

行動測量系統於道路資訊萃取應用

Applications of Mobile Mapping System in Road Information Extraction

張智安、連以諾、蔡富安、陳杰宗

Tee-Ann Teo, Yi-No Lien, Fuan Tsai, Chieh-Tsung Chen

行動測量系統可快速且有效地獲取空間的三維資訊，並且可提供細緻與高精度的資料。現今都市快速的發展以及電腦軟硬體的提升，在都市更新之規劃與維護、車輛導航、適地性服務等各個領域對於道路資訊的需求也逐漸增加，有效率的獲取細緻道路資訊為一重要之課題。本研究之目的為透過車載光達獲取的點雲資料中，萃取道路點雲，並從中獲取道路的幾何資訊。研究方法包含資料前處理、車道點萃取及驗證分析。因車載光達提供的資料量龐大，為提升運算效能，資料前處理以車載光達的軌跡計算道路中心線，並沿著中心線方向將資料切割成較小的路塊，分批進行處理。車道點萃取的部分，首先搜尋路塊中的高程最低點，並以該點為基準，設定門檻值保留可能為車道的點雲。接著，以三次多項式擬合道路平面，完成車道點雲的萃取。驗證分析的部分，以地測資料進行平面精度驗證的，高程以人工編修後的 DEM 為依據，驗證成果的正確性。

Mobile Mapping System (MMS) is a cost-effective way to acquire spatial data. It also provides detailed and high accurate point cloud. As the need for urban planning, navigation and Location Based Service (LBS) are increasing, how to extract the information of the road becomes the important research. For this reason, the purpose of this study is extracting the road points from the mobile lidar points cloud, and then obtaining the geometrical information of the road. The research has three major parts. There are data pre-processing, road point extraction and verification. In data pre-processing, in order to avoid dealing with all data, point clouds are divided into several road parts. Then, we select the lowest point as potential ground point from all points using elevation threshold. Next, we use the cubic curve fitting and point-to-curve distance to extract road points. It can remove non-ground points like cars and pedestrians. Finally, we provide manual edited digital elevation model (DEM) and ground check points to verify the result.

一、前言

行動測量系統 (mobile mapping system, MMS) 於移動載具進行光達點雲或光學影像之動態取樣。移動載具可使用飛機或汽車等，因此資料獲取效率佳。車載行動測量系統在動態取樣的過程中，儀器

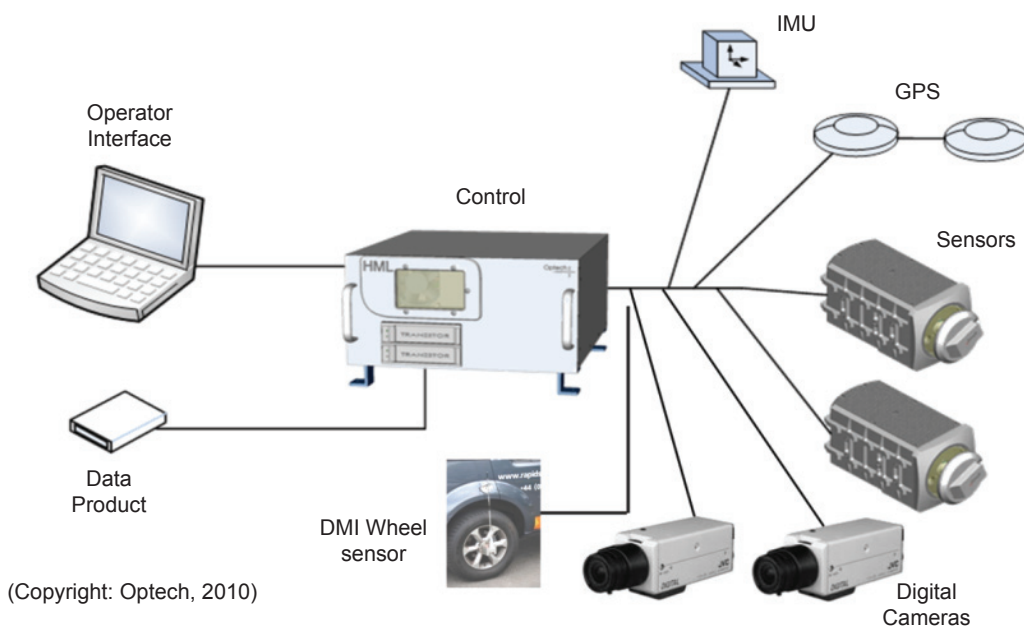
的位置隨著時間改變，因此需要在載具上加裝其他儀器，以獲取載具在移動中的位置與姿態，以整合不同時間所獲取的資料。車載行動測量系統搭載的儀器可以分為導航感測器與資料獲感測器⁽¹⁾。導航感測器包含全球定位系統 (global positioning system, GPS) 與慣性導航系統 (inertial navigation

system, INS)。另外，也會加裝里程計 (distance measuring instrument, DMI) 在 GPS 訊號不佳時作為輔助。資料獲取感測器，一般則以雷射掃描儀與數位相機為主。在訊號條件良好的情況下，雷射掃描儀與數位相機之方位可直接由 GPS/INS 以直接地理對位 (direct georeferencing) 計算而得，因此資料地理對位效能佳。

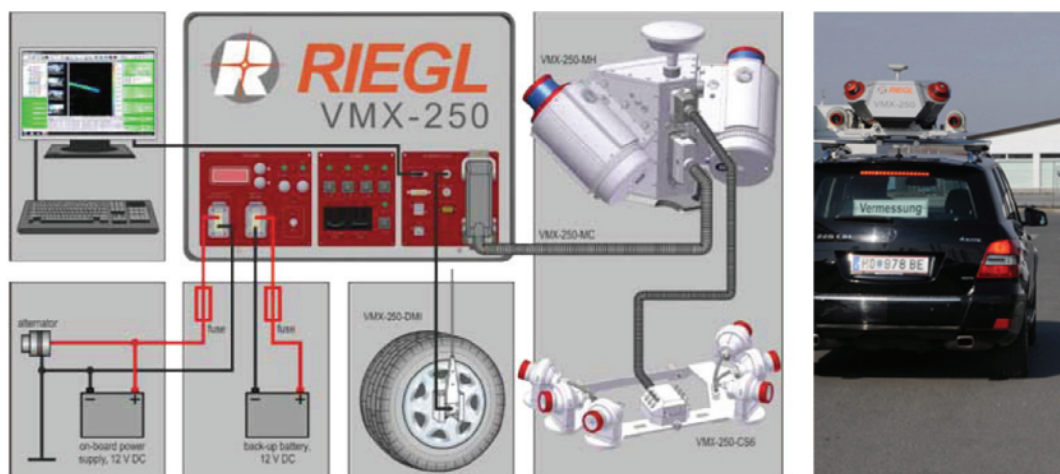
車載光達行動測量系統在車輛行進間，對於周圍的地物發射大量的脈衝以獲取資料，因此可以獲得高密度的三維點資料，一般稱之為點雲 (point clouds)。由於感測器與物體之間的距離較近，提供的點雲密度較高，因此能夠描繪道路路面、建物牆

面與其他物體的細部幾何特徵。此外隨著脈衝撞擊物體材質的不同，接收到回訊的信號強弱也有所不一，因此點雲在表示回波強弱的差異時便會有明暗之分。透過大量三維空間的點座標以及點雲明暗程度，點雲便能描繪出物體的幾何外觀，並以輻射差異表現不同材質的物體。加上點雲精度可達數公分等級，對於一些高精度與細節的分析與建模而言，車載光達是良好的資料來源。

以 Optech Lynx⁽²⁾ 和 Riegl VMX-250⁽³⁾ 車載光達為例，兩種型號的車載光達都搭載了 GPS、INS 和 DMI 獲取載具的位置與姿態，圖 1 是兩種車載光達行動測量系統的系統架構圖。資料獲取感測



(a) Optech Lynx 系統架構



(b) Riegl VMX0250 系統架構

圖 1. 車載光達系統架構圖。(a) Optech Lynx 車載光達系統⁽²⁾，(b) Riegl VMX-250 車載光達系統⁽³⁾。

表 1. Lynx & VMX-250 規格比較表^(2,3)。

	Optech Lynx	Riegl VMX-250
光達系統型號	M1	VQ-250
測距精度 (Precision)	8 mm	5 mm
絕對精度 (Accuracy)	± 5 cm	± 5 mm
最大掃描頻率	200 Hz	100 Hz
量測頻率	75 – 500 kHz	50 – 300 kHz
最遠掃描距離	200 m	500 m

器 Lynx 裝有兩台雷射掃描儀與四台工業級數位相機；VMX-250 裝有兩台雷射掃描儀與四台數位相機。Lynx 與 VMX-250 搭載光達掃描儀的型號與規格如表 1 所示，其中絕對精度是指衛星訊號良好時，量測到的三維點雲座標精度；掃描頻率是指單台光達掃描儀在單位時間內的掃描線數量；量測頻率則是光達發出脈衝的頻率，其頻率越高，觀測量越多。

圖 2(a) 為光達進行掃描時掃描線的交會情形。掃描線形成的夾角約 45 度或 135 度。如此的配置為要增加兩台光達掃描資料的重疊區，以利後續的套合作業之外，能夠減少遮蔽的情形，以增加掃描的範圍。以圖中為例，紅與綠兩色各為兩台光達的掃描範圍，移動的過程中，紅色掃描的範圍受到建物等物體的遮蔽，無法掃描到的區域可以由另一台光達彌補，在相互彌補之下能夠獲取更完整的點雲資料⁽⁴⁾。

車載光達獲取高密度的點雲，具有潛力作為萃取道路資訊所使用的資料。圖 2(b) 為 Riegl VMX-

250 在中距離掃描模式下車速與單位面積的點雲密度關係圖。依照台灣的道路規範，車道的間距約為 3.5 m，在車速 40 km/hr 且無遮蔽的情況下，離掃描中心 30 m 的道路區域，點雲密度可達 150 pts/m² 以上，因此車載光達高密度的點雲可細緻地描繪道路幾何與外觀，提供更多的線索以萃取道路資訊。

隨著都市發展，如何善用土地資源、環境品質的監測、都市的維護更新與交通管理等需求因應而生，而有效的管理以及良好的分析有助於提升都市管理的作業成效。以 IBM 協助建置交通壅塞管理方案為例，參與計畫的城市在交通問題改善上皆獲得不錯的成果。如交通尖峰時段的車流量最高可降低 18%，二氧化碳排放量最多可降低 14%，選擇使用大眾運輸系統的人數增加 7% 等⁽⁵⁾。而詳盡的道路資訊有助於提升各項領域的分析與應用，如空氣與噪音模型分析、適地性服務 (location based service, LBS)、道路安全與維護、車流量模擬與街道之維護等都有相當幫助⁽⁶⁾，因此道路資訊在許多領域佔有重要的角色。

車載光達可以提供細緻物體的三維資訊，因此有許多相關文獻，研究從車載光達中萃取道路點雲，以獲得道路資訊。文獻 7、8、9 以路肩的高差定義道路區域，將道路區域外的點雲剷除，接著利用道路面高差變化低的特性，將道路區域內的非路面點剷除，保留道路點雲進。文獻 7 將道路區域內的點雲組三角網，並計算各邊的坡度，將坡度過大點視為非路面點剷除之，文獻 8 則是利用區域成長法 (region growing) 濾除道路區域內，高程較大的非路面點，文獻 9 則是利用 Forstner 運算元，判斷各個點雲與周圍點雲的關係，並將屬於平面上的點雲保留。

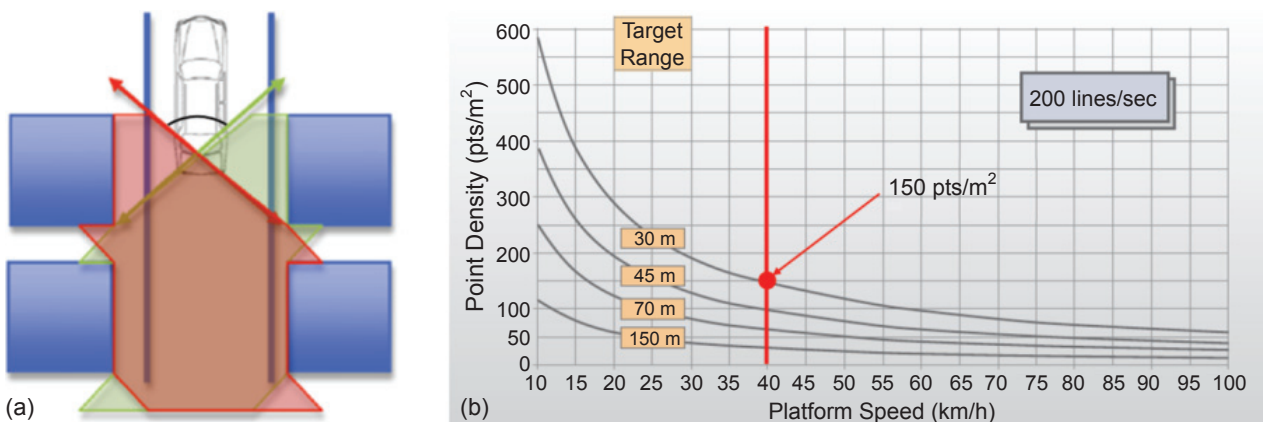


圖2. (a) 光達掃描線俯視⁽⁴⁾，(b) 車速與單位面積的點雲密度關係圖⁽³⁾。

文獻 10、11 考慮道路面為一曲面之特性，利用局部平面擬合的方式萃取道路點雲。文獻 10 以區域成長法擬合局部的路面，並利用卡曼濾波推估下一個平面的中心位置與法向量，以因應路面幾何的變化萃取道路區域。文獻 11 用 RANSAC (RANdom SAmple Consensus) 演算法二次曲線對路面擬合路除非路面點，再以三次曲線進行一次擬合，萃取更完整的路面點雲。

本研究之目的為發展半自動的作業流程，從車載光達點雲中，利用道路的幾何特徵萃取道路區域內之點雲，獲取道路資訊。透過本研究，可以從大量的點雲資料中萃取道路點雲，並且快速的獲取較高精度的道路資訊。在方法上，首先以道路中心線為依據，進行平面與高程上的資料切割，降低資料量，接著搜尋路面高差的位置定義道路邊界。之後，以道路邊界為基準，以三次多項式擬合路面，以濾除非路面點。最後使用地測資料進行平面精度驗證的，高程以人工編修後的 DEM 為依據，驗證成果的正確性。

二、研究方法

本研究的方法可分為資料前處理、車道點萃取與驗證分析三個部分，研究流程圖如圖 3 所示。資料前處理，利用車載光達軌跡產生中心線，並依此為依據將原始點雲資料在平面和高程上進行資料切割。平面部分，以人工給定大略的車道寬度切割資料，濾除道路區域外的點雲，接著將資料沿著道路中心線切割成路塊；高程部分，以測繪車 GPS 的天線為原點，保留與道路高程相近的點雲，達到降低資料量之目的。萃取車道點的部分，首先將點雲網格化，並在每一網格中搜尋最低點，以該點為基準濾除高程過高的點雲。接著，將點雲轉成回波影像，以形狀幾何判斷白虛線之數量，當數量大於門檻值視為一般道路，偵測路肩位置得到道路邊界，並以三次多項式擬合路面萃取車道點。當白虛線數量小於門檻值，則視為十字路口，以相鄰路段的邊界推估其邊界，最後獲取車道點。驗證分析的部分，則使用人工邊修的 DEM 驗證路面高程，以地測資料驗證道路邊界與路寬進行精度的評估。

1. 道路中心線與資料切割

光達掃描路段的方式是於路段中的對向車道來回掃描，因此同一路段有兩個掃描軌跡。研究中藉由疊加對向車道的軌跡獲取道路中心線。如圖 4 所示，先以其中一條軌跡為基準，逐一對每個點沿著路方向在對向車道的軌跡展開環域。接著，將對向軌跡落在環域內軌跡點相加取平均，再與原為基準的軌跡點取平均，最後得到道路的中心位置。其中紅色為原始軌跡資料，綠色為求得的道路中心線。

接著，平面資料切割的部分以中心線的平面位置為基準，將左右 4 個車道的寬度以外的點濾除，並將每 50 公尺長的路段切割成一個路塊，於前後增加 5 公尺的重疊區；高程部分，如圖 5，以車載光達的 GPS 天線中心為原點，從該原點作為起算點至地面的距離約為 1.664 m。因此高程方面以該

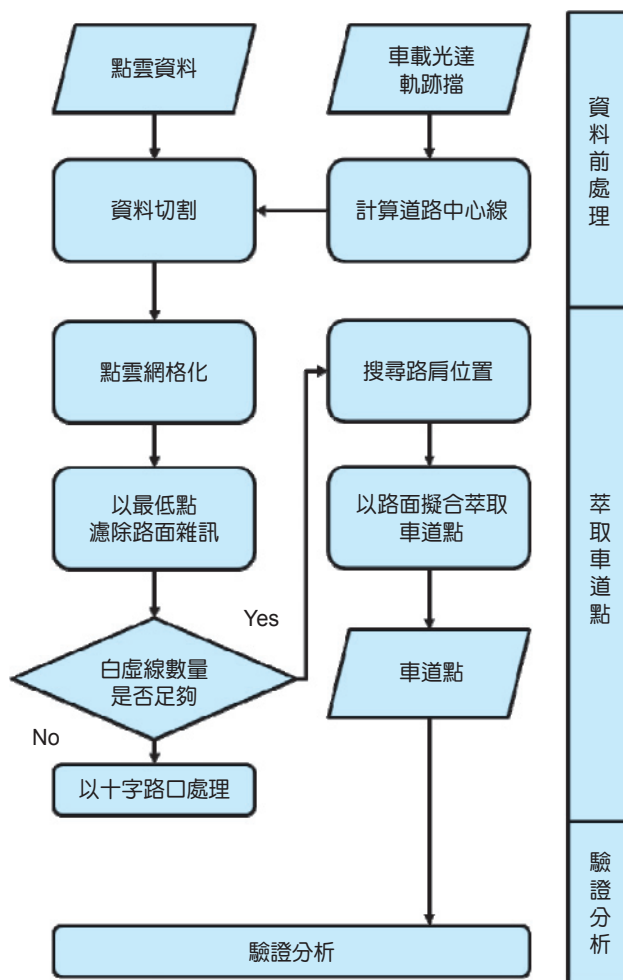


圖 3. 研究流程圖。

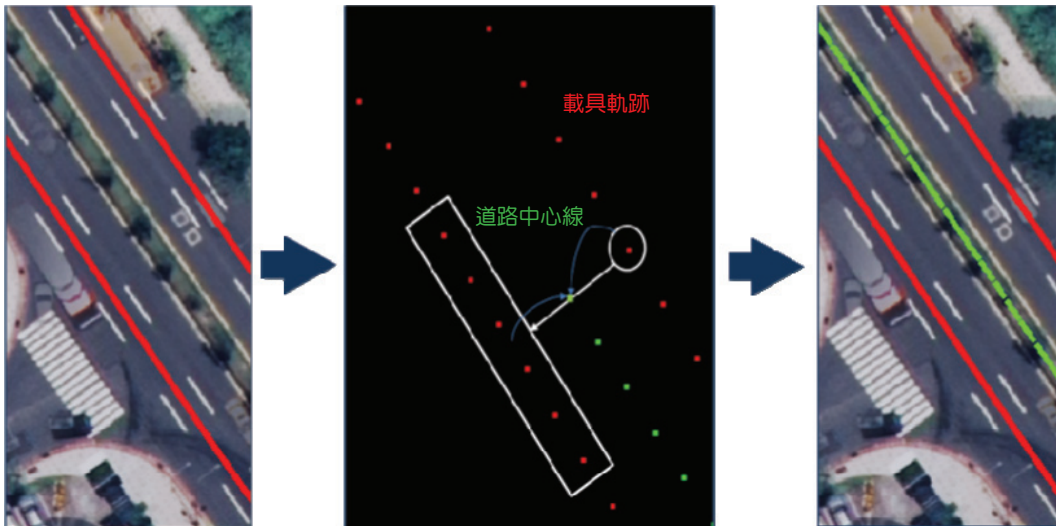


圖 4. 以軌跡計算道路中心線示意圖。

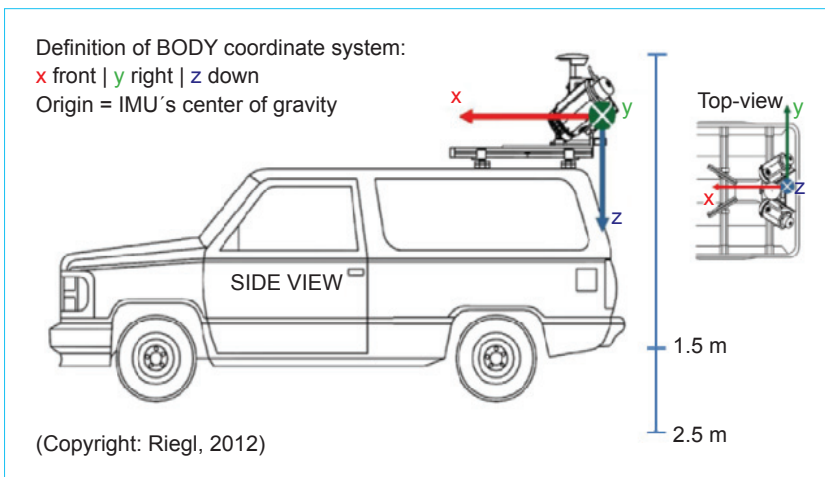


圖 5. Riegl VMX-250 BODY coordinate system⁽³⁾。

點向下起算保留在 1.5 m 至 2.5 m 之間的點雲，以粗略的濾除非路面點。切割成果如圖 6 所示，圖 6 (a) 與 (b) 分別為平面與高程示意圖，白色部分為原始點雲，橘色部分為切割後的點雲。

2. 萃取車道點

萃取車道點的步驟可分為四部分，(1) 資料網格式化予以高程濾除雜訊、(2) 判斷白虛線數量、(3) 搜尋路肩位置與 (4) 路面擬合。

(1) 資料網格式化予以高程除雜訊

萃取道路區域前，首先將點雲資料沿道路行進方向做一維的網格式化，如圖 7 所示，綠色為道路中

心線，紅色方框為網格式化的成果。接著搜尋每個網格式化中的最低點做為基準，以高程門檻濾除非路面的點雲。如式 (1)， P_{i_z} 為點雲的高程， P_{min_z} 為網格式化的最低點，當兩者相差的值小於門檻，便保留之。

$$S_{ground} = \{P_{i_z} - P_{min_z} < Threshold_H\} \quad (1)$$

(2) 判斷白虛線數量

此部分將上述步驟所得到的點雲轉成回波影像，並用 Canny Edge Detection⁽¹²⁾ 萃取影像中的線特徵，接著將相鄰的線段連結，合併成一個物件，圖 8 為連結後的成果，其中不同的顏色代表不同的物件。之後以形狀幾何約制萃取白虛線。形狀幾何

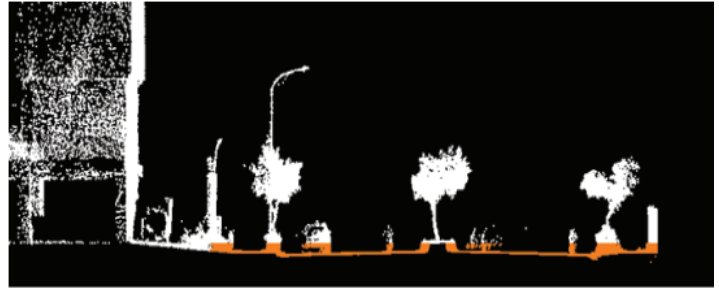
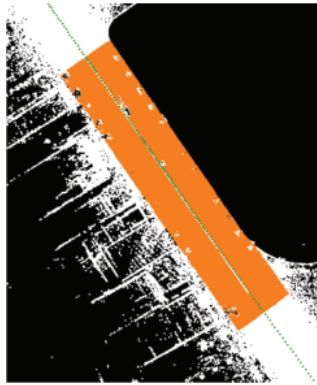


圖 6. 資料分割示意圖。(a) 資料切割成果 (平面展示) (b) 資料切割成果 (立面展示)

包括面積、線段長與面積周長比。研究中依據白虛線繪製的規範設定門檻值，將非白虛線物件濾除，留下可能為白虛線的圖塊。當白虛線的數量大於 8 個，則判定該路段為一般道路，反之則為十字路口。

(3) 搜尋路肩位置

路肩為車道與人行道之間的高差，在搜尋路肩位置時，本研究利用道路中心線依照測區的需要向外側平移固定的距離，並以此線為基準，在一個車道的範圍內搜尋路肩的位置，如圖 9 所示。深綠色

線段為道路中心線，淺綠色虛線為平移之後的線段，研究中便以虛線為基準，在範圍內搜尋路肩位置。

搜尋路肩的步驟中，首先搜尋範圍中的最低點，接著以此點在剖面方向上左右各 30 公分的範圍內，以每 2.5 公分的網格大小計算當中點雲的平均高度值，圖 10 為點雲剖面圖，圖中的綠點為偵測到的最低點，紅點該網格中高程平均之後的點雲。研究中，從道路中心往路邊方向計算網格間的平均高程的高差，當高差小於 -0.05 公分時，便

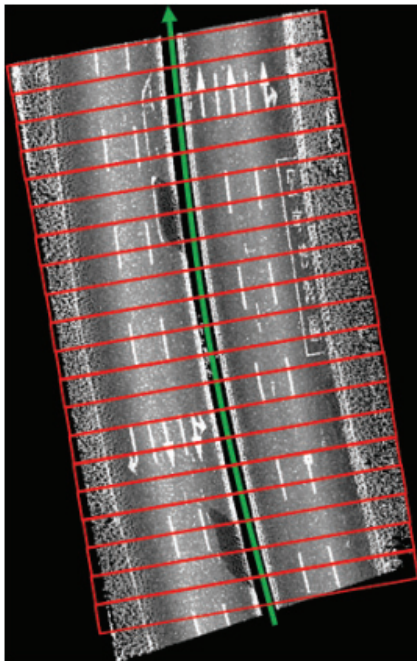


圖 7. 光達點雲網格化示意圖。

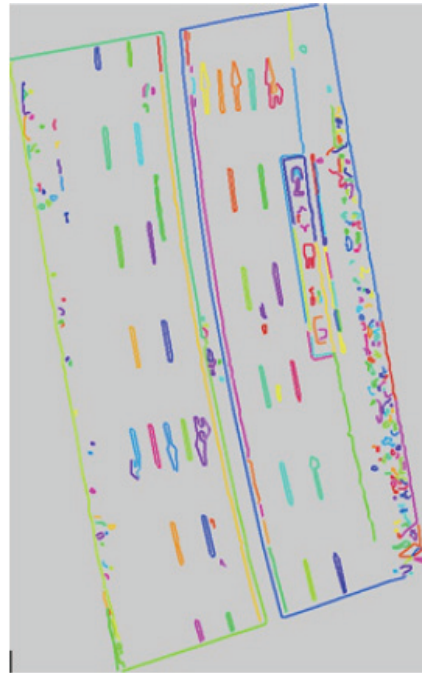


圖 8. 偵測白虛線之示意圖。

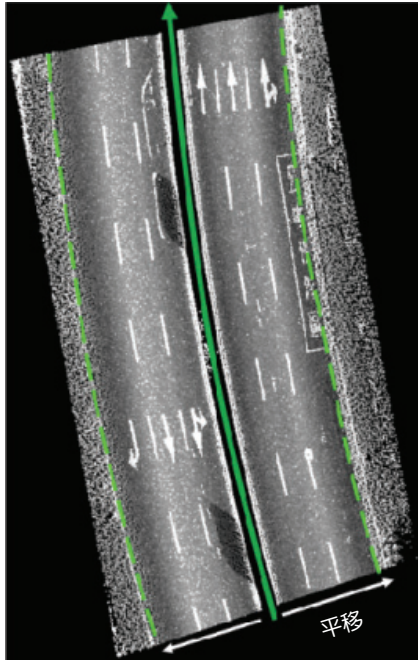


圖 9. 中心線平移之示意圖。

視為是路肩的位置。萃取路肩位置後，使用二次多項式擬合路肩點獲得道路邊界。

另外，由於十字路口並沒有所謂的道路邊界。為了保持整條路段的完整性，在此利用十字路口前後路段偵測到的路肩點推估十字路口的邊界，解決邊界的問題。

(4) 路面擬合

完成道路邊界之萃取後，接著進行路面擬合。研究中以三次曲線對邊界內的點雲進行路面的擬合，濾除非路面點，獲得道路區域的點雲。圖 11 為立面投影之後點雲的分布，橘色的線段為擬合路



圖 11. 網格內點雲投影與路面擬合示意圖。

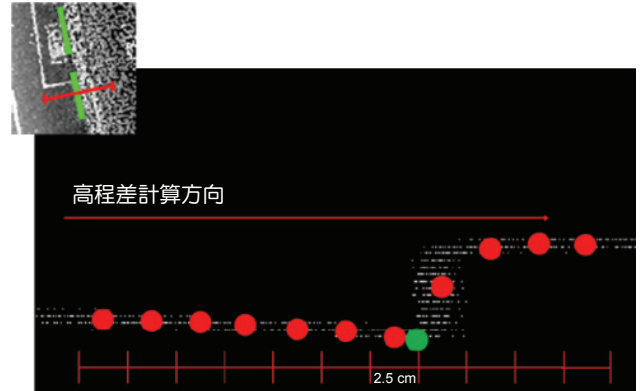


圖 10. 路肩點萃取之示意圖。

面的曲線。當點雲距離曲線的距離大於門檻值時，便視為是非路面點剔除。

點與曲線門檻值的設定如式 (2)，本研究參考測區路段的速限，以及市區道路的設計規範設定門檻值。以速限為每小時 40 公里為例，所對應的縱坡度為 10%，因此在 1 公尺的網格大小下，門檻的最小值應為 5 公分。

$$Threshold \begin{cases} 0.05m \times Coeff & \text{if } threshold > 0.05m \\ 0.05m & \text{if } threshold < 0.05m \end{cases} \quad (2)$$

$$Coeff = 2.0 \times \left(1 - \frac{\text{點到邊界距離}}{1/2 \text{ 路寬}} \right)$$

3. 驗證分析

驗證分析可分為平面與高程兩部分，平面部分使用地面導線測量資料對道路邊界與路寬做精度的評估。高程部分則使用人工邊修的 DEM 進行驗證，對萃取出的路面點雲進行高程精度的評估。

表 2.
舊宗路道路邊界驗證成果 (單位：公尺)。

	左側邊界	右側邊界
路段 1	驗證點數：3	驗證點數：5
	精 度： 0.0196 ± 0.0219	精 度： 0.0601 ± 0.0767
路段 2	驗證點數：5	驗證點數：7
	精 度： 0.0356 ± 0.0497	精 度： 0.0509 ± 0.0649
路段 3	驗證點數：7	驗證點數：4
	精 度： 0.0527 ± 0.0643	精 度： 0.0488 ± 0.0599
路段 4	驗證點數：8	驗證點數：11
	精 度： 0.0492 ± 0.0595	精 度： 0.0826 ± 0.0901
路段 5	驗證點數：9	驗證點數：7
	精 度： 0.0814 ± 0.1047	精 度： 0.1667 ± 0.2022
路段 6	驗證點數：4	驗證點數：7
	精 度： 0.0728 ± 0.0831	精 度： 0.0821 ± 0.0915

表 3.
宗路道路路寬驗證成果 (單位：公尺)。

	觀測量	路寬	最大值	最小值	路寬精度
路段 1	12	22.056	0.5822	-0.0681	-0.0471 ± 0.0868
路段 2	15	22.013	0.0498	-0.1069	-0.0294 ± 0.0548
路段 3	18	22.033	-0.0734	-0.1236	-0.0987 ± 0.0998
路段 4	20	21.956	0.0287	-0.1263	-0.0494 ± 0.0671
路段 5	13	25.215	-0.0826	-0.4473	-0.2113 ± 0.2222
路段 6	15	25.108	-0.0871	-0.1638	-0.1259 ± 0.1280

三、研究成果

研究中使用的資料由 Riegl VMX-250 車載光達於 2012 年 5 月 25 日掃描而得，位於台北市內湖區舊宗路，屬於市區道路。資料的內容以平面道路為主，道路中包含十字路口、直線路段與彎曲路段。資料中包含的種類較多，如行道樹、建物與圍牆等。該測區中，用進行實驗的路段長度約為 1.7 公里，點雲數量約有 4 億點。圖 12 (a) 與 (b) 分別以回波強度與高程展示舊宗路的資料。

1. 平面精度分析

圖 12(c) 是舊宗路進行驗證的六個路段以及其對應的位置，紅色的線段是地測得邊界。六個路段中，除了路段 5 為彎曲路段之外，其餘五個路段為直線路段。道路邊界的驗證成果如表 2 所示，直線路段的平均誤差與均方根誤差 (RMSE, root-mean-square error) 皆在 10 公分以下。彎曲路段，因為受到道路彎曲的影響，因此邊界誤差較差，右側平均誤差有約 16 公分，RMSE 為 20 公分。

表 3 則是六個路段路寬驗證之成果，舊宗路各路段的平均路寬約在 20 至 25 公尺。與道路邊界成果相呼應，在直線路段的路寬精度較高，平均誤差與 RMSE 可達 10 公分，彎曲道路平均誤差為 -21.13 公分，RMSE 為 22.2 公分。

路寬的成果顯示，道路區域的邊界皆有內縮之情形。主要原因是路面底下的非道路點所導致。道路兩側設置排水用的水溝蓋，因此光達系統掃描時，便會掃描到路面下的點雲。研究中，雖然已藉由計算平均高差改正路肩點的位置，如圖 8。但萃取的成果顯示，水溝蓋下的點雲仍然造成路寬有內縮之情形。

2. 高程精度分析

高程驗證部分，研究在道路區域點雲中，每 0.5 公尺的網格大小中，取一個點與人工編修的 DEM 在高程方向上相減進行精度分析。表 4 高程驗證成果。道路區域內點雲的取樣點數共有 168822 個點，驗證的成果高程差最大值為 25.1 公分，最小值約為 -0.0760 公分，平均誤差接近零，

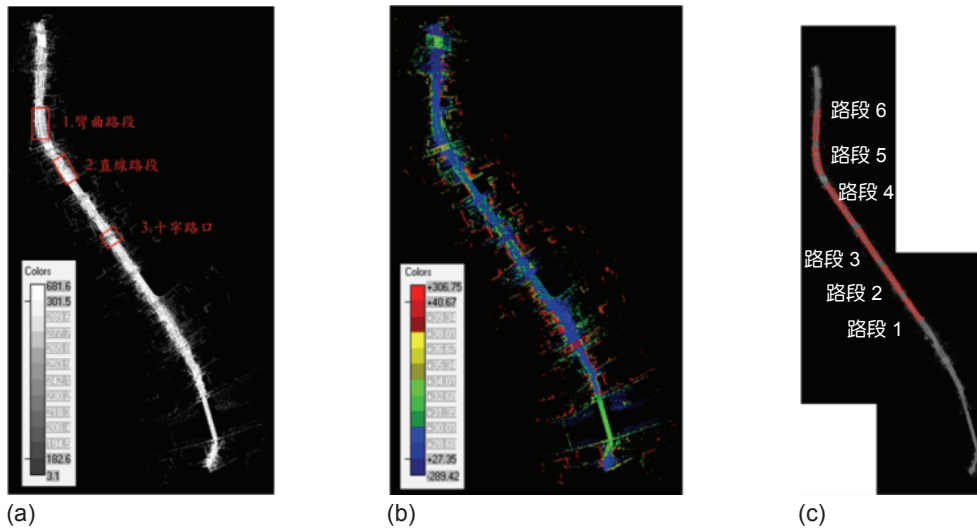


圖 12. 舊宗路點雲資料與平面驗證資料展示圖，(a) 以回波強度展示資料，(b) 以高程展示資料，(c) 平面驗證資料。

RMSE 為 0.052 公分。高程差大於零的誤差，主要可分為兩項原因，第一是受到門檻值的影響而造成的，式 (2) 為點雲與曲線距離的門檻值，此門檻值於內側車道較嚴謹，外側車道較寬鬆，因此在道路邊界，有部分的非路面點被誤認為路面點。第二項原因，則是受到大量非路面點的影響，造成原本擬合路面的曲線偏離路面，因而萃取出錯誤的點雲。圖 13 為舊宗路道路區域萃取之成果，其中包含直線路段，彎曲路段與十字路口。

四、結論

本研究發展半自動化的作業流程，可快速地從車載光達點雲中萃取出路面點雲，並從中獲取道路資訊。首先以車載光達軌跡資料求得道路中心線，並以中心線為依據對原始資料進行切割，濾除道路區域以外的點雲。接著，沿著道路行進方向對點雲資料進行一維網格化，在每個網格中搜尋最低點，以最低點為基準，濾除高程差大於門檻值的點雲，保留

可能為路面的點。接著搜尋路肩的高差，獲取道路邊界。再將邊界內的點雲以三次多項式擬合路面，進一步的濾除非路面點，得到最後的成果。本研究可歸納出以下幾項結論：(1) 直線路段的平均誤差與 RMSE 皆在 10 公分以下。彎曲路段，受到道路彎曲之影響，因此邊界誤差較差，平均誤差約 16 公分，RMSE 約 20 公分。(2) 高程驗證中，平均誤差接近零，RMSE 為 0.052 公分。最大值為 25.1 公分，最小值為 -7.6 公分。(3) 道路萃取過程中，受濾除路面點的門檻的影響，道路兩側萃取出部分的非路面點。當道路上非路面點點雲過多時，使得擬合路面的曲線無法貼近路面，因而萃取出非路面點的點雲。

誌謝

本研究特此感謝內政部計畫（案號：SYC1020116）經費支持，使本研究得以順利完成。

參考文獻

1. A. Kukko, A. Jaakkola, M. Lehtomaki, H. Kaartinen, and H. Chen, *Proceedings of Urban Remote Sensing Joint Event*, 1-6 (2009).
2. Optech, Lynx Mobile Mapper Spec Sheet, URL: www.optech.ca/

表 4. 舊宗路到路面高程驗證成果 (單位：公尺)。

驗證點數	最大值	最小值	精度
168527	0.251	-0.0760	0.00004 ± 0.00052

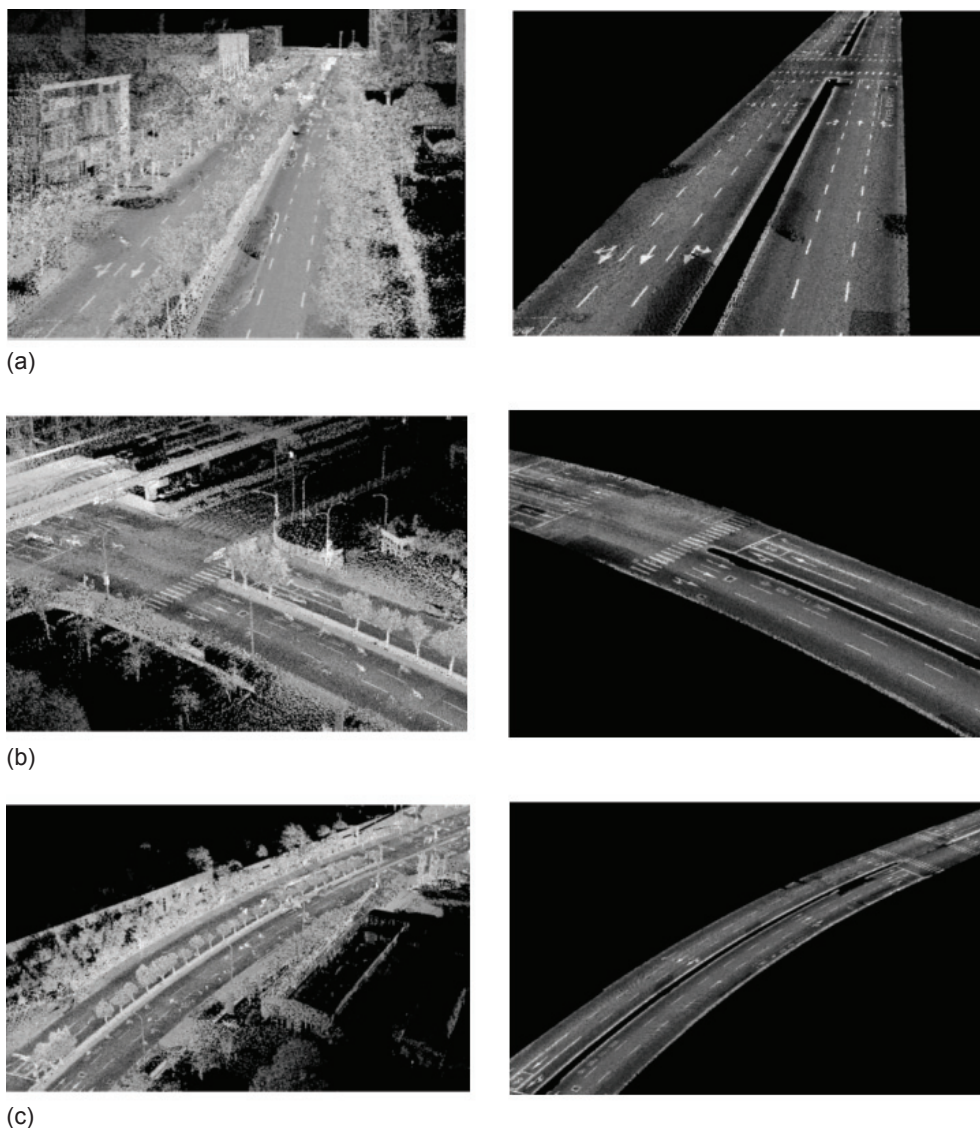


圖13.
舊宗路各路段萃取成
果，(a) 直線路段，(b)
十字路口，(c) 彎曲路
段。

- pdf/Lynx_SpecSheet_110909_web.pdf (2010).
3. Riegl, VMX-250 Datasheet, URL: [http://www.linkfast.com.tw/file/RIEGL/03.Mobile Laser Scanning/VMX-250/DataSheet_VMX-250_newDesign_03-04-2012.pdf](http://www.linkfast.com.tw/file/RIEGL/03.Mobile%20Laser%20Scanning/VMX-250/DataSheet_VMX-250_newDesign_03-04-2012.pdf) (2012).
 4. O. E. Sander, *Automated 3D Road and Building Reconstruction Using Airborne Laser Scanner Data and Topographic Maps*, Institute for Geo-information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands (2010).
 5. S. J. Palmisano, Welcome to the Decade of Smart, URL: http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/events/sustainable_development/12jan2010/files/palmisano_decadeofsmart_12jan2010.pdf (2010).
 6. S. Hinz and A. Baumgartner, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **58** (1-2), 83 (2003).
 7. A. Jaakkola, J. Hyypä, H. Hyypä, and A. Kukko, *Sensors*, **8**, 5238 (2008).
 8. S. Ibrahim and D. Lichti, *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, **39** (Part B5), 193 (2012).
 9. E. Denis, R. Burck, and C. Baillard, *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, **38** (Part 3A), 293 (2010).
 10. J. Lam, K. Kusevic, P. Mrstik, P. Harrap, and M. Greenspan, *Proceedings of 3D Data Processing, Visualization and Transmission*, 1-8 (2010).
 11. L. Smadja, J. E.O. Ninot, and T. Gavrilovic, *IEEE Intelligent Vehicle Symposium*, **4**, 941 (2010).
 12. J. Canny, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **8**, 679 (1986).

張智安先生為國立中央大學土木工程博士，現任國立交通大學土木工程學系副教授。

Tee-Ann Teo received his Ph.D. in civil engineering from National Central University. He is currently an associate professor in the Department of Civil Engineering at National Chiao Tung University.

連以諾先生為國立交通大學土木工程系碩士班學生。

Yi-No Lien is currently a M.S. student in the Department of Civil Engineering at National Chiao Tung University.

蔡富安先生為美國康乃爾大學土木及環境工程博士，現任國立中央大學太空及遙測研究中心和土木工程學系副教授。

Fuan Tsai received his Ph.D. in civil and environmental engineering from Cornell University, USA. He is currently an associate professor in the Center for Space and Remote Sensing Research and the Department of Civil Engineering at National Central University.

陳杰宗為內政部地政司科長。

Chieh-Tsung Chen is currently a section chief at Department of Land Administration of Ministry of the Interior.