

國立交通大學  
土木工程學系  
碩士論文

不同時期空載光達成果比對探討  
以新竹地區為例

Accuracy Validation of the Point Clouds from Airborne Lidar  
Collected in Two Missions of Different Year in Hsin-Chu Area

研究生：吳紹禎

指導教授：史天元 教授

中華民國九十五年六月

不同時期空載光達成果比對探討  
以新竹地區為例

Accuracy Validation of the Point Clouds from Airborne Lidar  
Collected in Two Missions of Different Year in Hsin-Chu Area

研究生：吳紹禎

Student: Shao - Chen Wu

指導教授：史天元 教授

Advisor: Dr. Tian-Yuan Shih



碩士論文

A Thesis  
Submitted to Department of Civil Engineering  
College of Engineering  
National Chiao Tung University  
in Partial Fulfillment to the Requirements  
for the Degree of Master  
in  
Civil Engineering  
June 2006  
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十五年六月

# 不同時期空載光達成果比對探討 - 以新竹地區為例

學生：吳紹禎

指導老師：史天元 教授

國立交通大學土木工程學系

## 摘要

本研究主要目的在於比對 2002 年農委會(COA)與 2005 年內政部(MOI)二時期的空載光達成果，分析其高程與平面方向偏移量，並探討影響點雲位置的原因。

高程部分，以新竹地區不同時期獲得之空載光達雷射掃描資料(2002LiDAR、2005LiDAR)、RTK 量測之地面檢核點資料(2004GCPs、2005GCPs)、以及使用 2004GCPs 進行高程改正後的 c2002 LiDAR 和經無地面點控制之航帶平差後的 c2005LiDAR，進行其相互之間高程偏移量的比對與探討。比對方式分內部精度與外部精度，內部精度為航帶重疊區點雲高程資料的吻合程度，外部精度則為點雲與地面檢核點的高程較差。內部精度成果顯示，不論使用何種改正方式，整體內部精度皆能有所提昇；而外部精度的部分，則透過二不同時期光達資料相互比對驗證，結果顯示 2004GCPs 含有橢球高轉換不正確所致的系統性誤差，經重新解算修正後，比對成果顯示該系統誤差問題已改善。另外本研究中亦顯示出，使用不同時期空載光達點雲與不同時期之地面檢核點進行比對時，比對成果會受到一些因量測時期地形變化之不同而產生的誤差。

平面部分，使用空載光達原始掃描資料(2002LiDAR、2005LiDAR)，以高度門檻值分類建物點雲，網格化成 50cm 平面解析度的數值高程模型，透過 Canny 邊緣偵測方式萃取建物邊緣資訊，再疊合 1/1000 線繪圖比對其偏移情形。本研究以自訂的一套流程進行建物邊緣萃取，萃取完成的邊緣線資料分別以視覺疊合方式及誤差距離量測統計方式進行評估。另外對於房屋邊緣角點等邊緣萃取失真處，則使用霍夫轉換法找出光達資訊中較可靠的建物角點進行比對探討。統計成果顯示，本方法評估出空載光達成果整體 E 向及 N 向的平面誤差量介於

0.259m~0.795m 之間，該量級約為三倍高程誤差，與儀器規格相當。另外，由直線偵測方法萃取的建物角點與 1/1000 線繪圖比對的誤差統計結果顯示，其誤差量較建物邊緣萃取成果評估的誤差值大，這可能是因為建物角點的檢核數較少，因此本研究中建物邊緣萃取的誤差距離量測統計結果應較為準確。本階段研究成果顯示，2002LiDAR 建物邊緣的萃取成果有東向的偏移，而 2005LiDAR 建物邊緣的萃取成果則有北向的偏移。整體上，二時期的評估成果均顯示垂直於航向方向之平面精度優於平行航向方向之平面精度。



# **Accuracy Validation of the Point Clouds from Airborne Lidar Collected in Two Missions of Different Year in Hsin-Chu Area**

**Student: Shao-Chen Wu                  Advisor : Dr. Tian-Yuan Shih**

**Department of Civil Engineering**

**National Chiao Tung University**

## **Abstract**

This study evaluates height and planimetric accuracy of the point clouds collected by two airborne lidar missions in 2002 and 2005 respectively. Ground Check Points were collected utilizing real time kinematic GPS in 2004 and 2005 by a field survey team. After analyzing the differences between these four data sets, it is found that there are significant height offsets between two different flight line groups of the 2002 lidar point clouds. Systematic errors in the 2004 GCPs are also identified. With strip adjustment, the internal consistency of the 2005 lidar data can be improved. However, the external accuracy with the GCPs does not show any improvement.

In planimetry, the building boundaries are extracted from the point clouds and compared to a 1:1000 vector map. Hough transform is applied to find corner points for buildings. The errors are then assessed, utilizing both visual and statistical approaches. Experimental results indicate that mean errors were between 0.259m-0.795m in planimetric offsets. The results also show that planimetric offsets in the scanning direction are smaller than those in the flight direction.

## 致 謝

本論文承蒙吾師 史天元教授兩年來在研究領域上悉心指導，使論文得以順利完成，在此謹向恩師致上誠摯的敬意。感謝組上陳春盛教授、黃金維教授與李振燾教授在相關課業上的啟發與教誨。

感謝徐偉城學長提供論文方面相關資訊及研究經驗，以及劉進金學長適時地在課業與研究瓶頸中給予協助，使研究工作順利進行，在此一併致上謝意。

最後，謹將本論文獻給栽培養育我的父母，以及所有關心、支持我的家人和朋友們。



# 目 錄

摘 要.....	I
Abstract.....	III
致 謝.....	IV
目 錄.....	V
圖目錄.....	VII
表目錄.....	X
第一章 緒論.....	1
§1-1 研究動機與目的.....	1
§1-2 研究方法及流程.....	2
§1-3 論文架構.....	4
第二章 空載光達系統及精度評估.....	5
§2-1 空載光達系統介紹.....	5
§2-2 空載光達掃瞄點資料之性質.....	7
§2-3 空載光達精度評估回顧.....	9
第三章 光達成果高程比對與探討.....	13
§3-1 研究資料說明.....	13
§3-1-1 空載光達地面點成果.....	13
§3-1-2 地面檢核點.....	17
§3-2 內部精度分析與探討.....	20
§3-3 外部精度分析與探討.....	26
§3-3-1 2004GCPs 與 2002LiDAR、c2005LiDAR 比對.....	26
§3-3-2 2005GCPs 與 2005LiDAR、c2005LiDAR 比對.....	35
第四章 光達成果平面線形萃取與比對探討.....	37
§4-1 以強度資訊萃取道路特徵測試.....	37
§4-1-1 流程方法介紹.....	37

§4-1-2	方法實作.....	38
§4-1-3	實作成果探討.....	42
§4-2	以高度資訊萃取建物特徵.....	43
§4-2-1	研究區域說明.....	43
§4-2-2	研究流程方法擬訂與探討.....	43
§4-2-2-1	流程方法一測試與探討.....	44
§4-2-2-2	流程方法二測試與探討.....	46
§4-2-3	建物邊緣萃取成果比對與失真問題探討.....	49
§4-2-3-1	視覺疊圖比對.....	52
§4-2-3-2	誤差距離量測統計.....	56
§4-2-3-3	失真問題與建物角點萃取成果比對.....	60
第五章	結論與建議.....	65
	參考文獻.....	67
附錄 A	各時期改正前後航帶重疊區剖面檢視.....	72
附錄 B	本研究使用影像處理方法原理說明.....	76
B-1	最鄰近勻化平均值法(SNN-Mean Filter).....	76
B-2	Canny 邊緣偵測.....	77
B-3	Hough Transform 直線偵測.....	80
附錄 C	PCI-LINE 模組各參數測試之萃取成果.....	82
	作者簡介.....	85



## 圖目錄

圖 1-1	高程比對流程圖 .....	2
圖 1-2	光達建物邊緣萃取比對流程圖 .....	4
圖 2-1	空載光達系統示意圖 .....	5
圖 2-2	典型雷射掃瞄儀系統 .....	6
圖 2-3	空載光達系統整合架構之座標系統關係 .....	6
圖 2-4	空載光達多重回訊特性示意圖 .....	8
圖 2-5	航帶邊緣及中央點雲分佈示意圖 .....	8
圖 2-6	系統誤差實際案例 .....	11
圖 2-7	Baltsavias(1999)空載光達定位精度曲線圖 .....	12
圖 3-1	2002 年新竹地區光達點雲數據涵蓋範圍 .....	13
圖 3-2	2002 年光達點雲資料航帶 9、10 重疊區之高程偏移情形 .....	14
圖 3-3	TerraScan 高程改正模式 .....	15
圖 3-4	經高程改正後 2002 年光達點雲航帶 9、10 重疊區之高程落差已經消除 .....	15
圖 3-5	2005 年新竹地區光達點雲數據涵蓋範圍 .....	16
圖 3-6	2005 年光達數據之平差處理流程 .....	17
圖 3-7	2004 年新竹地區地面檢核點之分布範圍 .....	18
圖 3-8	位於橋上或屋頂上的檢核點 .....	18
圖 3-9	五種土地覆蓋類別(圖片來源：工研院中興院區實測作業) .....	19
圖 3-10	2005 年新竹地區地面檢核點分布情形 .....	19
圖 3-11	2002LiDAR、c2002LiDAR 前(1)、中(2)、後(3)分區選取範圍 .....	21
圖 3-12	2005LiDAR、c2005LiDAR 前(1)、中(2)、後(3)分區選取範圍 .....	21
圖 3-13	內部精度評定航帶重疊區選取範圍示意 .....	21
圖 3-14	2002 年內部精度分析成果 .....	25

圖 3-15	2005 年內部精度分析成果 .....	26
圖 3-16	c2005LiDAR 切割示意圖 .....	27
圖 3-17	二時期點雲成果與 2004GCPs 比對之平均高程偏移量 .....	28
圖 3-18	c2005LiDAR 比對 2004GCPs 超過正負 20cm 的檢核點分布情形 .....	29
圖 3-19	2005GCPs 與 2005LiDAR、c2005LiDAR 高差比對成果 .....	36
圖 4-1	研究區域之強度影像(左: 2002, 右: 2005) .....	37
圖 4-2	以高度及強度資訊萃取道路流程圖 .....	38
圖 4-4	研究區域之 S <sub>2</sub> 點集合影像(左: 2002, 右: 2005) .....	40
圖 4-5	屬於道路類別的點雲特性 .....	40
圖 4-6	研究區域之 S <sub>3</sub> 點集合影像(左: 2002, 右: 2005) .....	41
圖 4-7	S <sub>3</sub> 點集合影像經型態學濾波器閉合處理(左: 2002, 右: 2005) .....	41
圖 4-8	道路邊界萃取成果與線繪圖疊合(左: 2002, 右: 2005) .....	41
圖 4-9	實驗區之高程灰階影像 .....	43
圖 4-10	平面資訊萃取流程方法一 .....	44
圖 4-11	萃取成果中線形誤差量較大的部分 .....	44
圖 4-12	2005LiDAR 因建物造成的遮蔽區域無點雲資料 .....	45
圖 4-13	2005LiDAR 遮蔽區域航帶重疊後仍有無點雲資料處 .....	45
圖 4-14	2005LiDAR 遮蔽區域無點雲資料造成建物邊緣高程內插錯誤 .....	46
圖 4-15	平面資訊萃取流程方法二 .....	46
圖 4-16	流程二改善流程一萃取成果中線形誤差量較大的部分 .....	47
圖 4-17	2002LiDAR 高於 2.5m 的點雲(左)及其閉合處理後的高度影像(右) .....	47
圖 4-18	Canny 偵測結果將沿著局部梯度變化最大處 .....	48
圖 4-19	萃取高度門檻值高於 12m 欲比對之目標建物 .....	48
圖 4-20	萃取高度門檻值高於 18m 欲比對之目標建物 .....	48
圖 4-21	建物 1 萃取成果疊合 .....	49
圖 4-22	建物 2 萃取成果疊合 .....	49

圖 4-23	建物 3 萃取成果疊合 .....	50
圖 4-24	建物 4 萃取成果疊合(左：建物 4A；右：建物 4B).....	50
圖 4-25	2002LiDAR 建物萃取成果(左：建物 1；右：建物 2) .....	52
圖 4-26	2005LiDAR 建物萃取成果(左：建物 1；右：建物 2) .....	53
圖 4-27	2002LiDAR 建物點雲疊合 1/1000 線繪圖(左：建物 1；右：建物 2)....	53
圖 4-28	2005LiDAR 建物點雲疊合 1/1000 線繪圖(左：建物 1；右：建物 2)....	53
圖 4-29	建物 4A 萃取成果(左：2002LiDAR，右：2005LiDAR) .....	54
圖 4-30	建物邊緣萃取成果失真問題 .....	60
圖 B-1	最鄰近勻化法平均值法說明示意圖.....	76
圖 B-2	非最大值刪除示意圖.....	78
圖 B-3	PCI LINE 模組向量化後不完整的線段 .....	79
圖 B-4	單點的 Hough 轉換.....	80
圖 B-5	共線點之 Hough 轉換.....	81



## 表目錄

表 2-1	Baltsavias(1999)評估空載光達定位精度 .....	12
表 3-1	2005 年光達點雲數據飛航掃瞄參數 .....	16
表 3-2	各時期數據比對代碼 .....	20
表 3-3	2002LiDAR、c2002LiDAR 內部精度分析 (m).....	23
表 3-4	2005LiDAR、c2005LiDAR 內部精度分析 (m).....	24
表 3-5	航帶(39-40; 40-41; 43-44)於前(1)、中(2)、後(3)三區選取範圍與高程關係 .....	25
表 3-6	2004GCPs 與 2002LiDAR、c2005LiDAR 高差比對成果 (m).....	27
表 3-7	剖面點雲檢視 c2005LiDAR 和 2004GCPs 分布情形 .....	29
表 3-8	以 2004GCPs 比對 c2005LiDAR 的航帶資料 (m).....	30
表 3-9	2004GCPs_edit 與 2002LiDAR、c2005LiDAR 高差比對成果 (m).....	31
表 3-10	以 2004GCPs_edit 比對 2005LiDAR、c2005LiDAR 各航帶點雲 (m) ..	32
表 3-11	檢視 2002LiDAR、c2005LiDAR 比對 2004GCPs_edit 標準偏差過大情形 .....	33
表 3-12	2005GCPs 與 2005LiDAR、c2005LiDAR 高差比對成果 (m).....	35
表 4-1	道路區點雲樣本強度資訊統計結果 .....	39
表 4-2	各建物受 Closing 處理影響處.....	51
表 4-3	2002LiDAR 建物 4A 邊緣外擴檢視成果 .....	54
表 4-4	建物 4A 邊緣外擴檢視成果 .....	55
表 4-5	各建物依周長分成 30 等分 .....	56
表 4-6	各時期各建物誤差距離量測統計成果 (m).....	57
表 4-7	2002LiDAR 整體平均誤差統計成果 (m).....	58
表 4-8	2005LiDAR 整體平均誤差統計成果 (m).....	58
表 4-9	各時期各建物 E 向、N 向誤差統計成果 (m).....	59

表 4-10	各時期整體 E 向、N 向誤差統計成果 (m).....	60
表 4-11	各建物 Hough 直線偵測成果 .....	61
表 4-12	各建物 Hough 直線偵測比對角點 .....	62
表 4-13	各時期各建物角點 E 向、N 向誤差統計成果 (m).....	63
表 4-14	各時期整體建物角點 E 向、N 向誤差統計成果 (m).....	63
表 B-1	LINE 模組演算法參數 .....	77
表 B-2	PCI LINE 模組最佳參數 .....	79
表 C-1	RADI 參數測試.....	82
表 C-2	GTHR 參數測試.....	82
表 C-3	LTHR 參數測試 .....	83
表 C-4	FTHR 參數測試 .....	83
表 C-5	ATHR/ DTHR 參數測試.....	84



# 第一章 緒論

## §1-1 研究動機與目的

空載光達(Airborne Light Detection and Ranging)技術是一種以掃瞄方式進行測點的系統，可用以產生高精度、高解析度的數值地表模型(DSM)及數值高程模型(DEM)。該技術係一個結合雷射掃瞄系統(Laser System)、全球定位系統(GPS)、慣性導航系統(INS)等三種系統之整合技術。然而，因空載光達掃瞄系統及定位系統具有許多隨機性及系統性的誤差，進而傳播至掃瞄點座標，而直接或間接影響到空載光達點雲成果定位的正確性。

目前空載光達掃瞄數據重疊區誤差的評定方法，包括 Crombaghs 等(2000)、童俊雄(2005)應用三參數航帶平差模式，其主要利用航帶間共軛點之點位高程求解航帶變形參數，進而計算航帶在高程方向的系統性變化。而 Behan(2000)將原始點雲資料經由內插方式產生 2.5D 的規則網格結構，進行共軛點匹配。然 Morin 與 El-Sheimy(2001)則係利用建物或道路等特徵，以大量的點雲觀測數將特徵參數化，作為連結區進行匹配。Latypov(2002)計算航帶重疊區內各小面積區域之高程平均值與標準偏差，透過標準偏差篩選平坦的航帶重疊區域，計算高程平均值差異量，以評估系統性誤差。Maas (2000)、Vosselman and Maas (2001)、Maas (2002)則以不規則三角網結構，應用最小二乘法匹配共軛點，評估航帶重疊區高程及平面方向的誤差。

綜上所述，空載光達誤差評定方法依比對時的數據結構型態可分成「原始點雲結構」、「規則化網格結構」及「不規則三角網結構」。與傳統航空攝影測量需解決的問題一樣，如何在航帶中找尋可靠的控制點或連結點，評估航帶重疊區誤差進行航帶平差以減少系統誤差影響，為一重要的課題。

本研究主要目的在於比對不同時期空載光達成果之點雲位置在「高程方向」及「平面方向」的偏移情形，並透過比對成果探討其影響點雲位置的原因。



## §1-2 研究方法及流程

本研究的重點在於如何比對不同時期空載光達成果之點雲位置在高程方向及平面方向的偏移情形，並進行成果探討。

高程比對的部分，目的主要在於瞭解空載光達原始掃瞄數據與經過高程改正及航帶平差後的數據之內部精度和外部精度的變化情形。不論是航帶重疊區之間的內部精度比對或是光達點雲與地面檢核點間的外部精度計算，均應選擇較平坦的區域(Crombaghs, 2000)進行。另外，使用點對點(Point by Point)之點雲結構比對時，可能會因為點雲中存在著獨立點或是內插時的精度損失，導致比對結果中隱含了偏差。為減少此影響，則應盡量採行以點群組合成的面對面(Surface by Surface)的方式或是以不規則三角網結構進行高程比對(Maas, 2002)。

本研究用以比對的數據成果依類型分為「空載光達地面點成果」及「地面檢核點」兩種。空載光達成果點雲依時期分為 2002 年(2002LiDAR)、2005 年(2005LiDAR)，各時期光達點雲資料皆經 TerraScan(Terrasolid, 2004a)完成地面點自動分類。空載光達數據成果改正方式依其作業方法可分為兩種，一種係將 2002 年光達數據透過 TerraScan 中 Adjust to Geoid 工具，以 2004 年量測的地面檢核點將原始掃瞄數據的點雲資料進行高程改正處理(c2002LiDAR)，另一種則以 2005 年光達數據透過 TerraMatch(Terrasolid, 2004b)進行無地面控制點的航帶平差(c2005LiDAR)。而地面檢核點則分為 2004 年(2004GCPs)、2005 年(2005GCPs)之量測成果。圖 1-1 為本研究使用各時期數據進行高程比對的流程圖。



圖 1-1 高程比對流程圖

研究中以 TerraMatch 之 Measure Match 工具評估內部精度，外部精度比對的部分則使用 TerraScan 之 Output Control Report 工具進行計算。該功能之操作程序為：讀入檢核點資料(E, N, Z)後，將分類地面點以組 TIN 方式內插出和檢核點相同平面位置的高程資料以進行高差計算，比較時可設定參數。本研究採用之參數為 Max triangle:5m；Max slope:30 degrees；Z tolerance:0.15m。Max triangle 係以檢核點為中心之搜尋半徑；Max slope 為檢核點至包含三角形頂點間之最大坡度值，凡大於此值，檢核點與模型內插點間高程差值不予計算，以上兩者因為要求檢核點周圍 5 公尺內需保持平坦，故將參數值設如上述；Z tolerance 為正常雷射點高程值之精度，此值使用於前項坡度之計算，以避免小面積三角形造成大坡度，而超越 Max slope(史天元等，2005)。

而在平面比對的部分，本研究進行光達數據成果之平面特徵物線形萃取，並以 1/1000 線繪圖作為地真資料，評估其平面偏移量。

研究中採兩種方式進行光達點雲之平面資訊萃取的測試，方法一係參考 Clode 等(2004)所提出之方法，嘗試使用光達點雲的強度(Intensity)及高度資訊萃取道路特徵。方法二則參考 Ahokas 等(2004)透過 TerraScan 之 By height from ground 工具，以光達點雲高度資訊進行建物點雲分類，並透過影像處理技術找尋建物邊緣及角點，由萃取成果疊合 1/1000 線繪圖進行視覺疊合分析及誤差距離量測統計分析。使用的光達數據為二時期原始掃瞄數據成果(2002LiDAR、2005LiDAR)，萃取比對流程如圖 1-2，該程序主要分成建物點雲分類、光達數據網格化、邊緣線偵測、萃取成果評估等步驟。



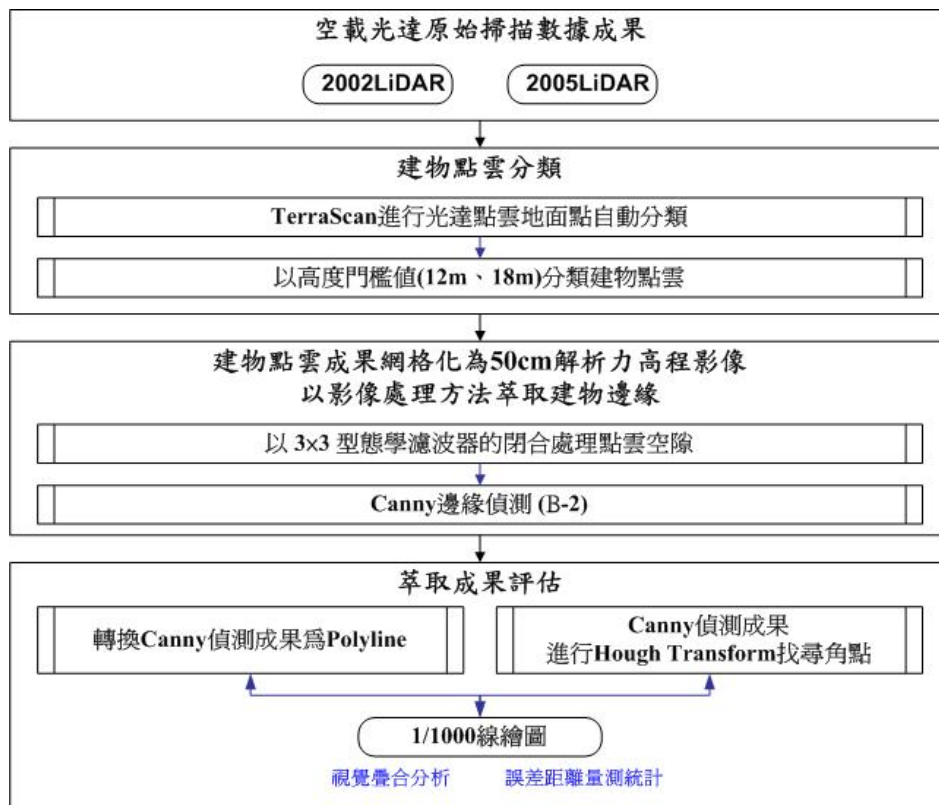


圖 1-2 光達建物邊緣萃取比對流程圖

### §1-3 論文架構

本論文共分成五個章節，各章節之主題分別敘述如下：

第一章：說明本研究之動機與目的，簡略說明空載光達技術並介紹目前空載光達掃描數據誤差評定方法，以及概述本文所採用的研究方法與流程。

第二章：主要介紹空載光達技術的起源和空載光達系統基本架構與掃描點資料之性質，並針對空載光達定位精度評估方面進行相關的文獻回顧介紹。

第三章：進行不同時期光達成果高程方向的比對，研究中使用空載光達地面點成果及 RTK 量測的地面檢核點等資料，分別進行內部精度及外部精度的比對與探討。

第四章：進行不同時期光達成果平面方向的比對，研究中擬訂出一平面線形萃取流程，並以 1/1000 線繪圖作為地真資料，進行光達數據成果之平面偏移量的評估與探討。

第五章：為本研究之結論與建議。

## 第二章 空載光達系統及精度評估

### §2-1 空載光達系統介紹

因應全球定位系統(GPS)及慣性量測儀(IMU)的發展，使得精確的即時定位定姿態方法得以實現。空載光達系統係一個結合雷射掃瞄系統(Laser Scanning System)、全球定位系統(GPS)以及慣性導航系統(INS)等三部分的整合性技術。將雷射掃瞄儀固定於飛行載台上，發射一高頻率發射雷射光束，由感測器接收反射訊號後，記錄發射脈衝到接收反射訊號之間的時間差。配合載台上裝置之 GPS 接收儀，及待測區的控制站，以動態差分方式實施 GPS 定位，並輔以 INS 系統的姿態參數進行整合求解，以求定載台的方位，最後再求定地面掃瞄點的三維座標，示意如圖 2-1。

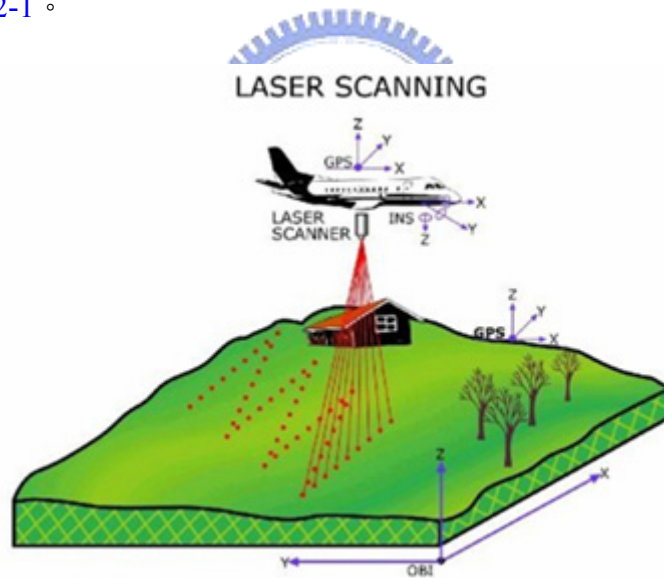


圖 2-1 空載光達系統示意圖(Renslow, 2001)

典型的雷射掃瞄儀如圖 2-2 所示，可分為雷射測距單元、光學-機械掃瞄器、控制與處理單元。其中，測距單元又包含有雷射發射器與電子光學接收器。INS 是藉由慣性量測儀(IMU)獲得載體的位置、速度、姿態角與重力參數。GPS 定位則是以動態差分方式計算得到載體之即時位置。

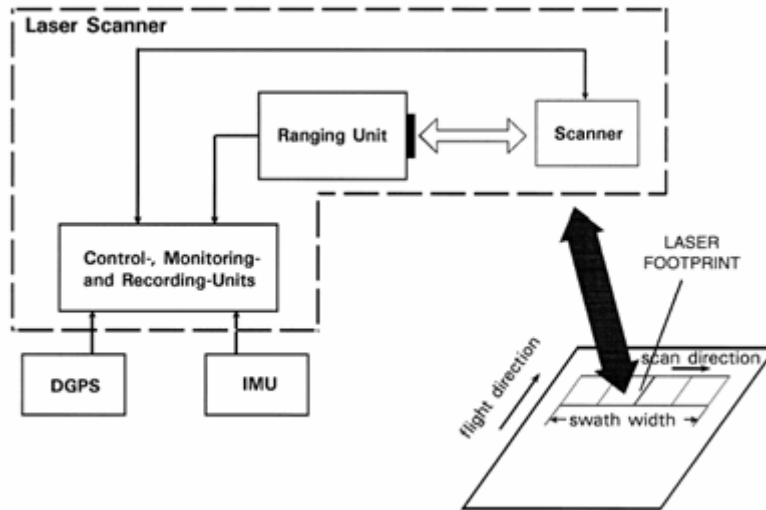


圖 2-2 典型雷射掃瞄儀系統(Wehr and Lohr, 1999)

Schenk(2001)所描述的空載光達子系統間座標轉換關係為先藉由雷射掃瞄儀對飛行區進行掃瞄，所獲得的點座標僅為雷射掃瞄儀的局部座標，必須依序轉換至 INS 座標系統以及以 GPS 天線為中心的座標系統，最後再轉換至 WGS84 座標系統，或是依據應用需求轉換至所需的座標系統之中，如 TWD97 座標系統。圖 2-3 為系統整合架構之座標系統關係圖。

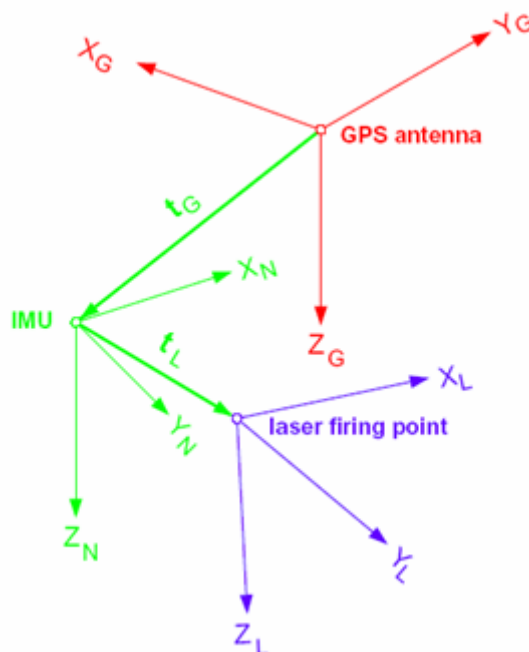


圖 2-3 空載光達系統整合架構之座標系統關係(Schenk, 2001)

依據以上座標系統架構，將某一掃瞄點的向量轉換到 WGS84 座標系統的轉換關係如式 2-1(Schenk, 2001)：

$$p_W = R_W R_G R_N (R_M R_L r + t_L + t_G) + t_{GPS} \quad (\text{式 2-1})$$

其中：

$R_W$ ， $R_G$ ， $t_{GPS}$  為目前載台位置之函數

$R_N$ ， $R_L$ ， $r$  由量測或由測距時間內插而得

$R_M$ ， $t_L$ ， $t_G$  為儀器安置參數 (常數)

由式 2-1 可瞭解，任一掃瞄點的座標值，需經過多種系統的量測與座標系統間的轉換而得到結果。因此量測的過程中，任何種類的誤差都會直接影響掃瞄點定位座標之結果。

## §2-2 空載光達掃瞄點資料之性質

空載光達所得到的掃瞄點資料，經由 GPS 及 INS 資料處理，最後可轉換到物空間座標。每一個掃瞄點所記錄到的是其在物空間的座標 X、Y、Z 以及反射強度值 I。由於空載光達的掃瞄距離大多為數百公尺至數千公尺，因此雷射光束所產生的足跡(Footprint)所涵蓋的範圍內，可能因為地形起伏或是涵蓋不同種類之覆蓋物(如：樹、灌木叢、草皮、柏油路、建物)而造成多重回波(Multi Return)的情形(Burman, 2002)。

多重回波即是同一個脈衝雷射發射後，接收器收到的反射訊號波形(Waveform)中包含二個以上的反射波(Echo Pulse)。雷射光直接打在建物或地面上時，其波形中將只傳回一個反射波，而若雷射光產生的足跡範圍一部份反應在樹枝上，另一部份反應在較低的灌木叢及地面上時，其反射訊號的波形如圖 2-4(a)所示。該回傳波形經處理後可得到數個反射波峰值的時間點，如圖 2-4(b)中的 R1、R2、R3、R4、R5。其中第一個峰值 R1 即為第一反射值(First Return)，最後一個峰值 R5 即為最後反射值(Last Return)。其反射波與反射波之間的距離反應出量測目標物件之間的高度關係，而反射波的寬度則反應出目標物件表面的粗糙度、斜率或深度(Ullrich, 2006)。

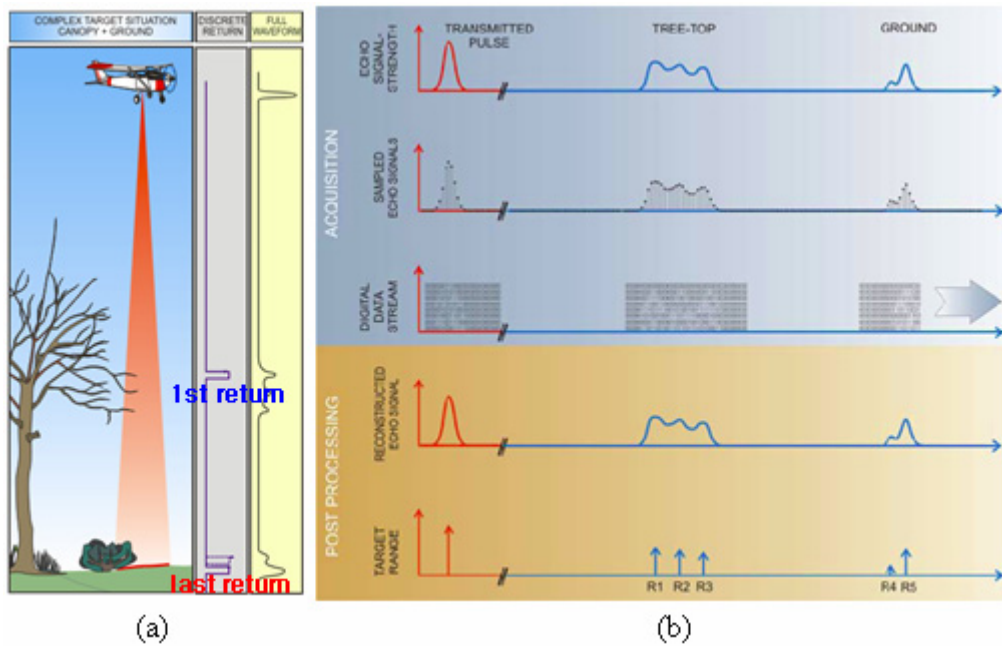


圖 2-4 空載光達多重回訊特性示意圖(Ullrich, 2006)

基本上空載光達的掃瞄線與飛行方向垂直，Leica ALS 掃瞄系統之掃瞄型式為鐘擺式(Oscillating Mirror)，並且利用反射鏡改變雷射光掃瞄的位置，因此於垂直飛行方向的航帶邊緣處，其點雲會呈現 V 字型的分佈，如圖 2-5(a)，愈靠近航帶中央的位置，點雲的分佈則越為均勻，幾乎可視為平行的掃描，如圖 2-5(b)。

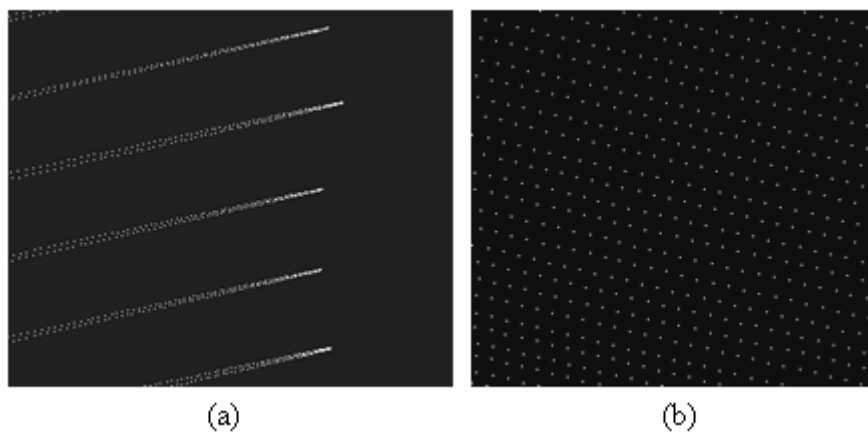


圖 2-5 航帶邊緣及中央點雲分佈示意圖



## §2-3 空載光達精度評估回顧

空載光達掃瞄成果之精度評估分為高程定位精度及平面定位精度兩部分。高程部分的評估經常是利用航帶平差及連結點匹配的模式進行，文獻中提到的方法相當多，如：Kilian 等(1996)利用航帶平差的概念進行安置角求解，安置角即雷射掃瞄儀座標系與機身座標系，其二座標系三軸間的偏差角度。透過相鄰兩條航帶之間所組成的模型，求解兩航帶間的相對方位參數，並且加入已知的數值高程模型(DEM)作為地面參考系統，經過平差後即可得到地面點位之絕對座標；Behan(2000)將原始點雲資料經由內插方式產生 2.5D 的規則網格結構，應用最小二乘法進行共軛點匹配；Burman(2000)提出將離散的點雲資料進行網格化後，使用航帶重疊處的高程資料以及點雲回訊之強度資訊，透過 7x7 的 Sobel 偵測元於設定區域內計算高程或強度的梯度值，尋找連接點進行共軛點匹配；Crombaghs 等 (2000)、童俊雄(2005)應用三參數航帶平差模式，其主要利用航帶間共軛點之點位高程求解航帶變形參數，進而計算航帶在高程方向的系統性變化；Maas (2000)、Vosselman 與 Maas (2001)、Maas (2002)應用最小二乘共軛點匹配法於不規則三角網結構，評估航帶重疊區高程及平面方向的誤差；Morin 與 El-Sheimy(2001)則係利用建物或道路等特徵，以大量的點雲觀測數將特徵參數化，作為連結區進行匹配；Latypov(2002)計算航帶重疊區內各小面積區域之高程平均值與標準偏差，透過標準偏差篩選平坦的航帶重疊區域，計算高程平均值差異量，以評估系統性誤差。

平面精度的部分，一般則是透過平面特徵物之線形萃取而進行比對評估，文獻中平面資訊萃取的方法如：Mass 與 Vosselman(1999)透過已知的二維向量圖房屋輪廓位置，切割出光達資料中屬於房屋內之部分，以不規則三角網為基礎，運用三角網之間的關連性建構出屋頂面；Elberink 與 Mass(2000)利用光達原始資料之紋理(Texture)特徵，藉由表面之紋理特性來區分樹木以及房屋之區域；Vögtle 與 Steinle(2000)以資料融合之角度，結合光達資料與多光譜影像，運用光譜資訊

中近紅外波段對於樹木區域判別容易之特性，將樹木從光達資料中濾除，以萃取房屋區塊；Alharthy 與 Bethel(2002)運用光達系統可記錄多重回訊之特性以及雷射光對於樹木之半穿透半反射特性，區分出資料中屬於人工建物之部分，並運用網格化後的光達資料，透過直方圖統計方法統計建物區影像像元，並假設建物為二維方向正交性的物件以及具有屋緣附近高度變化明顯的特性將房屋邊界偵測出，利用直線線段描繪出屋緣；Rottensteiner 與 Briese(2002)以網格化後的光達資料計算 DTM 與 DSM 之間的高差，並透過高度門檻值萃取建物區塊，針對樹木等非建物區域則以 DSM 計算地形粗糙度進行紋理分析的分類方式濾除；Vosselman(2003)透過已知的二維向量圖街道輪廓位置，切割出光達資料中屬於街道部分的點雲，搭配向量圖街道區邊界的限制組成道路區光達點雲之不規則三角網，並透過二階多項式擬合出平滑的道路面；Clode 等(2004, 2005)以網格化後的光達資料計算 DTM 與原始點雲資料之間的高差，透過高差門檻值萃取可能屬於道路之點雲，並使用光達點雲之強度(Intensity)範圍門檻值萃取道路區域之點雲。

除上述提出的多種方法之外，許多學者亦由實際的案例進行評估，如：Mass(2001)應用最小二乘共軛點匹配法於不規則三角網結構，並以空載光達成果點雲中的高程資訊及強度資訊作為輸入觀測量，分別計算高程及平面方向的偏移量。成果顯示高程偏移量約 10~15 cm 量級，其平均標準偏差小於 1 cm，而平面精度之偏移量約高於 40 cm，其平均標準偏差約為 10 cm 量級；Ahokas 等(2004)選擇一固定航帶區域，以 400 公尺航高來回往返掃瞄 5 個重疊航帶，各航帶皆透過一橫切航帶進行高程改正。研究中將光達量測成果與全測站量測之地面檢核點進行高程比對，成果顯示高程偏移量為-2~1 cm，標準偏差為±3~4 cm，平面精度評估則透過 TerraScan 萃取建物模型，以該區之建物向量圖配合 RTK 量測得到的建物角點，比對建物中心點座標之平面偏移量，成果顯示其平均偏移量小於 30 cm，以第一反射值之成果點雲比對的標準偏差為±11~28 cm，最後反射值成果點雲比對的標準偏差為±14~18 cm，綜合第一反射值與最後反射值之成果點雲比對的標準偏差則為±9~16 cm；Alharthy 等(2004)以航高 600 公尺掃瞄的南北向航帶進行

其高程及平面偏移量的分析，該研究中選擇一區平坦的運動場地(足球場、網球場)與周圍的排水溝進行地面點實測，平坦區域的地面量測點主要提供高程精度評估之用，而排水溝等地形變化明顯的特徵區域之量測點則提供平面精度評估用。高程評估部分，以檢核點 1 公尺環域(Buffer)範圍內的雷射點進行比對，成果顯示高程偏移量為  $8 \pm 20$  cm。平面精度評估部分則選擇數條分布於排水溝上的雷射點和地面量測點，分別以最小二乘法進行曲線擬合。將雷射點所擬合的曲線扣除掉高程上的偏差後，以兩曲線之平移量平方和為最小之成本函數(Cost Function)，計算出最佳匹配時的平移量即為其偏移量，成果顯示東西向的平均偏移量為 30 cm，南北向為 47.5 cm。另外，其成果中亦顯示，航帶兩側邊緣之平面偏移量較航帶中間為大。

由理論推導及實際驗證皆顯示高程定位精度優於平面的定位精度(Schenk, 2001)。保守估計，高程定位之誤差常達 20 cm，而平面誤差則多大於 50 cm(Huising 與 Pereira, 1998；王與曾，2003)。系統誤差實際案例如圖 2-6(a)中將 LiDAR 資料與地形圖套合後可明顯發現其房屋邊線出現共同的偏移量，而於圖 2-6(b)中則可發現兩航帶在銜接上所產生的偏移量。

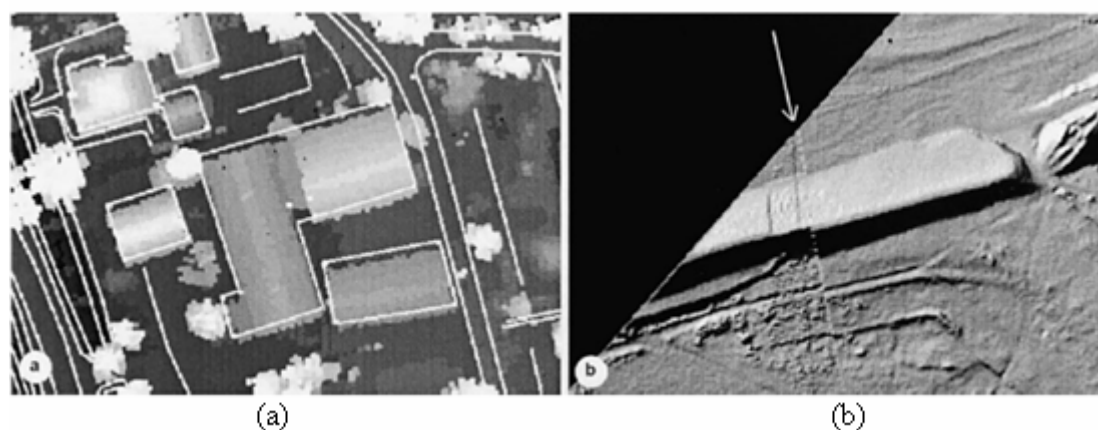


圖 2-6 系統誤差實際案例(Huising 與 Pereira, 1998)

Baltsavias(1999)評估空載光達定位精度如表 2-1 及圖 2-7，以直昇機為載具而航高為 400m 時，其平面精度約為 0.25m，高程精度約為 0.15m；若以小型飛



機為載具而航高約為 1000m 時，其平面精度約為 0.6m，高程精度約為 0.2m。航高的差異對於高程精度的影響較小，對於平面定位精度則成正比的影響(王與曾，2003)。

表 2-1 Baltsavias(1999)評估空載光達定位精度

Effect of different error sources on accuracy of X, Y, Z coordinate errors (in centimeter)												
Coordinate error	Flying height (m)	Scan angle $\beta$ (deg)	Error due to $\Delta\omega$	Error due to $\Delta\psi$	Error due to $\Delta\kappa$	Error due to $\Delta\beta$	Error due to $\Delta R$	Error due to $\Delta x_0$	Error due to $\Delta y_0$	Error due to $\Delta z_0$	Total error	
$\Delta X$	400	0			0/0		0/0				22.4/24.5	
		-7.5			3.7/2.6		0/-0.5				22.7/24.7	
		-15	0/14.8	20.9/14.8	7.5/5.3	0/9.9	0/-0.9				23.6/25.1	
	-30			16.1/11.4		0/-1.8					27.6/27.1	
	1000	0			0/0		0/0	8/5.7	0/-5.7	0		53.0/58.4
		-7.5			9.2/6.5		0/-0.5					53.8/58.8
-15		0/37.0	52.4/37.0	18.7/13.2	0/24.7	0/-0.9					56.2/59.9	
-30			40.3/28.5		0/-1.8						66.6/65.0	
$\Delta Y$	400	0			0/0		0/0				26.4/24.5	
		-7.5			0/2.6		0.7/0.5				26.4/24.7	
		-15	-20.9/-14.8	0/14.8	0/5.3	-14/-9.9	1.3/0.9				26.4/25.1	
	-30			0/11.4		2.5/1.8					26.5/27.1	
	1000	0			0/0		0/0	0/5.7	8/5.7	0		63.5/58.4
		-7.5			0/6.5		0.7/0.5					63.5/58.8
-15		-52.4/-37.0	0/37.0	0/13.2	-35/-24.7	1.3/0.9					63.5/59.9	
-30			0/28.5		2.5/1.8					63.6/65.0		
$\Delta Z$	400	0	0			0	5				9.4	
		-7.5	2.8			2	5				10.0	
		-15	5.6			4	5				11.7	
	-30	12.1			8	4				17.0		
	1000	0	0	0 (very small)	0	0	5	0	0	8	9.4	
		-7.5	6.9			5	5				12.7	
-15		14			9	5				19.1		
-30	30.2			20	4					37.3		

Values given for  $\kappa = 0$  deg/45 deg.

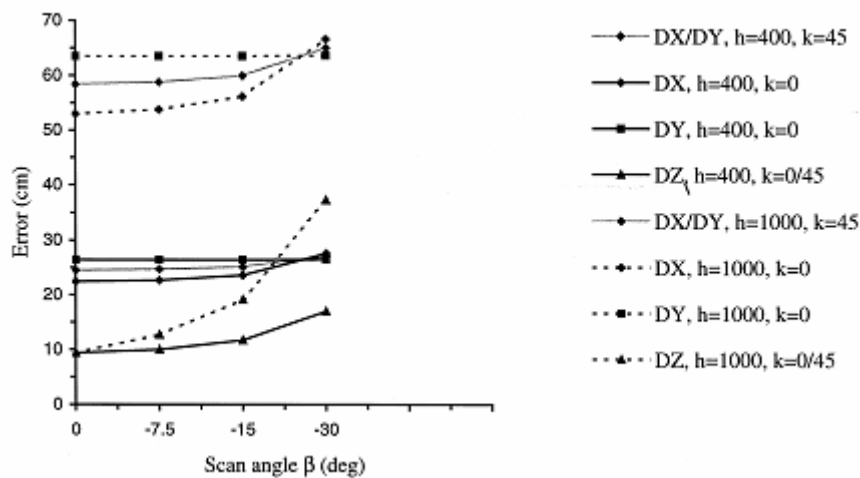


圖 2-7 Baltsavias(1999)空載光達定位精度曲線圖

### 第三章 光達成果高程比對與探討

高程比對的部分，以新竹地區不同時期獲得之空載光達雷射掃瞄資料(2002LiDAR、2005LiDAR)、地面檢核點資料(2004GCPs、2005GCPs)、以及使用2004GCPs 進行高程改正後的 c2002LiDAR 和經無地面點控制之航帶平差後的 c2005LiDAR，比對方式分為內部精度與外部精度之比對，比對流程如圖 1-1。

#### §3-1 研究資料說明

本研究用以比對之數據依類型分為「空載光達地面點成果」及「地面檢核點」兩種。空載光達成果點雲依時期分為 2002 年、2005 年，各時期光達點雲資料皆經 TerraScan 完成地面點自動分類；地面檢核點則分為 2004 年、2005 年的 RTK 量測成果，以下分別介紹各時期數據。

##### §3-1-1 空載光達地面點成果

2002 年點雲數據為農委會在新竹地區以 Leica ALS40 系統掃瞄獲取，航高約 800m，共完成 19 個東西向的航帶資料，涵蓋面積約 58km<sup>2</sup>(11.7km×5km)。其中編號 1~9 的航帶為 4 月 14 日所獲取，10~19 的航帶則為 4 月 16 日掃瞄獲得，涵蓋範圍如圖 3-1 所示。各航帶帶寬平均約 680m，雷射點密度 0.71pts/m<sup>2</sup>，因此，相對之平均點距約 1.19m。航帶重疊帶寬平均約 433m，重疊百分比為 63.7%，包含重疊區點雲之整體密度為 1.745 pts/m<sup>2</sup>，相對之平均點距約 0.76m。

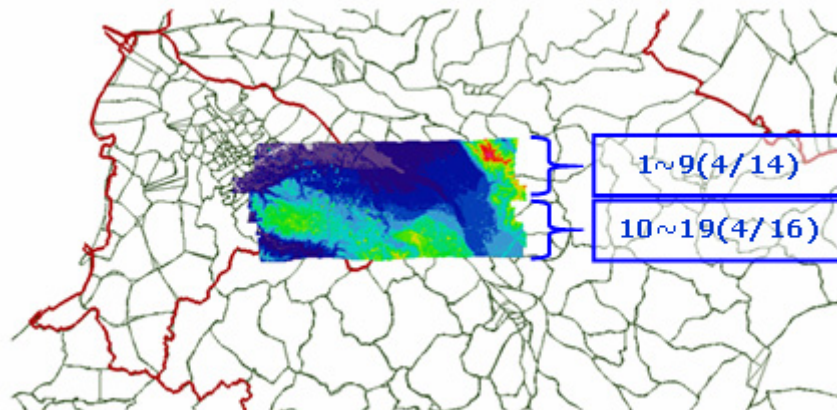


圖 3-1 2002 年新竹地區光達點雲數據涵蓋範圍

對於 2002 年之光達點雲數據，史與彭(2003)使用「航帶配對測點之高程比較法」的統計分析結果指出，2002 年新竹地區空載光達數據中航帶 9 與 10 之間的高程偏移量約 1.683m。另外，史與劉(2004)使用 2004 年於新竹地區規劃量測的地面檢核點進行比對檢核，計算結果得到，第 1~9 航帶之橢球高平均誤差 0.156m，均方根誤差 0.317m，標準偏差 0.277m；第 10~19 航帶之橢球高平均誤差為 1.685m，均方根誤差 1.762m，標準偏差 0.518m，結果顯示 2002 年之光達點雲數據有明顯之系統誤差，圖 3-2 為剖面檢視 2002 年光達點雲資料航帶 9、10 重疊區之高程偏移情形。

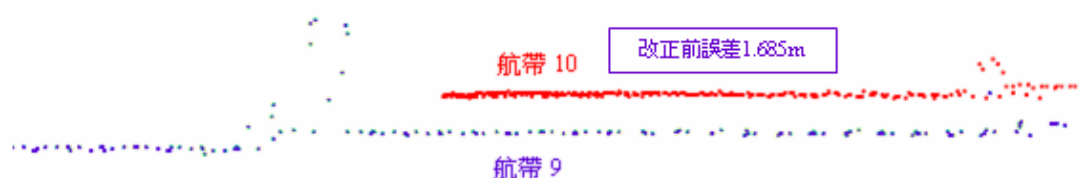


圖 3-2 2002 年光達點雲資料航帶 9、10 重疊區之高程偏移情形

光達點雲之座標因為由直接大地對位(Direct Georeferencing)所產生，所以基本上是 WGS84 地心座標系統(WGS84 Geocentric Coordinate System)，通常解算成果會經地圖投影轉換至 TWD97 座標系統。一般空載光達系統之子系統均需經過適當的率定，而且子系統之間的關係也需予以確定。絕大多數的空載光達系統率定參數是在出廠前於實驗室內獲得，這些參數理論上可維持不變，直到這套空載光達系統不再使用為止(Leica, 2003a；劉榮寬等，2005)。空載光達系統於量測前若已經適當的系統率定作業，其光達點雲之座標應與局部測區之橢球高座標一致，唯 2002 年新竹光達數據於不同天觀測狀況有所不同，故不為系統率定之問題，有可能是 GPS 處理時輸入天線高或基站高程時之錯誤，但係為推測，無從證實。若要重新處理點雲，則需要完整之 GPS/INS 及雷射之觀測數據。

2002 年數據之高程改正處理是使用 TerraScan 中 Adjust to Geoid 工具，以 2004 年量測的地面檢核點將原始掃瞄數據的點雲資料進行高程改正。一般而言，因為大地水準面(Geoid)非單純之數學面，所以光達高程改正無法以一個數學式定義之。因此，光達高程改正均以實地測量的點位所產生之模型來定義。

TerraScan 高程改正模式之輸入檔為一 X Y dZ 格式的文書檔。dZ 為對應於每一個實測點之實測高程與光達高程之差值，此差值可由 TerraScan Output Control Report 工具計算而得。其改正模式如圖 3-3，粗實線的黃色區域內為光達點雲之分布範圍，六個紅色點為輸入的 X Y dZ，若有光達點雲在實測範圍之外，則 TerraScan 將在點雲測區外圍處直接取用最近點之 dZ 值(Nearest Assignment Method)外插四個綠色角點，以便 dZ-TIN 模型涵蓋整個點雲測區。光達點雲中的每一個點再以線性內插方式調整其高程。

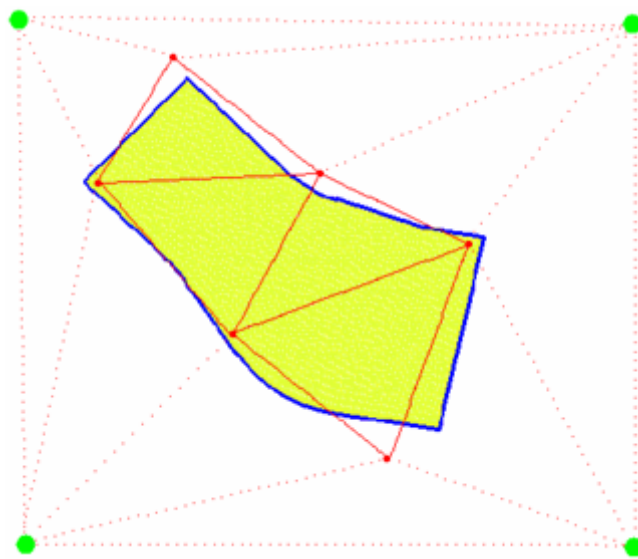


圖 3-3 TerraScan 高程改正模式(Terrasolid, 2004a)

史與劉(2004)直接利用橫切航帶之地面實測橢球高座標模型，與光達高程模型兩者進行套合改正。改正後計算結果得到，第 1~9 航帶之橢球高平均誤差 0.000m，均方根誤差 0.006m，標準偏差 0.006m；第 10~19 航帶之橢球高平均誤差 -0.001m，均方根誤差 0.052m，標準偏差 0.052m。圖 3-4 顯示經高程改正後，航帶 9、10 重疊區之高程間的落差已經消除。

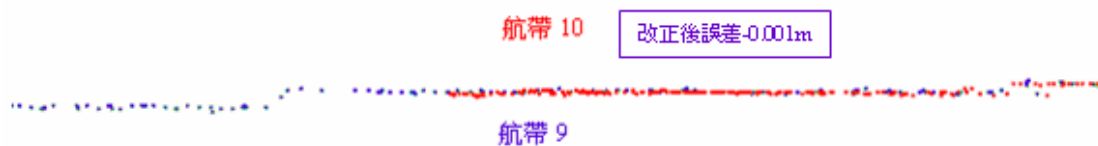


圖 3-4 經高程改正後 2002 年光達點雲航帶 9、10 重疊區之高程落差已經消除

2005 年之光達點雲數據為工研院執行內政部委辦計劃之部分成果，由 Leica ALS50 系統於新竹地區掃瞄獲取 24 個南北向航帶(ty021~ty044)，表 3-1 為各航帶飛航掃瞄參數，涵蓋範圍如圖 3-5 所示。各航帶帶寬平均約 1100m，雷射點密度  $0.867\text{pts}/\text{m}^2$ ，因此，相對之平均點距約 1.07m。航帶重疊帶寬平均約 450m，重疊百分比為 40.9%，包含重疊區點雲之整體密度為  $1.503\text{pts}/\text{m}^2$ ，相對之平均點距約 0.82m。

表 3-1 2005 年光達點雲數據飛航掃瞄參數

航線編號	航高(m)	航速(節)	FOV	掃瞄速度	掃瞄頻率	掃瞄日期
ty021~ty029	1485	127	43	24	59500	2005.06.06 A
ty030~ty031	1480	130	43	24	59500	2005.06.05 P
ty032~ty038	1500	129	43	24	59500	2005.06.02 A
ty039~ty044	1477	125	43	24	59500	2005.06.05 A

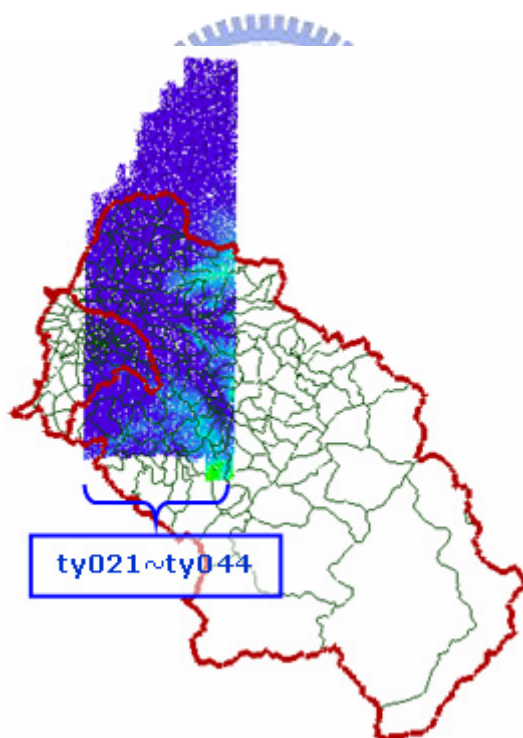


圖 3-5 2005 年新竹地區光達點雲數據涵蓋範圍

2005 年數據之平差處理是使用 TerraMatch 進行無地面控制點的航帶平差改正。TerraMatch 採用的演算法為 Burman (2002)提出，主要的未知參數有三個方向的平移量( $\text{offset}_x, \text{offset}_y, \text{offset}_z$ )與漂移量( $\text{drift}_x, \text{drift}_y, \text{drift}_z$ )，三個軸角的偏移量( $\text{dr}_p, \text{dr}_d, \text{dr}_h$ )與漂移量( $\text{drift}_r, \text{drift}_p, \text{drift}_h$ )，透過重疊區之分類地面點及地面檢核



點組成觀測矩陣，以最小二乘法進行求解計算，處理流程如圖 3-6(陳大科等，2005)。



圖 3-6 2005 年光達數據之平差處理流程

### §3-1-2 地面檢核點

2004 年新竹地區地面檢核點為新竹地區於民國 93 年 9 月 21 日、9 月 24 日及 10 月 4 日進行 RTK 量測而得，共測得 273 點。所有量測地面檢核點依量測日期及參考主站點號的不同，顯示如圖 3-7。圖中各顏色之對照如圖例所示，背景

影像是以 2005 年光達點雲的強度影像進行展示，而檢核點的分布範圍則涵蓋 2002 年光達點雲成果 19 個航帶的區域。

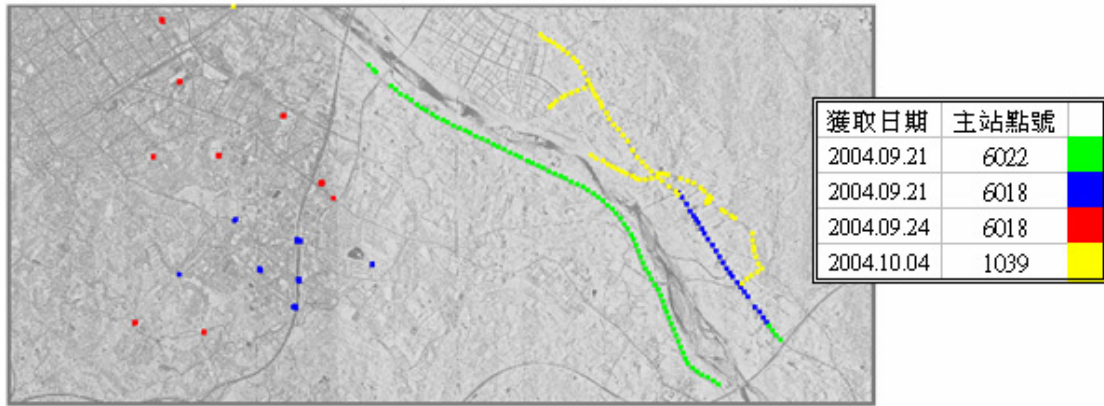


圖 3-7 2004 年新竹地區地面檢核點之分布範圍

2004 年地面檢核點的量測成果並未依土地覆蓋分成 5 大類，其選點方式亦未考量光達點雲之特殊狀況，因此使用地面檢核點與分類地面點進行高程比對時，需剔除不適合比對的地面檢核點以減少比對上的影響，例如：地測點位於屋頂上或橋上邊緣，但地面分類點中的對應點分布在河床、河邊(或地表面上)，如圖 3-8。

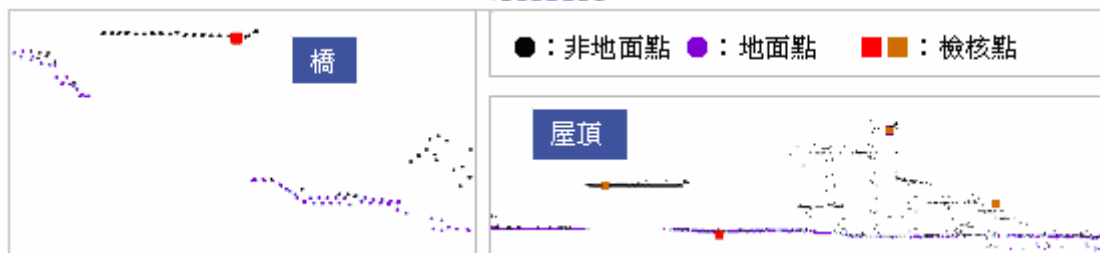


圖 3-8 位於橋上或屋頂上的檢核點

2005 年新竹地區地面檢核點共分為三個時期量測而得，分別為 8 月份桃竹苗地區、10 月份工研院中興院區及 11 月份於新竹地區東西向快速道路所量測之地面檢核點成果。8 月份及 10 月份的量測成果依土地覆蓋分 5 種類別(1.裸露地、2.矮植被、3.疏遮蔽樹林、4.森林密遮蔽區域、5.都會區)，如圖 3-9，每種地形約測量 30 個點，本研究只取裸露地類別之地面檢核點進行比對。



圖 3-9 五種土地覆蓋類別(圖片來源：工研院中興院區實測作業)

8 月份於桃竹苗一共量測 4 個地區(編號：B, C, D, L)，本研究區域之光達點雲只包含 C、D、L 三區，共 120 個裸露地類別的地面檢核點。10 月份工研院中興院區量測成果共 270 個地面檢核點，屬於裸露地類別的地面檢核點共 62 點。11 月份東西向快速道路上之量測成果則有 27 個地面檢核點。因此 2005 年總共有 209 個地面檢核點可供比對使用，各期地面檢核點分布狀況如圖 3-10 所示。

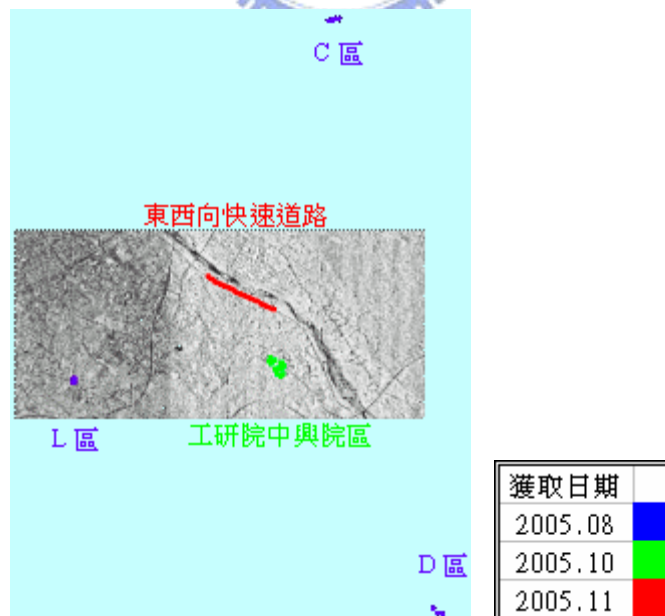


圖 3-10 2005 年新竹地區地面檢核點分布情形

上列各時期數據比對時的表示代碼整理如表 3-2。



表 3-2 各時期數據比對代碼

數據資料描述	表示代碼
2002 年農委會原始光達數據經自動分類後的地面點	2002LiDAR
2005 年工研院原始光達數據經自動分類後的地面點	2005LiDAR
2002LiDAR 經 2004GCPs 改正後的點雲	c2002LiDAR
2005LiDAR 經 TerraMatch 航帶平差改正後的點雲	c2005LiDAR
2004 年量測之地面檢核點	2004GCPs
依量測日期及參考主站點號	2004GCPs_0921_6018 2004GCPs_0921_6022 2004GCPs_0924_6018 2004GCPs_1004_1039
2005 年量測之地面檢核點	2005GCPs
依量測月份	2005GCPs_08 2005GCPs_10 2005GCPs_11

### §3-2 內部精度分析與探討

內部精度分析主要在於探討平差前後之航帶重疊區點雲高程資料的吻合程度(Internal Consistency)，本單元以 2002LiDAR、c2002LiDAR、2005LiDAR、c2005LiDAR 各時期各航帶重疊區之資料進行比對分析。各時期資料皆分別經由地面點自動分類後，針對所有地面點比較高程平均偏移量(Dz)及平均絕對誤差(Magnitude)。使用 TerraMatch 進行比對計算時，需於各航帶重疊區選取比對區域，進行比對樣區選取時，應盡量以地勢平坦及分類地面點較多的區域作為選取標準。各時期依垂直航帶方向的前(1)、中(2)、後(3)三區分別取樣，因此每一組重疊航帶會得到 3 個區域的內部精度計算成果，各時期取樣範圍如圖 3-11、圖 3-12 所示。各重疊區所選取的範圍大小依重疊區帶寬不同而調整，平均選取面積約 300m×300m，如圖 3-13。

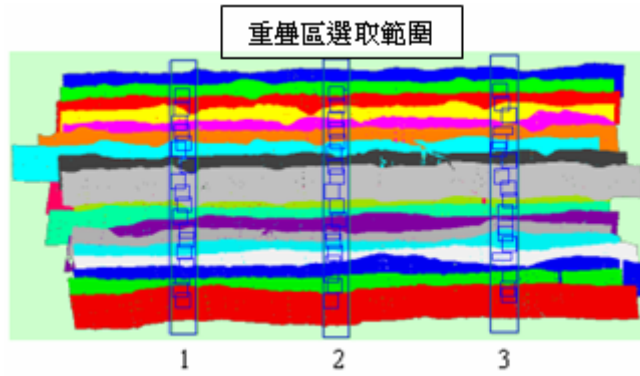


圖 3-11 2002LiDAR、c2002LiDAR 前(1)、中(2)、後(3)分區選取範圍

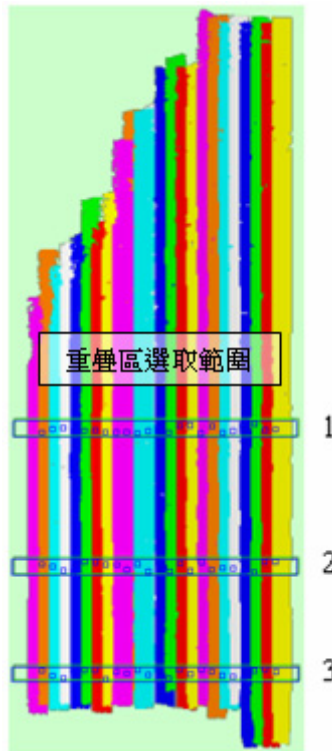


圖 3-12 2005LiDAR、c2005LiDAR 前(1)、中(2)、後(3)分區選取範圍

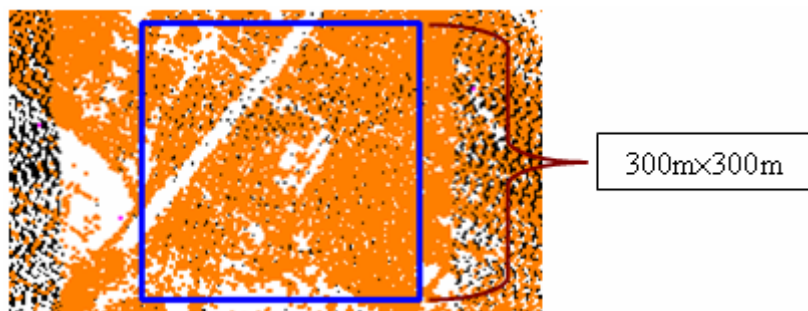


圖 3-13 內部精度評定航帶重疊區選取範圍示意

二時期各區比對成果如表 3-3、表 3-4 所示，由於進行數據掃瞄時航高皆在 1500 公尺以下，高程精度應可達 15 公分(劉進金，2005；Leica, 2003b)，於表中

將改正前後數據之內部精度依此評斷標準以顏色區分；紅色表誤差量過大，藍色表符合精度範圍。由表 3-3 看出，2002 年航帶數據以地面檢核點進行高程改正後，整體上只有航帶(9-10)的內部精度有改善，其餘航帶的內部精度則無明顯改善。航帶(11-12、14-15、17-18、18-19)改正前後的內部精度誤差量則皆保持過大的情形。由表 3-4 看出，經 TerraMatch 進行航帶平差的 2005 年航帶數據則是每個航帶間都明顯的調整，整體上的調整皆使內部精度達到改善，除了航帶(33-34)的內部精度在經過航帶平差後是變差的。航帶(26-27、29-30、38-39)在平差前為誤差量明顯過大的區域，經航帶平差後，整體的內部較差均小於 25cm。另外，航帶(39-40、40-41、43-44)在第 3 區與第 1、2 區的比對成果不一致，經檢視各航帶重疊區於該 3 區所選取的比對範圍與高程圖的關係，如表 3-5 所示，可看出航帶(39-40、40-41)在第 1、2 區為較平坦的地形，而第 3 區則為山區地形，因此該比對成果可能因為山區地形影響地面點分類而造成比對成果誤差量較大。航帶(43-44)在第 1、2 區則為變化較大的山區地形，而第 3 區為平坦地形，因此第 3 區之比對成果之可信度應較高。將表 3-3、表 3-4 之成果繪製成圖 3-14、圖 3-15，可看出各時期前(1)、中(2)、後(3)三區個別的內部精度計算成果皆相似。(附錄 A) 為各時期平差前後航帶重疊區剖面檢視圖。

表 3-3 2002LiDAR、c2002LiDAR 內部精度分析 (m)

重疊 航帶	1 區				2 區				3 區			
	改正前		改正後		改正前		改正後		改正前		改正後	
	Mag.	Dz	Mag.	Dz	Mag.	Dz	Mag.	Dz	Mag.	Dz	Mag.	Dz
1-2	0.080	0.061	0.077	0.064	0.080	0.071	0.078	0.073	0.076	0.074	0.072	0.076
2-3	0.079	-0.040	0.075	-0.043	0.089	-0.046	0.084	-0.044	0.071	-0.029	0.067	-0.028
3-4	0.105	0.152	0.104	0.155	0.102	0.086	0.094	0.086	0.078	0.053	0.073	0.057
4-5	0.124	0.198	0.121	0.197	0.115	0.159	0.110	0.157	0.071	0.079	0.069	0.079
5-6	0.096	-0.024	0.088	-0.035	0.079	-0.006	0.076	-0.005	0.070	0.062	0.067	0.063
6-7	0.103	-0.051	0.096	-0.047	0.069	-0.028	0.066	-0.026	0.065	0.000	0.062	-0.003
7-8	0.100	0.037	0.098	0.031	0.059	0.015	0.056	0.012	0.079	0.088	0.076	0.080
8-9	0.092	0.114	0.093	0.123	0.095	0.157	0.092	0.156	0.099	0.135	0.096	0.135
9-10	0.469	0.691	0.078	-0.061	0.551	1.071	0.093	-0.020	0.441	0.639	0.209	-0.362
10-11	0.075	0.039	0.071	0.037	0.082	0.031	0.077	0.027	0.078	0.002	0.075	0.003
11-12	0.197	0.355	0.195	0.351	0.186	0.336	0.182	0.336	0.161	0.237	0.157	0.238
12-13	0.098	-0.114	0.093	-0.113	0.135	-0.188	0.132	-0.182	0.150	-0.186	0.144	-0.179
13-14	0.077	-0.075	0.077	-0.075	0.116	-0.030	0.113	-0.036	0.124	-0.095	0.118	-0.095
14-15	0.162	0.294	0.158	0.290	0.181	0.328	0.178	0.327	0.229	0.426	0.227	0.425
15-16	0.108	0.080	0.103	0.079	0.106	0.077	0.102	0.077	0.105	0.065	0.101	0.066
16-17	0.130	-0.001	0.129	-0.001	0.088	-0.051	0.085	-0.054	0.155	-0.129	0.151	-0.138
17-18	0.196	-0.278	0.194	-0.270	0.135	-0.186	0.131	-0.183	0.128	-0.162	0.127	-0.154
18-19	0.145	-0.206	0.145	-0.200	0.156	-0.247	0.157	-0.251	0.177	-0.281	0.175	-0.277

表 3-4 2005LiDAR、c2005LiDAR 內部精度分析 (m)

重疊 航帶	1 區				2 區				3 區			
	平差前		平差後		平差前		平差後		平差前		平差後	
	Mag.	Dz	Mag.	Dz	Mag.	Dz	Mag.	Dz	Mag.	Dz	Mag.	Dz
21-22	0.066	0.028	0.066	-0.052	0.123	-0.043	0.132	-0.133	0.192	0.256	0.173	0.176
22-23	0.059	-0.003	0.071	-0.081	0.101	0.077	0.094	-0.012	0.173	0.147	0.164	0.072
23-24	0.076	0.071	0.068	0.044	0.098	0.046	0.096	0.028	0.117	0.043	0.115	0.025
24-25	0.089	0.105	0.083	0.056	0.183	0.186	0.179	0.169	0.193	-0.071	0.191	-0.103
25-26	0.079	0.059	0.067	0.023	0.104	-0.086	0.110	-0.128	0.139	0.129	0.132	0.096
26-27	<b>0.172</b>	<b>0.319</b>	<b>0.094</b>	<b>0.121</b>	<b>0.172</b>	<b>0.332</b>	<b>0.086</b>	<b>0.128</b>	<b>0.251</b>	<b>0.245</b>	<b>0.209</b>	<b>0.079</b>
27-28	0.095	0.157	0.067	0.003	0.084	0.108	0.070	-0.049	0.160	0.079	0.163	-0.073
28-29	0.077	0.073	0.074	0.031	0.079	0.081	0.072	0.036	<b>0.212</b>	<b>0.232</b>	<b>0.212</b>	<b>0.220</b>
29-30	<b>0.220</b>	<b>-0.392</b>	<b>0.131</b>	<b>-0.132</b>	<b>0.198</b>	<b>-0.306</b>	<b>0.134</b>	<b>-0.056</b>	<b>0.255</b>	<b>-0.402</b>	<b>0.184</b>	<b>-0.165</b>
30-31	<b>0.163</b>	<b>0.228</b>	<b>0.137</b>	<b>0.110</b>	<b>0.128</b>	<b>0.149</b>	<b>0.111</b>	<b>0.020</b>	<b>0.209</b>	<b>0.149</b>	<b>0.199</b>	<b>0.039</b>
31-32	0.162	0.088	0.173	-0.111	0.103	0.016	0.124	-0.174	0.248	0.013	0.253	-0.135
32-33	<b>0.175</b>	<b>-0.151</b>	<b>0.162</b>	<b>-0.038</b>	<b>0.142</b>	<b>-0.196</b>	<b>0.108</b>	<b>-0.100</b>	<b>0.171</b>	<b>-0.236</b>	<b>0.129</b>	<b>-0.089</b>
33-34	<b>0.137</b>	<b>-0.003</b>	<b>0.193</b>	<b>0.328</b>	<b>0.149</b>	<b>0.180</b>	<b>0.248</b>	<b>0.451</b>	<b>0.156</b>	<b>-0.079</b>	<b>0.193</b>	<b>0.227</b>
34-35	0.151	0.109	0.131	-0.030	0.101	0.086	0.098	-0.072	0.152	0.209	0.126	0.049
35-36	0.170	0.051	0.176	-0.058	0.126	0.020	0.133	-0.118	0.199	0.154	0.180	0.024
36-37	0.149	0.091	0.144	-0.051	0.146	0.112	0.134	0.012	0.154	0.105	0.141	-0.018
37-38	<b>0.246</b>	<b>0.311</b>	<b>0.238</b>	<b>0.279</b>	<b>0.125</b>	<b>0.153</b>	<b>0.112</b>	<b>0.101</b>	<b>0.163</b>	<b>0.130</b>	<b>0.159</b>	<b>0.117</b>
38-39	<b>0.303</b>	<b>0.481</b>	<b>0.171</b>	<b>0.053</b>	<b>0.278</b>	<b>0.533</b>	<b>0.102</b>	<b>0.023</b>	<b>0.355</b>	<b>0.674</b>	<b>0.170</b>	<b>0.222</b>
39-40	0.138	0.066	0.133	-0.007	0.086	0.079	0.081	-0.006	<b>0.236</b>	<b>0.237</b>	<b>0.227</b>	<b>0.169</b>
40-41	0.119	0.101	0.111	-0.002	0.096	0.069	0.082	-0.040	<b>0.248</b>	<b>0.202</b>	<b>0.238</b>	<b>0.104</b>
41-42	0.164	0.021	0.159	-0.043	0.149	0.093	0.147	0.038	0.175	0.110	0.171	0.063
42-43	0.239	-0.109	0.239	-0.097	0.133	0.059	0.130	0.051	0.152	0.077	0.151	0.076
43-44	<b>0.181</b>	<b>0.214</b>	<b>0.160</b>	<b>0.024</b>	<b>0.198</b>	<b>0.227</b>	<b>0.173</b>	<b>0.050</b>	<b>0.125</b>	<b>0.048</b>	<b>0.135</b>	<b>-0.129</b>

表 3-5 航帶(39-40; 40-41; 43-44)於前(1)、中(2)、後(3)三區選取範圍與高程關係

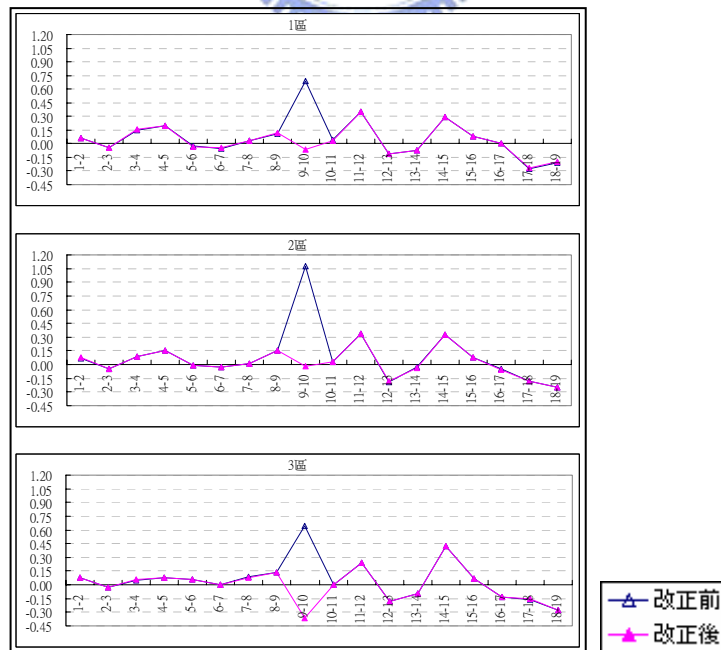
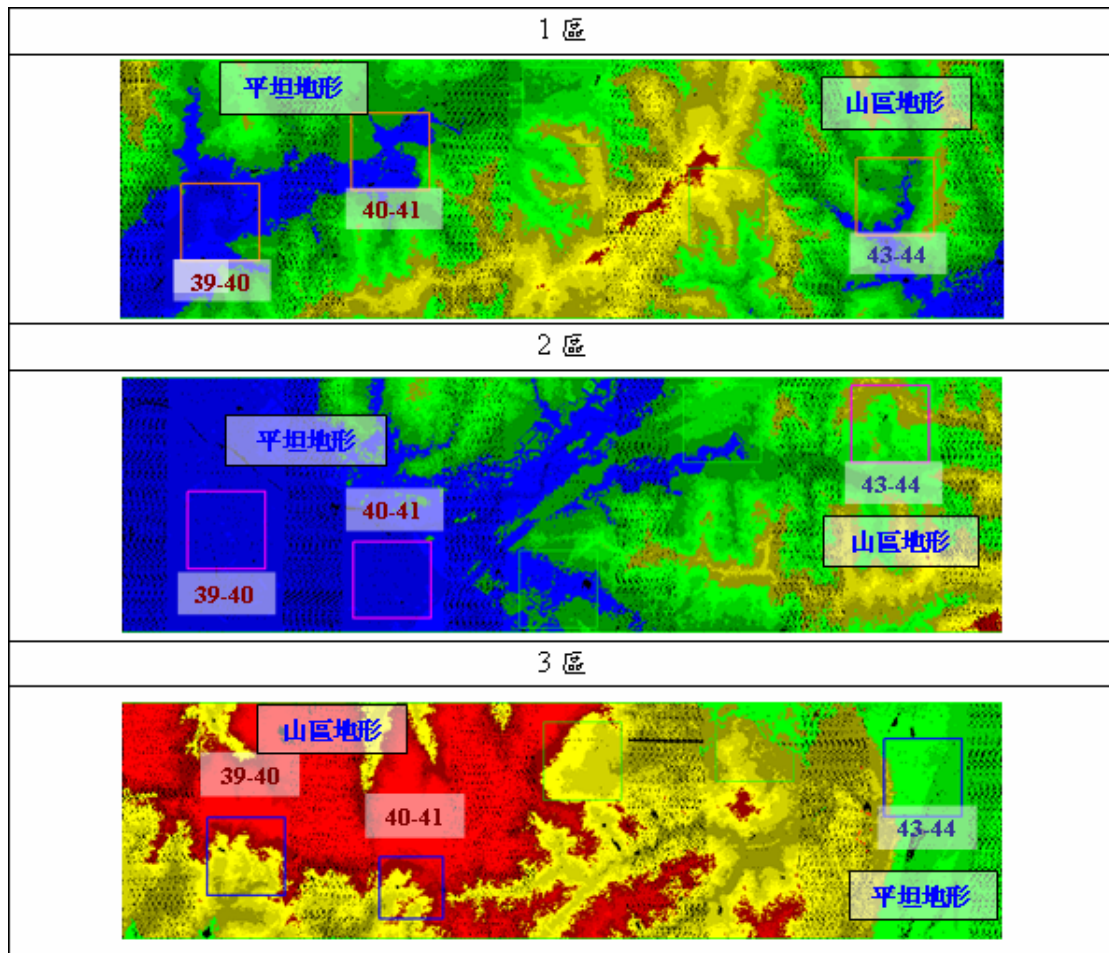


圖 3-14 2002 年內部精度分析成果





圖 3-15 2005 年內部精度分析成果

### §3-3 外部精度分析與探討

外部精度分析是將各時期光達點雲成果經由地面點自動分類後與地面檢核點進行高程比對。本單元以 2004GCPs 與 2002LiDAR、c2005LiDAR 以及 2005GCPs 與 2005LiDAR、c2005LiDAR 進行比對。

#### §3-3-1 2004GCPs 與 2002LiDAR、c2005LiDAR 比對

2004 年新竹地區量測的地面檢核點共 273 點，經剔除不適合比對之地面檢核點後，共餘 237 個地面檢核點。本節以 2002 年空載光達各航帶編號作為基準，將 c2005LiDAR 數據依 2002 年航帶 1~19 各區域範圍切割出，再進行比對，切割示意如圖 3-16。以此方式進行切割，除了讓 c2005LiDAR 和 2002LiDAR 之間有一個相同的比對基準外。另外，由於 c2005LiDAR 航帶為南北向飛行掃瞄之成果，因此透過東西向範圍切割出的點雲進行比對，便不考慮 c2005LiDAR 各航帶點雲資料因獲取日期之不同而影響比對成果的因素，因為是依照 2002 年空載光達成果之航帶編號切割出，故本文中以擬航帶稱之。

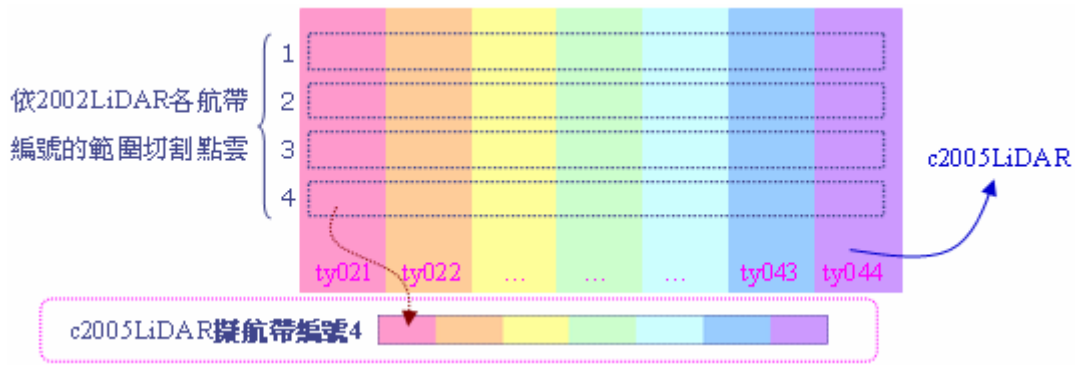


圖 3-16 c2005LiDAR 切割示意圖

比對結果如表 3-6，成果顯示 2002 年第 1~9 航帶之橢球高平均誤差為 0.160m，均方根誤差 0.315m，標準偏差 0.270m，第 10~19 航帶之橢球高平均誤差為 1.733m，均方根誤差 1.780m，標準偏差 0.410m，與史與劉(2004)研究報告成果相近。2005 年第 1~9 擬航帶之橢球高平均誤差則為 0.104m，均方根誤差 0.230m，標準偏差 0.205m，第 10~19 擬航帶之橢球高平均誤差為-0.019m，均方根誤差 0.382m，標準偏差 0.354m，整體平均高程誤差量為 0.039m。

表 3-6 2004GCPs 與 2002LiDAR、c2005LiDAR 高差比對成果 (m)

2004GCPs 比對 2002LiDAR					2004GCPs 比對 c2005LiDAR						
編號	檢核點數	Mean dz	RMS	Stdev	Mean dz	擬編號	檢核點數	Mean dz	RMS	Stdev	Mean dz
1	18	0.090	0.197	0.181	0.160	1	26	0.143	0.293	0.260	0.104
2	24	0.198	0.458	0.422		2	36	0.120	0.282	0.259	
3	29	0.090	0.376	0.372		3	44	0.124	0.252	0.221	
4	26	0.173	0.378	0.343		4	45	0.124	0.246	0.215	
5	25	0.252	0.331	0.219		5	54	0.128	0.218	0.178	
6	35	0.213	0.304	0.220		6	58	0.114	0.193	0.158	
7	49	0.134	0.260	0.225		7	66	0.089	0.172	0.148	
8	49	0.137	0.249	0.210		8	72	0.068	0.187	0.175	
9	52	0.154	0.285	0.242		9	66	0.026	0.228	0.228	
10	35	1.802	1.835	0.351	1.733	10	50	-0.015	0.288	0.290	-0.019
11	33	1.668	1.733	0.477		11	51	-0.065	0.324	0.321	
12	23	1.785	1.837	0.444		12	39	-0.141	0.397	0.376	
13	37	1.540	1.593	0.413		13	44	-0.194	0.408	0.363	
14	35	1.393	1.436	0.351		14	49	-0.148	0.390	0.365	
15	38	1.631	1.683	0.418		15	48	-0.139	0.386	0.365	
16	26	1.833	1.885	0.449		16	47	-0.076	0.385	0.382	
17	22	1.788	1.839	0.438		17	35	0.099	0.414	0.408	
18	21	1.937	1.984	0.440		18	27	0.205	0.412	0.364	
19	12	1.951	1.974	0.315		19	19	0.287	0.416	0.309	
Mean		0.988	1.086	0.344		Mean		0.039	0.310	0.283	

將上列二年度各航帶點雲與 2004GCPs 之橢球高平均誤差(Mean dz)比對結果繪製如圖 3-17。

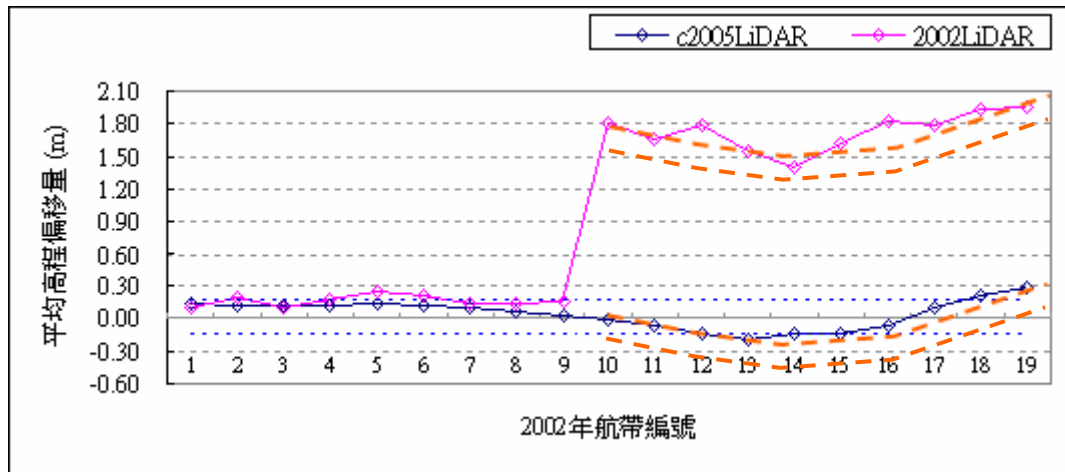


圖 3-17 二時期點雲成果與 2004GCPs 比對之平均高程偏移量

圖 3-17 中顯示 2002LiDAR 航帶 10~19 存在高達 1.7m 的系統誤差量。而 c2005LiDAR 的比對成果顯示，除了擬航帶 13、18 及 19 之誤差量偏高外，其餘擬航帶的誤差量皆在正負 15cm 以內。由表 3-6、圖 3-17 可看出，二時期誤差量在航帶 13 與擬航帶 13 處有偏低，且航帶 18、19 與擬航帶 18、19 處有偏高之趨勢(橘色趨勢線)。由於 2002LiDAR 含有明顯系統誤差，因此只經由剖面方式檢視 c2005LiDAR 與 2004GCPs 比對成果中，高程誤差量較大的地面檢核點分布位置，由表 3-7 之檢視成果顯示，地面檢核點周圍並無類似紐澤西護欄等可能致使地面檢核點與分類地面點高程差距偏高或偏低的物體，但其高程偏移量卻高達正負 60~70cm 之高。由上述檢視成果，初步推論 2004GCPs 本身可能含有誤差。因此，嘗試將 c2005LiDAR 與 2004GCPs 比對成果之高程偏移量超過正負 20cm 的檢核點分布情形進行視覺化展示，如圖 3-18，結果發現高程誤差量之正負分布情形有集中之現象。

表 3-7 剖面點雲檢視 c2005LiDAR 和 2004GCPs 分布情形

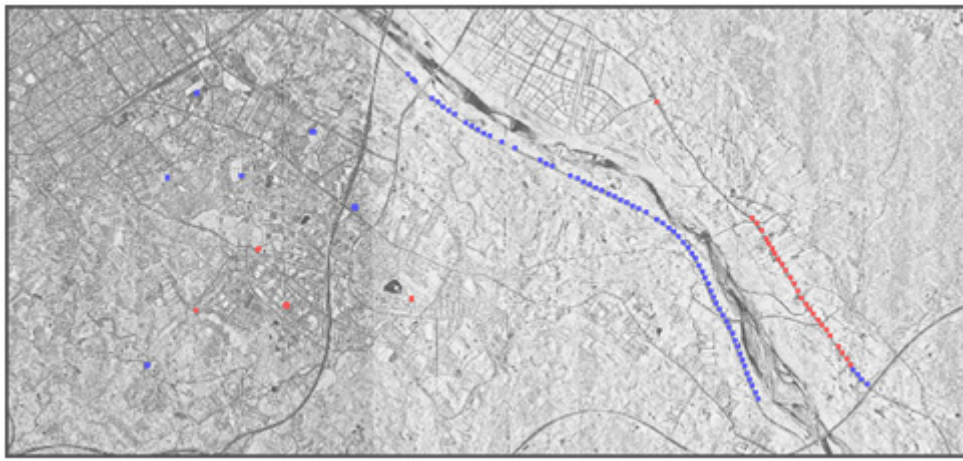
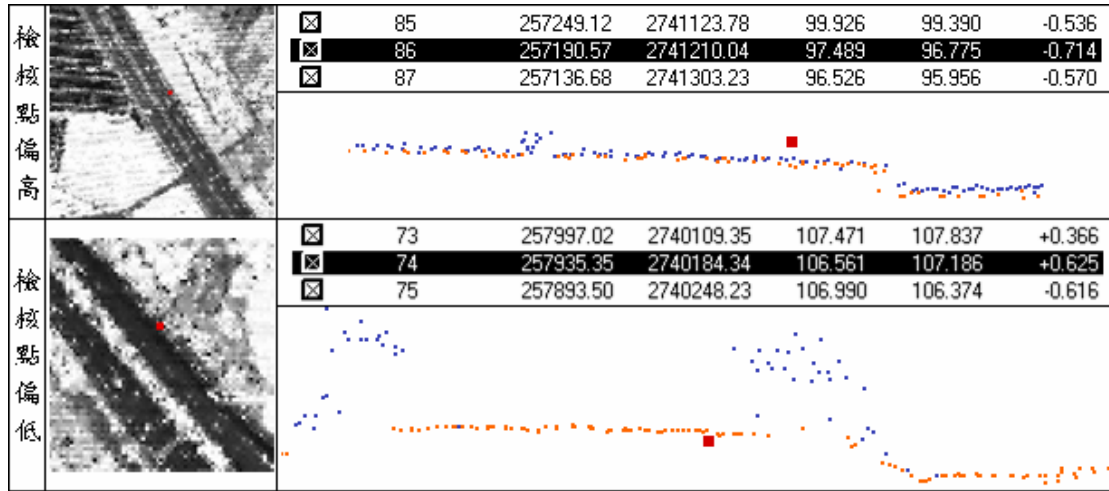


圖 3-18 c2005LiDAR 比對 2004GCPs 超過正負 20cm 的檢核點分布情形

圖 3-18 中，藍色點群表示檢核點較雷射點低，紅色點群則表示檢核點較雷射點高。此偏移量的高低分布情形與 2004GCPs 的獲取日期、主站點號之不同有明顯的可區分性。為驗證上述問題，重新以 c2005LiDAR 的航帶資料(ty024~ty029 及 ty037、ty038)與不同獲取日期的 2004GCPs 進行比對，成果如表 3-8。表中可看出，同樣為 ty037 的航帶點雲與不同量測時間之地面檢核點比對的高程偏移量高低情形卻不同，該量值平均甚達 50cm 之大。比對結果顯示 2004GCPs\_0921\_6018 皆較雷射點高約 50cm，同日之 2004GCPs\_0921\_6022 則皆較雷射點低約 50cm；2004GCPs\_1004\_1039 與雷射點則無明顯過高的情形；而 2004GCPs\_0924\_6018 則皆較雷射點低約 25cm。

表 3-8 以 2004GCPs 比對 c2005LiDAR 的航帶資料 (m)

比對項目		檢核點數	Mean dz	RMS	Stdev
2004 地面檢核點	2005 航帶點雲數據				
2004GCPs_0921_6018	ty037	2	-0.463	0.463	0.025
	ty038	14	-0.543	0.543	0.059
2004GCPs_0921_6022	ty037	25	0.435	0.439	0.062
	ty038	11	0.560	0.566	0.085
2004GCPs_1004_1039	ty037	25	0.007	0.075	0.076
	ty038	17	0.042	0.078	0.068
2004GCPs_0924_6018	ty024~ty029	31	0.257	0.267	0.073

由當年量測單位經內業檢核，發現 2004 年地面檢核點 RTK 量測成果有解算上的錯誤，將 9 月 21 日量測成果進行修正後(2004GCPs\_edit)重新與 2002LiDAR、c2005LiDAR 比對如表 3-9。成果顯示 2002 年第 1~9 航帶之橢球高平均誤差為 0.020m，均方根誤差 0.174m，標準偏差 0.170m，第 10~19 航帶之橢球高平均誤差為 1.801m，均方根誤差 1.812m，標準偏差 0.172m。2005 年第 1~9 擬航帶之橢球高平均誤差則為-0.052m，均方根誤差 0.186m，標準偏差 0.179m，第 10~19 擬航帶之橢球高平均誤差為 0.055m，均方根誤差 0.192m，標準偏差 0.196m，整體平均高程誤差量為 0.004m。

表 3-9 2004GCPs\_edit 與 2002LiDAR、c2005LiDAR 高差比對成果 (m)

2004GCPs_edit 比對 2002LiDAR						2004GCPs_edit 比對 c2005LiDAR					
編號	檢核點數	Mean dz	RMS	Stdev	Mean dz	擬編號	檢核點數	Mean dz	RMS	Stdev	Mean dz
1	18	-0.021	0.106	0.107	0.020	1	26	0.008	0.138	0.140	-0.052
2	24	0.094	0.420	0.418		2	36	-0.033	0.136	0.134	
3	29	0.020	0.350	0.355		3	44	-0.035	0.193	0.192	
4	26	0.057	0.334	0.336		4	45	-0.098	0.205	0.182	
5	25	0.012	0.071	0.071		5	54	-0.067	0.217	0.209	
6	35	-0.002	0.057	0.058		6	58	-0.076	0.221	0.210	
7	49	-0.030	0.062	0.055		7	66	-0.070	0.205	0.194	
8	49	-0.016	0.070	0.069		8	72	-0.050	0.191	0.185	
9	52	0.068	0.093	0.065		9	66	-0.050	0.171	0.165	
10	35	1.773	1.782	0.180	1.801	10	50	-0.015	0.189	0.190	0.055
11	33	1.714	1.771	0.453		11	51	-0.026	0.163	0.163	
12	23	1.850	1.862	0.213		12	39	0.001	0.154	0.156	
13	37	1.744	1.746	0.087		13	44	0.034	0.169	0.167	
14	35	1.680	1.682	0.090		14	49	0.026	0.158	0.158	
15	38	1.856	1.858	0.093		15	48	0.050	0.197	0.193	
16	26	1.891	1.893	0.092		16	47	0.084	0.215	0.200	
17	21	1.878	1.880	0.096		17	34	0.109	0.261	0.241	
18	20	1.872	1.883	0.210		18	26	0.144	0.144	0.251	
19	11	1.751	1.762	0.207	19	18	0.147	0.272	0.236		
Mean		0.957	1.036	0.171		Mean		0.004	0.189	0.188	

由表 3-9 中各航帶橢球高平均誤差及標準偏差的改善情形，以及表 3-10 中 2005LiDAR、c2005LiDAR 各航帶資料 (ty024~ty029 及 ty037、ty038) 與 2004GCPs\_edit 的比對成果，可看出 2004GCPs 的問題得到了改善。

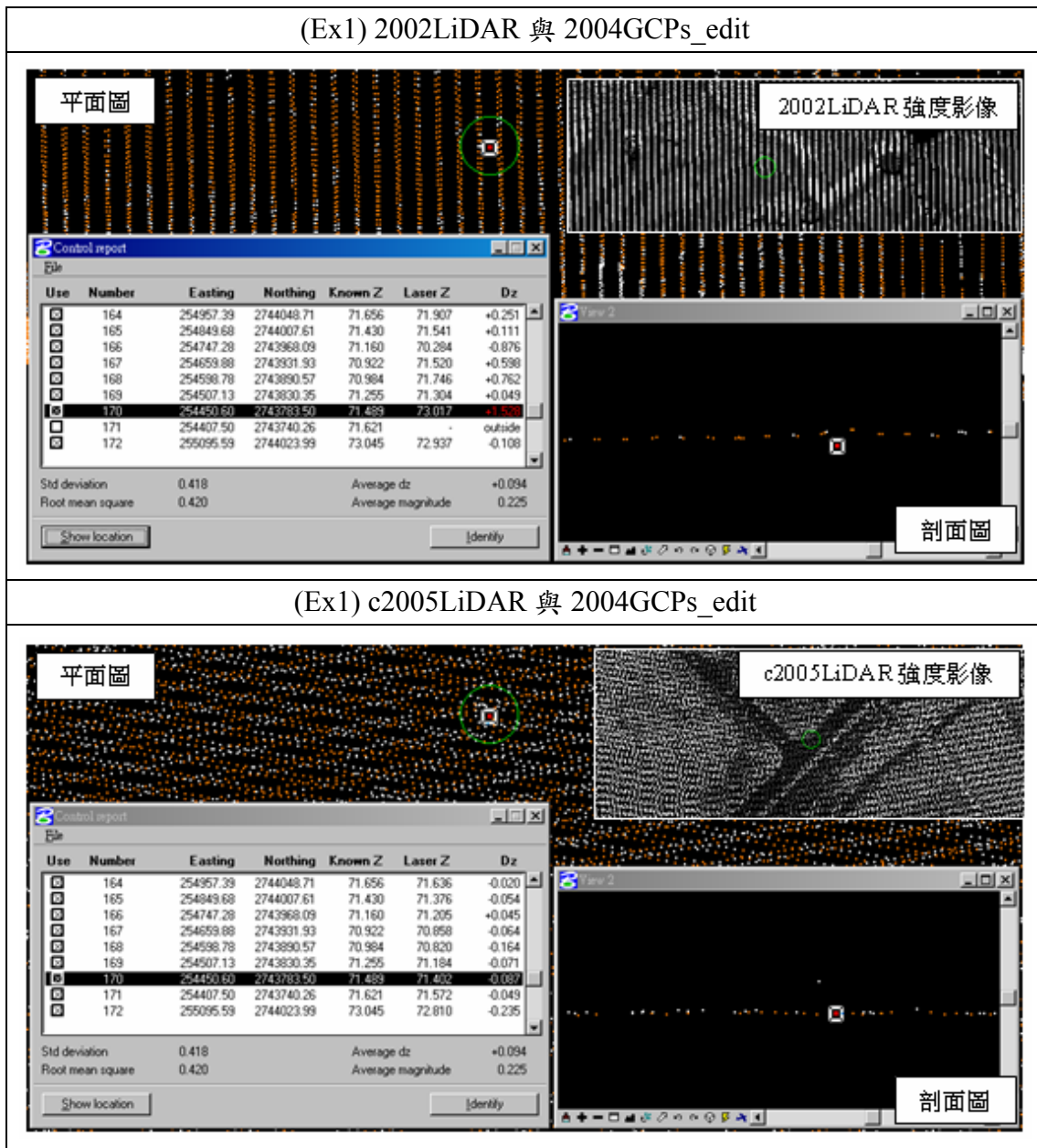


表 3-10 以 2004GCPs\_edit 比對 2005LiDAR、c2005LiDAR 各航帶點雲 (m)

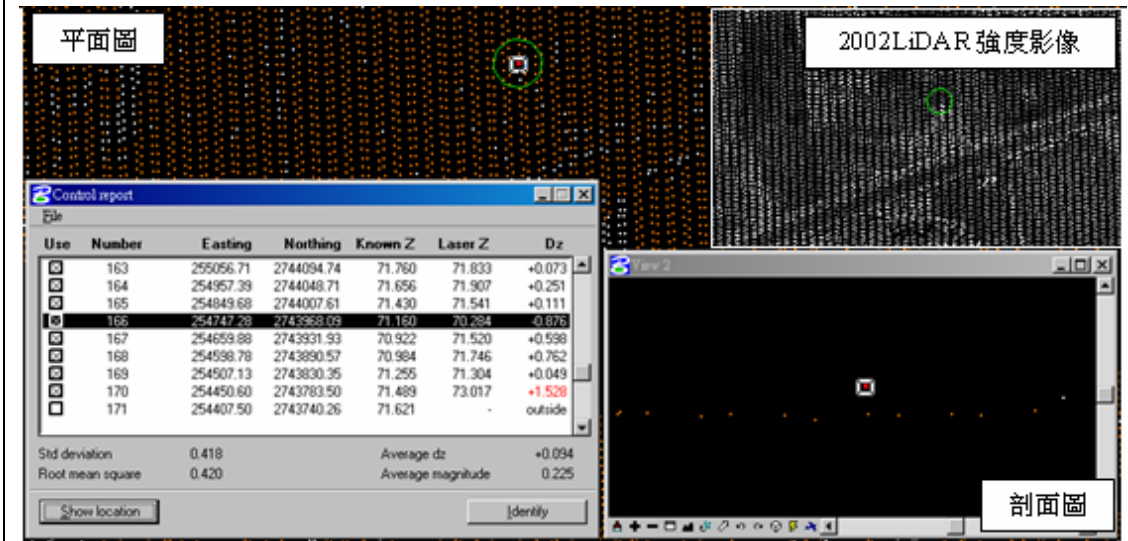
比對項目		檢核點數	Mean dz	RMS	Stdev	
2004 地面檢核點	2005 航帶點雲數據					
2004GCPs_edit_0921_6018	ty037	平差前	2	0.003	0.028	0.039
		平差後	2	0.038	0.042	0.025
	ty038	平差前	14	0.064	0.086	0.059
		平差後	14	-0.038	0.069	0.059
2004GCPs_edit_0921_6022	ty037	平差前	25	0.008	0.082	0.083
		平差後	25	-0.066	0.090	0.062
	ty038	平差前	11	0.086	0.117	0.083
		平差後	11	0.059	0.100	0.085
2004GCPs_1004_1039	ty037	平差前	25	0.119	0.164	0.115
		平差後	25	0.007	0.075	0.076
	ty038	平差前	17	0.122	0.140	0.071
		平差後	17	0.042	0.078	0.068
2004GCPs_0924_6018	ty024~ty029	平差前	31	0.224	0.240	0.088
		平差後	31	0.257	0.267	0.073

雖然以 2004GCPs\_edit 進行比對的整體成果得到了改善，但由表 3-9 中可看出，航帶 2、3、4 在 2004GCPs\_edit 比對 2002LiDAR 的橢球高平均誤差量皆小於 10cm，標準偏差卻高達 40cm。此情形在 2004GCPs\_edit 比對 c2005LiDAR 的成果中則不存在。經剖面及光達強度影像檢視該航帶內的地面檢核點與光達點雲之分布情形，發現該原因是由於 2004 年量測的某些地面檢核點所在之地形已不同於 2002 年之地形所致，檢視成果整理如表 3-11，表中可看出 2004GCPs 於 c2005LiDAR 強度影像顯示為在道路上量測的地面檢核點，但在 2002LiDAR 強度影像中卻顯示該區當時尚未開闢成道路。

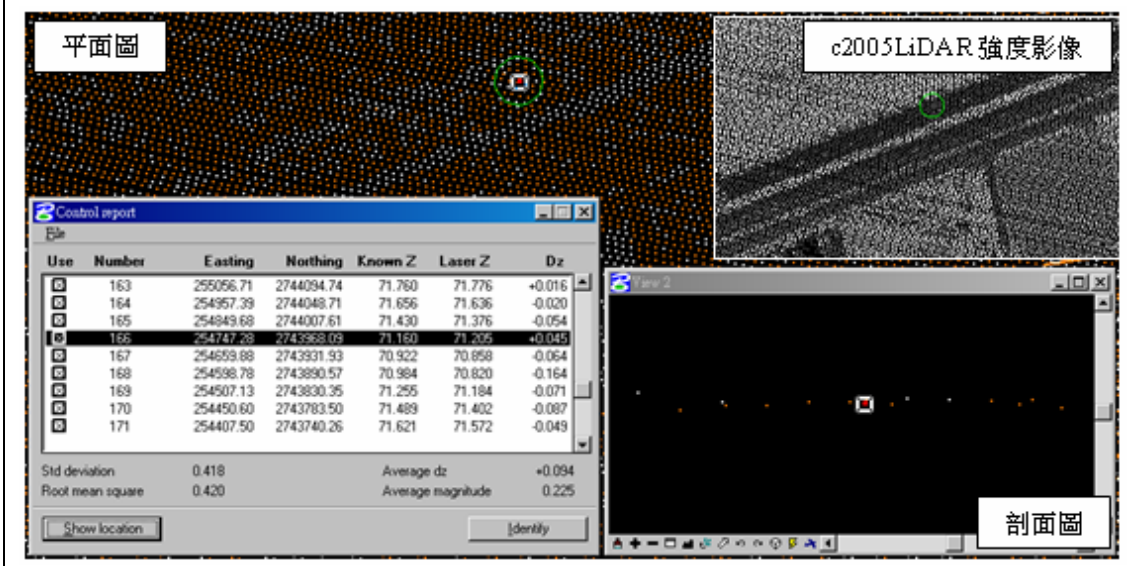
表 3-11 檢視 2002LiDAR、c2005LiDAR 比對 2004GCPs\_edit 標準偏差過大情形



(Ex2) 2002LiDAR 與 2004GCPs\_edit



(Ex2) c2005LiDAR 與 2004GCPs\_edit



### §3-3-2 2005GCPs 與 2005LiDAR、c2005LiDAR 比對

本節以各時期的 2005GCPs 與 2005LiDAR 及 c2005LiDAR 各航帶點雲資料進行高程偏移量比對，成果整理如表 3-12。

表 3-12 2005GCPs 與 2005LiDAR、c2005LiDAR 高差比對成果 (m)

比對項目			檢核點數	Mean dz	RMS	Stdev	比對航帶掃瞄日期	
2005GCPs_08	L 區	ty024	平差前	40	0.191	0.196	(2005/06/06A)	
			平差後	40	0.255	0.258		
		ty025	平差前	2	0.160	0.160		0.006
			平差後	2	0.264	0.264		0.007
	C 區	ty037	平差前	22	-0.017	0.058	(2005/06/02A)	
			平差後	22	0.006	0.051		0.052
		ty038	平差前	39	0.037	0.069		0.059
			平差後	39	-0.008	0.062		0.062
	D 區	ty043	平差前	37	0.260	0.267	(2005/06/05A)	
			平差後	38	0.027	0.066		0.061
		ty044	平差前	19	0.247	0.248		0.023
			平差後	19	-0.064	0.068		0.023
2005GCPs_10	ty034	平差前	11	0.046	0.074	(2005/06/02A)		
		平差後	11	-0.082	0.097		0.055	
	ty035	平差前	59	-0.002	0.078		0.078	
		平差後	59	-0.123	0.143		0.073	
2005GCPs_11	ty031	平差前	3	0.110	0.012	(2005/06/05P)		
		平差後	4	-0.088	0.009		0.035	
	ty032	平差前	11	0.034	0.009	(2005/06/02A)		
		平差後	12	-0.223	0.062		0.116	
	ty033	平差前	12	-0.066	0.016		0.106	
		平差後	12	-0.272	0.090		0.130	
	ty034	平差前	11	-0.089	0.012		0.071	
		平差後	11	-0.185	0.045		0.110	
	ty035	平差前	4	-0.050	0.003		0.031	
		平差後	4	-0.181	0.033		0.012	

由表 3-10 及表 3-12 中的 ty037、ty038 以及 ty024、ty025 與 ty024~ty029 等欄位，可看出 2004GCPs\_edit、2005GCPs 與 2005LiDAR、c2005LiDAR 比對成果的一致性。而由整體的橢球高平均誤差、標準偏差以及表 3-12 中 2005GCPs\_10、2005GCPs\_11 與 ty034、ty035 各航帶的平均高程偏移量變化情形，可看出 2005GCPs 各月份量測成果無先前 2004GCPs 比對時所呈現的系統性誤差。綜合上列比對成果可得，平差前航帶 ty032~ty038(05/06/02A)的高程偏移量皆小於 10cm 以內，此結果合乎一般光達量測成果的高程精度，但這些航帶在進行無地面控制點的航帶平差後，高程偏移量反而提高到將近 30cm。而航帶 ty043、ty044(05/06/05A)經航帶平差後，高程誤差則是由原本的 26cm 降低到 10cm 以內。航帶 ty024、ty025(05/06/06A)在航帶平差前後的高程誤差則由原本的 19cm 提高到 26cm。將上列比對成果依掃描日期及航帶編號繪製如圖 3-19。比對成果可看出 2005 年平差前後之光達點雲與地面檢核點之高程偏移量變化並無一致性的改善或變差之趨勢。

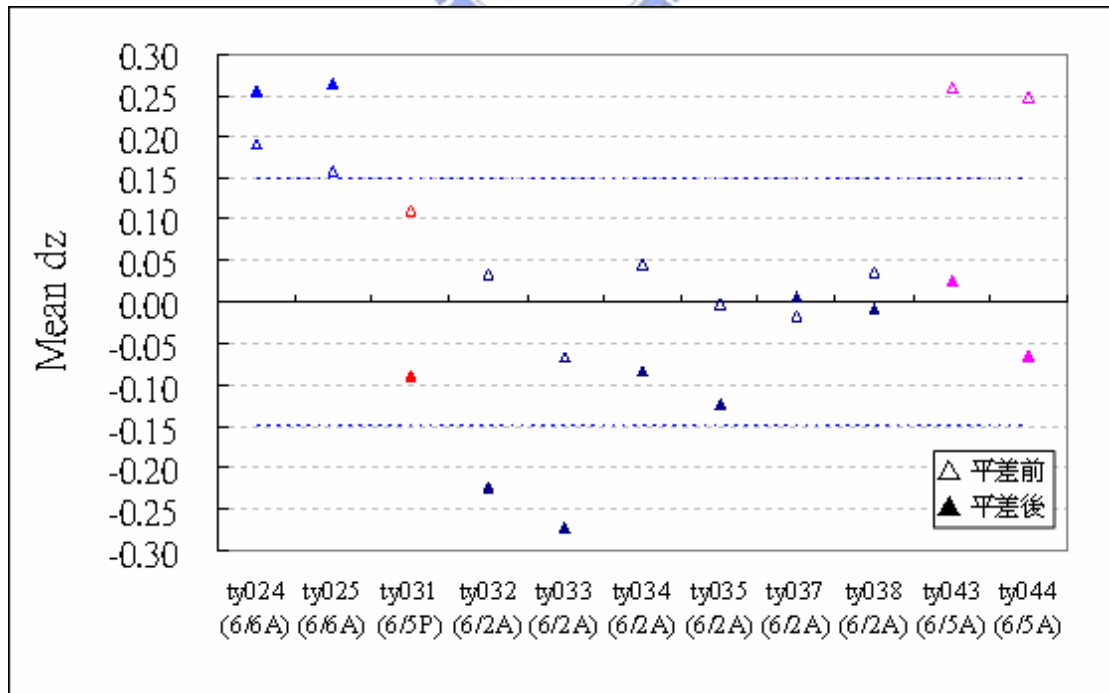


圖 3-19 2005GCPs 與 2005LiDAR、c2005LiDAR 高差比對成果



## 第四章 光達成果平面線形萃取與比對探討

平面比對的部分，本研究進行光達數據成果之平面特徵物線形萃取，並以 1/1000 線繪圖作為地真資料，評估其平面偏移量。

研究中採二個方向進行光達點雲之平面資訊萃取的測試，方向一嘗試使用光達點雲的強度及高度資訊進行道路特徵的萃取。方向二使用光達點雲高度資訊進行建物點雲萃取，並透過影像處理技術找尋建物邊緣及角點，由萃取成果疊合 1/1000 線繪圖進行視覺化分析及數理統計分析。使用的光達數據為 2002LiDAR、2005LiDAR，光達建物邊緣萃取比對流程與方法如圖 1-2 所示。

### §4-1 以強度資訊萃取道路特徵測試

#### §4-1-1 流程方法介紹

本測試參考 Clode 等(2004)，提出使用光達資料中的高度及強度資訊進行道路區域萃取的方法進行實作。選取實作區域大小為 500m x 500m，該區強度影像如圖 4-1 所示。地真資料為亞新國土科技股份有限公司於民國 90 年 7 月產製的 1/1000 璞玉發展計畫數值航測地形圖。

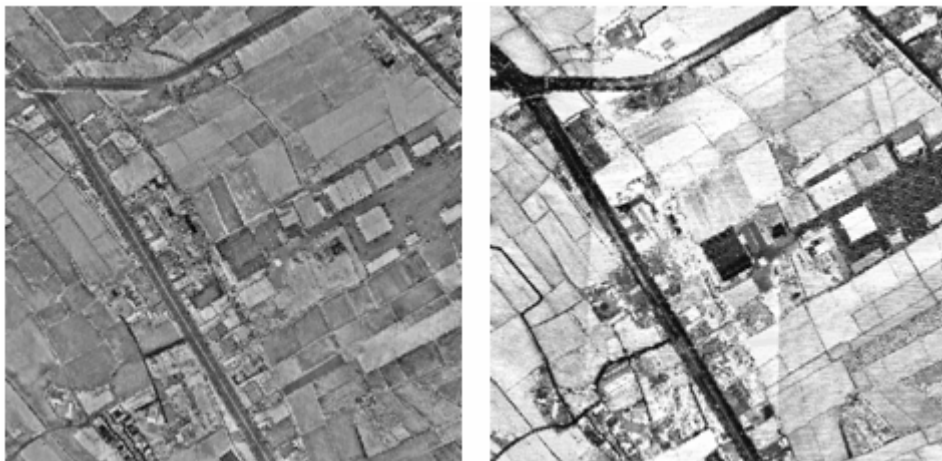


圖 4-1 研究區域之強度影像(左: 2002，右: 2005)



本測試實作流程步驟如圖 4-2 所示。

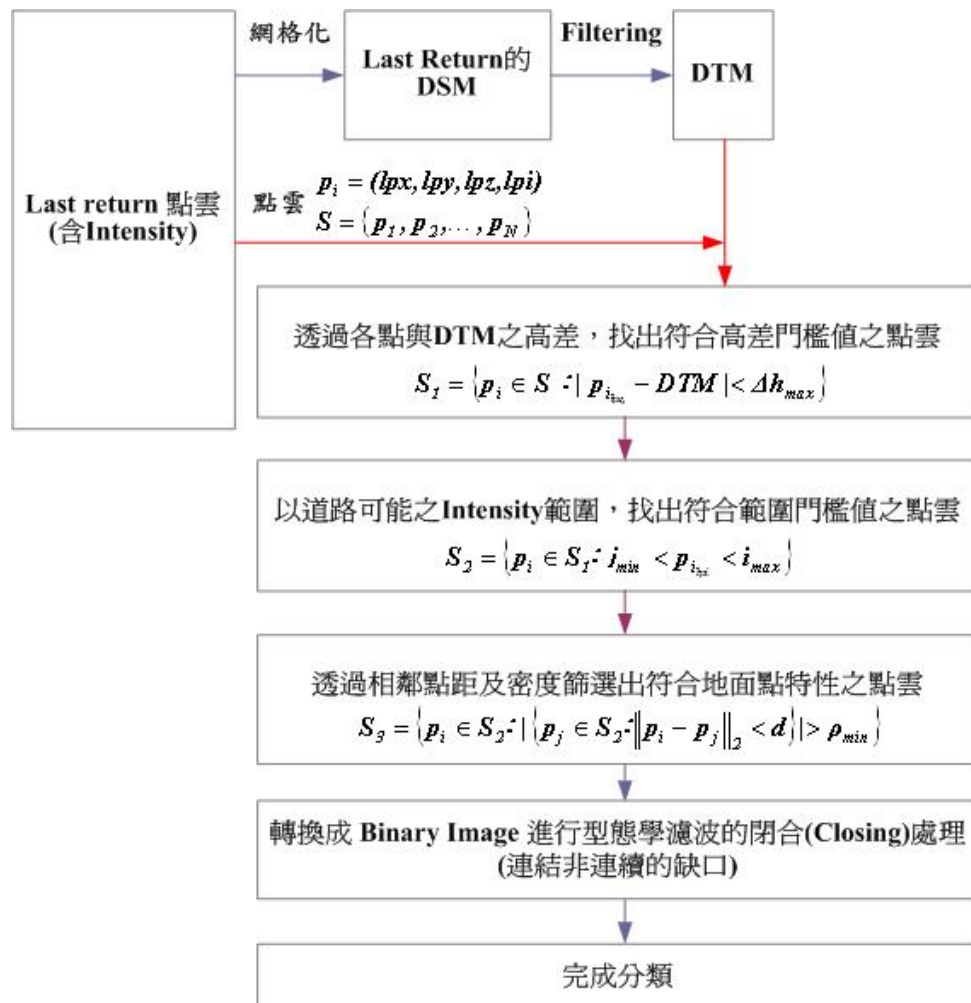


圖 4-2 以高度及強度資訊萃取道路流程圖(Clode 等, 2004)

## §4-1-2 方法實作

首先將原始點雲進行粗差濾除後，取 Last return 點雲內插為 1m DSM 網格數據，透過 TerraScan 軟體(Terrasolid, 2004)以預設參數值進行地物點濾除，並產生 1m DTM 網格數據。再將原始的 Last return 點雲與 DTM 網格數據進行高差計算，因空載光達雷射掃描若以小型飛機為載具且航高約 1000m 時，其平面精度約為 60cm，高程精度約為 20cm (王與曾，2003)，故設定其高差門檻值為 0.2m。以此門檻條件所篩選出的點雲為  $S_1$  集合( $S_1 = \{p_i \in S : |p_{i_{pz}} - DTM| < \Delta h_{max}\}$ )，該點集

合成果如圖 4-3。由此階段成果中可看出，大部分屬於建物等較高的點雲群都被剔除。

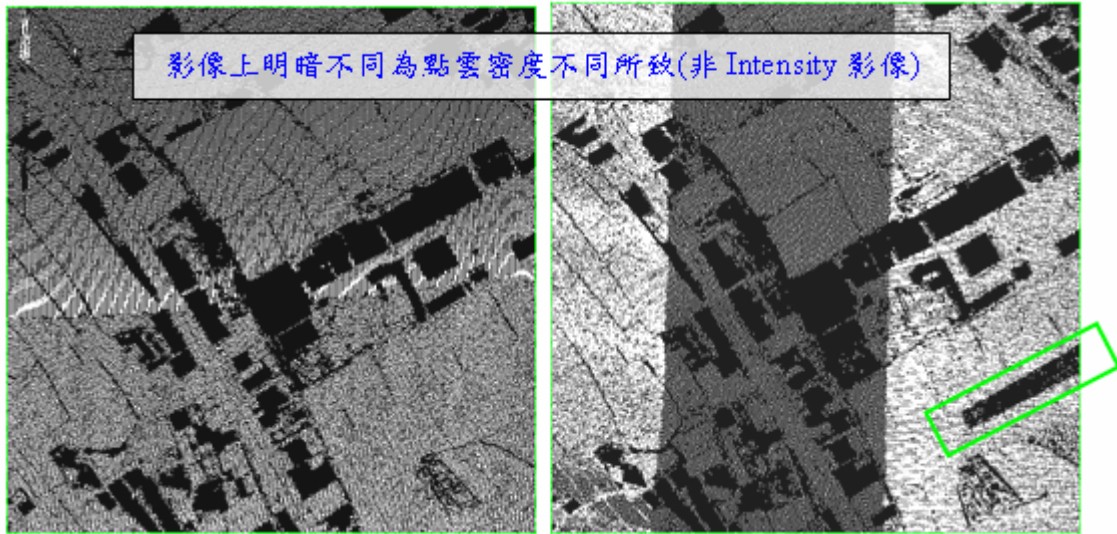


圖 4-3 研究區域之 S1 點集合影像(左: 2002，右: 2005)

接著使用強度(Intensity)門檻值篩選  $S_1$  點雲群。本研究中道路區域之強度門檻值範圍的求定方法為，從 1/1000 地形圖的道路區域位置範圍內選出部分點雲樣本(由  $S_1$  點雲群選出)，統計其點雲樣本之 Intensity 分佈範圍，並取其第 1 分位數(First quartile)及第 3 分位數(Third quartile)之值作為強度門檻值，表 4-1 為各時期道路區域點雲資料樣本之強度資訊統計結果。參照統計結果，取 2002LiDAR 點雲之道路區強度門檻值為 7.5~13.0；取 2005LiDAR 點雲之道路區強度門檻值為 2.0~7.5。透過此門檻值，從  $S_1$  點雲群篩選出  $S_2$  點雲集合 ( $S_2 = \{p_i \in S_1: i_{\min} < p_{i_{pi}} < i_{\max}\}$ )，成果如圖 4.4。

表 4-1 道路區點雲樣本強度資訊統計結果

	2002LiDAR	2005LiDAR
Number of values	8977	4954
Mean	10.7	5.859
First quartile	7.8	2.2
Third quartile	12.9	7.3
門檻值範圍	7.5~13	2~7.5

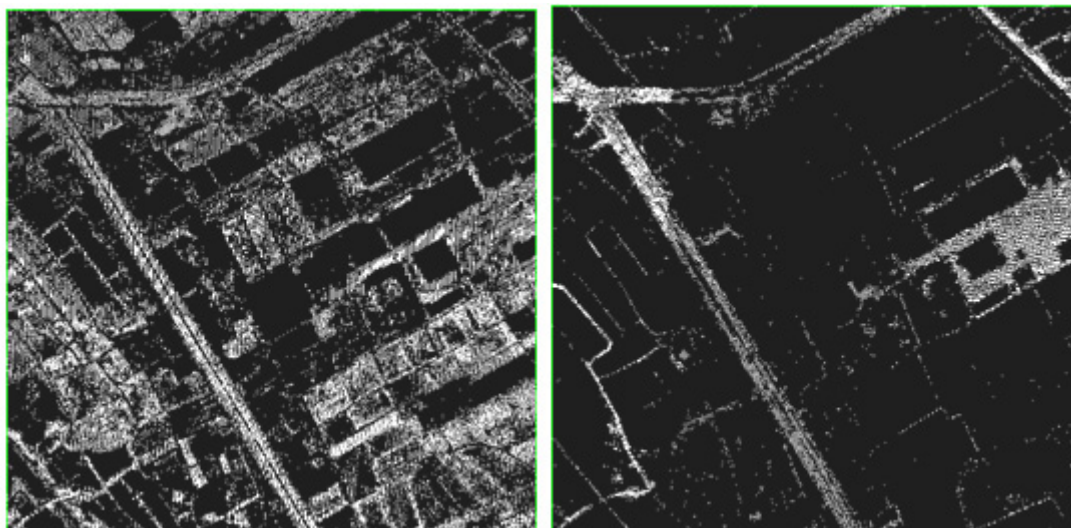


圖 4-4 研究區域之  $S_2$  點集合影像(左: 2002, 右: 2005)

最後的篩選條件是假設在一般情況下，若屬於道路類別的點雲，以該點為圓心所畫的圓，至少會有 1/4 的圓應該包含道路區域上，示意如圖 4-5，故可以透過相鄰點雲之「距離」、「密度」兩項限制條件進行篩選。距離通常是給定小於或等於一半路寬的量級(Clode 等, 2004)；密度則依情況給定。經人工量測此區域最大路寬約 16m，因此給定條件參數  $d$  為 8m；密度則給定 20 pts/circle(光達點雲平均密度 1.6 pts/m<sup>2</sup>，換算成直徑 8m 之 1/4 圓面積密度)。透過此門檻值，從  $S_2$  點雲群篩選出  $S_3$  點雲集合( $S_3 = \{p_i \in S_2 : |\{p_j \in S_2 : \|p_i - p_j\|_2 < d\}| > \rho_{\min}\}$ )，成果如圖 4-6。

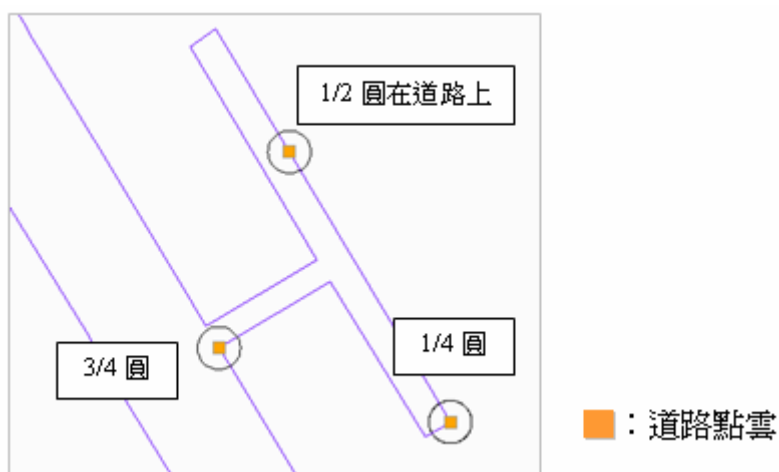


圖 4-5 屬於道路類別的點雲特性

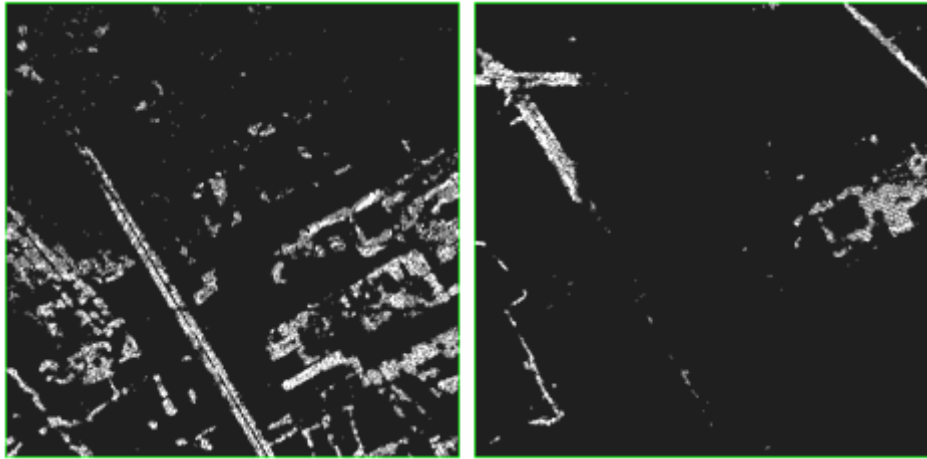


圖 4-6 研究區域之  $S_3$  點集合影像(左: 2002, 右: 2005)

$S_3$  為最終篩選出的點雲集合，將其進行  $3 \times 3$  型態學濾波器的閉合(Closing)處理，用意是將離散非連續的點雲缺口進行連結，如圖 4-7。再將閉合處理後成果之邊界進行向量化，並與 1/1000 線繪圖疊合，如圖 4-8。

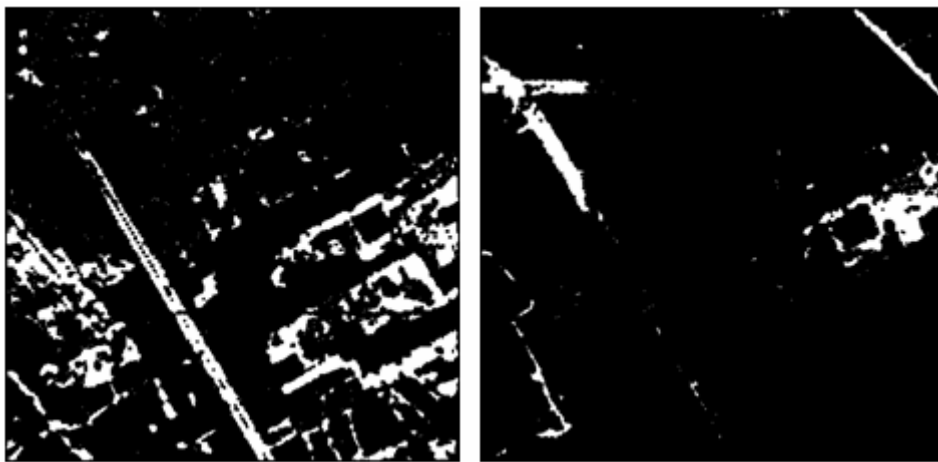


圖 4-7  $S_3$  點集合影像經型態學濾波器閉合處理(左: 2002, 右: 2005)

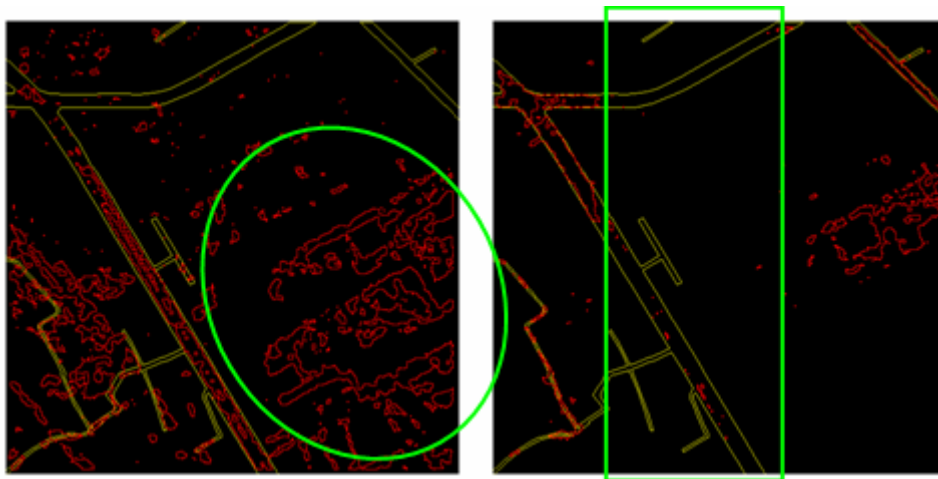


圖 4-8 道路邊界萃取成果與線繪圖疊合(左: 2002, 右: 2005)



### §4-1-3 實作成果探討

本階段之研究測試係透過一些門檻值的給定，以篩選出符合道路區域特性之點雲，共可得到  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$  三個不同階段的點雲集合成果。由  $S_1$  的篩選成果可看出，大部分屬於建物等較高的點雲群均被剔除了，在此階段的成果中，2002LiDAR 與 2005LiDAR 剩下的點雲群分布狀況並無太大的差異，唯圖 4-3 中，2005LiDAR 右下方多出的一座新建建物被剔除掉。而在  $S_2$  的篩選成果中可看出 2002LiDAR 與 2005LiDAR 透過 Intensity 範圍門檻值過濾後，其所剩餘之點雲群分布狀況的差異性非常明顯。整體而言，由  $S_2$  成果可看出 2002LiDAR 的 Intensity 所含的 Noise 較大，因此其分類成果不如預期的好；而 2005LiDAR 以 Intensity 資訊所篩選出的道路點雲集合之成果則相對較佳。最後由距離及密度門檻值所篩選出來的  $S_3$  成果顯示出，對於非航帶重疊區域，此方法受密度條件影響甚大，如圖 4-8(2005LiDAR)綠框處所示。

由以上成果可知，此方法之分類成果對 Intensity 資訊和密度門檻值的影響非常敏感。尤其對於 2002LiDAR 而言，單單使用 Intensity 資訊是無法明確的將道路點雲分類出來的，如圖 4-8(2002LiDAR)綠框處所示。由此所示，以該方法進行二個不同時期空載光達之道路萃取有其困難處，因此下一章節則另使用高度資訊進行光達平面特徵萃取之研究探討。

## §4-2 以高度資訊萃取建物特徵

### §4-2-1 研究區域說明

本研究使用 2002LiDAR、2005LiDAR 光達數據，以國家科學委員會共同樣區作為實驗區域，該區域大小為 1500m x 1000m，高程灰階影像(Range Image)如圖 4-9 所示。實驗區之地真資料為中華顧問工程公司於民國 91 年 10 月產製的新竹科學工業園區 1/1000 航空測量地形圖。

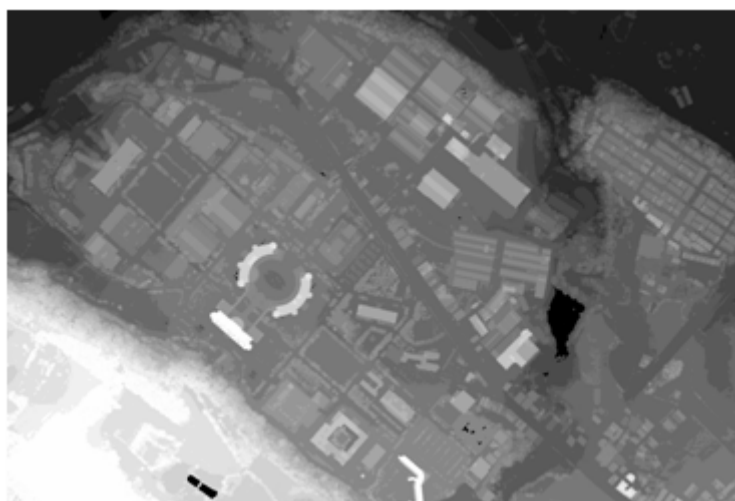


圖 4-9 實驗區之高程灰階影像

### §4-2-2 研究流程方法擬訂與探討

本研究主要目的是針對空載光達成果進行建物邊緣資訊的萃取，並與 1/1000 線繪圖進行比對，以評估光達平面成果。

研究流程方法主要的構想是，藉由光達點雲高程資訊組成高程影像後，透過影像處理技術找尋建物邊緣，以進行光達平面資訊的萃取。然而在平面資訊萃取的過程中會碰到一些問題，如(1)光達資料中含有掃瞄遮蔽的陰影區域時，會影響內插影像之建物邊緣，(2)使用 Canny(1986)邊緣偵測時，其成果之梯度最大處有時並非真正的建物邊緣等。這些問題將呈現於以下幾個擬訂的研究流程中，藉由不同流程之測試及探討以改善問題的癥結，取得最佳之萃取成果。



### §4-2-2-1 流程方法一測試與探討

圖 4-10 為本研究於平面資訊萃取所提出的第一個流程方法，萃取程序主要分為光達數據網格化、影像雜訊濾除、邊緣線偵測及萃取成果評估等 4 個步驟。



圖 4-10 平面資訊萃取流程方法一

透過流程一的方法進行建物邊緣萃取，並將成果與 1/1000 線繪圖進行套合比對，可看出 2005LiDAR 萃取成果中，某些建物邊緣的線形誤差量明顯較大，如圖 4-11 紅框處所示，紅色線段誤差量標示處約達 4.8m 及 2.5m。



圖 4-11 萃取成果中線形誤差量較大的部分

而由圖 4-11 中可看出 2005LiDAR 於此建物線型誤差大的地方皆偏向建物之北方。此偏差之引發原因在於光達掃瞄時因建物遮蔽而造成掃瞄的區域無點雲資料存在，這些情況尤其在掃瞄航帶兩端邊緣處更為明顯，如圖 4-12 所示。

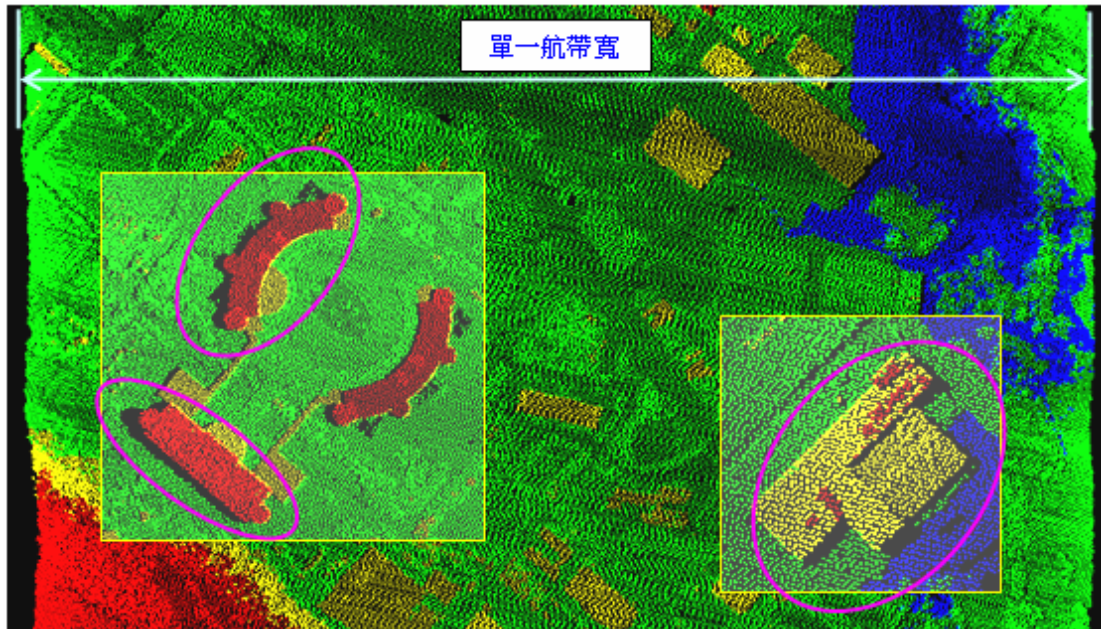


圖 4-12 2005LiDAR 因建物造成的遮蔽區域無點雲資料

然而航帶重疊的掃瞄雖然可以增加這些遮蔽區域的點雲，但仍可能存在遺漏的區域，如圖 4-13 所示。若在這些區域中利用三角網格線性內插模式 (Triangulation with Linear Interpolation) 進行內插後，該陰影區本來是垂直牆面旁的一塊平地，內插後卻變成一塊陡坡面(張小紅，2002)，因此其高程灰階影像中的建物邊緣萃取成果將會受影響，如圖 4-14。

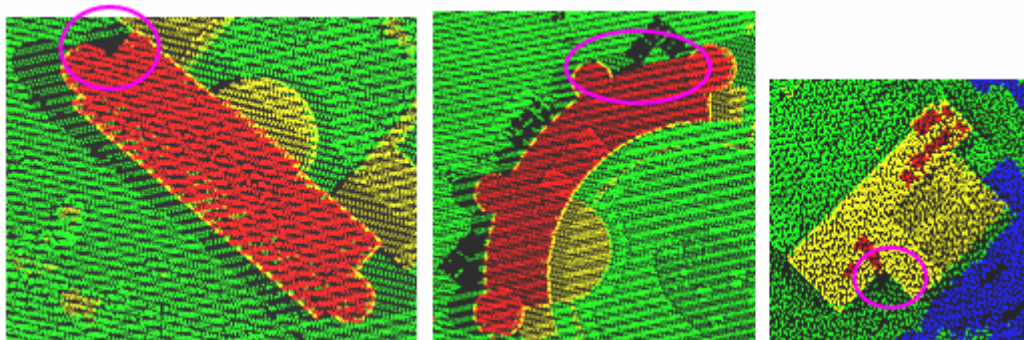


圖 4-13 2005LiDAR 遮蔽區域航帶重疊後仍有無點雲資料處

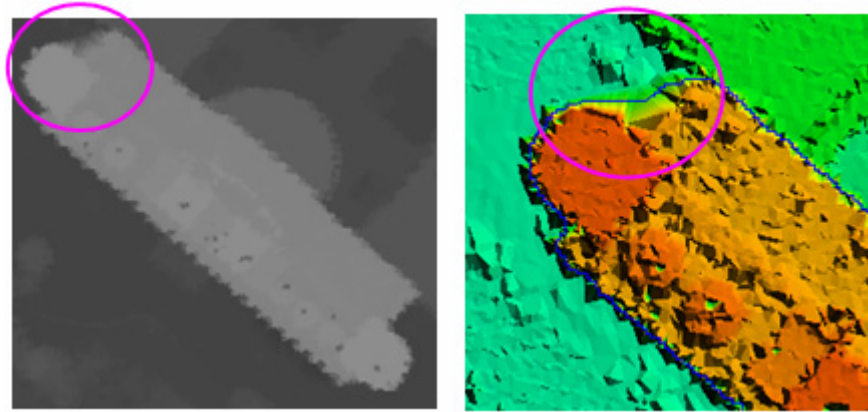


圖 4-14 2005LiDAR 遮蔽區域無點雲資料造成建物邊緣高程內插錯誤

本階段研究之目的在於萃取建物邊緣，並進行光達成果之評估，若以流程一進行建物邊緣萃取，其萃取成果將受到上述問題之影響而造成評估之不可行。因此改用流程方法二進行建物邊緣萃取，以求改善因內插方法而引起的問題。

#### §4-2-2-2 流程方法二測試與探討

圖 4-15 為本研究於平面資訊萃取提出的第二個流程方法，萃取程序主要分為建物點雲分類、光達數據網格化、邊緣線偵測及萃取成果評估等步驟。

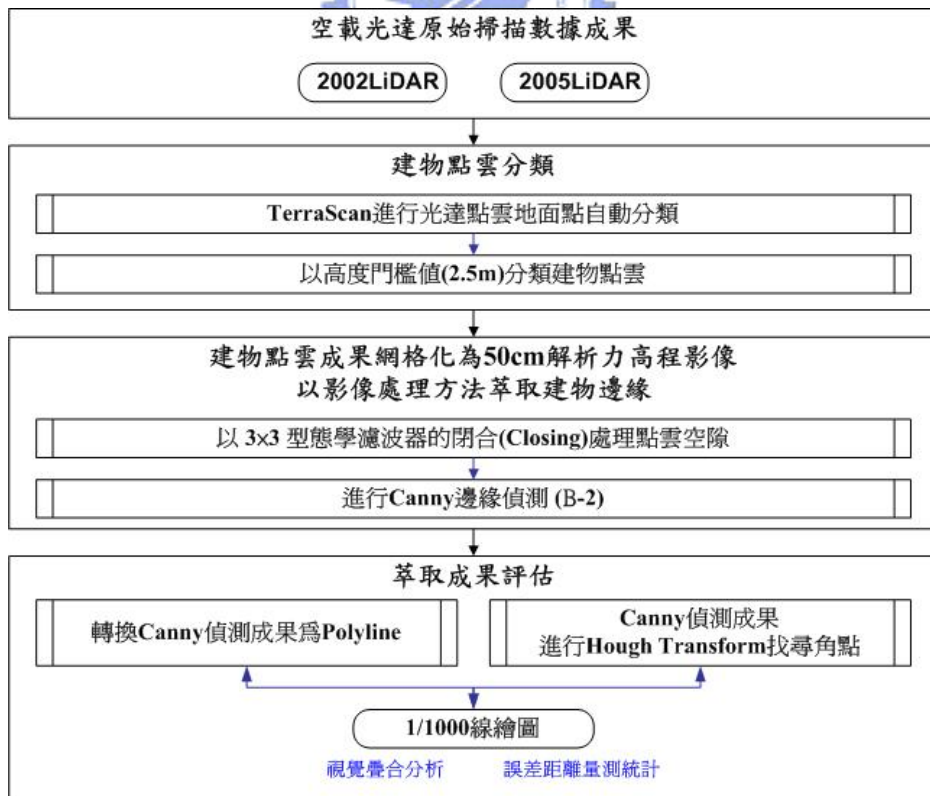


圖 4-15 平面資訊萃取流程方法二

透過流程二的方法進行建物邊緣萃取，並將成果與 1/1000 線繪圖進行套合比對，可看出流程一中原本建物邊緣線形誤差量較大的部分(紅框處)已被改善，如圖 4-16 所示。但以此方式萃取的線形成果依然存在一些問題，由萃取成果圖 4-16 (藍框處)可看出 2002LiDAR 部分的邊緣線產生了外擴的現象。



圖 4-16 流程二改善流程一萃取成果中線形誤差量較大的部分

上述問題的產生，是由於本方法所萃取出的點雲為高度高於由分類地面點所組成之不規則三角網 2.5m 以上的點雲，如圖 4-17(左)。而經型態學濾波器閉合 (Closing) 處理後產生的高度影像如圖 4-17(右)所示，其藍框中顯示，一些較低建物的邊緣點雲亦被萃取到，由此高度影像進行 Canny 邊緣偵測，其偵測結果將沿著外圍之局部梯度變化最大處，而非實際建物邊緣，如圖 4-18。

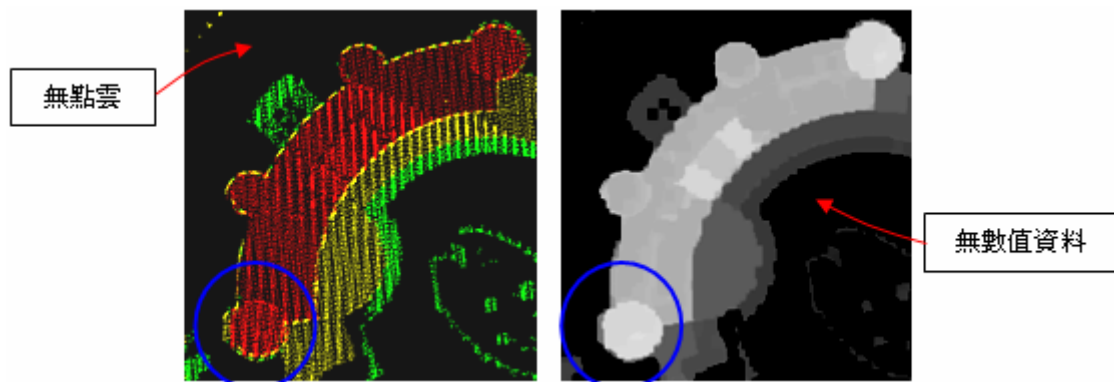


圖 4-17 2002LiDAR 高於 2.5m 的點雲(左)及其閉合處理後的高度影像(右)



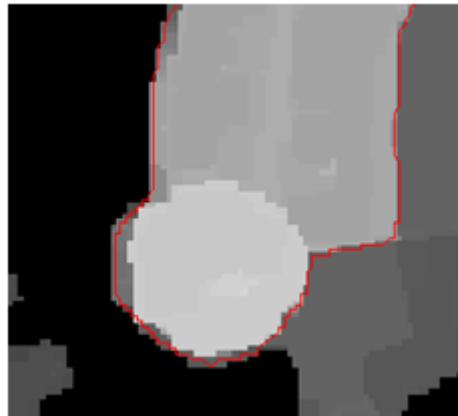


圖 4-18 Canny 偵測結果將沿著局部梯度變化最大處

由此原因，因而改用較高的高度門檻值進行建物點雲之萃取，本研究給定 12m、18m 兩種高度門檻值，依不同的門檻值設定來挑選不同高度的目標建物來進行比對，其萃取欲比對之目標建物 1/1000 線繪圖如圖 4-19、圖 4-20，萃取成果說明於下個章節。

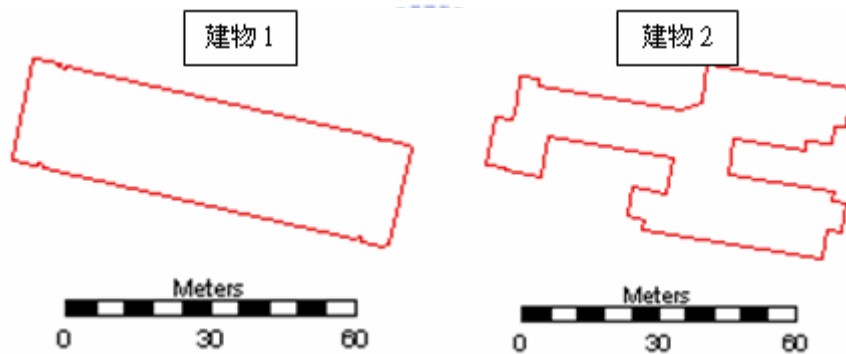


圖 4-19 萃取高度門檻值高於 12m 欲比對之目標建物

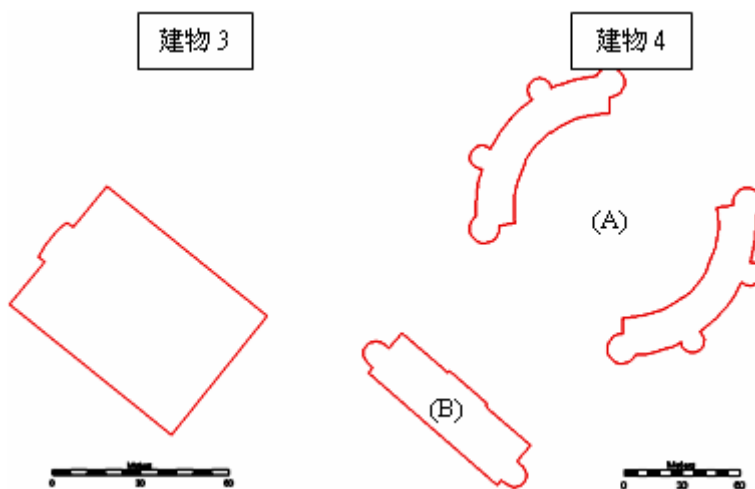


圖 4-20 萃取高度門檻值高於 18m 欲比對之目標建物

### §4-2-3 建物邊緣萃取成果比對與失真問題探討

本研究之目的在於萃取空載光達點雲資料中所表現出的建物邊緣線，然而在前述流程方法一中，以三角網格線性內插法內插出的高度灰階影像由於建物遮蔽的關係而造成建物周圍點雲稀疏，甚至其掃瞄成果無包含點雲資料的情形，此一情形將導致內插出的影像中，其建物邊緣處擴大，而影響邊緣偵測之成果。因此改用高度門檻值的方式以萃取建物之點雲，由單一門檻值的流程方法二進行測試後，其萃取成果依然存在一些問題，故最後則改以多門檻值的方式，進行不同高度建物的點雲萃取及比較，其流程如圖 1-2，各建物萃取成果如圖 4-21~圖 4-24 所示。

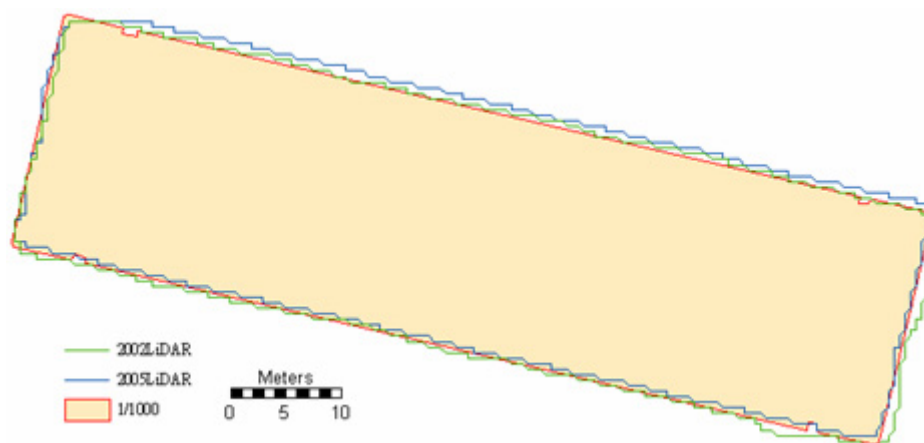


圖 4-21 建物 1 萃取成果疊合

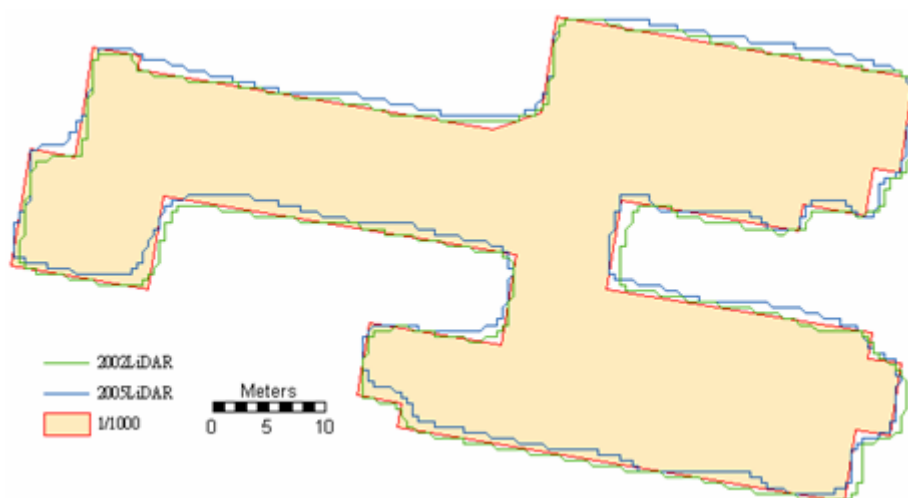


圖 4-22 建物 2 萃取成果疊合



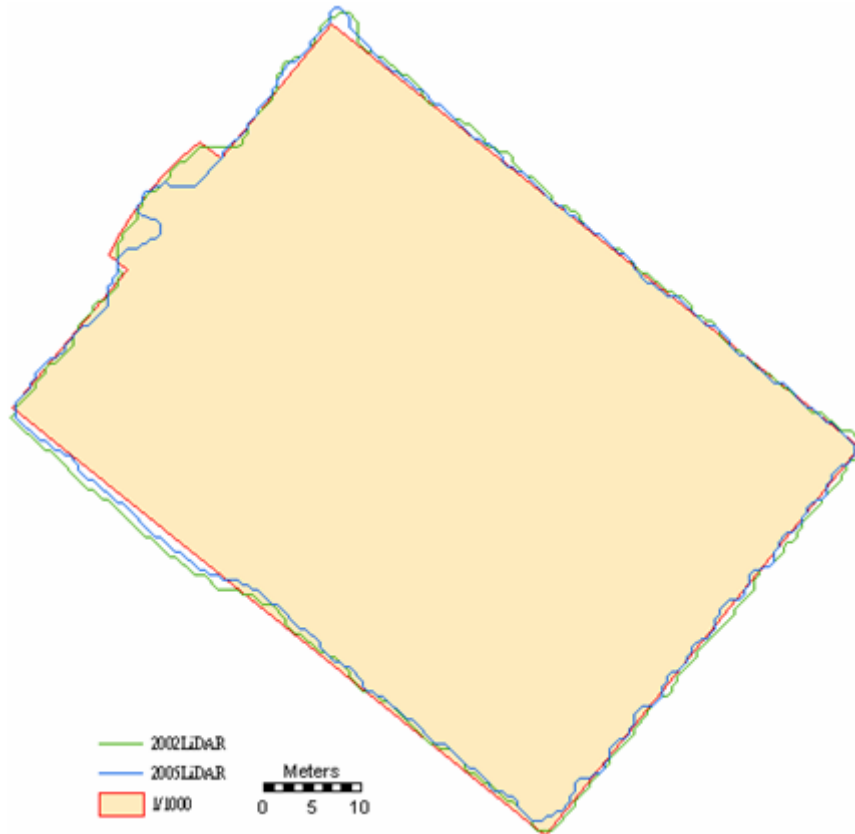


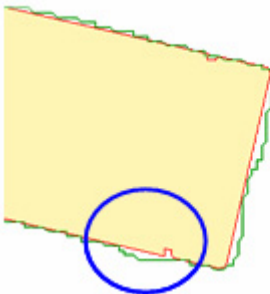
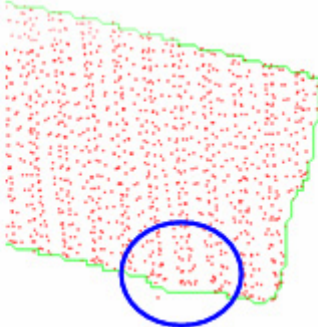

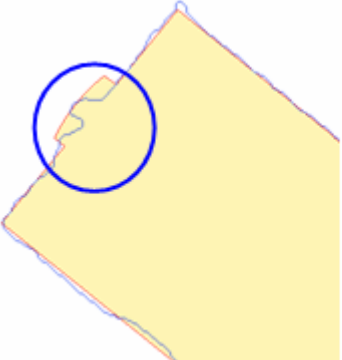
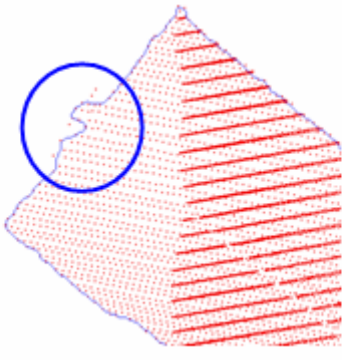
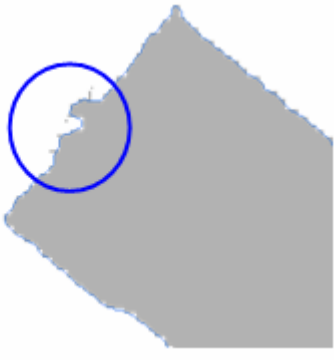
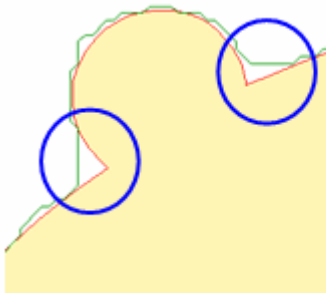
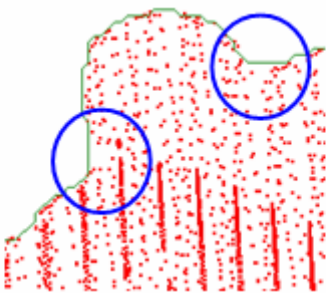
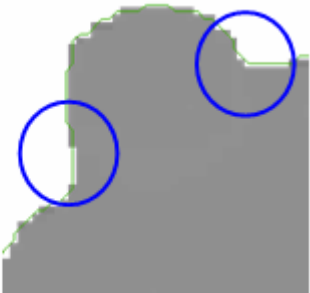
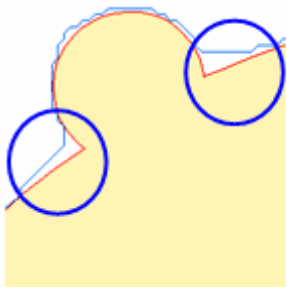
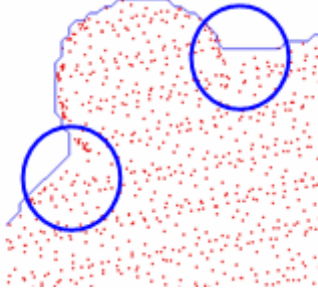

圖 4-23 建物 3 萃取成果疊合

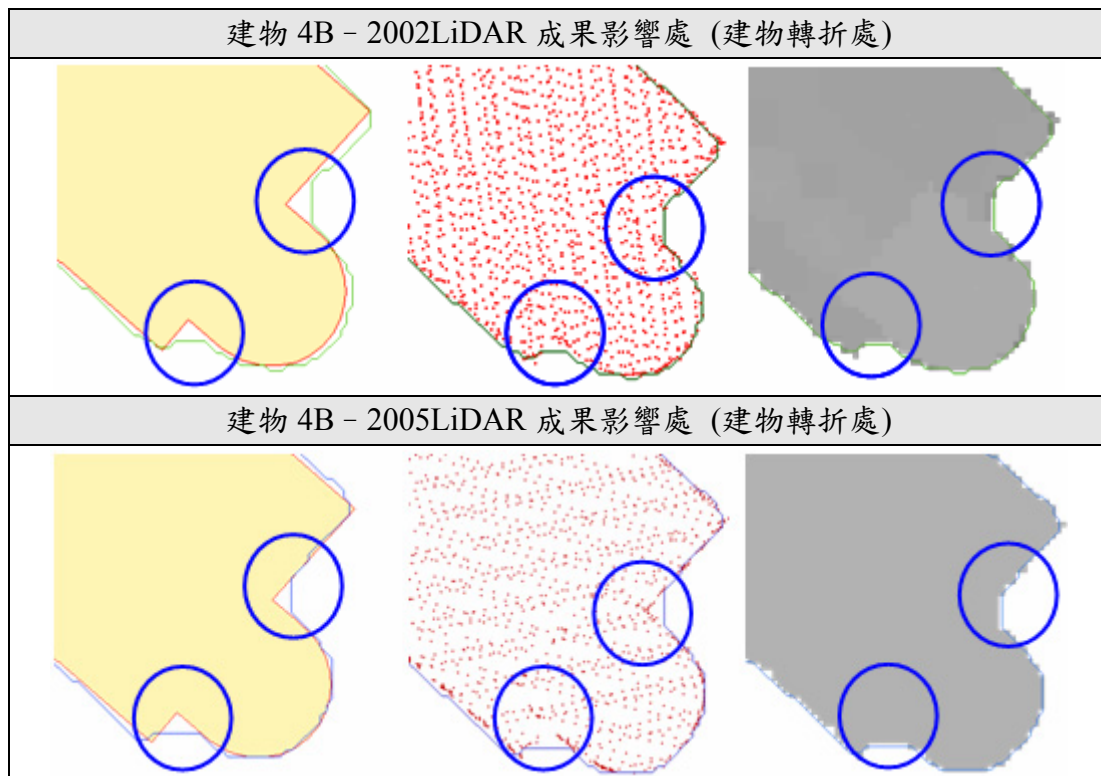


圖 4-24 建物 4 萃取成果疊合(左：建物 4A；右：建物 4B)

由此方法所萃取出的光達點雲建物邊緣雖然已避免了一些前述其它方法所萃取的建物邊緣成果可能造成的錯誤，但實際上使用 Closing 將離散點雲進行閉合處理的動作時，對於部分地方還是造成了影響，各建物影響處如表 4-2。

表 4-2 各建物受 Closing 處理影響處

建物 1 - 2002LiDAR 成果影響處 (建物邊緣有離散點)		
		
建物 3 - 2005LiDAR 成果影響處 (建物點雲過於稀疏)		
		
建物 4A - 2002LiDAR 成果影響處 (建物轉折處)		
		
建物 4A - 2005LiDAR 成果影響處 (建物轉折處)		
		



上列這些影響處大部分發生於建物轉折處，若不理會這些影響而進行成果評估，將導致最後的評估成果中包含了非真正光達點雲所萃取出之建物邊緣之誤差。因此在後續評估作業時，則需盡量避免此問題所造成的影響。本研究對於萃取成果使用的評估方法分為視覺疊圖比對及誤差距離量測統計。

#### §4-2-3-1 視覺疊圖比對

由圖 4-25、圖 4-26 二時期建物邊緣的萃取成果中，可明顯看出 2002LiDAR 建物邊緣的萃取成果向東偏移，而 2005LiDAR 建物邊緣的萃取成果則向北偏移。

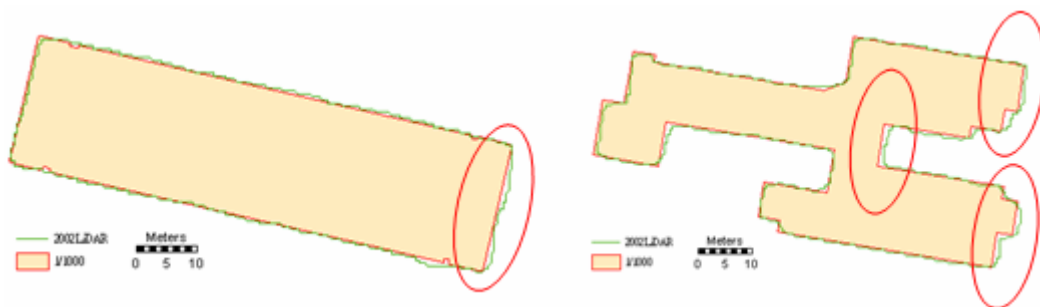


圖 4-25 2002LiDAR 建物萃取成果(左：建物 1；右：建物 2)

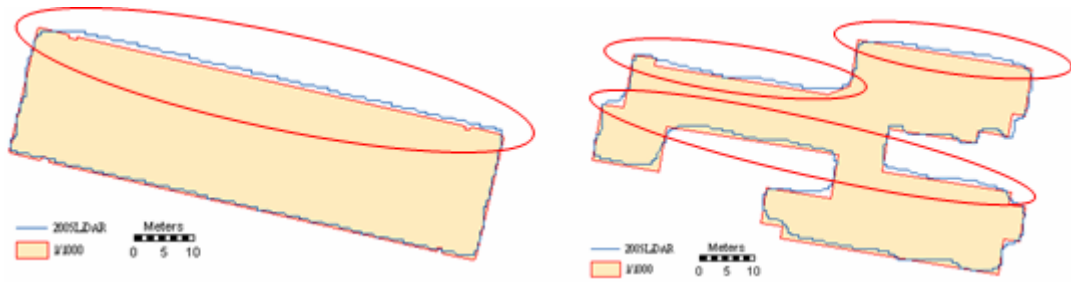


圖 4-26 2005LiDAR 建物萃取成果(左：建物 1；右：建物 2)

萃取成果呈現出二時期之光達成果含有方向性的誤差，其原因可能和飛航掃描的方向(2002 飛東西向；2005 飛南北向)以及 GPS 定位所引起的誤差有關，經人工量測此偏移量約介於 0.5~1.3m。將建物 1、建物 2 萃取成果的建物點雲與 1/1000 線繪圖疊合檢視，如圖 4-27、圖 4-28。2002LiDAR 顯示編號 15、16、17 之航帶有向東的偏移，2005LiDAR 編號 35、36 之航帶有向北的偏移。

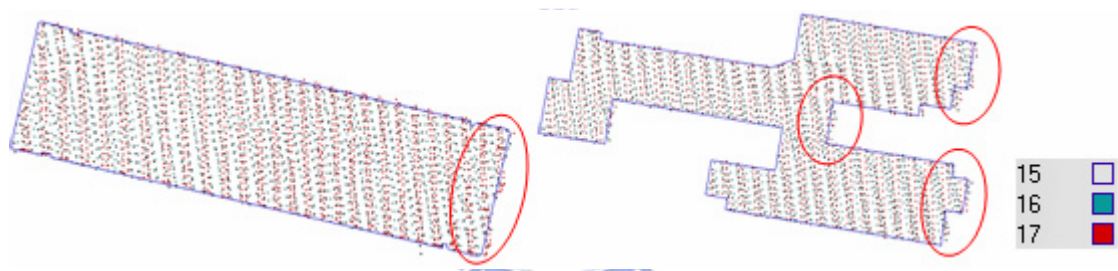


圖 4-27 2002LiDAR 建物點雲疊合 1/1000 線繪圖(左：建物 1；右：建物 2)

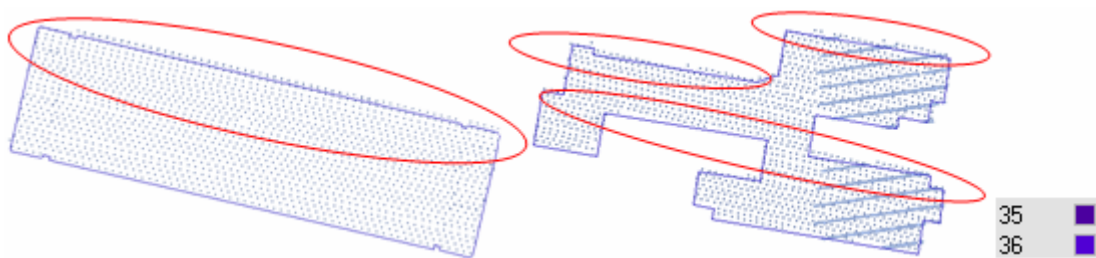


圖 4-28 2005LiDAR 建物點雲疊合 1/1000 線繪圖(左：建物 1；右：建物 2)

另外，由圖 4-29(左)中可看出 2002LiDAR 建物東側邊緣的萃取成果除了有東向偏移的情形(紅框處)之外，其建物西側亦可看到萃取成果偏移較大的情形(藍框處)，整體上圖 4-29(右)2005LiDAR 建物邊緣東西側的萃取成果則呈現較貼合的情形。

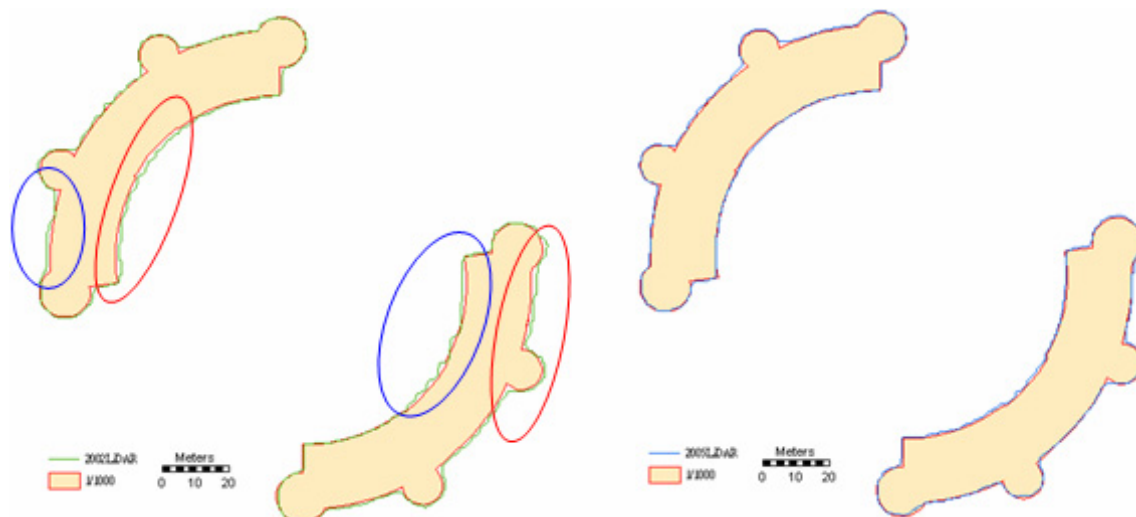


圖 4-29 建物 4A 萃取成果(左: 2002LiDAR，右: 2005LiDAR)

以表 4-3 檢視 2002LiDAR 建物 4A 萃取成果的建物點雲與 1/1000 線繪圖疊合情形，可看出造成萃取成果有大偏移量的原因是 2002LiDAR 編號 14 之航帶點雲在建物西側邊緣產生外擴之情形，而編號 17 之航帶的點雲則是在建物東側邊緣產生外擴之情形，因此在重疊所有航帶點雲後進行建物邊緣萃取的成果，則包含了兩個方向的偏移誤差。





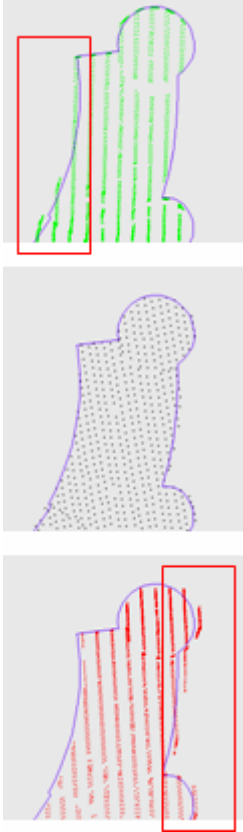
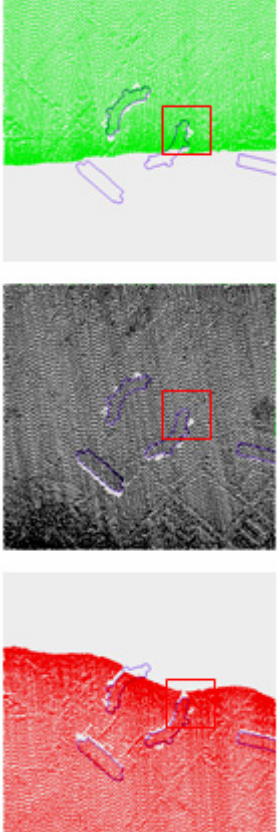


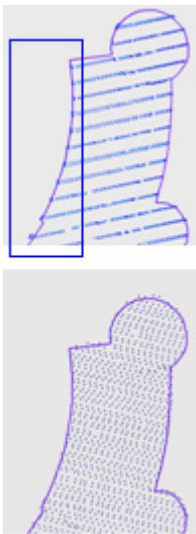
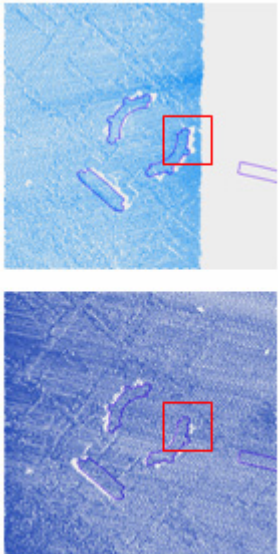
表 4-3 2002LiDAR 建物 4A 邊緣外擴檢視成果

所有航帶點雲疊合	各別航帶點雲疊合 14 <span style="color: green;">■</span> 17 <span style="color: red;">■</span>	



此一情形發生在建物分布於光達掃瞄角角度較大的地方，亦即航帶邊緣處其影響較為明顯。以表 4-4 檢視建物 4A 於不同時期之各航帶點雲與 1/1000 線繪圖疊合情形，可看出 2005LiDAR 在建物邊緣處雖然掃瞄點(藍框處)仍有受影響，但偏移情形不嚴重。此情形可能歸因於 2002LiDAR 本身所含系統誤差所致。

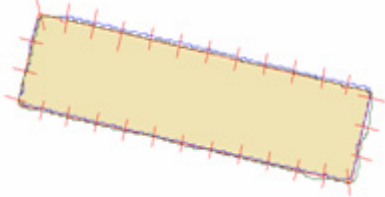
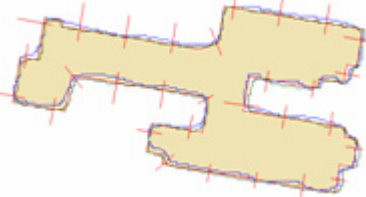

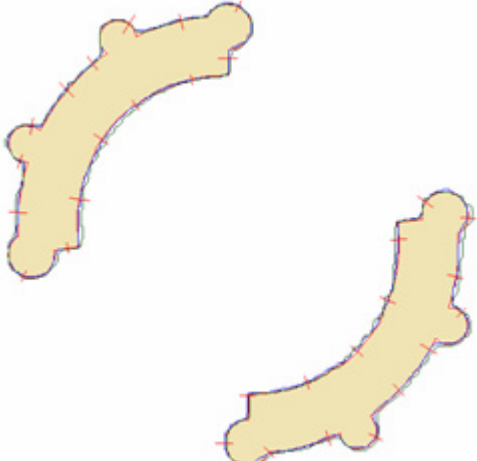
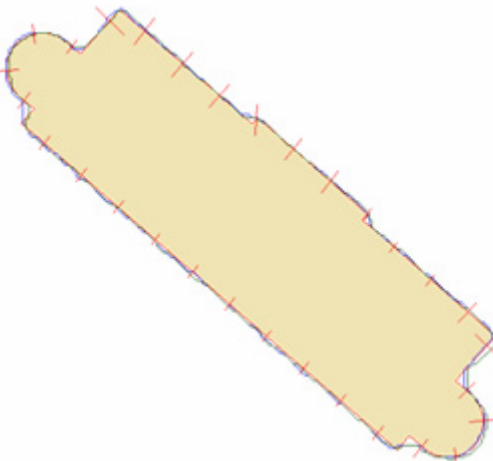
表 4-4 建物 4A 邊緣外擴檢視成果

	建物點雲萃取成果局部圖	航帶與建物分布情形
2002LiDAR 14  15  16  17 		
2005LiDAR 34  35 		

### §4-2-3-2 誤差距離量測統計

本階段研究採用的量測方式是先將各個建物依周長分成 30 等分，再以正交於 1/1000 建物線繪圖邊緣的方向量測萃取成果與線繪圖的距離誤差量。若所取的等分處剛好介於前述提及會受 Closing 影響的邊緣處，則需調整至未受影響的邊緣上進行量測，以避免評估成果中包含了非真正光達點雲所萃取出之建物邊緣之誤差，各建物距離誤差量測的等分取樣如表 4-5。

表 4-5 各建物依周長分成 30 等分

建物 1	建物 2	建物 3
		
建物 4A		建物 4B
		

各時期各建物誤差距離之量測統計成果如表 4-6，成果顯示 2002LiDAR 各建物平面之平均誤差量介於 0.298~0.695m、均方根誤差為 0.367~0.823m、標準偏差為 0.198~0.447m、誤差最大值為 1.834m；2005LiDAR 各建物平面之平均誤差

量介於 0.267~0.581m、均方根誤差為 0.325~0.702m、標準偏差為 0.188~0.400m、  
誤差最大值為 1.652m。

表 4-6 各時期各建物誤差距離量測統計成果 (m)

2002LiDAR	建 1	建 2	建 3	建 4A	建 4B	2005LiDAR	建 1	建 2	建 3	建 4A	建 4B
檢核點數	30	30	30	30	30	檢核點數	30	30	30	30	30
Mean	0.298	0.480	0.558	0.695	0.317	Mean	0.547	0.581	0.429	0.267	0.299
Rms	0.367	0.647	0.664	0.823	0.372	Rms	0.634	0.702	0.542	0.325	0.352
Stdv	0.217	0.441	0.366	0.447	0.198	Stdv	0.326	0.400	0.337	0.188	0.189
Max	0.861	1.834	1.639	1.614	0.934	Max	1.333	1.652	1.335	0.702	0.780
Min	0.000	0.041	0.052	0.153	0.026	Min	0.042	0.020	0.026	0.008	0.032

由於各時期光達點雲建物邊緣萃取成果顯示其存在著方向性的誤差，因此建物的誤差量測成果之好壞和建物形狀以及萃取成果的偏移量皆相關，大致上 2005LiDAR 萃取成果皆較 2002LiDAR 萃取成果好。但建物 1、建物 2 的部分，由於 2005LiDAR 萃取成果較向北側偏移，又該建物東西向的邊緣較長，因此量測出的平均誤差值亦較 2002LiDAR 萃取成果高。另外，2005LiDAR 於各建物上重疊的航帶數較少，因此不像 2002LiDAR 建物點雲在航帶重疊區域中包含了東西向偏移的航帶點雲影響，而造成誤差總值增大。各時期光達資料整體平均誤差統計成果如表 4-7、表 4-8。成果顯示，2002LiDAR 平面精度之平均偏移量約為 0.470m、標準偏差為 0.377m、均方根誤差為 0.602m；2005LiDAR 平面精度平均偏移量約為 0.424m、標準偏差為 0.322m、均方根誤差為 0.532m。

表 4-7 2002LiDAR 整體平均誤差統計成果 (m)

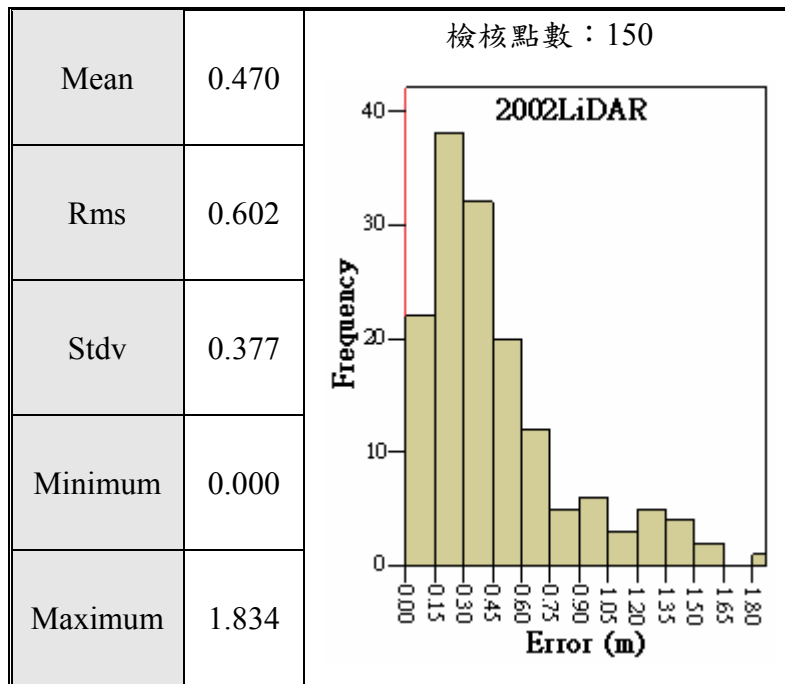
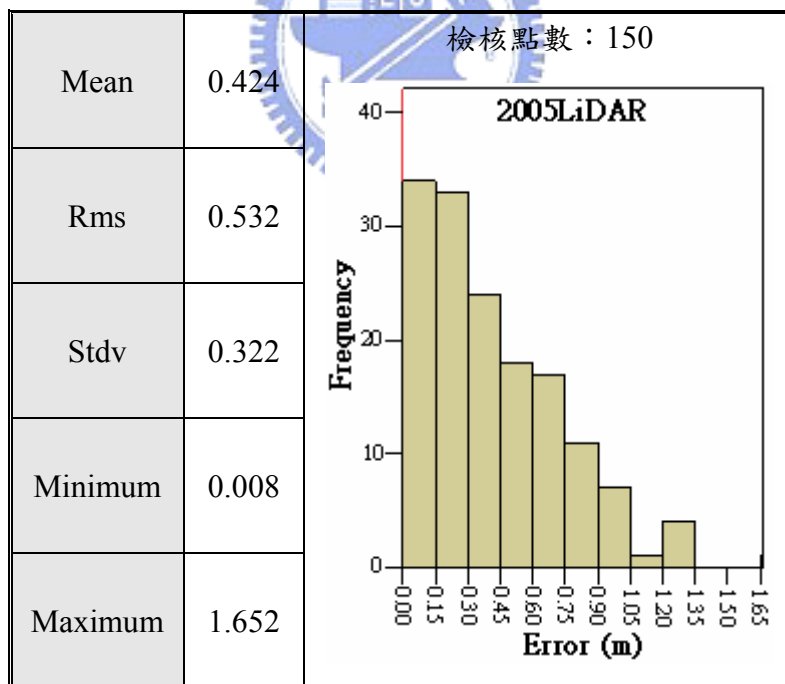


表 4-8 2005LiDAR 整體平均誤差統計成果 (m)



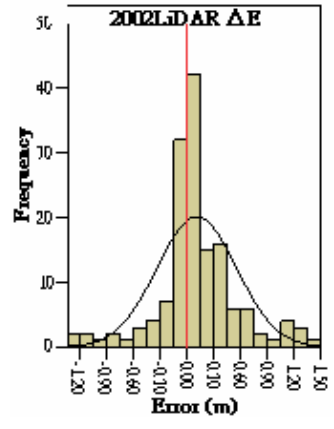
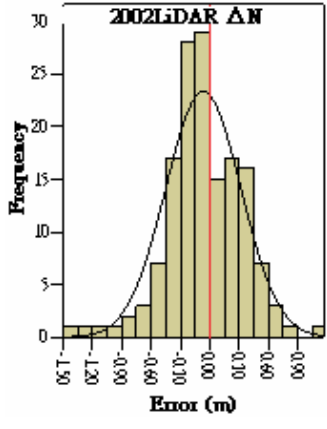
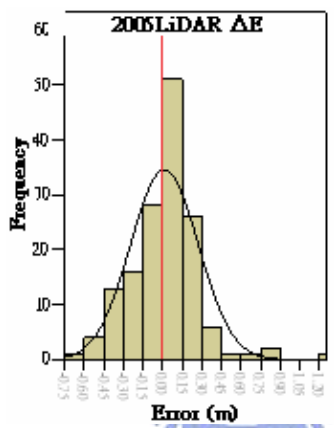
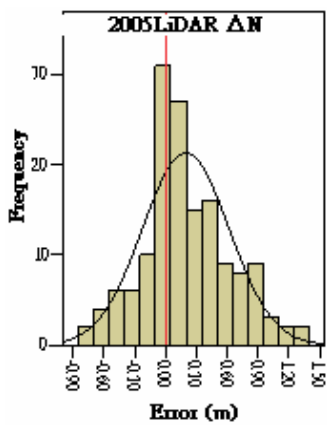
將各量測誤差分為 E 向及 N 向進行誤差統計分析，各建物及其整體誤差統計成果如表 4-9、表 4-10。統計成果顯示建物 1、建物 2 等東西向長形建物，以 2002LiDAR 的 N 向成果較 2005LiDAR 佳；E 向的成果則以 2005LiDAR 較佳，建物 3、建物 4A 之 2005LiDAR 平面成果較 2002LiDAR 佳，而建物 4B 二時期之統計成果則相近。整體統計成果顯示 2002LiDAR 在 E 向的誤差平均偏移量約為 0.111m、標準偏差為 0.447m、均方根誤差為 0.458m，N 向的誤差平均偏移量約為-0.067m、標準偏差為 0.385m、均方根誤差為 0.389m，其結果為 N 向較 E 向佳；2005LiDAR 在 E 向的誤差平均偏移量約為 0.013m、標準偏差為 0.259m、均方根誤差為 0.259m，N 向的誤差平均偏移量約為 0.195m、標準偏差為 0.422m、均方根誤差為 0.464m，其結果為 E 向較 N 向佳。

表 4-9 各時期各建物 E 向、N 向誤差統計成果 (m)

2002LiDAR	建物 1		建物 2		建物 3		建物 4A		建物 4B	
檢核點數	30		30		30		30		30	
	E 向	N 向	E 向	N 向	E 向	N 向	E 向	N 向	E 向	N 向
Mean	0.080	-0.017	0.219	-0.122	0.107	-0.040	0.115	-0.084	0.032	-0.070
Rms	0.205	0.303	0.510	0.397	0.413	0.519	0.714	0.411	0.258	0.205
Stdv	0.193	0.307	0.468	0.384	0.406	0.526	0.716	0.409	0.261	0.262
Max	0.830	0.810	1.370	0.640	0.540	0.670	1.250	1.090	0.660	0.370
Min	-0.080	-0.600	-0.590	-1.440	-0.960	-1.320	-1.260	-0.810	-0.330	-0.660
2005LiDAR	建物 1		建物 2		建物 3		建物 4A		建物 4B	
檢核點數	30		30		30		30		30	
	E 向	N 向	E 向	N 向	E 向	N 向	E 向	N 向	E 向	N 向
Mean	0.072	0.471	0.135	0.321	-0.019	0.110	-0.055	0.108	-0.068	-0.033
Rms	0.141	0.616	0.359	0.601	0.305	0.446	0.213	0.244	0.219	0.276
Stdv	0.123	0.403	0.338	0.517	0.310	0.440	0.209	0.223	0.212	0.278
Max	0.210	1.310	1.220	1.200	0.760	1.330	0.300	0.660	0.320	0.440
Min	-0.240	-0.600	-0.720	-0.810	-0.540	-0.740	-0.510	-0.420	-0.470	-0.620



表 4-10 各時期整體 E 向、N 向誤差統計成果 (m)

2002LiDAR	E 向	檢核點數：150 	N 向	檢核點數：150 
Mean	0.111		-0.067	
Rms	0.458		0.389	
Stdv	0.447		0.385	
Max	1.370		1.090	
Min	-1.260		-1.440	
2005LiDAR	E 向	檢核點數：150 	N 向	檢核點數：150 
Mean	0.013		0.195	
Rms	0.259		0.464	
Stdv	0.259		0.422	
Max	1.220		1.330	
Min	-0.720		-0.810	

### §4-2-3-3 失真問題與建物角點萃取成果比對

雖然光達資料具有豐富的三維資訊，但由於光達資料的離散特性，因此對於建物邊緣及建物角點的特徵描述仍不足。所謂失真問題，即光達線形萃取成果於建物屋角處無點雲分布，因此使得建物邊緣萃取成果呈現平滑狀，如圖 4-30(a) 紅框處所示，圖 4-30(b) 為 1/1000 線繪圖的對照組。

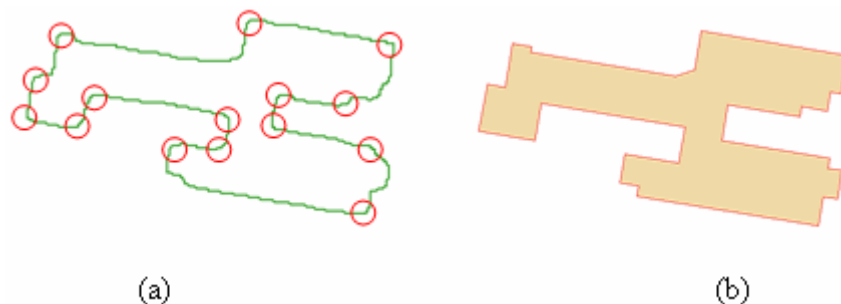


圖 4-30 建物邊緣萃取成果失真問題

本研究將建物邊緣的萃取成果以霍夫轉換法(Hough Transform)偵測直線邊緣相交處，作為光達點雲之建物角點，並與 1/1000 線繪圖之角點進行偏移量評估。本研究以本身具有直線邊緣之建物 1、建物 2、建物 3 及建物 4B 進行 Hough 直線偵測，偵測成果如表 4-11。將延伸線段進行裁切修剪，並與 1/1000 線繪圖疊合，各建物比對角點如表 4-12 紅框處所示。

表 4-11 各建物 Hough 直線偵測成果

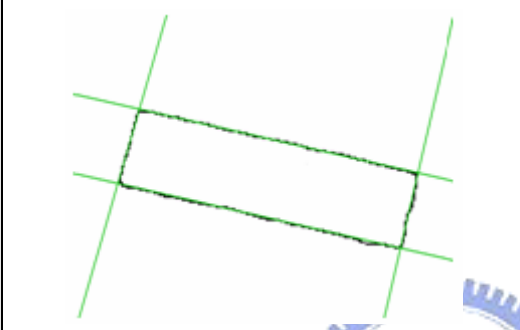
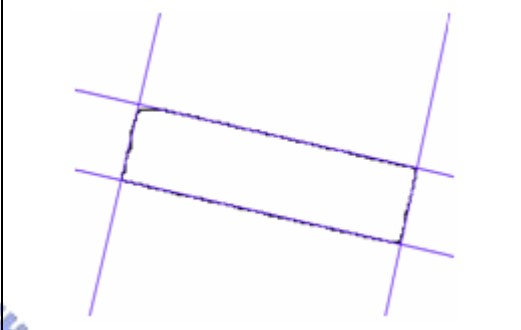
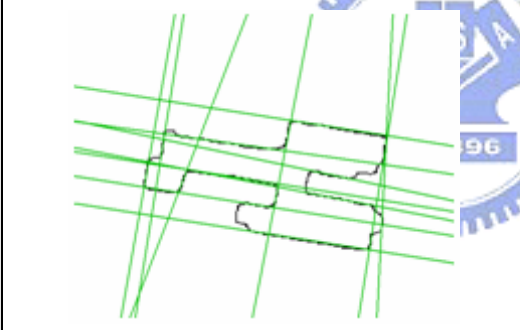
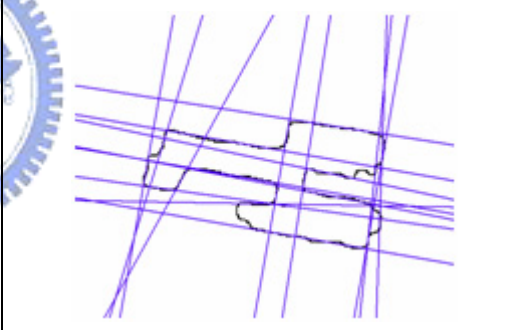
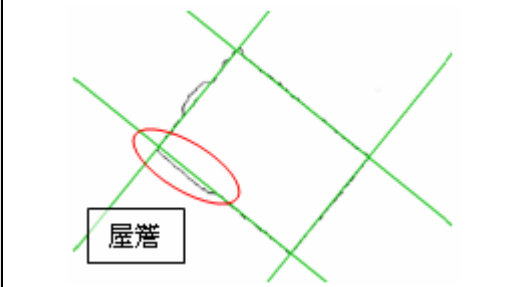
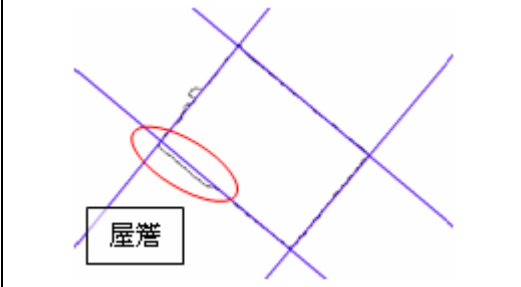
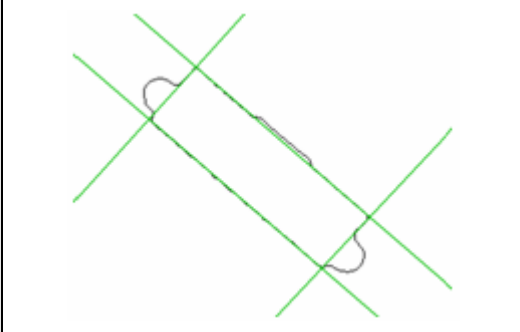
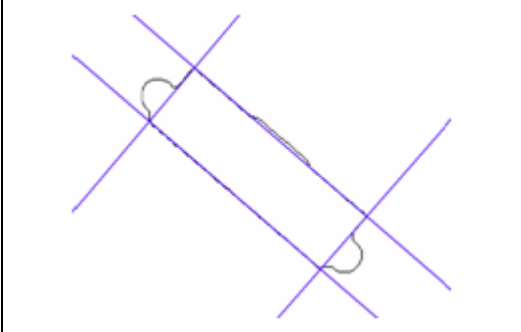
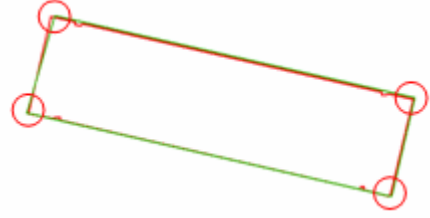
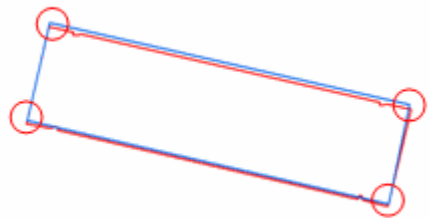
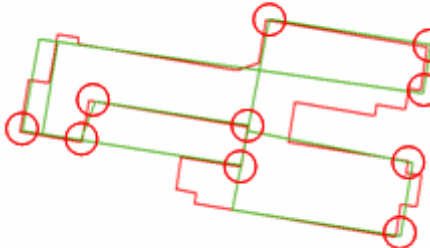
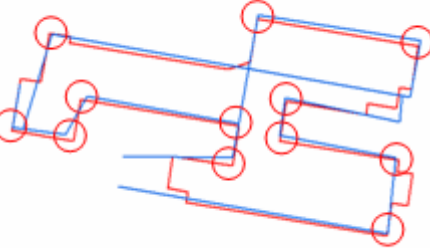
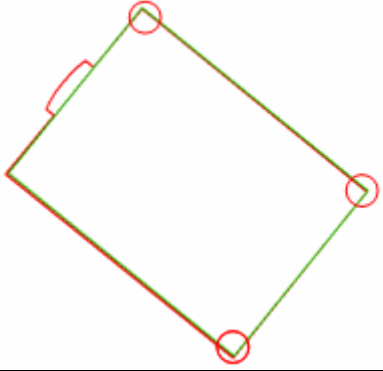
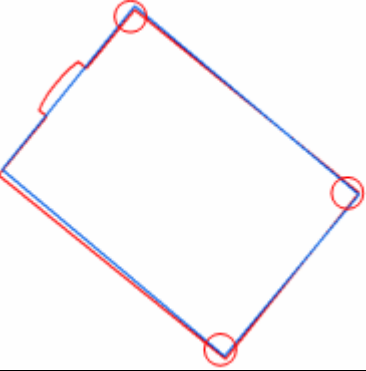
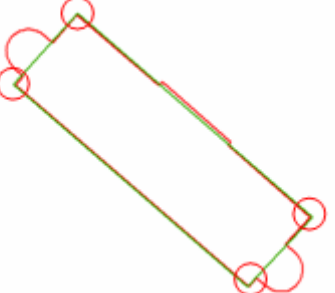
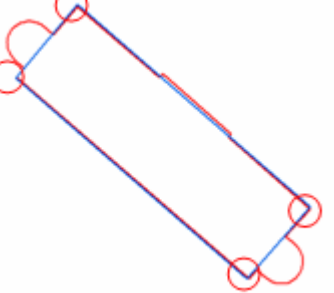
	2002LiDAR	2005LiDAR
建物 1		
建物 2		
建物 3		
建物 4B		

表 4-12 各建物 Hough 直線偵測比對角點

	2002LiDAR	2005LiDAR
建物 1		
建物 2		
建物 3		
建物 4B		

各建物及其整體誤差統計成果如表 4-13、表 4-14。統計成果顯示，2002LiDAR 除建物 3 以外，其餘建物之 N 向的成果均較佳；2005LiDAR 於 E 向的成果均較佳。整體統計成果顯示 2002LiDAR 在 E 向的誤差平均偏移量約為 0.349m、標準偏差為 0.514m、均方根誤差為 0.611m，N 向的誤差平均偏移量約為 0.170m、標準偏差為 0.280m、均方根誤差為 0.321m，其結果為 N 向較 E 向佳；2005LiDAR 在 E 向的誤差平均偏移量約為-0.010m、標準偏差為 0.494m、均方根誤差為 0.483m，N 向的誤差平均偏移量約為 0.637m、標準偏差為 0.487m、均方根誤差為 0.795m，其結果為 E 向較 N 向佳。

表 4-13 各時期各建物角點 E 向、N 向誤差統計成果 (m)

2002LiDAR	建物 1		建物 2		建物 3		建物 4B	
檢核點數	4		10		3		4	
	E 向	N 向	E 向	N 向	E 向	N 向	E 向	N 向
Mean	0.285	0.170	0.571	0.111	0.177	0.370	-0.015	0.165
Rms	0.526	0.208	0.735	0.346	0.215	0.397	0.543	0.285
Stdv	0.511	0.139	0.488	0.345	0.150	0.177	0.627	0.269
2005LiDAR	建物 1		建物 2		建物 3		建物 4B	
檢核點數	4		12		3		4	
	E 向	N 向	E 向	N 向	E 向	N 向	E 向	N 向
Mean	0.000	0.753	0.041	0.776	-0.050	0.390	-0.145	0.290
Rms	0.149	0.776	0.642	0.889	0.158	0.798	0.251	0.432
Stdv	0.173	0.220	0.669	0.452	0.183	0.852	0.237	0.369

表 4-14 各時期整體建物角點 E 向、N 向誤差統計成果 (m)

2002LiDAR	E 向	N 向	距離
檢核點數	21		
Mean	0.349	0.170	0.632
Rms	0.611	0.321	0.690
Stdv	0.514	0.280	0.284
2005LiDAR	E 向	N 向	距離
檢核點數	23		
Mean	-0.010	0.637	0.840
Rms	0.483	0.795	0.930
Stdv	0.494	0.487	0.409

經由本流程方法的比對與分析成果說明如下：

視覺分析的部分，經疊圖比對呈現出 2002LiDAR 點雲有向東偏移；2005LiDAR 點雲有向北偏移的方向性誤差之情形，其原因可能和飛航掃瞄的方向所引起的誤差有關。另外，2002LiDAR 點雲資料於掃瞄角度較大的建物區域，其建物邊緣萃取成果外擴的情形較為明顯，可能是因為 2002LiDAR 資料本身即含有系統性的誤差所致，但因缺乏該數據之時間戳紀(Time Stamps)以及解算之航行軌跡(Trajectory)，因此無法進行驗證，但整體上可看出 2005LiDAR 建物邊緣萃取成果皆較 2002LiDAR 穩定。

數理統計的部分，不論是使用誤差距離量測統計的方式，或是以直線偵測萃取建物角點的方式進行比對，結果皆顯示 2002LiDAR 平面萃取成果之 N 向較 E 向為佳；2005LiDAR 平面萃取成果之 E 向則較 N 向為佳。而由整體 E 向與 N 向的標準偏差及均方根誤差顯示，本方法評估出的空載光達平面誤差量介於 0.259m~0.795m 之間，該量級約為三倍高程誤差，與儀器規格相當。另外，由直線偵測方法萃取的建物角點與 1/1000 線繪圖比對的誤差統計結果顯示，其誤差量較建物邊緣萃取成果評估的誤差值大，這可能是因為建物角點的檢核數較少，因此本研究中建物邊緣萃取的誤差距離量測統計結果應較為準確。本階段研究成果顯示，2002LiDAR 平面精度之標準偏差為 0.377m、均方根誤差為 0.602m，E 向誤差的標準偏差為 0.447m、均方根誤差為 0.458m，N 向誤差的標準偏差為 0.385m、均方根誤差為 0.389m；2005LiDAR 平面精度之標準偏差為 0.322m、均方根誤差為 0.532m，E 向誤差的標準偏差為 0.259m、均方根誤差為 0.259m，N 向誤差的標準偏差為 0.422m、均方根誤差為 0.464m。



## 第五章 結論與建議

高程比對的部分，內部精度分析顯示 2002 年光達點雲經使用 2004 年地面檢核點進行高程改正後，航帶 9、10 之間的系統性誤差已改善；而 2005 年光達點雲經由航帶平差處理後，整體而言，各航帶的內部精度皆有改善。研究成果顯示，高程改正或航帶平差模式皆有助於改善內部精度之高程誤差量。

研究中將各時期光達成果依垂直航帶方向前(1)、中(2)、後(3)三區分別計算其內部精度，整體上各時期三區個別的內部精度計算成果皆相似，但部分航帶重疊區由於位在平坦地或山區地形處，因不同地表覆蓋物影響地面點分類成果，造成可評估點減少，而使比對成果受影響。因此進行平差樣區或比對樣區選取時，都應盡量以地勢平坦及分類地面點較多的區域作為選取標準。

外部精度檢核部分，經由 2004GCPs 與 2005LiDAR、c2005LiDAR 的比對，結果顯示原始的 2004CGPs 存在系統性誤差，經由重新解算修正後，該誤差已改善；但相對的表示出，經原始 2004GCPs 改正後的 c2002LiDAR 可能受到這些系統性誤差的影響。由此可知，地面檢核點之正確性，對評估及改正後數據具影響力。而由 2005GCPs 與 2005LiDAR、c2005LiDAR 的比對顯示，2005LiDAR 部分航帶點雲(ty032、ty033)之高程誤差量皆小於 10cm，但使用 TerraMatch 進行無地面控制點的航帶平差後，與地面檢核點相較高程偏移量反而提高到將近 30cm。其可能的原因是因為航帶平差模式在計算各航帶 roll、pitch、heading、dz 修正參數時，由於沒有給予橫切航帶之地面實測點或地面控制點作為平差控制，因此即使航帶重疊區之內部精度提高，但外部精度卻降低了。

另外，本研究中 2004GCPs 與 2002LiDAR、c2005LiDAR 的比對顯示，不同時期空載光達點雲與不同時期之地面檢核點進行比對時，比對成果可能會受到一些因量測時期之地形變化不同而產生的比對誤差。然而這些誤差是不容易只由單一時期的數據成果而找出，因此不同時期的數據比對時，需檢查是否有因時間因素或不適合比對之數據存在其中，避免造成數據不一致而影響比對果。

平面線形萃取的部分，透過強度資訊萃取平面特徵點雲並非不可行，由圖 4-8 中，2005LiDAR 的道路線形萃取成果可看出，航帶重疊區等點雲密度較高的區域，其道路點雲分類成果仍有相當的完整性，未來針對此方向之研究仍屬一值得探討的課題。

以高程資訊萃取平面線形特徵的部分顯示，由不同的萃取流程方法將影響平面資訊的萃取成果，進而連帶的造成評估之不可行，這些問題如(1)光達資料中含有掃瞄遮蔽的陰影區域時，會影響內插影像之建物邊緣，(2)使用 Canny 邊緣偵測時，其成果之梯度最大處有時並非真正的建物邊緣等。本研究藉由不同流程之測試及探討，改善問題癥結以取得最佳之萃取成果。透過本研究最後提出的方法進行光達之建物平面線形資訊萃取，經視覺疊合比對顯示，2002LiDAR 建物邊緣的萃取成果有東向的偏移，而 2005LiDAR 建物邊緣的萃取成果則有北向的偏移。整體上，2005LiDAR 建物邊緣萃取成果皆較 2002LiDAR 穩定，可能是因為 2002LiDAR 資料本身即含有系統性的誤差，因此導致 2002LiDAR 建物點雲資料於航帶邊緣兩側區域，其建物邊緣萃取成果平移情形較為明顯。

統計分析結果顯示出，空載光達平面誤差量約為三倍高程誤差，與儀器規格相當，亦表示本研究所提出之平面精度評估方式應為可行。其中由直線偵測萃建物角點方法的誤差量較誤差距離量測統計方法的誤差量為大，這可能是因為建物角點比對時所用的檢核點數太少所致，因此在本研究中誤差距離量測統計的結果應較為準確。本研究目前萃取之建物為較高層(12~18m)之建物，建議未來可改善萃取模式，針對平房區等不同性質區域進行探討，以增進研究探討之完整性。

整體上，二時期的評估成果均顯示垂直於航向方向之平面精度優於平行航向方向之平面精度。然空載光達掃瞄航帶資料中，除了系統誤差的影響，同樣會受到偶然誤差的影響，但由於偶然誤差的來源與型態較於系統誤差更加的多樣且複雜，此部分則有待後續的研究進行處理。

## 參考文獻

- 王蜀嘉、曾義星，2003。以空載光達方法生產高精度及高解析度數值地形模型及數值地表模型誤差分析。內政部委託研究計畫報告。
- 史天元、何心瑜、陳大科，2005。空載光達正高化算探討：以高屏地區為例。第二十四屆測量學術及應用研討會，465-472。
- 史天元、彭森祥，2003。空載光達數據檢查：以農委會台灣地區測試新竹部分為例。第一屆數位地球國際研討會。台北文化大學。
- 史天元、曾義星、劉榮寬，2003。空載光達與航空測量數據高程精度比較之研究。第二十二屆測量學術及應用研討會，195-204。
- 史天元、劉進金，2004。空載光達系統誤差處理。行政院農業委員會九十三年度試驗研究計畫研究報告。農委會 93 農科-2.5.1-技-a2 計畫報告，共 97 頁。執行機關：國立交通大學。合作機關：工業技術研究院。
- 呂秀慧，史天元，2000。影像圖向量化中線條簡化方法探討。2000 中華地理資訊學會學術研討會論文集(CD 版)，論文編號 18。
- 張小紅，2002。機載激光掃瞄測高數據濾波及地物提取。武漢大學博士學位論文。
- 陳大科、蕭國鑫、石佳惠、王成機，2005。空載光達資料航帶平差之精度探討。第二十四屆測量學術及應用研討會，123-132。
- 陳向筠，史天元，2001。最近鄰近勻化法探討。2001 中華地理資訊學會學術研討會論文集(CD 版)。
- 陳英鴻，2004。光達點雲資料連結點匹配之研究。國立成功大學測量及空間資訊學系碩士論文。
- 彭念豪，2005。以控制直線進行影像外方位參數求解之自動化作業。國立台灣大學土木工程研究所碩士論文。
- 童俊雄，2005。空載光達系統誤差分析與航帶平差方法之探討。國立成功大學測量及空間資訊學系碩士論文。
- 劉進金，2005。空載光達技術之發展現況空載光達技術之發展現況。「國內高解析空

載及衛載遙測之現況及未來」研討會，93年10月8日(星期五)。行政院農業委員會及國立中央大學太空及遙測研究中心共同主辦。

劉榮寬、徐偉城、史天元、劉進金，2005。空載光達系統率定初探。內政部「辦理 LIDAR 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」成果發表暨應用研討會，271-280。工業技術研究院 能源與資源研究所，2005年12月20-21日。

蔡欣怡，2004。結合雷射測高與強度資料進行區域平差可行性之研究。國立成功大學測量及空間資訊學系碩士論文。

賴彥中，2004。結合光達資料與數位空照影像重建三維建物模型。國立中央大學土木工程研究所碩士論文。

魏世青，2005。以 SRTM 數據擷取水系網路及集水區邊界分析探討。國立交通大學土木工程學系碩士論文。

Ackermann, F., 1999, "Airborne Laser Scanning - Present Status and Future Expectations", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.54(1), pp. 64-67.

Ahokas, E. and H. Kaartinen and J. Hyypä, 2004, "A Quality Assessment of Repeated Airborne Laser Scanner Observations", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Istanbul.

Alharthy, A. and J. Bethel, 2002, "Heuristic Filtering and 3D Feature Extraction from LiDAR Data", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.XXXIII, pp. 29-35, Graz, Austria.

Alharthy, A. and J. Bethel and E.M. Mikhail, 2004, "Analysis and Accuracy Assessment of Airborne Laserscanning System", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXV, Part B2, pp. 144-149.

Baltsavias, E.P., 1999, "Airborne Laser Scanning: Basic Relations and Formulas", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.54(2-3), pp. 199-214.

Behan, A., 2000, "On the Matching Accuracy of Rasterised Scanning Laser Altimeter Data", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing,

Vol.XXXIII, Part B2, Amsterdam 2000.

Burman, H., 2000, "Calibration and Orientation of Airborne Image and Laser Scanner Data Using GPS and INS", PhD Thesis, Photogrammetry Reports No. 69.

Burman, H., 2002, "Laser Strip Adjustment for Data Calibration and Verification", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.34, Part 3A, pp. 67-72, Graz, Austria.

Canny, J., 1986, "A Computational Approach to Edge Detection", IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.PAMI-8, No.6, November 1986, pp. 679-698.

Clode, S. and P. Kootsookos and F. Rottensteiner, 2004, "The Automatic Extraction of Roads from LiDAR Data". In ISPRS 2004, 12 - 23 July, 2004, Istanbul, Turkey.

Clode, S. and F. Rottensteiner and P. Kootsookos, 2005, "Improving City Model Determination By Using Road Detection from LiDAR Data". In Joint Workshop of ISPRS and the German Association for Pattern Recognition (DAGM), 'Object Extraction for 3D City Models, Road Databases and Traffic Monitoring - Concepts, Algorithms, and Evaluation' (CMRT05), 29-30 August, 2005, Vienna, Austria.

Crombaghs, M.J.E. and R. Brugelmann and E.J. De Min, 2000, "On the Adjustment of Overlapping Strips of Laser Altimeter Height Data". ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.33, pp. 230-237.

Elberink, S. O. and H.G. Mass, 2000, "The Use of Anisotropic Height Texture Measures for the Segmentation of Airborne Laser Scanner Data", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.XXXIII, Part B3, pp. 678-684, Amsterdam.

ESRI, 2004, ArcGIS Desktop Help, ESRI.

Harwood, D. and M. Subbarao and H. Hakalahti and LS Davis, 1987, "A New Class of Edge-Preserving Smoothing Filters", Pattern Recognition Letters, Vol.6, pp. 155-162.

Hough, P.V.C., 1962, "Methods and Means for Recognizing Complex Patterns", U.S.



patent No.3069654.

Huising, E.J. and L.M.G. Pereira, 1998, "Errors and Accuracy Estimates of Laser Data Acquired by Various Laser Scanning Systems for Topographic Applications", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.53, pp. 245-261.

Kilian, J. and N. Haala and M. English, 1996, "Capture and Evaluation of Airborne Laser Scanner Data", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.XXXI, Part B3, Vienna, pp. 383-388.

Latypov, D., 2002, "Estimating Relative LiDAR Accuracy Information from Overlapping Flight Lines", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.56, pp. 236-245.

Leica, 2003a, "ALS Calibration Attune Operation Manual Revision 2", pp. 43.

Leica System, 2003b, ALS50 Airborne Laser Scanner, (URL: <http://gis.leica-geosystems.com/products/als50/default.asp>).

Mass H.-G., 2000, "Least-Square Matching with Airborne Laserscanning Data in a TIN Structure", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.33, Part 3A, pp. 548-555, Amsterdam.

Mass H.-G., 2001, "On the Use of Pulse Reflectance Data for Laserscanner Strip Adjustment", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.XXXIV, Part 3/W4, pp. 53-56.

Maas, H.-G. and G. Vosselman, 2001, "Adjustment and Filtering of Raw Laser Altimetry Data", OEEPE Workshop on Airborne Laserscanning and Interferometric SAR for Detailed Digital Elevation Models, Stockholm, 1.-3. march 2001.

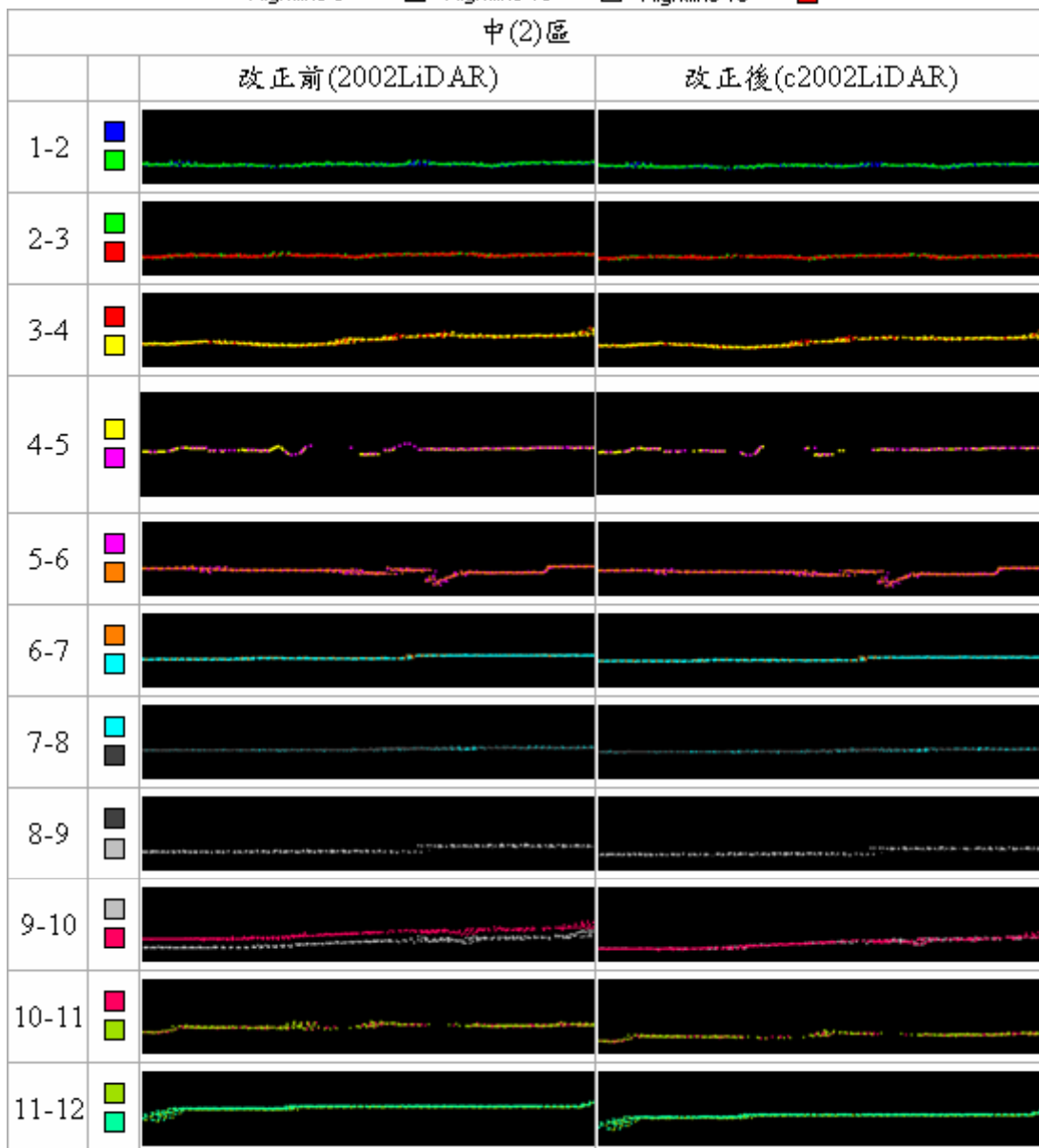
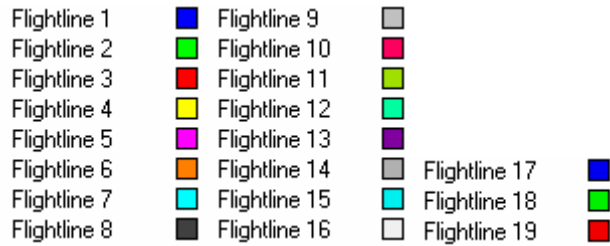
Mass H.-G., 2002, "Methods for Measuring Height and Planimetry Discrepancies in Airborne Laserscanner Data", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.68, No.9, pp. 933-940.

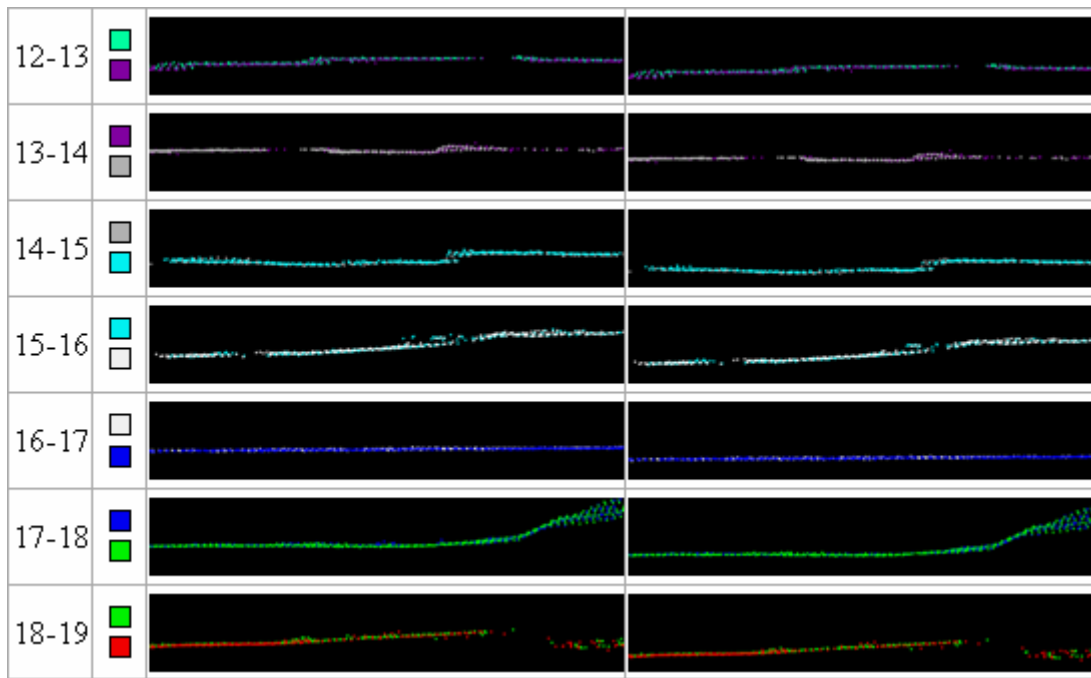
Morin, K. and N. El-Sheimy, 2001, "A Comparison of Airborne Laser Scanning Adjustment Methods", ISPRS WGII/2 Three-Dimensional Mapping from InSAR and LIDAR Workshop Proceedings, Banff, Alberta, Canada, July 11-13.

- PCI, 2003, Geomatica Prime Help, PCI.
- Parker, J. R., 1997, "Algorithms for Image Processing and Computer Vision", John Wiley and Sons, Inc, U.S. pp. 23.
- Gonzalez, R.C. and R.E. Woods, 2002, "Digital Image Processing 2/e", Published by Pearson Education, Inc, Publishing as Prentice Hall.
- Renslow, M., 2001, "Development of A Bare Ground DEM and Canopy Layer in NW Forestlands Using High Performance LiDAR". ESRI International User Conference.
- Rottensteiner, F. and Ch. Briese, 2002, "A New Method For Extraction In Urban Areas From High-Resolution LIDAR Data", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.XXXIII, pp. 295-301, Graz, Austria.
- Schenk, T., 2001, "Modeling and Analyzing Systematic Errors in Airborne Laser Scanners", Technical Notes in Photogrammetry No.19.
- Terrasolid, 2004a, TerraScan User Guide (18.11.2004), Terrasolid.
- Terrasolid, 2004b, TerraMatch User Guide (18.10.2004), Terrasolid.
- Ullrich, A., 2006, "Advantages of Echo Digitization and subsequent Full Waveform Analysis in Laser Scanning", International LIDAR Mapping Forum 2006, Denver, Colorado.
- Vögtle, T. and E. Steinle, 2000, "3D Modelling of Building Using Laser Scanning and Spectral Information", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.XXXIII, Part B3, pp. 927-934, Amsterdam.
- Vosselman, G. and H.-G. Maas, 1999, "Two Algorithm for Extracting Building Models from Raw Laser Altimetry Data", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.54, pp. 153-163.
- Vosselman, G., 2003, "3D Reconstruction of Roads and Trees for City Modelling", ISPRS Working Group III/3 Workshop, Vol.34, pp. 231-236, Dresden, Germany.
- Wehr, A. and U. Lohr, 1999, "Airborne Laser Scanning - an Introduction and Overview", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.54, pp. 68-82.



















## 附錄 A 各時期改正前後航帶重疊區剖面檢視

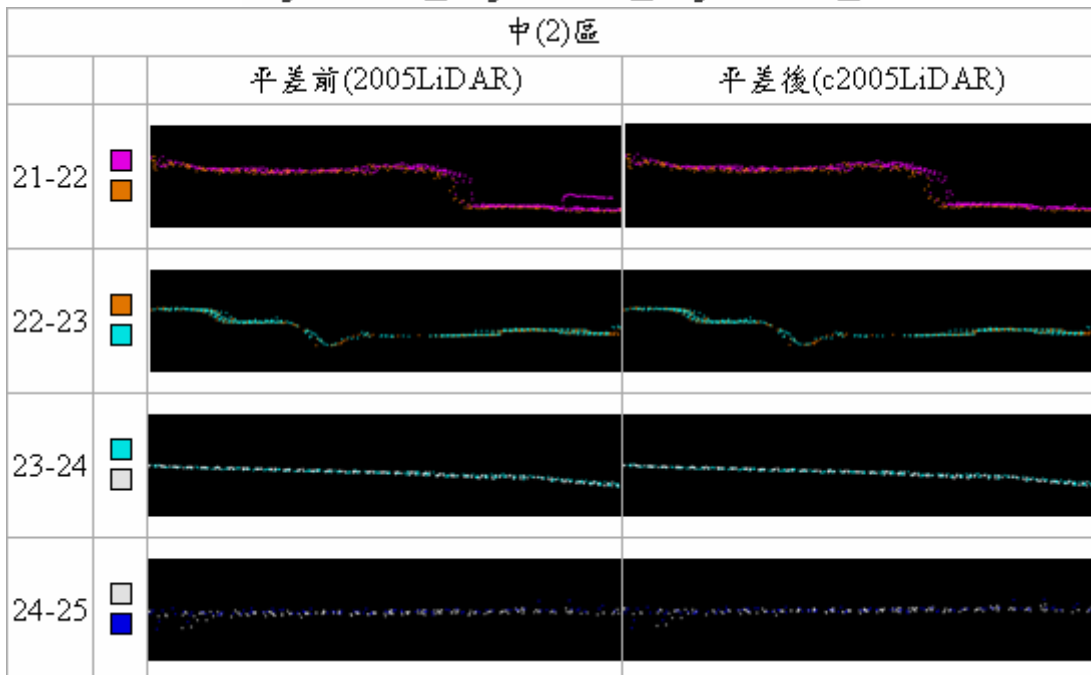
2002 年航帶之前(1)、中(2)、後(3)三區如圖 3-11 所示，以下為中(2)區之剖面檢視情形，各剖面皆僅展示地面分類點。







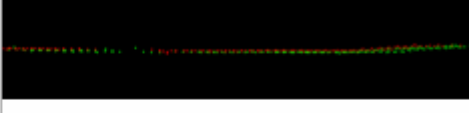
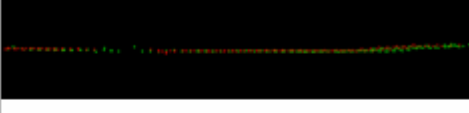


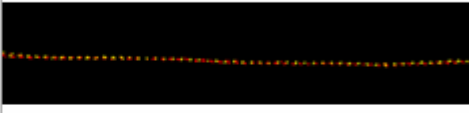
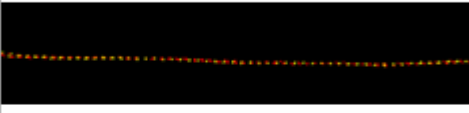


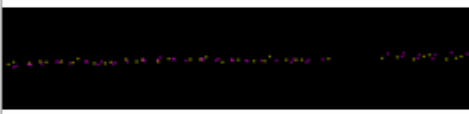
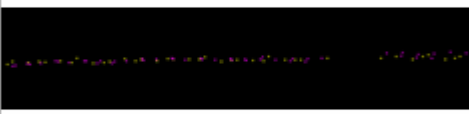






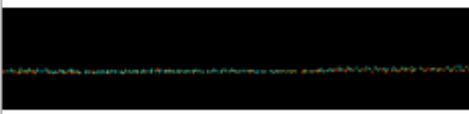











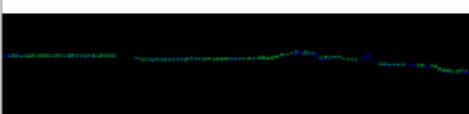
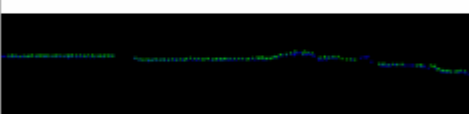



















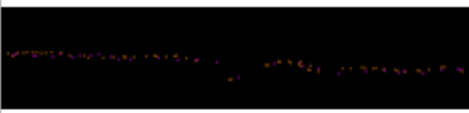







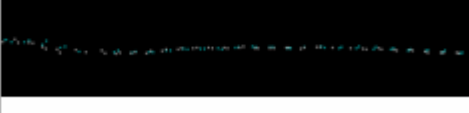






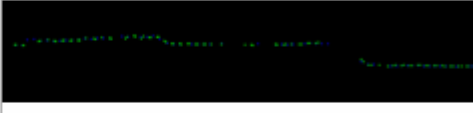
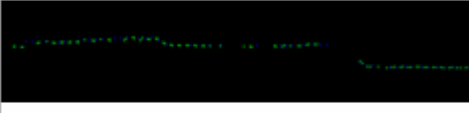


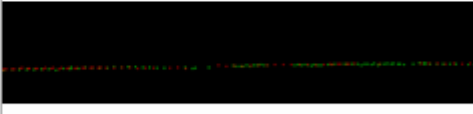
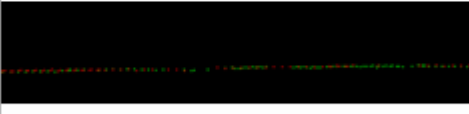


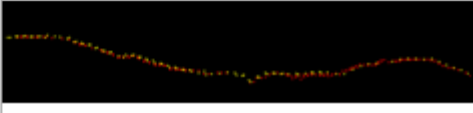
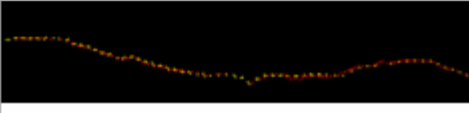
2005 年航帶之前(1)、中(2)、後(3)三區如圖 3-12 所示，以下為中(2)區之剖面檢視情形，各剖面皆僅展示地面分類點。

- |               |   |               |   |               |   |
|---------------|---|---------------|---|---------------|---|
| Flightline 21 |  | Flightline 29 |  | Flightline 37 |  |
| Flightline 22 |  | Flightline 30 |  | Flightline 38 |  |
| Flightline 23 |  | Flightline 31 |  | Flightline 39 |  |
| Flightline 24 |  | Flightline 32 |  | Flightline 40 |  |
| Flightline 25 |  | Flightline 33 |  | Flightline 41 |  |
| Flightline 26 |  | Flightline 34 |  | Flightline 42 |  |
| Flightline 27 |  | Flightline 35 |  | Flightline 43 |  |
| Flightline 28 |  | Flightline 36 |  | Flightline 44 |  |



25-26	 		
26-27	 		
27-28	 		
28-29	 		
29-30	 		
30-31	 		
31-32	 		
32-33	 		
33-34	 		
34-35	 		
35-36	 		
36-37	 		



37-38	 		
38-39	 		
39-40	 		
40-41	 		
41-42	 		
42-43	 		
43-44	 		



## 附錄 B 本研究使用影像處理方法原理說明

### B-1 最鄰近勻化平均值法(SNN-Mean Filter)

最鄰近勻化法(Symmetric Nearest Neighbor)係同時利用影像灰階值(Gray Value)以及空間(Spatial)資訊以保留影像特徵、平滑雜訊的影像處理方法。其選取核內每一對對稱之像元組中灰階值最接近中心像元灰階值的值，計算其平均值或者中位數，以取代核內中心像元之灰階值(Harwood et al., 1987)。

假設一中心為  $(x, y)$ ，大小為  $(2n+1) \times (2n+1)$  之核，每一對像元組  $\{(x+i, y+j), (x-i, y-j)\}$ ，其中  $-n \leq i, j \leq +n$ 。其演算法如下：

當  $|g(x, y) - g(x+i, y+j)| < |g(x, y) - g(x-i, y-j)|$  時，選取  $g(x+i, y+j)$ 。

當  $|g(x, y) - g(x+i, y+j)| > |g(x, y) - g(x-i, y-j)|$  時，選取  $g(x-i, y-j)$ 。

若兩者皆不成立，則選取  $g(x, y)$ 。

圖 B-1(a)藍色方框內可取出四組對稱像元：90、103、90、95、103、95、90、108，與中心像元相比較後取出四個灰階值：90、90、95、90，以其平均值為 91.25(圖 B-1(b)：(1,1))取代核中心像元灰階值 90(圖 B-1(a)：(2,2))。以核在影像上由左至右、由上而下，對影像灰階值進行過濾，結果如圖 B-1(b)所示(陳與史，2001)。

90	90	95	104	103	103	103
90	90	95	104	103	103	103
103	103	108	115	115	116	116
115	115	124	129	130	132	132
126	126	136	141	144	145	145
138	138	143	152	151	155	155
138	138	143	152	151	155	155

(a)

91.25	94.5	101.25	103.25	103
100.75	98	118.25	106.25	106.25
113	133	137.75	139.75	141.5
120	143.5	147.5	150.75	151.5
139.25	143.5	149.5	152.5	154

(b)

圖 B-1 最鄰近勻化法平均值法說明示意圖(陳與史，2001)

## B-2 Canny 邊緣偵測

Canny(1986)在設計此邊緣偵測元時設定了三個目標，第一個目標是偵測元需具備良好的偵測能力，即希望其能找出最多的邊緣特徵，為此便需要使信號的訊雜比(Signal to Noise Ratio, SNR)之值儘量的大。第二是偵測元必須具有良好的定位能力，即找出其邊緣像元之位置近似於真實邊緣線。第三是抑制單一邊緣具有多重感應(Multiple Response)的問題，避免造成單一邊緣被視為多個邊緣的情況，為此，Canny 加上一個約制基準(即約制邊緣像元的梯度值必須為局部最大值)來使偵測元在多重感應的情況下，可選定一正確之邊緣像元(Parker, 1997)。

本研究使用 PCI Geomatica V9.1(PCI, 2003)中的 LINE 模組進行線特徵的萃取，該模組針對影像進行線特徵萃取時共使用了 6 個參數，如表 B-1。

表 B-1 LINE 模組演算法參數

參數代碼	參數名稱	參數範圍	預設值	型態
RADI	Filter Radius (Pixels)	$0 \leq x \leq 8192$	10	Integer
GTHR	Edge Gradient Threshold	$0 \leq x \leq 255$	100	Integer
LTHR	Curve Length Threshold (Pixels)	$0 \leq x \leq 8192$	30	Integer
FTHR	Line Fitting Error Threshold (Pixels)	$0 \leq x \leq 8192$	3	Integer
ATHR	Angular Difference Threshold (Degrees)	$0 \leq x \leq 90$	30	Integer
DTHR	Linking Distance Threshold (Pixels)	$0 \leq x \leq 8192$	20	Integer

整個流程分為 3 個步驟：

**步驟 1**，使用 Canny 邊緣偵測演算法偵測出一邊緣線強度影像。此步驟首先將影像以一高斯函數濾波器進行平滑化處理，濾波器之半徑為 RADI 值，接著計算過濾後影像之梯度值，最後對每個像元進行非局部梯度最大值的刪除動作，如此可得到一張只有局部最大值像元之邊緣強度影像。

在 Canny 邊緣線偵操作中，要決定一個像元是否為邊緣像元，除了依其梯度大小決定外，還必須依據其梯度方向來進行非最大值刪除，其作為判斷該像元之梯度大小是否在其梯度方向之所有像元中為局部最大值(Local Maximum)，梯度由影像灰階計算可分為 x 和 y 兩個分量，如式 B-1。

$$\begin{aligned}
 P(i, j) &= (I(i+1, j) - I(i, j) + I(i+1, j+1) - I(i, j+1))/2 \\
 Q(i, j) &= (I(i, j+1) - I(i, j) + I(i+1, j+1) - I(i+1, j))/2
 \end{aligned}
 \tag{式 B-1}$$

則該像元  $(i, j)$  梯度大小  $M(i, j)$  為：

$$M(i, j) = \sqrt{P(i, j)^2 + Q(i, j)^2}
 \tag{式 B-2}$$

而梯度方向  $\alpha(i, j)$  為：

$$\alpha(i, j) = \arctan\left(\frac{Q(i, j)}{P(i, j)}\right)
 \tag{式 B-3}$$

梯度局度最大值的判斷可由圖 B-2 說明。

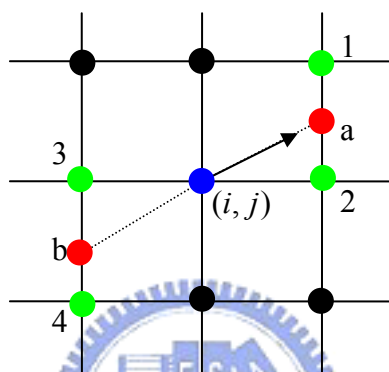


圖 B-2 非最大值刪除示意圖(彭念豪，2005)

圖 B-2 中，中心點為處理對象，該像元必須為其梯度方向上梯度最大之像元，但其梯度方向上沒有其他像元可與其比較，故需以鄰近像元(1,2,3,4)內插出位於其梯度方向上之梯度(a,b)，如此對每個像元進行非最大值刪除的動作，可得到一張只有局部最大值像元之灰階梯度影像。

**步驟 2**，透過 GTHR 梯度門檻值分析邊緣線強度影像，梯度低於該門檻值則刪除該像元，反之則保留，最終則產生一邊緣線的二元影像圖。

**步驟 3**，將二元影像轉換成一線形向量圖。首先將上個步驟的邊緣線二元影像進行細化(Thinning)，即將影像中之線條圖徵約化成一個單位解析力寬的曲線。接著萃取影像上每條曲線上連續的像元序列，若該曲線之像元數小於 LTHR，則不進行向量化動作。向量化後的曲線會近似原影像中的像元曲線，由 FTHR 參數可控制向量曲線與像元曲線之間容許的距離誤差量值。最後，將所有相鄰近的向量曲線進行連結的動作，其連結的條件是，(1)兩曲線的尾端線段有

共同的方向，且其夾角小於 ATHR 門檻值。(2)兩曲線的尾端兩點相近，且其距離小於 DTHR 門檻值。

透過上述步驟完成線形萃取及向量化的過程，線形萃取成果受 RADI 及 GTHR 兩參數門檻值影響，而向量化成果受 LTHR、FTHR、ATHR、DTHR 四參數門檻值之影響。經由測試成果(附錄 C)可得知，使用 PCI LINE 模組偵測建物邊緣線時，其最佳設定參數如表 B-2。

表 B-2 PCI LINE 模組最佳參數

參數名稱 (單位)	RADI (Pixels)	GTHR (Gradient Value)	LTHR (Pixels)	FTHR (Pixels)	ATHR (Degrees)	DTHR (Pixels)
給定值	5	15	5	0	90	5

透過此模組產生的成果可分兩部分，一為二元化邊緣線影像，另一為向量化線段。使用 PCI 進行向量化線段可看出向量化成果依然有不完整的地方，如圖 B-3，經測試後將參數容錯度調大，依然無法改善此問題，因此向量化成果(步驟 3)改以 ArcGIS(ESRI, 2004)中的 Convert Raster to Polyline 工具進行 R2V 轉換，該功能主要是偵測二元影像中邊緣線各像元的中心點，再進行邊緣像元中心點的連結。

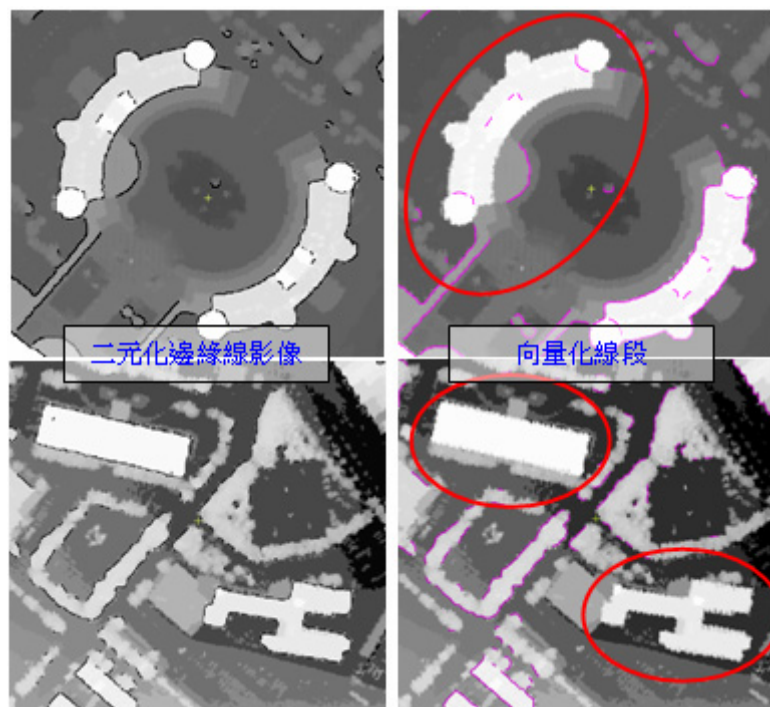


圖 B-3 PCI LINE 模組向量化後不完整的線段

### B-3 Hough Transform 直線偵測

Hough(1962)提出一個方法來辨識影像中的直線或是圓形，稱之為 Hough 轉換。此方法是利用對影像作某種形式的座標轉換，使得轉換前原影像中的一些特徵，會在轉換後的空間集中於一位置，即由影像空間(Image Space)轉換至參數空間(Parameter Space)，並在參數空間中由群集偵測(Cluster Detection)的方式找出原影像特徵的參數值，再反推回影像空間，因此可得到此特徵在影像空間的位置。

一般 Hough 進行轉換時是採用極座標 $(\rho, \theta)$ 作為轉換空間，轉換關係式如式 B-4。

$$\rho = x_i \cos \theta + y_i \sin \theta \quad (\text{式 B-4})$$

即影像中之一點 $(x_i, y_i)$ 對應於參數空間之一條正弦曲線，如圖 B-4。而此參數空間中曲線上的任一點對應於影像空間中的一條直線，且該直線必通 $(x_i, y_i)$ 這個點。若影像空間中共線的三點經過轉換至參數空間後，所對應之正弦曲線必交於一點，如圖 B-5。若具有很多點之影像，轉換至參數空間之正弦曲線都會交於一點，可利用轉換空間之資訊判斷影像上之直線線段(賴彥中，2004)。

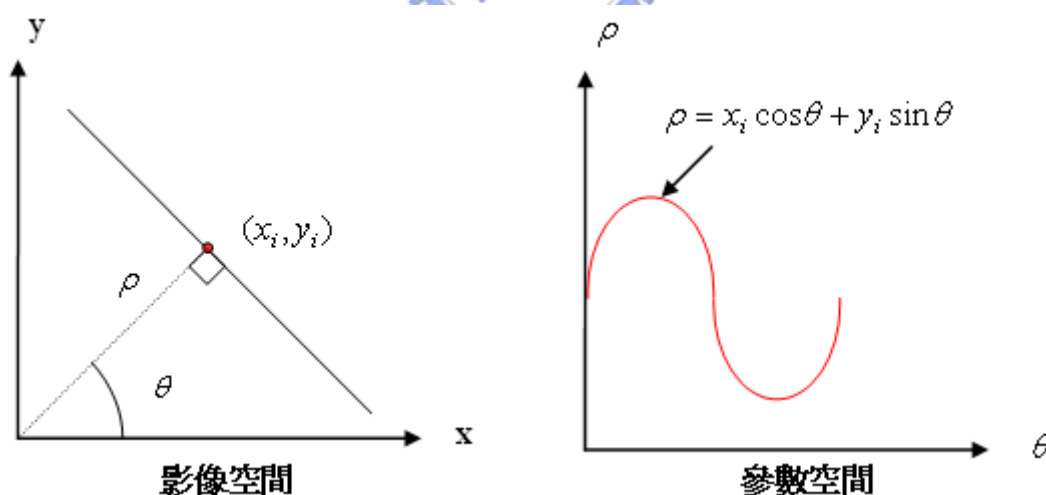


圖 B-4 單點的 Hough 轉換



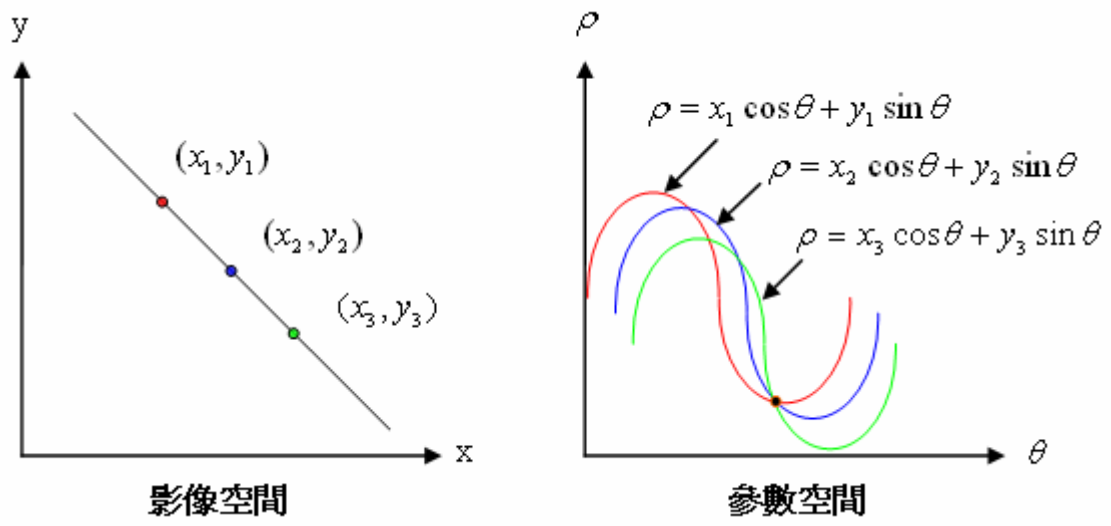


圖 B-5 共線點之 Hough 轉換



## 附錄 C PCI-LINE 模組各參數測試之萃取成果

表 C-1 RADI 參數測試


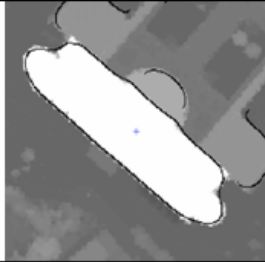


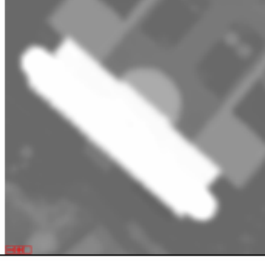
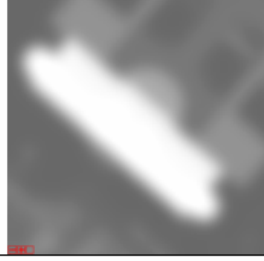
參數 給值	RADI (Pixels)															
	5	20	50													
萃取 成果				<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">固定參數</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>GTHR</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>LTHR</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>FTHR</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>ATHR</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>DTHR</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table>	固定參數		GTHR	100	LTHR	30	FTHR	3	ATHR	30	DTHR	20
固定參數																
GTHR	100															
LTHR	30															
FTHR	3															
ATHR	30															
DTHR	20															
平滑 影像																
	最佳值															

表 C-2 GTHR 參數測試

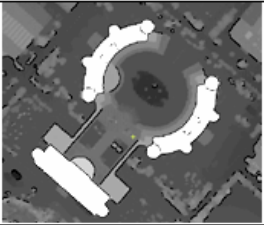
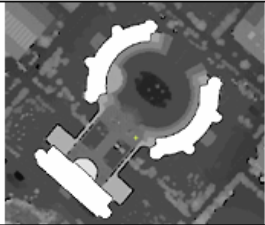
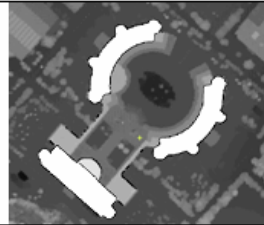



參數 給值	GTHR (Gradient Value)															
	15	20	30													
萃取 成果 1				<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">固定參數</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RADI</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>LTHR</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>FTHR</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>ATHR</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>DTHR</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table>	固定參數		RADI	5	LTHR	30	FTHR	3	ATHR	30	DTHR	20
固定參數																
RADI	5															
LTHR	30															
FTHR	3															
ATHR	30															
DTHR	20															
萃取 成果 2																
	最佳值															

表 C-3 LTHR 參數測試

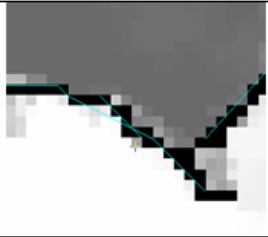
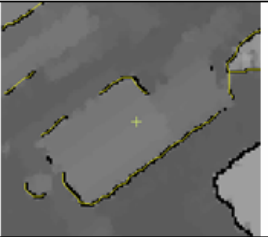

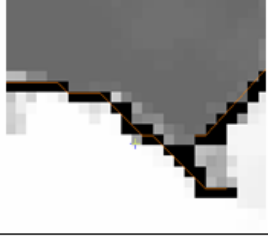

參數 給值	LTHR (Pixels)															
	5	30	50													
萃取 成果 1				<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">固定參數</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RADI</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>GTHR</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>FTHR</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>ATHR</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>DTHR</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table>	固定參數		RADI	5	GTHR	15	FTHR	3	ATHR	30	DTHR	20
固定參數																
RADI	5															
GTHR	15															
FTHR	3															
ATHR	30															
DTHR	20															
萃取 成果 2																
	最佳值															



表 C-4 FTHR 參數測試

參數 給值	FTHR (Pixels)															
	0	1	3													
萃取 成果 1				<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">固定參數</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RADI</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>GTHR</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>LTHR</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>ATHR</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>DTHR</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table>	固定參數		RADI	5	GTHR	15	LTHR	5	ATHR	30	DTHR	20
固定參數																
RADI	5															
GTHR	15															
LTHR	5															
ATHR	30															
DTHR	20															
萃取 成果 2																
	最佳值															

表 C-5 ATHR/ DTHR 參數測試

參數	ATHR (Degrees) / DTHR (Pixels)		
	30/20	60/10	90/5
給值	60/20	60/20	
萃取成果 1			
萃取成果 2			
			最佳值

固定參數	
RADI	5
GTHR	15
LTHR	5
FTHR	0



## 作者簡介

姓名： 吳紹禎

籍貫： 台灣省 台北市

出生日期： 民國 71 年 1 月 18 日

學歷： 台北市立南港高級工業職業學校畢業

國立台北科技大學土木工程學系畢業

國立交通大學土木工程學系測量組碩士班

著作：

吳紹禎、陳承昌、史天元、劉進金，2005。新竹市東區公園綠地探討。第二十四屆測量學術及應用研討會，1213-1220。國立政治大學，2005年9月8-9日。CD 論文集：147.pdf。

史天元、吳紹禎、徐偉城、劉進金，2005。不同時期空載光達成果比對探討－以新竹地區為例(高程比對)。內政部「辦理 LIDAR 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」成果發表暨應用研討會，179-198。工業技術研究院 能源與資源研究所，2005年12月20-21日。