

空載光達點雲密度對林下道路萃取之影響

Using the airborne LiDAR scanning to estimation the extraction of understory estate road form different point density

主管單位：內政部地政司

王驥魁¹ 張智安² 林志交³

Wang, Chi-Kuei¹ Teo, Tee-Ann² Lin, Chih-Chiao³

¹國立成功大學測量及空間資訊學系副教授

²國立交通大學土木工程系副教授

³中興測量有限公司技師

摘要

台灣山坡地有許多農民自行開發之產業道路，並無工務單位之圖資可取得相關資訊，雖然透空良好的路段可透過航空正射影像測繪，但林下的路段受植生遮蔽無法直接由影像取得路面資訊。空載光達於森林覆蓋區域具有穿透樹冠層到達林下的特性，可清楚展現林下產業道路之線型特徵，提供林下產業道路之繪製。本研究目的為，以空載光達技術測繪林下道路，並評估點雲密度對林下道路特徵萃取之影響。本研究使用資料為 ALTM Pegasus 光達系統於曾文水庫集水區上游區域所獲取，並選取測試範圍為 1 km × 1 km，平均點雲密度約為每平方公尺 42.4 點，並將點雲按照雷射發射量等間距疏化為 1/2、1/4、1/8、1/16 與 1/32 的等比級數降低原始資料之點雲密度，利用不同密度疏化等級所產製之 DEM，以人工判釋方式數化林下道路。本研究結果顯示當資料疏化至 1/32(點雲密度 1.3 點/平方公尺)，其 DEM 成果僅判釋 65% 之林下產業道路，且道路邊界產生較多大於 1 公尺以上的誤差量。提高光達點雲密度可以有效增加林下道路判釋數化的正確性。

關鍵字：林下產業道路、空載光達、道路測繪

Abstract

There were many estate roads which were developed by the farmers on the hillside in Taiwan. However there were not map data of the public works unable to obtain the relevant information. The LiDRA lasers can penetrate the tree crown to the ground surface, and it is an effective tool to detect the understory estate road. The purposes of this study were to use Airborne LiDRA delineating understory estate road, and to assess the impact of the point cloud density characteristics of extraction of understory estate road. The remotely sensed data were collected for an area of the upstream of Tseng-Wen Reservoir by an ALTM Pegasus LiDAR system, and the testing area is 1 km × 1 km, the average point density is 42.3

points/m². In the other hand, we are thinning the point clouds which the 1/2, 1/4, 1/8, 1/16 and 1/32, and estimate the influence of road and road-edge by different point density. Our results showed that when down sampling the original airborne LiDAR data to a point density of 1.3 point/m², it is shown that only 65% of the estate road was correctly identified and a large portion of the edge of the estate road were identified with errors larger than 1 m.

Keywords : Understory estate road, Airborne LiDRA, Road delineate

一、前言

空載光達具有多重回波的特性，使雷射光能穿透樹林遮蔽物到達地表面，隱含著地表面高程資訊(A.E. Akay et al., 2009)，在森林區域可利用空載光達取得地面高程(DEM)資料(黃紹東等，2008)，故對於林下地形之測繪，為一個重要的偵測工具。

在台灣山坡地有許多農民自行開發之產業道路，並無單位管理該產業道路資訊，雖於透空度良好的路段可透過正射影像測繪，但林下的路段，則受上方森林遮蔽影響，無法直接由影像上得到路面資訊。而空載光達對於森林遮蔽不嚴重區域，仍可藉由部分點雲穿透之特性展現林下產業道路之線型，有利於土砂災害、國土監測等重要的應用。由前人文獻指出，萃取道路的方式可分為光達資料萃取(Lidar-base)及另一種為 DEM 二維資料萃取(DEM-base)，Zhang(2010)利用光達測量車之資料，以 Lidar-base 的方式萃取道路與道路邊緣，其主要是利用區域極值訊號偵測濾波器(local-extreme-signal detection filter)，偵測訊號的極值波峰(extreme peaks)的位置，是一種合理搜尋道路邊緣的方式。而二維地形資料的道路萃取，可利用半自動化的方式來達成(陳良健與羅詔元，2007)。本研究利用 DEM-base 的方式來萃取林下產業道路，主要由於林下產業道路可由 DEM 資料清楚及人工可快速判釋出道路紋理，故利用 DEM 資料為判斷道路邊緣的依據。

本研究主要目的為應用不同密度的光達地面點資料產製 DEM，以進行林下產業道路之數化判釋，並評估空載光達不同點雲密度對林下產業道路判釋之影響，可供規劃空載光達掃瞄點雲之適切密度參考資訊。

二、研究地區、材料與研究方法

2.1 研究區域

研究區域位於曾文水庫集水區上游，使用 TWD 97 坐標系統，研究區左上角坐標為(213997.262, 2580123.005)至右下角坐標(217882.075, 2574595.021)，面積約為 21 km²，海拔高度約為 267~1018 公尺，平均坡度約為 24°，為森林覆蓋之區域，由現地勘查主要的樹種大多為桑科榕樹屬為主，包括菲律賓榕、榕樹、幹花榕及白肉榕；樟科槿楠屬之大葉楠、菲律賓楠等；榆科山麻黃，茜草科的水錦樹、千屈菜科的九芎等樹種。空載光達掃瞄區範圍內有眾多產業道路，本研究挑選一小區域內之林下產業道路作為試驗範圍，並施測導線測量 1 公里之長度，用以檢核林下產業道路之邊界，本研究林下產業道路測繪位置如圖 1 所示。

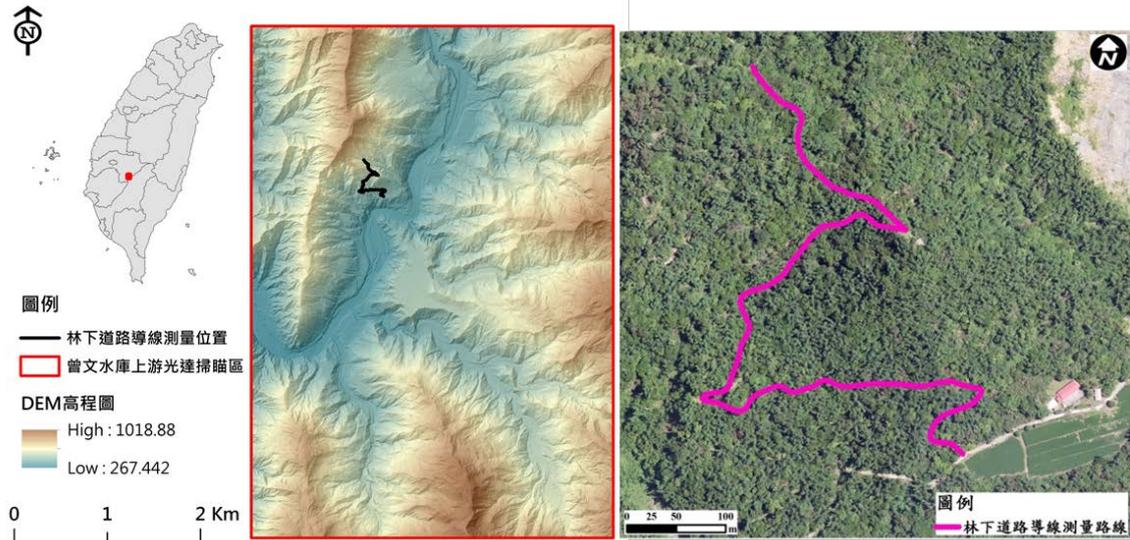


圖 1、林下產業道路測繪位置圖

2.2 研究材料

本研究使用之空載光達資料為，全波形空載光達儀器 Optech ALTM Pegasus 搭配 Dimac Ultralight + 60MP 所獲取。全波形光達系統主要包含：「雷射掃瞄組件」以及「定位與定向組件(Position and Orientation System, POS)」二大部分。其中雷射掃瞄組件之性能如測距範圍、掃瞄寬度(掃瞄角)、點位密度(掃瞄頻率)等，直接影響施測之能力；定位與定向組件之性能，則是影響測點精度之關鍵。本研究使用之全波形光達儀器掃瞄航線參數為，離地面高度 1200~2400 公尺，各航帶光達點雲密度為 $10\text{pts}/\text{m}^2$ 以上、航帶重疊率為 60%，FOV 為正負 9° ，掃瞄日期為 2013 年 7 月 23 及 24 日(內政部，2013)。

2.3 研究方法

2.3.1 光達點雲密度疏化

隨著 LiDAR 硬體設備的蓬勃發展，可蒐集數據密度及精度越來越高，數據量也就與日俱增。在提高了準確度的同時卻也增加了系統運算的負荷，因而降低了後續處理的效率，更重要的是基於經濟成本之考量，以最適的點雲密度來產製符合需求的 DEM。本研究林下產業道路測繪範圍，其所蒐集的高密度空載光達點雲資料(點雲密度每平方公尺 42.3 點)，依雷射發射順序，等距間隔取樣資料，模擬當 LiDAR 發射的雷射筆數相對減少的狀態下，取得對照地形表現應有之點雲資料，以不同點雲取樣密度分為六級，疏化取樣選取原始 LiDAR 掃瞄之數據(All points)之 $1/2$ 、 $1/4$ 、 $1/8$ 、 $1/16$ 及 $1/32$ 的等比級數降低原始資料之點雲密度，進行點雲過濾，將資料分為地面點與非地面點，將地面點使用 kriging 內插法產製不同點雲密度之 DEM，後續計算 DEM 資料，產製 1 m 網格坡度圖及日照陰影圖作為林下產業道路判釋數化之材料，研究流程如下圖 2。

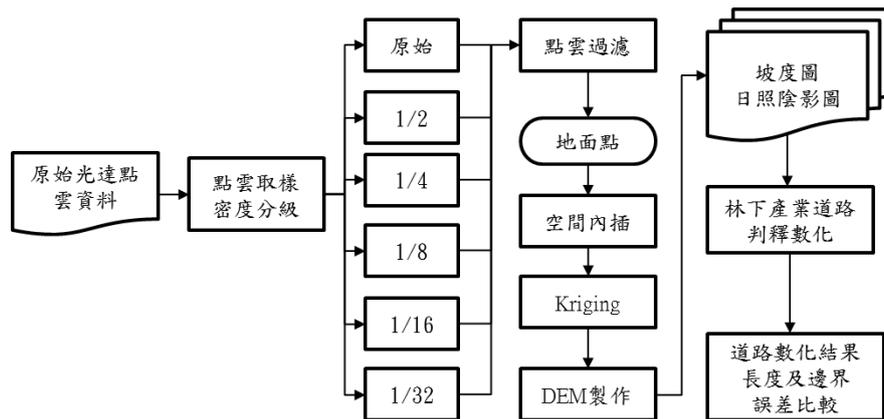


圖 2、研究流程圖

2.3.2 林下產業道路判釋

本研究以光達點雲不同密度疏化等級所產製之 DEM，以 ArcGIS 空間分析功能產製 1 m 網格坡度圖及八方位之日照陰影圖，可清楚展現林下產業道路的分布情況，再以人工進行判釋影像中的明暗交界處，作為判斷林下道路之邊界，分別編輯數化不同密度等級之道路邊界以繪製出林下產業道路。道路的準確性通常透過路寬及完整性做為評估要件，本研究以林下產業道路邊界的誤差程度及道路長度評估點雲密度對道路萃取之影響。道路邊界之誤差值，是以人工數化林下產業道路與實際外業測量之道路邊界兩者距離差距，藉由外業量測的邊界位置點具有平面坐標，並統計與數化之邊界的垂直距離，此距離為兩者之間的平面誤差，誤差數值正值為人工數化邊界大於檢核邊界，負值為人工數化邊界小於檢核邊界。各密度等級的林下產業道路長度，則是計算道路中心線之長度作為比較，將數化成果其道路邊界向量圖層轉為網格式圖層，中心線向量化是沿著網格式中心產生線性元素，因此可藉由自動向量化網格式道路圖層，以萃取出道路中心線。

2.3.3 林下產業道路導線測量

本研究進行現地林下道路導線測量(圖 2)，用以檢核光達 DEM 所測繪之林下產業道路，在測試範圍內的林下道路為無柏油鋪面且上方有森林植物覆蓋，本研究在空曠之位置總共設立 4 個 VRS 控制點，以附和導線方式及開放導線完成林下道路測量坐標，人工觀測的方式判斷道路邊，配合全站儀測量道路邊界點位，共測得 194 個邊界檢核點，其坐標系統為 TWD97【2010】。導線測量成果附和導線距離為 841.16 公尺，開放導線為 298.76 公尺，總導線距離為 1139.92 公尺，導線精度測量成果符合 4 等導線規定如表 1 所示。



圖 2、曾文水庫測試區林下道路現況與現地測量

表 1 導線精度分析統計表

測站數	角度閉合差 (秒)	導線長度 (M)	方位角閉合差		平面坐標閉合比數		備註
			限制	實測	限制	實測	
22	56.77	841.160	20√N	12.1	1/5000	1 / 9881	符合 4 等 導線規定

三、研究成果

3.1 空載光達點雲密度疏化

本研究使用高密度光達點雲資料，依不同點雲取樣密度分為 6 級，以疏化取樣方式選取原始 LiDAR 掃瞄之數據之 1/2、1/4、1/8、1/16 及 1/32 的等比級數降低原始資料之點雲密度，再進行點雲過濾，將資料分為地面點與非地面點。試驗範圍內各密度等級之平均點雲密度計算結果如下表 2 所示，疏化後的資料量最小密度每平方公尺至少有 1 點，原始點雲、1/2、1/4、1/8、1/16、1/32 等 6 個等級的點雲密度取樣資料，產製 DEM 坡度圖及日照陰影圖(圖 3、圖 4)，作為林下產業道路之判釋材料。

表 2 點雲疏化等級之平均點雲密度

等級密度	原始	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32
點雲密度(pts/m ²)	42.37	21.18	10.59	5.29	2.64	1.32
地面點-點雲密度(pts/m ²)	2.99	1.49	0.74	0.37	0.18	0.09

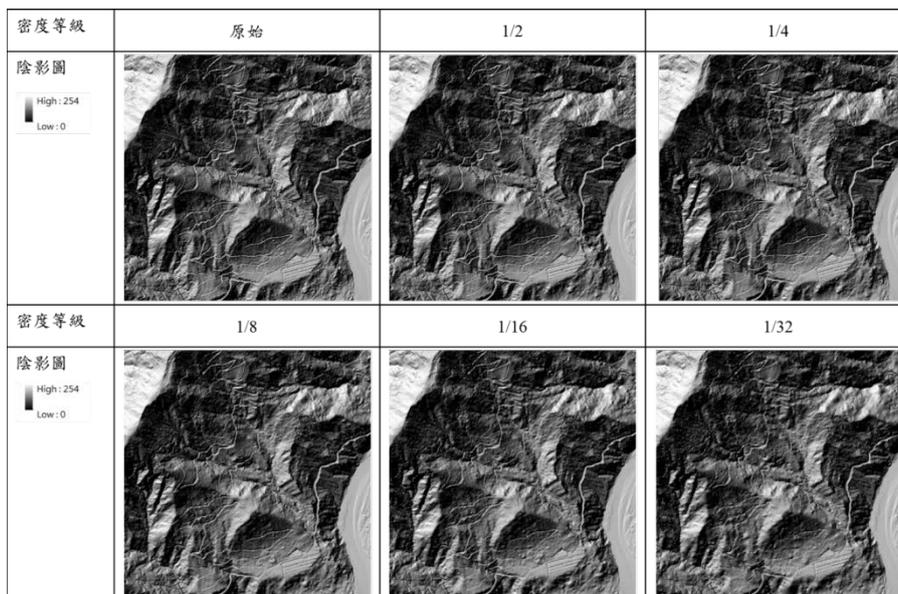


圖 3、光達點雲疏化各密度等級之 DEM 日照陰影圖

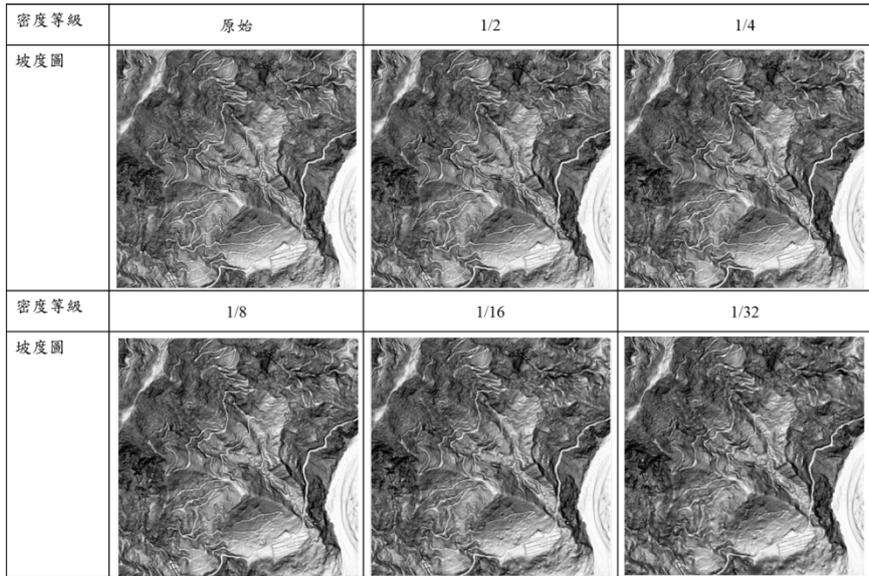


圖 4、光達點雲疏化各密度等級之 DEM 坡度圖

3.2 林下產業道路判釋成果

本研究以 6 個不同密度等級之坡度圖及日照陰影圖，利用人工數化方式判釋林下產業道路，數化分析範圍成果如圖 5 所示。經由 Kriging 內插不同疏化密度之 DEM 所產製日照陰影圖及坡度圖，可發現點雲資料密度等級越低者，在地形上越趨於模糊化的情況，隨疏化密度降低，至 1/16 點雲密度試驗區內之林下產業道路有一部分已無道路邊界特徵可供人工辨識，疏化至 1/32 點雲密度的數化結果，則呈現斷斷續續不完整的路網。

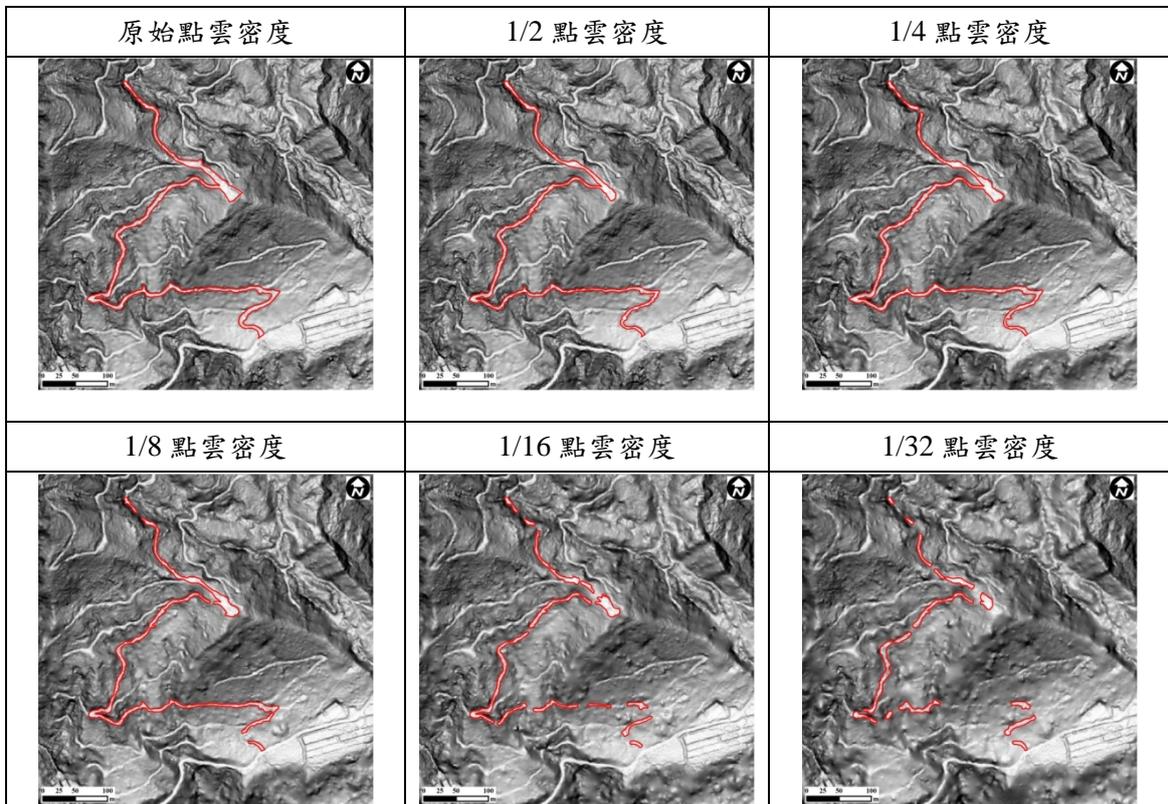


圖 5、林下產業道路判釋數化成果

3.2 點雲密度對林下產業道路判釋之影響

3.2.1 不同點雲密度對道路長度判釋之影響

本研究統計不同空載光達點雲密度等級的道路中心線長度的結果如下圖 6。長度統計結果，隨點雲疏化密度降低，道路判釋之長度亦有減少的趨勢，由原始點雲密度(每平方公尺 42.3 點)道路長度為 1025 公尺，疏化至 1/32(每平方公尺 1.3 點)時，道路長度減少至 664 公尺，相差 361 公尺，判釋長度下降至 65%，測試結果顯示點雲密度疏化的程度影響判釋道路的長度。目前國內常見之空載光達點雲密度為每平方公尺 1~2 點，故推估僅使用約 60~70%空載光達資料可達之效能，由本研究結果顯示點雲密度大於每平方公尺 5 點時，可達 95%以上林下產業道路之判釋，因此空載光達點雲密度的提升，可萃取較完整的林下道路線特徵。

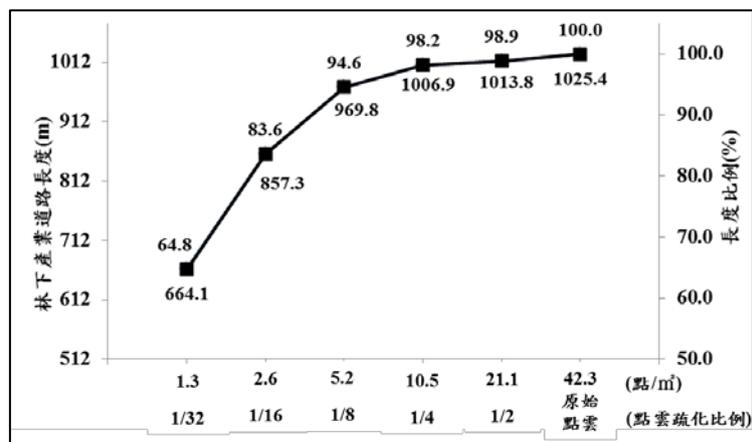


圖 6、林下產業道路中心線判釋長度統計結果

3.2.2 不同點雲密度對道路邊界判釋之影響

測試區域為山區的林下產業道路，故以道路兩邊邊界而言，由光達點雲資料可看出道路之上坡邊界及下坡邊界(如圖 7)，故本研究以上邊坡及下邊坡分別探討道路邊界之判釋是否會受影響。不同密度等級數化成果的邊界長度不同，所對應的檢核點的數量亦不同如表 3 所示。

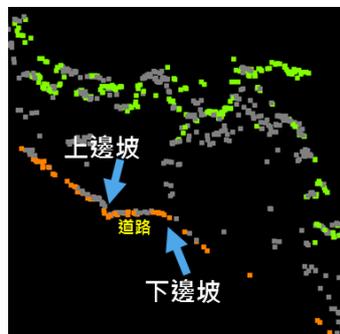


圖 7 光達點雲展示林下產業道路上下坡邊界

表 3 各密度等級數化成果對應道路邊界之檢核點數量(個數)

密度等級	原始點雲	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32
上邊坡	89	89	86	79	74	57
下邊坡	105	105	104	98	88	72

各密度等級林下產業道路之邊界距離誤差統計結果如圖 8 所示，由盒形圖統計結果顯示，林下道路邊界之上邊坡與下邊坡誤差距離有明顯差異，上邊坡原始點雲、1/2、1/4 及 1/8 密度等級的誤差值多集中在-1~1 公尺，相較於 1/16 與 1/32 密度等級道路邊界的誤差程度較小，然而在 1/2 疏化點雲密度的邊界誤差有達 2 公尺之多，誤差值比 1/4 疏化點雲密度高，應為人工數化作業的誤差。下邊坡誤差值則集中在 1~3 公尺，下邊坡邊界誤差程度有明顯增加，表示人工數化之道路邊界超出檢核點邊界，顯示光達 DEM 資料判釋林下產業道路邊界之正確性，以上邊坡優於下邊坡。

以不同點雲密度的比較，上下邊坡皆有相同趨勢，其邊界誤差值隨空載光達點雲密度降低而增加，而疏化密度等級至 1/32，誤差值 75 分位數大於 3 公尺，表示當點雲密度降低時，產製之 DEM 日照陰影圖道路特徵模糊，故人工在數化道路邊界時產生的誤差會較高。

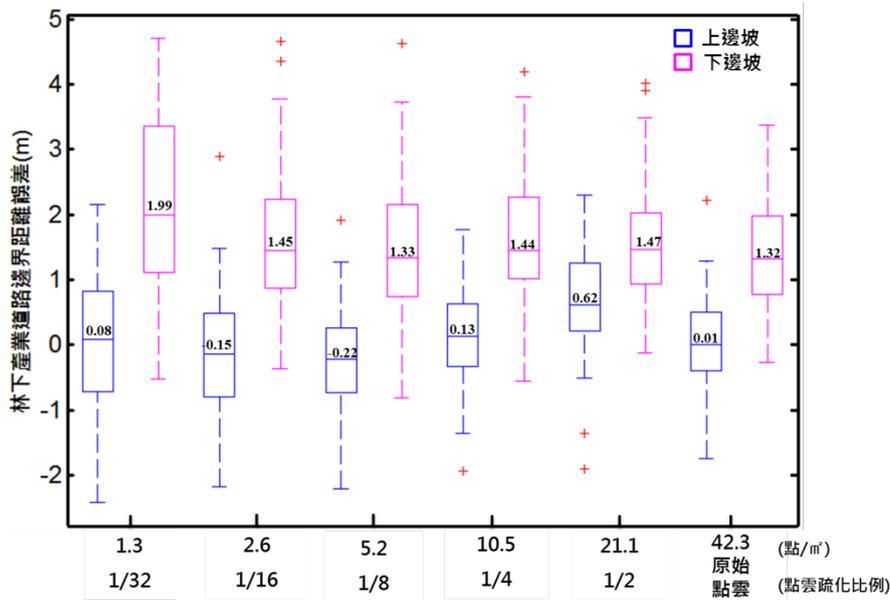


圖 8 各密度等級之林下產業道路邊界距離誤差值分布圖

四、結論與建議

林下道路受到上方森林冠層之遮蔽，導致航空照片與衛星影像無法辨識其道路的存在，一般常利用 GPS 紀錄軌跡的方式來測量林下道路路徑，受限於林下透空程度低，在林下道路的測量並無法利用 eGPS 高精度定位儀來測量，僅能利用設立控制點進行導線測量，所需的人力與時間成本相對較高，而空載光達的優勢在於可穿透森林冠層，測量到地面的高程資訊，為空載光達的有效附加之應用議題。本研究以高密度空載光達資料，其資料特性有利於細微的地形特徵展現，因此應用於空載光達技術測繪林下產業道路，結果顯示光達資料疏化至點雲密度 1.3 點/平方公尺，DEM 成果僅判釋 65% 之林下產業道路，且道路邊界產生較多大於 1~2 公尺以上的誤差量。目前國內常見之空載光達點雲密度為 1~2 點/m²，推估僅使用約 60~70% 空載光達資料可達之效能，故本研究認為提高點雲密度可以有效增加道路的正確性，未來空載光達資料品質的提升是一個可以努力的方向。本研究之道路邊界皆為人工逐一判釋數化之成果，需花費比較多判釋時間，後續將研究是否有適用於林下道路之半自動化辨識的方法，為未來研究的方向。

參考文獻

1. 內政部地政司 (2013) 102 年度發展高光譜與光達技術結合之應用工作案。
2. 陳良健、羅詔元 (2007) 整合光達資料與二維路網重建三維道路模型。航測及遙測學刊 12(2):179-195。
3. 黃紹東、徐明鎰、黃英婷、蘇惠璋，2008，應用空載光達 (LiDAR) 技術於國土利用調查資料庫建置之研究，第二十七屆測量及空間資訊研討會論文集，pp.393-403。
4. A.E. Akay, H. Oğuz, I. Rakip, K. Argua, 2009, Using LiDAR technology in forestry activities, Environ Monit Assess, Vol. 151, pp.117-125.
5. Zhang, W., 2010. LIDAR-Based Road and Road-Edge Detection. 2010 IEEE Intelligent Vehicles Symposium. University of California, San Diego, CA, USA.