

透過空載光達技術與獨特演算法尋找台灣巨木



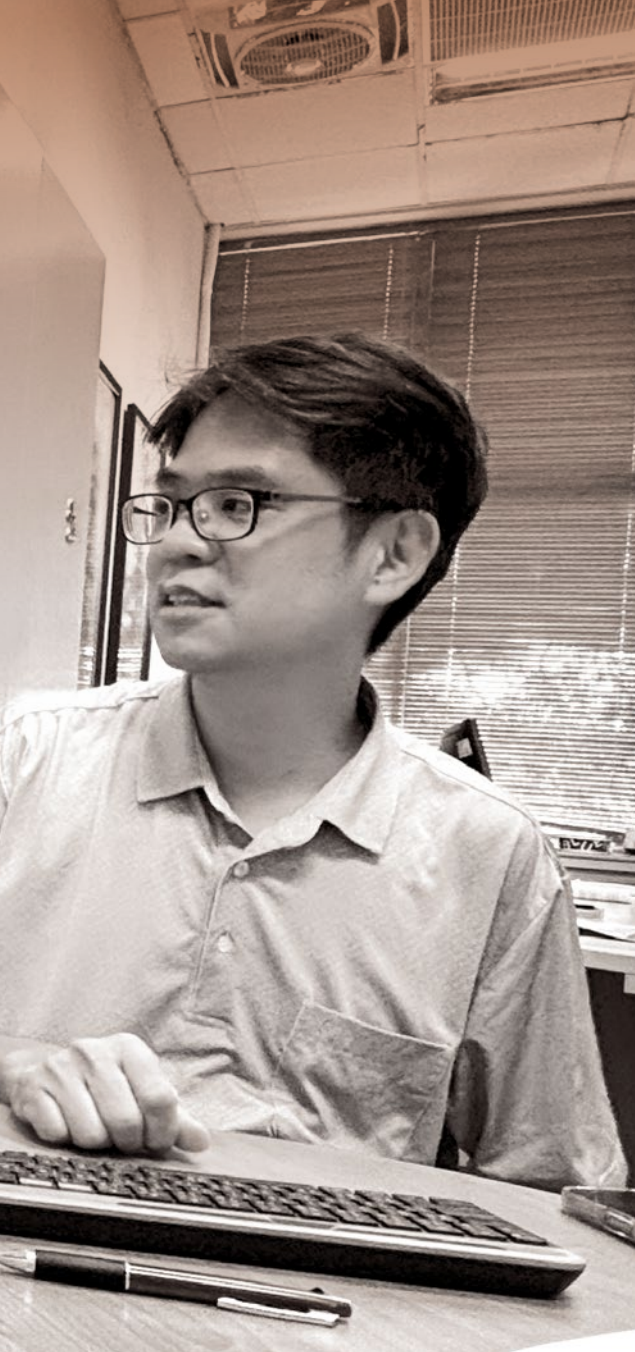
透過空載光達技術 與獨特演算法尋找台灣巨木 ——專訪成功大學測量及空間資訊學系 王驥魁教授

成大測量所\李承芯

從《神木之島》開始，看見森林的另一種樣貌

《神木之島》紀錄了台灣林業試驗所深入山林、尋找巨木的歷程。一棵棵高聳入雲的神木，看似是在茂密森林中靠著經驗與雙腳一步步尋獲，但實際上，在調查人員真正深入山林前，空載光達 (LiDAR) 已為這趟探尋之旅，在層層樹冠間照亮了通往巨木的方向。

在電影中，觀眾看見的是研究團隊翻山越嶺的艱辛過程；然而，在鏡頭之外，另一場沒有畫面的工作早已敲然展開。透過飛機搭載雷達掃描儀，自空中向森林發射數以萬計(實務上平均每平方公尺發射兩點)的雷射脈衝，光達能快速建立森林的三維點雲資料，讓研究人員在正式踏查之前，便能掌握森林的立體結構，甚至預測巨木可能所在的位置。



然而，光達的價值並不僅止於「找樹」。

從尋樹之旅，到高精地圖建置、文化資產保存、都市綠蔭與森林碳匯，光達正逐漸為現代空間資訊的重要基礎技術。而真正讓這些龐大資料發揮價值者，不僅是雷射掃描外業本身，更為重要的是背後複雜的資料後處理與判讀分析。

本次專訪國立成功大學測量及空間資訊學系的王驥魁教授，從《神木之島》的故事出發，帶領我們認識光達如何將真實世界轉換為可量測、可分析的三維資訊，也分享這項技術如何逐步走進森林、城市與日常生活之中。

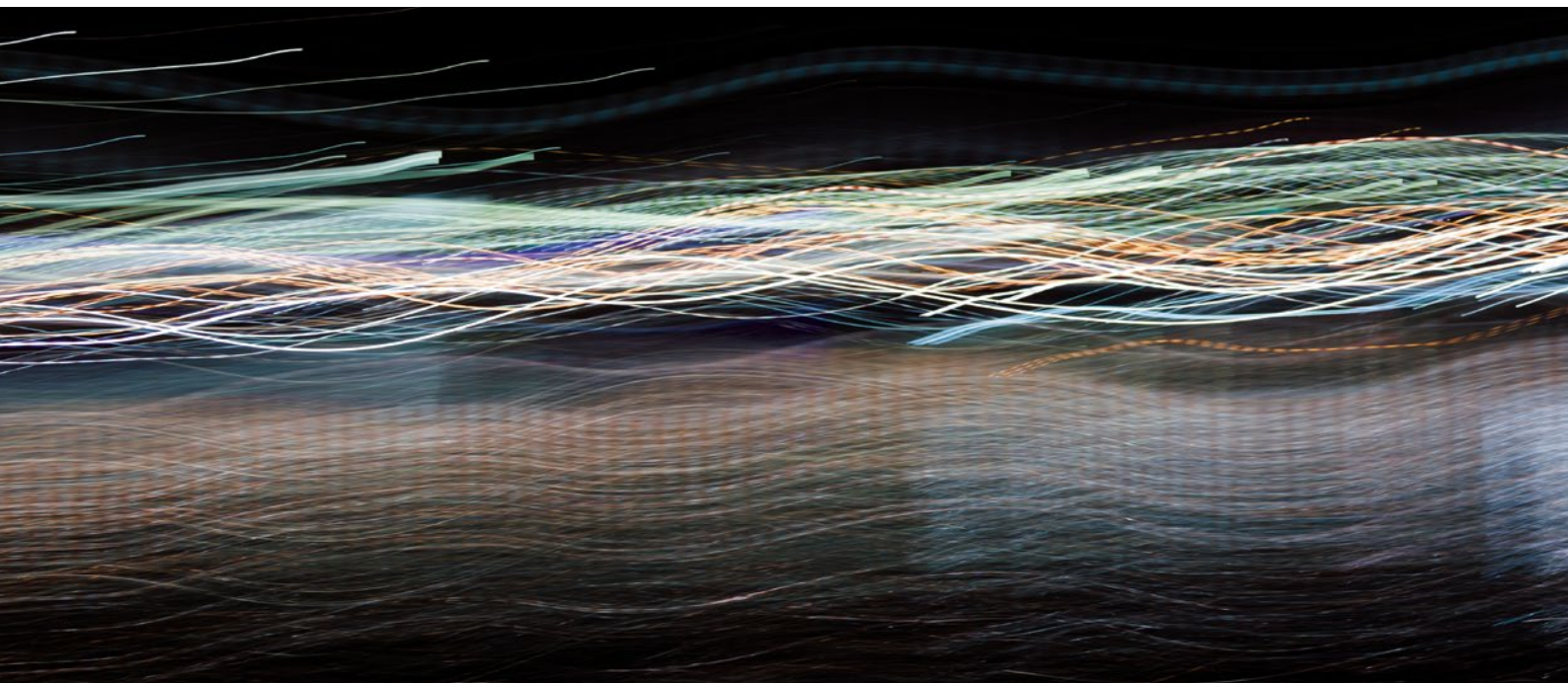
從雷射到點雲 光達如何「看見」三維世界？

談起光達技術，許多人的第一印象往往是用「雷射掃描環境」。王驥魁教授表示，這樣的理解並沒有錯，但若要真正理解光達的價值，關鍵並不只是「掃描」，而是如何利用雷射建立真實世界的三維空間資訊。

所謂光達 (LiDAR, Light Detection and Ranging)，是利用雷射脈衝發射與接收的時間差，計算雷射與物體之間的距離，再將大量量測結果轉換為三維坐標點，也就是「點雲(Point Cloud)」。每一個點都代表真實世界中的一個位置，透過數百萬甚至數十億個點組起來，便能完整描繪地形、森林、建築物、道路等三維空間資訊。

相較於一般影像，光達最大的優勢在於其取得的資訊是具有空間坐標的三維資料，而非只有平面的影像資訊。

王驥魁教授指出，光達的特色在於其有一定程度的穿透能力。當雷射光束照射森林時，部分雷射會被樹冠反射，但仍有部分能量能穿透樹葉隙縫，持續向下到達樹幹甚至地面，因此一次掃描便能同時取得森林冠層、樹木以及地形資訊。也正因為如此，在《神木之島》中，研究團隊才能在實地進入森林之前，先透過空載光達建立森林的三維模型，再根據樹高分析、鎖定可能存在巨木的位置，大幅縮小搜尋範圍。



找到巨木只是開始 真正困難的是資料後處理過程

《神木之島》中，觀眾看見的是研究人員揹著光達設備，在險峻的山林中長途跋涉；然而，更大的挑戰其實是在資料帶回實驗室之後才真正開始。

王驥魁教授笑著說：「很多人都以為，光達掃描完之後答案就出來了，其實完全不識這樣。」

以電影中的巨木調查為例，研究團隊進入本野山進行調查時，因為森林範圍廣大，加上設備限制，每十五分鐘便必須停止一次掃描，因此整個調查區域被分成四份資料，並透過部分重疊的方式，方便後續拼接。

然而，看似簡單的四份資料，回到實驗室後卻成了另一場挑戰。

王驥魁教授指出，光達資料最大的特色，同時也是最大的負擔——資料量實在太大。

每一個點都是一筆三維座標資料，而一片森林往往包含數億甚至數十億個點。光是將原始資料解壓

縮、讀取，就需要耗費大量時間與運算資源。「我們現場作業一分鐘，回來可能要花十分鐘才能完成初步處理。」王驥魁教授說。換句話說，一次十五分鐘的掃描，回到實驗室光是完成初步解算，就可能需要兩個半小時，更不用說後續還要進行點雲拼接、誤差修正、坐標校正及三維視覺化等工作。

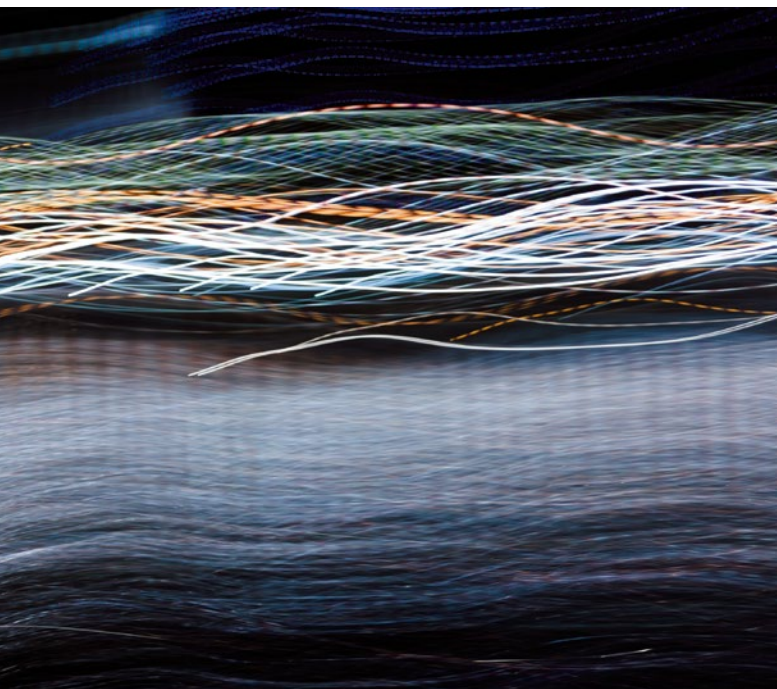
更困難的是，每一份資料之間都必須精確對齊。

如果拼接稍有誤差，同一棵樹便可能在模型中變成兩棵樹；因此，研究團隊甚至需要尋求設備代理商協助，才能完成如此龐大的點雲拼接工作。

即便如此，真正的分析工作仍尚未開始。

王驥魁教授表示，他與研究團隊真正想完成的，不只是呈現一片漂亮的森林，而是希望能從點雲中辨識每一棵樹的位置、高度、胸徑與森林結構，進一步建立單木資料庫，提供林業研究與森林碳匯分析使用。

電影中呈現的三維森林，其實只是龐大資料中的一小部分。真正完整的森林模型，目前仍等待更有效率的資料處理方式，才能完整呈現。



從森林走向城市 光達如何改變我們的生活

談到光達，許多人第一時間想到的是森林測量或地形測繪。然而，在王驥魁教授眼中，光達並不是只屬於深山裡的技術，而是一項正在逐漸融入日常生活的重要工具。

「光達其實就是一種量測工具，只是它利用雷射來取得三維資訊。」王驥魁教授說。

隨著感測器持續微型化、成本逐漸降低，光達的應用已從森林調查延伸到自駕車領域、文化資產保存、都市綠蔭與森林碳匯，甚至一般民眾手中的智慧型手機，也已經開始搭載簡易型光達感測器。

他舉例，目前部分高階智慧型手機便內建 LiDAR 感測器，可以協助量測室內空間尺寸、建立三維模型，雖然量測精度仍無法與專業設備相比，但已足以應付許多日常需求。未來隨著技術持續成熟，光達就像當年的 GPS 一樣，將逐漸從專業儀器走向大眾生活。

然而，在專業領域中，光達真正發揮價值的地方，則是那些傳統方法難以完成的工作。

高精地圖不是導航地圖 而是讓車輛「理解」道路的語言

近年來，隨著自駕車技術快速發展，「高精地圖（High Definition Map）」逐漸成為智慧交通的重要基礎。許多人認為，高精地圖只是比 Google Maps 更精細的導航地圖，但王驥魁指出，兩者最大的差別，在於使用者根本不同。

「導航地圖是給人看的，高精地圖是給車子看的。」

人類駕駛可以憑經驗判斷道路環境，但電腦不行。對自駕車而言，道路上的每一項設施都必須事先被記錄，包括車道線、路緣、人行道、交通標誌、號誌桿、橋梁、護欄，甚至道路的坡度與高低起伏，都必須建立成完整的三維資料。

而這些資訊，大多來自車載光達。

車輛行駛過程中，光達持續向周圍發射雷射，快速建立道路的三維點雲，再結合影像與定位系統，共同建構高精度道路模型。

不過，光達並不是萬能的。

例如，雷射能清楚量測道路的位置與形狀，卻無法辨識車道線是白線還是黃線，也無法判讀交通標誌上的文字內容。因此，在實際應用上，光達與影像往往必須同時使用：光達負責提供精確的三維位置，影像則負責辨識顏色與文字，兩者互補，才能建立完整的高精地圖。

王驥魁教授分享，過去曾有自駕巴士團隊進行測試，在沒有高精地圖的情況下，車輛最高僅能以約每小時四十公里行駛；當導入高精地圖後，由於車輛已預先知道道路環境，能有效降低即時運算負擔，最高時速提升至五十公里。

「看起來只差十公里，但其實已經是25%的提升。」

這也說明，高精地圖的重要性，不只是導航，而是提升自駕系統判斷效率的重要基礎。然而，即使技術日漸成熟，王驥魁仍提醒，目前多數車輛仍屬於

「輔助駕駛」，駕駛人依舊必須隨時注意路況，不能完全依賴系統。

「科技可以協助我們，但不能完全取代人。」

光達——文化資產的守門員

除了交通領域，光達近年也開始大量應用於文化資產保存。

2019 年，法國巴黎聖母院遭遇大火，全球除了關心如何修復建築外，也開始討論一個問題：如果沒有留下完整紀錄，是否還能恢復原貌？

幸運的是，巴黎聖母院在火災發生前，曾以地面光達完成高精度三維掃描，因此保留了完整的尺寸與空間資訊，成為後續修復的重要依據。

王驥魁教授指出，許多人認為拍照就足以保存文物，但照片只能記錄外觀，真正修復時，更重要的是每一個細節的尺寸。

「照片可以知道長什麼樣子，但光達可以知道它到底有多大。」

從窗框、雕像到柱體，每一項構件都能透過三維點雲精確量測，不必再依靠人工推估，大幅降低修復工作的不確定性。

目前臺灣文化資產保存工作，也已逐漸開始導入光達技術，希望在災害發生之前，先建立完整的三維數位檔案，作為未來修復的重要依據。

一棵樹，不只是樹 也是氣候調適的重要角色

如果說，《神木之島》讓人重新認識森林，那麼王驥魁教授近年的另一項研究，則讓光達開始走進城市。近年來，極端高溫已成為都市面臨的重要挑戰，而如何增加都市綠蔭、改善熱環境，也成為各界關注的議題。王驥魁教授與國立成功大學建築系林子平教授合作，嘗試將光達技術應用於都市樹木分析。

過去，研究團隊一直希望提高雷射穿透森林的能力，希望能更完整取得樹下地形；然而，在分析過程中，他們反而發現，雷射穿透率本身，就能反映樹冠遮蔽能力。換句話說，一棵葉片茂密、穿透率較低的樹，通常代表能提供較好的遮蔭效果；相反地，如果雷射很容易穿透樹冠，代表樹葉較稀疏，降溫效果可能也相對有限。這項原本用來評估光達品質的指標，意外成為都市熱環境分析的重要依據，也開始應用於都市綠蔭規劃與熱舒適（Thermal Comfort）研究。

王驥魁教授笑著說，自己以前只知道如何讓雷射穿透森林，沒想到後來竟然能反過來利用穿透率，協助判斷一棵樹是否能提供良好的遮蔭效果。

「有時候，一項技術真正的價值，往往是在不同領域合作之後，才被重新發現。」

從看見一棵樹，到理解整座森林

對一般民眾而言，《神木之島》最令人印象深刻的，或許是研究團隊成功找到一棵棵高聳入雲的巨木；然而，對研究人員而言，每一次雷射掃描所留下的點雲資料，真正珍貴的並不是「最高的樹」，而是整片森林完整的三維資訊。

王驥魁教授表示，目前團隊仍持續投入森林點雲資料分析，希望能從龐大的三維資料中，辨識每一棵樹的位置、高度、胸徑、樹冠大小及森林垂直結構，進一步建立完整的單木資訊。這些資料除了能協助森林調查，更能成為森林經營與生態研究的重要基礎。

其中，近年備受關注的森林碳匯，便是最具代表性的應用之一。

森林透過光合作用吸收大氣中的二氧化碳，並將碳儲存在樹木之中，因此樹木的大小、生長狀況及森林結構，都與碳儲存能力息息相關。王驥魁提到，林業研究人員一直希望取得《神木之島》的完整點雲資料，正是希望透過三維模型，更精確地估算森林的碳儲量。



「有一個說法是，這些巨木即使只長高一點點，它增加的碳儲存量，都可能比許多小樹生長好幾年還多。」王驥魁說。

因此，光達所建立的不只是森林的立體模型，更是一份能夠反映森林生態、碳循環與環境變遷的重要資料。從尋找一棵巨木，到理解整片森林如何運作，點雲資料的價值，也因此被重新定義。然而，真正困難的並不是取得資料，而是如何從數以億計的點雲中找出有意義的資訊。

近年來，人工智慧 (AI) 逐漸加入點雲分析流程，協助研究人員自動辨識樹木、地面、建築物等不同物件，大幅提升資料處理效率。在部分人工林中，AI 已能自動辨識單木位置與樹冠範圍，建立森林資料庫；但對於臺灣原始森林而言，由於樹木高低交錯、植被層次複雜，辨識難度仍遠高於國外林區，因此許多成果仍需要研究人員逐一檢核。

王驥魁教授認為，AI 的角色並不是取代測量人員，而是成為分析龐大點雲資料的重要助手，協助研究人員更快速理解森林結構，讓三維資料真正轉化為具有價值的知識。

從一束雷射，看見未來的空間資訊

談到光達技術的未來發展，王驥魁教授認為，眼前最重要的課題仍是「效率」。臺灣受天候與空域限制，真正適合進行空載光達量測的時間有限；而在資料取得後，龐大的點雲仍需經過解算、拼接與分析。因此，未來除了提升雷射掃描速度，也必須持續改善資料處理流程。

AI 的發展，則有望進一步提升點雲分析效率。從地面點分類、單木辨識，到道路、建築物與其他地物的自動判讀，人工智慧都能減少人工檢核負擔，使光達資料更快速應用於森林監測、防災、國土規劃與智慧城市。

此外，光達設備若能持續朝輕量化與低成本發展，也將有助於擴大應用範圍。目前研究團隊使用的背包式光達價值高達數百萬元，不僅設備昂貴，進入山區調查時也必須格外謹慎。若未來感測器能進一步微型化與普及化，光達將不再只是少數專業團隊使用的工具。

從《神木之島》的尋樹旅程，到高精地圖、文化資產保存、都市綠蔭與森林碳匯，光達不只是量測技術，更提供了另一種理解真實世界的方法。每一道雷射脈衝留下的，不只是三維坐標，也可能成為認識自然、守護環境與規劃未來的重要依據。