



光達技術在林業經營管理應用

文 ■ 管立豪 ■ 林務局東勢林區管理處副處長

一、前言

台灣地區自921大地震後加上受全球氣候變遷影響，各地幾乎逢雨就會造成災害，連過去從未傳出災情的地方也難以倖免。尤其是山區部分，只要連續累積降雨量超過600公釐以上，就會發生山崩、土石流等重大災害。為了提供政府部門救災、整治需要，均依賴航、遙測技術，以便於短期間內獲取災情資訊。但航、遙測技術雖然有許多優點，然易受氣候與地形遮蔽之影響，使得在資訊提供上往往受到限制。因此必需以更快速、精確的技術，有效的對環境資源進行精密監測，而空載光達具有高精度、高解析度、高自動化且高效率的優勢，已成為世界各國進行大面積三維地面資料測製之主流與趨勢，其產製之高精度、高解析度數值地形模型，可做為地理資訊系統、工程建設規劃、都市計畫管理、土地利用、海河地形、潮間帶、山坡地監測、集水區、防災、礦業、農業、林業、公共管線等方面數值化，自動化等應用之基礎。

二、光達簡介

光達（LIDAR，Light Detection And Ranging）是指利用雷射光，對目標物進行高密度的掃描以獲取目標物三維形貌的技術。其與雷達（RADAR，Radio Detection And Ranging）均屬主動式遙測技術，兩者之差別在於其掃描時所發射出之電磁波的頻率高低。RADAR利用較長波長之電磁波對地面進行掃描，其穿透程度視採用波段而決定，缺點為解像力相較於光達而言比較低；而光達是利用較短波長之電磁波，以高密度測點對地表狀況進行觀測；可獲得較佳之解像力。

光達目前可分為三種：空載光達（Airborne LIDAR）、測深光達（Bathymetric LIDAR）及地面光達（Terrestrial LIDAR）。

（一）空載光達

主要是由定位定向系統（POS，Position and Orientation System）、雷射掃描儀（Laser Scanner）及控制器（System Controller）三個部分，其中的定位定向系統是以「直接幾何對位（Direct

Georeferencing)」技術，整合「動態GPS定位」技術求得三維座標，與精密慣性姿態儀（IMU，Inertial Measurement Unit）測得之三軸偏轉角及加速等資訊，直接提供在飛航過程200 Hz頻率的精密航跡定位；而雷射掃描儀則是以每秒高達60,000~150,000 Hz的頻率，紀錄脈衝雷射所發射角度及接收之時間差與回波，並轉換為量測距離與反射之強度；控制器除了作為操作者的人機介面外，並且記錄上述二項設備之時間標記（Time stamp），以精確連結定位、定向與雷射量測資訊。

各雷射點如經過軟體與人工之處理，可將各雷射點進行過濾，將屬於地面點數據分離，地面點可產製數值高程模型（DEM，Digital Elevation Model），即面狀之地表起伏資訊，這也是空載光達的基本成果，可應用於地圖測繪、洪災模擬、地形分析、災害調查、森林資源估算等應用。

（二）地面光達

主要是由雷射測距儀加上垂直與水平兩個方向的等角速度旋轉的反射稜鏡所組成，測距時可自目標物表面反射訊號，不需使用特殊之反射稜鏡，因此可省略架設反射稜鏡之程序。由於雷射脈衝以光速進行，反射稜鏡以驅動馬達快速定向，因此可快速測量點位資料，經由雷射測距及反射稜鏡定方向，可轉換得雷射中心位置至掃描點為之相對的三維座標差，若儀器維持不動則可獲得儀器與所有掃描點的相對座標。

此外地面型光達因價格較低，且以公分

級以上的精度直接瞄繪目標物之三維形貌，除了已經普遍應用於坡地災害、房屋坍塌及隧道、橋樑、採礦等監測，同時亦廣泛使用於古蹟、歷史文物之數位典藏，而且還可結合空載光達資料，評估不同尺度下各種數據分析，提供更完整的三維數據。

（三）測深光達

目前使用之空載光達，其脈衝雷射之波長大多在近紅外光範圍，遇到水體會被吸收而無法接收反射訊號，但如採用綠光波段，可穿透水體而量測近岸及河川的水底地形起伏，最深可達70公尺之深，可是在渾濁的水域可能受限於雷射之能量而無法穿透。

測深光達可量測近岸及河川水底地形的應用潛力，也正快速為各國接受，對藍色國土的測繪調查、船隻航行之航道地形測製，或是河川行水區的地形數據，均將產生重大的影響，是光達技術發展中不可忽略的技術。

三、光達特色

光達訊號具有一項非常特殊的「多重反射」（Multiple echoes）能力，及發射單一脈衝而能接收量多達四個反射回波訊號，因此有機會可同時量測到地表及樹頂，甚至樹幹的點位，或是城市構造、石油管線等，其原理為：光達發射之雷射光為圓錐狀資料，當接近地表時單一光速投影在地表之涵蓋範圍（footprint）約為50公分直徑之圓形，而所獲取的資料，以在林地為例，可能有部分為樹冠上層反射點、有部分為樹木側枝反射點、



有些為地面反射點，因此可同時測得上述之資訊。根據雷射光反射回波的情形，也可藉此了解地面物體對雷射光穿透情形。

光達雷射掃瞄獲取之大量座標點，由於分布密集而稱點雲（Point Cloud），點雲資料除點位本身具備精確之三維座標外並同時記錄原始雷射脈衝之反射強度，部分儀器甚至可記錄類似數位影像的RGB三波段灰度值，因此隨著物體或地表之不同反射特性得以呈現類似照片或航空照片之影像特徵。

四、林業應用探討

（一）空載光達

由於光達能產製高精度、高解析度DEM及DSM，除了可提供基本地形的測繪外，在林業相關應用以森林環境調查、監測及災害防治等應用。

1. 森林資源調查

光達影像結合數位影像應用於森林資源調查可增加樹種判讀、立木狀況及樹高的準確度，如利用其剖面圖，可直接判讀單木資料，包括位置、樹高、冠幅大小、枝下高度，尤以老齡林地區更能準確量測。

2. 森林空間資訊監測

空間資訊的發展趨勢是以立體方式展現為主，森林經營管理首重其空間結構，如利用其三維立體形貌進行人工林疏伐模擬，使林分生長分佈空間更加合理；另如定期進行掃瞄，可了解林分結構變遷及生長趨勢。

3. 林分疏密度測定

一般森林調查均有林分密度一項，如由

地面直接測定，受限測定位置、誤差較大。以往均利用航空照片來判釋，但因易受地形或陰影影響，常會造成高估情形。如利用雷射點之穿透率，可精確估算林分之疏密度。

4. 林地災害監測

光達資料應用於天然災害監測，主要是提高精度、高解析度的三維地形資訊，再結合航遙測與地理資訊系統等資料，可辨認出地表受災區域，並協助研判崩塌、堆積範圍及土石流活動地區等，如災害前已有當地空間資訊，可進一步評估地形差異及災害變化趨勢。

5. 海岸保安林功能評估

沿海地區之保安林係以林木構築成屏障，阻擋來自海洋之強風、鹽分、飛砂之侵襲，達到防風、防潮、保安之效果。



（圖片／高遠文化攝影／林文集）

故在保安林整體經營上，需評估其能否發揮其功能，而光達收集之資料除了評估其林分結構外，亦可利用縱剖面圖來分析評估是否能發揮其保安功能，以建立適當寬度之海岸防風林。

6. 遊樂區地質評估

由於光達可獲得植被覆蓋面下的地形，且能展現細微的起伏特徵，在地質的構造地形分析上，如摺皺、斷層、地形、水系、河階、火山等調查，已十分成熟。因此森林遊樂區於開發建設時，先行加以評估分析其地質結構，避開地滑、斷層等區域，可確保遊樂區安全，避免浪費投資。

(二) 地面光達

由於傳統測量儀器僅能測定少數點位資料，無法詳細描繪林地之地貌與林木空間關係，地面光達雷射掃描資料可完整呈現林地平面三維立體模型，對於了解林分結構、林地狀況、林木彼此間影響均有很大幫助，其在林業應用如下：

1. 林木材積測量

利用地面光達掃描林木，取得大量三維點及座標，據以建立林木三維模型，並利用電腦繪圖立體量測林木之樹高、斷面積直徑等非破壞性方法精確估測林木材積或進行樹幹解析，進而推估林分材積。

2. 樣區調查及監測

光達資料可精確呈現林地三維立體模型，對於樣區長期監測上可快速了解其林木變遷，亦可直接比較林木直徑生長及高生長狀況。此外亦可建立影像資料庫，尤以平地

景觀造林監測更適合應用。

3. 崩塌地監測

地面光達掃描地面可迅速獲取三維地面資料，因此對於崩塌裸露地之監測，非常快速方便，如能於易崩塌地點並於災害前即進行掃描，災害後再次進行掃描即可快速計算其崩塌土方，另對於特殊地形的變化，如火炎山地形，定期進行掃描，可了解其地形變遷。

4. 林木健康估測

目前根據研究，林木健康監測均以樹冠冠幅孔隙（平面）來估算其健康度。因此如利用地面光達針對評估之林木進行掃描再進行評估可精確估算其冠幅孔隙度。

五、光達在林業應用限制

雖然光達技術有很多優點，但並非萬能的，目前仍有許多限制。

（一）空載光達在高精度GPS定位技術上仍必須距離測區20~50公里之範圍內，設置地面控制基站做為差分計算之用。

（二）空載光達在植被茂密地區或因地形較陡峻，造成樹冠交疊，因而無法穿透植被而獲得真正地面座標。

（三）點雲資料為離散的不連續點狀資訊，如點雲密度較疏，則無法提供精確清晰地表特徵，如點雲密度較密，其資料量及處理時間均相當龐大及費時。

（四）平面光達在林地進行雷射掃描作業時，常會因地形崎嶇、土質鬆軟或林木遮蔽等問題而造成儀器架設困難；在佈設



覘標時亦常因林木較密、林木彼此交錯而增加覘標設置工作效率。

（五）平面光達目前因體積較為龐大，其配件頗多且重，搬運時較為不便，不利於深山地區應用；此外掃描儀與電腦皆需要電源，在林地中不便充電，因此電源供應亦為限制因子之一。

（六）光達掃描資料極為龐大，欲從原始資料中萃取資訊，在林業資料處理上需有特殊軟體，以及許多需要人工處理之部分。因此發展一套能快速自動處理相關資料，

進行萃取有用資訊，亦為未來在林業應用上需突破之關鍵。

六、結論

國內目前已有引進空載光達及地面光達掃描儀，相關之資料處理及應用等研發也大量展開，森林相關科系及林業部門也正展開各項研究發展，尤以台灣林地大都位於地形陡峻、交通不便之山區，未來如能實際應用於林業經營各項調查與監測，則可節省較多外業人力。📍



（圖片／高遠文化 攝影／陳吉鵬）