

(計畫名稱)

以資料蒐評法輔以影像分塊技術自動萃取空載光達資料的建  
物屋頂面資訊

計畫類別： 個別型計畫  整合型計畫

計畫編號：NSC 94-2211-E-004 -002

執行期間： 94 年 8 月 1 日至 95 年 12 月 31 日

計畫主持人：邱式鴻助理教授

共同主持人：

計畫參與人員：李宏君、邱煥智、徐華穗、簡鈺珊、樂怡岑

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告  完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、  
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：國立政治大學地政學系

中 華 民 國 95 年 12 月 31 日

## 中文摘要

傳統的二維地理資訊已經漸漸不能滿足現代人的需求；三維地理資訊的建構能幫助人們更有效率得到空間資訊。而建物模型是三維地理資訊中最基本且重要的一項資料。利用建物三維模型，除了可以在電腦中建立虛擬城市之外，亦可結合不同的資訊系統，做各種不同的應用。如結合消防單位的防災資訊系統，可將救災工作做到最迅速確實，將災變損失減到最低。而空載光達測量技術是目前能自動獲取大區域範圍高精度且高密度地表資料的新興測量技術，獲取的資料是大量分布於地表的三維點位資料，隱含著空間中有意義的點、線、面特徵，尤其是面特徵，對於自動建構建物模型相當有用，因此空載光達資料變成目前自動建構建物模型的一項重要資料來源，所以由空載光達資料中萃取並建構都市區或含建物區的建物模型供後續應用是目前相當重要的研究主題。而由包含大量精確平面特徵的光達資料中，進一步處理或結構化之後萃取有意義的面特徵，甚至是萃取更有意義的地物資訊供後續應用則需要發展不同的演算法。本文即在假設地表建物屋頂面是由三維平面所建構而成的前提之下，且利用建物高程一定高於地面的物空間知識，嘗試由包含建物區範圍內的光達資料中，利用影像分塊的處理技術由光達資料本身或是由其對應的正射影像中先行萃取可能的屋頂平面區域資訊，接著將平面區域資訊與空載光達資料進行資料融合之後，利用最小二乘平面擬合的資料蒐評法，排除不屬於屋頂面上光達資料進行自動萃取空載光達資料中屬於建物屋頂面上的點供後續精確決定三維建物模型之用。

**關鍵詞：**光達、建物重建、資料蒐評、四分樹分塊合併

## 英文摘要

People can acquire spatial information more efficiently and benefit much more from 3-D geographical information systems than from traditional 2-D geographic information systems. Building models are essential in 3-D geographical information systems. Building models can be used to construct the virtual cities on the web for visualization; also they can be used as the bases of different information systems. For example, the information system for the precaution or preparedness against natural calamities can be built based on the building models. Airborne LIDAR surveying systems can acquire automatically high accuracy and reliable terrain surface data covered large area. Therefore it is an important source for automatic reconstruction of building models. Basically, airborne LIDAR data are consisted of a large number of 3-D points on the terrain surface. After processing, those data can be used for the generation of high accuracy DEM, for the extraction of terrain object, e.g. buildings, roads and trees, as well as for disaster assessments. Because airborne LIDAR data is helpful for building reconstruction, lots of algorithms are developed to extract the meaningful 3-D plane features. Based on data snooping theory, this study would like to propose an algorithm to extract building roof points from airborne LIDAR data for building reconstruction. Firstly, image segmentation algorithms are employed to segment the possible roof regions from airborne LIDAR data or corresponding aerial orthoimages. Based on the theory of data snooping, least square plane fitting algorithm are developed to extract the roof points by fusing those outlines found by the image segmentation and airborne LIDAR data. This study hopes that this proposed algorithm can extract the reliable roof points with high quality for subsequent accurate building reconstruction. Experiments also prove its feasibility.

**Keywords:** LIDAR, Building Reconstruction, Data Snooping, Quad-tree Splitting and Merging.

# 1 前言、研究目的、與文獻探討

## [研究計畫之背景、目的、重要性]

傳統的二維地理資訊在這個電腦資訊日新月異的時代中，已經漸漸不能滿足現代人的需求；三維地理資訊的建構能幫助人們更有效率得到空間資訊。而建物模型是三維地理資訊最基本且重要的一項資料。利用建物三維模型為基礎，可結合不同的資訊系統，做各種不同的應用。如結合消防單位的防災資訊系統，可將救災工作做到最迅速確實，將災變損失減到最低[陳聖銘、陳泰弘，2002]；或者進而在網路上建立虛擬數位城市，如芬蘭赫爾辛基政府在西元 2000 年推行的虛擬芬蘭赫爾辛基計畫[Helsinki Arena 2000]。在此計畫中，首先在電腦中建立虛擬的三維城市，除了完成建構方圓五十公里的赫爾辛基立體模型之外，並利用網際網路，讓當地居民可以快速處理日常生活中的種種瑣事，而即使是外國人也可以透過網路，進行一趟虛擬的城市之旅。未來甚至還可以在虛擬的城市中逛街、串門子，將城市推向全球化。

## [國內外有關本計畫之研究情況、重要參考文獻之評述]

建構建物模型的方式不勝枚舉[饒見有、陳良健，2002; Gruen et al., 1997,1998; Haala and Brenner, 1997b]，但是其資料不外乎來自航測或高解析度衛星影像、數值覆面模型(Digital Surface Model, DSM)資料，以及現有的建物平面圖。所謂 DSM 資料是指用數值坐標資料表示地表最上層覆蓋物(含如植被的自然地物及建物的人工地物)的高低起伏。有別於用數值坐標資料表示不含地表自然及人工地物時，地球表面自然地貌高低起伏的數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)或數值地形模型(Digital Terrain Model, DTM)。目前獲取高精度高解析度的數值覆面模型資料的技術有地面測量技術、航空攝影測量技術及近幾年來發展之空載雷射掃描技術(Airborne Laser Scanning, ALS) 或稱空載光達(airborne Light Detection And Ranging, airborne LIDAR)。地面測量技術僅僅能獲取小區域範圍內的資料且耗費人力成本甚鉅，因此目前透過航空攝影測量技術及空載光達測量技術才可能自動獲取大區域高精度高解析度的數值覆面資料，而兩種技術中又以新興的空載光達測量技術更能以自動的方式獲取大區域高精度高密度的地表資料。獲取的空載光達資料是大量分布於地表的三維點位資料，隱含著空間中有意義的點、線、面特徵，尤其是面特徵，對於自動建構建物模型相當有用，因此空載光達資料變成目前自動建構建物模型的一項重要資料來源，其原理就是利用 GPS(Global Position System) 全球定位系統和 INS(Inertial Navigation System) 慣性導航系統即時定出飛機飛行瞬間的位置和姿態參數，同時利用雷射測距和光學掃描原理，以每秒約數千次的觀測頻率對地面進行掃描，得到大量分布於地表的三維點位資料，又稱為點雲(Point Cloud)資料 [Wehr & Lohr, 1999]。

空載光達資料具有高精度高密度表現地表資訊的能力，國內學者史天元等人[2003] 將空載光達掃描與航空測量數據高程精度進行比較研究，結果得知，航空測量數據因自動匹配方式產生的 DSM 中含有因匹配不當所產生的大誤差，結果容易與真實情況差異甚大。所以空載光達測量技術量測出的高程精度比較高；另外史天元、彭淼祥[2003]在「空載雷射掃描數據精度評估程序之研究」成果中更說明了，空載光達測量技術在平坦地區測高，精度可達 15 公分。因此空載光達資料將是目前自動獲取大區域範圍最佳精度 DSM 資料的重要測量技術。而因為空載光達資料是大量分布於地表的三維點位資料，其資料中隱含著空間中有意義的點、線、面特徵，尤其是都市區或含建物的資料區包含大量的精確平面特徵，適合對於面的分析[Schenk and Csatho, 2002]，因此由空載光達資料進一步處理或結構化之

後萃取有意義的面特徵供後續應用是一項重要的工作。此外，空載光達資料應用很廣，它可以應用於高精度的 DEM 生產、萃取如建物、道路或者樹木等地物作為景觀規劃或是其他方面之應用，甚至可以用來進行災害評估[Axelsson, 1999; Haala and Brenner, 1999a; Priestnall et al., 2000; Vosselman and Dijkman, 2001; Cobby et al., 2001; Steinel et al., 2001]。而「空載雷射地形測繪系統 (LIDAR)」之技術業於內政部「高精度及高解析度數值地形模型建置計畫」中予以引進，並於九十三及九十四年針對國內中、低海拔及海岸地區各種地形進行測試及分析。以供將來各防救災單位快速取得地形資訊之參考。同時亦將應用空載 LIDAR 測繪技術，以快速提供地形、地表資訊，提高防救災應變機能。內政部業委託工研院辦理「LIDAR 測區之高精度及高解析度數值地形測繪、資料庫建置與應用推廣工作」案，已於 2004 年及 2005 年於桃園、新竹、南投草嶺潭、外傘頂洲、台南縣市、高雄、屏東等地區，針對不同地形及地貌進行測量、分析及應用推廣等工作，以評估其精度及適用之區域，作為將來應用之依據 [王定平、王成機、陳思仁，2004]。

綜合上述原因，國內已引進此技術且因空載光達測量技術不像利用航空影像匹配易產生錯誤和耗時的特性，而且空載光達系統可以主動以及快速獲取高精度和可靠 3D 點坐標的特性，使得空載光達系統所產生的光達資料在將來將是進行建物重建相當重要的資料來源。

### [利用光達資料自動萃建物的方法簡介]

利用光達資料重建建物模型的方法很多。在國外，如 Haala and Brenner [1997b] 從稠密的雷射測高資料(4 點/m<sup>2</sup>)利用平面分割(planar segmentation)演算法萃取平面屋頂元件(planar roof primitives)，並且利用建物平面圖資訊獲取建物平面的位相關係，進而建立完整的建物模型。Lemmens 等人[1997]融合雷射測高資料與地形資料庫導出立方體無屋頂(roof-less cube type)的建物元件。Hug 和 Wehr[1997]依據連續漸進的局部直方圖分析的型態過濾由 ScaLARS 高程和反射資料偵測和分離房子資訊。Halla 等人[1998]由最小二乘法平差導出基本的建物元件的 3-D CAD 模型參數。Mass 和 Vosselman [1999]依據點雲的不變動量特性導出標準山型屋頂形式的建物模型；此外，也先由最小二乘擬合之平面後由平面相交建構複雜非參數化的屋頂。Alharthy 和 Bethel [2002]則以階層式過濾 LIDAR 資料以建構三維物體；Lee[2002]則以 Perceptual Organization 分析雷射點雲之空間幾何結構將點雲資料群集成平面；Mass [1999]將 LIDAR 資料轉換成網格式的影像資料，然後利用影像分類輔以其他資訊萃取其面狀特徵。

而在國內，由大量分布於地表的三維點位資料空載光達資料萃取建物也有相當的研究成果，如賴志恆[2003]以及湯凱佩和曾義星[2004]均以八分樹法將雷射點雲階層式三維網格結構化之後進行最小二乘平面擬合和平面特徵萃取。陳良健等人[2003]從資料融合角度出發，結合光達資料及彩色空照影像進行三維房屋區塊之建立。邵怡誠和陳良健[2003]利用數學形態學過濾法在高程空間中自動重建高程以區隔出地上物的高程點，切取高度超過 3 公尺且面積較大的地物區塊，經計算斜率差後以 10 種統計量來偵測房屋區塊。

空載雷射掃描資料是由大量三維的點雲資料所組成，雖具有高精度高密度表現地表資訊的能力，但是利用空載光達系統掃描得到的光達資料，進行萃取建物屋頂面資訊的過程中，可以預期除了構成建物主要屋頂面上的點雲資料之外，還包括不是構成主要建物屋頂面上的點資料，比如位於女兒牆、水塔、樓梯間或其他附屬建築物的點位資料，甚至是雜訊所構成的點位資料。

對於由空載光達資料重建建物模型時，建物屋頂面上的光達點或是屋頂面資訊必須先萃取出來。前述方法中，大部分的方法是將分散的空載光達點資料透過內插方式轉到類似影像的網格資料之後再應用影像處理的方法偵測並萃取之(Geibel and Stilla, 2000; Maas and Vosselman, 1999)。如此一來會喪失某些重要的空間資訊(Axelsson, 2000)，特別是高程精度。於是，某些演算法則使用原始的空載光達資料進行萃取的工作(Ackermann, 1999; Alharthy and Bethel, 2002; Elberink and Mass, 2000; Haala, and Brenner, 1999; Priestnall et al., 2000; Woo et al., 2002; Vosselman and Dijkman, 2001)。比如，Lee (2002)應用視覺組織法(perceptual organization)分析原始空載光達資料在空間的幾何結構關係，並將其群聚成面資訊。Wang and Tseng [2004] 提出八分樹的分塊合併演算法(octree-structure-based split-and-merge segmentation algorithm) 將原始空載光達資料群聚成 3D 的平面。雖然使用原始的空載光達資料可以保有原始的精度，然對於使用空載光達資料萃取屋頂點資料仍有其難度。首先是如何從空載光達資料中將屋頂點和其他地物點區分出來，然後是如何將不相關的點排除萃取真正屬於屋頂面上的點資料。此外，至今並無利用粗差偵錯理論發展出任何關於萃取屋頂面上點資料的演算法。事實上，非同一屋頂面上點的排除可以使用粗差偵錯的理論。也就是，將非同一屋頂面上的點視為粗差在萃取同一屋頂面上的點時利用粗差偵錯的理論將其排除。而資料蒐評法正是粗差偵錯的一種方法。因此，本研究將發展以粗差偵錯為出發點的演算法，意即利用 Baarda [1967]教授所提的資料蒐評法，發展由空載光達資料中萃取屋頂點的演算法，希望於包含建物資訊的空載光達資料中發展可以確實排除不在屋頂面上光達資料的演算法，萃取屬於屋頂面的點位資訊供後續建物模型重建處理之用。因此，本研究在假設地表建物屋頂面是由三維平面所建構而成的前提之下，且利用建物高程一定高於地面的物空間知識，嘗試由包含建物區範圍內的光達資料中，首先利用影像分塊的處理技術由光達資料本身或是由其對應的正射影像中先行萃取可能涵蓋建物屋頂區的平面資訊，接著將平面資訊與光達資料進行資料融合之後，利用最小二乘平面擬合的資料蒐評法，進行自動萃取空載光達資料中屬於建物屋頂面的資訊供後續建立建物模型之用；亦即利用資料融合和資料蒐評法發展可以確實排除不屬於屋頂面上光達資料的最小二乘平面擬合演算法，並精確決定建物屋頂面資訊。

## 2 研究方法

本研究的主要研究工作分成兩個主要部份，一是萃取可能涵蓋建物區屋頂面範圍的近似輪廓線；第二部份則是精確萃取輪廓線中的各屋頂面上的光達點。接著依據這兩項主要工作步驟分別介紹本研究所使用的研究方法。

### 2.1 萃取可能涵蓋建物區的近似輪廓線範圍

本研究首先萃取可能涵蓋建物區的近似輪廓線範圍，因此第一節先描述偵測涵蓋建物區的近似輪廓線範圍的方法。本研究中運用兩種方法萃取可能涵蓋建物區的近似輪廓線範圍，一是利用光達資料、一是利用其對應的正射影像資料。

#### 2.1.1 由空載光達資料萃取建物輪廓線

如圖 1 流程圖所示，相關的工作分成三部份。第一部分產生可能涵蓋建物屋頂的距離影像，第二部份偵測可能涵蓋屋頂的區域，最後萃取此涵蓋建物區的近似輪廓線範圍。

##### 2.1.1.1 產生可能涵蓋建物屋頂的距離影像

可能涵蓋建物屋頂的距離影像是由資料組中根據高於地面平均高程的光達點、網格間距(grid spacing distance, GSD)和平均點密度所產生。地面平均高程是由點高程經過升冪排序之後將位於前 12%和 2%區間的高程點高程取平均得到。若點高程高於地面平均高程 3m 則將其轉為灰階影像儲存在對應的網格位

置中，此影像即稱可能涵蓋建物屋頂區的距離影像。光達點在距離影像中的位置則是由點本身和影像左上角的 TWD97 坐標與適當的 GSD 化算之。光達點在距離影像中的灰階則由點本身的高程和高於地面平均高程的最高點對應灰階 255 和地面平均高程加 3m 視為最低點並對應灰階 1 比例換算。此外，可能在同一位置上會同時存在多個光達點，此時由最後存入該位置的值作為該位置的灰階值；同樣地，也可能位置上並無任何點資料在，此時灰階用 0 表示。圖 2 中圖 2(a)表原始空載光達點資料，圖 2(b)為產生可能涵蓋建物屋頂區的距離影像，此例中的平均地面高程為 132.6m，用的 GSD 為 1.5 m，黑色即表示該位置無點資料存在。

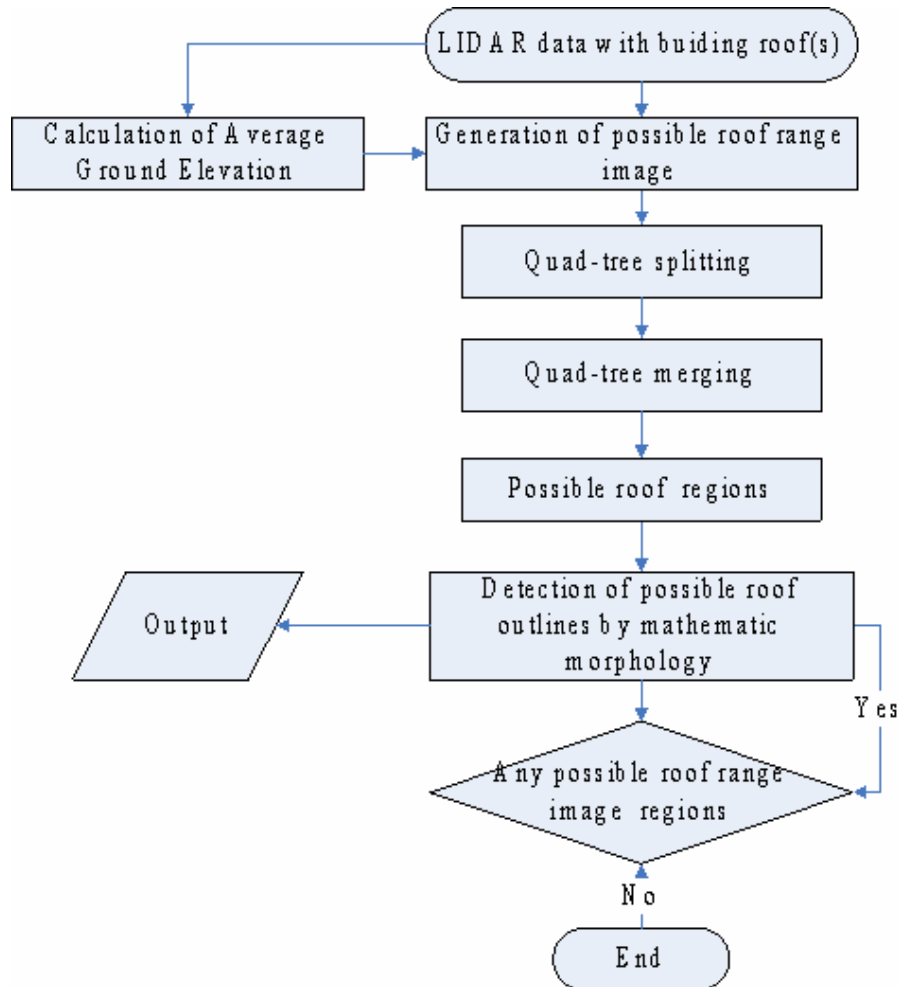
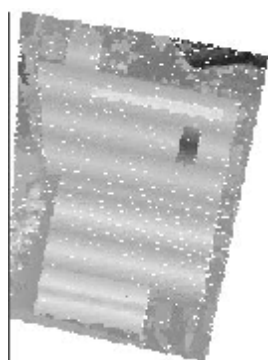
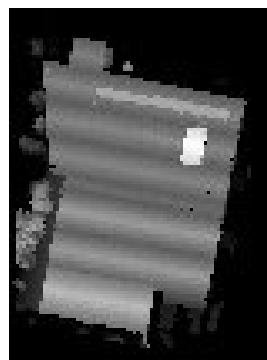


圖 1 由空載光達資料萃取可能屋頂區域輪廓線之流程圖



(a) 原始空載光達資料



(b) 可能涵蓋屋頂的距離影像

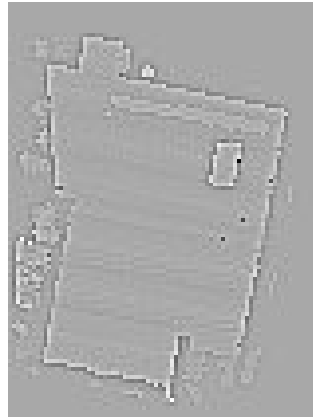
圖 2 原始資料和產生的可能涵蓋屋頂的距離影像

### 2.1.1.2 可能涵蓋屋頂區域之偵測

既然屋頂不是水平面就是斜平面，因此每一屋頂位置求其高程的二階導數應該為零。將可能涵蓋屋頂區的距離影像和如圖 3(a) 求二階導數的單窗進行摺積運算則可得到如圖 3(b)所示的二階導數影像。

-1/ 8	-1/ 8	-1/ 8
-1/ 8	1	-1/ 8
-1/ 8	-1/ 8	-1/ 8

(a) 求二階導數的單窗



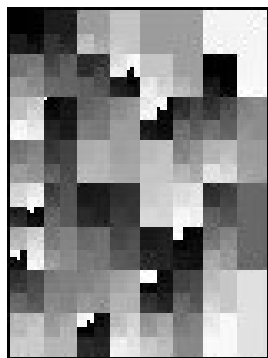
(b) 二階導數影像

圖 3 求二階導數的單窗和所得的二階導數影像圖示說明

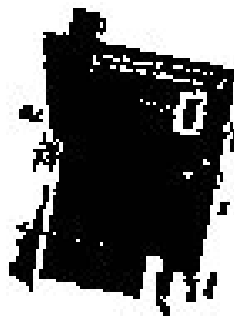
如圖 1 流程圖所示得到二階導數影像，立即運用影像處理技術中的影像分塊和合併技術獲取可能涵蓋屋頂的區域。首先，使用四分樹分塊(quad-tree splitting)將二階導數影像分成 GRID 區塊，在這些區塊中其二階導數平均值的標準偏差必須小於某一臨界值或該區塊中只剩一個像元。標準差的臨界值是根據空載光達點的高程精度和誤差傳播原理計算得到。比如，對應圖 3(a)單窗中每一位置的高程為  $Z_1 \sim Z_9$ ，則二階導數由方程式(1)計算得到。

$$ddH = Z_5 - 1/8(Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_6 + Z_7 + Z_8 + Z_9) \quad (1)$$

若點高程的標準偏差是  $s_h$ ，則  $ddH$  的標準差為  $0.75 \cdot \sqrt{2} \cdot s_h$ ；若 GRID 區塊中有  $n$  個點則其二階導數的平均值的標準偏差依據誤差傳播則為  $0.75 \cdot \sqrt{2} \cdot s_h / \sqrt{n}$ 。則臨界值則取其 3.5 倍的  $0.75 \cdot \sqrt{2} \cdot s_h / \sqrt{n}$ 。圖 4(a) 為利用  $s_h = 0.2m$  進行四分樹分塊所得的 GRID 區塊。



(a) 萃取到的 GRID 區塊



(b) 萃取到的可能屋頂區域

圖 4 可能涵蓋屋頂區域偵測之圖示

接著，四分樹合併(quad-tree merging)依據合併之後的平均二階導數值和某一臨界值用來判斷是否合併相鄰的 GRID 區塊。此臨界值為 3.5 乘上  $0.75 \cdot \sqrt{2} \cdot s_h$ 。

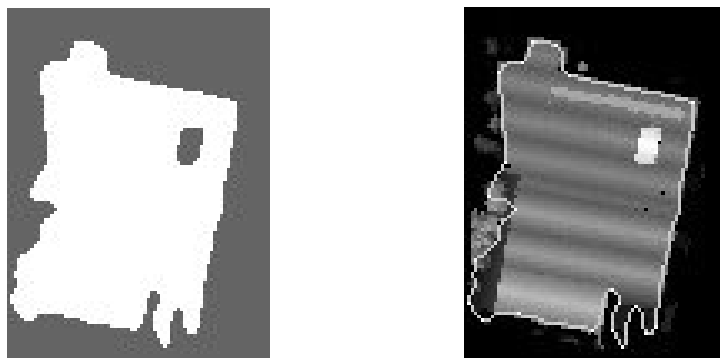
合併過程中，選取 GRID 區塊中像元數最多的作為主區塊，一旦發現主區塊的相鄰區塊和主區塊內的二階導數值的平均值小於臨界值則將此相鄰區塊合併，依據已合併區塊再尋找其相鄰區塊，若有相鄰區塊則用相同方式進行合併判斷，同樣的程序一直進行到無相鄰區塊可以合併為止。然後再由未合併的區塊中，由最多像元數作為主區塊進行上述程序以取得可能涵蓋屋頂面的區域，如此反覆直到無主區塊可進行合併為止，圖 4(b) 顯示合併之後可能涵蓋屋頂面的區域。

### 2.1.1.3 萃取涵蓋屋頂區域的近似輪廓線

因為在偵測的屋頂區域中某些像元內可能並無資料(稱空像元)，因此在萃取屋頂區域的近似輪廓線之前，必須運用類似數學形態學中的閉合處理(closing operation) 將空像元填滿。此操作具有平滑輪廓和連結狹小中斷並消除區域中空洞的作用。其理論說明如下，意即集合 A 由結構元素 B 閉合運作以  $A \bullet B$  表示並定義為

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B. \quad (2)$$

換言之，閉合處理就是先由結構元素 B 擴張集合 A；然後緊接著用 B 侵蝕擴張的結果。本研究中，擴張處理是由非屋頂像元位置的八相鄰只要有一個屋頂像元則進行擴張；而侵蝕處理時則判斷屋頂像元八相鄰中至少有四個非屋頂像元才進行侵蝕。圖 5(a)顯示一個屋頂區域經過上述處理的結果，其中黑色表背景、白色表屋頂面區域。很明顯的，空像元和間隙均被填滿。之後因上述的結果很容易轉成二元影像，則輪廓線的萃取很容易的由此二元影像萃取得到。當然，萃取得到的輪廓線可由 Douglas-Peucker algorithm [Douglas and Peucker, 1973] 進行簡化。萃取得到的輪廓線僅僅是近似輪廓線，將提供給下一步驟進行精確的屋頂點萃取。圖 5(b)即為一屋頂區域經過輪廓線萃取的成果。



(a) 萃取的屋頂區域

(b) 萃取的輪廓線(白色)

圖 5 可能屋頂輪廓線偵測圖示說明

## 2.1.2 由正射影像中萃取建物輪廓線

若是由正射影像中直接萃取建物輪廓線流程圖如圖 6 所示，相關的工作亦是分成三部份。第一部分產生對應空載光達資料組的正射影像，第二部份偵測正射影像中可能涵蓋屋頂面的平面區域範圍，最後則是針對萃取出來的區域和其對應的空載光達資料進行可能涵蓋建物屋頂面區的近似輪廓萃取。所使用的方法與 2.1.1 節中直接利用空載光達資料萃取建物輪廓線的方法相雷同，茲說明如下。

### 2.1.2.1 製作正射影像

利用原始空載光達資料和其對應的已知方位的航空影像以及現有軟體 Lecia Photogrammetry Suite 製作地面適當解析力的正射影像。圖 7 所示即以地面解析力 0.5 公尺所製作對應圖 2(a)空載光達資料組的正射影像。



### 2.1.2.2 偵測影像中的平面區域

利用正射影像偵測影像中可能涵蓋屋頂面的平面區域範圍的方法跟 2.1.1.2 節中所使用的影像處理技巧相同，但這裡所運用的屋頂面在物空間的知識則跟高程無關，也就是 2.1.1.2 節中運用屋頂不是水平面就是斜平面的空間知識，而這裡則是利用屋頂面上的灰階應該均勻一致的基本假設。如此一來，每一屋頂位置上的影像求其灰階的二階導數應該為零。同樣地將其與圖 3(a)求二階導數的單窗進行摺積運算則可得到如圖 7(b)所示的二階導數影像。如圖 6 流程圖所示和 2.1.1.2 節的方法相同，在得到二階導數影像之後，立即運用影像處理技術中的影像分塊和合併技術獲取可能涵蓋建物屋頂面的平面區域，所不同的是這邊的平面因為只由灰階判斷，其對應到非屋頂面區域的機率比 2.1.1 節中所用的方法來的高。以下說明這裡所使用的萃取方法。

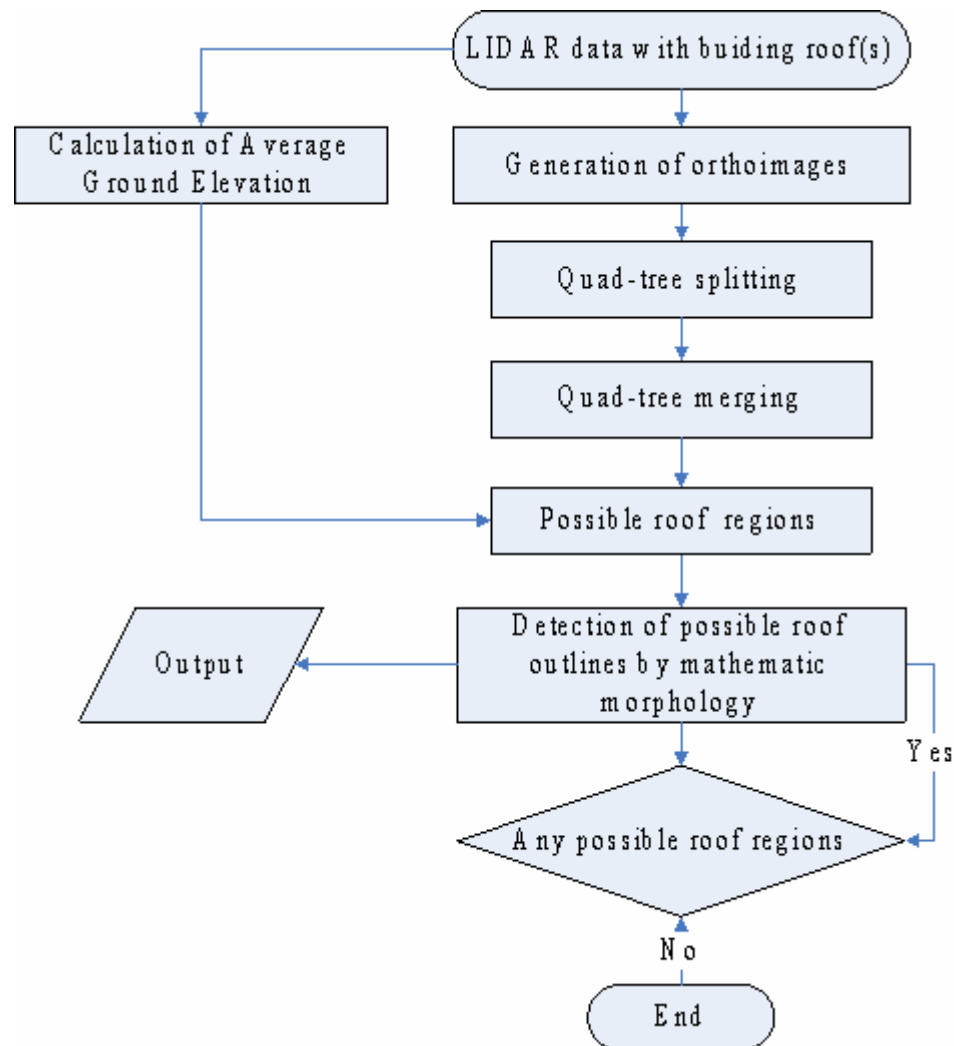
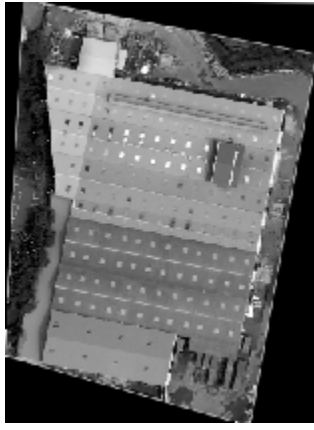


圖 6 由正射影像萃取可能涵蓋屋頂區輪廓線之流程圖



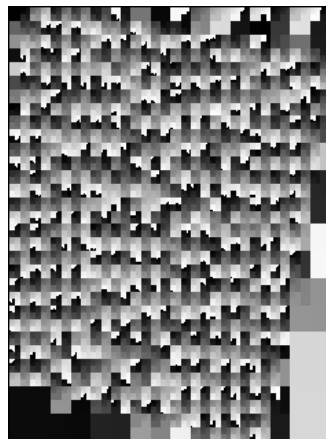
(a)正射影像(地面解析度 0.5 公尺) (b) 正射影像之二階導數影像

圖 7 A 資料組所對應之正射影像(a)和與二階導數單窗摺積運算結果(b)

首先，使用四分樹分塊(quad-tree splitting) 將二階導數影像分成 GRID 區塊，在這些區塊中其二階導數的標準偏差必須小於某一臨界值或該區塊中只剩一個像元。標準差的臨界值則是根二階導數標準偏差的倍數和誤差傳播原理計算得到。比如，對應圖 3(a)單窗中每一位置的灰階為  $G1 \sim G9$ ，則二階導數由方程式(3)計算得到。

$$ddG = G5 - 1/8(G1 + G2 + G3 + G4 + G6 + G7 + G8 + G9) \quad (3)$$

若點灰階的標準偏差是  $s_g$ ，則  $ddG$  的標準差為  $0.75 \cdot \sqrt{2} \cdot s_g$ ；若 GRID 區塊中有  $n$  個點則其二階導數的平均值的標準偏差依據誤差傳播則為  $0.75 \cdot \sqrt{2} \cdot s_g / \sqrt{n}$ 。則臨界值則取其 3.5 倍的  $0.75 \cdot \sqrt{2} \cdot s_g / \sqrt{n}$ 。圖 8(a) 為利用  $s_g = 0.05$  倍二階導數平均值的標準偏差進行四分樹分塊所得的 GRID 區塊。



(a) 萃取到的 GRID 區塊 (b) 萃取到的可能平面區域

圖 8 可能涵蓋建物屋頂區的平面區域偵測圖示

接著，四分樹合併(quad-tree merging)依據合併之後的平均二階導數值和某一臨界值用來判斷是否合併相鄰的 GRID 區塊。此臨界值為 3.5 乘上  $0.75 \cdot \sqrt{2} \cdot s_g$ 。合併過程中，選取 GRID 區塊中像元數最多的作為主區塊，一旦發現主區塊和相鄰區塊合併計算的平均二階導數值小於臨界值則將此相鄰區塊合併，依據已合併區塊再尋找其相鄰區塊，若有相鄰區塊則用相同方式進行合併判斷，同樣的程序一直進行到無相鄰區塊可以合併為止。然後再由未合併的區塊中，由最多像元數作為主區塊，上述程序再執行一次以取得可能涵蓋屋頂區域範圍，如此反覆直到無主區塊可進行合併為止，圖 8(b) 顯示合併之

後平面區域。

### 2.1.2.3 萃取可能涵蓋建物區的近似輪廓

這邊所使用的方法跟 2.1.1.3 節大部分相同，所不同的是再經過上一節萃取得到平面區域之後，將依據區域輪廓線所得到的光達點先計算其高程的平均值，然後跟所計算的平均地面高程(參考 2.1.1.1 節)相比較，若是區域平均高程大於 3 公尺則將此區域視為可能涵蓋建物區，再依據 2.1.1.3 中所述進行輪廓線萃取。圖 9(b)即為一屋頂區域經過輪廓線萃取的成果。



(a) 萃取的屋頂區域



(b) 萃取的輪廓線(白色)

圖 9 可能屋頂輪廓線偵測圖示說明

## 2.2 共屋頂面點萃取和資料蒐評理論

本節將說明如何由依據資料蒐評(data snooping)的最小二乘法原理進行共屋頂面點的萃取。第一小節描述如何由足夠的光達點進行共面點的萃取；然後第二和第三小節將更詳細描述資料蒐評法的原理和如何應用於共面點的萃取。

### 2.2.1 共面點萃取

首先假定欲萃取的點資料群中僅僅存在一個屋頂面，且此屋頂面在空間中不是水平面就是斜平面，則構成此空間平面的數學函數為

$$Z = aX + bY + c. \quad (4)$$

其中(X,Y,Z)為點坐標，a,b,c 為表示該平面的參數。

如此一來，區域範圍內屬於同一平面內的點資料都應該滿足方程式

$$Z_i = aX_i + bY_i + c \quad (5)$$

其中(X<sub>i</sub>, Y<sub>i</sub>, Z<sub>i</sub>)為點坐標。

但是點位量測難免有誤差，在本研究中假設誤差是僅出現在位置(X<sub>i</sub>, Y<sub>i</sub>)的高程值 Z<sub>i</sub> 上，因此觀測方程式寫成如下所示

$$Z_i + v_i = aX_i + bY_i + c \quad (6)$$

其中 v<sub>i</sub> 為高程改正數。

若有 n(>3)個觀測方程式，則可以用矩陣形式表示如下

$$L + V = AX \quad (7)$$

各矩陣之元素如下所示

$$L = \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ \vdots \\ Z_n \end{bmatrix} \quad V = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} X_1 & Y_1 & 1 \\ X_2 & Y_2 & 1 \\ \dots & \dots & \dots \\ X_n & Y_n & 1 \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}$$

其中 $\mathbf{L}$ 為觀測值所組成的向量、 $\mathbf{V}$ 為觀測值的改正數向量、 $\mathbf{A}$ 為係數矩陣、 $\mathbf{X}$ 則為待求參數之未知數向量。如果假設觀測值為不等權，且其觀測值的權矩陣 $\mathbf{P}$ 由下列矩陣形態表示。

$$\mathbf{P}_{\parallel} = \begin{bmatrix} P_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & P_2 & 0 & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & 0 & P_n \end{bmatrix}$$

如此一來，只要觀測量個數  $n$  大於 3，即可利用最小二乘原理解算平面參數，

$$\mathbf{X} = (\mathbf{A}^T \mathbf{P}_{\parallel} \mathbf{A})^{-1} (\mathbf{A}^T \mathbf{P}_{\parallel} \mathbf{L}) \quad (8)$$

而且後驗的權單位中誤差  $\hat{\sigma}_0$  等於  $\sqrt{\frac{\mathbf{V}^T \mathbf{P}_{\parallel} \mathbf{V}}{n-u}}$  可用來評估面擬合精度的好壞，其中

$u$  是未知數參數等於 3。

### 2.2.2 資料蒐評理論

資料蒐評是 Baarda [1967] 所提出的一個觀測量偵錯的方法。本研究中利用此理論排除非共面的屋頂點資料。詳細推導可見[Wolf and Ghilani, 1997]。依據(7)和(8)式，改正數向量

$$\mathbf{V} = \mathbf{A}\mathbf{X} - \mathbf{L} = (\mathbf{A}\mathbf{N}^{-1}\mathbf{A}^T\mathbf{P} - \mathbf{I})\mathbf{L} = (\mathbf{A}\mathbf{N}^{-1}\mathbf{A} - \mathbf{Q}_{\parallel})\mathbf{P}_{\parallel}\mathbf{L} \quad (9)$$

依據誤差傳播理論，由上式得改正數的協因數矩陣(權係數矩陣)

$$\mathbf{Q}_{vv} = \mathbf{Q}_{\parallel} - \mathbf{A}\mathbf{N}^{-1}\mathbf{A}^T \quad (10)$$

若以  $\hat{\mathbf{L}} = \mathbf{L} + \mathbf{V}$  表示觀測量的平差值，則  $\mathbf{Q}_{\hat{L}\hat{L}} = \mathbf{A}\mathbf{Q}_{xx}\mathbf{A}^T = \mathbf{A}\mathbf{N}^{-1}\mathbf{A}^T$  所以改正

數的協因數矩陣可以改寫為  $\mathbf{Q}_{vv} = \mathbf{Q}_{\parallel} - \mathbf{Q}_{\hat{L}\hat{L}}$ ，因此改正數向量  $\mathbf{V} = -(\mathbf{Q}_{vv}\mathbf{P}_{\parallel})\mathbf{L}$ ，

此式描述平差系統中，改正數由平差中觀測值向量  $\mathbf{L}$  和矩陣  $\mathbf{Q}_{vv}\mathbf{P}_{\parallel}$  所決定。而改正數與觀測值真誤差  $\varepsilon_L$  的關係可以用  $\mathbf{V} = -(\mathbf{Q}_{vv}\mathbf{P}_{\parallel})\varepsilon_L$  表示。由此式可知觀測量的改正數與觀測值真誤差之間的關係，詳細分析見[李德仁、袁修孝，2002]。其綜合分析得知：

- (1)任一改正數受到所有觀測值真誤差的影響；
- (2)某一觀測值真誤差對所有改正數均有影響；
- (3)單一觀測值真誤差反應到對應觀測量改正數之影響量由  $\mathbf{Q}_{vv}\mathbf{P}_{\parallel}$  矩陣中相對應的對角線元素值所決定，意即  $v_i = -(\mathbf{Q}_{vv}\mathbf{P}_{\parallel})_{ii} e_i$ 。

由上述可知，進行觀測量偵測時，單獨由平差後的改正數判斷是無法真正得到正確的結果，因此進行觀測量偵錯時必須先找到反應在觀測量的真誤差量，而此誤差量可由平差後的改正數和  $\mathbf{Q}_{vv}\mathbf{P}_{\parallel}$  矩陣中相對應的對角線元素值計算而得。

$Q_{vv}P_{ll}$  矩陣中第  $i$  個對角線元素稱為觀測量  $l_i$  的多餘觀測分量  $r_i$ ，且平差的多餘觀測量  $r$  等於  $Q_{vv}P_{ll}$  所有相對應的對角線元素值的和，意即  $Q_{vv}P_{ll}$  矩陣的跡。所以

$$r_i = (Q_{vv}P_{ll})_{ii} \quad \text{且} \quad r = \sum_{i=1}^n r_i = \text{tr}(Q_{vv}P_{ll})$$

且  $v_i = -r_i e_i$ ，由此可以看出觀測真誤差反應在改正數的百分比。

而改正數中誤差  $s_{v_i}^2 = (Q_{vv})_{ii} s_0^2 = (Q_{vv}P_{ll}Q_{ll})_{ii} s_0^2 = [Q_{vv}P_{ll}(Q_{ll}s_0^2)]_{ii}$ ，對於觀測量不相關的情形下，此時  $Q_{vv}$  和  $P_{ll}$  均為對角線元素，可得

$$s_{v_i}^2 = (Q_{vv}P_{ll})_{ii} (Q_{ll})_{ii} s_0^2 = (Q_{vv}P_{ll})_{ii} s_{l_i}^2 \quad \text{或是} \quad s_{v_i} = \sqrt{r_i} s_{l_i}。$$

假設觀測量最多只存在一個粗差，若已知觀測量的單位權變方  $s_0^2$  和權矩陣為對角矩陣，則可計算出標準化殘差

$$w_i = \frac{v_i}{s_{v_i}} = \frac{v_i}{\sqrt{r_i} s_{l_i}} = \frac{v_i}{s_0 \sqrt{q_{v_{ii}}}}$$

式中  $q_{v_{ii}}$  為  $Q_{vv}$  矩陣的第  $i$  個對角線元素。

若觀測量  $l_i$  不存在粗差， $w_i$  服從標準化常態分布：

$$w_i | H_0 \sim N(0, 1)$$

則可通過標準化殘差的統計檢定來判斷觀測量是否存在粗差。也就是選定一信心水平  $\alpha_0$  (通常為 0.1%)，由常態分布表得到檢定的臨界值  $K_\alpha$ 。若  $w_i \leq K_\alpha$  則觀測值不含粗差；若  $w_i > K_\alpha$  則觀測值可能含有粗差。這就是 Baarda 所提出的資料蒐評法。

假定單位權變方未知時，則檢定量  $t_i$  如下式所列，且為符合  $t$  分布的檢定量

$$t_i = \frac{|v_i|}{s_t \sqrt{q_{v_{ii}}}} \sim t_{n-u-1}$$

$$\text{式中，} \quad s_t^2 = \frac{1}{n-u-1} \left( V^T P V - \frac{p_i v_i^2}{r_i} \right)$$

同樣地選定一信心水平  $\alpha_0$ ，由  $t$  分布表得到檢定的臨界值  $t_\alpha$ 。若  $t_i \leq t_\alpha$  則觀測值不含粗差；若  $t_i > t_\alpha$  則觀測值可能含有粗差。

本研究中假定  $s_0$  未知，因此利用  $t_i$  檢定量進行  $t$  測試分離非共面的屋頂點。

### 2.2.3 萃取完整共屋頂面光達點之策略

前兩小節已經描述依據資料蒐評法分離非共面屋頂光達點和萃取共面屋頂點的理論，本小節將進一步描述如何萃取完整的共面屋頂光達點。更完整的自動萃取共面屋頂光達點的演算法將在下節中更詳細說明。

由於進行一維資料蒐評進行方式，可分為三種探測方法，即(i)向後選擇法、(ii)向前選擇法、(iii)組合向前一向後選擇法[李德仁、袁修孝，2002]。

#### (i)向後選擇法

由全部觀測值(n)參加平差出發，去掉標準化殘差最大的觀測值，再由 n-1 個觀測值參加平差，反覆上面的步驟，逐次的剔除粗差，直到最大標準化殘差可接受為止。此方法缺點在於，由於粗差對每個觀測直接有影響，尤其是存在多個粗差值時，第一步資料蒐評標準化殘差最大的觀測值很可能不包含粗差，如果將它剔除，會造成錯誤結果。

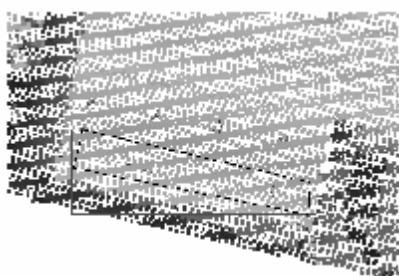
#### (ii)向前選擇法

從最小可能的粗差資料組開始平差，根據平差結果來計算那些被懷疑而未參加平差的觀測值改正數，從標準化殘差最小的觀測值開始逐次對它們進行資料蒐評，從而判斷是否真有粗差存在。該方法困難在於基本無粗差資料組的選擇，而且誤差的分布受此組資料影響甚大。

#### (iii)組合向前一向後選擇法

在第一階段中先用資料蒐評向後選擇，找出那些懷疑有粗差的觀測值，然後在向前選擇過程中，決定那些被懷疑含粗差的觀測值是否真的含有粗差或仍為正常觀測值。

因此兩種方法是可以用來獲取更完整的共屋頂面光達點。第一種方式是將所有共面和非共面的屋頂光達點含括在一資料組中，然後運用資料蒐評法將非共面屋頂點一一去除，這種方式的困難點在於如何保證資料組中只有一個屋頂面，若是有多個屋頂面存在，就幾乎不可能利用資料蒐評法萃取個別的屋頂面。反之，如果一屋頂面上的一部份的共屋頂面光達點若能事先取得，則將很容易運用資料蒐評法萃取屋頂面完整的光達點。也就是在合併個別點到部份共面屋頂光達點資料組形成完整共面屋頂點的過程中，資料蒐評法可以對於光達點一一進行  $t$  測試，將非共面點去除。本研究中，將此策略稱為前向選擇策略。以下完整描述整個構思。



(c) 萃取到的 SEED 區域  
(不同灰階表不同平面區域)

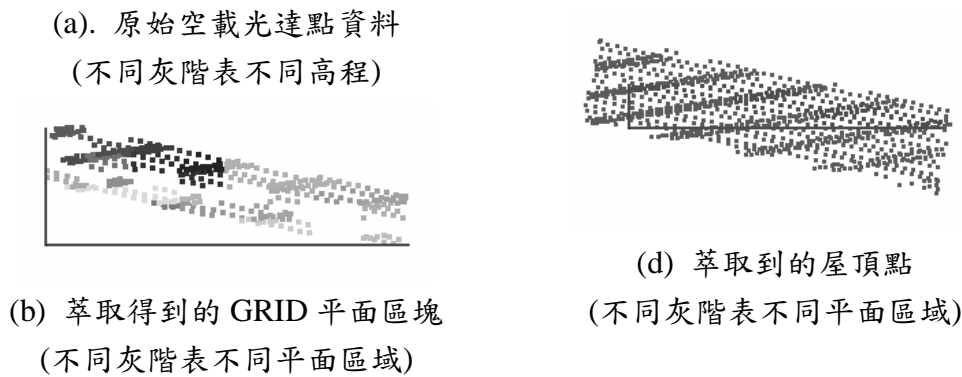


圖 10 前向選擇資料蒐評法之圖示說明

如前所述，利用前向選擇策略合併鄰近共屋頂面光達點時，須先萃取屋頂面上部份的共面光達點，這項工作由四分樹分割合併演算法所完成(c.f. [Wang and Tseng, 2004])。其基本原理類似 2.1.1.2 節中偵測可能涵蓋建物屋頂區域的原理。首先，依據最小二乘法原理的四分樹分塊合併所得之輪廓線內(如圖 10(a)黑線所示)的空載光達資料分塊處理成 GRID 平面區塊，在此區塊中所有光達點的擬合中誤差不小於某一臨界值(0.12m)就是點數小於某臨界值(如 6 點)。圖 10(b) 顯示萃取得到的 GRID 平面區塊。接著，依據高程約制和相鄰關係將鄰近的 GRID 平面區塊合併成 SEED 平面區域，此即四分樹合併。合併 GRID 平面區塊過程中，同樣由具有最多光達點的 GRID 平面區塊視為主區塊，對應主區塊的中心高程可以由主區塊的擬合平面參數計算出，而相鄰區塊的中心高程可以由擬合平面參數計算出，若兩中心高程差小於主區塊一倍的擬合中誤差，則相鄰區塊合併至主區塊，然後再尋找合併後區塊的相鄰區塊進行同樣高程約制判斷，進行合併處理，相同的程序和判斷一直進行到無區塊可以合併為止形成 SEED 區域。然後再由未處理的區塊中找尋點數最多的 GRID 平面區塊，再度進行合併處理直到無主區塊可進行合併為止。圖 10(c) 圖示說明合併相關的 GRID 區塊之後所得的 SEED 區域。

SEED 區域獲取之後，隨即利用前向選擇的資料蒐評法進行合併 SEED 區域鄰近光達點。若合併的點位於其餘 SEED 區域中，這些點將從這些 SEED 區域中移除，而且這些點也將不再用於其餘屋頂點之萃取。相鄰點是由距離和包含高度和法向量的幾何約制條件所決定。距離約制中要求相鄰點至少和 SEED 區域中的兩點需小於兩倍的平均點距離，而高程約制則要求相鄰點和其依據 SEED 區域中擬合參數所計算的高程差需在 3 倍空載光達測量點可達到的高程精度。此外，從此點和最鄰近 SEED 區域中兩點所計算的法向量需相似於 SEED 區域的法向量，也就是兩法向量差須在某臨界值內，如 15 度。一旦相鄰點符合上述條件則利用運用資料蒐評法排除非共面屋頂點並將共面點合併成新 SEED 區域中。每當一群相鄰點合併進新資料組，則依據相同的約制條件判斷新資料組的相鄰點群，然後再利用前向選擇資料蒐評法判斷是否合併相鄰點，直到無相鄰點可合併為止。

上述三小節已經描述合併相鄰共面屋頂點的相關理論和策略，下節中提出本研究的完整演算法。

### 2.3 屋頂點的自動萃取

前兩節已經說明如何萃取屋頂區的輪廓線和如何萃取輪廓線內的共面屋頂點，本節詳細說明將前兩節所描述的方法結合起來發展如何從空載光達點中完整自動萃取共

面屋頂點的演算法。如圖 11 流程圖所示，涵蓋建物屋頂區域近似範圍的輪廓線先粗略地利用影像處理的技術從可能涵蓋屋頂面的距離影像或是正射影像中偵測得到，此範圍內可能有多個建物屋頂面存在。因近似的輪廓線是由影像處理所獲取，有可能許多小輪廓線會存在大輪廓線中，若是如此這些小輪廓線將先被去除。之後，逐一對每一輪廓線取其包含此輪廓線的左上右下矩形範圍。因輪廓線並不精確，需要將其範圍再往外擴張 3 公尺，使其儘可能將此區域內所有屋頂面上的光達點包括進來進行前向選擇的資料蒐評法。依據 2.2.1 節，每一輪廓線所取出的光達點若將其視為等權則其平面擬合的  $s_0$  可用來判斷可能存在屋頂面個數的。若  $s_0$  大於某一值(如 0.12m)，則該資料組可能存在多個屋頂面,；反之只有一個屋頂面存在。若多個屋頂面存在，則運用如圖 10 所示的四分樹分塊合併法尋找 SEED 區域進行前向選擇資料蒐評合併相鄰點的工作。圖 12(c) 的 SEED 區域即是由圖 12(a) 中白色輪廓線所取出的原始空載光達點資料。圖 12(b) 顯示四分樹分塊過程中所萃取的 GRID 平面區塊。若多個屋頂面存在輪廓線中，具最多點 SEED 區域依據前向選擇的資料蒐評法用來合併相鄰點。如前所示，相連關係是由距離和幾何約制判斷之。只要有新的一群相鄰點加入，將會依據新合併的資料組依據相同條件判斷新的一群相鄰點，則再度使用前向選擇的資料蒐評法用來合併相鄰點。相同程序一值進行到無光達點可合併為止。萃取出完一屋頂面上的光達點之後，再依據 SEED 區域中的光達點數選取下一個進行合併相鄰點的 SEED 區域。相同的程序一值進行到無 SEED 區域可用來合併相鄰的光達點為止。圖 12(d) 顯示依據上述演算法由資料組 A 中所萃取的屋頂面。

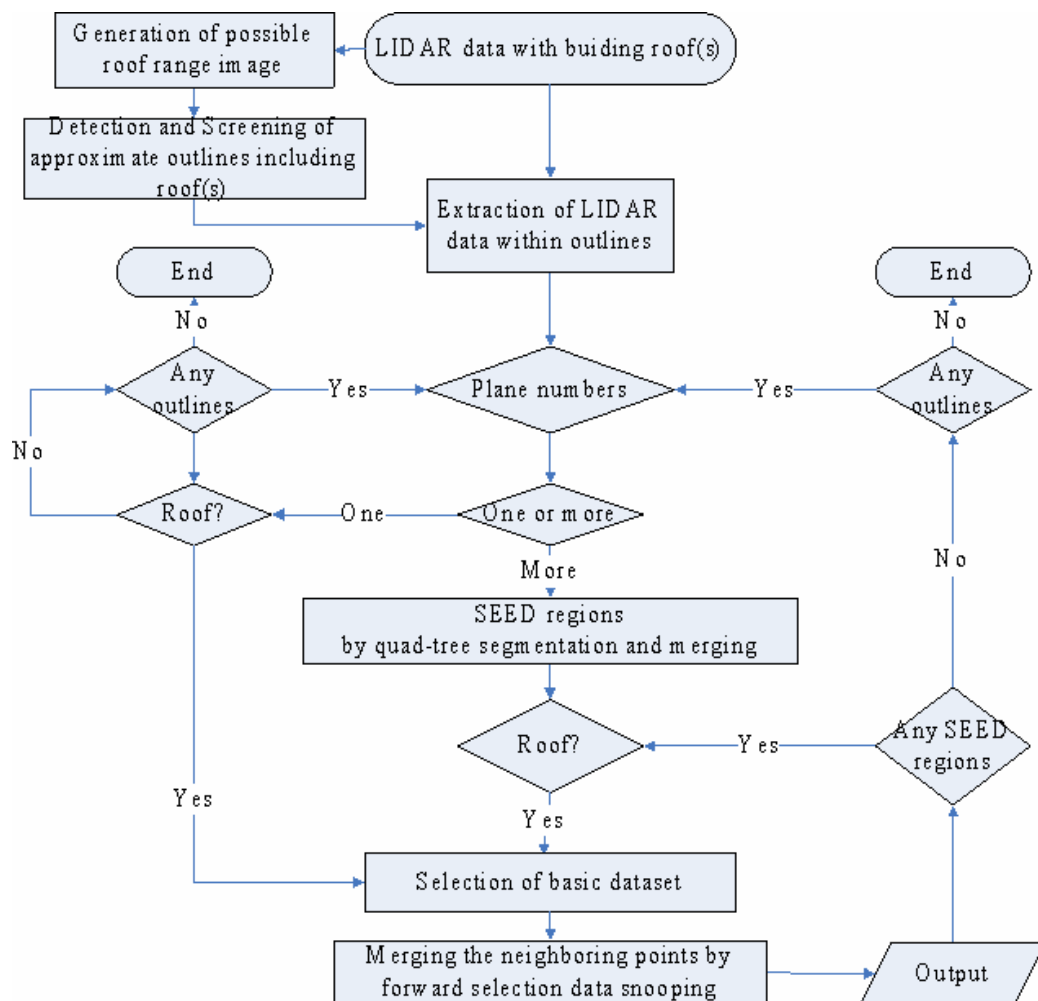


圖 11 自動萃取共屋頂面上光達點之流程圖



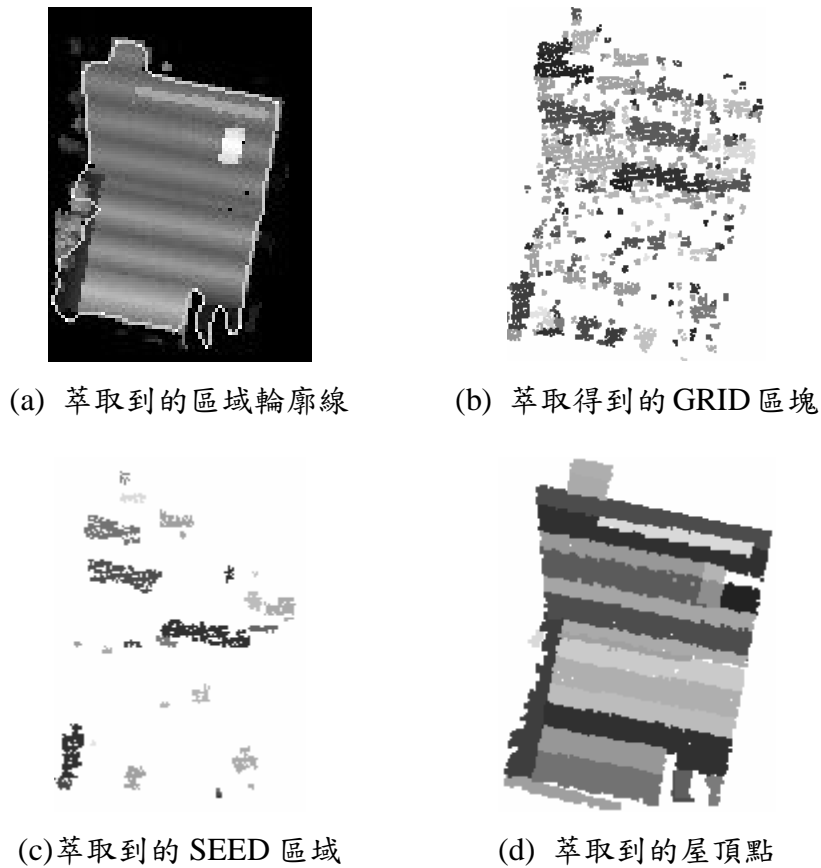


圖 12.自動萃取共面屋頂點的圖示流程圖

### 3 結果與討論

為了測試所設計演算法的功效，並瞭解影響演算法的因素，選用行政院內政部”辦理 LiDAR 測區之高精度及高解析度數值地形測繪、資料庫建置與應用推廣工作案”中所提供於 2004 年掃描的的空載光達資料，測試資料範圍在新竹地區工研院內，使用的光達掃描儀器為 Leica ALS50、掃描時飛機與地面平均高程(Above Ground Level)約 1450 公尺、視角 42 度、掃描點密度約 1.2 點/平方公尺。從中選取三組測試資料。第一組資料 A 主要是由相鄰的山形屋頂所組成。其餘兩組資料 B 和 C 既有相鄰的山形屋頂亦有平頂屋，而且上面還有些附屬屋頂結構物。圖 13 所示即為此三組測試組資料。

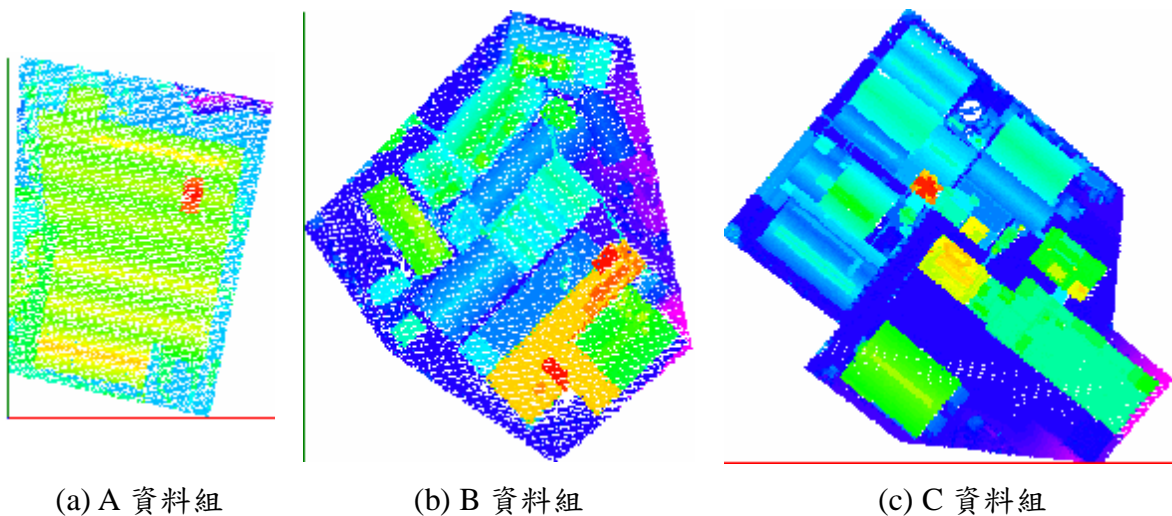


圖 13 測試資料組

3.1 以光達資料萃取涵蓋建物區近似輪廓線範圍的屋頂點萃取成果

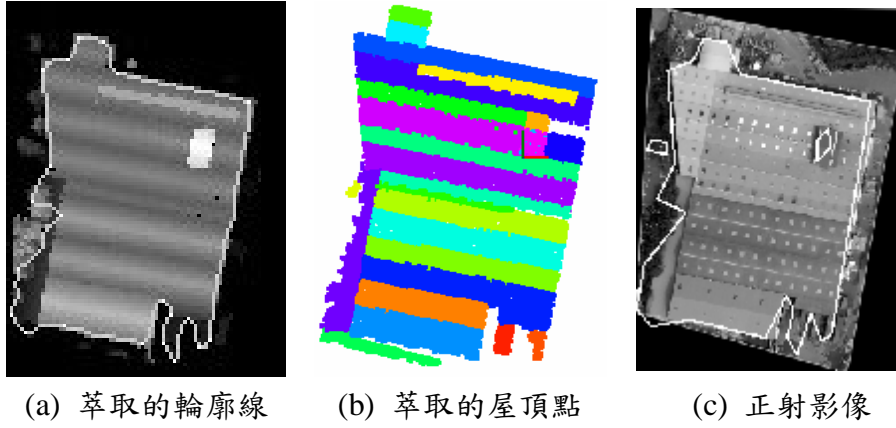
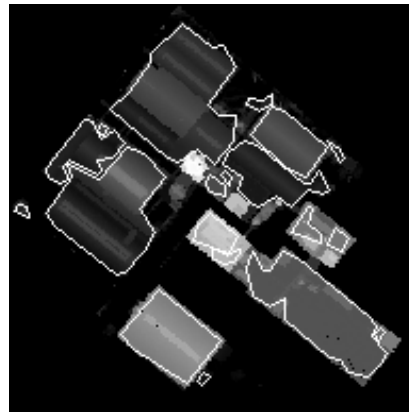


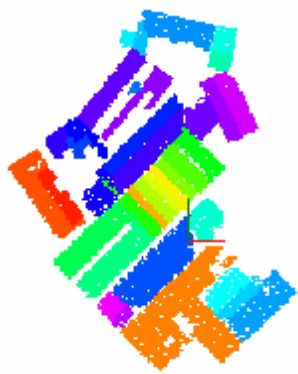
圖 14 A 資料組萃取成果



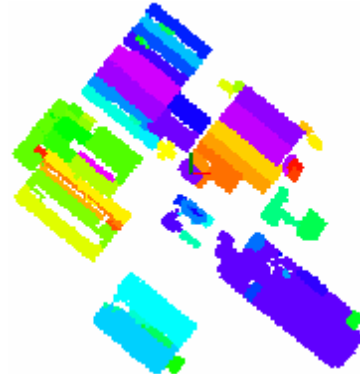
(a) 萃取的輪廓線



(a) 萃取的輪廓線



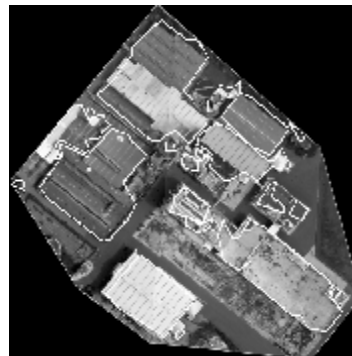
(b) 萃取的屋頂點



(b) 萃取的屋頂點



(c) 正射影像



(c) 正射影像

圖 15 B 資料組萃取成果

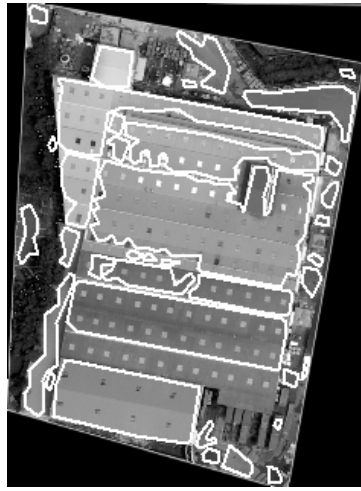
圖 16 C 資料組萃取成果

圖 14(a)到 16(a)圖示說明原始空載光達資料所產生的距離影像和取出的輪廓線，其中不一樣的灰階表不同的高程，輪廓線則以白色表示。圖 14(c)到 16(c)則說明由利用原始光達資料和其對應的航空影像和現有軟體 Licia Photogrammetry Suite 所製作地面解析力 0.5m 的正射影像。圖 14(a)到 16(a)中白色了輪廓線是利用 2.1.1 節的方法概略獲取，圖 14(c)到 16(c)中輪廓線對應的正射影像正說明不只屋頂面而且還有其他地物含括在這些萃取到的輪廓線中。圖 14(b) 到 16(b)則顯示本研究提演算法最後萃取得到的屋頂面。為了視覺化顯示，不一樣的共面屋頂點用不一樣的顏色表示且點的大小均適當放大。三組資料中分別萃取出 26、37 和 74 個屋頂面。從對應的正射影像中可看出在資料組 B 和 C 中有很多小的附屬結構物在屋頂上，因此下列討論將集中在每一資料組的主屋頂結構。三組資料中的主屋頂結構大部份均被正確萃取出來。同時發現若是 SEED 區域正好橫越屋脊或靠近屋脊，則相鄰點合併進來很容易產生錯誤的結果，通常這樣最後擬合中誤差都會比較大。而大部分不完整的萃取都是因為屋頂上具有複雜的附屬結構在屋頂上。此外，由於用物空間的屋頂知識，意即屋頂面高程需高於地面，這樣的物空間約制也的確除去非屋頂面的光達點。而關於萃取過程中各因素的影響和詳細探討可參考[邱式鴻，2006]。

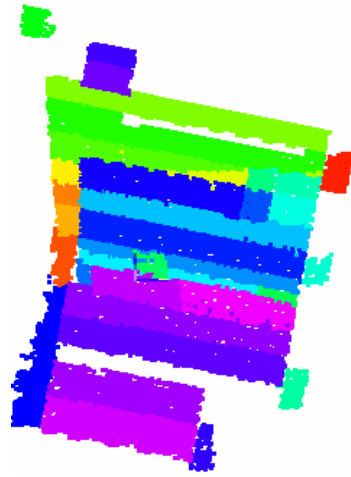
總之，由三組資料組的萃取果觀察，主屋頂結構的萃取率可達 80% 以上。而絕大部份無法萃取的主屋頂結構源自於其上有複雜的附屬屋頂結構物。而其他少部份則是因為一開始這些建物屋頂區域由於較小以至於進行輪廓線偵測時，無法找到涵蓋這些屋頂點的輪廓線。也就是用來產生可能屋頂建物屋頂的距離影像的 GSD 分別是 1.5、1.7 和 1.8 m，此導致許多小屋頂區域的輪廓線無法被偵測出來。因此，如何產生高地面解析力的可能屋頂建物屋頂的距離影像來偵測輪廓線將是未來的一個改進方向。但是從試驗中，大部分的屋頂上的光達點均已被所提自動演算法萃取出來，雖然演算法還有些改進的空間，不過基本已經證實本法的可行性。

### 3.2 以正射影像萃取涵蓋建物區近似輪廓線範圍的屋頂點萃取成果

圖 17(a)到 19(a)為利用現有軟體 Licia Photogrammetry Suite 將各原始空載光達資料組和其對應的航空影像製作產生地面解析度約 0.5m 的正射影像(以灰階表示)，而覆蓋於正射影像上的白色輪廓線就是用 2.1.2 節所描述之方法萃取得到的屋頂區域近似輪廓線，此時使用四分樹分塊的  $s_g = 0.05$  倍的二階導數標準偏差。圖 17(a)到 19(a)中輪廓線涵蓋的正射影像正說明不只屋頂面而且還有其他地物在這些萃取到的輪廓線中。圖 17(b) 到 19(b)則顯示利用 2.3 節中本研究所提的演算法自動萃取得到的屋頂面上的點。為了視覺化顯示，不一樣的共面屋頂點用不一樣的顏色表示，且點的大小均適當放大。三個資料組中分別萃取出 39、69 和 193 個屋頂面。從結果中可看出在資料組 B 和 C 中在此法中無法萃取出較完整的主屋頂面上的點，甚至是 A 資料組中也有些屋頂面上點的萃取並不是非常完整，主因是以正射影像平面灰階若相同時其二階導數應為零的概念進行可能屋頂面區域萃取時，即有可能在同一屋頂面上並不會只有單一區的灰階均調區，亦即同一屋頂面上會有好幾區的灰階均調區，因此導致建物屋頂區域近似輪廓線的萃取不是很完整，以至於後續的自動萃取演算法只能萃取出局部的屋頂面上的點，若要得到更完整的屋頂面上的點則必須再進一步進行合併處理。

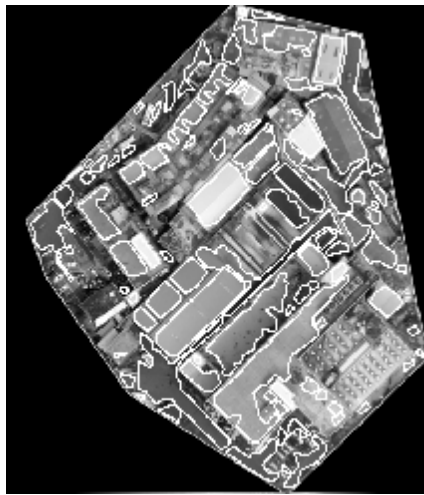


(a) 萃取的輪廓線



(b) 萃取的屋頂點

圖 17 A 資料組萃取成果( $s_g=0.05$  倍的二階導數標準偏差)

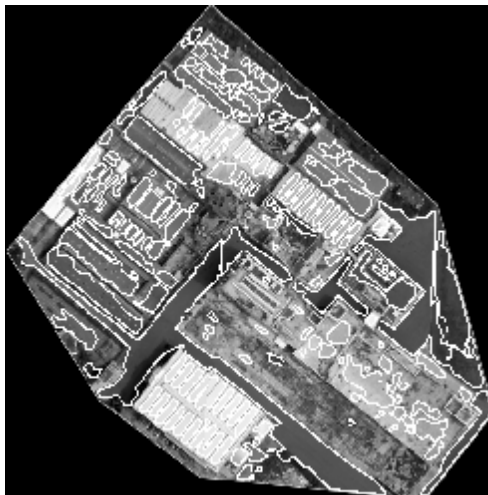


(a) 萃取的輪廓線

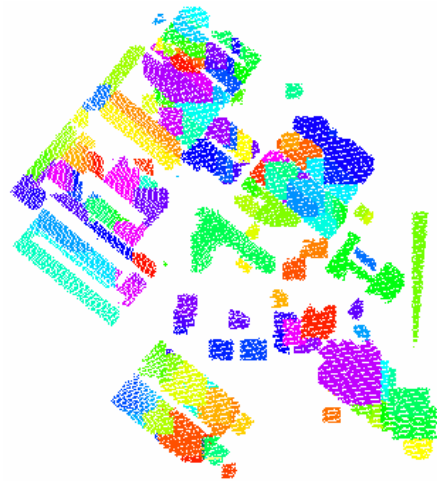


(b) 萃取的屋頂點

圖 18 B 資料組萃取成果( $s_g=0.05$  倍的二階導數標準偏差)



(a) 萃取的輪廓線



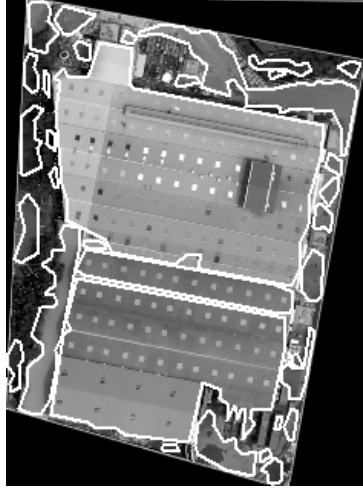
(b) 萃取的屋頂點

圖 19 C 資料組萃取成果( $s_g=0.05$  倍的二階導數標準偏差)

此外利用正射影像進行四分樹分塊的臨界值 $s_g$ 設定也會影響到萃取得到的建物屋頂區域近似輪廓線，臨界值設定太小將使得萃取得到的輪廓線更小更凌亂；雖然臨界值設定大會使得萃取得到輪廓線更大，但也將則失去此臨界值設定的意義，因為此臨

界值的設定是希望利用區域分割的概念逐步處理可能和蓋屋頂區域的空載光達資料組，若臨界值設定太大會使得可能取到的輪廓線與資料組的範圍相差無幾而導致失去此臨界值設定的意義。在本研究中利用試誤法決定出圖 17~19 的萃取成果，接下來圖 20 到 22 中則是使用四分樹分塊的  $s_g=0.10$  倍的二階導數標準偏差，三個資料組中分別萃取到 36、72 和 163 個屋頂面。

可以發現臨界值愈大萃取到的屋頂面數目有減少的趨勢，這是必然的。但還是存在多個單一屋頂面均被獨立成好幾個區塊萃取出來。雖然尋找較佳的  $s_g$  臨界值可能會減少需要合併的數目，但只要同一屋頂面上具有多個灰階均調區，此問題還是仍會存在。

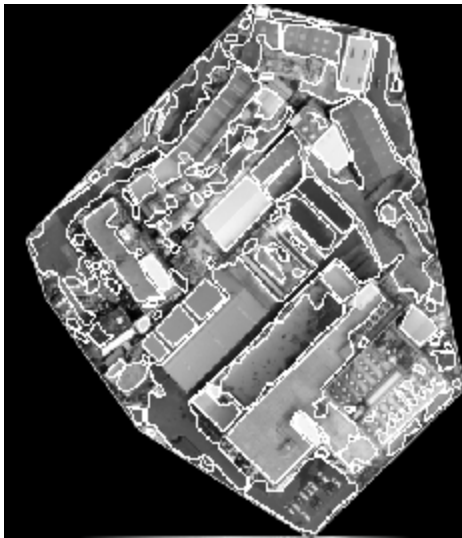


(a) 萃取的輪廓線

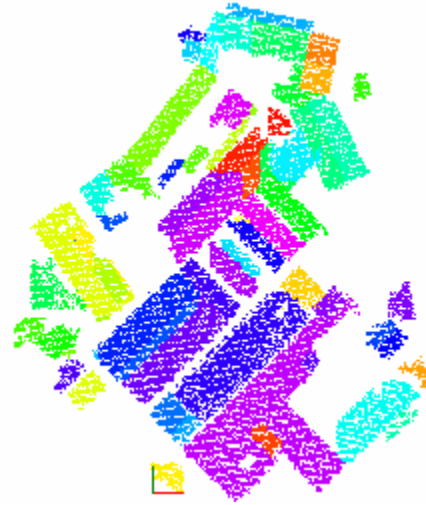


(b) 萃取的屋頂點

圖 20 A 資料組萃取成果( $s_g=0.10$  倍的二階導數標準偏差)

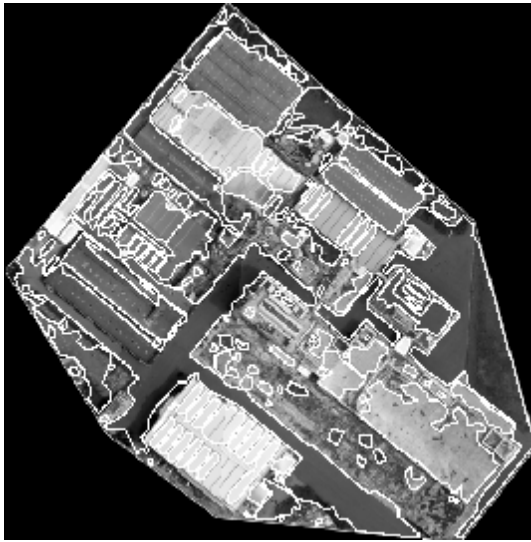


(a) 萃取的輪廓線

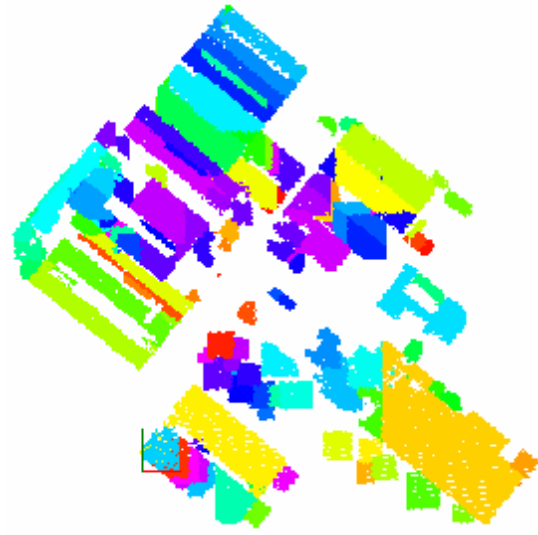


(b) 萃取的屋頂點

圖 21 B 資料組萃取成果( $s_g=0.10$  倍的二階導數標準偏差)



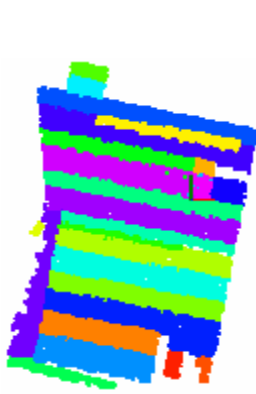
(a) 萃取的輪廓線



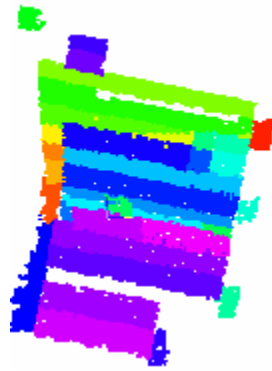
(b) 萃取的屋頂點

圖 22 C 資料組萃取成果( $s_g=0.10$  倍的二階導數標準偏差)

### 3.3 以光達資料和以正射影像萃取輪廓線進而萃取屋頂點之成果討論



(a)以光達資料萃取輪廓線

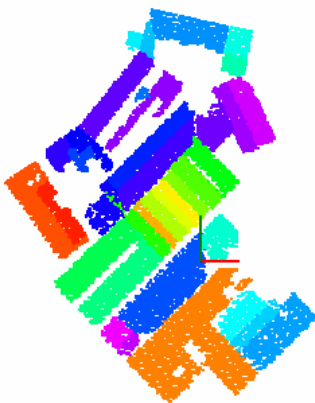


(b) 以正射影像萃取輪廓線  
 $s_g=0.05$  倍的二階導數標準偏差

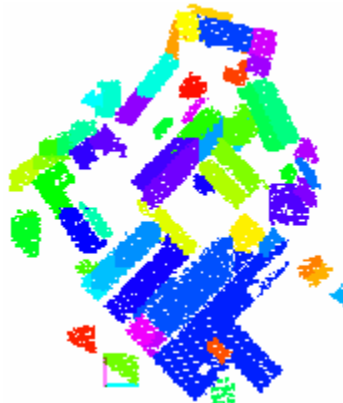


(c) 以正射影像萃取輪廓線  
 $s_g=0.1$  倍的二階導數標準偏差

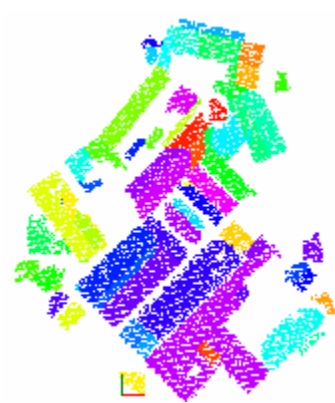
圖 16 A 資料組萃取成果



(a)以光達資料萃取輪廓線

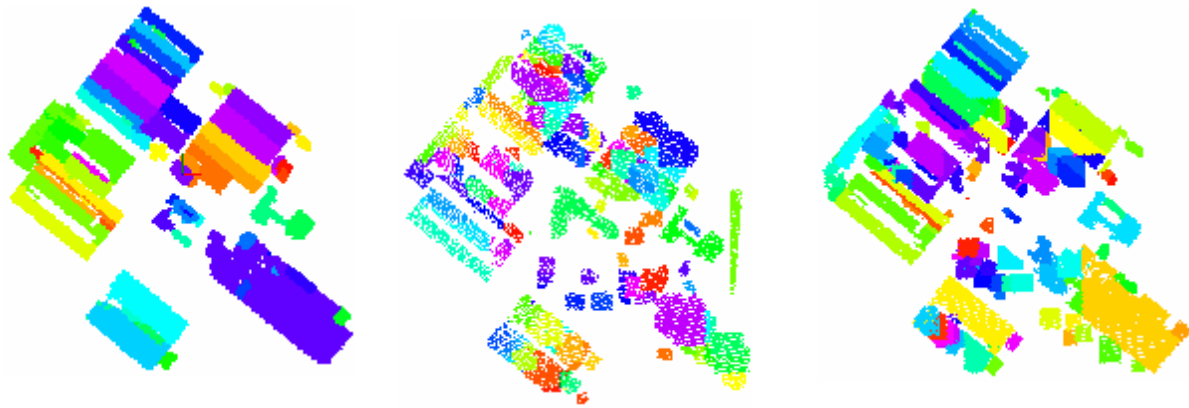


(b) 以正射影像萃取輪廓線  
 $s_g=0.05$  倍的二階導數標準偏差



(c) 以正射影像萃取輪廓線  
 $s_g=0.1$  倍的二階導數標準偏差

圖 17 B 資料組萃取成果



(a)以光達資料萃取輪廓線 (b) 以正射影像萃取輪廓線 (c) 以正射影像萃取輪廓線  
 $s_g=0.05$  倍的二階導數標準偏差  $s_g=0.1$  倍的二階導數標準偏差

圖 18 C 資料組萃取成果

1. 本試驗中，以正射影像萃取平面區塊所需之四分樹分塊合併臨界值是經試誤法決定，不像以光達資料萃取時其臨界值可以透過光達可達到的高程精度和誤差傳播推導得到。因此若要用正射影像萃取平面區塊時應當發展更自動化的方式來決定其臨界值。反之，目前試驗結果說明本研究所提的自動萃取建物屋頂點演算法中第一階段萃取涵蓋建物屋頂區進似範圍輪廓線直接由空載光達資料中進行萃取會更合適。
2. 以正射影像萃取屋頂區域輪廓線會比以光達資料萃取屋頂區域輪廓線進行後續自動萃取建物屋頂點所得屋頂面較不完全，需再多一步驟的合併處理才能得到較完整的屋頂面資訊，因此後續發展將直接以空載光達資料進行屋頂區域輪廓線萃取，最後再用自動萃取建物屋頂點演算法進行萃取建物屋頂面之工作。
3. 前一項中雖建議直接以空載光達資料進行屋頂區域輪廓線萃取，最後再用自動萃取建物屋頂點演算法進行萃取建物屋頂面之工作。但是空載光達資料是點群資料，較不易精確決定面的邊界，因此未來將結合兩種資料進行融合以萃取共完整的屋頂面資訊進而建置完整的建物模型。
4. 由於資料蒐評法是對於觀測量進行統計測試，因此不管是利用正射影像或者以光達資料萃取涵蓋屋頂區域近似輪廓線再進行後續自動萃取建物屋頂點，自動萃取演算法所花費的時間在某些建物屋頂面上點數較多時都會花費很多的計算時間，因此如何提升其計算速度或克服此問題是未來演算法能否實用化的重要因素之一。

#### 4 結論與建議

萃取屋頂面上空載光達點的困難在於如何去除跟欲萃取面上不相關的點進而可靠地萃取出真正屬於屋頂面上的點群。本研究利用 Baarda 教授於 1967 年所提出的資料蒐評法(Data Snooping)，發展出自動萃取空載光達資料中屋頂面的演算法，作為後續重建建物三維模型的基礎。本研究的兩個基本概念是先萃取涵蓋建物區屋頂面的可能範圍的輪廓線；然後再精確萃取輪廓線中的各屋頂面上的光達點。在假設地表建物屋頂面是由三維平面所建構而成的前提之下，由包含建物資訊區域範圍內的光達資料中，首先利用影像分塊的處理技術由光達資料本身或是由正射影像中先行萃取可能涵蓋建物區的區域資訊，接著將平面資訊與光達資料進行資料融合之後，利用最小二乘平面擬合的資料蒐評法，進行自動萃取空載光達資料中屬於建物屋頂面的資訊供後續處理應用建立建物模型之用。試驗中證實本文所提的演算法能可靠地萃取出屋頂面資訊，但仍有些問題須需進一步深入探討，後續對所發現的問題再予以改進應該可以更凸顯本法的效能跟實用性，達到可靠地萃取空載光達點資料中屋頂面資訊的目標。

## 5 參考文獻

- 王定平、王成機、陳思仁，2003，『發展國家基本測量』，第6屆衛星定位測量研討會論文集。
- 史天元、彭淼祥，2003，『空載雷射掃描數據精度評估程序之研究』，第二十一屆測量學術及應用研討會論文集，第247-256頁。
- 史天元、曾義星、劉榮寬，2003，『空載雷射掃描與航空測量數據高程精度比較之研究』，第二十一屆測量學術及應用研討會論文集，第195-204頁。
- 李德仁、袁修孝，2002，『誤差處理與可靠性理論』，武漢大學出版社，第237-240頁。
- 邱式鴻，2006，”資料蒐評法應用於空載光達資料中屋頂面資訊萃取之研究”，第二十五屆測量學術及應用研討會論文集，清雲科技大學，第1107-1114頁，中華民國九十五年九月。
- 湯凱佩、曾義星，2004，”以八分樹三維網格結構組織光達點雲資料並進行平面特徵萃取”，第二十三屆測量學術及應用研討會論文集，pp. 143-150.
- 賴志恆，2003，『雷射點雲資料八分樹結構之研究』，國立成功大學測量工程學系碩士論文。
- 邵怡誠、陳良健，2003，『利用光達資料於DTM生產及房屋偵測』，第二十二屆測量學術及應用研討會論文集，pp. 87-94。
- 陳良健、賴彥中、饒見有，2003，『結合光達資料與數位空照影像建立三維建物區塊』，第二十二屆測量學術及應用研討會論文集，pp. 273-280。
- 饒見有、陳良健，2002，『利用都市區大比例尺數值航測地形圖重建三維房屋模型』，第二十一屆測量學術及應用研討會論文集。
- 陳聖銘、陳泰弘，2002『『網際網路智慧型大樓災害管理空間資訊系統』，國土資訊系統通訊第四十三期。
- Ackermann, F., 1999. Airborne Laser Scanning - Present Status and Future Expectations, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, vol. 54, pp. 64-67.
- Alharthy, A. and J. Bethel, 2002, "Heuristic filtering and 3D feature extraction from LIDAR data". IAPRS, vol. XXXIII, pp. 29-35, Graz, Austria.
- Axelsson, P., 1999, "Processing of laser scanner data—algorithms and applications", ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, vol.54, pp.138-147, 1999.
- Axelsson, P., 2000. DEM Generation from Laser Scanner Data Using Adaptive Models, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Amsterdam, pp.110-117.
- Baarda, W., 1968. A Testing Procedure for Use in Geodetic Networks, Netherlands Geodetic Commission, Vol.2, No.5, Delft, the Netherlands.
- Cobby, D.M., Mason, D.C. and Davenport, I.J., 2001, "Image Processing of Airborne Scanning Laser Altimetry Data for Improved River Flood Modeling," ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, vol. 56, pp. 121-138.
- Douglous, D. H. and T. K. Peucker, "Algorithms for reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature", Canadian Cartographer vol.10: pp.110-122. 1973.



- Elberink, S. O. and H. Mass, 2000. The Use of Anisotropic Height Texture Measure for The Segmentation of Airborne Laser Scanner Data, ISPRS, Vol. 33.
- Geibel, R. and U. Stilla, 2000. Segmentation of Laser Altimeter Data for Building Reconstruction: Different Procedures and Comparison, Proc. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Amsterdam.
- Gruen, A., E. P. Baltsavias and O. Henricsson, 1997, Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images (II). Birkhaeuser Verlag, Basel, 1997.
- Gruen, A. and R. Nevatia, 1998, Special Issue on Automatic Building Extraction from Aerial Images: Computer Vision and Image Understanding., vol.72(2), 1998.
- Haala, N., Brenner, C., 1997a“Interpretation of Urban Surface Models using 2D Building Information”, Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images(II), Birkhauser Verlag, Berlin, pp.213-222,1997.
- Haala, N., Brenner, C., 1997b, “Generation of 3D City Models from Airborne Laser Scanning Data”, Proc. 3<sup>rd</sup> EARSEL Workshop on LIDAR Remote Sensing on Land and Sea. Tallinn, Estonia, 17-19 July, pp.105-112.
- Haala, N., Brenner, C., Anders, K.-H., 1998, “3D Urban GIS from Laser Altimeter and 2D Map Data”, 3D Reconstruction and Model of Objects, Stuttgart, IAPRS, Vol.32, Part3/1, September 17-19, pp. 339-346.
- Haala, N. and C. Brenner, 1999. Extraction of Building and Trees in Urban Environments, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, Vol. 54, pp. 130-137.
- Hug, Ch., Wehr, A., 1997, “Detecting and identifying Topographic Objects in imaging Laser Alimetry Data”, 3D Reconstruction and Model of Objects, Stuttgart, IAPRS, Vol.32, Part3-4W2, September 17-19, pp. 19-26.
- Helsinki                      Arena                      2000                      website                      :
- [http://www.helsinkiarena2000.fi/3dhelsinki/helsinki/index\\_vrml.html](http://www.helsinkiarena2000.fi/3dhelsinki/helsinki/index_vrml.html)
- Lee, I 2002, Perceptual Organization of Surfaces, PhD. Dissertation, Graduate Program in Geodetic Science and Surveying, The Ohio State University, Columbus, OH, USA.
- Lemmens, M., Deijkers, H., and Looman P., 1997, “Building Detection by Fusing Airborne Laser-Altimeter DEMs and 2D Digital Maps”, 3D Reconstruction and Model of Objects, Stuttgart, IAPRS, Vol.32, Part3-4W2, September 17-19, pp.29-42, 1997.
- Maas, H. G., 1999, "Fast Determination of Parametric House Models From Dense Airborne Laserscanner Data", ISPRS Workshop on Mobile Mapping Technology.
- Maas, H. G. and G. Vosselman, 1999. Two Algorithms for Extracting Building Models from Raw Laser Altimetry Data, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, vol. 54, pp. 153-163.
- Priestnall, G., J. Jaafar, and A. Duncan, 2000,"Extracting Urban Feature from LiDAR Digital Surface Models," Computers, Environment and Urban Systems, vol. 24, pp. 65-78, 2000.
- Schenk, T., Csatho, B., 2002,"Fusion of LIDAR Data and Aerial Imagery for a More Complete

- Surface Description". IAPRS, vol. XXXIII, pp. 310-317, Graz, Austria.
- Steinel , E., Kiema, J., Leebmann, J. And Bähr, L.H., 2001," Laserscanning for Analysis of Damages Caused by Earthquake Hazard," OEEPE Workshop on Airborne Laserscanning and Interferometric SAR for Detailed Digital Elevation Models, Stockholm, pp.88-99.
- Vosselman, G. and S. Dijkman, 2001, "3D Building Model Reconstruction from Point Clouds and Ground Plans," Proc. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Annapolis, Maryland, 2001.
- Wang, M. and Y-H. Tseng, 2004. LIDAR data segmentation and classification based on octree structure, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Istanbul.
- Wehr, A. and Lohr, U., 1999. Airborne Laser Scanning-An Introduction and Overview, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 54:pp.68-92.
- Wolf, Paul R. and Charles D. Ghilani, 1997. Adjustment Computations: Statistics and Least Squares in Surveying and GIS. John Wiley & Sons, Inc., pp.402-406.
- Woo, H., Kang, E., Wang, S. and Lee, K.H., "A New Segmentation Method For Point Cloud Data", International Journal of Machine Tools & Manufacture, vol.42, pp.167-178, 2002.

## 6. 計畫成果自評部份，請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情

況、研究成果之學術或應用價值、是否適合在學術期刊發表或申請專利、

主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

本研究內容與原計畫相符程度約 93%。

本計畫原預期完成之工作項目、成果及達成率分別簡述如下

### 1. 預期完成之工作項目。(平均達成率 93%)

- (1). 影像分塊方法之比較與選取(達成率 80%)
- (2). 以影像分塊技術萃取遙測影像中之平面資訊(達成率 90%)
- (3). 以影像分塊技術萃取空載光達資料中的平面資訊(達成率 100%)
- (4). 以最小二乘平面擬合資料蒐評法擷取屋頂面資訊(達成率 100%)
- (5). 撰寫研究成果報告(達成率 100%)
- (6). 參與研究人員訓練(達成率 90%)

### 2. 對於學術研究、國家發展及其他應用方面預期之貢獻。

本研究當初預期對於學術而言是在研究從空載光達資料中以影像分塊技術先萃取空載光達資料中可能的平面資訊然後再以最小二乘平面擬合之資料蒐評法自動萃取屋頂面資訊。就學術而言乃是以資料融合和資料蒐評法朝向自動化的目標邁進。而都市區建物模型是構建三維城市模型相當基礎的資訊，目前應用三維城市模型做景觀規劃設計、環境評估、防災甚至是通訊電訊等等的應用正是熱門的研究主題。因此，本研究可以作為後續建構三維城市模型之基本資料。而利用完成的建物三維模型為基礎，可結合不同的資訊系統，做各種不同的應用。如結合消防單位的防災資訊系統，可將救災工作做到最迅速確實，將災變損失減到最低。對國家發展而言，可以用其建立“數位台灣”或者進而建立數位城市虛擬，正如芬蘭赫爾辛基政府在西元 2000 年推行的虛擬芬蘭赫爾辛基計畫。在電腦中建立虛擬的三維城市，除了完成建構方圓五十公里的赫爾辛基立體模型之外，並利用網際網路，讓當地居民可以快速處理日常生活中的種種瑣事，而即使是外國人也可以透過網路，進行一趟虛擬的城市之旅。所以對國家發展而言可以透過這樣的資料建置，並利用網際網路，讓國人可以快速處理日常生活中的種種瑣事，亦可以將台灣透過網路推向全球化。

本研究對於學術而言的確發展出雷射掃描的地面數值覆面點雲資料另外以資料蒐評法輔以影像分塊技術自動萃取空載光達資料的建物屋頂面資訊演算法，所萃取得到的屋頂面光達點的確可以供後續萃取都市區建物幾何模型(DBM)或數值地形模型(DTM)。而都市區建物模型和數值覆面模型對構建三維城市模型是相當基礎的資訊，就研究成果之學術或應用價值而言將來可以改善的演算法將其應用於三維城市模型的建立並作為景觀規劃設計、環境評估、防災甚至是通訊電訊等等的熱門應用。因此，本研究部分試驗成果可以作為建構三維城市模型之基本資料。而所發展的演算法進一步改善將適合在學術期刊發表或申請專利。

就整體而言本研究成果發表，非常豐碩。除三篇論文已經發表之外，有一篇文章已經投至 SCI 期刊審稿中(EMMCVPR2007)，一篇文章則投至 PIA07 Photogrammetric Image Analysis Conference 審稿中(PIA07)。以下分列本研究各文章投稿狀況

1. S-H, Chio, 2007, AUTOMATIC ROOF POINT EXTRACTION FROM AIRBORNE LIDAR

DATA BASED ON DATA SNOOPING”, Submission to PIA07 Photogrammetric Image Analysis Conference,19-21 Sept 2007, Munich, Germany.

2. S-H, Chio, 2007, ”An Algorithm to Automatically Extract the Roof Points from Airborne LIDAR Data”, Submission to EMMCVPR2007.(SCI)
3. S-H, Chio, 2006, ”Semi-Automatic Extraction of 3-D Building Roofs from Airborne LIDAR Data”, THE 27TH ASIAN CONFERENCE ON REMOTE SENSING, ACRS2006, CD-Proceedings, Ulaanbaatar , Mongolia..
4. 邱式鴻，2006，” 資料蒐評法應用於空載光達資料中屋頂面資訊萃取之研究” ，第二十五屆測量學術及應用研討會論文集，清雲科技大學，第 1107-1114 頁，中華民國九十五年九月。
5. S-H, Chio, 2005, ” Automatic Extraction of 3-D Building Roofs by Data Snooping from Airborne LIDAR Data”, THE 26TH ASIAN CONFERENCE ON REMOTE SENSING, ACRS2005, CD-Proceedings, Hanoi, Vietnam .

因此目前的研究成果確實可以接續後續的再開發和應用，初步已經達成當初預設的學術研究、國家發展及其他應用方面預期之貢獻。

### 3.對於參與之工作人員，原預期可獲之訓練。

- (1).了解目前最新之測量技術與建物萃取之模式
- (2).訓練撰寫程式之能力
- (3).了解所應用的影像處理技術和資料蒐評的數學理論和方法
- (4).培養資料分析和處理之能力

而本計劃對於參與之工作人員，的確讓參與人員獲得原先預期之訓練。

# 可供推廣之研發成果資料表

附件二

請專利

可技術移轉

日期：\_\_年\_\_月\_\_日

<p>國科會補助計畫</p>	<p>計畫名稱： 計畫主持人： 計畫編號： <span style="float: right;">學門領域：</span></p>
<p>技術/創作名稱</p>	
<p>發明人/創作人</p>	
<p>技術說明</p>	<p>中文：  (100~500 字)</p>
	<p>英文：</p>
<p>可利用之產業 及 可開發之產品</p>	
<p>技術特點</p>	
<p>推廣及運用的價值</p>	

- ※ 1.每項研發成果請填寫一式二份，一份隨成果報告送繳本會，一份送 貴單位研發成果推廣單位（如技術移轉中心）。
- ※ 2.本項研發成果若尚未申請專利，請勿揭露可申請專利之主要內容。
- ※ 3.本表若不敷使用，請自行影印使用。