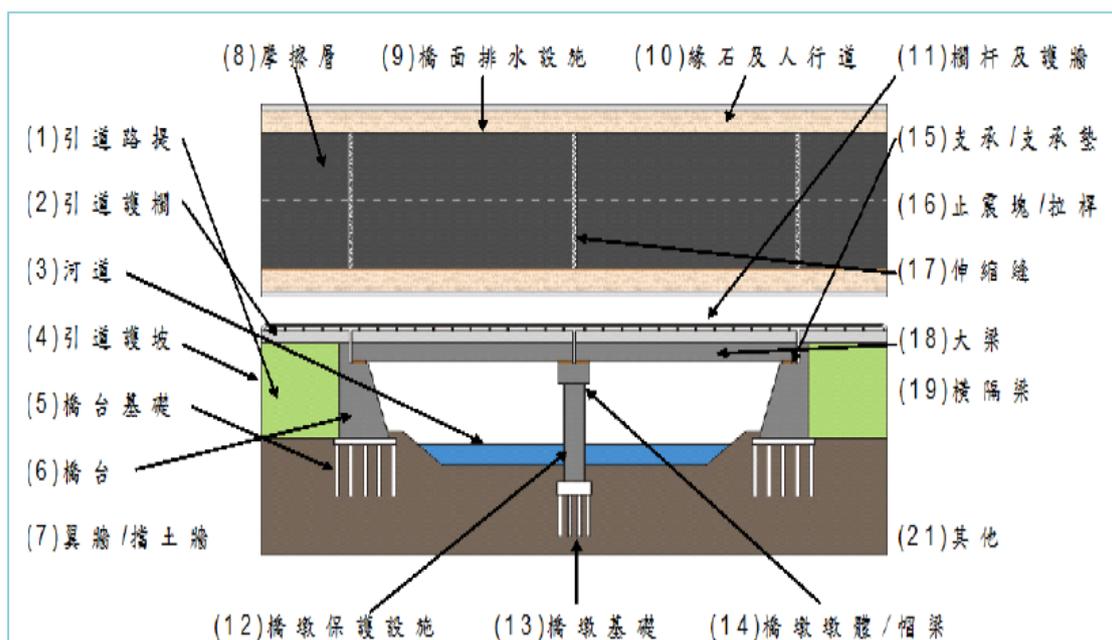


圖 2.14 橋梁構件說明示意圖



圖 2.15 裂縫觀察儀

以國立中央大學橋梁中心針對新竹縣市所建構的橋梁安全預警系統為例(圖 2.16)。為偵測橋墩傾斜與崩落，需先將落橋偵測裝置安裝於橋梁元件，包含：雙軸向傾斜計、落橋偵測迴路、電位控制器和無線通訊模組。然而，臺灣有2.9萬餘座的橋梁，基於維護成本考量，要在每一座橋的每個構件均安裝上感應器是一件不容易的事。



圖 2.16 新竹中正大橋與橋梁安全預警系統

## 2.3 國際特殊橋梁檢測設備

由於世界各國因自我需求與政策建造了各式各樣的橋梁，為管理這些橋梁，不同國家也各自發展出特殊的檢測設備。相同的目的均為協助檢測人員接近橋梁構件進行目視檢測。本期計畫列舉數項可供國內參考的檢測設備，包含：

1. 長桿攝影機：如圖 2.17，檢測人員使用一根長桿架上攝影機，如欲跨河橋時，搭載裝置長桿攝影機的船進行橋下之檢測。由於該桿材質為輕量化的多段伸縮式碳桿，故機動性尚稱優良且竿長可伸展達 9-11m。檢測人員可以一邊透過手中的螢幕確認影像，一邊遠端操作攝影機的快門、縮放、傾斜機能。

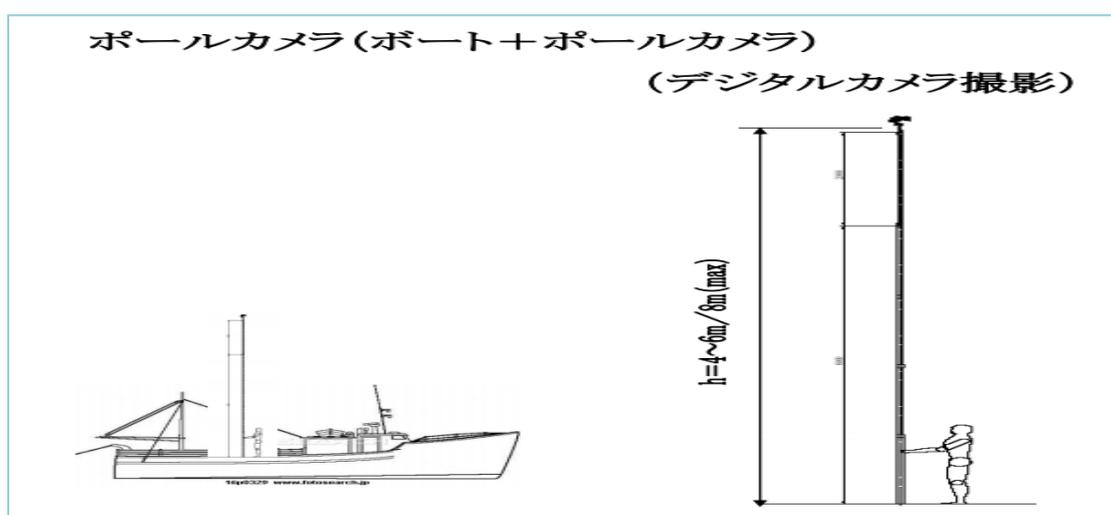


圖 2.17 長桿攝影機

2. 紅外線掃瞄車：如圖 2.18，這是結合紅外線攝影與影像辨識技術於行走車輛的橋梁檢測技術。藉由車輛經過橋梁時，利用紅外線廣泛掃描路面後，藉由筆記型電腦的數據分析查看橋梁構件是否有異常。儘管這裝置對於橋梁交通的影響甚低，因為一般行車速度下(80KM/Hr)，該裝置亦可運作，但無法接近的橋梁構件則無法同時檢測。



圖 2.18 紅外線掃瞄車

3. 超音波鐵路橋檢測車：鐵路橋為橋梁分類的一種，且是常見的大眾運輸網，往往幅員遼闊。如圖 2.19，為確保鐵軌的安全性，國外廠商利用行走車輛加裝超音波感應器的方式進行相關檢測。但鐵路橋與一般橋梁有較多不同構件且安全標準不同，故該檢測方式較不適用於一般橋梁檢測。



圖 2.19 超音波鐵路橋檢測車

4. 爬行檢測車：如圖 2.20，藉由小型爬行裝置運行於橋梁構件上進行構件檢測。這類的裝置的優勢在於可攀附於水泥表面，若再搭載攝影設備即可進行影像擷取。但目前相關研究顯示其電池續航力、附載能力和特殊橋梁仍是需要克服的困難。



圖 2.20 爬行檢測車

## 2.4 我國橋梁檢測設備應具備之功能需求

TBMS 是橋梁管理機關做為管理決策之依據，而橋梁檢測設備更是確保 TBMS 中所記錄之資料存在完整及詳實之基礎。因此，當前橋梁檢測設備應具備三項主要功能需求：

1. 確保檢測人員之工作安全性：臺灣地狹人稠，多數橋梁均負載龐大的交通量，如果能讓檢測人員在車水馬龍的環境下安全地完成橋梁檢測，將是提升橋梁檢測效能的一大突破。
2. 確保橋梁檢測之合理效益性：我國橋梁管理單位每年僅能編列有限的橋梁檢測費用。如果能基於這些預算，讓橋梁管理單位完成眾多橋梁待檢測的需求，亦或檢測承攬商在有利潤下確實檢測，將使橋梁檢測效益達到最佳狀態。
3. 確保橋梁檢測之紀錄詳實性：我國的橋梁型式十分多樣且跨河橋的比例不算低，如果能讓檢測人員克服檢測路徑中的種種障礙，將能提高檢測紀錄的詳實性。

為滿足上述三需求，本期計畫認為 UAV 是一可提升橋梁檢測效益的輔助工具。比較 UAV 與其他橋梁檢測設備後，表 2.2 顯示 UAV 屬低採購和維護成本、低人力需求、低檢測範圍(含長度與高度)限制、高可攜性、高安全性、快速資料蒐集和容易重複執行檢測。唯易受現地氣候影響，例如下雨和雷擊會導致 UAV 異常。

表 2.2 UAV 與其他橋梁檢測設備之比較

橋梁檢測設施	UAV	迷你橋檢車	3D 雷射攝影	行動裝置	輔助檢測之 監測網路
橋梁檢測方式	儀器為主 使用者為輔	使用者為主 儀器為輔	使用者為主 儀器為輔	使用者為主 儀器為輔	儀器為主 使用者為輔
採購和維護成本(新臺幣)	數千至數百萬元	數十萬至數百萬元	數十萬至數百萬元	數千至數萬元	數萬至數千萬元
設施運行位置	天空	地面	地面	地面	橋梁自體
可攜性	高	低	高	高	低
人力需求	低	高	中高	高	低
檢測人員安全	高	中高	高	中低	高
一次性自動蒐集全橋影像	可以	不可以	不可以	不可以	可以
檢測範圍限制	中低	中高	中	中高	中高
檢測長度限制	低	低	中	低	中
檢測高度限制	低	高	中	高	中
橋梁檢測速度	快	慢	快	慢	快
辨識劣化能力	中高	中高	中高	中低	中高
重複執行檢測	容易	不易	容易	不易	容易
檢測資料完整	完整	完整	完整	不一定完整	完整
設施維護難易	中低	中	中高	中低	中高
整合 TBMS	可	可	可	可	可
主要限制	現地氣候會影響檢測可行性	橋上狀況會影響橋檢車之運作	橋梁元件無法全部納入攝影範圍	地面障礙物會影響檢測可行性	需大量安裝於橋梁構件

為進一步地了解本期計畫與其他橋梁檢測設備的差異性，透過 SWOT 分析法，本期計畫描述了 UAV 的優勢(Strengths)、劣勢(Weakness)、機會(Opportunities)和威脅(Threats)。在優勢方面，UAV 為唯一於天空中進行橋梁檢測之設施，故不受地面障礙物影響；操作方式簡單，故無經驗者亦可完成檢測資料蒐集。在劣勢方面，UAV 受橋梁現地氣候影響和有限的電力供應。在機會方面，UAV 可同時檢測交通設施周邊並可搭配多數橋梁檢測設備。在威脅方面，UAV 不似 3D 雷射攝影和輔助檢測之監測網路可同時檢測大範圍下的橋梁構件。



### 第三章 前期計畫回顧

#### 3.1 UAV 組裝

依據當前民航法條文修正草案，前期計畫所使用之無人飛機重量(低於 5 公斤)屬地方政府管理，且飛行高度已限定於 400 呎內，所採用的 UAV 零組件可歸納為五大模組，說明如下：

1. 飛行模組：UAV 支架-用以組合所有零組件於一體，支架長度多以兩相對軸的長度為主，單位則多以公厘為計算。此外，根據兩兩支架軸的交合角度又區分出 X(夾角均同)與 V(夾角相差 30°)型。飛行控制器-UAV 的主要核心，可傳送、接收、執行、計算、儲存所有飛行資訊、指令和紀錄。目前坊間已有超過十種以上的飛行控制器，表 3.1 和圖 3.1 顯示前期計畫比較了五種受歡迎的飛行控制器。最後前期計畫決定採用 Pixhawk 飛行控制器，主要原因在於使用高速運算處理器、支援國際規範、允許使用者開發套件、支援四至八軸、具備安全規範等。飛行馬達-透過順時針或逆時針的轉動產生氣流，進而輸出飛行動力。正反螺旋槳-配合飛行馬達的轉動方向安裝正槳(逆時針轉動)或反槳(順時針轉動)。電子變速器-當 UAV 動作時，例如前進、後退、旋轉，飛行馬達的轉速必須做出不同轉速，因此需要透過電子變速器達到此目的。

表 3.1 飛行控制器的比較

名稱	DJI NAZA	Pixhawk	SmartAP	APM Arduino	Autoquad
開發國別	中國	美國	俄羅斯	美國	德國
價格 (新臺幣)	10,000	10,000	10,000	9,500	15,000
支援軸數	4-8	4-8	4-6	4-8	4-12
自主開發 軟體	不可	可	可	可	可
組態耗時	30 分鐘	30 分鐘	35 分鐘	30 分鐘	90 分鐘
包含配件	GPS+Compass	GPS+Compass	Compass	GPS+Compass	GPS+Compass
國際協定	無	Mavlink	Mavlink	Mavlink	Mavlink
支援記憶 卡	無	有	有	無	有
圖示	圖 3.1 左一	圖 3.1 左二	圖 3.1 中	圖 3.1 右二	圖 3.1 右一



圖 3.1 前期計畫所比較的不同飛行控制器

2. 定位模組：電子羅盤-允許 UAV 辨識基本的東西南北四方位。全球衛星定位器-相較於電子羅盤，此零組件可讓 UAV 取得更精確的地理位置，即經緯度。
3. 電力模組：電源配置器-同時提供電源給多顆飛行馬達使用，前期計畫所採用的電源配置器可依據飛行馬達數量自行設定支援四、六或八個飛行馬達(圖 3.2)。電池-主要提供電力給飛行控制器和電源配置器，目前市面規格主要以 4S 或 6S Li-po 電池為主，且正常使用和運作下也非常安全。

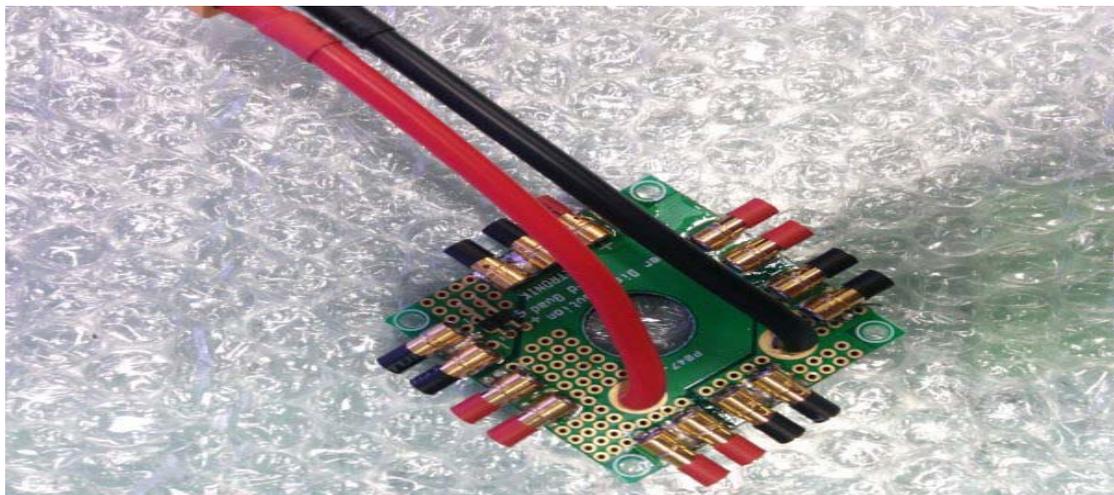


圖 3.2 支援 4-8 軸的電源配置器

4. 控制模組：訊號傳輸器-UAV 接收飛行指令的傳輸設備，例如 UAV 的模式切換。資料傳輸器-傳輸飛行指令以外的所有資料的必須設備，例如即時影像。如檢測人員僅一人時，亦可透過輔助支架將平板電腦架設於遙控器上以便觀看即時訊息，如圖 3.3 所示。



圖 3.3 輔助支架支撐平板電腦

5. 負載模組：攝影機-可在動態下擷取橋梁構件影像或拍照，表 3.2 為前期計畫比較之三類型攝影機，最後選用 GoPro Hero3+ Black 版本。攝影機雲臺-因為 UAV 飛行時，會受氣流影響或飛行姿態的改變，為使橋梁構件的擷取影像清晰穩定，因此前期計畫加裝了攝影機雲臺(圖 3.4)，其作用在於降低攝影機受 UAV 的晃動干擾。此外，單一攝影機恐不能滿足橋梁構件的拍攝，前期計畫透過不同轉接頭(圖 3.5)使額外輔助攝影機能全方位的掛載到所使用的 UAV 上。

表 3.2 影像設備比較

	GoPro Hero3+ Black	ISAW A3 EXTREME	BENQ SP1
防水能力	40 米	60 米	60 米
重量(含電池)	72 公克	110 公克	78 公克
視角範圍	150	150	140
影片解析度	4K, 2.7K, 1440P, 1080P, 960P, 720P, 480P, WVGA	1080P, 960P, 720P, 480P	1080P, 960P, 720P, QGVA
相片解析度	4096x2160, 3648x2432, 1920x1080	4000x3000, 3648x2432, 3648x1052	4000x3000, 3200x2400, 2592x1944
使用時間	150 分鐘	120 分鐘	100 分鐘
遠端遙控	WiFi	WiFi	WiFi/2.4G
價格(新臺幣)	14,000 元	12,000 元	7,000 元
照片			

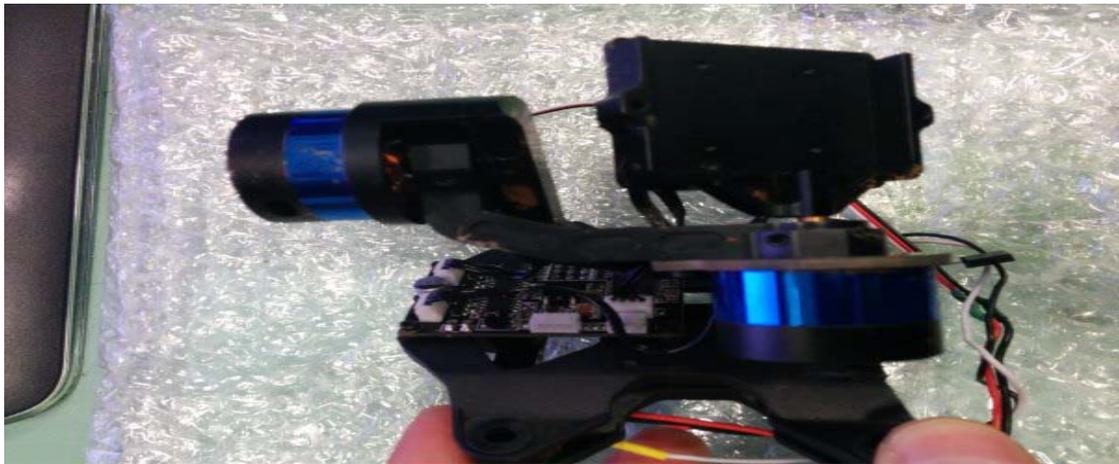


圖 3.4 前期計畫使用的攝影機雲臺

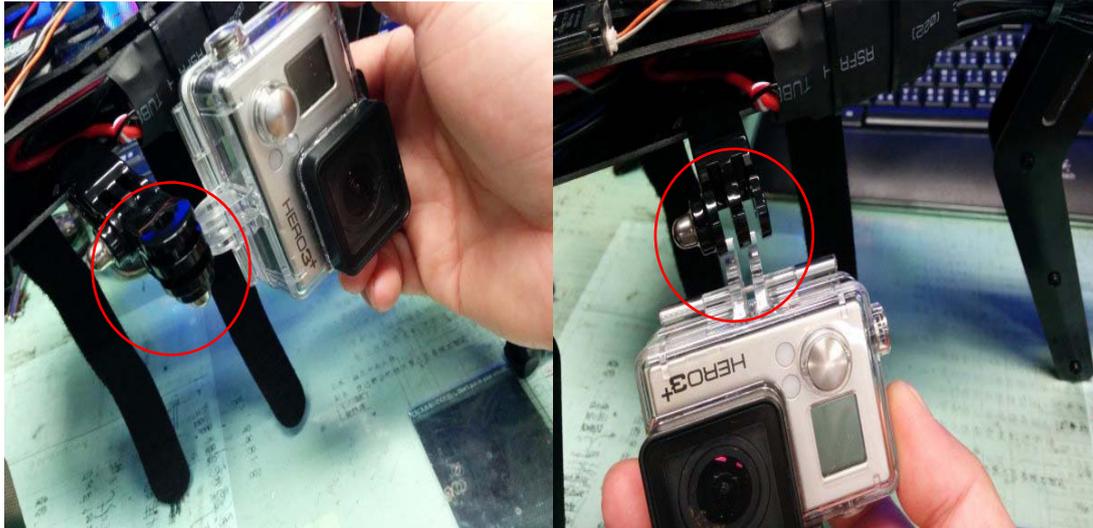


圖 3.5 前期計畫使用的攝影機轉向接頭

### 3.2 UAV 測試

前期計畫於完成 UAV 和相關設備組裝後，於不同的地點和氣候環境下進行了兩個主要測試，表 3.3 為 UAV 穩定性測試以便篩選出適當的機型和表 3.4 為單一機型下的耐久性測試。測試過程中，前期計畫透過手持式電子磅秤獲得測試 UAV 的總重(圖 3.6 左)；數位風速計量測試時的風力等級(圖 3.6 中)；和數位電壓計取得測試電池的電量狀態(圖 3.6 右)。測試使用的電池共有五種規格(圖 3.7)，分別為 3S 3500mAh、4S 5200mAh、4S 8000mAh、4S 10,000mAh 和 4S 15,000mAh。



圖 3.6 測試使用的不同設備



圖 3.7 測試使用的不同電池

表 3.3 UAV 穩定性測試

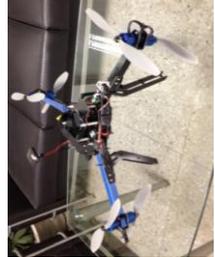
測試編號	1	2	3	4	5	6
機體型式	V-四軸	X-四軸	Y-六軸	X-六軸	X-雙四軸	X-八軸
機體軸距	530mm	550mm	550mm	680mm	550mm	930mm
機體軸數	4	4	6	6	8	8
機體總重	1270g	1580g	1970g	2810g	2290g	3580g
馬達型式	810KV	880kv	810kv	810kv	810KV	910kv
槳型式	10x55	10x55	10x47	10x47	10x47	10x47
電池型式	3S 11.1V 3500mAh	4S 14.8V 5200mAh	4S 14.8V 5200mAh	2 顆*4S 14.8V 5200mAh	4S 14.8V 5200mAh	2 顆*4S 14.8V 8000mAh
負載設備	無	無	無	無	無	無
通訊強況	良好	良好	良好	良好	良好	良好
最大陣風	5.7m/s(4 級風)	6.9m/s(4 級風)	4.7m/s(3 級風)	1.2m/s(2 級風)	6.2m/s(4 級風)	6.3m/s(4 級風)
飛行高度	5m	6m	5m	5m	7m	5m
滯空時間	8 分鐘	17 分鐘	8 分鐘	9 分鐘	9 分鐘	9 分鐘
測試地點	中大工一館 4F	中大工一館 4F	中大工一館 4F	開南大學操場	開南大學操場	中大工一館 4F
其他	電力殘存 10%	電力完全損耗	電力殘存 20%	電力殘存 20%	電力殘存 20%	電力殘存 20%
圖片						

表 3.4 UAV 耐久性測試

測試編號	1	2	3	4	5	6
機體型式	Y-六軸	Y-六軸	Y-六軸	Y-六軸	Y-六軸	Y-六軸
機體軸距	550mm	550mm	550mm	550mm	550mm	550mm
機體軸數	6	6	6	6	6	6
機體總重	1970g	2150g	2520g	2520g	3680g	3300g
馬達型式	810kv	810kv	810kv	810kv	810kv	810kv
槳型式	10x47	10x47	10x47	10x47	10x47	10x47
電池型式	4S 14.8V 5200mAh	4S 14.8V 8000mAh	2 顆*4S 14.8V 5200mAh	4S 14.8V 5200mAh+8000mAh	4 顆*4S 14.8V 5200mAh	2 顆*4S 14.8V 10000mAh
負載設備	無	無	無	無	無	無
通訊強況	良好	良好	良好	良好	良好	良好
最大陣風	4.7m/s(3 級風)	4.8m/s(4 級風)	1.3m/s(1 級風)	2.5m/s(2 級風)	3.7m/s(3 級風)	7.8m/s(4 級風)
飛行高度	5m	6m	3m	3m	3m	3-6m
滯空時間	8 分鐘	13 分鐘	16 分鐘	12 分鐘	4 分鐘	22 分鐘
測試地點	中大工一館 4F	中大工一館 4F	開南大學操場	開南大學操場	中大工一館 4F	開南大學操場
其他	電力殘存 20%	電力殘存 10%	電力殘存 20%	電力殘存 40%	電力殘存 92%	電力殘存 20%

關於 UAV 穩定性測試，前期計畫的評估結果為：

1. 比較試驗 1、3、6 可知當軸數越多時，電力消耗越快。
2. 試驗 2 顯示將電力損耗到 0% 時，飛行時間可以達到極限，但 UAV 會無預警的摔落，且電池有損壞之疑慮。
3. 比較試驗 5、6 可知高轉速馬達會加速電力的損耗。
4. 比較試驗 3、4 和 5、6 可知機體越重和軸距越長下，電力的損耗會較快。
5. 風速越高下，機體要保持固定位置越困難。但相同風級下，較大機體軸距可有較好穩定性。

故在有限電力下，為保有較佳穩定性下，本建議認為 UAV 的機體選擇上 X-四軸、Y-六軸和 X-雙四軸均是良好的選擇。但風力三級以下，X-四軸已足完成多數橋梁構件影像擷取，若風力為四至六級間，基於負載與抗風能力，Y-六軸和 X-雙四軸又優於 X-四軸。

因 Y-六軸的整體重量會輕於 X-雙四軸，前期計畫在針對 Y-六軸進行更進一步測試。為了解 Y-六軸與不同電池組間的關係，前期計畫試驗了一系列的耐久性測試，並提出評估結果：

1. 比較試驗 1、2 可知電池的容量越大，飛行時間確實可以增長。
2. 試驗 4 可知並聯電池使用時，應避免不同規格混用，因飛控裝置可能會誤判電池容量。
3. 比較試驗 2、3、6 可知飛行要超過 10 分鐘，目前認為總電量至少需要 8000mAh 始有可能。
4. 試驗 5 可知一味地增加電池數量並不會有顯著的飛行時間，因為機體重量會大幅增加而導致 UAV 無法負載。
5. 試驗 6 可知飛行要超過 20 分鐘，目前認為總電量至少需要 20000mAh 始有可能。
6. 目前自動飛行設定為 3m/s，以一顆 10000mAh 電池而言，可飛行時間約 18 分，故總飛行里程為 3.24 公里，對於一般中小型橋梁應可應付單次檢測。但對於大型橋梁，可能需要分次進行橋梁構件影像擷取
7. 當強風下，飛行高度建議應超過 5m，因受風切與風向不確定情況，UAV 飛行高程易產生劇烈變化。

### 3.3 系統架構

前期計畫所提之橋梁構件影像自動擷取系統係由 UAV 和地面控制程式所構成，如圖 3.8 所示。第 3.1 和 3.2 為前期計畫 UAV 的說明。第 4.4 則為前期計畫地面控制站的介紹。

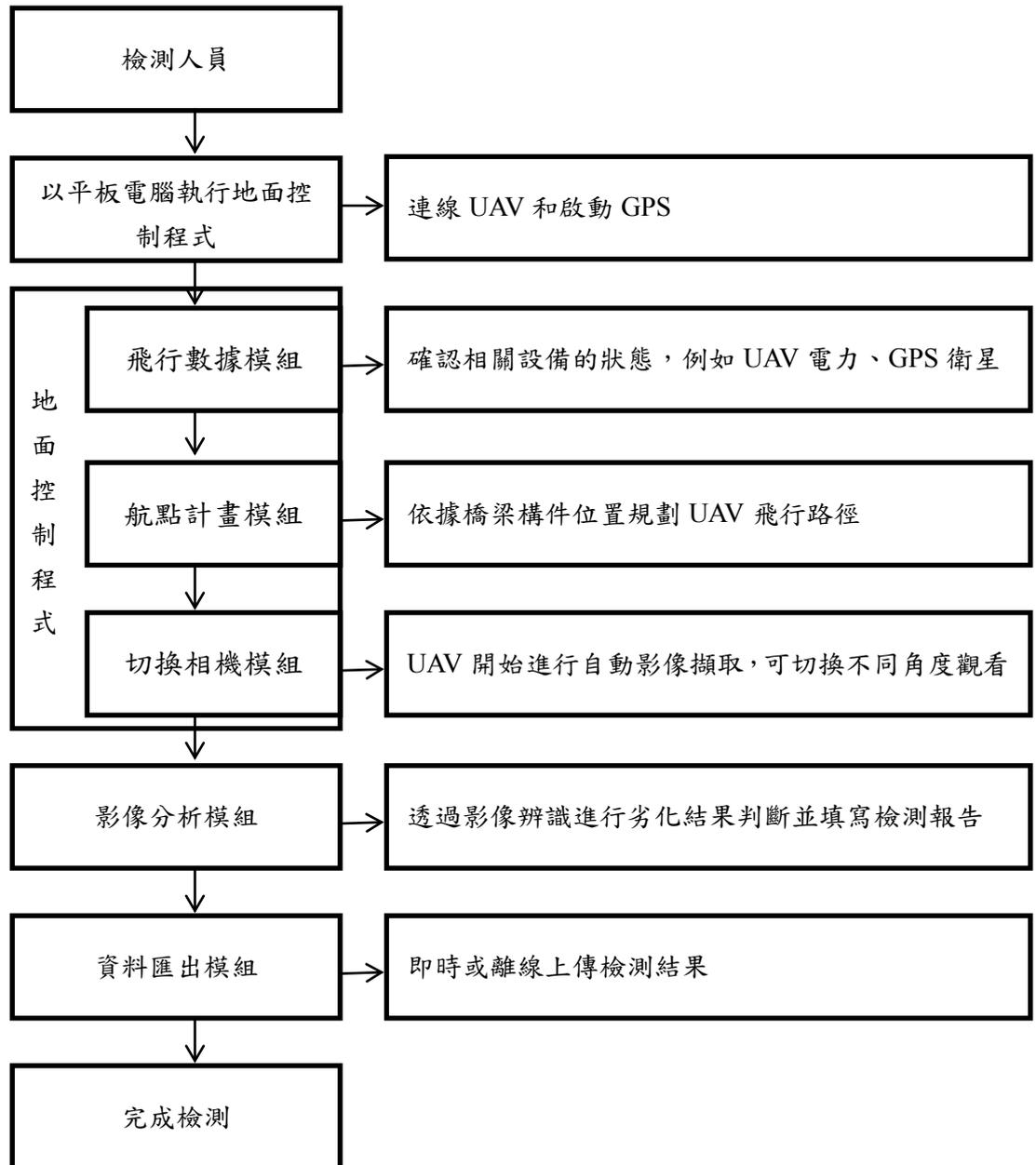


圖 3.8 應用橋梁構件影像自動擷取系統於橋梁檢測的流程圖

### 3.4 地面控制程式

地面控制程式是一個可與 UAV 進行即時溝通的應用軟體。這程式除了可即時地顯示 UAV 地狀態和位置，亦可隨時地接收新任務命令和設定參數。考量檢測人員攜帶筆記型電腦的不便和整合 TBMS2 App 的需求，前期計畫開發一可於 Android 平板電腦上運作的地面控制程式。基於表 3.5 比較三款高階平板電腦後，前期計畫決定採用 Samsung Tab Pro 8.4，因其具備較高運算能力、較精準定位能力和較大螢幕解析度。

表 3.5 Google Android 平板電腦比較

	Samsung Galaxy Tab Pro	Google Nexus	LG G Tablet
處理器	Qualcomm 四核心 2.3 GHz	Qualcomm 四核心 1.5 GHz	Qualcomm 四核心 1.7 GHz
重量(含電池)	335 公克	290 公克	338 公克
記憶體	2 GB	2 GB	2 GB
螢幕尺寸	8.4 英吋	7 英吋	8.3 英吋
無線傳輸	WiFi/藍芽	WiFi/藍芽	WiFi/藍芽
相機	前後鏡頭	前後鏡頭	前後鏡頭
作業系統	Android 4.4	Android 4.3	Android 4.2
定位能力	雙定位系統	單定位系統	單定位系統
價格(新臺幣)	17,000 元	9,000 元	8,500 元
照片			

本程式主要包含三個系統模組，即飛行數據、航點計畫和切換相機模組。同時，檢測人員可依個人需求將地面控制程式設定為橫向(圖 3.9)或直向(圖 3.10)操作。前期計畫將分別說明這三個模組的功用與內容。



圖 3.9 橫向操作地面控制程式

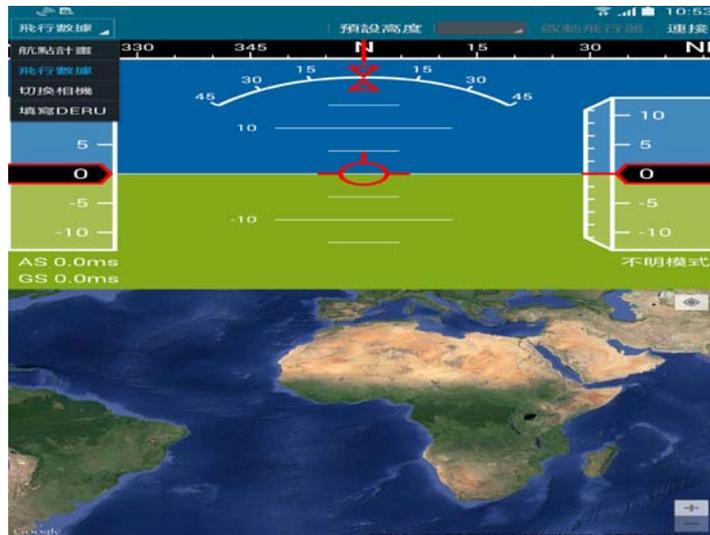


圖 3.10 直向操作地面控制程式

### 3.4.1 飛行數據模組

當檢測人員抵達橋梁現場時，基於行動裝置的全球衛星定位裝置，此模組會將檢測人員和鄰近橋梁的訊息顯示於地理資訊系統(GIS)上。在 UAV 擷取橋梁構件影像的前、中、後三個階段，此模組可提供檢測人員了解 UAV 的即時狀態。圖 3.11 顯示擷取橋梁構件影像前，橋梁檢測人員可知道 UAV 基本狀態，包含當前的電力、平衡狀態、通訊品質和全球衛星定位能力。擷取橋梁構件影像中，橋梁檢測人員可知道 UAV 基本狀態和檢測細節，包含 UAV 飛行路徑、即時任務狀態和檢測高程。擷取橋梁構件影像後，橋梁檢測人員可知道 UAV 基本狀態和任務完成結果。



圖 3.11 UAV 即時狀態

### 3.4.2 航點計畫模組

此模組主要是允許檢測人員快速且便利地處理 UAV 的飛行路徑。因此，前期計畫透過 GIS 和手勢方法讓檢測人員依據橋梁構件位置規劃 UAV 的飛行路徑。當檢測人員點取行動裝置螢幕時，即可設置不同航點。這些航點會自動串聯成一飛行路徑。爾後，檢測人員可以針對這些航點的屬性進行影像擷取方式的修訂。例如，檢測人員可要求 UAV 於某一墩柱進行  $90^\circ$  偏角的影像擷取。

在飛行路徑的建立過程中，前期計畫提供了數項工具，包含：

1. 現場航點：前期計畫考量到地理資訊與橋梁現地的差異性，檢測人員可於橋梁現場進行精準的航線定位。圖 3.12 顯示前期計畫現地量測發現 GIS 的圖資往往存在極大落差，因此需要手動修正。



圖 3.12 現地確認 GIS

2. 歷史航點：本模組可記載所有執行過的飛行航線(圖 3.13)，waypoints 起始的檔案為製作後的檔案、Site 起始的檔案為現地量測後的檔案、Kml 起始的檔案為匯入的 KML 檔案。

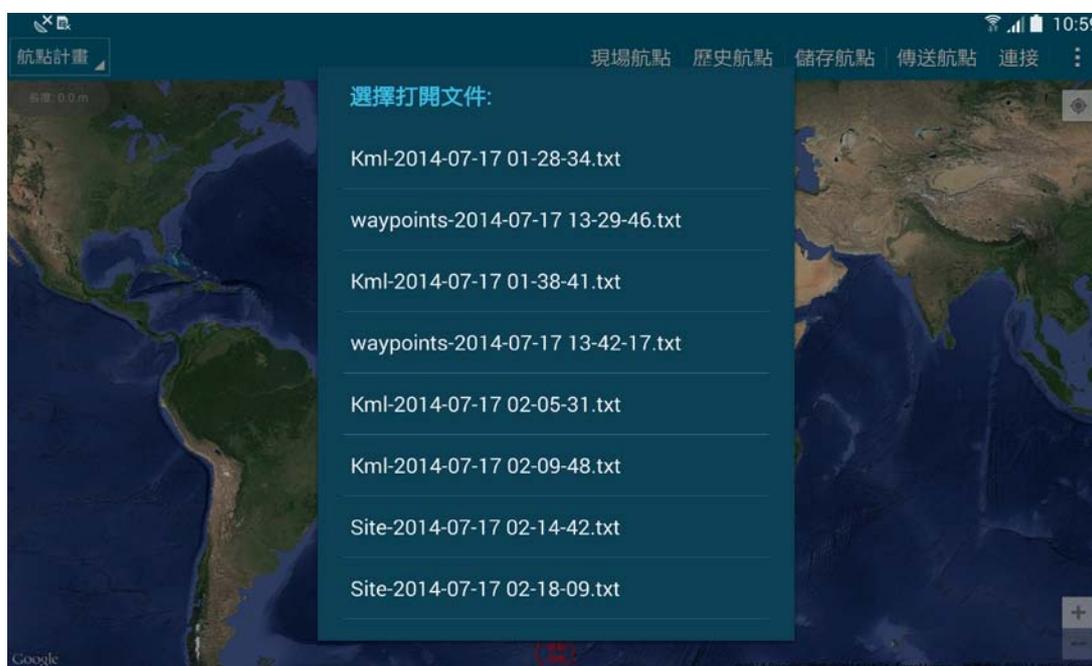


圖 3.13 選擇飛行航線檔案

3. 先前航點：檢測人員可透過此功能下載 UAV 的前次飛行航線。
4. 匯入 KML：為減少檢測人員於現場處理飛行航線的作業，本程式亦可透過匯入 KML 檔案自訂飛行路徑。

為配合不同的影像擷取需求，前期計畫又將航點類別區分成四類，如圖 3.14，包含：

1. 起飛：全自動模式下，設定某特定點為初始飛行點。
2. 航點：設定飛行航線中的特定飛行點。
3. 盤旋：要求 UAV 於某特定點進行轉動或停滯。
4. 降落：指定某特定點為飛行的終點並自動降落。

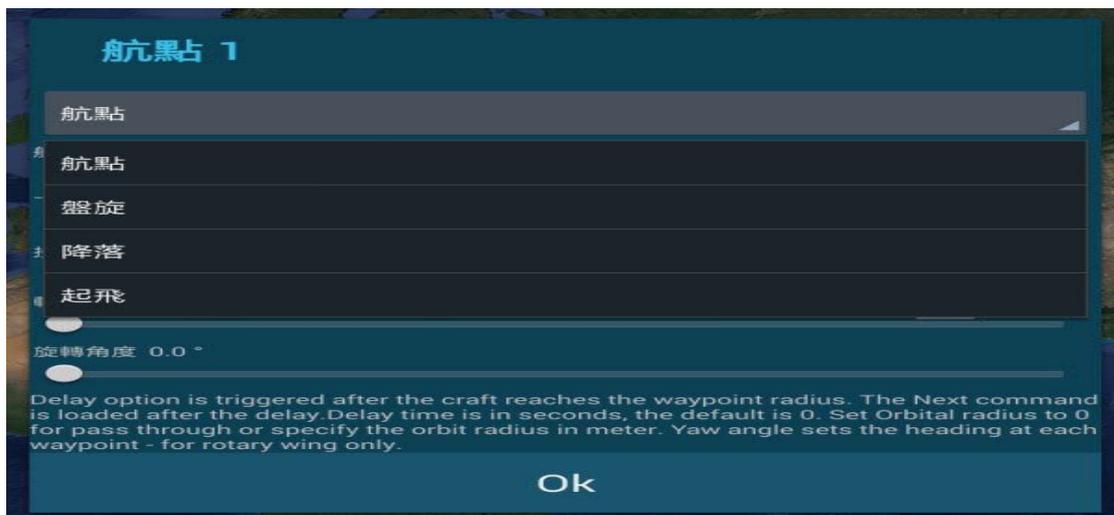


圖 3.14 設定航點類別

此外，搭配第二代 TBMS App 之 3D 模組和不同橋梁構件，前期計畫建議下列數種 UAV 航點型式以便進行影像擷取(圖 3.15-3.16 和表 3.6)，包含：

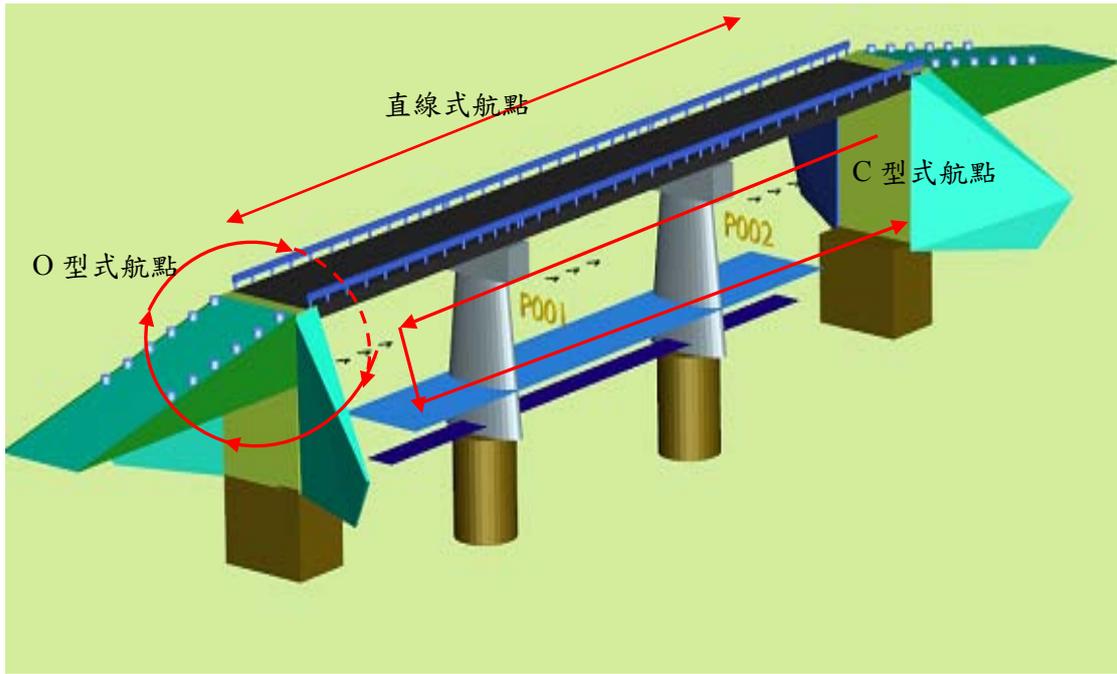


圖 3.15 應對不同橋梁構件的 UAV 航點型式(I)

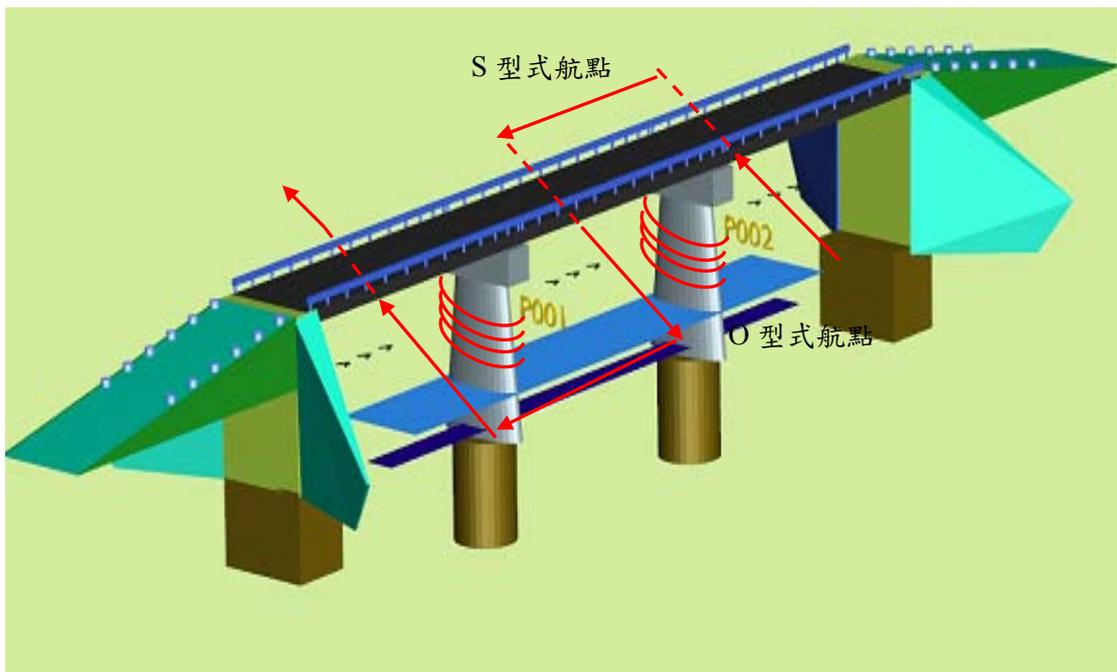


圖 3.16 應對不同橋梁構件的 UAV 航點型式(II)

表 3.6 不同橋梁構件適用之 UAV 航點

航點類型	橋梁構件
直線式航點	橋面版或鉸接版、伸縮縫、摩擦層、排水設施、護欄、緣石及人行道
C型式航點	橋墩基礎、橋墩墩體、橋墩保護設施、河道
O型式航點	橋臺、橋臺基礎、橋墩保護設施、支承墊、止震塊及防震拉桿、翼牆或擋土牆、引道路堤、引道路堤保護設施、引道護欄
S型式航點	大梁、橫隔梁

1. 直線式航點：透過此航點設置，UAV 可擷取一定範圍之橋面版或鉸接版、伸縮縫、摩擦層、排水設施、護欄、緣石及人行道影像。
2. C 型式航點：此航點路徑具備高程差的影像擷取，因此可將大梁兩側和河道影像真實擷取。
3. O 型式航點：可讓 UAV 繞行橋臺，進而一次性地獲得橋臺基礎、翼牆或擋土牆、引道路堤、引道路堤保護設施、引道護欄之影像。同樣地，UAV 可進行蒐集橋墩基礎、橋墩墩體、橋墩保護設施、支承墊、止震塊及防震拉桿等的 360° 影像擷取。
4. S 型式航點：由於大梁面與橫隔梁的分布較長，為避免 UAV 受大梁面與橫隔梁影響 GPS 精度，S 型式航點可滿足這類橋梁構件的影像取得。同時，在不同跨徑下，UAV 均可進行 S 型式航點。

上述建議航點並非固定解決方案，因為仍需依據橋梁結構與所處環境進行最終選用。對於部分特殊情況下，例如劣化發生於橋梁構件交接處、劣化狀態細微，檢測人員仍可以手動操控 UAV 之方式加強橋梁構件影像的擷取。

### 3.4.3 切換相機模組

為盡可能地擷取飛行航線中的所有橋梁構件，前期計畫可同時掛載兩組攝影。一組攝影機為擷取飛行航線中的上方橋梁構件影像，例如橋底橫隔梁；另一組攝影機則為擷取飛行航線中的水平或下方橋梁構件影像，例如大梁側面。當 UAV 運行於飛行航線時，地面控制程式會透過 2.4GHz 的無線網路與攝影機連線，故橋檢人員可即時於行動裝置上觀看橋梁影像，如圖 3.17 所示。同時，檢測人員可針對特定橋梁構件進行攝影或拍照模式的切換。此外，考量檢測人員於現地操作平板電腦時，易受強烈光源影響讀取螢幕訊息，前期計畫亦在 UAV 橋梁構件影像自動擷取系統中加入語音導引之功能。

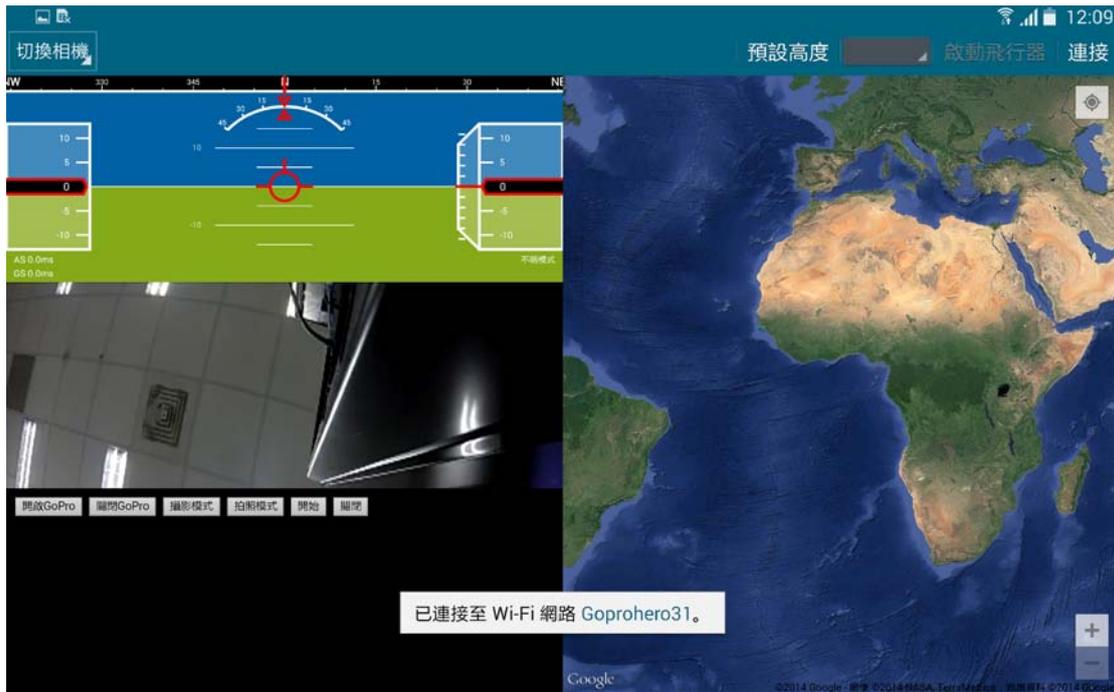


圖 3.17 切換攝影機鏡頭

### 3.4.4 DERU 填寫模組

當 UAV 擷取完橋梁構件後，檢測人員將進行橋梁構件的影像辨別與檢測資料填寫。為便利檢測人員於現地完成此作業，本系統能讓檢測人員以觀看影片或照片的方式進行橋梁構件檢測結果的填寫。由於市面上多數的動態攝影機均不具備地理標籤的功能，意即檢測人員僅觀看本系統所提供的橋梁構件影像並不容易判斷劣化發生的位置。為解決此問題，前期計畫在影像展示過程中提供的影像與地理標籤的同步功能。如圖 3.18 和圖 3.19，當檢測人員載入本系統所擷取之影像時，UAV 的飛行路徑亦會同時載入於 Google Maps 上，該設計將可讓檢測人員清楚地了解影像與橋梁構件間的關聯性。例如，當檢測人員觀看影片時，若發現橋梁構件有劣化時，點選擷取按鈕後，本系統便會將劣化照片傳遞至 DERU 表內(圖 3.20)。

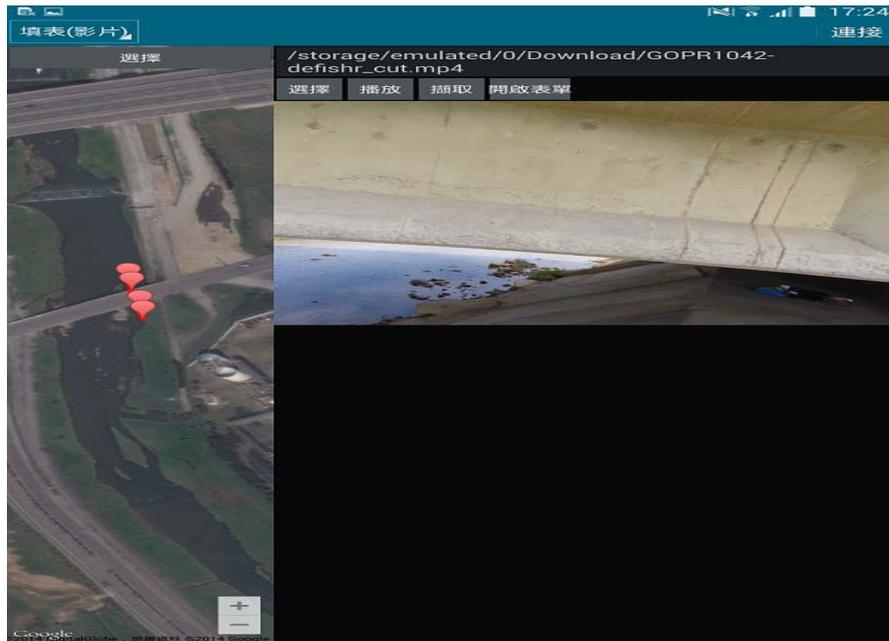


圖 3.18 由觀看影片填寫 DERU

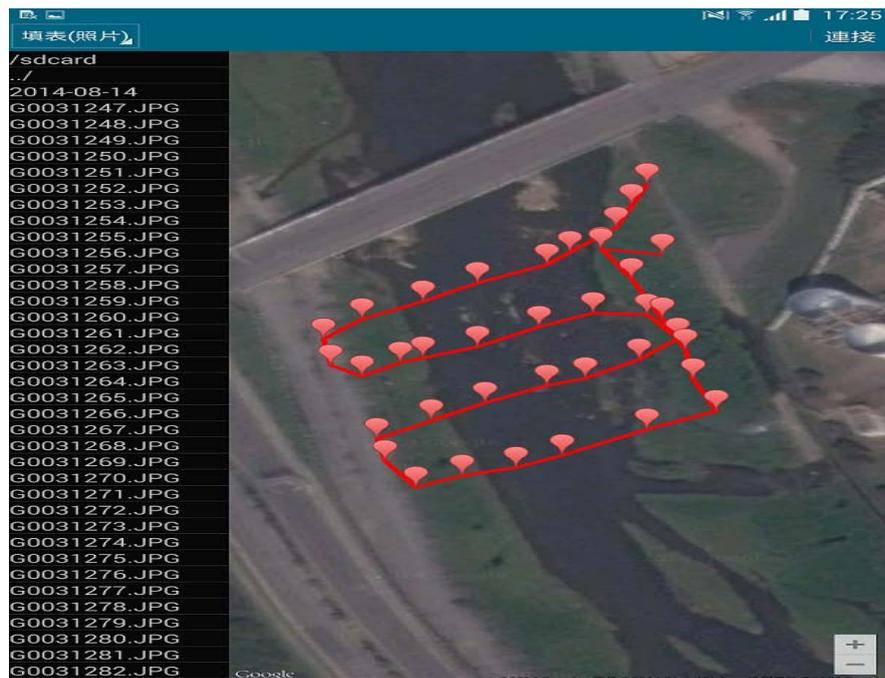


圖 3.19 由觀看照片填寫 DERU

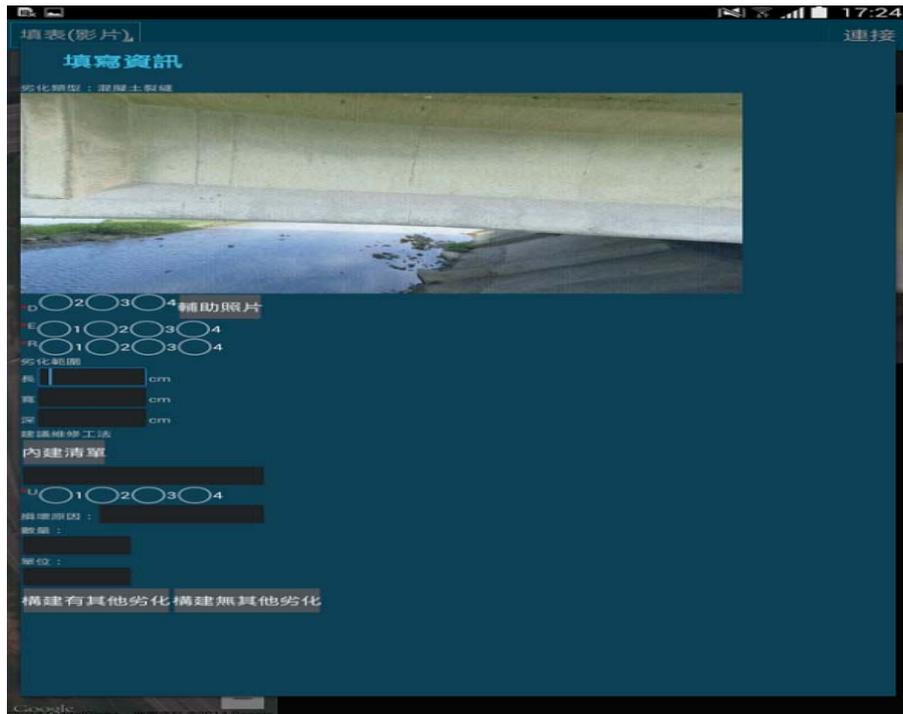


圖 3.20 DERU 檢測表

### 3.5 小結

完成後的橋梁構件影像自動擷取系統預期可達成 3 項成果：

1. 確保檢測人員之工作安全性：對於檢測人員難以到達的橋梁或橋面交通的影響，本系統可輕易到達且無礙交通運行，因此檢測人員攀爬橋梁構件的需求將可降低而確保工作安全性。
2. 確保橋梁檢測之合理效益性：檢測人員僅需一可連線前期計畫所開發的地面控制程式的 UAV 便可進行橋梁檢測。對於 UAV，除了正常的零件耗損外，並無須額外負擔設備費用，因此相較於國內外重要文獻所分析的橋梁檢測技術而言，前期計畫尚屬低成本的高效益方案。
3. 確保橋梁檢測之紀錄詳實性：本系統可搭載 1-2 組的高速攝影機，這些攝影機可以不同角度且廣角下拍攝橋梁構件的影片或影像。檢測人員亦可同時拍攝影片和照片。

故前期計畫對於橋梁檢測紀錄的保存提供了一最佳的方法。

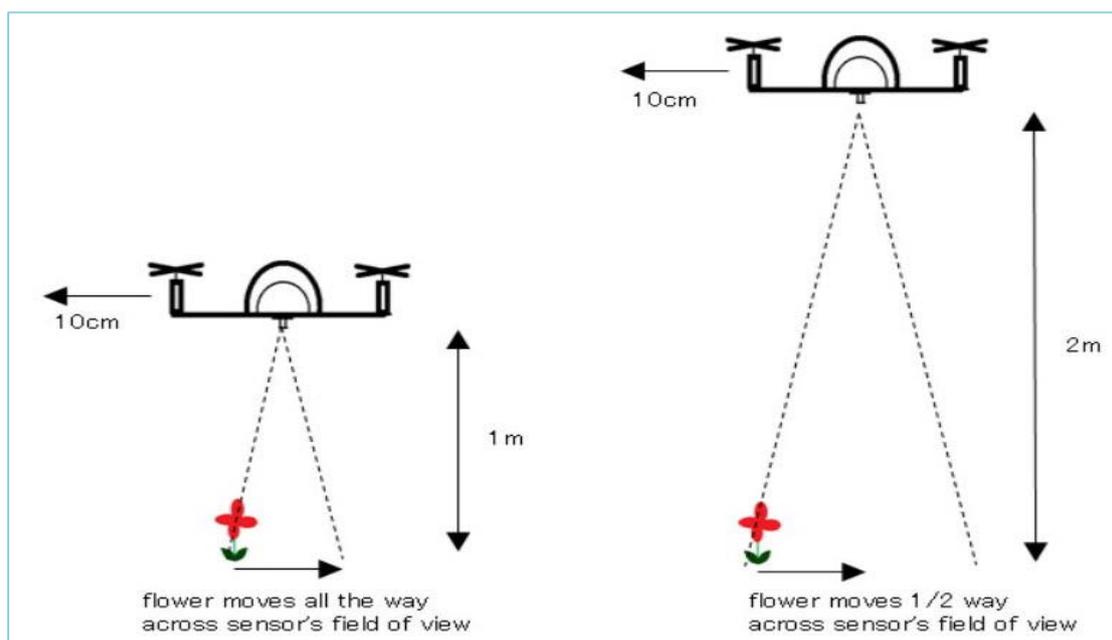
## 第四章 本期計畫新增模組

### 4.1 障礙物偵測模組

橋梁現場常存在電線或樹枝等物體於 UAV 飛行航道上，為使 UAV 能自動偵測這些障礙物的存在。本期計畫認為有二方法：透過光學辨識或透過聲波辨識。圖 4.1 為光學辨識的案例。當 UAV 於飛行過程中，飛行控制器可以計算出當前飛行速度(即 speed)、距離(即 distance)和離地距離(即 altitude)，又因搭載之光學辨識感測器有其影像解析度和擷取範圍(即 resolution pixels 和 field of view)。故透過方程式 1(Eq.1)可換算出感測器範圍內的影像變化率(即 sensor value)。

$$distance\ moved = \left( \frac{sensor\ value * altitude}{sensor's\ resolution\ in\ pixel * scalar} \right) * 2.0 * \tan\left(\frac{field\ of\ view}{2.0}\right) \dots Eq.1$$

本計劃在光學感測器內定義若影像變化率超過 20%就是有障礙物出現。同時，感測器會回饋一個訊號給飛行控制器。收到此訊號時，飛行控制器會自動進行閃避飛行。



F@C2

識偵測障礙物

圖 4.2 為一聲波辨識案例。當 UAV 於飛行過程中，聲波感測器會不斷發出以音頻為基礎的波動。當障礙物出現於飛行範圍內時，此波動會因碰撞障礙物而

反射。當聲波感測器接收到反射波時，可以計算出反射波的接收率(即 k)、接收時間(即 t[發出時間]和 T[回收時間])，故基於飛行速度(即 V)，方程式 2(Eq.2)可以計算出聲波感測器和障礙物之間的距離(即 fd)。同時，聲波感測器會將偵測到障礙物的訊號傳遞給飛行控制器。飛行控制器再依此分析結果進行閃避。

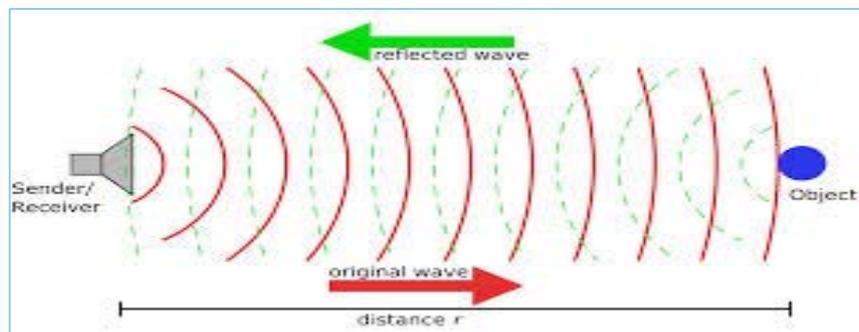


圖 4.2 聲波辨識偵測障礙物

$$V = \frac{V_1}{2} - \frac{V_2}{2} = k \sin \pi f_d T \cos \left[ 2\pi f_d \left( t + \frac{T}{2} \right) \right] \dots \text{Eq.2}$$

目前市面上的常見障礙物感測器如表 4.1 所列。透過表 4.2 的實測，因橋下光線通常較昏暗，光學辨識的精度可能受限且部分感測器並無法一次使用多個，因此本期計畫認為採用聲波感測器將能達到較佳防撞效果。圖 4.3 為本期計畫所發展之防撞式 UAV。圖 4.4-4.5 為不同感測器的測試結果。



圖 4.3 本期計畫的防撞式 UAV

表 4.1 障礙物偵測感測器

	LV-Max	Optical Flow	Lidar-Lite	IR 紅外線
偵測原理	聲波	光學	光學	光學
偵測範圍	10-100 公尺 (誤差 25 公分)	30 公尺 (誤差 10 公分)	50 公尺 (誤差 10 公分)	10-50 公尺 (誤差 50 公分)
價格	新臺幣 1,500-3,000 元	新臺幣 5,000 元	新臺幣 7,000 元	新臺幣 2,000-4,000 元
實體照片				
重	10 公克	50 公克	75 公克	12 公克

表 4.2 障礙物偵測感測器實測結果

	LV-Max	Optical Flow	Lidar-Lite	IR 紅外線
相容性	上或下無法使用	僅能使用一個	僅能使用一個	上或下無法使用
日間	成功	成功	成功	上方失敗
夜間	成功	下方失敗	成功	成功
4 級風	無影響	無影響	無影響	無影響
飛行速度	1M/s 以上失敗	2M/s 以上失敗	1M/s 以上失敗	1M/s 以上失敗



圖 4.4 LV-Max 感測器偵測右側障礙物



圖 4.5 Lidar-Lite 感測器偵測下部障礙物

## 4.2 定位增強模組

由前期計畫已知 UAV 於橋下檢測時，GPS 會受干擾而產生不精準飛行的問題。同時，前期計畫亦已證實過基地臺或 WiFi 分享器會有定位訊號不準確的狀況。若開放檢測人員自行定義座標方式，本期計畫亦認為不可行，因每個檢測人員的座標定義恐有差異。故為改善定位精準性，本期計畫預計採用雙 GPS 模組(圖 4.6)搭配強波訊號之方式。雙 GPS 模組的目的在於擴大 GPS 接收頻道。本期計畫於 UAV 頭尾各裝上一個 GPS，故當 UAV 進入橋下時，機頭的 GPS 會先減少

可定位的衛星數，但機尾的 GPS 仍有較多的衛星數。在此情況下，只要總衛星定位數不低於四顆，UAV 即無失訊問題。當 UAV 於橋下中線時，機頭尾的兩個 GPS 的訊號總和若仍能取得 4 顆衛星訊號，則定位功能不受影響。最後，當機頭將脫離橋下時，前 GPS 會先取得較多衛星數，故 GPS 衛星數總和會持續恢復。由上描述可知，如何確保橋下中線的衛星訊號能維持在最低要求將是一大挑戰，故本期計畫透過訊號放大的方式，延緩訊號斷失的時間。一般衛星接收器的訊號頻率約 3dB，本期計畫預計將訊號放大 10 倍(如圖 4.7)，換言之，斷訊時間可延緩 10 倍。依據前期計畫結果，UAV 通過橋下的時間約 2-10 秒，透過訊號放大的方式，應已足夠應付本期計畫之需求。故雙 GPS 模組之 UAV 將能順利穿過 80 公尺的橋面板，但仍不適用於 80 公尺寬以上的橋面板橋梁。

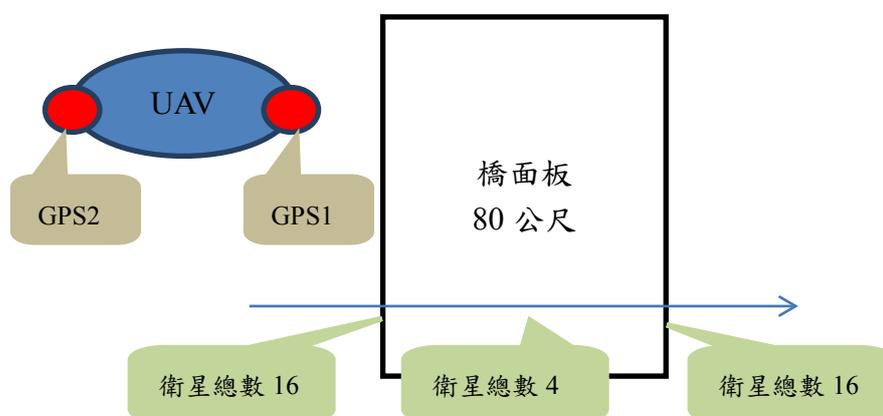


圖 4.6 雙 GPS 示意圖

Characteristics	Specification
Center Frequency	1575.42±1.023 MHz
Gain	30~37dB (ps:3v / 32dB)
Noise Figure	1.2 dB typical (ps: 3v / 1.35dB)
Filer Out band attenuation	Saw filter 40dB typical      fo±50MHz 45dB min          fo±100MHz (fo=1575.42MHz)
Output V.S.W.R	2.0 max
Voltage	DC = 2.5~5.5V
Current	DC = 8~23mA (ps: 3v / 10mA)

圖 4.7 GPS 訊號放大規格

根據目前實測結果(圖 4.8)，圖 4.9 顯示單 GPS 模組時，本期計畫 UAV 約可取得 11-16 顆衛星(視地形、氣候決定)。圖 4.10 顯示雙 GPS 模組時，本期計畫 UAV 約可取得 15-20 顆衛星。若將本期計畫 UAV 由戶外移至室內 30 秒後(圖 4.11)，定位衛星數量會減少至 6-9 顆(圖 4.12)。同時，隨著時間增長，衛星數量亦會持續遞減。舉橋面板 80 米寬為例，當本期計畫 UAV 以每秒 2 米飛行下，所需時間恰為 40 秒，故在雙 GPS 模組確實提升了衛星定位效果的前提下，本期計畫 UAV 將能順利完成橋下構件之影像拍攝。



圖 4.8 測試雙 GPS 模組之 UAV



圖 4.9 單 GPS 模組定位情況



圖 4.10 雙 GPS 模組定位情況



圖 4.11 雙 GPS UAV 移入室內



圖 4.12 室內定位結果

### 4.3 續航改善模組

前期計畫之目的為確認 UAV 是可達成橋梁構件影像自動擷取的需求，因此，並無花費時間於校準 UAV 的飛行時間。故前期計畫之 UAV 多以單顆電池(4S 6200mAh)、高轉速(880KV)無刷馬達、小軸機架(550 公厘)和短尺寸(10 吋)正反螺旋槳進行測試。按前期計畫建議，風速三級以下，X 四軸即可順利完成橋梁構件影像擷取。故假設風速多為三級下，本期計畫為延長飛行時間，所使用之 UAV 預期為採用兩顆電池(4S 8000mAh)、較低轉速(700-380KV)無刷馬達、大軸機架(680 公厘)、長尺寸(13-14 吋)正反螺旋槳，圖 4.13 所示。透過不同測試，表 4.3 為測試結果，顯然，對於需全橋影像拍攝之橋梁，4S 16000mAh 已能滿足至多 30 分鐘的飛行能力。



圖 4.13 本期計畫使用之 UAV

表 4.3 大容量電池的測試結果

規格	4S 8000mAh	4S 16000mAh	6S 8000mAh	6S 16000mAh
重量	0.9kg	1.3kg	1.1kg	1.5kg
時間	18 分	30 分	19 分	25 分
預期檢測長度	2.1KM	3.6KM	2.3KM	3KM

#### 4.4 影像精進模組

本期計畫檢視前期計畫所拍攝之橋梁構件影像後發現數個問題，包含：魚眼效應(即影像邊緣會呈球狀)、攝影光圈(易造成拍攝影像昏暗)和聚焦緩慢(易造成構件模糊)。針對於魚眼效應、攝影光圈和聚焦緩慢等問題，儘管可以透過軟體修正(圖 4.14-4.15)，但修正的過程不僅費時且需人工啟動，因此檢測人員仍難以判別橋梁構件劣化程度。



圖 4.14 修正魚眼效應(左圖為未修正；右圖為修正後)



圖 4.15 修正攝影光圈和聚焦緩慢(左圖為未修正；右圖為修正後)

為提升構件影像拍攝結果，本期計畫採用較高階的數位攝影機，即 Canon S120，進行測試。該機種的優勢在於採購價格相對較低、光圈可調、自動聚焦、自動閃光，更重要的是可程式化控制。表 4.4 為前期計畫與本期計畫使用的攝影機比較。圖 4.16 則為拍攝結果的比較，顯然 GoPro Hero3+ Black 會彎曲影像。目前本期計畫可透過兩種方式讓該數位相機進行自動影像擷取，一為本期計畫 UAV 每飛行 1 米即拍攝一張，另一方法為檢測人員可透過遙控器手動決定拍攝之時間點。

表 4.4 攝影機比較

	GoPro Hero3+ Black	Canon S120
防水能力	40 米	100 米(搭配防水殼)
重量(含電池)	72 公克	500 公克
視角範圍	150	150
最大影片解析度	4K	1080P
最大相片解析度	4096x2160	3672x2460
使用時間	150 分鐘	60 分鐘
遠端遙控	WiFi	無
價格(新臺幣)	14,000 元	11,000 元
照片	 <div style="border: 1px solid red; padding: 2px; display: inline-block;">前期計畫</div>	



圖 4.16 GoPro Hero3+ Black 和 Canon S120 實拍照片比較

#### 4.5 3D 生成模組

由於本期計畫將進行全橋構件影像自動擷取，故所獲得的影像應可透過影像組合之方式產出 3D 橋梁影像。為能達成此目的，本期計畫認為 3D 生成模組需

具備幾個功能，包含：可匯入飛行航線記錄檔、具備影像疊合計算、支援影像地理資訊標籤編輯。表 4.5 為適當的套裝軟體。經評估，本期計畫將採用 Pix4D Mapper。該程式(圖 4.17)可匯入多數的影像格式，如 JPEG、BMP、TIFF 等。組合成的 3D 模型亦可匯出成 PDF，將有助未來上傳至 TBMS2。

表 4.5 3D 生成套裝軟體

	VisualSFM	Agisoft	Pix4D
地理標籤	支援	支援	支援
影像疊合	有	有	有
匯入航線	無	無	有
價格	免費	新臺幣 7,000 元	新臺幣 200,000 元

橋梁構件 3D 生成的作業流程有六步驟，如下：

1. 設定專案目錄(圖 4.17)；

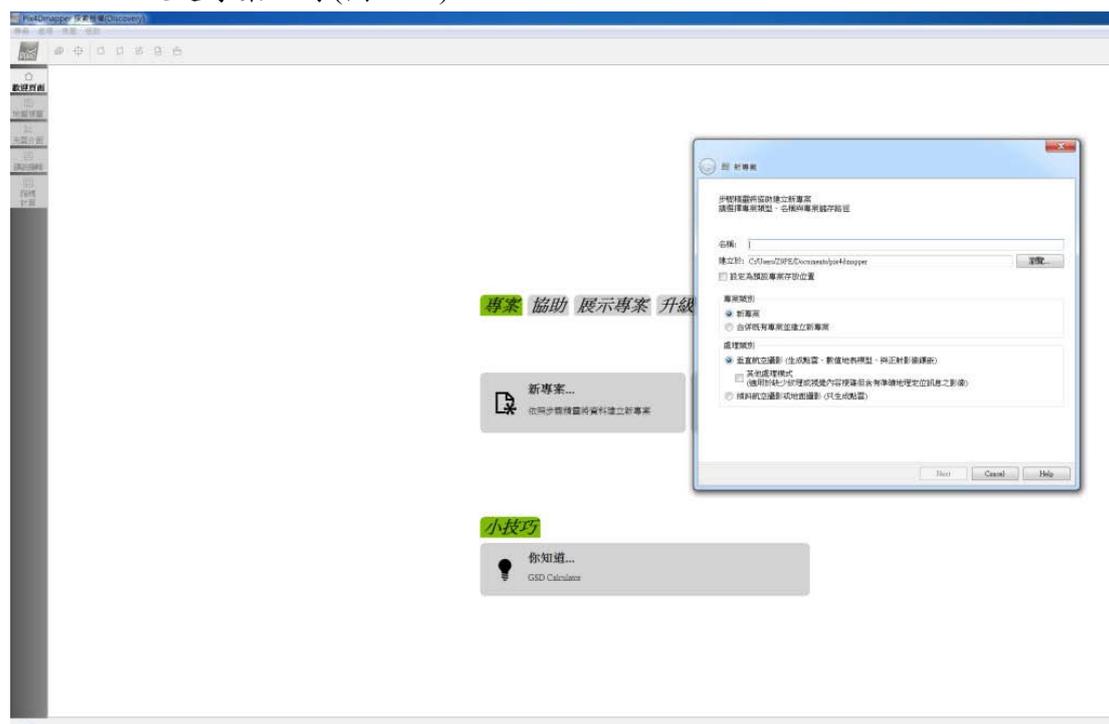


圖 4.17 建立新專案目錄

2. 選擇橋梁構件相片(圖 4.18)；

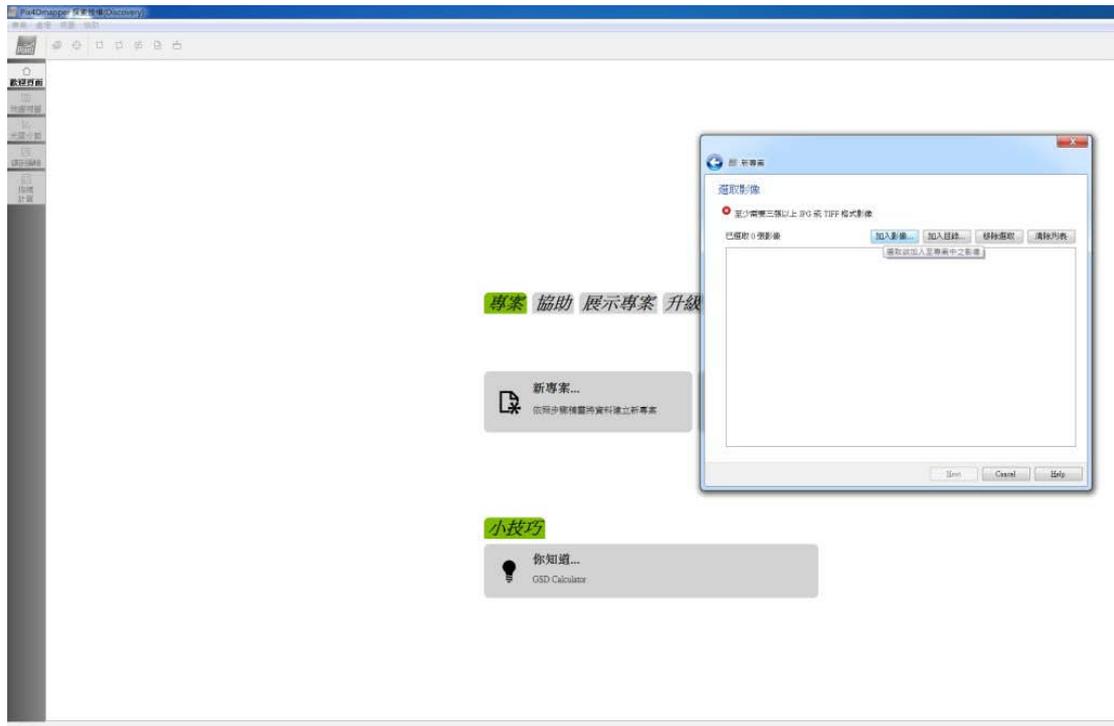


圖 4.18 選擇橋梁

3. 確認座標系統(圖 4.19)；

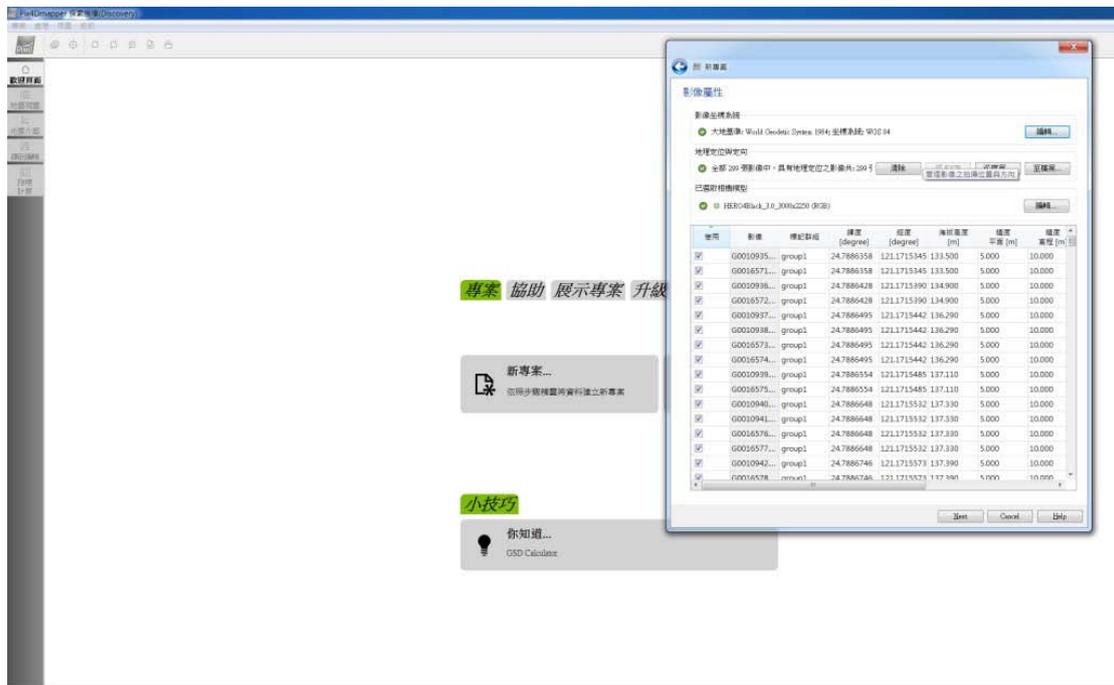


圖 4.19 座標系統確認

4. 完成基本專案設定(圖 4.20)；

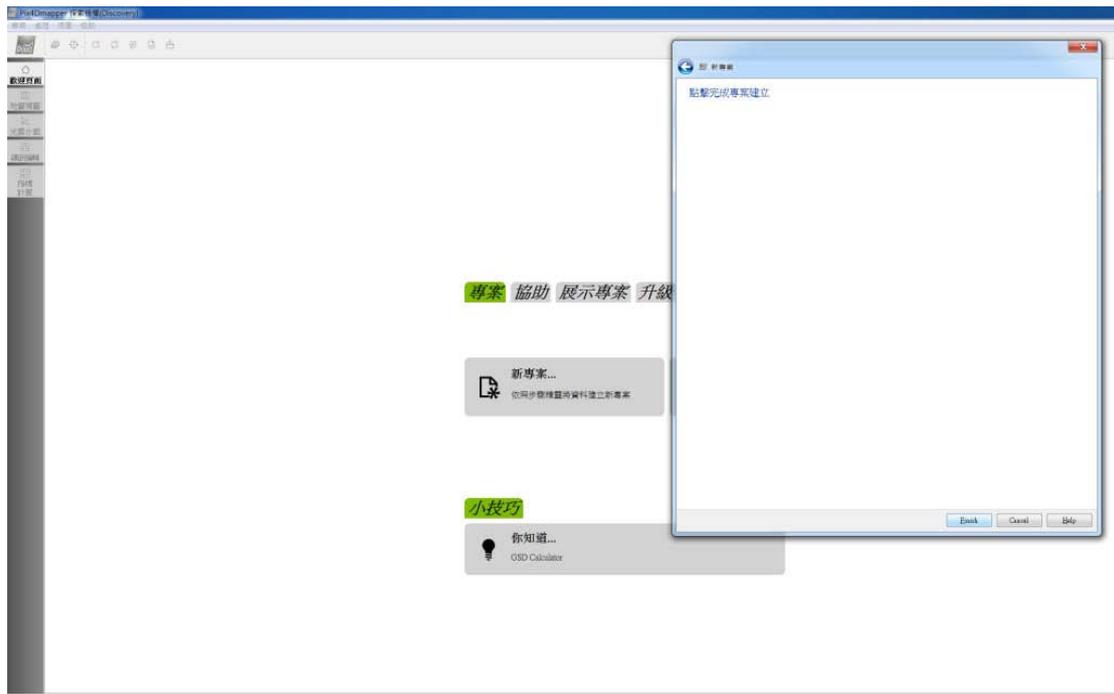


圖 4.20 完成設定

5. 進行 3D 模型生成(圖 4.21)；

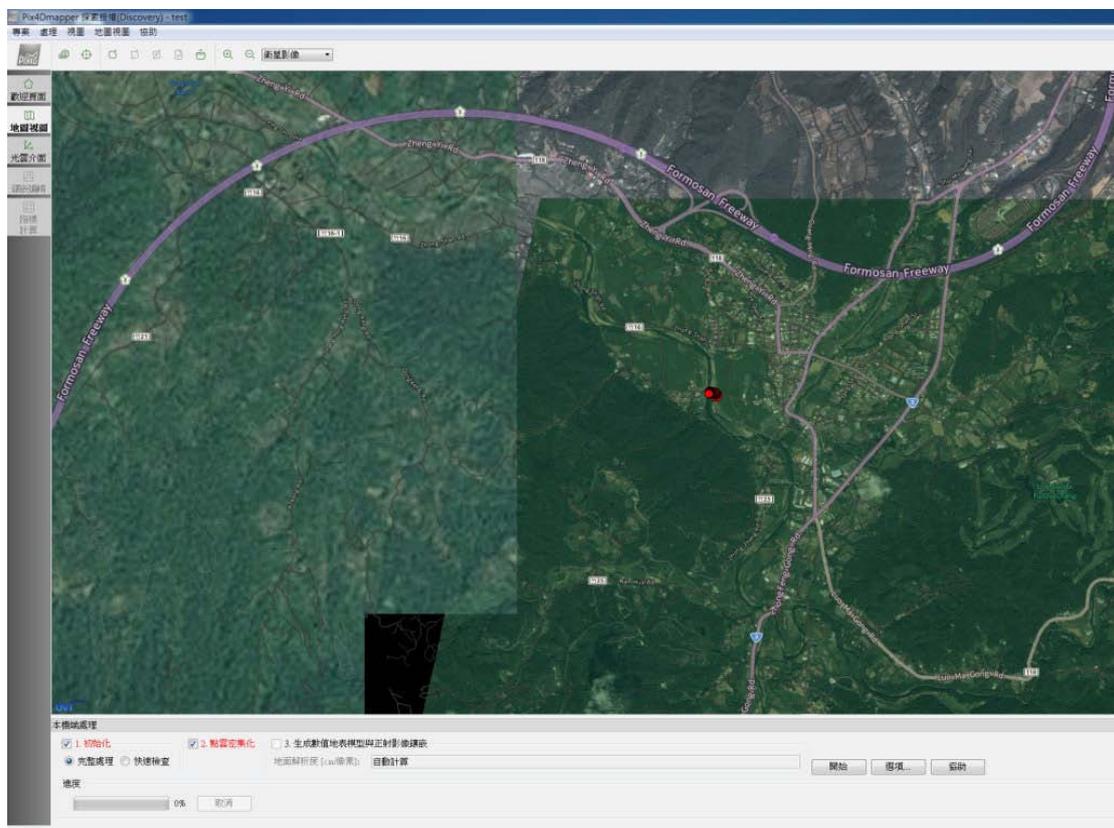


圖 4.21 進行 2

## 6. 確認生成結果(圖 4.22)。

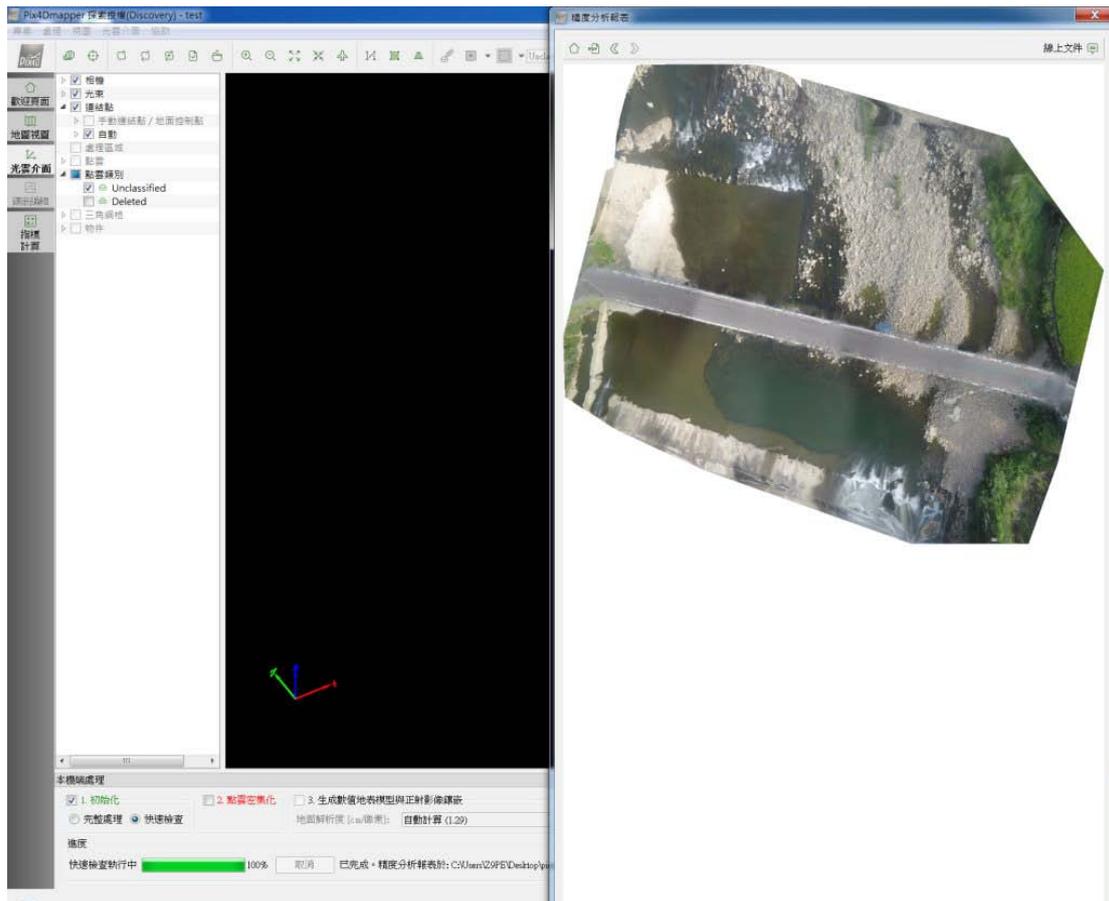


圖 4.22 確認橋梁 EV 2

## 4.6 小結

針對上述各模組，本期計畫的建議配備與規格如下：

1. 障礙物偵測模組：採用 LV-Max 聲納，可避免橋下光線不良的干擾，且因重量輕，儘管搭載 5 個聲納感測器，也不會對電力損耗造成影響。
2. 定位增強模組：採用 uBox 7M 以上的 GPS 30dB 晶片組兩顆，可減緩橋下斷訊時間。
3. 續航改善模組：使用 4S 8000mAh 可檢測 2.1 公里，4S 16000mAh 可檢測 3.6 公里。
4. 影像精進模組：採用 Canon S120 可改善魚眼效應。若無法使用 Canon S120 相機，亦可透過影像編輯軟體校正魚眼效應。
5. 3D 生成模組：透過 Pix4D Mapper 可自動生成 3D 模型。若生成的 3D 模型欲放置到其他地理資訊系統(如 Google Earth)，則取得的相片需具有地理標籤。

## 第五章 橋梁現地測試

### 5.1 測試流程

為確認本期計畫的防撞式橋梁構件影像自動擷取系統能於橋梁現地運作，本期計畫針對南山大橋、彩虹二橋、蘇樂橋和華中橋進行測試。測試流程標示於圖 5.1。首先，透過現地環境評估，本期計畫推估如何讓 UAV 自動飛行並擷取橋梁影像構件。爾後，本期計畫於 Samsung Tab Pro 8.4 平板電腦上描繪飛行路線並傳送給 UAV。UAV 收到飛行航線後，本期計畫開始進行飛行路線初測，同時，觀察 UAV 是否成功地完成任務。如偏離預期路線或其他狀況，本期計畫將進行路線的校正。反之，本期計畫於 UAV 上掛載攝影機以進行橋梁構件自動擷取，即飛行路線實測。最後，本期計畫針對所擷取的橋梁構件影像進行確認。

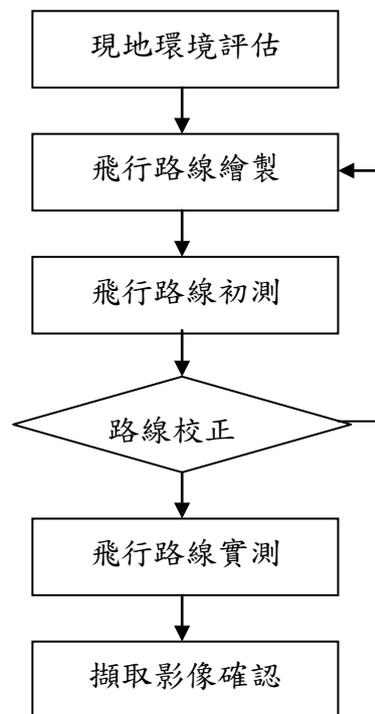


圖 5.1 現地測試流程圖

### 5.2 「南山大橋」檢測概要

南山大橋(圖 5.2)位於新竹縣關西鎮，為新竹縣政府所管理，竣工於民國 80 年，屬跨河橋，全橋長為 84 米，總橋孔數為 8，最大跨距為 17.3 米，橋面版最大淨寬為 4.3 米。但礙於該橋僅有一車道，橋檢車不僅不易進入，更有阻礙交通之疑慮。同時，該橋所跨越之鳳山溪之河道較淺，不易透過小艇於橋下檢測橋下

構件。故本期計畫透過南山大橋的現地測試以確認所採用的 UAV 是否能完成如此多橋孔的全橋檢測。



圖 5.2 南山大橋現況

### 5.3 「彩虹二橋」檢測概要

彩虹二橋(圖 5.3)位於新竹市香山區，隸屬新竹市政府管轄。該橋屬鋼構造拱橋型式，全長約 76 米，橋面總寬 8.6 米，橋下淨高約 4.2 米，僅一個車道。由橋梁現地可明確了解橋檢車完全無法進入，且檢測人員不易檢查橋梁上部構件。故本期計畫認為 UAV 是協助橋檢人員檢測該橋的最佳工具。



圖 5.3 彩虹二橋現況

## 5.4 「蘇樂橋」檢測概要

蘇樂橋(圖 5.4)位於桃園市復興區，隸屬交通部公路總局管轄。該橋屬剛架  $\pi$  橋型式，全長約 175 米，橋面總寬 9 米，橋下淨高約 9 米，2 個車道。由橋梁現地可明確了解該橋檢測必須倚賴橋檢車，且山谷中 GPS 訊號通常較弱和落山風較大。故本期計畫於此橋進行 UAV 測試。

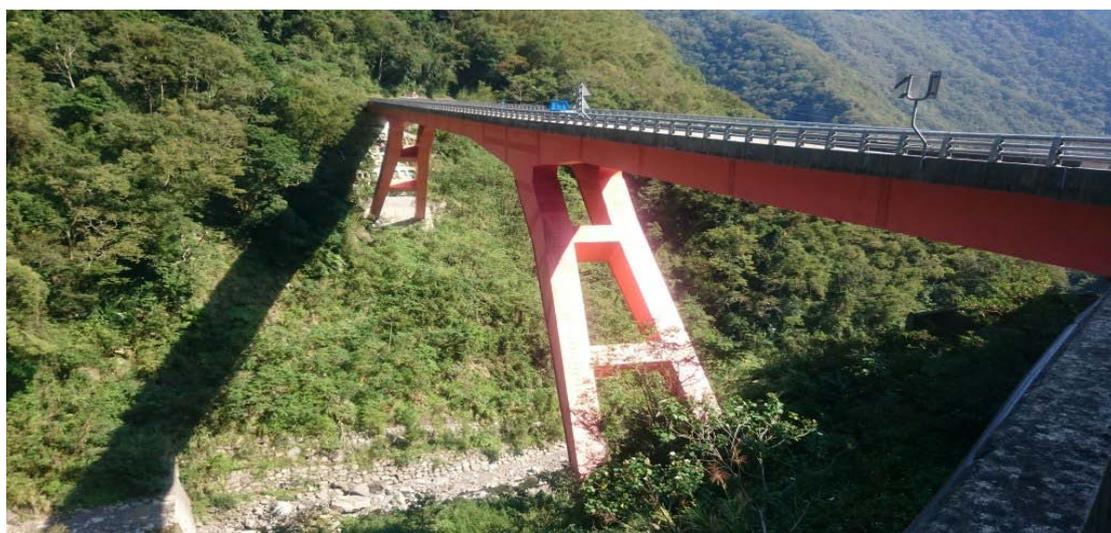


圖 5.4 蘇樂橋現況

## 5.5 「華中橋」檢測概要

華中橋(圖 5.5)位於臺北市萬華區，隸屬臺北市政府管轄。該橋屬梁式橋型式，全長約 1179 米，橋面總寬 24.5 米，橋下淨高約 10 米，4 個車道。由於華中橋跨越新店溪，溪水湍急且深度不明，故跨河段的橋梁構件檢測必須倚賴橋檢車或船艇。故本期計畫於此橋支援 TBMS2 外部稽核並進行本期計畫測試。



圖 5.5 華中橋現況

## 5.6 測試結果

本期計畫於現地測試過程中透過前期計畫所開發之地面控制程式規劃飛行任務。本期計畫先於橋梁現地透過 GPS 的定位量測後，依據全橋檢測路線(如圖 5.6)將繪製的飛行路徑傳遞給 UAV，爾後透過遙控器進行 UAV 的自動飛行模式。表 5.1 所記錄的三次測試，每次測試均成功的完成測試。所獲得的橋梁構件影像為圖 5.6-5.13。將這些影像與過去之三橋檢測紀錄相比照。針對南山大橋而言，似乎檢測報告(圖 5.14)與本期計畫判讀結果有些許落差，即檢測報告結果不夠詳實。關於彩虹二橋(圖 5.15)、蘇樂橋(圖 5.16) 和華中橋(圖 5.17)，檢測報告與本期計畫判讀結果則多吻合。

表5.1自動飛行模式測試結果

測試編號	1	2	3	4
地點	南山大橋	彩虹二橋	蘇樂橋	華中橋
機體型式	X-四軸			
機體軸距	550mm			
機體軸數	4			
機體全重量	2800g			
馬達型式	880kv			
正反槳型式	10x47			
電池型式	4S 14.8V 6200mAh	4S 14.8V 6200mAh	4S 14.8V 8000mAh	4S 14.8V 6200mAh
GPS 訊號	橋下微訊			
GPS 型號	u-Blox 6H			
通訊強況	良好			
最大陣風	1.2m/s (1 級風)	1.4m/s (1 級風)	1.7m/s (1 級風)	1.8m/s (1 級風)
飛行高度	3m	2m	-5m	6m
攝影機型式	雙 GoPro Hero4			單 GoPro Hero4
結果	成功			
拍攝方式	全橋拍攝 第 2-6 墩(圖 5.18)	全橋拍攝	全橋拍攝	第 6-7 橋孔
附註	S 型路線 C 型路線 O 型路線	S 型路線 C 型路線	S 型路線 C 型路線	S 型路線



圖 5.6 南山大橋全橋檢測路線



圖 5.7 南山大橋第六橋孔鋼筋外露



圖 5.8 南山大橋第四墩鋼筋外露照片



圖 5.9 彩虹二橋橋下鏽蝕照片



圖 5.10 彩虹二橋橋頂鏽蝕照片



圖 5.11 蘇樂橋橋臺支承照片



圖 5.12 蘇樂橋橫隔梁照片



圖 5.13 華中橋橫隔梁照片



圖 5.14 華中橋第六墩照片

項目	位置	維修項目及工法	數量	單位	急迫性	附註
橋台		鋼筋除鏽及混凝土修復(<=0.4x0.4x0.05m)	1	處	2	
摩擦層		AC 路面刨除加鋪	2	平方公尺		
橋面板		鋼筋除鏽及混凝土修復(<=0.4x0.4x0.05m)	1	處	1	

圖 5.15 2015 年南山大橋檢測報告

項目	位置	維修項目及工法	數量	單位	急迫性	附註
支承/支承墊	A1	除鏽上漆	0.5	平方公尺	1	
支承/支承墊	A2	除鏽上漆	0.5	平方公尺	1	
主構件(大梁)	S1	鋼橋鏽蝕油漆養護、鋼橋 2 度面漆養護	3	平方公尺	1	
主構件(大梁)	S1	鋼橋鏽蝕油漆養護、鋼橋 2 度面漆養護	0.15	平方公尺	1	
拱圈	S1	鋼橋鏽蝕油漆養護、鋼橋 2 度面漆養護	10	平方公尺	1	
橫桿	S1	鋼橋鏽蝕油漆養護、鋼橋 2 度面漆養護	1	平方公尺	1	

圖 5.16 2014 年彩虹二橋檢測報告

檢測項目	評估值				檢測項目	評估值				檢測項目	評估值										
	D	E	R	U		D	E	R	U		D	E	R	U							
1. 引道路堤					5. 橋台基礎		0			9. 排水設施											
2. 引道護欄					6. 橋台		1			10. 緣石及人行道											
3. 河道		1			7. 翼牆/擋土牆					11. 橋護欄											
4. 引道路堤-保護措施					8. 鋪面					21. 其他											
<b>橋墩資料</b>					<b>橋孔資料</b>																
橋墩數	12. 橋墩/橋基保護設施		13. 橋墩基礎		14. 橋墩墩體/帽梁		15. 支承/支承墊		16. 防落設施		17. 伸縮縫		橋孔數	18. 主構件(大梁)		19. 次要構件(橫隔梁)		20. 橋面板、銜接版			
	D	E	R	U	D	E	R	U	D	E	R	U		D	E	R	U	D	E	R	U
A00 1	0												S00 1								
A00 2	0												S00 2								
P00 1	0					0		1					S00 3								
P00 2	0					0		1													

圖 5.17 2014 年蘇樂橋檢測報告

2014-06-03 橋梁定期檢測 子表

橋梁定期檢測評估總表							
橋梁名稱	華中橋	橋梁編號	E031				
		管理機關	臺北市府	轄下機關	新建工程處	竣工年月 65年 8月	
所在縣市	臺北市	所在鄉區	萬華區	參考地標	萬大路		
道路等級	市區道路	路線	萬大路至中和景平路(中和市堤防線)	里程樁號	無 K+無 M-無 K+ 無 M-		
橋梁總長	1179.1 M	橋梁淨寬	24.5 M	總橋孔數	30		
檢測日期	2014-06-03	檢測單位	萬鼎工程服務股份有限公司	檢測員	吳振隆/張新宗	單位主管	
檢測員意見	1. 本次檢測範圍為 S2-S30, A1-A3 橋台、P1 橋墩、S1 橋跨及新北市側匝道屬於新北市管轄範圍。 2. 深槽區現況 P3-P9 橋墩基礎及基樁裸露，惟經檢視竣工圖，圖說中部分橋墩基礎及基樁已裸露，故建議配合每半年一次之河床高程測量(防汛期檢測)，持續觀察基礎/基樁裸露情形是否加劇。 3. 本橋隔梁構件多處混凝土剝落、鋼筋外露鏽蝕，植生需進行清除外，整體狀況不佳，但並無嚴重之損傷。 4. 本橋伸縮縫皆被 AC 所覆蓋，部分位置 AC 龜裂、破損嚴重，影響行車舒適性。考量若全橋伸縮縫皆予以維修改善所需經費過大，建議先選擇 AC 劣化嚴重位置進行橋面伸縮縫抬升更新。						
CI	95.35	PI	90	規範 PI	88.89	沖刷指標	100
新 CI	95.43	新 PI	90.25				

圖 5.18 2014 年華中橋檢測報告

### 5.7 3D 生成結果

本期計畫透過 Pix4D Mapper 進行南山大橋、彩虹二橋和蘇樂橋的 3D 模型生成。本期計畫首先將飛行紀錄檔案匯入程式，爾後再將拍攝的照片匯入程式。於程式中選取快速比對並生成模型。不同橋梁構件的 3D 成果為：圖 5.18 為南山大橋之橋面板；圖 5.19 為南山大橋之橋側；圖 5.20 為南山大橋第六橋孔之大梁；圖 5.21 為南山大橋第三橋墩；圖 5.22 為彩虹二橋拱圈；圖 5.23 為蘇樂橋橋臺。由圖 5.20 可知，若橋梁構件原先已具備劣化情事時，生成的 3D 模型中亦能看出這劣化狀態。



圖 5.19 南山大橋之橋面板



圖 5.20 南山大橋之橋側



圖 5.21 南山大橋第六橋孔之大梁



圖 5.22 南山大橋第三橋墩



圖 5.23 彩虹二橋拱圈



圖 5.24 蘇樂橋橋臺

## 5.8 橋梁構件影像與 Google Earth 之整合

因本計畫所取得之照片與生成之 3D 模型均具有地理標籤，故透過 KML 或 KMZ 的檔案可將橋梁構件影像疊合於 Google Earth 上，如圖 5.24。當橋檢或橋管人員發現橋梁 3D 模型上有疑似劣化情事時，可再點取照片做進一步確認，如圖 5.25。上述整合橋梁構件影像與 Google Earth 的做法將提供了另一種直觀的橋

梁檢測與管理模式。



圖 5.25 橋梁 3D 模型中發現疑似劣化情勢



圖 5.26 透過照片再次確認

## 5.9 小結

基於測試結果，本期計畫的防撞式橋梁構件影像自動擷取系統具備超越人為操控 UAV 進行橋梁檢測之優勢。適用於此系統之橋梁為牆面最長寬度小於 80 米、橋底距河面最小高度 5 米、橋跨最短長度大於 10 米、橋墩為單柱型式(圖

5.26)。經篩選 TBMS 資料庫後，適用 UAV 輔助橋梁檢測的結果為：

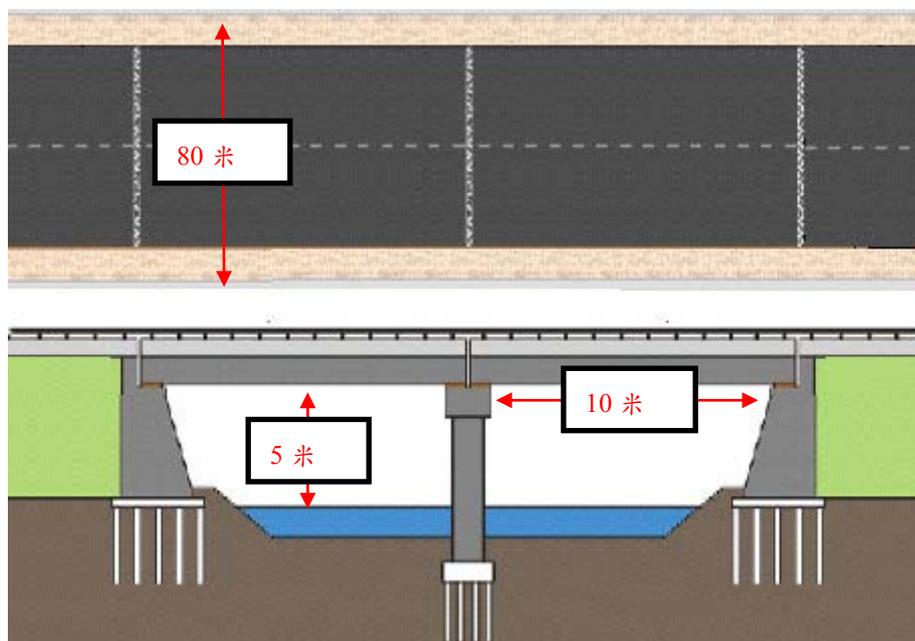


圖 5.27 適用本系統之橋梁

1. 「橋下最低淨高大於等於 5 公尺」與「橋面版淨寬小於等於 60 公尺」：所有欲使用 UAV 進行橋梁檢測之橋梁，皆須符合此兩種限制方能進行作業。表 5.2 顯示，僅縣市政府因所轄橋梁於市區居多，且大多短小，徒步檢測便於使用工具，故所能檢測橋梁數較少，但公路總局及高速公路總局所轄橋梁可使用 UAV 進行檢測平均高於 50%。

表 5.2 篩選結果

單位	所轄橋梁總數	限制篩選橋數	所占比例%
縣市政府	21,305	1,780	8.4%
公路總局	2,938	1,921	65.3%
高速公路總局	2,446	1,106	45.2%

2. 「橋下最低淨高大於等於 5 公尺」、「橋面版淨寬小於等於 60 公尺」與「是跨河橋」(表 5.3)：雖符合 UAV 可檢測之橋梁，但對於檢測難度偏高之跨河橋梁，或多或少需要利用非橋檢車之輔助工具進行檢測。故篩選為跨河橋之橋梁來提高使用工具之安全性。

表 5.3 篩選結果

單位	所轄橋梁總數	限制篩選橋數	所占比例%
縣市政府	21,305	1,291	6.1%
公路總局	2,938	494	16.8%
高速公路總局	2,446	498	20.4%

3. 「橋下最低淨高大於等於 5 公尺」與「橋面版淨寬大於 5 且小於等於 16 公尺(假設車道平均寬度為 4 公尺)」(表 5.4)：此種限制條件為欲找出橋檢車可駛入，但嚴重影響交通順暢之橋梁。許多產業道路橋梁僅雙線道(如羅浮橋)，如使用橋檢車檢測，必然佔據一線道，而可能有交通壅塞情況發生。

表 5.4 篩選結果

單位	所轄橋梁總數	限制篩選橋數	所占比例%
縣市政府	21,305	975	4.9%
公路總局	2,938	1,191	40.5%
高速公路總局	2,446	499	20.4%

4. 「橋下最低淨高大於等於 5 公尺」、「橋面版淨寬大於 5 且小於等於 16 公尺(假設車道平均寬度為 4 公尺)」與「是跨河橋」(表 5.5)：如為跨河橋，勢必更加深橋梁檢測之難度，故須採用 UAV 之機率更高。

表 5.5 篩選結果

單位	所轄橋梁總數	限制篩選橋數	所占比例%
縣市政府	21,305	692	3.3%
公路總局	2,938	116	4%
高速公路總局	2,446	233	9.5%

5. 「橋下最低淨高大於等於 5 公尺」與「橋面版淨寬小於等於 5 公尺(假設車道平均寬度為 4 公尺)」(表 5.6)：此種限制條件為找出橋檢車無法駛入，故必須使用其他檢測工具之橋梁。

表 5.6 篩選結果

單位	所轄橋梁總數	限制篩選橋數	所占比例%
縣市政府	21,305	381	1.8%
公路總局	2,938	32	1.1%
高速公路總局	2,446	27	1.1%

6. 「橋下最低淨高大於等於 5 公尺」、「橋面版淨寬小於等於 5 公尺(假設車道平均寬度為 4 公尺)」與「是跨河橋」(表 5.7)：為跨河橋，又無法使用橋檢車，故須採用 UAV 之機率更高。

表 5.7 篩選結果

單位	所轄橋梁總數	限制篩選橋數	所占比例%
縣市政府	21,305	308	1.5%
公路總局	2,938	3	0.1%
高速公路總局	2,446	16	0.7%

本計畫建議之防撞式 UAV 規格，如表 5.8 所示。由於目前有不少工務單位已採購不同的 UAV，若要移轉目前控制軟體至這些已採購的 UAV 時，並不是一件容易的事情，最主要原因為不同的 UAV 飛控板有不同的韌體版本與通訊協定。例如，本期計畫所使用的控制軟體並無法套用於中國 DJI 公司的任何一款飛控板，因 DJI 是採用私有的通訊協定，而非國際通用的 Mavlink 協定。簡言之，本期計畫的控制軟體是針對 Pixhawk 飛控板(韌體版本 3.0 以上)和 GoPro Hero3+攝影機所撰寫，其他硬體設備(包含機體型式、軸數、馬達、正反槳、電池和障礙感測器)則不受限制。

表 5.8 建議之防撞式 UAV 規格

目的	全橋構件個別拍攝	全橋構件一次拍攝
飛控板	Pixhawk	
機體型式	X-四軸	X-四軸
機體軸距	550mm	650mm
機體軸數	4	
機體全重量	2500g	4500g
馬達型式	700kv	320kv
正反槳型式	10x47	13x55
電池型式	4S 14.8V 6,200mAh	4S 14.8V 16,000mAh
GPS 數量	1 個	2 個
GPS 型號	u-Blox 6H	
最大陣風	2 級風	3 級風
攝影機型式	GoPro Hero4	
攝影機數量	1 個	2 個
障礙感測器	LV-1020	
障礙感測器數量	5 個	
平板電腦	Android 4.4 版以上	
遙控器	1 個	
預估成本(新臺幣)	100,000	180,000

以全生命週期觀點而言，本計畫針對防撞式 UAV 橋梁構件影像自動擷取系統與坊間 UAV 解決方案進行全生命週期的比較，如表 5.9 所示。本系統，除了首次採購和後續維修外，並無多餘成本。相對地，坊間 UAV 解決方案多為手控操控或半手控飛行，因此服務索取費用並不低廉，儘管檢測人員無須負擔 UAV 的採購和維修成本。很顯然地，圖 5.27 顯示出坊間 UAV 解決方案的成本負擔將會隨著檢測橋梁次數的增加而增加。例如，坊間 UAV 解決方案每次收費約 2-10 萬不等，而本系統的 X-四軸成本約 10-18 萬。故坊間 UAV 解決方案和本系統約於檢測第 5-9 座橋梁時，所花費的成本即彼此相當。第 10 座橋梁之後，坊間 UAV 解決方案的平均成本只會不斷攀升，但本系統卻是不斷減低成本。故本系統的所需的檢測費用仍最合乎現況需求，且能節省不必要成本。此外，要訓練一名技術熟練的 UAV 操作人員，並非一日可成的，但本計畫之防撞式 UAV 橋梁構件影像自動擷取系統則完全可讓無 UAV 操作經驗的人員於短時間內便會使用。

表 5.9 本計畫與坊間 UAV 解決方案之全生命週期比較

	本系統	坊間 UAV 解決方案
運作方式	半手控飛行或全自動飛行	手控操控或半手控飛行
開發設計階段	無須檢測人員負擔。	無須檢測人員負擔。
生產製造階段	檢測人員需採購平板電腦與 UAV，採購成本約 10-18 萬元。	無須檢測人員負擔。
作業營銷階段	無需配合 UAV 服務廠商且無拍攝地點限制。	需配合 UAV 服務廠商且有拍攝地點和長度限制，拍攝一處就需要約數萬元。
使用維護階段	除定期保養或零件老舊汰換，在無個人操作不當的損毀情況下，將不產生特殊費用。	無須檢測人員負擔。

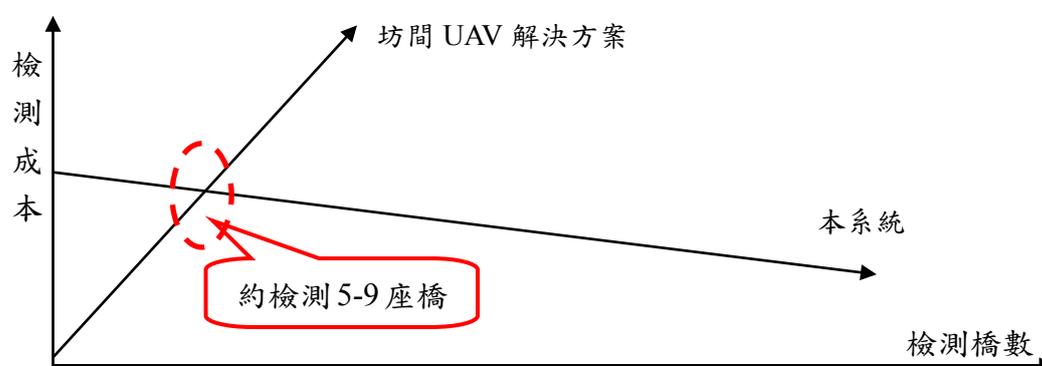


圖 5.28 檢測成本與檢測橋數之關係

然而，此系統仍具操作限制，主要有：

1. 本期計畫之障礙物偵測模組確有其功用，但在飛行路徑正確設定下，本模組的運作的機會極低。此外，相較於紅外線、雷射雷達(Lidar)和光學流(Optical flow)感測器，本期計畫認為聲納是最適用的障礙物感測器，因較不受限地環境影響且價格不昂貴。
2. 為達成全橋(橋長 100 米，兩墩柱，三橋孔)構件的影像擷取，本期計畫建議採用低速馬達(380-590KV)、長型正反槳(12 吋以上)和高容量電池(10,000mAh)。唯機架不宜過大，應限制於 650 公厘以內，以避免橋孔距不足。
3. 關於定位改善模組，本期計畫已採用雙 GPS 接受器和增強訊號接收功率，橋下定位情況能略有改善，未來可針對雙 GPS 於機上的架設位置在進行更多訊號精確性的研究，但目前仍不建議於橋下採線型路徑進行構件影像擷取。
4. 為改善多數運動型攝影機的魚眼效應，本期計畫改採用 Canon S120 數位攝影機。由影像結果可知，令人詬病的魚眼效應確實不明顯，故對於 3D 模型生成有所助益。唯此類數位攝影機較重，所以無法附掛過多的數位攝影機於 UAV 上。換言之，檢測人員可能須針對全橋構件影像擷取分數次進行。
5. 3D 模型生成模組確實能將拍攝的照片組合出 3D 物件，但該產出模型僅能供橋樑檢測參考，因模型為相片的再製且影像合成常發生錯位情況，故影像顆粒仍嫌粗糙，恐不適宜完全作為橋梁構件劣化的判斷依據。
6. 3D 模型生成需有多張(至少須超過 5 張)相同構件的拍攝照片且光源應均衡。以目前已實驗的兩座橋梁(新竹南山大橋和彩虹二橋)為例，因南山大橋的橋孔距約 8 米,若 UAV 僅飛行一次並取得 2-3 張照片，將無法針對橋墩進行 3D 生成。但彩虹二橋為拱橋型式，僅一橋跨，故當 UAV 於橋下 S 型路徑飛行後，可取得至少 10 張橋下照片，因此能 3D 生成橋下模型。但受限相機鏡頭朝上，多數照片的光源不依，十分容易造成 3D 模型生成的失敗或錯誤，如圖 5.28。

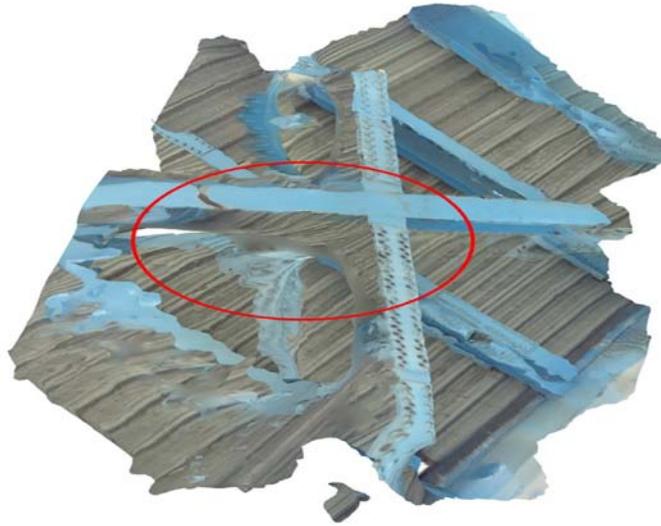


圖 5.29 彩虹二橋底部交錯

7. 3D模型生成過程，橋梁構件的比例不同下，有部分構件是無法生成的，例如，彩虹二橋的斜桿相較於其他上部構件細小，故3D生成後仍無法顯現，如圖5.29。



圖 5.30 彩虹二橋的斜桿錯誤

8. 本期計畫所生成之3D橋梁構件雖可與Google Earth套疊，但橋下構件並不易於Google Earth中展示，主要原因為Google Earth只能將視角停滯到水平面，且不支援由下往上看視角。



## 第六章 教育訓練

### 6.1 訓練內容

為使橋梁檢測相關單位可以了解本系統如何提升工作效益，本計畫分別於104年10月20、23、29日舉辦三場教育訓練，參訓人數共計82人(北部場27人、中部場20人、南部場35人)，各場次之簽到表如附件二。教育訓練內容(表6.1-6.2)主要分室內講解和室外操作兩部分。室內講解偏重於前、本期計畫的成果介紹，課程內容如附件三。室外操作則偏重指導參訓人員現場觀看本系統運作情況，如圖6.1~6.3所示。同時，本計畫準備了2-3臺四軸UAV和一臺已安裝UAV橋梁構件自動影像擷取系統(簡稱AutoCopter)之平板電腦。

表 6.1 中部場與北部場教育訓練內容議程

時間	課程名稱	講員
09:30~09:50	報到	-
09:50~10:10	計畫內容與訓練目的	運研所黃俊豪研究員(中部場) 健行科大陳明正教授(北部場)
10:10~11:20	UAV 橋梁檢測輔助工具簡介	中央大學蔡閔光博士
11:20~11:40	休息並移動至示範場地	
11:40~12:30	UAV 實地示範與意見交流	中央大學蔡閔光博士 中央大學姚乃嘉教授(中部場) 健行科大陳明正教授(北部場)
12:30	賦歸	-

表 6.2 南部場教育訓練內容議程

時間	課程名稱	講員
13:10~13:30	報到	-
13:30~13:50	計畫內容與訓練目的	中央大學姚乃嘉教授
13:50~15:00	UAV 橋梁檢測輔助工具簡介	中央大學蔡閔光博士
15:00~15:20	休息並移動至示範場地	
15:20~16:10	UAV 實地示範與意見交流	中央大學蔡閔光博士 中央大學姚乃嘉教授
16:10	賦歸	-

### 6.1.1 北部場教育訓練

時間：10/23(五)

地點：中央大學

參訓人數/報名人數：27/36



圖 6.1 北部場教育訓練

### 6.1.2 中部場教育訓練

時間：10/20(二)

地點：嶺東科技大學

參訓人數/報名人數：20/26



圖 6.2 中部場教育訓練

### 6.1.3 南部場教育訓練

時間：10/29(四)

地點：高雄應用科技大學

參訓人數/報名人數：35/42



圖 6.3 南部場教育訓練

## 6.2 意見綜整

教育訓練課程結束後，本計畫為了解參訓人員之背景與參訓心得，相關問卷(附件四)結果整理於表 6.3~6.16。

### 一、個人橋檢經驗

表 6.3 橋梁檢測年資彙整

橋梁檢測年資						
	無	1~2 年	3~4 年	4~5 年	5 年以上	無填寫
縣市政府	15	5	1	1	2	1
公路總局	9	6	2	1	6	
高公局	2	4	2	1		2
鐵路局	4	4	1			
顧問公司	3		2	1	3	
其他		3			1	
小計	33	22	8	4	12	3

表 6.4 使用過之橋檢工具彙整

使用過之橋檢工具						
	橋檢車	橡皮艇	纜索	升降梯	其他	無填寫
縣市政府	4	3	2	4	8	13
公路總局	19	1	2	2	1	3
高公局	8	1			1	2
鐵路局		1	1		6	2
顧問公司	5	3	2	2	1	2
其他	2		1	2		2
小計	38	9	8	10	17	24

表 6.5 目前所使用之橋檢工具是否造成不便彙整

目前所使用之橋檢工具是否造成您的不便						
	是	百分比	否	百分比	無填寫	百分比
縣市政府	8	32%	5	20%	12	48%
公路總局	8	33%	12	50%	4	17%
高公局	2	18%	6	55%	3	27%
鐵路局	1	11%	5	56%	3	33%
顧問公司	3	33%	4	44%	2	22%
其他	3	75%			1	25%
小計	25	30%	32	39%	25	30%

## 二、UAV 操作

表 6.6 UAV 特色之滿意度彙整

對於 UAV 特色之滿意度										
	很滿意	百分比	滿意	百分比	尚可	百分比	不滿意	百分比	無填寫	百分比
縣市政府	5	20%	15	60%	4	16%			1	4%
公路總局	4	17%	13	54%	7	29%				
高公局	1	9%	8	73%	1	9%			1	9%
鐵路局	2	22%	7	78%						
顧問公司	1	11%	7	78%	1	11%				
其他			3	75%	1	25%				
小計	13	16%	53	65%	14	17%			2	2%

表 6.7 同意使用 UAV 「具有速檢測的便利性」彙整

對於 UAV 功能便利性										
	很滿意	百分比	滿意	百分比	尚可	百分比	不滿意	百分比	無填寫	百分比
縣市政府	8	32%	14	56%	2	8%			1	4%
公路總局	4	17%	10	42%	10	42%				
高公局	3	27%	7	64%					1	9%
鐵路局	2	22%	6	67%	1	11%				
顧問公司	1	11%	5	56%	3	33%				
其他			2	50%	1	25%	1	25%		
小計	18	22%	44	54%	17	21%	1	1%	2	2%

表 6.8 是否有助於工作效率提升彙整

對於 UAV 操作之解說滿意度										
	很滿意	百分比	滿意	百分比	尚可	百分比	不滿意	百分比	無填寫	百分比
縣市政府	8	32%	15	60%	1	4%			1	4%
公路總局	3	27%	14	58%	7	78%				
高公局	3	27%	7	64%					1	9%
鐵路局	2	22%	7	78%						
顧問公司	1	11%	5	56%	3	33%				
其他	1	25%	1	25%	1	25%	1	25%		
小計	18	22%	49	60%	12	15%	1	1%	2	2%

表 6.9 未來使用 UAV 之可能性

您（或貴單位）未來使用 UAV 進行橋梁檢測之可能性如何？										
	一定會	百分比	可能性很高	百分比	有可能	百分比	不太可能	百分比	無填寫	百分比
縣市政府	3	12%	4	16%	12	48%	5	20%	1	4%
公路總局	6	25%	5	21%	10	42%	3	13%		
高公局			7	64%	1	9%	2	18%	1	9%
鐵路局			2	22%	7	78%				
顧問公司	4	44%	1	11%	4	44%				
其他					4	100%				
小計	13	16%	19	23%	38	46%	10	12%	2	2%

表 6.10 本期計畫新增模組是否有增加使用者信心彙整

您同意本期計畫新增模組(障礙偵測模組、飛行耐久模組、定位精進模組、影像提升模組)是否有增加您使用 UAV 檢測之信心?										
	非常同意	百分比	同意	百分比	尚可	百分比	不同意	百分比	無填寫	百分比
縣市政府	7	28%	15	60%	2	8%			1	4%
公路總局	2	8%	13	54%	8	33%				
高公局	2	18%	7	64%	1	9%			1	9%
鐵路局	1	11%	8	89%						
顧問公司	2	22%	6	67%	1	11%				
其他			4	100%						
小計	14	17%	53	65%	12	15%	0		2	2%

表 6.11 操作解說之滿意度彙整

您對於此次 UAV 操作解說的滿意度如何?										
	非常滿意	百分比	滿意	百分比	尚可	百分比	不滿意	百分比	無填寫	百分比
縣市政府	9	36%	15	60%					1	4%
公路總局	6	25%	13	54%	5	21%				
高公局	3	27%	7	64%					1	9%
鐵路局	1	11%	7	78%	1	11%				
顧問公司	5	56%	4	44%						
其他	1	25%	3	75%						
小計	25	30%	49	60%	6	7%			2	2%

### 三、UAV 輔助與 3D 模型應用程式

表 6.12 整體使用之滿意度彙整

對於執行速度之滿意度										
	很滿意	百分比	滿意	百分比	尚可	百分比	不滿意	百分比	無填寫	百分比
縣市政府	6	24%	16	64%	2	8%				
公路總局	2	8%	10	42%	10	42%			2	8%
高公局	1	9%	10	10%						
鐵路局	1	11%	6	67%					1	11%
顧問公司			5	56%	2	22%			2	22%
其他			2	50%	2	50%				
小計	10	12%	49	60%	16	20%			5	6%

表 6.13 執行速度之滿意度彙整

您對於系統執行速度之滿意度如何？										
	很滿意	百分比	滿意	百分比	尚可	百分比	不滿意	百分比	無填寫	百分比
縣市政府	7	28%	17	68%	1	4%				
公路總局	2	8%	10	42%	11	46%			1	4%
高公局	3	27%	7	64%	1	9%				
鐵路局	2	22%	4	44%	2	22%			1	11%
顧問公司			7	78%	1	1%			1	11%
其他			2	50%	1	25%	1	25%		
小計	14	17%	47	57%	17	21%	1	1%	3	4%

表 6.14 系統功能便利性滿意度彙整

您對於系統執行速度之滿意度如何？										
	很滿意	百分比	滿意	百分比	尚可	百分比	不滿意	百分比	無填寫	百分比
縣市政府	7	28%	16	64%	2	8%				
公路總局	3	13%	8	33%	12	50%			1	4%
高公局	3	27%	7	64%	1	9%				
鐵路局	3	33%	5	56%	1	11%				
顧問公司			7	78%	1	11%			1	11%
其他			2	50%			2	50%		
小計	16	20%	45	55%	17	21%	2	2%	2	2%

表 6.15 UAV輔助與3D模型應用程式是否有助於工作效能之提升彙整

UAV 輔助與 3D 模型應用程式是否有助於工作效能之提升？								
	是	百分比	否	百分比	尚可	百分比	無填寫	百分比
縣市政府	20	80%			5	20%		
公路總局	10	42%	3	13%	10	29%	1	4%
高公局	9	82%	1	9%	1	9%		
鐵路局	4	44%	1	11%	4	44%		
顧問公司	3	33%	1	11%	4	44%	1	11%
其他	1	25%	3	75%				
小計	47	57%	9	11%	24	29%	2	2%

表 6.16 3D 模型是否有助橋梁構件劣化之判斷彙整

3D 模型是否有助橋梁構件劣化之判斷								
	是	百分比	尚可	百分比	否	百分比	無填寫	百分比
縣市政府	19	76%	1	4%	5	20%		
公路總局	10	42%	2	8%	11	46%	1	4%
高公局	8	73%			3	27%		
鐵路局	4	44%	1	11%	4	44%		
顧問公司	4	44%	1	11%	2	22%	1	11%
其他	1	25%	2	50%	1	25%		
小計	46	56%	7	9%	26	32%	2	2%

橋梁檢測工具效能提升計畫(2/2)問卷調查總結：

1. 多數人均無橋檢經驗而主觀認定目前橋檢設備並無不便之處，但有橋檢經驗的人員大多認為目前橋檢設備受地形限制、交通維護不便、租借不易及檢測耗時等影響，造成橋檢困難。
2. 藉由 UAV 拍攝橋梁構件影像有高達 81%的學員表示滿意。
3. 對於 UAV 的便利性，76%的學員表示滿意，且高達 82%的學員認為 UAV 能提升目前橋梁檢測的工作效率。
4. 85%的學員均表示未來有可能使用 UAV 進行橋梁檢測，且 82%的學員同意本期計畫新增模組(障礙偵測模組、飛行耐久模組、定位精進模組、影像提升模組)可增加其使用 UAV 檢測之信心。
5. 參與學員對 UAV 整體表現均有 70%以上的滿意程度。
6. 教學操作部分因考慮意外的發生，僅計畫人員示範操作，而 90%學員對於 UAV 的解說及展示均表示滿意，並了解 UAV 應用程式以及 UAV 機體之操作。
7. 本計畫生成之 3D 模型有 86%的學員認為可有助於工作效能之提升，且有 88%的學員普遍認為有助於橋梁構件劣化之判斷。

## 第七章 結論與建議

本年度的研究中，承襲 103 年度前期計畫之研究成果，提出防撞式 UAV 橋梁構件影像自動擷取系統，並著眼 4 大功能模組之提升，包含：障礙物偵測模組(旋翼式無人機可偵測航行範圍內的障礙物並自動閃避)、定位精進模組(當旋翼式無人機於橋下時仍能具備定位能力)、飛行耐久模組(允許旋翼式無人機完成逾百米橋長的複合飛行路徑)、影像提升模組(搭載等級較高攝影機取得精細度更高的影像)，及 3D 生成模組(將旋翼式無人機的檢測結果合併生成 3D 橋梁影像)。

綜合而言，此防撞式 UAV 橋梁構件影像自動擷取系統將更能符合橋梁現地檢測之使用，並同時具備與第二代橋梁管理資訊系統(TBMS2)整合之優勢，且亦於 106 年獲取專利證書(新型第 M516006 號)，顯見研究成果深獲肯定。有關本期計畫達成之具體成果，以及未來研究方向，以下提出幾點結論與建議：

### 7.1 結論

1. 開發完成的防撞式 UAV 橋梁構件影像自動擷取系統可達成 3 項成果：
  - (1) 確保檢測人員之工作安全性：對於檢測人員難以到達的橋梁或橋面交通的影響，本系統可輕易到達且無礙交通運行，因此檢測人員攀爬橋梁構件的需求將可降低而確保工作安全性。
  - (2) 確保橋梁檢測之合理效益性：檢測人員僅需一可連線前期計畫所開發的地面控制程式的 UAV 便可進行橋梁檢測。對於 UAV，除了正常的零件耗損外，並無須額外負擔設備費用，因此相較於國內外重要文獻所分析的橋梁檢測技術而言，前期計畫尚屬低成本的高效益方案。
  - (3) 確保橋梁檢測之紀錄詳實性：本系統可搭載 1-2 組的高速攝影機，這些攝影機可以不同角度且廣角下拍攝橋梁構件的影片或影像。檢測人員亦可同時拍攝影片和照片。
2. 研究開發完成的 UAV 各項模組，相關配備與規格說明如下：
  - (1) 障礙物偵測模組：採用 LV-Max 聲納，可避免橋下光線不良的干擾，且因重量輕，儘管搭載 5 個聲納感測器，也不會對電力損耗造成影響。
  - (2) 定位增強模組：採用 uBox 7M 以上的 GPS 30dB 晶片組兩顆，可減緩橋下斷訊時間。
  - (3) 續航改善模組：使用 4S 8000mAh 可檢測 2.1 公里，4S 16000mAh 可檢測 3.6 公里。
  - (4) 影像精進模組：採用 Canon S120 可改善魚眼效應。若無法使用 Canon S120 相機，亦可透過影像編輯軟體校正魚眼效應。
  - (5) 3D 生成模組：透過 Pix4D Mapper 可自動生成 3D 模型。若生成的

3D 模型欲放置到其他地理資訊系統(如 Google Earth)，則取得的相片需具有地理標籤。

3. 現地實測部分，本期計畫的防撞式橋梁構件影像自動擷取系統具備超越人為操控 UAV 進行橋梁檢測之優勢。適用於此系統之橋梁為牆面最長寬度小於 80 米、橋底距河面最小高度 5 米、橋跨最短長度大於 10 米、橋墩為單柱型式。
4. 本研究計辦理 3 場成果推廣訓練活動，經調查 85% 的學員均表示未來有可能使用 UAV 進行橋梁檢測，且 82% 的學員同意新增模組可增進檢測之信心，顯示計畫成果確有助於協助提升橋梁檢測作業效能。
5. 本計畫製作一部微電影(至少 3 分鐘)，用來簡介無人機橋梁檢測作業情形，另研究成果亦投稿至國外期刊和學術研討會 2 篇 (Applying Unmanned Aerial Vehicles in Bridge Inspection : A Case Study in Taiwan [KSCE Journal of Civil Engineering]、自動化無人飛行載具輔助擷取橋梁影像之研究[2015 營建工程與管理學術研討會])。

## 7.2 建議

1. 防撞感測器再精進化：在測試本計畫所使用之聲納感測器時，若障礙物主動靠近 UAV 時，UAV 能精準地閃避障礙物。但應用於自動飛行過程中，UAV 並無法每次都精準地避開障礙物，其主要原因為 UAV 飛行速度若超過 1m/s 時，由於反應時間過短因而來不及閃躲。爰如何讓 UAV 飛行速度和感測器反應時間互相搭配，則需要透過更複雜的演算法設計與測試。
2. 3D 模型更細緻化：由生成橋梁構件 3D 模型的過程，本計畫發現所生成的 3D 模型常會有雜訊影像存在，這必須透過人工修正雜訊。此外，所生成的各橋梁構件 3D 模型並無法自動合成出全橋 3D 模型。因此，未來如何克服上述兩點限制將是一大課題。
3. 橋梁構件影像與 Google Earth 結合更深入化：本計畫目前僅實驗性地證明本計畫所生成之橋梁構件 3D 模型和相片可匯入 Google Earth 中，但如何讓橋檢或管理人員更便利地填寫或觀看檢測報告則須更進一步地規劃與實作。

## 參考文獻

1. 中華顧問工程司,「混凝土、鋼橋一般檢測手冊」,臺灣省住宅及都市發展局,1996。
2. 昭凌工程顧問有限公司,「公路橋梁一般目視檢測手冊」,交通部臺灣區國道高速公路局,1996。
3. 國立中央大學土木系橋梁工程研究中心,「混凝土橋梁檢查手冊」,臺灣省交通處公路局,1997。
4. 黃宣菁,「臺灣地區公路橋梁管理系統架構之研究」,碩士論文,國立中央大學土木工程學系,1997。
5. 姚乃嘉、任以永、李俊憲,「地理資訊系統在橋梁管理之應用」,營建管理季刊,第三十九期,P.20-29,1999。
6. 唐治平、蔣偉寧、施建志、莊秋明、林呈、周憲德,「橋梁設計維修支援系統之建立(II)---國內現有自然災害危害評估及防治方法之整合研究」,交通部科技顧問室,2000。
7. 蔣偉寧、姚乃嘉等,「建立臺灣地區橋梁管理系統研究報告」,交通部運輸研究所,2001。
8. 姚乃嘉、李俊憲,「以生命週期為導向之橋梁資訊管理系統之發展策略」,生命週期導向之橋梁管理系統研討會,2002。
9. 陳生金、黃慶東、楊國珍等,「橋梁耐震能力評估準則之建立研究報告」,交通部公路總局,2003。
10. 交通部,「公路養護手冊」,交通部技術標準規範公路類公路工程部,2003。
11. 唐治平、蔣偉寧、莊秋明、李錫堤、林呈,「高快速公路橋梁鄰近區域之自然災害度潛勢分析研究報告」,交通部公路總局,2004。
12. 蔣偉寧、顏上堯、姚乃嘉、許文科、洪東謀,「橋梁重要程度等級之建立研究報告」,交通部公路總局,2004。
13. 蔣偉寧、姚乃嘉、王仲宇等,「生命週期導向之橋梁資訊管理系統建立及維護管理作業自動化技術開發研究報告」,交通部科技顧問室,2004。
14. 楊振翰,「臺灣地區橋梁維護管理現況與未來發展之研究」,碩士論文,國立中央大學營建管理研究所,2005。
15. 廖先格、姚乃嘉,「臺灣地區橋梁管理系統介紹」,橋梁維護管理訓練講習課程講義,交通部運輸研究所,2006。
16. 國立中央大學,「臺灣地區橋梁管理資訊系統橋梁資料檢核計畫研究報告」,交通部運輸研究所,2007。
17. 國立中央大學,「縣市政府老舊及受損橋梁整建計畫(二)研究報告」,交通部運輸研究所,2009。
18. 國家地震研究中心,「公路橋梁耐震評估及補強準則之研究成果報告」,交通

- 部公路總局，2009。
19. 國立中央大學，「臺灣地區橋梁管理資訊系統橋梁資料查核計畫研究報告」，交通部運輸研究所，2010。
  20. 張文鴻，「以三維模型輔助橋梁目視檢測之研究」，碩士論文，國立中央大學營建管理研究所，2012。
  21. 國立中央大學，「102 年度臺灣地區橋梁管理系統維護管理服務建議書」，交通部運輸研究所，2013。
  22. FHWA, Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the National's Bridges, FHWA, 1995.
  23. Dan M .F rangopol, B ridge Life-Cycle C ost A nalysis A nd Life-Cycle Management: A Brief Retrospective And Future Trends, International Forum on Integrated Life-Cycle Management of Infrastructures-Bridges (2003) 1-21.
  24. U.S. Department of Transportation, Intermodal Surface Transportation Efficiency Act of 1991, U.S. Department of Transportation, 1991.
  25. Reed M. Ellis, Paul D. Thompson, Rene Gagnon, and Guy Richard, Design and Implementation o f a N ew B ridge M anagement S ystem f or th e M inistry o f Transport o f Q uébec, B ridge M aintenance, S afety an d M anagement - IABMAS'10 : Proceedings o f th e Fifth International IABMAS C onference, 2010.
  26. Miguel E . R uiz, E duardo A. C astelli, a nd T omás A . P rato, A ne w Bridge Management System for the National Department of Transportation of Argentina, Bridge Maintenance, Safety Management, Health Monitoring and Informatics - IABMAS '08 : Proceedings of the Fourth International IABMAS C onference, 2008.
  27. H. F uruta a nd E . W atanabe, Bridge m aintenance a nd pr actical bridge management systems in Japan, Bridge Maintenance, Safety and Management - IABMAS'10 : Proceedings o f th e Fifth International IABMAS C onference, 2010.
  28. T. Matsui, Y. Wada, S. Sakai and T. Yasuzato, Approach for bridge management using BMS in West Nippon Expressway Company Limited, Bridge Maintenance, Safety and Management - IABMAS'10 : Proceedings of the Fifth International IABMAS Conference, 2010.
  29. Arne H enriksen, B ridge M anagement—Routine M aintenance : Recent Experience w ith th e R outine M anagement M odule i n th e D ANBRO Bridge Management System, Transportation Research Board, Washington, DC, 2000.
  30. Bryan T. A dey, Leo Klatter, a nd Jung S. K ong, Overview Of Existing B ridge Management Systems, The IABMAS Bridge Management Committee, 2010.
  31. Nie-Jia Y au, H sien-Ke L iao an d Jean-Shiann Lee, “A n O erview o f T aiwan

- Bridge Management System (T-BMS),” Construction and Professional Practices, Proceedings of the tenth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-10), Bangkok, Thailand, 3-5 August, 2006.
32. Nie-Jia Yau and Hsien-Ke Liao, “Development of Bridge Management System in Taiwan,” Proceedings of the 5th International Conference on Construction Project Management / 2nd International Conference on Construction Engineering and Management, 1-2 March 2007.
  33. Nie-Jia Yau and Hsien-Ke Liao, “Visual Inspection and Evaluation for Special Bridges,” Proceedings of 2007 International Symposium on Integrated Life-cycle Design and Management of Infrastructure, 16-18 May 2007.
  34. J. Bien, “Modelling of structure geometry in Bridge Management Systems,” Archives of Civil and Mechanical Engineering, Vo. XI, No. 3, pp. 519-532, 2011.
  35. Z. Mirzaei, B. Adey, L. Klatter, and J. Kong, The IABMAS Bridge Management ZCommittee Overview of Existing Bridge Management Systems, 2012.
  36. InspectTech Collector Mobile, Bentley’s software. [http :  
//www.bentley.com/zh-TW/Free+Software/InspectTech+Collector+Mobile.htm](http://www.bentley.com/zh-TW/Free+Software/InspectTech+Collector+Mobile.htm), accessed on December 22, 2013.



## 附錄一 期中審查委員意見暨回覆說明

委員	審查意見	承辦單位回覆說明	主辦單位審查意見
王委員瑞麟	近兩年來團隊利用 UAV 應用於橋梁檢測之研究，已有初步實際成果，在此給予肯定。	謝謝委員肯定。	同意承辦單位意見
	建議團隊思考後續如何提升影像處理能力，提高辨識度，以快速對應橋梁各構件，俾利簡化後端處理作業，亦能方便專家學者直觀評定。	謝謝委員建議，目前僅可透過 GPS 方式將拍攝照片疊合於地圖上，但如何與構件結合則尚待未來近一步研究。	同意承辦單位意見
陳委員進發	本期研究相較前期已加載許多功能模組，例如兩套 GPS、四組超音波等，對於未來公路總局各工務段在執行橋檢時，針對招標內容所需開立規格部分，建議團隊能考量橋梁量體、委託經費及受委託單位檢測能量，具體臚列 UAV 基本或豪華配備。	本計畫所使用之 UAV 價格約在 200,000~100,000 之內。本計畫會於期末報告列出相關費用明細。	已於期末報告中回應處理
	本計畫可作為交通部每年辦理縣市政府橋梁評鑑之查核工具，可與橋檢車檢測結果進行比較，達成推廣的第一步。	可以。UAV 因檢測迅速，不僅可以用來查核相關檢測人員是否有確實檢核，亦可以提供快速檢測，節省人員於現場檢測的時間。	同意承辦單位意見
	影像解析度仍是一項挑戰，建議團隊仍需持續探討並努力精進。	謝謝委員建議，本計畫會持續改進。	同意承辦單位意見
	本研究如欲申請專利，有關未來採購相關規定，建議研究團隊洽詢瞭解。	本計畫前期研究成果已由運延所申請專利中，本期計畫會再諮詢運研所法務部門相關事宜。	同意承辦單位意見
葉委員韓生	本研究對於障礙物偵測、定位精確、飛行耐久及影像辨識等課題，已有進一步的提升，在實務應用上，能提供新穎的橋梁檢測方式，本人給予十足肯定。	謝謝委員肯定。	同意承辦單位意見
	本研究主要取代傳統目視檢測方式，惟目視檢測對於橋梁部分構件仍有窒礙難行之處，且人為辨識解析能力亦有極限，如透過 UAV 則能解決此問題，建議報告能針對此	謝謝委員建議，本計畫會持續改進。	同意承辦單位意見

委員	審查意見	承辦單位回覆說明	主辦單位審查意見
	部分具體加強補充。		
	有關簡報所提現地彩虹二橋測試部分，能拍攝擷取上部之鋼拱構件，係一大突破，因一般人員檢測根本不可能攀爬上去，透過 UAV 飛行，確實能補足過去無法檢測範圍(E=0 之情形)。	謝謝委員肯定。	同意承辦單位意見
	UAV 飛行成果應重質感而非程序上完整，有關簡報提供建議完整飛行路徑，似非必要，應注重在現場拍攝之影像可作為初步判別，並可多次飛行以重複確認。	謝謝委員建議，本計畫會持續改進。	同意承辦單位意見
	有關障礙物偵測部分，建議於橋面上直接設定飛行高度，以避免因高速車輛行駛導致 UAV 反應不及遭撞毀之情況發生。	謝謝委員建議，此部分會於期末報告再加以補充說明。	已於期末報告中回應處理
陳委員柏源	本研究案係第 2 年期計畫，研究成果已具雛型，後續工作應著重在推廣應用部分。	謝謝委員建議，本計畫會持續改進。	同意承辦單位意見
	<p>針對本研究 3 項特色：定位飛行、3D 生成、防撞部分，建議如下：</p> <p>(1)簡報所提現地測試橋梁，考量南山大橋及彩虹二號橋橋體規模均小，且各構件位置之檢測可及性較高，建議另尋山區或鐵路等人員檢測困難性較高之橋梁，以凸顯 UAV 橋檢特色。</p> <p>(2)單一構件 3D 生成效果不錯，惟小尺度構件(如纜索、裂縫等)因影像解析技術限制下，仍無法清楚呈現，建議就 3D 生成模組之特色及限制多作說明。</p> <p>(3)有關 3D 生成操作系統部分，建議補充作業流程(SOP)，俾利未來使用者應用。</p> <p>(4)防撞部分，建議亦設計防呆機制，以建立更安全操作環境，供使用者安心駕駛。</p>	<p>謝謝委員建議，相關答覆如下：</p> <p>(1) 期中報告後，本計畫會再於不同橋梁現地進行實測。</p> <p>(2) 此部分會於期末報告再加以補充說明。</p> <p>(3)此部分會於期末報告再加以補充說明。</p> <p>(4)本計畫會持續改進。</p>	已於期末報告中回應處理
	有關飛行路徑存取功能，建議可存放至二代 TBMS 系統中，以供檢測	謝謝委員建議，本計畫會持續改進。	同意承辦單位

委員	審查意見	承辦單位回覆說明	主辦單位審查意見
	人員下載使用，避免人員因更換造成操作使用之落差。		意見
	簡報第 28 頁防撞模組部分，建議補充各種方式之評估過程，以瞭解採用聲納之緣由。	謝謝委員建議，此部分會於期末報告再加以補充說明。	已於期末報告中回應處理
	飛行遙控器之設計應儘量簡單且易操作，俾利推廣應用。	謝謝委員建議，本計畫會持續改進。	同意承辦單位意見
姚委員辰安	報告書就現地測試部分，似僅呈現前期模組下之測試結果，惟簡報中已包含新增模組，建議團隊檢視後更正。	謝謝委員建議，本計畫於期末報告中會再加以說明。	已於期末報告中回應處理
	本期擴增為兩套 GPS 模組後，路徑精確度應大幅提升許多，有關防撞模組必要性，建議團隊考量整體飛行載具之重量下，調整模組的量體。	謝謝委員建議，本計畫會持續改進。	同意承辦單位意見
	本研究應著重在影像辨識系統之解析度，如減少防撞裝置，針對辨識功能能否再加強，建請進一步探討。	謝謝委員建議，此部分會於期末報告再加以補充說明。	已於期末報告中回應處理
	有關現地測試之檢測時間、飛行時間(包含安裝、設定、天候、溫度、光線)等內容，應詳細紀錄，並與人員或橋檢車檢測方式比較，以完整呈現本研究效果。	謝謝委員建議，此部分會於期末報告再加以補充說明。	已於期末報告中回應處理
	本研究最初宗旨應係開發一簡單操作飛行載具，以供橋管機關人員易上手使用，後續教育訓練應著重在此方面，讓承辦人員有信心操作，此舉亦可減少委外檢測之成本。	謝謝委員建議，本計畫會持續改進。	同意承辦單位意見
本所運計組	有關現地測試部分，本所將再與團隊討論，於期末階段擇定具說服力且效益顯著之橋梁進行實測。	期中報告後，本計畫會再於不同橋梁現地進行實測。	已於期末報告中回應處理
	有關本期新增之障礙物偵測模組，由於聲波傳遞方式為平面傳送，爰飛行載具前後左右四處各裝載感測器有無必要，請再考量，建議改採	謝謝委員建議，本計畫會持續改進。	同意承辦單位意見

委員	審查意見	承辦單位回覆說明	主辦單位審查意見
	前左右及上方四處安裝測試。		
	關本期新增之定位增強模組，報告 P42 顯示橋面板寬度於 60 公尺內，仍可接收 4 顆衛星，飛行尚可不受影響，倘超過 60 公尺橋面板，是否無法進行自動飛行檢測，建請說明。	謝謝委員建議，此部分會於期末報告再加以補充說明。	已於期末報告中回應處理
	後續 3 場教育訓練，建議預先規劃飛行設定路徑，並於試測之場地供學員實際操控，以及早瞭解並蒐集使用者之問題回饋。	謝謝委員建議，本計畫會持續改進。	同意承辦單位意見
	報告書後續期末審查時，建議採雙面列印，以節約用紙。	謝謝委員建議，本計畫會持續改進。	同意承辦單位意見
蘇主席振維	簡報第 20 頁 UAV 操作模組係採用 Android 平板電腦，惟二代 TBMS 則採用 IOS 平板系統操作，請考量如何互相結合。	因 iOS 系統較為封閉，無法與 UAV 進行有效溝通，故本計畫使用 Android 系統之平板電腦進行操控。	同意承辦單位意見
	本案未來開發完成後，相關專利申請事宜，如路徑規劃、硬體模組，請團隊再詳予考量。	本計畫目前已申請專利中。	同意承辦單位意見
	有關微電影製作部分，本所執行東部自行車計畫有相當經驗，建議後續腳本編撰部分可諮詢該計畫拍攝團隊。	謝謝委員建議，本計畫將會再諮詢相關單位。	同意承辦單位意見
	3D 生成部分，如無法完整呈現整體橋梁，建議僅針對各別構件呈現即可。	謝謝委員建議，本計畫會持續改進。	同意承辦單位意見
	有關本會議各與會學者專家所提意見，請中大團隊充分考量納入報告修正及列表回應；另本次期中報告審查通過，請依合約續辦相關作業。	謝謝委員建議，本計畫會持續改進。	--

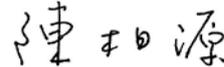
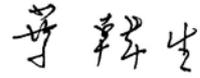
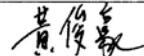
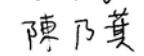
**「MOTC-IOT-104-PEB019 橋梁檢測工具效能提升計畫  
(2/2)」期中報告審查會議紀錄**

一、時 間：104 年 9 月 8 日(星期二)上午 10 時整

二、地 點：交通部運輸研究所 10 樓會議室

三、主持人：蘇組長振維  記錄：江明益

四、出(列)席單位及人員：

出席者	簽名處
姚委員辰安	
陳委員柏源	
葉委員韓生	
陳委員進發	
曾委員志煌	(請 假)
王委員瑞麟	
本所運輸計畫組	江明益  黃俊毅  陳乃萇 

中央大學	謝乃嘉 蔡肉光 吳明濤 廖先格
------	--------------------------

五、散會時間：上午12時整

謝乃嘉  
 莊友涵  
 蔡煥

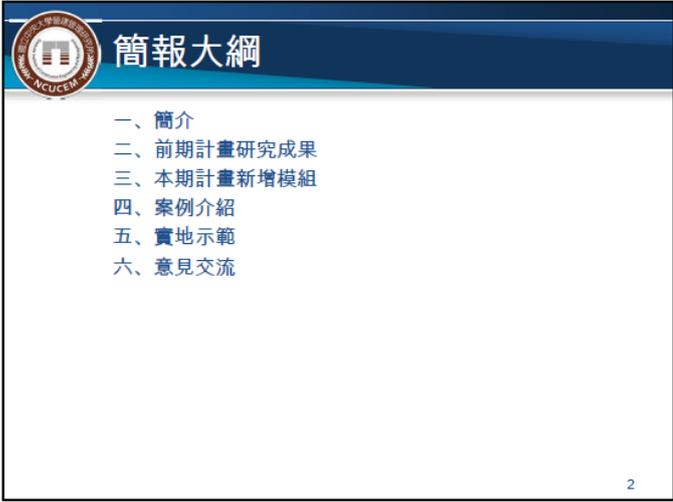
## 附錄二 教育訓練簡報內容

2015/11/5



交通部運輸研究所、國立中央大學  
計畫主持人：姚乃嘉教授  
協同主持人：陳明正教授、蔡閔光副研究員  
民國104年10月

1



簡報大綱

- 一、簡介
- 二、前期計畫研究成果
- 三、本期計畫新增模組
- 四、案例介紹
- 五、實地示範
- 六、意見交流

2

1

 一、簡介

- 台灣目前有超過兩萬八千座橋梁，為確保用路人之安全，橋梁檢測作業是政府重要的工作項目。
- 為提升橋梁檢測效能，前期計畫已開發出具自動飛行之無人飛機(UAV)於橋梁構件影像擷取系統。
- 但因橋梁檢測現場環境多變(如障礙樹木、側風、GPS 訊號不穩)，故尚有部分功能可再增進。
- 本期計畫提出防撞式UAV 橋梁構件影像自動擷取系統，主特色:障礙物偵測模組、定位精準模組、飛行耐久模組、影像提升模組和3D 生成模組。

3

 二、前期計畫研究成果 (1/13)

- 前期計畫UAV
  -  V-四軸
  -  X-四軸
  -  Y-六軸
  -  X-六軸
  -  X-雙四軸
  -  X-八軸
- UAV建議規格
  - 三級風以下-軸距550公釐的X-四軸
  - 四~六級風-軸距550公釐的Y-六軸或X-雙四軸
  - GPS衛星6顆以上(UAV會自行判斷)

4

## 二、前期計畫研究成果 (2/13)

- UAV啟動
  - UAV需按下安全鈕
  - UAV模式在上
  - UAV警示燈為綠色
- UAV方向
- UAV模式

5

## 二、前期計畫研究成果 (3/13)

- 適用橋梁:
- 可拍攝構件: 橋梁21構件中, 僅**支撐墊、止震塊、非外露構件**(橋台、墩基礎、擋土牆)較不易拍攝外, 其餘多可擷取影像

6



## 二、前期計畫研究成果 (4/13)

- 使用限制:
  - 飛行高度不應超過120米且機體重量不應高過5公斤
  - 不得在機場交通區域或任何機場5公里範圍內操作
  - 不得在任何人士、船隻、車輛或構築物上空或其50米範圍內飛行
  - 起飛及降落時應避免公眾地區，並不得在任何人士上空或其30米範圍內飛行，且操作員必須在場
  - 地面能見度不得少於5公里，同時，地面風速不得超過20海里(約7級風)
  - 操作員有責任確保無人機系統不會危及任何人士或財產
  - 不得干擾航空交通操作或航空導航設備

7



## 二、前期計畫研究成果 (5/13)

- 安全設定:
  - 電力不足會自動降落
  - GPS不良會停懸於定點
  - 與地面控制程式或遙控器斷失訊號會飛回
  - 飛行範圍可限制
  - 飛行速度限制於2m/s
  - 總重(含自身重量、兩顆鏡頭、4S 16000mAh電池)約3-4kg
  - 障礙物自動偵測(本期計畫)

8

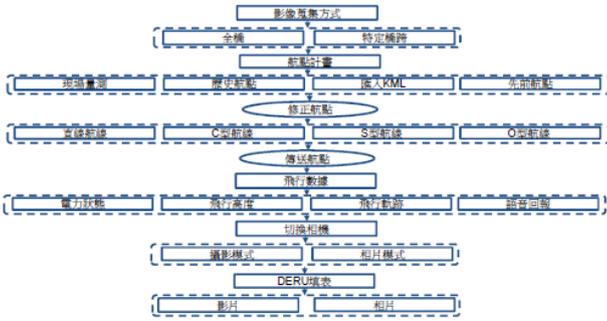
## 二、前期計畫研究成果 (6/13)

- 前期計畫操控軟體，AutoCopter，運作於Android平板之APP，包含四個主要模組(航點計畫模組、飛行數據模組、切換相機模組和DERU填表模組)

	Samsung Galaxy Tab Pro	Google Nexus	LG G Tablet
處理器	Qualcomm 四核心 2.3 GHz	Qualcomm 四核心 1.5 GHz	Qualcomm 四核心 1.7 GHz
重量(含電池)	335公克	290公克	338公克
記憶體	2 GB	2 GB	2 GB
螢幕尺寸	8.4英寸	7英寸	8.3英寸
無線傳輸	WiFi/藍芽	WiFi/藍芽	WiFi/藍芽
相機	前後鏡頭	前後鏡頭	前後鏡頭
作業系統	Android 4.4	Android 4.3	Android 4.2
定位能力	雙定位系統	單定位系統	單定位系統
價格(新台幣)	17,000元	9,000元	8,500元
照片			

## 二、前期計畫研究成果 (7/13)

- 現地操作流程



 **二、前期計畫研究成果 (8/13)**

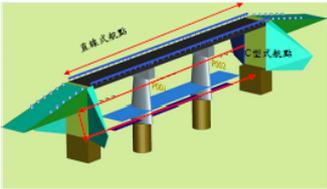
- 航點計畫：規劃UAV飛行航線
  - 現場量測 - 了解Google Maps與真實環境的誤差
  - 歷史航點 - 直接載入過去已儲存的飛行航線
  - 匯入KML - 載入已預先規劃好的KML檔案
  - 先前航點 - 匯入UAV飛行器所儲存的前次航線



11

 **二、前期計畫研究成果 (9/13)**

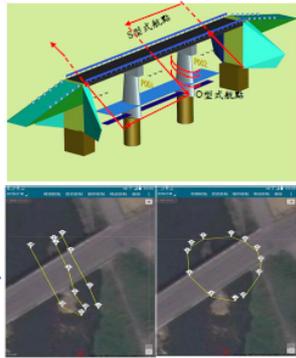
- 建議航線：
  - 直線航線：擷取橋面版、伸縮縫、摩擦層、排水設施、護欄、緣石及人行道影像
  - C型航線：具備高程差的影像擷取，如大梁兩側和河道




6

 二、前期計畫研究成果 (10/13)

- **S型航線**: 橋面板下GPS會受干擾, S型式航點可拍攝大梁面與橫隔梁
- **O型航線**: 繞行一範圍, 可拍攝橋台、橋台基礎、翼牆或擋土牆、引道路堤、引道路堤保護設施、引道護欄之影像、橋墩基礎、橋墩墩體、橋墩保護設施、支承墊、止震塊及防震拉桿等的全影



13

 二、前期計畫研究成果 (11/13)

- 飛行數據：了解UAV的各種狀態
  - **電力狀態**: 自動量測電池殘存電力並顯示於畫面中
  - **飛行高度**: 確認UAV所在的高度
  - **飛行軌跡**: 即時確認UAV的所在位置
  - **語音回報**: 語音方式回報任務執行與電力狀態



14

 **二、前期計畫研究成果 (12/13)**

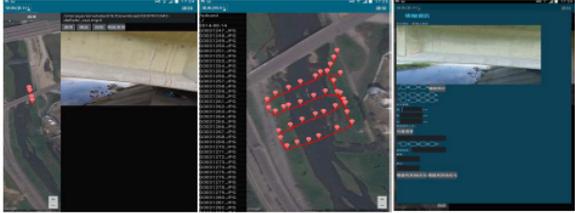
- 切換相機：安裝兩個相機時，由此切換相機
  - 目前**僅**支援GoPro Hero3+



15

 **二、前期計畫研究成果 (13/13)**

- DERU填表：觀看UAV所擷取的影像並填寫結果
  - **影片**:影片播放過程中，如有看到任何劣化情勢，只需按下擷取，便可將該畫面輸出至填表畫面內並加以描述完成目視檢測結果
  - **相片**:點選地理標籤即可看到影像並填寫目視檢測結果



### 三、本期計畫新增模組(1/8)

- 障礙物偵測模組:透過光學辨識或透過聲波辨識。

	LV-Max	Optical Flow	Lidar-Lite	IR 紅外線
偵測原理	聲波	光學	光學	光學
偵測範圍	10-100 公尺	30 公尺	50 公尺	10-50 公尺
價格	新台幣 1,500-3,000 元	新台幣 5,000 元	新台幣 7,000 元	新台幣 2,000-4,000 元
實體照片				



17

### 三、本期計畫新增模組(2/8)

- 測試結果(測試影片):

名稱	IR紅外線	LV-Max	Optical flow	Lidar-Lite
測距範圍	2M內	2M內	15M內	20M內
單價(新台幣)	1,000	3,000	8,000	5,000
可用環境	日夜間	日夜間	夜間較差	日夜間
精準性	50CM誤差	25CM誤差	10CM誤差	10CM誤差
已知限制	上或下無法使用	上或下無法使用	僅能安裝一個	僅能安裝一個

- 相較於紅外線、雷射雷達(Lidar-Lite)和光學流(Optical flow)感測器，本期計畫採用聲納，因較不受環境影響且價格不昂貴。

18

 **三、本期計畫新增模組(3/8)**

- **飛行耐久模組:**本期計畫為延長飛行時間，所使用之UAV預期為採用一顆電池(4S 16000mAh)、較低轉速(700-380KV)無刷馬達、大軸機架(650公厘)、長尺寸(13-14吋)正反螺旋槳。
- **測試結果:**

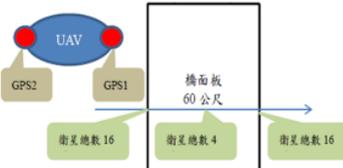
規格	4S 8000mAh	4S 16000mAh	6S 8000mAh	6S 16000mAh
電池重量	0.9kg	1.3kg	1.1kg	1.5kg
時間	18分	30分	19分	25分
預期飛行距離	2.1KM	3.6KM	2.3KM	3KM



19

 **三、本期計畫新增模組(4/8)**

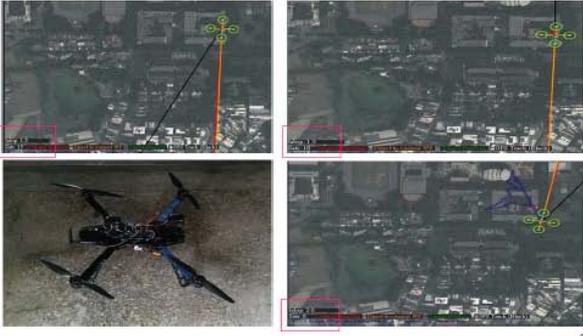
- **定位精準模組:**本計畫採用雙GPS模組搭配強波訊號之方式。
  - 訊號放大的方式，延緩訊號斷失的時間。一般衛星接收器的訊號頻率約3dB，本計畫預計將訊號放大10倍。




20

 三、本期計畫新增模組(5/8)

• 測試結果:



21

 三、本期計畫新增模組(6/8)

• 影像提升模組:採購價格相對較低、光圈可調、自動聚焦、自動閃光,更重要的是可程式化控制。

	GoPro Hero3+ Black	Canon S120
防水能力	40米	100米(搭配防水殼)
重量(含電池)	72公克	500公克
視角範圍	150	150
最大影片解析度	4K	1080P
最大相片解析度	4096x2160	3672x2460
使用時間	150分鐘	60分鐘
遙遙操控	WiFi	無
價格(新台幣)	14,000元	11,000元

照片




前期計畫

• 運作機制:伴隨UAV飛行,每1米可拍攝1張,亦可手動控制拍照

22

**三、本期計畫新增模組(7/8)**

- 全橋飛行建議路線

正視

橋側起點

橋上起點

橋下起點

橋側終點

橋上終點

橋下終點

23

**三、本期計畫新增模組(8/8)**

- 3D生成模組:**將所獲得的影像應可透過影像組合之方式產出3D橋梁影像。模組需能可匯入飛行航線記錄檔、具備影像疊合計算、支援影像地理資訊標籤編輯。

	VisualSFM	Agisoft	Pix4D
地理標籤	支援	支援	支援
影像疊合	有	有	有
匯入航線	無	無	有
價格	免費	新台幣 7,000 元	新台幣 200,000 元

- 可匯入之影像格式:jpg、tif、bmp
- 可輸出之3D格式:pdf、kml
- 3D生成模型步驟:設定專案目錄、選擇橋梁構件相片、確認座標系統、完成基本專案設定、進行3D模型生成、確認生成結果

24

**四、案例介紹(1/5)**

- 前、本期計畫已於桃園新大岷溪橋、66號快速道路桃科段、自強橋、羅浮橋、巴陵大橋；新竹內灣大橋、南山大橋和彩虹二橋；台北圓山橋等進行現地測試
- 測試步驟：

25

**四、案例介紹(2/5)**

- 飛行影片與擷取結果
- 3D生成結果-南山大橋為例
- 3D模型與Google Earth -南山大橋為例

26

 **四、案例介紹(3/5)**

- 評估心得
  - (1)本計畫之障礙物偵測模組確有其功用，但在**飛行路徑正確設定**下，本模組的運作的機會較低。
  - (2)為達成全橋(橋長100米，兩墩柱，三橋孔)構件的影像擷取，本計畫建議採用低速馬達(380-590KV)、長型正反葉(12吋以上)和**大容量電池(10,000mAh)**。唯機架不宜過大，應限制於650公厘以內，以避免橋孔距不足。
  - (3)關於定位改善模組，本計畫已採用雙GPS接受器和增強訊號接收功率，橋下定位情況能略有改善，但仍**不建議於橋面下沿橋梁方向直線飛行**進行構件影像擷取

27

 **四、案例介紹(4/5)**

- (4)本計畫改採用Canon S120數位攝影機，令人詬病的**魚眼效應確實不明顯**，故對於3D模型生成有所助益。唯此類數位攝影機較重，所以無法附掛過多的數位攝影機於UAV上。
- (5)3D模型生成模組確實能將拍攝的照片組合出**3D物件**，但該產出模型**僅能供橋樑檢測參考**，因模型為相片的再製且影像合成常發生錯位情況，故影像顆粒仍嫌粗糙。



真實照片



3D模型

- (6)3D模型生成需有多張**(至少須超過5張)**相同構件的拍攝照片。當南山大橋的橋孔距約8米,UAV約僅能飛行一次並取得2-3張照片，故不易針對橋墩進行3D生成。且**光源因素**，生成之橋下3D模型有錯誤。

28

 **四、案例介紹(5/5)**

- (7)橋梁構件的比例不同下，有部分構件是無法3D生成的。



29

 **五、實地示範**

- 時間:PM11:30-12:10

30



## 六、意見交流

- 時間:PM12:20-12:30

31



簡報結束 敬請指教

32

## 附錄三 教育訓練問卷

### 橋梁檢測工具效能提升計畫(2/2)問卷調查

#### 一、個人橋梁檢測經驗 (請填選☑代表選取)

1. 橋梁檢測年資  
 無  一~兩年  三~四年  四~五年  五年以上
2. 使用過的橋檢工具  
 橋檢車  橡皮艇  纜索  升降梯  
 其他\_\_\_\_\_
3. 您目前所使用的橋檢工具是否有造成您的不便?  
 否  是, 原因\_\_\_\_\_

#### 二、無人飛行載具(UAV)操作 (請打勾☑)

1. 您對於 UAV 拍攝的橋梁構件影像的滿意度如何?  
 非常滿意  滿意  尚可  不滿意
2. 您同意“使用 UAV 具有快速檢測的便利性”嗎?  
 非常同意  同意  尚可  不同意
3. 您同意“使用 UAV 進行橋梁檢測可提昇工作效能”嗎?  
 非常同意  同意  尚可  不同意
4. 您(或貴單位)未來使用 UAV 進行橋梁檢測之可能性如何?  
 一定會  可能性很高  有可能  不太可能
5. 您同意本期計畫新增模組(障礙偵測模組、飛行耐久模組、定位精進模組、影像提升模組)有增加您使用 UAV 檢測之信心?  
 非常同意  同意  尚可  不同意
6. 您對於此次 UAV 操作解說的滿意度如何?  
 非常滿意  滿意  尚可  不滿意
7. 您對操作解說之改善建議為?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

(背面尚有問題)

**三、UAV 輔助與 3D 模型應用程式 (請打勾☑)**

1. 您對於 UAV 輔助與 3D 模型應用程式整體使用之滿意度如何？  
很滿意   滿意   尚可   不滿意
2. 您對於系統執行速度之滿意度如何？  
很滿意   滿意   尚可   不滿意
3. 您對於系統功能便利性如何？  
很滿意   滿意   尚可   不滿意
4. UAV 輔助與 3D 模型應用程式是否有助於您工作效能之提升？  
是   否   尚可
5. 您認為 3D 模型是否有助於橋梁構件裂化之判斷？  
是   否   尚可
6. 您對 UAV 輔助與 3D 模型應用程式之改善建議為？

---

---

**四、 您對使用 UAV 進行橋梁檢測，其他相關的建議為？**

---

---

**填表人資料**

機關名稱：\_\_\_\_\_

姓名：\_\_\_\_\_

職稱：\_\_\_\_\_

聯絡電話：\_\_\_\_\_

電子信箱：\_\_\_\_\_

## 附錄四 期末審查委員意見暨回覆說明

委員	審查意見	承辦單位回覆說明	主辦單位審查意見
王委員瑞麟	本案 UAV 模型影像之解析度在同樣的構件下仍與實際檢測照片有所差距，未來是否能改善或精進，建請研究團隊提供建議。	感謝委員建議，模型精度是有提升的可能，但礙於本期計畫經費與時程，該工作項目將列為未來研究建議。	同意承辦單位意見
	針對 UAV 防撞部分測試過程，其設定飛行速度目前為 1m/sec，建議考量調慢飛行速度，以增加防撞感應靈敏度，並進而提升相片拍攝品質。	感謝委員建議，飛行速度和影像品質，因預算的關係可能目前結果還是不太滿意，但就 20 萬一架 UAV 來說，已經達到其標準。	同意承辦單位意見
	有關 UAV 所拍攝之影像品質(魚眼效果、背光等)，後端是否有進行再處理或修正，建請說明。	感謝委員建議，可事後透過軟體修正。	同意承辦單位意見
	本計畫後續是否與 TBMS2 結合填寫劣化表格，建請說明。	感謝委員建議，若 TBMS2 有需要就可以進行整合。	同意承辦單位意見
	有關 UAV 拍攝之照片影像，能否針對橋梁構建之特殊部位予以標示，俾利管理者更好判斷像片拍攝位置？	感謝委員建議，生成模型後輸出成 PDF 檔案，可於 PDF 上註記劣化位置，再看其對應相片。	同意承辦單位意見
	有些橋墩有編號，未來可對航測標示進行研究。	謝謝委員建議。	同意承辦單位意見
	有關 UAV 掛載之相機建議可換成環景相機，此方式應有利於 3D 生成。	謝謝委員建議。	同意承辦單位意見
葉委員韓生	國內 UAV 相關法律課題與限制，建議研究團隊持續瞭解並釐清確認。	謝謝委員建議，目前使用的 UAV 在 5 公斤以下，應是屬縣市政府列管。	同意承辦單位意見
	倘 UAV 動力消耗殆盡後，是自動原地降落，抑或返航後再降落？	感謝委員建議，會自動返航至起始點後降落。	同意承辦單位意見
	建議研究團隊針對 UAV 於橋檢之使用注意事項，研擬一套完整說明，內容應包含限制、適用範圍、橋梁等條件。	感謝委員建議，期末報告會再完整呈現。	已於定案報告中修正
	未來 Google Earth 即將收費，建	感謝委員建議，明年	同意承

委員	審查意見	承辦單位回覆說明	主辦單位審查意見
	請研究團隊及早規劃因應方法？	Google 會公布替代方案，到時在討論。	辦單位意見
	針對 UAV 於同橋重複飛行之結果是否進行相互比較探討？其結果為何，建請說明。	感謝委員建議，後續相關研究會再補充。	已於定案報告中修正
曾委員志煌	本計畫成功取得專利，其內容是否補充說明？	感謝委員建議，UAV 專利的申請為運研所提出，目前僅知已通過新型專裡之審查。	同意承辦單位意見
	有關 UAV 防撞測試部分，所附載之單顆聲納是否有其範圍限制，建請研究團隊說明。	感謝委員建議，飛機可掛載 4~6 顆聲納於上，故 6 個飛行方向皆可防撞。	同意承辦單位意見
	承上所述，本 UAV 是否曾於 3 級風下進行防撞功能測試，建請研究團隊補充說明。	感謝委員建議，前期計畫已於 6 級風下測試過所使用之 UAV，並順利完成測試。	同意承辦單位意見
	GPS 接收器於 UAV 上的擺放位置(即相對距離)是否與其接收訊號有關係，建請團隊說明。	感謝委員建議，此建議已列於未來研究建議。	同意承辦單位意見
	有關團隊建議以 UAV 檢測適用之橋梁，其篩選原則，建請補充說明。	感謝委員建議，一般來說 UAV 最適合之橋梁為「交通量高、橋檢車無法進入」之橋梁。	同意承辦單位意見
	建議研究團隊針對 UAV 之成本資源、使用年限、經濟效益、打載功能、執行效率、優勢等特性，比較其它橋檢工具，如橋檢車等。	感謝委員建議，UAV 與其他檢測工具效益比較已說明於前期計畫成果報告內。	同意承辦單位意見
	3D 生成屬內業，飛行拍攝屬外業，請問是否有比較過內外業的時間、成本等考量因素？	感謝委員建議，內業作業時間約 1~2 天，若內業結果不滿意再去外拍橋梁，照片會因為拍攝高程的不同，對與改善模型較無幫助。	同意承辦單位意見
	是否有存在「必須」使用 UAV 才能檢測的橋梁？若有，請研究團隊極力建議。	感謝委員建議，本期成果報告已說明相關比較。	同意承辦單位意見
	有關研究團隊提出進行檢測或外稽下，採用 UAV 所需成本為 1 橋孔 3 萬元臺幣，惟 UAV 於現場檢測實際上僅需 20 分鐘，爰建議團	感謝委員建議，UAV 支援橋梁檢測的費用需視簽訂的合約為準，不屬於本期計畫研究項目。	同意承辦單位意見

委員	審查意見	承辦單位回覆說明	主辦單位審查意見
	隊針對相關搭載之輔助設備多做論述，以避免外界質疑。		
姚委員辰安	有關 UAV 防撞功能，倘飛行路徑係一開始就設定好的，則在固定飛行路徑遇障礙物之情況下，其偵測模組是否還可以正常閃避？建請說明。	感謝委員建議，可以。	同意承辦單位意見
	本 UAV 與其他檢測工具之成本比較，建議補充說明。	感謝委員建議，UAV 與其他檢測工具效益比較已說明於前期計畫成果報告內。	同意承辦單位意見
	是否有 UAV 全生命周期的分析，建請補充。	感謝委員建議，本期 UAV 全生命周期的分析已更新於報告成果內。	同意承辦單位意見
	採 UAV 檢測與現場人力檢測之比較，建請補充說明。	感謝委員建議，本期計畫所拍攝的南山大橋，因其檢測不實，故使用 UAV 檢測的資料與南山大橋的檢測資料有出入，其餘測試的蘇樂橋、華中橋、彩虹二橋皆與 TBMS 上的檢測資料差不多。	同意承辦單位意見
本所運計組	有關 UAV 防撞偵測部分，建議研究團隊蒐集國內相關研究論文之成果，瞭解利用相關演算法(如模糊控制理論)進行設計之可行性，俾利未來廣續研究之參考。	感謝委員建議，未來會加以研究此議題。	同意承辦單位意見
	有關 UAV 定位精度部分，建議研究團隊蒐集國內外相關 GPS 書籍，瞭解利用相關定位精進方法(如載波相位三次差分法)之可行性，俾利未來廣續研究之參考。	感謝委員建議，未來會加以研究此議題。	同意承辦單位意見
蘇主席振維	有關以 UAV 檢測適用之橋梁，請團隊研提建議方向，俾利橋梁相關主關單位參考。	感謝委員建議，已修正於成果報告內。	已於定案報告中修正
	建議研究團隊針對 UAV 檢測橋梁之優勢，提出具體說明，以凸顯本計畫之成效。	感謝委員建議，已修正於成果報告內。	已於定案報告中修正
	有關本會議各與會學者專家及代表所提意見，請研究團隊充分考	感謝委員建議，本團隊會如期完成。	--

委員	審查意見	承辦單位回覆說明	主辦單位審查意見
	量納入報告修正並列表回應；至本次期末報告審查通過，請於 104 年 12 月 25 日前提送修正報告定稿，俾利依合約續辦相關作業。		

「MOTC-IOT-104-PEB019  
橋梁檢測工具效能提升計畫(2/2)」  
期末報告審查會議紀錄

一、時間：104年12月16日(星期三)下午1時30分

二、地點：交通部運輸研究所10樓會議室

三、主持人：蘇組長振維  記錄：江明益

四、出席委員：

行政院交通環境資源處姚科長辰安



交通部路政司陳技正柏源

(請假)

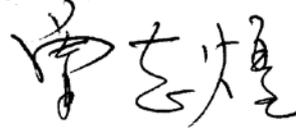
交通部臺灣區國道高速公路局葉副總工程司韓生



交通部公路總局陳副總工程司進發

(請假)

台灣中油股份有限公司資產營運管理處曾處長志煌



財團法人中華顧問工程司王技師瑞麟



五、出席單位：

	職稱	姓名
國立中央大學		<p>廖乃森 蔡同光</p> <p>廖先格 廖煥天 廖明強</p>
本所運輸計畫組		江明益

## 附錄五 期末審查簡報檔



# 橋梁檢測工具效能提升計畫(2/2)

國立中央大學  
計畫主持人：姚乃嘉教授  
協同主持人：陳明正教授、蔡閔光副研究員  
民國104年12月

1



## 簡報大綱

- 一、計畫內容
- 二、橋梁檢測設備之文獻回顧
- 三、去年已完成系統
- 四、本期計畫新增模組
- 五、橋梁現地測試
- 六、教育訓練
- 七、計畫成果與未來建議

2



## 一、計畫內容(1/3) - 背景

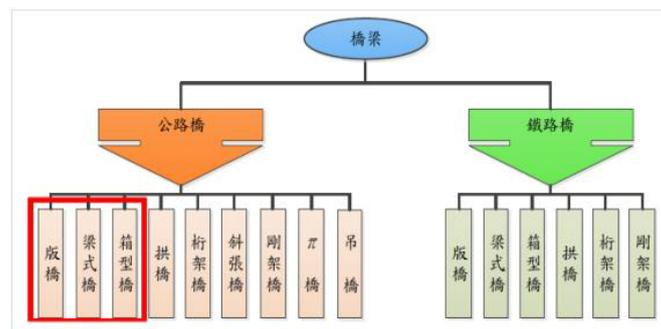
- 前期計畫(橋梁檢測工具效能提升計畫)已開發出有助於提升橋梁檢測作業品質及效率之旋翼式無人機橋梁檢測雛型模組。
- 但因橋梁檢測現場環境多變(如障礙樹木、側風、GPS 訊號不穩)，故尚有部分功能可再增進。
- 本研究提出防撞式UAV 橋梁構件影像自動擷取系統，主特色：障礙物偵測模組、定位精進模組、飛行耐久模組、影像提升模組和3D 生成模組。

3



## 一、計畫內容(2/3) - 對象與範圍

- 本計畫之UAV橋梁構件影像自動擷取系統適用於不同橋梁管理單位。可檢測的橋梁類型包含所有臺灣地區現有車行橋梁。
- 但礙於計畫時程，今年度本計畫將主要針對公路橋中之版橋、梁式橋及箱型橋進行實地測試。



4



## 一、計畫內容(3/3) - 工作項目

- **蒐集資料**：持續蒐集有助於提升橋梁檢測作業效率及品質之儀器、設備、技術應用、定位方法、發展情形及相關法規限制。
- **模組功能擴充**：基於「前期計畫」，廣續開發障礙物偵測及迴避功能，並嘗試提高定位精準度、訊號穩定性及動力耐久性。
- **實地測試及回饋修正**：進行全橋完整檢測(至少2座橋，每橋長至少逾百公尺)，嘗試以複合性路徑飛行及建置3D影像。
- **綜合評估及推廣應用**：評估研究成果之實施成效。以全生命週期觀點，分析採購、租用或引進相關軟、硬體設備所需成本，並辦理研究成果推廣(至少3場)。
- **其它**：製作微電影(至少3分鐘)簡介無人機橋梁檢測作業情形。擇選適當研究成果投稿至國、內外期刊或學術研討會(至少2篇)。

5



## 二、橋梁檢測設備之文獻回顧(1/11)

- 「**臺灣地區橋梁管理資訊系統(TBMS)**」由交通部運研所委託國立中央大學於民國88年年開發，並持續維護至今。



- 提供一個能**更密切**搭配TBMS的**橋梁檢測設備**將能進一步地提升TBMS的資料正確性與使用性，並達到有效的橋梁管理目的。

6



## 二、橋梁檢測設備之文獻回顧(2/11)

- **橋梁檢測車**:由液壓系統將**工作臂**彎曲深入到橋底對橋梁進行檢測。例如吊籃式和桁架式。



- **迷你型橋梁檢測電動車**:所具備的特質為**純電力驅動**、**輕便**的車體結構和**加載外部影像設備**。



7



## 二、橋梁檢測設備之文獻回顧(3/11)

- 傳統檢測車和迷你檢測車的比較(日本案例)
  - 目前迷你橋檢車只能租賃，而不販售
  - 相同工時下，迷你橋檢車較經濟

項目	仕様	数量	單位	単価	金額
橋梁点検作業	技師(A)	0.75	日	38900円	29175円
橋梁点検作業	技師(B)	0.75	日	31600円	23700円
画像処理	技師(A)	3	日	38900円	116700円
点検車運転	点検車(賃料)	1	日	100000円	100000円
点検車運転	運転手(特殊)	1	日	15900円	15900円
交通整理	交通誘導員	2	人	8400円	16800円

傳統橋檢車  
每日302,275日圓

項目	仕様	数量	單位	単価	金額
橋梁点検作業	技師(A)	1	日	38900円	38900円
橋梁点検作業	技術員	1	日	22700円	22700円
画像処理	技師(A)	3	日	38900円	116700円
点検車運転	点検車(賃料)	1	日	60000円	60000円
点検車運転	運転手(特殊)	1	日	0円	0円
交通整理	交通誘導員	1	人	8400円	8400円
		0		0円	0円

迷你橋檢車  
每日246,700日圓

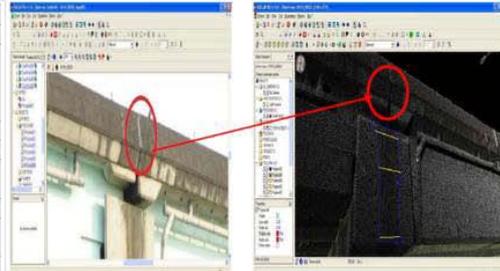
8



## 二、橋梁檢測設備之文獻回顧(4/11)

- 3D雷射掃描:短時間內**快速獲取大量高精度三維點位**相對坐標的儀器，因此適用於困難甚至危險到達的測量環境。

	Trimble TX5	Z+F IMAGER 5010	Riegl VZ-400
測距範圍	0.6-120 米	0.3-187 米	1.5-600 米
測量速度	12,000/秒, 244,000/秒, 488,000/秒, 976,000/秒	1,016,000 /秒	42,000 /秒
測距誤差	± 2m@ 25m	± 1m@ 25m	± 1.25m@ 25m
分辨率	7 千萬彩色像素	外掛不同畫數相機	外掛不同畫數相機
視場(垂直/水平)	300°/360°	320°/360°	60°/360°
作業環境溫度	5 度至 40 度	-10 度至 45 度	0 度至 40 度
尺寸	24x20x10 cm 5 公斤	17.0 x 28.6 x 39.5 cm 9.8 公斤	18x 18x30.8 cm 9.6 公斤
價格(新台幣)	2,500,000 元	6,000,000 元	6,000,000 元
照片			



9



## 二、橋梁檢測設備之文獻回顧(5/11)

- 行動裝置:因具備**無線網路、高速運算、全球衛星定位、數位攝影、長時間使用和便於攜帶**，故可提升檢測效益和簡化資料傳遞。



10



## 二、橋梁檢測設備之文獻回顧(6/11)

- 遙控飛機:以**不承載駕駛員**的飛行裝置進行**正確且精準**的取得橋梁於**三維空間**的影像資訊。常見類別有**定翼式**與**旋翼式**。



11



## 二、橋梁檢測設備之文獻回顧(7/11)

- 其它橋梁檢測設備:**輔助檢測之監測網路**(如地震儀、風速計和光纖網路)可安裝於橋梁重點構件上後，進而達成橋梁檢測目的。或針對**特殊目的**，例如裂縫寬度、混凝土崩落厚度，所設計的特定檢測儀器。

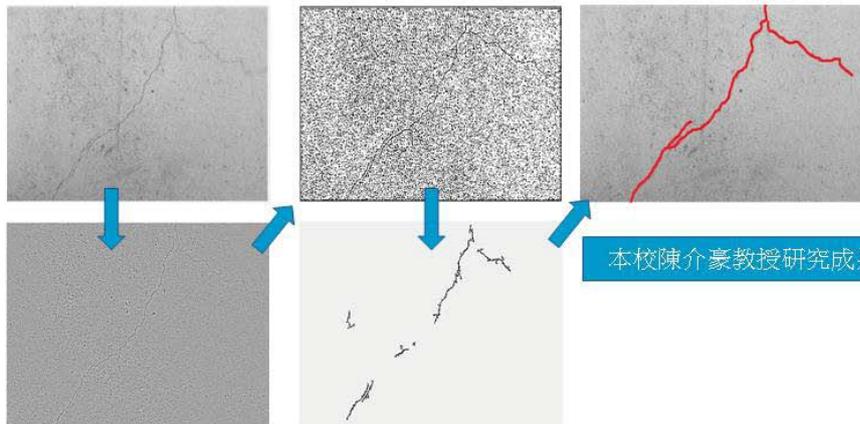


12



## 二、橋梁檢測設備之文獻回顧(8/11)

- 影像辨識:針對橋梁檢測影像資料的分析技術。取得數位影像資料後,去除影像中的雜訊、加強對比與分離影像中的檢測目標物與背景、改善影像的清晰度並取得特徵圖像和位置。



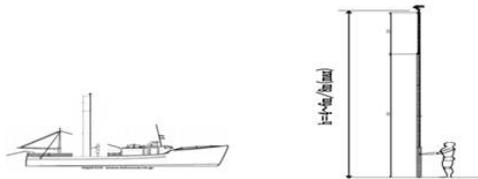
13



## 二、橋梁檢測設備之文獻回顧(9/11)

- 國際特殊橋樑檢測設備
  - 長桿攝影機:檢測人員使用一根長桿架上攝影機

ポールカメラ(ボート+ポールカメラ)  
(デジタルカメラ撮影)



- 紅外線掃瞄車:結合紅外線攝影與影像辨識技術於行走車輛



14

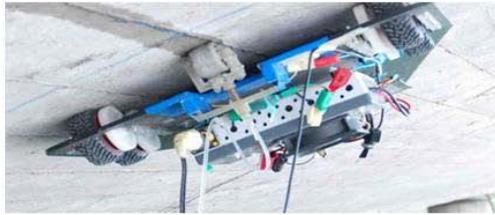


## 二、橋梁檢測設備之文獻回顧(10/11)

- 超音波鐵路橋檢測車:利用行走車輛加裝超音波感應器的方式進行鐵路橋檢測



- 爬行檢測車:藉由小型爬行裝置運行於橋梁構件上進行構件檢測



15



## 二、橋梁檢測設備之文獻回顧(11/11)

- 遙控潛艇:由於水下基礎並不易目視檢測，因此有部分學者認為透過遙控潛艇或許可解決此限制。



16



### 三、去年已完成系統(1/10)

- 前期計畫之UAV具**低採購和維護成本**、**低人力需求**、**低檢測範圍**(含長度與高度)限制、**高可攜性**、**高安全性**、**快速資料蒐集**和容易重複執行檢測。唯易受現地氣候影響，例如下雨和雷擊會導致UAV 異常。
- UAV硬體: 550mm機架、Pixhawk控制器、1047螺旋槳、880KV馬達、6200mAh。



17



### 三、去年已完成系統(2/10)

- UAV**安全性**設定:
  - 電力不足會自動降落
  - GPS不良會停懸於定點
  - 與地面控制程式或遙控器斷失訊號會飛回
  - 飛行範圍可限制
  - 飛行速度限制於2m/s
  - 總重(含自身重量、兩顆鏡頭、4S 16000mAh電池)約3-4kg
  - 障礙物自動偵測(本期計畫)

18



### 三、去年已完成系統(3/10)

- 影像模組：攝影機-前期計畫選用GoPro Hero3+ Black版本，並可同時掛載兩個攝影機。

	GoPro Hero3+	ISAW A3 EXTREME	BENQ SPI
防水能力	40 米	60 米	60 米
重量(含電池)	72 公克	110 公克	78 公克
視角範圍	150	150	140
影片解析度	4K, 2.7K, 1440P, 1080P, 960P, 720P, 480P, WVGA	1080P, 960P, 720P, 480P	1080P, 960P, 720P, QVGA
相片解析度	4096x2160, 3648x2432, 1920x1080	4000x3000, 3648x2432, 3648x1052	4000x3000, 3200x2400, 2592x1944
使用時間	150 分鐘	120 分鐘	100 分鐘
遠端遙控	WiFi	WiFi	WiFi/2.4G
價格(新台幣)	11,000 元	12,000 元	7,000 元
照片	 前期計畫		 60米防水 WiFi傳輸



19



### 三、去年已完成系統(4/10)

- 系統操控模組：已開發一可於Android平板電腦(Samsung Tab Pro 8.4)上運作的地面控制程式，以提供較高運算能力、較精準定位能力和較大螢幕解析度

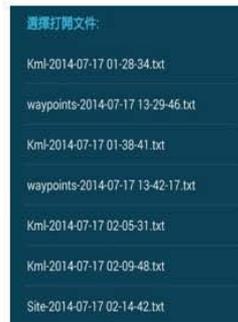
	Samsung Galaxy Tab Pro	Google Nexus	LG G Tablet
處理器	Qualcomm 四核心 2.3 GHz	Qualcomm 四核心 1.5 GHz	Qualcomm 四核心 1.7 GHz
重量(含電池)	335公克	290公克	338公克
記憶體	2 GB	2 GB	2 GB
螢幕尺寸	8.4英吋	7英吋	8.3英吋
無線傳輸	WiFi/藍芽	WiFi/藍芽	WiFi/藍芽
相機	前後鏡頭	前後鏡頭	前後鏡頭
作業系統	Android 4.4	Android 4.3	Android 4.2
定位能力	雙定位系統	單定位系統	單定位系統
價格(新台幣)	17,000元	9,000元	8,500元
照片	 前期計畫	 高週四核心 前後雙鏡頭 支援 NFC 7吋 IPS/ 323	 LG G Tablet 8.3 四核心 1.7GHz Full HD IPS WiFi版 8.3吋 / 163

20



### 三、去年已完成系統(5/10)

- SOP[實測影片]
- 四個系統模組
  - 航點計畫模組
    - (1)現場航點: 改善地理資訊與橋梁現地的差異性
    - (2)歷史航點: 記載所有執行過的飛行航線
    - (3)先前航點: 下載UAV的前次飛行航線;
    - (4)匯入KML: 自訂飛行路徑。



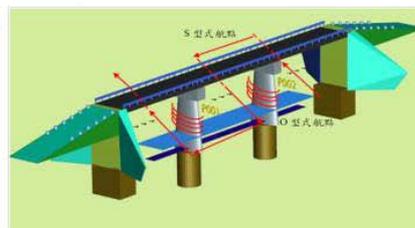
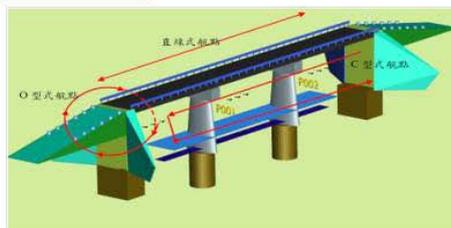
21



### 三、去年已完成系統(6/10)

- 建議飛行路線(高程範圍: 正高程100米、負高程20米)

航點類型	橋梁構件
直線式航點	橋面板或銜接版、伸縮縫、摩擦層、排水設施、護欄、綠石及人行道
C型式航點	橋墩基礎、橋墩墩體、橋墩保護設施、河道
O型式航點	橋台、橋台基礎、橋墩保護設施、支承墊、止震塊及防震拉桿、翼牆或擋土牆、引道路堤、引道路堤保護設施、引道護欄
S型式航點	大梁、橫隔梁



22



### 三、去年已完成系統(7/10)

• 航點類別區分成四類:

- (1) **起飛**: 全自動模式下，設定某特定點為初始飛行點；
- (2) **航點**: 設定飛行航線中的特定飛行點；
- (3) **盤旋**: 要求UAV於某特定點進行轉動或停滯；
- (4) **降落**: 指定某特定點為飛行的終點並自動降落。



23



### 三、去年已完成系統(8/10)

– 飛行數據模組



24



### 三、去年已完成系統(9/10)

#### – 切換相機模組

- 一組攝影機為擷取飛行航線中的上方橋梁構件影像，例如橋底橫隔梁；另一組攝影機則為擷取飛行航線中的水平或下方橋梁構件影像，例如大梁側面。
- 地面控制程式會透過2.4GHz的無線網路與攝影機連線，故橋檢人員可即時於行動裝置上觀看橋梁影像



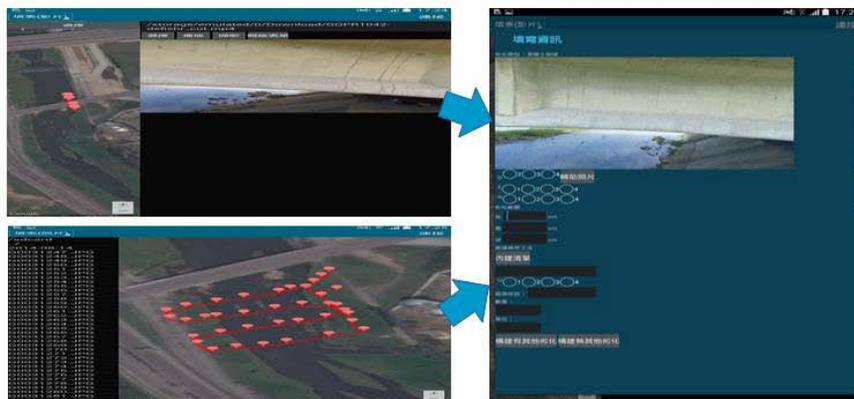
25



### 三、去年已完成系統(10/10)

#### – DERU填表模組

- 供檢測人員以觀看**影片或照片**的方式進行橋梁構件檢測結果的填寫
- 影片填表:若發現橋梁構件有劣化時，點選擷取按鈕後，本系統便會將**劣化照片傳遞至DERU表內**
- 照片填表:在影像展示過程中，本系統會**同步化照片與地理資訊**，並呈現於Google Maps上



26



## 四、本期計畫新增模組(1/8)

- 障礙物偵測模組:透過光學辨識或透過聲波辨識。

	LV-Max	Optical Flow	Lidar-Lite	IR 紅外線
偵測原理	聲波	光學	光學	光學
偵測範圍	10-100 公尺	30 公尺	50 公尺	10-50 公尺
價格	新台幣 1,500-3,000 元	新台幣 5,000 元	新台幣 7,000 元	新台幣 2,000-4,000 元
實體照片				



27



## 四、本期計畫新增模組(2/8)

- 測試結果[實測影片]:

	LV-Max	Optical Flow	Lidar-Lite	IR紅外線
相容性	上或下無法使用	僅能使用一個	僅能使用一個	上或下無法使用
日間	成功	成功	成功	上方失敗
夜間	成功	下方失敗	成功	成功
4級風	無影響	無影響	無影響	無影響
飛行速度	1M/s以上失敗	2M/s以上失敗	1M/s以上失敗	1M/s以上失敗

- 相較於紅外線、雷射雷達(Lidar-Lite)和光學流(Optical flow)感測器，本計畫認為聲納是最適用的障礙物感測器，因較不受限地環境影響且價格不昂貴。

28



## 四、本期計畫新增模組(3/8)

- **飛行耐久模組:**本期計畫為延長飛行時間，所使用之UAV預期為採用一顆電池(4S 16000mAh)、較低轉速(700-380KV)無刷馬達、大軸機架(650公厘)、長尺寸(13-14吋)正反螺旋槳。
- 測試結果:



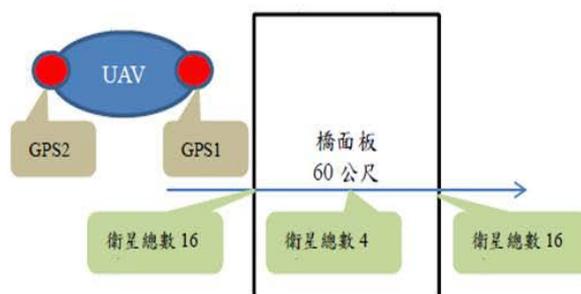
規格	4S 8000mAh	4S 16000mAh	6S 8000mAh	6S 16000mAh
電池重量	0.9kg	1.3kg	1.1kg	1.5kg
時間	18分	30分	19分	25分
預期飛行距離	2.1KM	3.6KM	2.3KM	3KM

29



## 四、本期計畫新增模組(4/8)

- **定位精進模組:**本計畫預計採用雙GPS模組搭配強波訊號之方式。
  - 訊號放大的方式，延緩訊號斷失的時間。一般衛星接收器的訊號頻率約3dB，本計畫預計將訊號放大10倍。

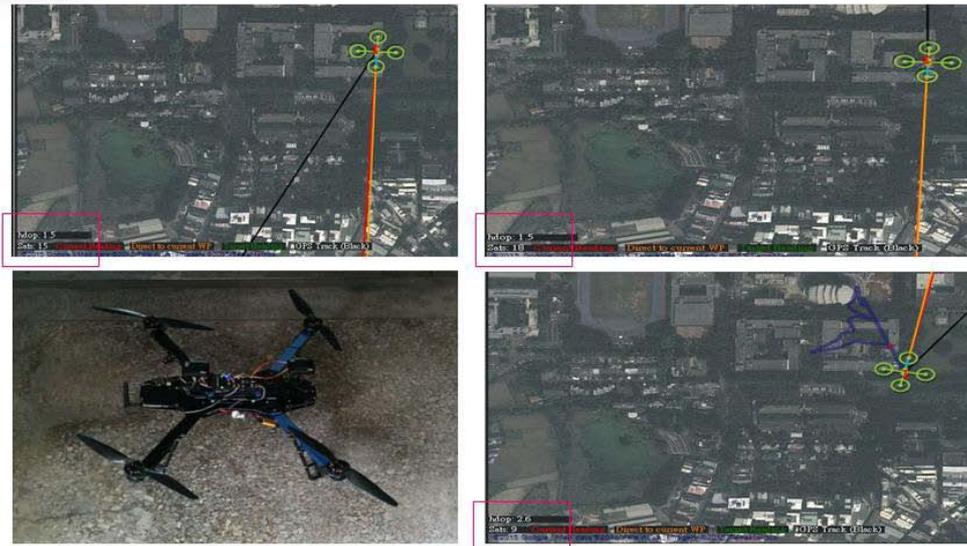


30



## 四、本期計畫新增模組(5/8)

- 測試結果:



31



## 四、本期計畫新增模組(6/8)

- **影像提升模組[照片比較]**:採購價格相對較低、光圈可調、自動聚焦、自動閃光，更重要的是可程式化控制。

	GoPro Hero3+ Black	Canon S120
防水能力	40米	100米(搭配防水殼)
重量(含電池)	72公克	500公克
視角範圍	150	150
最大影片解析度	4K	1080P
最大相片解析度	4096x2160	3672x2460
使用時間	150分鐘	60分鐘
遠端遙控	WiFi	無
價格(新台幣)	14,000元	11,000元



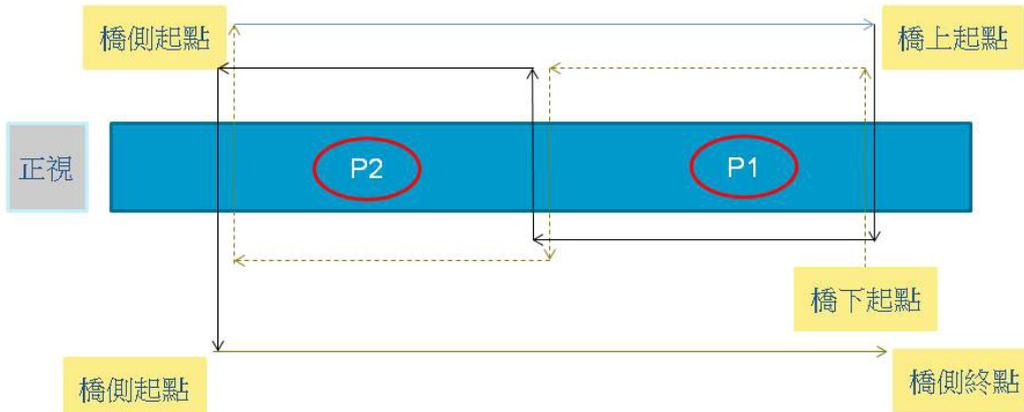
- 運作機制:伴隨UAV飛行，每1米可拍攝1張，亦可手動控制拍照

32



## 四、本期計畫新增模組(7/8)

- 全橋飛行建議路線



33



## 四、本期計畫新增模組(8/8)

- 3D生成模組:**將所獲得的影像應可透過影像組合之方式產出3D橋梁影像。模組需能可匯入飛行航線記錄檔、具備影像疊合計算、支援影像地理資訊標籤編輯。

	VisualSFM	Agisoft	Pix4D
地理標籤	支援	支援	支援
影像疊合	有	有	有
匯入航線	無	無	有
價格	免費	新台幣 7,000 元	新台幣 200,000 元

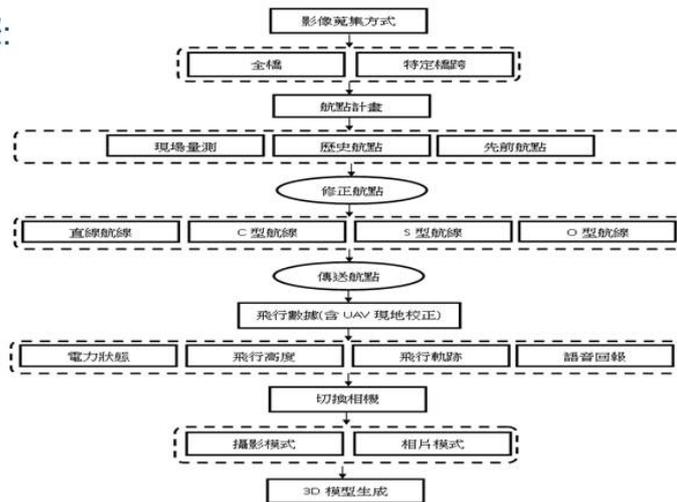
- 可匯入之影像格式:jpg、tif、bmp
- 可輸出之3D格式:pdf、kml
- 3D生成SOP:設定專案目錄、選擇橋梁構件相片、確認座標系統、完成基本專案設定、進行3D模型生成、確認生成結果

34



## 五、橋梁現地測試(1/7)

- 本計畫目前已於**新竹南山大橋**、**彩虹二橋**、**桃園蘇樂橋**和**台北華中橋**進行現地測試
- 測試步驟:



35



## 五、橋梁現地測試(2/7)

- **南山大橋**:位於新竹縣關西鎮，全橋長為84米，總橋孔數為8，最大跨距為17.3米，**橋檢車無法進入**。
- **彩虹二橋**:位於新竹市香山區，全橋長為76米，拱橋型式，總橋孔數為1，最大跨距為76米，橋檢車無法進入，**不易檢測上部構件**。



36



## 五、橋梁現地測試(3/7)

- **蘇樂橋**:位於桃園市復興區,全橋長為175米,拱橋型式,總橋孔數為1,最大跨距為120米,橋檢車不易到達,且人員難以檢查橋下構件。
- **華中橋**:位於台北市萬華區,全橋長為1174米,梁式型式,僅雙向四線道,交通繁忙,橋檢車易造成交通阻塞,同時跨越新店溪,水流湍急且水深未知,人員難以檢查橋下構件。



蘇樂橋



華中橋

37



## 五、橋梁現地測試(4/7)

- 防撞系統實測影片-南山大橋
- 劣化照片-南山大橋、彩虹二橋
- 3D生成結果
  - 南山大橋橋面板、橋側、橋墩、橋下橫格梁
  - 蘇樂橋橋台支承、橋檢車上拍照比較
- 構件相片、3D模型與Google Earth整合
  - APP版、電腦版
- 支援TBMS2橋梁外稽作業-華中橋第六孔
- 微電影

38



## 五、橋梁現地測試(5/7)

### • 小結

- (1)本計畫之障礙物偵測模組確有其功用，但在**飛行路徑正確設定**下，本模組的運作的機會較低。若須手控UAV時，本防撞模組具備較高輔助性。
- (2)為達成全橋(橋長100米，兩墩柱，三橋孔)構件的影像擷取，本計畫建議採用低速馬達(380-590KV)、長型正反槳(12吋以上)和**大容量電池(10,000mAh)**。唯機架不宜過大，應限制於650公厘以內，以避免橋孔距不足。
- (3)關於定位改善模組，本計畫已採用雙GPS接受器和增強訊號接收功率，橋下定位情況能略有改善，但仍**不建議於橋面下沿橋梁方向直線飛行**進行構件影像擷取。
- (4)本計畫改採用Canon S120數位攝影機，令人詬病的**魚眼效應**確實**不明顯**，故對於3D模型生成有所助益。唯此類數位攝影機較**重**，所以無法附掛過多的數位攝影機於UAV上。

39



## 五、橋梁現地測試(6/7)

- (5)3D模型生成模組確實能將拍攝的照片組合出**3D物件**，但該產出模型**僅能供橋樑檢測參考**，因模型為相片的再製且影像合成常發生錯位情況，故影像顆粒仍嫌粗糙。且橋梁構件的比例不同下，有部分構件是無法3D生成的。



- (6)3D模型生成需有多張(**至少須超過5張**)相同構件的拍攝照片。且**光源因素**，生成之橋下3D模型易有錯誤

40



## 五、橋梁現地測試(7/7)

- (7)橋下構件3D模型無法套疊於Google Earth，主因為Google Earth無支援由下往上看視角模式。
- (8)全生命週期分析本期計畫UAV:

目的	全橋構件個別拍攝	全橋構件一次拍攝
飛控板	Pixhawk	
機體型式	X-四軸	X-四軸
機體軸距	550mm	650mm
機體軸數	4	
機體全重量	2500g	4500g
馬達型式	700kv	320kv
正反機型式	10x47	13x55
電池型式	4S 14.8V 6,200mAh	4S 14.8V 16,000mAh
GPS數量	1個	2個
GPS型號	u-Blox 6H	
最大陣風	2級風	3級風
攝影機型式	GoPro Hero4	
攝影機數量	1個	2個
障礙感測器	LV-1020	
障礙感測器數量	5個	
平板電腦	Android 4.4版以上	
遙控器	1個	
預估成本(新台幣)	100,000	180,000



41



## 六、教育訓練

- 北、中、南教育訓練(10/23、20、29)



北部場



中部場



南部場

UAV輔助與3D模型應用程式是否有助於工作效能之提升?								未來使用UAV進行橋梁檢測之可能性如何?						
	是	百分比	否	百分比	尚可	百分比	無填寫	百分比	一定會	百分比	可能性很高	百分比	有可能	百分比
縣市政府	20	80%			5	20%			3	12%	4	16%	12	48%
公路總局	10	42%	3	13%	10	29%	1	4%	8	25%	5	21%	10	42%
高公局	9	82%	1	9%	1	9%					7	64%	1	9%
鐵路局	4	44%	1	11%	4	44%					2	22%	7	78%
顧問公司	3	33%	1	11%	4	44%	1	11%	4	44%	1	11%	4	44%
其他	1	25%	3	75%									4	100%
小計	47	57%	9	11%	24	29%	2	2%	13	16%	19	23%	38	46%

42



## 七、計畫成果與未來建議(1/2)

### • 計畫成果

- 資料蒐集: **已蒐集**有助橋梁檢測技術(橋梁檢測車、3D雷射攝影技術和影像辨識、行動裝置、遙控飛機和輔助檢測之監測網路)。
- 模組開發: **已完成**開發防撞式UAV橋梁構件影像自動擷取系統的相關模組, 包含障礙物偵測模組、飛行耐久模組、定位精進模組、影像提升模組和3D生成模組。
- 現地測試及回饋修正: **已完成**四座橋梁(南山大橋、彩虹二橋、蘇樂橋和華中橋)之現地測試, 並針對測試中所發現之缺點進行修正。
- 綜合評估及推廣應用: **已評估**全生命週期並完成三場研究成果推廣。
- 其它: **已完成**製作微電影(至少3分鐘)並將研究成果投稿至國外期刊和學術研討會2篇(Applying Unmanned Aerial Vehicles in Bridge Inspection: A Case Study in Taiwan [KSCE Journal of Civil Engineering]、自動化無人飛行載具輔助擷取橋梁影像之研究[2015營建工程與管理學術研討會])。

43



## 七、計畫成果與未來建議(2/2)

### • 未來建議

- **防撞感測器再精進化**:自動飛行過程中, UAV並無法每次都精準地躲開障礙物, 主要因為UAV飛行速度若超過1m/s時, 因反應時間過短而來不及閃躲。故如何讓UAV飛行速度和感測器反應時間互相搭配將需要更多的演算法設計與測試;
- **3D模型更細緻化**:由生成橋梁構件3D模型的過程, 本計畫發現所生成的3D模型常會有雜訊影像存在, 這必須透過人工修正雜訊。此外, 所生成的各橋梁構件3D模型並無法自動合成出全橋3D模型。因此, 未來如何克服上述兩點限制將是一大課題。
- **橋梁構件影像與Google Earth結合更深入化**:本計畫目前僅實驗性地證明本計畫所生成之橋梁構件3D模型和相片可匯入Google Earth中, 但如何讓橋檢或管理人員更便利地填寫或觀看檢測報告則須更進一步地規劃與實作。

44



簡報結束 敬請指教

