

102 年度期末成果報告書
崩塌災害評估儀器與預警系統技術發展
子計畫

國家實驗研究院儀器科技研究中心

計畫主持人：廖泰杉 研究員

中華民國 102 年 12 月 31 日

壹、基本資料

計畫名稱：崩塌災害評估儀器與預警系統技術發展

計畫期間：102年1月1日-102年12月31日

執行單位：財團法人國家實驗研究院儀器科技研究中心

計畫主持人：廖泰杉 副組長

貳、目錄

一、	計畫目的.....	3
二、	工作項目.....	3
三、	具體成果.....	3
四、	討論與建議.....	31
五、	參考資料:.....	32

一、 計畫目的

儀科中心主要任務為配合災防科技中心共同發展坡地崩塌災害監測技術與預警機制。儀科中心以「整合與應用國內儀器相關技術研究相關能量，並發展坡地潛勢崩塌區域之預警網路系統技術與快速取像判識系統評估技術之災防支援團隊」為目標，與防災相關單位與學界合作，積極配合國內防災評估與預警儀器相關技術需求，發展國內防災儀器相關技術能量以支援政府之災害評估與預警之準確性。其目的為建立相關防災儀器技術能量，未來能保護人民生命財產與災前預警安全撤離及災後國土復建觀測。

二、 工作項目

102 年之崩塌災害評估儀器與系統技術發展本子項計畫目標項下計 3 項主要工作重點於：

- (1)坡地多點感測器模組與通信架構系統技術可行性評估；
- (2)坡地崩塌區域之快速取像判識系統建置；
- (3)坡地崩塌區之定點近景即時監測系統之研發。

三、 具體成果

A: 坡地多點感測器模組與通信架構系統技術可行性評估

坡地多點感測器模組與通信架構系統技術可行性評估工作產出動態調整狀態參數演算法與多感測器模組網路實驗雛型系統，其中應用動態調整狀態參數增強無線感測網路訊號傳送正確率之演算裝置之目的是能夠在所有現有的 WSN 平台於山區野外無線通訊的因素，讓 WSN 平台在山區野外環境通訊時，可以藉由通訊品質估計器(Link Quality Estimator, 簡稱 LQE)來進行連線品質預測，輔助 routing protocol 決定較佳的通訊路徑(communication path)，來提高節點之間的資料傳輸成功率(data delivery ratio)。首先在無線感測器之間定期收集資料的過程中，

回傳其 RSSI (Received signal strength indication)的大小並且記錄到電腦上，可以判斷兩個節點之間的訊號強度的強弱。如果在該時間點沒有傳送 RSSI 的數據回來，這就表示封包在傳送的過程中受到干擾，使得兩點在當下無法聽到對方的封包，因此該 RSSI 值就不會被記錄。實際驗證下，發現封包發生干擾的機率，長時間下來有一定的規則可循，例如白天和晚上的封包遺失率都一定會比凌晨時段來得嚴重。以一星期的規模來觀察的話，平常日的封包遺失率也會比周末來得更加嚴重，這很明顯意味著封包傳送的成功率，不僅會隨著時間變化，而且時間的變化相較於人類活動的變化也有非常相似的傾向。假設人類的活動會間接地影響 WSN 整體傳送品質的話，我們的方法就遵循此規則，使得無線感測器在未來的時間點，透過過去的傳送經驗去動態調整傳送的機制。白天和晚上的平均封包成功率都較低，在這兩種時段的封包就要盡量減少傳送的機會。反之，凌晨的時段封包傳送的機會可以大幅增加，因為在這個時段的封包成功率是最高的，這時候的封包可以放心地密集傳送。若以一星期的規模來看，平常日的平均封包成功率都較低，而週末的比較高，因此封包的傳送可以調整為平常日減少傳送機會，而週末可以密集地傳送。由於封包受到不同的干擾，遺失的狀態通常也是不相同的，某些干擾時間過長會使無線感測器的干擾造成一連串的遺失，所以我們可以判斷封包在連續遺失之前，無線感測器就能夠明確的知道，這是一連串的干擾，而做出相對應的因應行為。若等待一段時間避開這類型的干擾，避免封包持續傳送失敗又造成額外電力的消耗。應用可動態調整狀態參數增強無線感測網路如圖(1)所示，其訊號傳送正確率之演算裝置，其包含：一個內建通信品質估測模組與可動態調整狀態參數模組之中央控制節點，與複數個內建通信品質估測模組與可動態調整狀態參數模組之感測節點，所組成之強健無線感測網路，其中所有節點均可雙向溝通。通信品質估測模組包含：一可長時間記錄通信單一失誤紀錄與連續誤失紀錄，並加以機率統計而可決定可動態調整狀態參數模組內狀態事件器之上限值與下限值。可動態調整狀態參數模組包含：一狀態事件器與可動態調整狀態參數演算模組；狀態事件器可記錄通信傳遞成功或失敗之狀況，其上限值為正

整數或負整數，下限值可為負整數或正整數；但是上限值大於下限值。可動態調整狀態參數演算模組，其包含：一個內建可動態調整狀態參數法與 111Y 次階層機制如第二圖所示，其中建可動態調整狀態參數法其特徵為 111 設定變數 A,B,M,X 皆為正整數且 $X > M > B$ ；其中上限值為 A，下限值為 -X；另外 112 設定變數 w,p,q,n 皆為正整數且 $w > q > p > n$ ；節點 113 廣播封包後，有一 114 判斷封包是否有成功回傳機制；若成功回傳則 115 狀態事件器內狀態值累加 1，若不成功回傳則 116 狀態事件器內狀態值遞減 1。當狀態事件器內狀態值完成累加 1 後，其後 117 狀態事件器內狀態值為大於或等於上限值 A，則 120 狀態事件器內狀態值還是維持設定值 A，再傳到 119 判斷狀態事件器狀態值模組。若當 115 狀態事件器內狀態值完成累加 1 後，其後 117 狀態事件器內狀態值為小於上限值 A，則再傳到 119 判斷狀態事件器狀態值模組。當 122 狀態事件器狀態值 > 0 ，則節點下次傳輸會繼續 113 廣播封包。若當 123 狀態事件器狀態值等於 0，則節點下次傳輸會 124 延遲 n 次廣播封包時間後再繼續 113 廣播封包。若當 125 狀態事件器狀態值不等於 0，而是小於 0，且大於 -B 值時，則節點下次傳輸會 126 延遲 p 次廣播封包時間後再繼續廣播封包。反之，若 127 狀態事件器狀態值比 -B 值小且大於 -M 值時，則節點下次傳輸會 128 延遲 q 次廣播封包時間後再繼續廣播封包。否則進入針對若 129 狀態事件器狀態值比 -M 值小且大於 -X 值時，則節點下次傳輸會 130 延遲 w 次廣播封包時間後再繼續廣播封包。反之，若 129 狀態事件器狀態值比 -X 值小或等於下限值 -X 時，則 131 狀態事件器狀態值被設定為下限值 -X，且節點下次傳輸會 130 延遲 w 次廣播封包時間後再繼續廣播封包。當 114 判斷封包是否有成功回傳機制啟動，若不成功回傳則 116 狀態事件器內狀態值遞減 1，其後 118 狀態事件器內狀態值為小於或等於下限值 -X，則 121 狀態事件器內狀態值還是維持設定值 -X，再傳到 119 判斷狀態事件器狀態值模組。反之，當 116 狀態事件器內狀態值完成遞減 1 後，其後 118 狀態事件器內狀態值為非小於或等於下限值 -X，則再傳到 119 判斷狀態事件器狀態值模組。當 122 狀態事件器狀態值 > 0 ，則節點下次傳輸會繼續 113 廣播封包。反之，則進入 123 狀態事件器狀態值

等於 0 機制。若當 123 狀態事件器狀態值等於 0，則節點下次傳輸會 124 延遲 n 次廣播封包時間後再繼續 113 廣播封包。若當 125 狀態事件器狀態值不等於 0，而是小於 0，且大於 $-B$ 值時，則節點下次傳輸會 126 延遲 p 次廣播封包時間後再繼續廣播封包。反之，若 127 狀態事件器狀態值比 $-B$ 值小且大於 $-M$ 值時，則節點下次傳輸會 128 延遲 q 次廣播封包時間後再繼續 113 廣播封包。若 129 狀態事件器狀態值比 $-M$ 值小且大於 $-X$ 值時，則節點下次傳輸會 130 延遲 w 次廣播封包時間後再繼續廣播封包。反之，若狀態事件器狀態值比 $-X$ 值小或等於下限值 $-X$ 時，則 131 狀態事件器狀態值被設定為下限值 $-X$ ，且節點下次傳輸會 130 延遲 w 次廣播封包時間後再繼續 113 廣播封包。

1111Y 次階層機制，其特徵可為複數層次之設定，以決定複數項延遲廣播封包時間。應用動態調整狀態參數增強無線感測網路訊號傳送正確率之演算裝置實驗所設計的硬體架構全部有五組節點，分別為一組和四組無線感測節點端，如圖 2 所示；這五組節點都固定在屋頂的側邊牆上。主控節點端和四組無線感測節點端的部分都包含泓格科技公司所生產之 TI CC2530 無線感測網路模組以及天線固定在防水的水管內，並且只拉出電源線於插座透過變壓器上供電。主控節點端而外拉出一組串列通訊的訊號線，內含連接 arduino 電路板上，arduino 包含一顆微處理機晶片，透過此晶片的設定，可以控制主控節點端的 CC2530 每隔一段時間發送封包，最後將收集到的當資料儲存在電腦中，在進行後端分析。運作流程：主控節點端主要的工作是每隔一段時間廣播封包給無線感測節點端，當無線感測節點端確定接收到封包之後會回傳訊息給主控節點端，如第 2 圖所示。訊息的內容有兩個，一個是主控節點端聽到無線感測節點端 RSSI 訊號的大小，

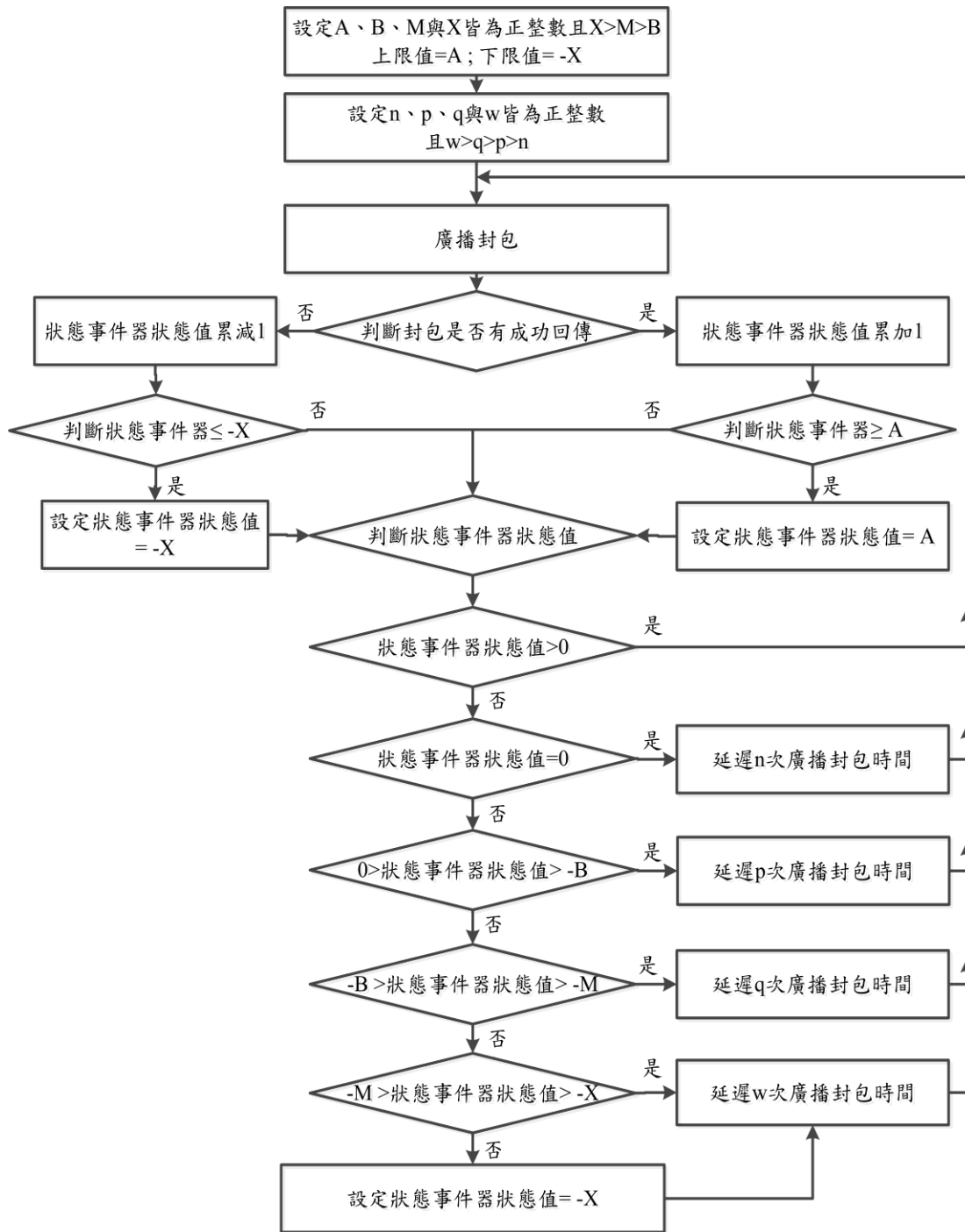


圖 1 動態調整狀態參數演算示意圖

另一個是無線感測節點端聽到主控節點端 RSSI 訊號的大小，如果廣播時沒有收到或是無線感測節點端已經收到要回傳給主控節點端也沒收到都可能表示這個過程當中受到了干擾。

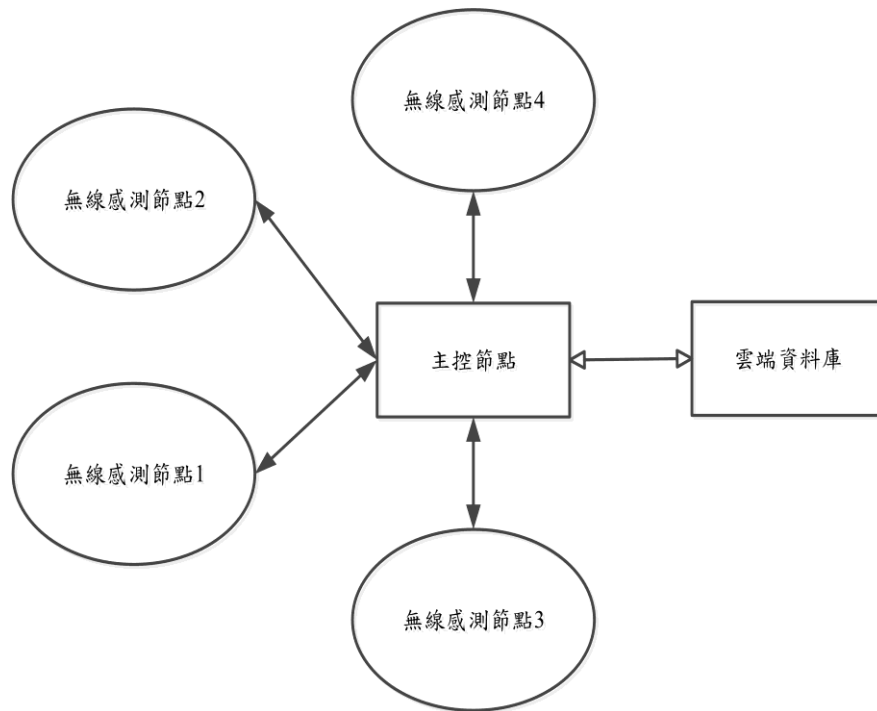


圖 2 實驗系統示意圖

將實驗收集完成的資料分析後，發現封包在遺失的過程中，除了單一的封包遺失以外還有相當多的連續遺失的情形，這表示說環境中的干擾有片段性跟連續的干擾混雜在一起。我們將實際節點所收集到的資料歸納出，封包連續掉落的比率大多集中在單一遺失的封包，大約佔了一半以上的機率，這可能表示說在戶外的環境中大部分的干擾都是極短暫的干擾。扣除單一封包掉落的機率剩下連續包掉落的機率全部加起來也占大約一半的比率，也就是連續的封包遺失的機率也不低，都集中在連續 2~5 個左右。不論是封包傳送成功或是失敗，主控節點端必須能夠明確地知道下的封包傳輸狀況，因此我們提出了一個可動態調整狀態參數法方法，使用一個狀態事件器狀態值，可以記錄目前封包傳送的狀況，它的數值介於 2 ~ -2 之間五個層級。假設封包成功回傳一次，那麼狀態值就會加一，直到加到 2 就會維持 2 這個上限。相反地，如果傳輸狀況很差，那麼遺失掉的封包不會順利的傳回到主控節點端上，所以主控節點端可以判斷廣播出去的封包，如果到了該時間沒有被傳送回來，代表封包被干擾了。因此每當遺失一個封包狀態值就必須減一，所以在干擾嚴重的情況下狀態值就會一直遞減，若減到(-2)還是很差的話，就會

維持(-2)這個下限。通訊品質估計演算法的模擬，有了上述這個狀態值，我們就可以清楚地知道封包在任何時間的傳輸狀況，就可以做出相對的因應方法，如表 1 所示。應用動態調整狀態參數強鍵無線感測網路訊號傳送正確率之演算裝置，其中內建可動態調整狀態參數法與 Y 次階層機制，其中狀態事件器狀態值設定 5 階層，在 2 和 1 的情況下代表傳送的狀況極佳，所以主控節點端可以一直順利地廣播封包，到了 0 以下的時候，傳輸狀況開始不穩，可能連續會有封包遺失的意味。因此在這種情況下無線感測節點端，在下次傳送封包可能會因為失敗而選擇不打開 RF 而跳過一次;如果下一次成功，狀態值就會回復較佳的水準;反之如果下一次依然失敗，狀態就會持續遞減，這時候主控節點端停止廣播的次數也會跟著增加。圖 3 為節點 20 公尺某一天的實際接收資料的結果，在還沒有用可動態調整狀態參數法演算法之結果為藍線所示，使用狀態值的方法之結果為橘線。隨著時間拉長，其相差就很明顯。可見採用「可動態調整狀態參數演算法」可以改善通信傳輸品質。

表 1 動態調整狀態參數與 5 階層機制

階層	狀態值	主控節點端的因應方法
1	2	下一次繼續廣播封包
2	1	下一次繼續廣播封包
3	0	下一次停止一次廣播封包
4	-1	下一次停止二次廣播封包
5	-2	下一次停止三次廣播封包
1	2	下一次繼續廣播封包
2	1	下一次繼續廣播封包



圖 3 節點 20 公尺距離應用動態調整狀態參數法之比較圖

應用動態調整狀態參數強健無線感測網路訊號傳送正確率之演算裝置比沒應用動態調整狀態參數更可以有效率的提高傳送的成功率，並且降低封包的傳送數量，尤其是時間愈長跡象愈明顯，進而降低干擾其他節點的機率以節省電池電力消耗。這些理論描述與實驗驗證希望能夠帶給相關讀者與企業有更進一步深入探討促進資料數據通信品質之提升。

多感測器模組網路實驗雛型系統

完成小規模戶外測試實驗，透過置於山坡地上之戶外多點感測模組，分別連接雨量計，再把資料傳輸至 Master 端，可收集到資料，其實驗照片如下圖 4 與圖 5，未來將繼續進行野外測試，以驗證系統可行性。



圖 4、戶外實機測試實驗



圖 5、外殼組裝實體

B: 坡地崩塌區域之快速取像判識系統建置

坡地崩塌區域之快速取像判識系統係具有 4 波段取像模組之弦翼無人飛行載台架構採用儀科中心多年研製具有 4 波段取像模組之高解析度 4 波段同步雙相機取像系統架構，以可靠性較高之 1200 萬畫素單眼像機所組成之高解析度 4 波段同步雙相機取像系統整合於弦翼無人飛行載台系統，相機模組為 NIKON 公司之 D700 單眼數位照相機，其中感測器有 1200 畫素高解析度相機模組，一組為 RGB 彩色像機，另外一組為具 830nm-980nm 濾波片之短波紅外 (SWIR) 像機，兩個像機以些許傾角相使影像互對地重疊，以使 RGB 影像與近紅外影像能重合一起；因為植物之於近紅外有很強反射光譜，有別於 RGB 影像，可快速分辨災區範圍；因使用 1200 畫素之高解析度面型影像模組，其在 1000 米高度對地約有優於 100 公分之解析度鑑別力；單眼數位照相機其光感測器為典型的 CCD 感測器或 CMOS 感測器，光譜響應曲線約 400nm 至 1000nm；可見光的波長在 380nm - 780nm 之間；光譜響應曲線大於 780nm 低於 1200nm 是 CCD 或 CMOS 感測器可應用的近紅外光範圍；每一光譜區段隨這光譜不同其光靈敏度是不同，如圖 6 所示；RGB 不同光靈敏度於 400nm 至 1000nm 中反應情形，雖然 RCB 光於進紅外區還會有貢獻，但是貢獻比例比可見光區；但是不管如何，現在的數位相機上 CCD 或 CMOS 感測器都可以接收感應到紅外線，但是多數的數位相機在出廠時，為了增加色彩的鮮豔度以及降低雜訊，都會在 CCD 感測器或 CMOS 感測器前加

裝紅外去除濾波器(IR-Cut Filter)，因此要從現在單眼數位相機變成近紅外相機，則只需透過改裝將紅外光學濾波器置換掉外去除濾波器後，單眼數位照相機即可得到近紅外影像。關於選擇何種規格紅外光學濾波器就跟觀測何種物體，水，植物或礦物等特徵波長有關，圖 7 為 SCHOTT 紅外光學濾波器光學性質規格，RG 型號表示可使紅外光線透過之紅色和黑色玻璃，RG 後面之數字表示以下範圍之可見光被濾除，如 RG_800 為 800nm 以下可見光範圍被濾除，只通過 800nm 以上之紅外光。

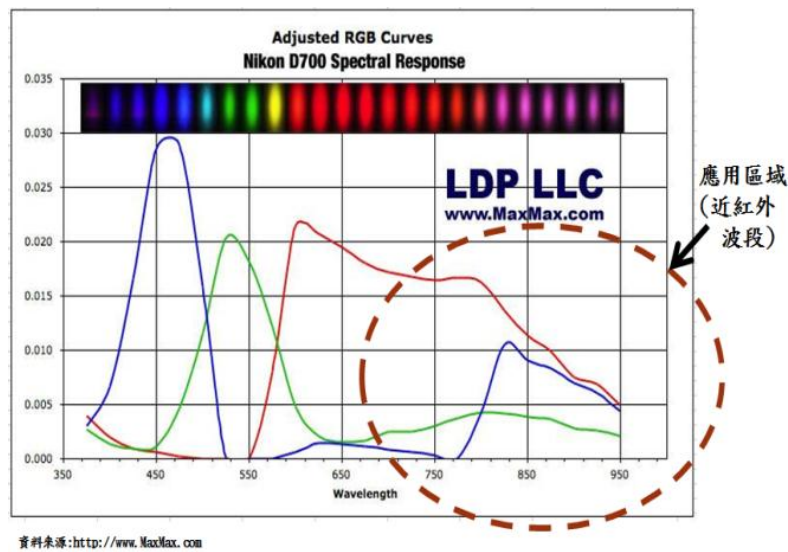


圖 6 Nikon D700 光感測器光譜響應圖(資料來源:NIKON)

SCHOTT 型號	以上紅外波長通過
RG_695	695nm
RG_710	710nm
RG_780	780nm
RG_800	800nm
RG_830	830nm
RG_850	850nm
RG_1000	1000nm

圖 7 SCHOTT 紅外光學濾波器性質

因為單眼相機模組為個別獨立，採用機械快門訊號進行系統同步，若 RGB 及短

波紅外影像拍攝時間同步誤差小於 10 毫秒，則影像誤差預估在一個畫素之內，換言之，誤差約列為 1 公尺；此兩相機同步測試則採用一種影像同步檢測裝置如圖 8 所示，係由 10 級環狀計數電路與 10 級及閘組合；10 級環狀計數電路產生 10 級相位之輸出；10 級環狀計數電路其基本工作時脈週期為 t ；10 級環狀計數電路具 10 級相位之輸出，其總週期為 $T=10t$ ；環狀計數電路每一級輸出，與各級環狀計數電路基本時脈共同為各別及閘之輸入；每一及閘之輸出寬度工作比 1/20；每一及閘之輸出相位差時間為 $T/10$ 。10 級環狀計數電路每相輸出情形如圖 9 所示。其中每個及閘輸出與各別相對應發光二極體驅動電路相結合；可使多個影像模組同步拍攝時不會拍到相鄰發光二極體同時亮燈狀況，而使其影像同步模組被檢測同步性時間優於 $T/10$ 。

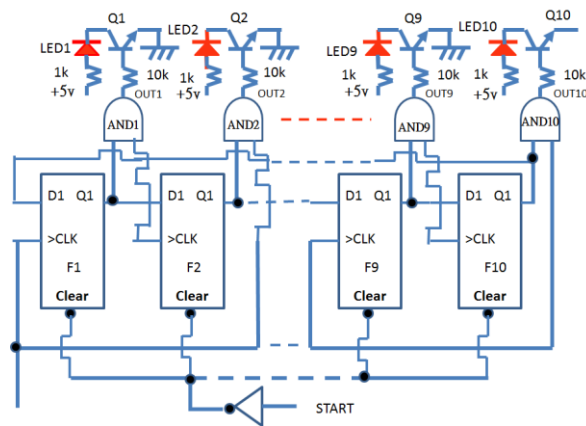


圖 8 影像同步檢測電路裝置示意圖

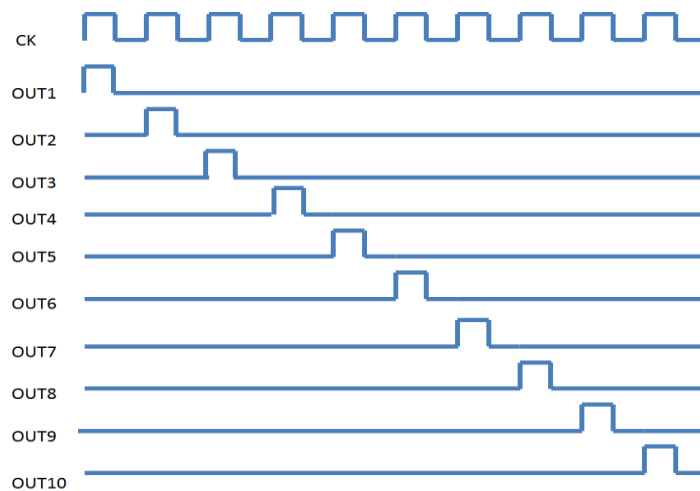


圖 9、環狀計數電路每相輸出時序

換言之，基本時脈為 t ，影像同步模組被檢測同步性時間為以 t 為測試標準測試。若不同單眼相機同一時間拍到不同位置發光二極體發亮，此時是無法鑑別出期同步性；反之，若不同單眼相機同一時間拍到相同位置發光二極體發亮，此時是鑑別出期同步性，同步時間就是基本時脈 t 。另外實驗飛行測試採用 AS_4 型弦翼無人遙控直升機，此型飛行載具酬載重量約 5 公斤，飛行時間最長 40 分鐘，飛行高度最高 300 公尺；碳纖維製作 4 波段取像模組鏡架如圖 10 所示，



圖 10、 4 波段取像模組工程模組

所組成具有 4 波段取像模組之弦翼無人飛行載台如圖 11 所示，



圖 11、具有 4 波段取像模組之弦翼無人飛行載台

具有 4 波段取像模組之弦翼無人飛行載台是由兩高畫素 CMOS 全片幅單眼照相機組成的輕量影像酬載系統，其單一長效益鋰電池可供拍攝 1000 次，約航拍 2 至 3 小時時數，大幅減低 EMI 干擾問題外。透過設計的定時快門同步觸發系統，利用機身機械快門可使用來作兩組相機進行同步拍攝，每台相機 32GB（視需求可擴充至 64GB）記憶體容量滿足可拍攝災區至少兩小時以上滯空時間，實際應用與遙控直升機滯空能力相配合；具有 4 波段取像模組之弦翼無人飛行載台於相對於地高度 500 公尺，直徑 5 公里區域災區觀測就有很大的彈性，經濟性與機動性，雲林坪頂山坡崩塌潛勢區為測試區，座標為 X 坐標(97_259289.18; Y 坐標 97_2628873.47)，影像資訊長 10 公里，寬 0.9 公里，解析度：14 cm/pix；圖 12 為 空拍雲林坪頂山坡崩塌潛勢區之 RGB 正射影像彩色照，圖 13 為雲林坪頂山坡崩塌潛勢區之近紅外正射影像照片；圖 14 為 RGB 與近紅外正射影像合成圖。



圖 12 、空拍雲林坪頂山坡崩塌潛勢區之 RGB 正射影像彩色照

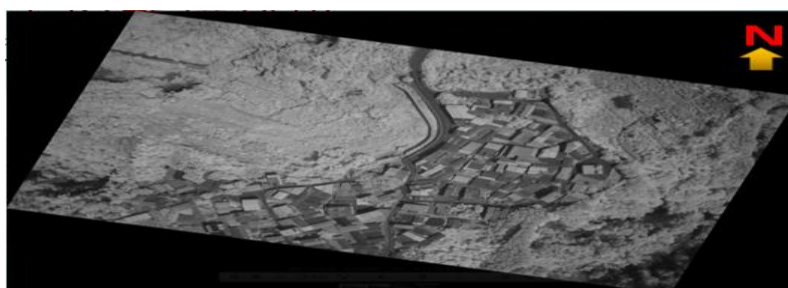


圖 13 、雲林坪頂山坡崩塌潛勢區之近紅外正射影像照片



圖 14、雲林坪頂山坡崩塌潛勢區之 RGB 與近紅外正射影像合成圖

由於空拍影像資料量龐大，為提升後製處理速度，並避免影像重疊率太高。我們開發一套挑圖程式，做影像前處理，將重疊幅度太大之影像移除，有效降低資料量，且符合影像鑲嵌的重疊率要求，以提高影像處理的效率。之後再利用 Agisoft photoscan 軟體進行影像數據處理，並生成數值地形模型（Digital Terrain Model, DTM）和正射影像圖（Digital Orthophoto Map, DOM），並輸出符合 Google Earth 格式之 kmz 檔，如下圖 15 所示：

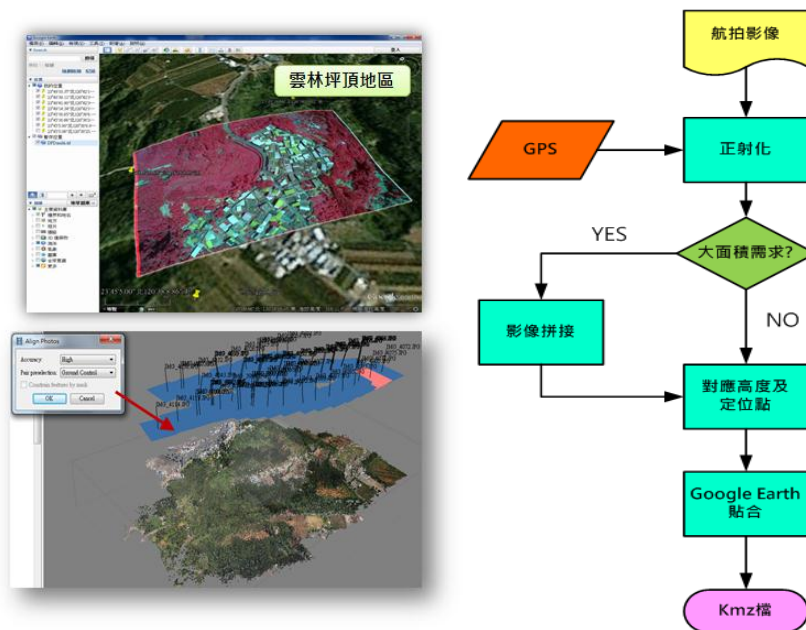


圖 15、影像拼接與整合流程

C: 坡地崩塌區之定點近景即時監測系統之研發

崩塌即時監測系統主要由兩部份構成：(1)崩塌監測站，(2)崩塌監控管理系統。坡地崩塌即時監測系統由安裝於不同監測點的多個崩塌監測站，及一個位於監控中心之崩塌監控管理系統構成，崩塌監控管理系統可連結多個崩塌監測站，成為一個分散式架構(Distributed Architecture)的系統，系統具有擴增彈性大及節省成本、即時坡地崩塌之自動化監測及快速災情掌握等特性及優點，監測系統之操作場景與架構如圖 16 所示。

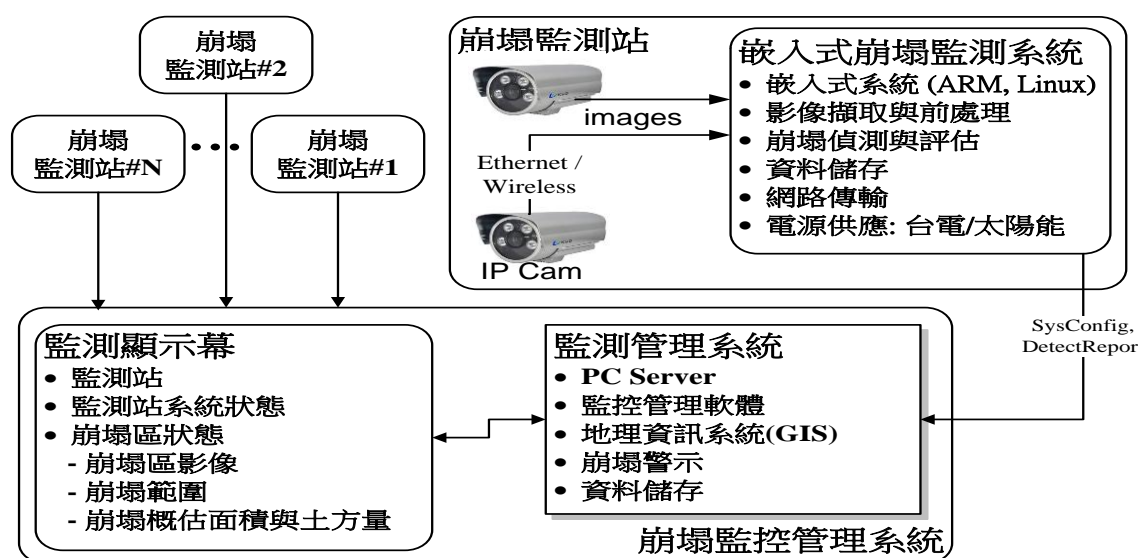


圖 16、崩塌監測系統之操作場景與系統架構示意圖

崩塌監測站主要由嵌入式系統平台、網路攝影機、影像擷取與前處理模組、崩塌偵測與評估模組、資料儲存模組、網路傳輸模組及電源供應模組等裝置或模組所構成，可對崩塌潛勢區進行即時崩塌偵測。影像擷取與前處理模組以固定頻率從攝影機擷取立體影像對，經修正處理以產生校正影像；崩塌偵測與評估模組接收校正影像，經數值表面模型(Digital Surface Model, DSM)解算與崩塌評估分析產生崩塌偵測結果，再將崩塌偵測結果儲存至記憶模組，及即時傳送至崩塌監控管理系統。影像擷取與前處理模組包含影像資料擷取單元、雲雨偵測單元及影像幾何修正處理單元。擷取之影像經雲雨偵測之後為清晰影像時，即以相機內方位參數進行幾何校正處理，而得到校正之立體像對。崩塌偵測與評估模組包含 DSM

解算單元、崩塌區變易評估單元、崩塌標定與估算單元。依校正立體像對可解算得到崩塌偵測區之數值表面模型，再將 DSM 與先前儲存的參考 DSM 進行比對與評估，若其變易超過崩塌門檻值，則進行崩塌結果參數估算及崩塌區標示，並將崩塌偵測結果儲存至資料儲存模組，及即時傳送至崩塌監控管理系統。資料儲存模組可包含硬碟或快閃記憶體(Flash)/安全數位卡(SD Card)，以儲存監測站之系統參數及崩塌偵測結果等資料。網路傳輸模組包含有線與無線網際網路通訊單元，以進行監測站之監測資料傳輸及系統設定與更新操作。電源供應模組由電力轉換單元、太陽能供電與儲存單元構成。崩塌監測站所需電源由太陽能與台電電力提供，台電電力經電力轉換單元而儲存至太陽能供電與儲存單元的電池內，可提高監測站之供電可靠度與安裝彈性及降低電費。崩塌監測站之功能方塊與介面示意圖如圖 17。

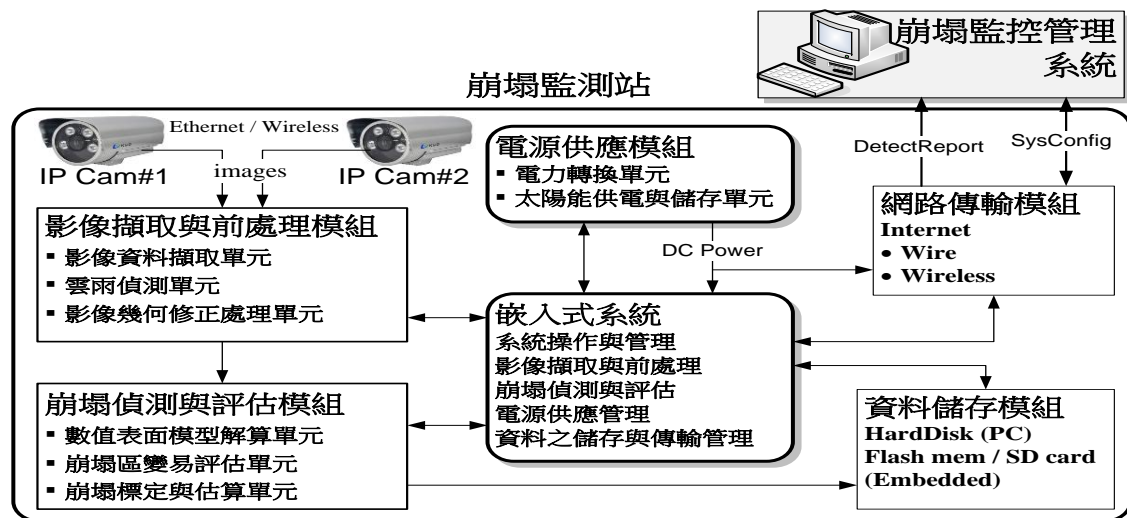


圖 17、崩塌監測站之功能方塊與介面示意圖

崩塌監控管理系統可由電腦伺服器、監測管理軟體、資料儲存模組、崩塌警示模組及監測顯示幕等構成。監測管理軟體接收各崩塌監測站所傳送的即時崩塌偵測結果，結合地理資訊系統(GIS)之後，顯示於顯示幕及發佈警訊通知監控操作人員。監測管理軟體含監測站資料接收與管理單元、地理資訊系統、警示管理單元、監測報表管理單元。監測站資料接收與管理單元接收各監測站傳來的偵測結果，

再結合至地理資訊系統，顯示於監測顯示幕上，並儲存至資料儲存模組；同時，啟動崩塌警示模組之聲光警示，及以 Email/Cellphone 發佈訊息給設定人員。

資料儲存模組可包含硬碟、磁碟陣列、磁帶系統等。監測系統之型態設定與參數資料、各監測站之偵測結果、影像資料等均可依時間或等級設定及備份需求等加以儲存。崩塌警示模組可包含聲音警示單元、燈光警示單元、Email/Cellphone 警示單元。監測顯示幕可包含大型投影式顯示幕及一般電腦顯示銀幕。崩塌監控管理系統功能方塊與介面示意圖如圖 18。

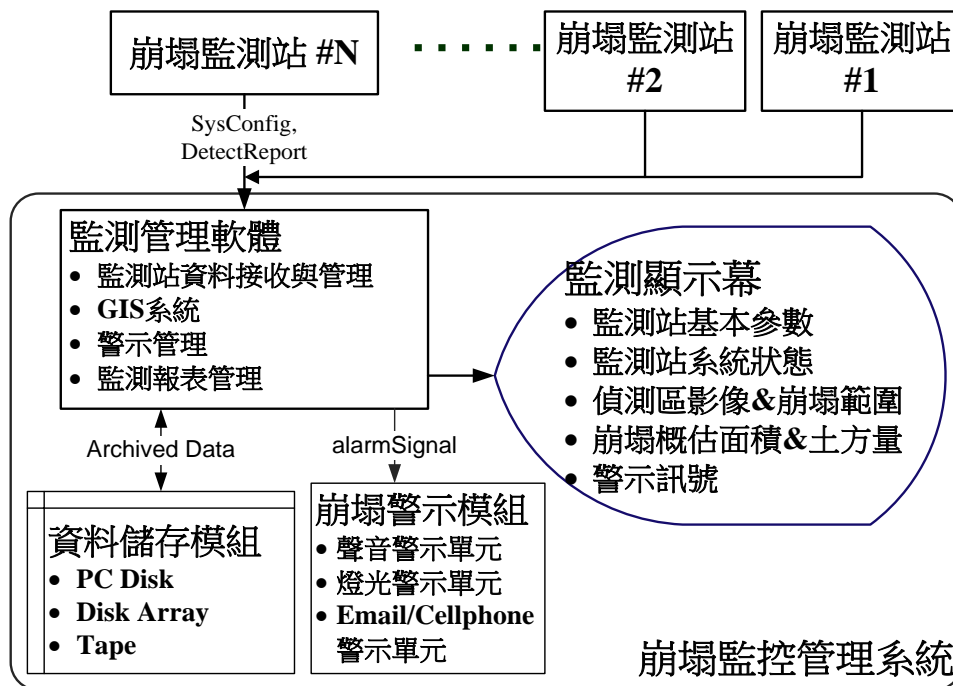


圖 18、崩塌監控管理系統功能方塊示意圖

102 年主要目標是完成 PC-based 崩塌即時監測系統原型的設計，及崩塌監測站的影像擷取與前處理模組與崩塌偵測與評估模組之製作與測試，以及崩塌監測實驗站的評估與建置等工作。

崩塌監測站依 2 個相機所擷取之立體像對，先進行雲雨偵測之影像判識，以取得可進行崩塌偵測之清晰影像，再以預先量測解算得到的相機內方位參數進行影像幾何校正處理，然後以核幾何(Epipolar Geometry)解算技術並透過密集影像匹配，得到監測區數值表面模型，然後再利用先前儲存的參考 DSM 進行崩塌偵測，若崩塌範圍大於監測門檻，則在監測影像上標出崩塌區塊與堆積區塊之範圍，及估算崩塌之面積與土方量，並將新的監測區 DSM 設定為參考 DSM，以作為後續的崩塌偵測基本資料。監測區 DSM 為以兩部相機同步取得之兩幅影像，透過相對方位求解相機之相對關係，並採核幾何(Epipolar Geometry)結合密集匹配演算法獲得。崩塌監測評估參數主要以崩塌面積為基準，包含崩塌區與堆積區之範圍，為以解算得之監測區 DSM 與參考 DSM 進行相對應位置之高程差計算，再依高程差之正負值分佈，以連通(connected component)法得到崩塌區與堆積區，並計算其面積，若崩塌區/堆積區面積大於某設定門檻值，則進行崩塌土方量估算。坡地崩塌監測方法之流程示意圖如圖 19。

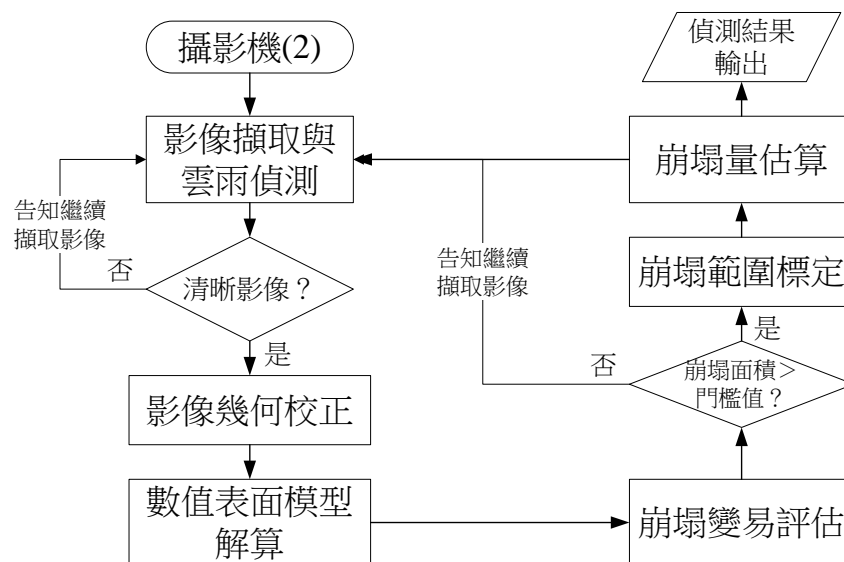


圖 19 坡地崩塌監測方法之流程示意圖

數值表面模型之演算法流程如圖 20 所表示，先由兩相機同時獲取立體對影像，並萃取影像特徵點以建立相機間之相對方位，其中相機之內方位參數已由室內率定場率定而得。然而要將相對的尺度轉換成絕對尺度量，以進行面積、體積

的估算，相機之位置則由 eGPS 量測而得。接著立體對影像經核影像轉換，及 SGM 密集匹配視差圖，再透過前方交會即可得到崩塌地的三維表面模型。

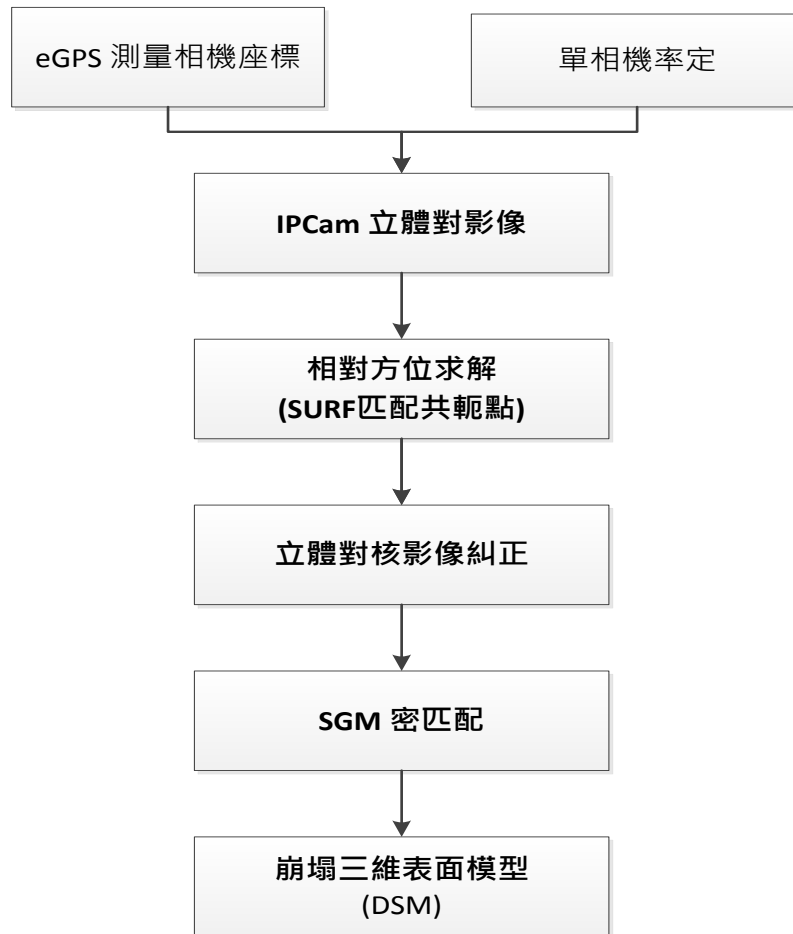


圖 20 數值表面模型之演算法流程圖

監測實驗點之選取條件設定如下：

- (1) 目標點與相機之距離在 500 公尺~1000 公尺間；
- (2) 監測地點已有明顯崩塌跡象或在可預期的未來仍有機率發生崩塌；
- (3) 監測點需與村落鄰近，並能提供電力與網路設備以進行即時資料傳輸；
- (4) 兩台相機的架設須有 50~100 公尺長的基線距離。

高雄市甲仙區小林國小附近符合上述條件選為測試實驗點，圖 21 為小林國小附近山坡（崩塌地）。



圖 21 小林國小附近山坡（崩塌地）

由於進行後續的數值地形模型製作時，必須事先進行相機幾何糾正以改善因相機幾何畸變而造成的誤差。相機的幾何畸變參數又稱為內方位參數，包含相機焦距(f)，像主點(x_0, y_0)，輻射畸變參數(K_1, K_2, K_3)及偏心輻射參數(P_1, P_2)。在進行相機內方位參數之系統率定時，本研究計畫藉由拍攝一佈滿人造標之旋轉圓盤，以 30-45 度的傾斜角進行拍照，透過旋轉圓盤可得到 60-90 度的相片幾何，經附加參數光束法平差模式以計算相機幾何畸變參數，示意圖如圖 22 所示。式(1)表示附加參數光束法平差的模型，其中(x, y)為影像之量測座標，(x_0, y_0)為像主點座標， $r_{11} \sim r_{33}$ 為相片之旋轉矩陣，(X, Y, Z)為像點的物空間座標，(X_0, Y_0, Z_0)為相片的投影中心，而($\Delta x, \Delta y$)則為附加參數之改正量，其數學模式如式(2)所示。

$$\begin{aligned}
 x - x_0 + \Delta x &= -f \frac{(X - X_0)r_{11} + (Y - Y_0)r_{12} + (Z - Z_0)r_{13}}{(X - X_0)r_{31} + (Y - Y_0)r_{32} + (Z - Z_0)r_{33}} \\
 y - y_0 + \Delta y &= -f \frac{(X - X_0)r_{21} + (Y - Y_0)r_{22} + (Z - Z_0)r_{23}}{(X - X_0)r_{31} + (Y - Y_0)r_{32} + (Z - Z_0)r_{33}}
 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned}
 \Delta x &= (K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6)(x - x_0) \\
 &\quad + P_1(2(x - x_0)^2 + r^2) + 2P_2(x - x_0)(y - y_0) \\
 \Delta y &= (K_1 r^2 + K_2 r^4 + K_3 r^6)(y - y_0) \\
 &\quad + P_2(2(y - y_0)^2 + r^2) + 2P_1(x - x_0)(y - y_0)
 \end{aligned} \quad (2)$$

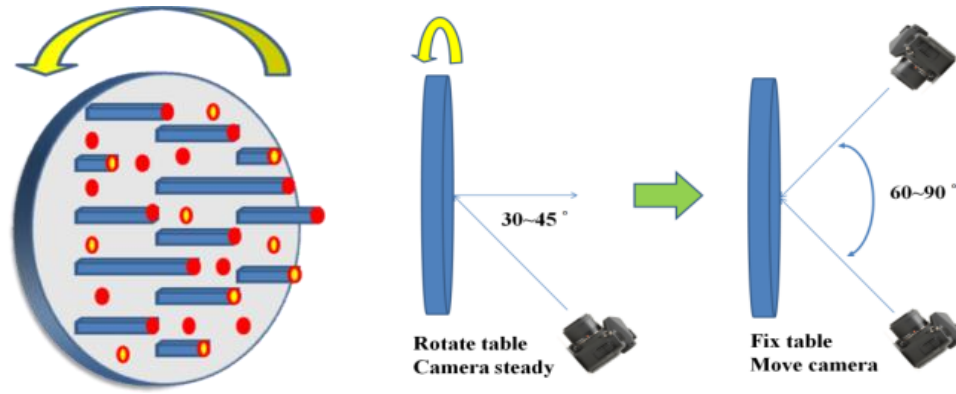


圖 22 獲取多交會幾何影像示意圖

另外要解算兩台相機之相對方位需透過共軛點已進行光束法平差解算，然而由於實驗地點位於山區，且因岩層裸露，植被覆蓋等問題，難以利用人工方式進行共軛點的量測。因此電腦視覺之特徵匹配方式是本研究主要的考量，並考慮即時運算，匹配方法應具備高效率，抗雜訊等優勢。因此選用 Speed-Up Robust Feature (SURF)法進行立體對影像之特徵匹配，以計算兩張影像之相對方位。

SURF 方法與知名的尺度不變特徵演算法 SIFT 具備相似的原理，藉由特徵點偵測，建立描述子與特徵匹配等步驟以匹配共軛像點。然而 SURF 透過二元式的單窗及積分影像的計算，在計算效能上是 SIFT 的 3~5 倍，且更抗雜訊及光影的變化；另外欲得到真實空間尺度供崩塌地土方量的計算，須於影像上量測已知三維座標的控制點位進行座標轉換。然而若要在影像上佈設控制點以進行地理對位，除了影像上無明顯特徵外，人員也難以到達且過程危險。因此便透過 eGPS 直接量測相機之位置以決定空間尺度。eGPS 藉由與內政部國土測繪中心建設的 GPS 連續觀測站進行差分定位聯測，並透過 3G 訊號傳輸觀測站資料至伺服器中心，經解算後回傳只用戶端便能獲得點位的物空間座標。使用 eGPS 測量使用者無需自行架設基站，具備快速定位，且定位精度能達到公分以內。核影像糾正是針對在進行密集匹配以求取 DSM 時，需透過相對方位成果，先將原始影像轉換至核影像空間，以減少匹配的搜尋空間並增加效率。而核影像具備以下的幾點特性：

- 像平面與相機基線平行；

- 核線彼此平行，且影像每一列即為一條核線；
- 影像不具 y 視差，僅保有 x 視差，故能重建立體視覺；
- 能協助影像匹配及搜尋，由二維空間降至一維。

圖 23 為核影像轉換之示意圖。首先由原始影像的旋轉角 $R(\omega, \phi, \kappa)$ 轉換為垂直影像，然後透過基線之偏移量(BX, BY, BZ)，式(3)為如何計算核影像旋轉矩陣 $R_N(\omega_N, \phi_N, \kappa_N)$ 。

$$\left. \begin{aligned} \kappa_N &= \tan^{-1} \frac{BY}{BX} \\ \phi_N &= \tan^{-1} \frac{BZ}{\sqrt{BX^2 + BY^2}} \\ \omega_N &= (\omega' + \omega'')/2 \end{aligned} \right\} (3)$$

而透過像空間的平面轉換，透過式(4)即可將原始影像轉換為核影像。其中 (x_n, y_n) 為核影像座標， (x, y) 為原始影像座標。

$$\left. \begin{aligned} m_{3 \times 3} &= R_N R^T \\ x_n &= -f \frac{m_{11}x + m_{12}y - m_{13}f}{m_{31}x + m_{32}y - m_{33}f} \\ y_n &= -f \frac{m_{21}x + m_{22}y - m_{23}f}{m_{31}x + m_{32}y - m_{33}f} \end{aligned} \right\} (4)$$

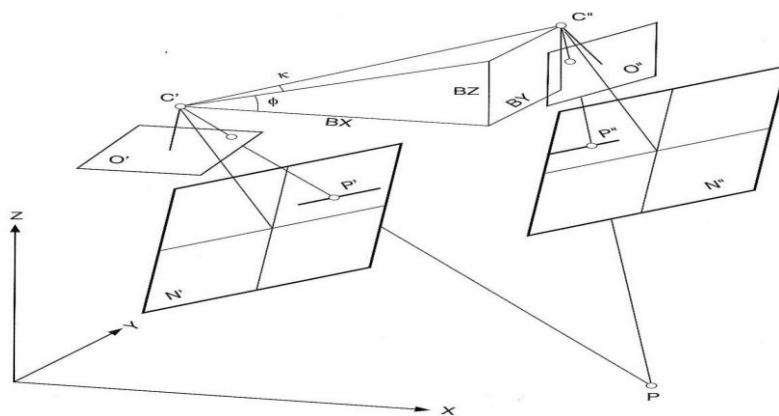


圖 23 核影像轉換示意圖

經轉換後的核影像，便可依據逐像元的密集匹配方式找尋共軛點，並透過視

差方程(式(4))即建立和影像空間的高度變化。其中 (x_r, x_l) 為匹配點在左像及右像的x座標，其差值又稱x視差，即產生立體視覺的基本原理。而在密匹配演算法上，本研究採用SGM法，可快速且穩定的逐點匹配視差，而匹配後的共軛點又可透過前方交會求得物空間三維座標資訊。

$Z = Z_H - f \frac{B}{x_r - x_l}$;在立體影像上，若拍攝的目標物未改變，其視差是固定不變的。

透過此概念，藉由長時期偵測視差影像進行差異分析，透過門檻的設定，在具一定範圍的視差變化區域以偵測出崩塌現象。而土方量的計算，便在具崩塌現象的範圍內，進行逐像元的前方交會得到該區域的前後期三維座標，經相減與內差處理並能改估三維的土方量變化。然而此部分可能因攝影機的前方交會幾何，目標物與相機之距離導致精確度有所差異。相機因感測元件及鏡頭的結構與光學等特性，於成像時會依設計與製作技術的不同而有不同程度的幾何畸變，因此，以相機進行各種量測運用之前，必須先將其幾何畸變模式與其參數加以量測與解算，相機的畸變參數又稱為內方位參數，以對取得的影像進行幾何糾正，儘可能的降低量測誤差。本崩塌監測系統所使用的相機為AXIS P-1347E及P-1357E兩支高解析網路攝影機(IP Camera)，其幾何形變特性與參數的量測是以Australis軟體，配合拍攝一佈滿人造標之旋轉圓盤，以30-45度的傾斜角進行拍照，透過旋轉圓盤可得到60-90度的相片交會幾何，經附加參數光束法平差模式以計算相機幾何畸變參數，圖24之不同量測位置的多交會光束路徑示意圖所示。

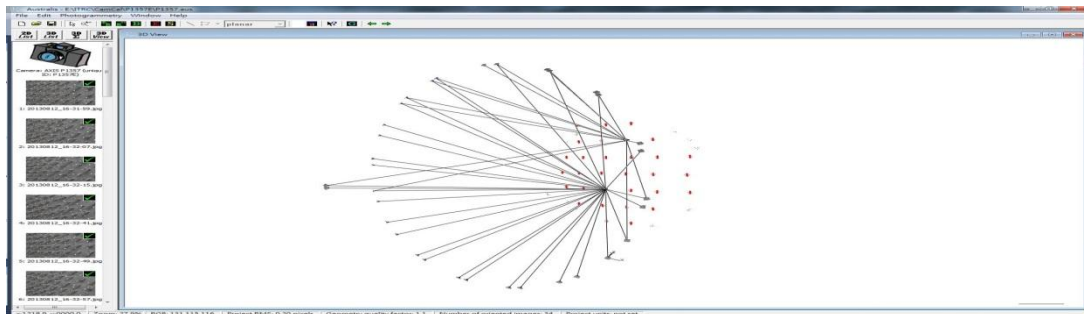


圖 24 不同量測位置的多交會光束路徑示意圖

AXIS P-1347E及P-1357E兩支高解析網路攝影機之幾何畸變的校正參數，其率

定成果整理如表 2。由表中可知率定的精度為 0.2 個像元，且最大的透鏡變形達到 80 個像元，因此透鏡畸變參數的率定顯得相當重要。在圖 25 與圖 26 中，顯示一組經透鏡畸變校正前的原始影像及校正的影像，從圖中可觀察到原始影像的建物結構線呈現扭曲變形，而經透鏡畸變糾正的影像其扭曲的結構線便修正為直線。

表 2 相機率定成果

相機型號	P1347E	P1357E
像元大小 (um)	2.2	2.2
F	9.9313	9.6852
xp	-0.0623	0.1954
yp	-0.0482	-0.0362
K1	3.5092e-003	3.7787e-003
K2	1.8966e-005	4.2898e-006
K3	6.1161e-008	6.4684e-007
P1	1.3556e-004	8.4083e-005
P2	8.7280e-005	5.7341e-005
Sigma0	0.13	0.2
最大變形 um/pixels	162/73	175/80



圖 25、相機幾何畸變修正前之影像



圖 26、相機幾何畸變修正後之影像

圖 27 為從兩支 IP Camera 所取得之偵測用影像，左影像為相機 P1357E，右像則為相機 P1347E 之影像。從影像可觀察到因兩台相機架設位置不同而產生的影像內容差異，同時因相機不同，色彩空間的呈現也有些微的差異。

利用 SURF 法進行立體對影像之特徵匹配的成果如圖 28 所示，所偵測的特徵點可均勻分布於影像上，且在雜草叢生的地表面也能有足夠的匹配點進行影像相對方位解算。



左影像

右影像

圖 27、左右相機擷取之偵測用影像

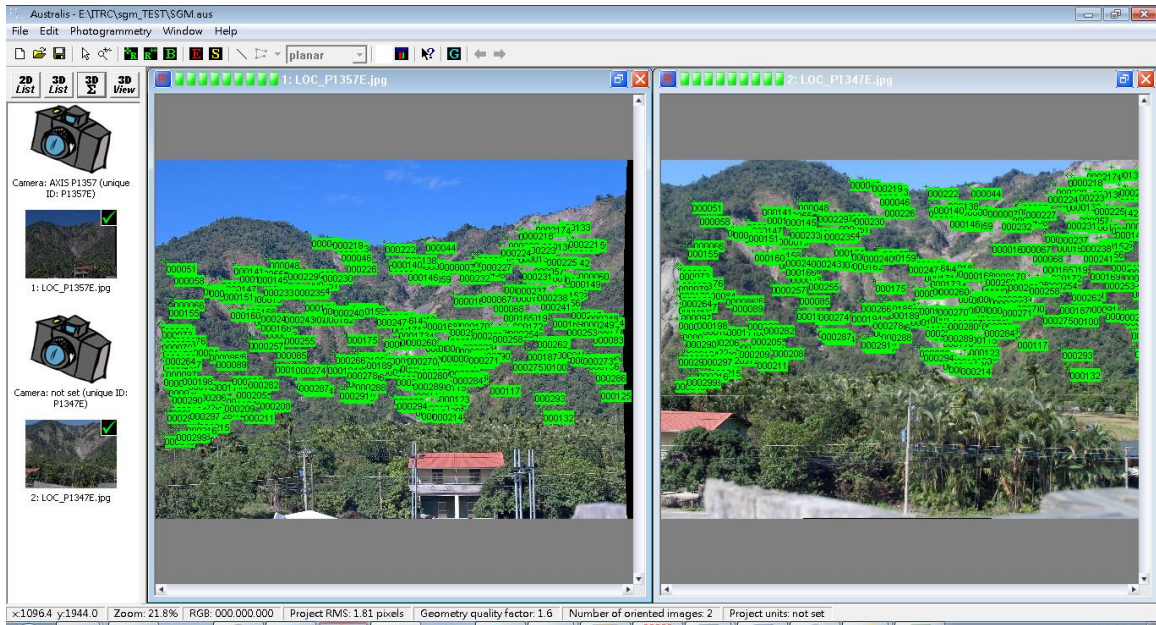
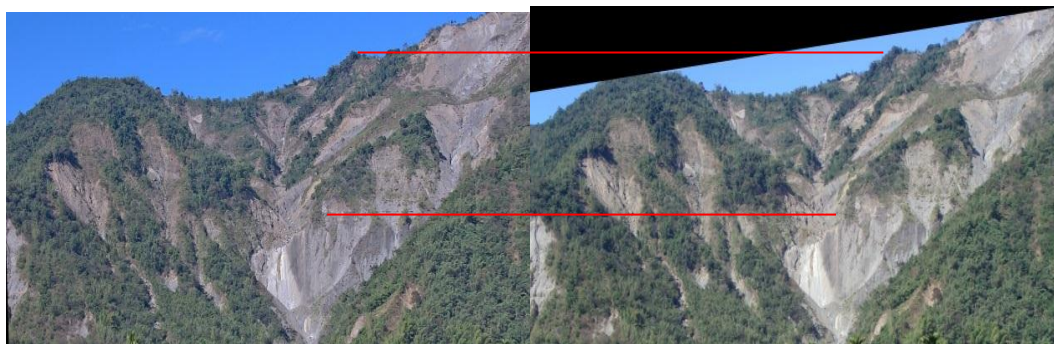


圖 28 以 SURF 法進行立體對影像特徵匹配之成果

為減少匹配的搜尋空間及增加匹配之效率，在進行密集匹配以求取數值表面模型 (DSM) 時，需透過相對方位之解算成果，先將原始影像轉換至核影像空間，以重建立體視覺。圖 29 所示及經轉換後的核影像立體對，可觀察共軛點位置不具 Y 視差，僅存在左右偏移的 X 視差。



左核影像

右核影像

圖 29 由原始影像轉換至核影像空間之左右核影像

依左右核影像經 SGM 密集影像匹配後，可以獲取共軛點的視差值，而匹配的視差圖如圖 30 所示。其灰度值偏亮的地方表示物體離相機距離較近，反之較暗的地方表示距離較遠，透過視差圖已經能表示距離的變化。然而因影像前景與背景

差，可以發現山峰遮蔽區無視差值，且均調區因不具豐富的紋理資訊，亦無法正確匹配而獲得視差資訊。為了驗證視差的匹配成果，將右核影像的灰度值，結合視差資訊，便能轉換到與左核影像相同的影像空間。由視差轉換的成果如圖 31、所示，藉由色彩的觀察可發現右核影像轉換的成果相當接近左核影像，同時在遮蔽區域因無數值而呈現黑色區塊。

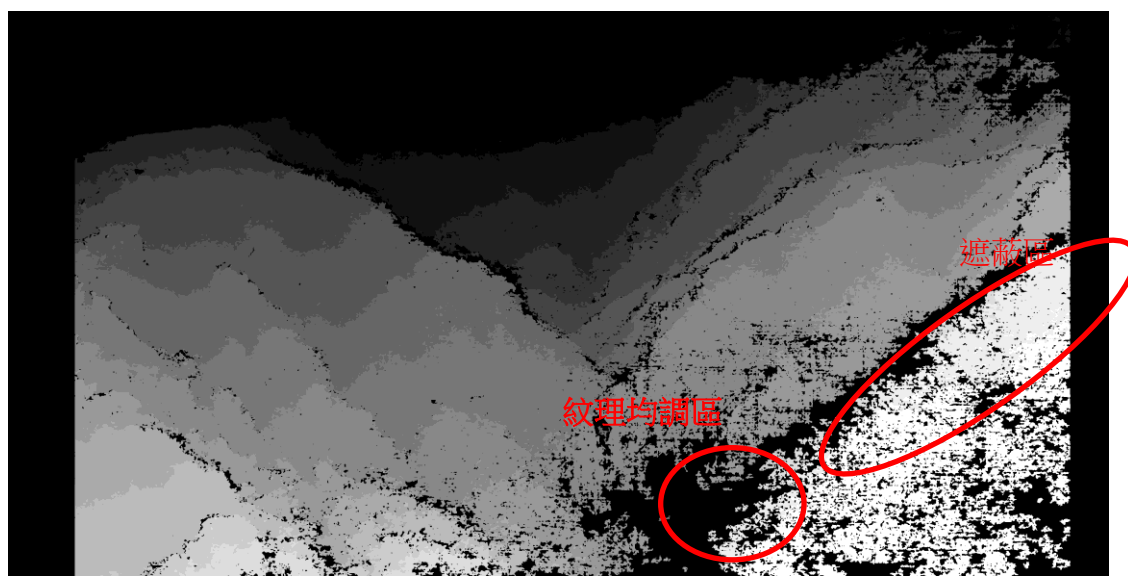


圖 30、 視差圖

經密集匹配共軛點後，可經前方交會得到三維的點雲資訊，如圖 32 與 33，其側視圖顯示了物體與相機的距離，然而因遮蔽問題，導致上視圖出現陰影區塊，同時因為物體景深距離長，故上視圖也可以看出拉伸現象。由於監測地點目前仍無明顯崩塌現象，因此目前仍未有該地區的崩塌土方量偵測。而為了驗證程序，未來將建立室內模擬場，藉由些微的移動以模擬崩塌現象。

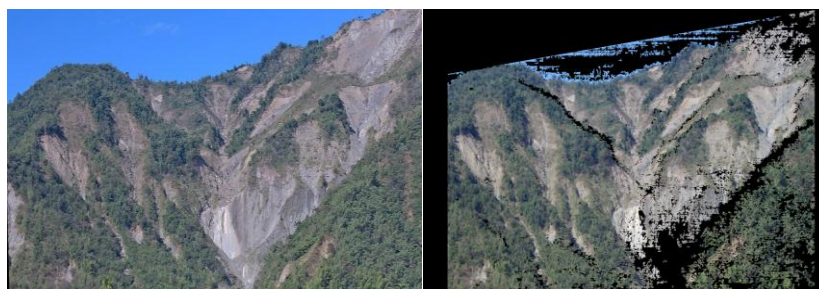


圖 31 以右影像(左圖)之像素值套於左核影像之匹配驗證影像(右圖)

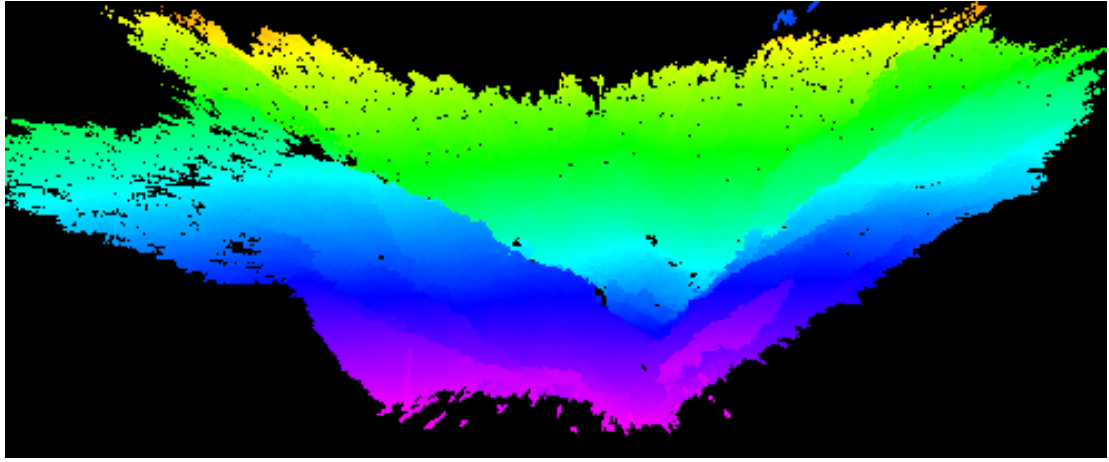


圖 32、 崩塌地三維點雲側視圖

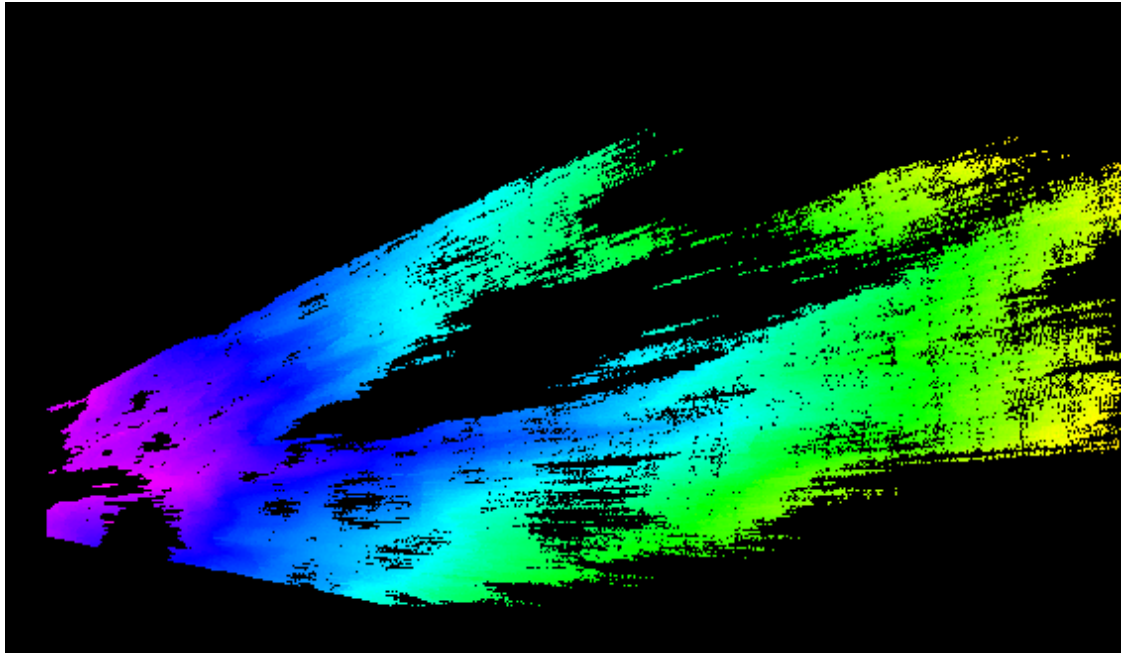


圖 33、 崩塌地三維點雲上視圖

四、 討論與建議

崩塌災害評估儀器與預警系統技術發展計畫中完成多感測器網路實驗雛型系統，輕量化無人直昇機之 4 波段相機載台系統與坡地崩塌區之定點即時監測實驗雛型系統；其中以多感測器構成網格網路實驗雛型系統。可測試山坡地之土壤溼度、雨量、溫度等。並於山崩前後將感測資料回傳主機系統。其節點間最遠距離為 50M，消耗功率小於 1mW，資料傳輸率為 2Kbit/sec，電池更換頻率約為 3 月以上，未來還需對野外測試進行驗證，因此 103 年將運作實際規劃之實驗性 5 個雨量計，2 個土壤含水量與傾斜計感測器等，構成一多物理量測型態感測器網路，結合有線與無線成為傳輸資訊能力之系統架構，進行模擬村里級防災監測測試。

另外 4 波段相機載台系統由兩台 1200 萬高畫素全片幅數位單眼相機組成的輕量影像酬載系統，單一長效鋰電池可供拍攝 800 至 1000 張照片，可供航拍 1 至 1.5 個小時，系統機構僅重 4.6 kg，並具有自動垂直穩定與抗震的機構設計，可減少影像晃動。電子電路部分，RGB 及 NIR 波段影像拍攝時間同步誤差小於 1 ms，單一相機記憶體容量 32 GB (可擴充至 64 GB)，可應用在生活環境安全監控與天然災害範圍評估、生態多樣化及變遷，以及本土原生物種保育監測等特定用途。103 年將繼續以開發鏡頭系統系統機構小於 3 kg 之 4 波段相機載台系統，以發揮 4 波段之優點，重量輕能使飛行器滯空時間變長，拍照災區範圍可以更廣，並持續於國內推廣應用此套系統。

坡地崩塌區之定點近景即時監測系統之研發，102 年雖然完成崩塌監測系統之實驗雛型建置，未來可於多個被監測坡地發生崩塌災害時，提供防救災單位最快速的坡地崩塌災害資訊，可大幅提高各潛藏崩塌之坡地的災情掌控度及救災效能。目前已完成包括實驗地點選定、相機率定程序、相機架設安裝與調校、核影像糾正程序、密集匹配方法等工作，已經可以網際網路由遠端即時監控與取像，然後在 PC 上以監測軟體進行坡地崩塌的即時解算與監測，未來將繼續提升此套系統功能之驗證。

五、 參考資料:

1. 廖泰杉, 李皇辰, 黃百昆, 游文廷, 陳佑杰, 湯雅雯 (2013) 「動態調整狀態參數增強無線感測網路訊號傳送正確率裝置」民生電子科技研討會
2. 廖泰杉, 李皇辰, 黃百昆, 游文廷, 湯雅雯 (2013) 「無線感測網路封包傳輸節點裝置及其控制方法」中華民國發明專利申請 102129103 號
3. 廖泰杉, 李皇辰, 黃百昆, 游文廷, 陳佑杰, 湯雅雯 (2013) 「無線感測網路封包傳輸節點裝置及其控制方法技術報告」儀器科技研究中心研究報告
4. 陳佑杰, 李皇辰, 黃彥碩, 廖泰杉 (2013) 「坡地多點感測器模組與通信架構系統技術可行性評估 protocol 的研發與 實作」儀器科技研究中心技術報告
5. 黃泰綸, 翁睿謙, 廖泰杉 (2013) 「IMU 感測器整合於四波段同步雙相機取像系統設計」儀器科技研究中心技術報告
6. 黃泰綸, 廖泰杉 (2013) 「四波段同步雙相機取像系統」第六屆 電子工程技術研討會
7. 黃泰綸, 廖泰杉 (2013) 「災害評估快速取像系統」第二十二屆國防科技研討會,2013
8. 廖泰杉, 黃泰綸, 湯雅雯, 蕭淵展 (2013) 「具有 4 波段取像模組之旋翼無人飛行載台」民生電子科技研討會
9. 廖泰杉, 黃泰綸, 湯雅雯, (2013) 「高解析度四波段同步雙相機取像系統」儀器科技研究中心技術報告
10. 黃泰綸, 蕭淵展, 廖泰杉 (2013) 「空拍正射影像數值地形模型製作與 google earth 整合」儀器科技研究中心 技術報告
11. 廖泰杉, 黃泰綸, 湯雅雯, 蕭淵展 (2013) 「具有四波段取像模組之旋翼無人飛行載台」儀器科技研究中心研究報告

12. 陳銘福,賴君怡,詹鈞平 (2013) 「坡地崩塌即時監測系統及其方法」民生電子科技研討會
13. 陳銘福,賴君怡,詹鈞平,饒見有 (2013) 「坡地崩塌即時監測系統及其方法」中華民國發明專利申請 102122191 號
14. 陳銘福,賴君怡,詹鈞平,饒見有 (2013) 「坡地崩塌區之定點即時監測之技術與實驗系統雛型研究報告」儀器科技研究中心研究報告
15. 陳銘福,賴君怡,詹鈞平,陳怡如 (2013) 「坡地崩塌偵測系統技術開發及研究」儀器科技研究中心技術報告