

行政院所屬各機關因公出國報告書
(出國類別：考察)

赴歐洲考察有關數值地形、
光達測繪、衛星影像最新技術

服務機關：內政部（地政司）

姓名職稱：陳思仁 技士

派赴國家：荷蘭、德國、比利時

出國期間：94年10月10日至10月19日

報告日期：95年03月27日

摘要

建立高精度及高解析度數值地形模型為內政部當前重要科技計畫之一，內政部自 93 年起，開始測製全國數值高程模型（DEM）與數值地表模型（DSM），並製作全台 1/5000 彩色正射鑲嵌影像，預計於 95 年起陸續對外提供。並引進光達測繪技術，辦理「LIDAR 測區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」，進行測量、分析及應用推廣等工作。內政部延續「高精度及高解析度數值地形模型建置計畫」訂定「高精度及高解析度數值地形模型後續計畫」，經報奉行政院核准，並自 95 年起執行。本案係考察有關數值地形、光達（LiDAR）測繪、衛星影像等最新技術，作為「高精度及高解析度數值地形模型後續計畫」細部規劃及執行之參考。由於本次考察之荷蘭、德國、比利時等國有關航遙測、光達及地理資訊系統等技術均領先全球，其中荷蘭更以空載光達測製全國高精度數值地形模型，成效卓著，對相關業務後續規劃及推動均有重大助益。

綜合參與此次研討會心得，提出下列建議：

- 一、參考歐美相關技術發展，積極執行「高精度及高解析度數值地形模型後續計畫」
- 二、發展光達測製技術，擴展應用領域
- 三、加強三維城市模型技術，發展相關應用
- 四、重建並加強政府專業測量機隊

目 錄

壹、目的.....	1
貳、過程及紀要.....	2
參、考察重點.....	4
肆、我國數值地形模型發展.....	17
伍、心得.....	24
陸、建議.....	34

壹、目的

建立高精度及高解析度數值地形模型為內政部當前重要科技計畫之一，內政部自 93 年起，開始測製全國數值高程模型（DEM）與數值地表模型（DSM），並製作全台 1/5000 彩色正射鑲嵌影像，預計於 95 年起陸續對外提供。並引進光達測繪技術，辦理「LIDAR 測區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」，進行測量、分析及應用推廣等工作。

為使我國躋身高科技國家，促進國土利用規劃，發展藍色國土，充分發揮福爾摩沙衛星二號功效，兼顧環保、科技與經濟發展，達到國土永續經營之目標，並配合國家各項建設快速進行及各項天然災害造成的地形變化，持續引進相關技術，建立制度整合資源，進行相關修測，提供各級政府施政應用，以提升國家競爭力，內政部爰延續「高精度及高解析度數值地形模型建置計畫」訂定「高精度及高解析度數值地形模型後續計畫」，經報奉行政院核准，並自 95 年起執行。

本案係考察有關數值地形、光達（LiDAR）測繪、衛星影像等最新技術，作為「高精度及高解析度數值地形模型後續計畫」細部規劃及執行之參考。由於本次考察之荷蘭、德國、比利時等國有關航遙測、光達及地理資訊系統等技術均領先全球，其中荷蘭更以空載光達測製全國高精度數值地形模型，成效卓著，對相關業務後續規劃及推動均有重大助益。

貳、過程及紀要

- 本次赴歐考察日程自民國 94 年 10 月 10 日起至 94 年 10 月 19 日止，共計 10 天。相關行程安排如下：
- 10 月 10 日行程：晚上自中正機場出發。
- 10 月 11 日行程：上午到達荷蘭阿姆斯特丹，轉火車赴荷蘭安時柯德。
- 10 月 12 日行程：上午參訪國際航空及太空調查研究院（ITC International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation），由 Ir. Geoge Vosselman 教授接待，經雙方分別簡報目前 LLiDAR 發展現況，並研討未來發展方向。傍晚搭火車轉往德國漢諾威，於午夜到達。
- 10 月 13 日行程：參訪德國漢諾威大學（Inst. of Cartography and Geoinformatics），由 Claus Brenner 教授接待，並與該研究所團隊進行簡報及研討，討論三維程式模型建置技術及 LiDAR 測繪技術發展與應用。
- 10 月 14 日行程：上午繼續參訪漢諾威大學，並與 Claus Brenner 教授研究團對進行綜合座談。下午搭火車轉往荷蘭阿姆斯特丹。
- 10 月 15 日行程：週六，休息、參觀阿姆斯特丹市區。
- 10 月 16 日行程：週日，赴比利時布魯塞爾。
- 10 月 17 日行程：參訪 EuroSense 公司，參觀該公司 LiDAR 作業情形。傍晚搭火車赴荷蘭阿姆斯特丹
- 10 月 18 日行程：參訪 TerraImaing 公司，參觀該公司 LiDAR 作業情形，並由該公司 ir. Jaap Stroet 先生進行簡報，討論歐洲 LiDAR 發展情形及業界現況。
- 10 月 19 日行程：返程（20 日上午到達台灣）。

赴歐洲考察光達技術之行程

Itinerary for Visiting Netherlands and Germany on Airborne
Lidar Technology

		參訪地點或行程 Location	註解 Notes
1	10月10日 (星期一)	台北飛阿姆斯特丹 Taipei to Amsterdam	
2	10月11日 (星期二)	阿姆斯特丹至安時柯德 Amsterdam to Enschede	火車
3	10月12日 (星期三)	1.安時柯德 Enschede 2.安時柯德至漢諾威 Enschede to Hannover	1.參訪 ITC (International Institute for Geo- Information Science and Earth Observation) 2. 搭火車至漢諾威
4	10月13日 (星期四)	漢諾威 Hannover	參訪漢諾威大學 (Inst. of Cartography and Geoinformatics)
5	10月14日 (星期五)	漢諾威至阿姆斯特丹 Hannover to Amsterdam	1.參訪漢諾威大學 2.搭火車至阿姆斯特丹
6	10月15日 (星期六)	阿姆斯特丹 Amsterdam	休息
7	10月16日 (星期日)	阿姆斯特丹至布魯塞爾 Amsterdam to Brussel	火車
8	10月17日 (星期一)	布魯塞爾至阿姆斯特丹 Brussel to Amsterdam	1.參訪 EuroSense 2.搭火車至阿姆斯特丹
9	10月18日 (星期二)	阿姆斯特丹 Amsterdam	參訪 TerraImaing
10	10月19日 (星期三)	阿姆斯特丹返台北 Amsterdam to Taipei	返程

參、考察要點：

本次考察之荷蘭、德國、比利時等國有關航遙測、光達及地理資訊系統等技術均領先全球，其中荷蘭更以空載光達測製全國高精度數值地形模型，成效卓著，荷蘭、德國等國學術單位對於三維城市模型技術的發展均領先國際，對本部相關業務後續規劃及推動均有重大助益。本次考察內政部由地政司衛星測量中心技士陳思仁參與，並由工業技術研究院能源與資源研究所正研究員劉進金及副研究員徐偉城會同前往，考察要點如下：

一、國際航空及太空調查研究院（ITC）：

國際航空及太空調查研究院（International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation）是在荷蘭教育文化及科學部支持下於 1950 年建立的國際航測培訓中心（International Training Centre for Aerial Survey，簡稱 ITC），並且是荷蘭最老及最大的國際高等教育學院，透過研究、教育和專案服務以促進地理空間資訊技術的應用。

ITC 位於荷德邊境小鎮安時柯德（Enschede），院本部位於火車站後站，於前站擁有旅館及學人宿舍，生活機能完善。



圖 1 ITC 全景（摘自 ITC 網頁）

10 月 12 日上午參訪國際航空及太空調查研究院（International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation、ITC），由 Ir. Geoge Vosselman 教授接待

，先由工業技術研究院能源與資源研究所正研究員劉進金及副研究員徐偉城分別就我國 LiDAR 發展及辦理本部 LiDAR 專案執行情形進行簡報，之後荷方由 Vosselman 教授對 ITC 及荷蘭目前 LLiDAR 及三維城市模型發展現況進行簡報，過程中並由我方隨時發問，並對於相關技術發展進行意見交流，會談成果詳如心得及建議。

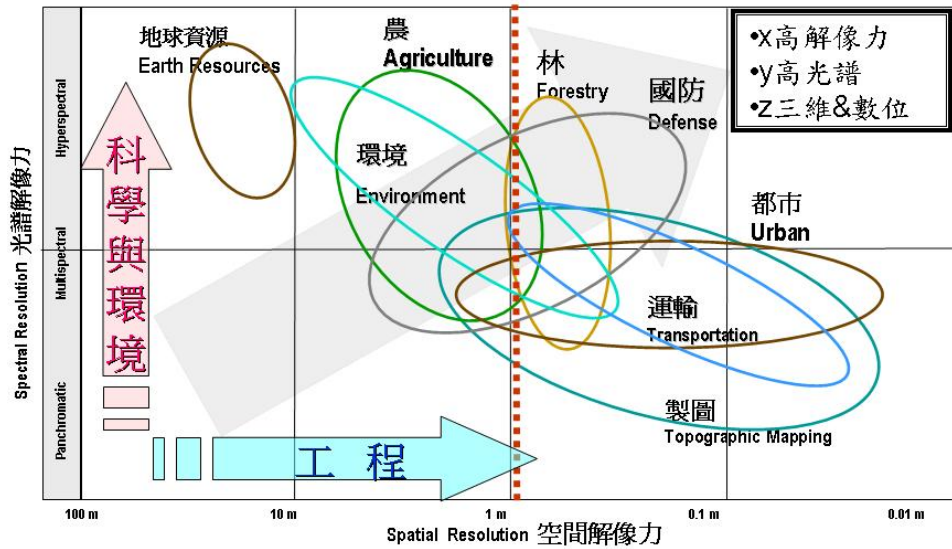


圖 2 航空太空遙測技術與應用發展趨勢 (摘自工研院簡報)

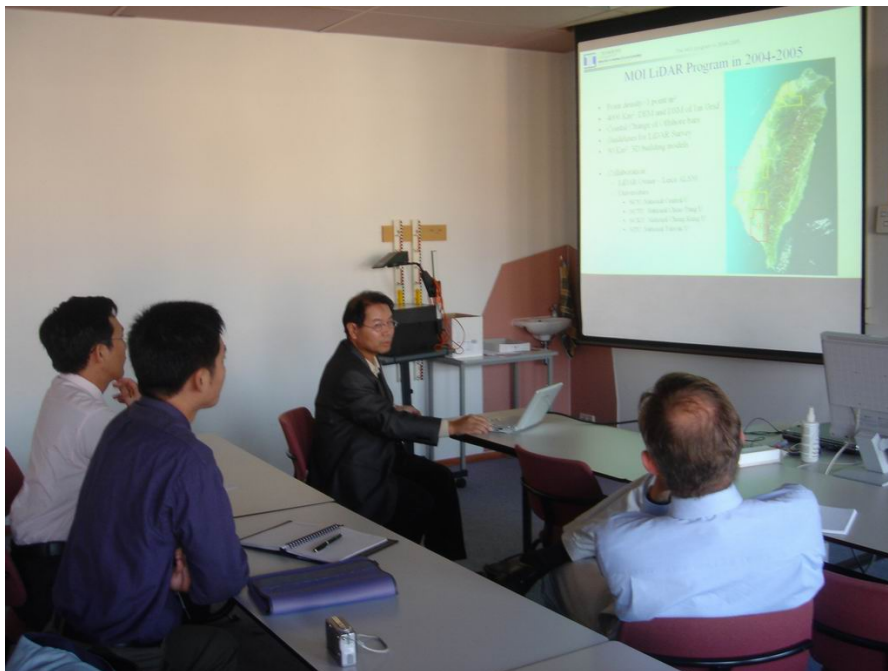


圖 3 我方簡報國內 LiDAR 發展現況



圖 4 我方簡報本部 LiDAR 案執行現

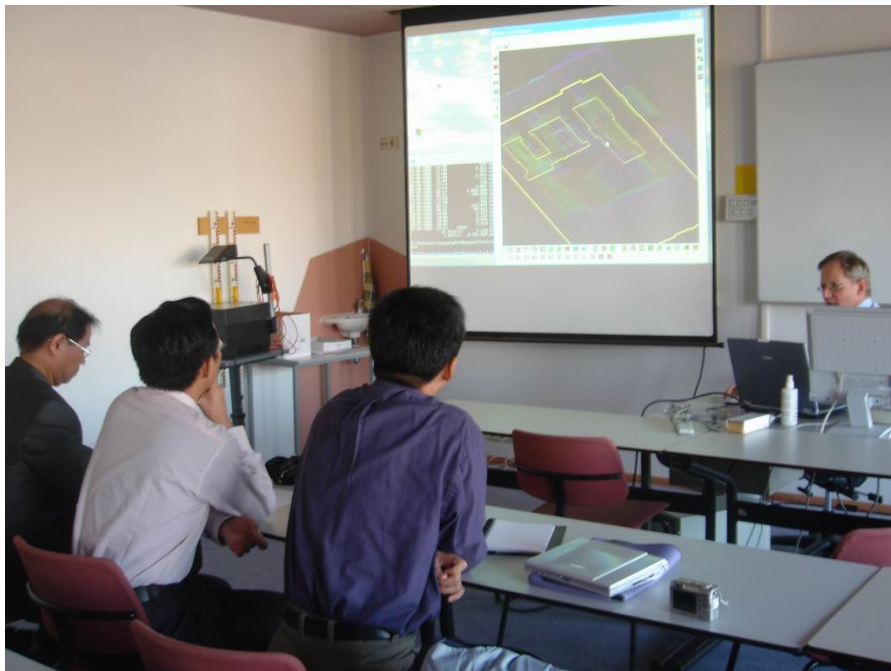


圖 5 Vosselman 教授簡報



圖 6 與 Vosselman 教授於 ITC 合影，
背後儀器為立體製圖儀



圖 7 研討結束後於 ITC 餐廳
整理會談資料

二、德國漢諾威大學

10月12日完成 ITC 參訪，傍晚搭火車轉往德國漢諾威，於午夜到達德國漢諾威。13日參訪德國漢諾威大學，由製圖與大地資訊研究所 Claus Brenner 教授接待，並與該研究所團隊進行簡報及研討，討論三維程式模型建置技術及 LiDAR 測繪技術發展與應用。14日上午繼續參訪漢諾威大學，並與 Claus Brenner 教授研究團對進行綜合座談。

13日上午先由工業技術研究院能源與資源研究所正研究員劉進金就我國 LiDAR 發展及辦理本部 LiDAR 專案執行情形進行簡報，並進行研討。之後由 Brenner 教授簡報德國目前空載光達及三維房屋模型發展情形，並展示該研究團隊研究概況，並進行意見交換，下午由該研究團隊 Monika Sester 針對技術細節進行簡報及展示所發展的軟體，並取得該軟體試用，可做為本部 95 年起執行之「高精度及高解析度數值地形模型後續計畫」參考。



圖 8 我方簡報國內 LiDAR 技術目前發展情形



圖 9 Brenner 教授簡報



圖 10 Brenner 教授團隊簡報

14 日上午與 Brenner 教授團隊進行綜合座談，該團隊主要研究領域為三維房屋模型建模，藉由高密度的空載光達資料或是地面雷射掃描資料以結構線或模組方式建構房屋三維模型，並發展自動化

系統以快速建立三維房屋模型，目前技術屬於全球領先群。國內相關領域目前以國立中央大學及私立逢甲大學所做研究較深，中央大學部份主要以三維房屋建模技術發展為主，中央大學並與工研院有技術合作協定，共同發展相關技術，逢甲大學則以展示及應用領域為主。另外，業界則以發展虛擬實境展示為主，對於房屋模型則以模擬方式建立。下午搭火車轉往荷蘭阿姆斯特丹。

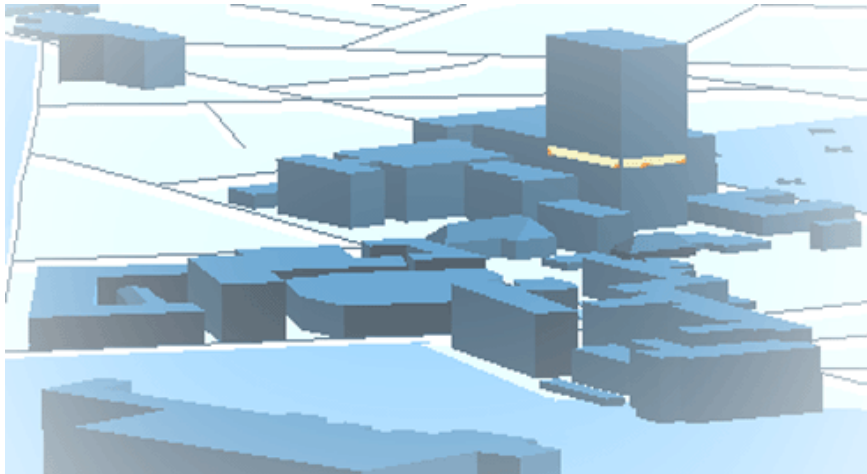


圖 11 三維房屋模型展示
(圖 11 圖 12 摘自漢諾威大學製圖與大地資訊研究所網站)

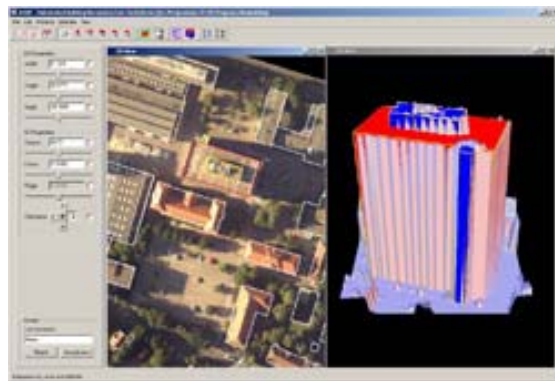


圖 12 漢諾威大學發展的三維房屋模型建模軟體 ATOP



圖 13 三維房屋模型建模軟體 ATOP 展示

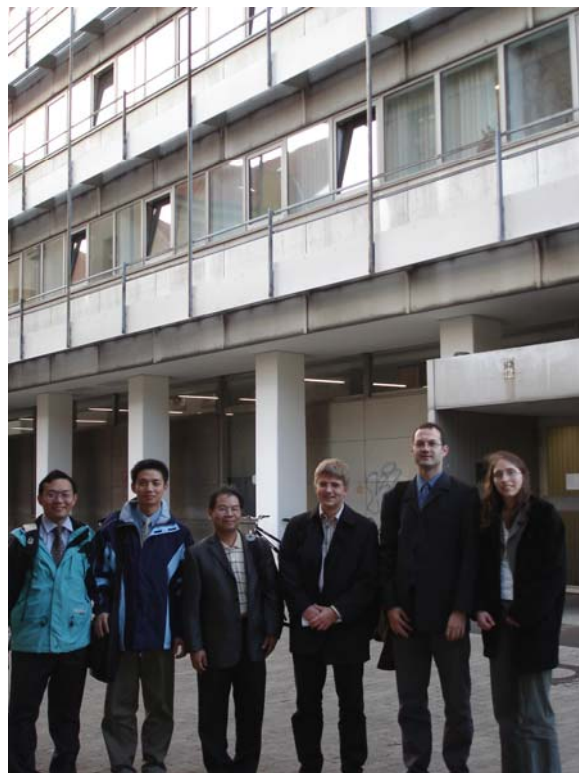


圖 14 綜合座談後於漢諾威大學製圖與大地資訊研究所大樓前合

三、比利時 EuroSense 公司

原訂 10 月 17 日參訪比利時 EUROSENSE 公司，因聯絡人臨時出差，未能進行研討，僅就 EUROSENSE 公司介紹如下：

EUROSENSE 自 1964 年建立以來，大概是歐洲最突出的商業遙感組織之一，並且在全歐洲有幾個分支機構包含：比利時（Wemmel, 在布魯塞爾附近）、荷蘭（布雷達）、德國（科隆）、法國（Lille）、匈牙利（布達佩斯）、捷克（布拉格）、斯洛伐克（布拉索夫）、波蘭（Nadarzyn, 在華沙附近）、保加利亞（索非亞）、羅馬尼亞（布加勒斯）等地，並擁有 250 名以上專業的職員。



圖 15 EUROSENSE 歐洲各分公司分佈（摘自 EuroSense 網站）

EUROSENSE 充分地整合空中攝影、航照判讀、數位衛星圖像的處理和判釋、攝影測量學和地形製圖學、空中雷射掃描（LiDAR）、地理資訊系統/土地資訊系統和 AM/FM 資料庫發展和諮詢、城市和風景森林和自然資源計劃、正射影像、繪圖、水文學、環境研究等學科，提供高度準確和技術上高等級解決方案。主要服務技術如下：

- （一）航空攝影：EUROSENSE 擁有六部 Leica RC30 照相機執行各項任務，及四個改裝過的雙發動機測量機隊。大多數航空器有二個或三個照相機和掃描器窗，並均裝備 CCNS 導航系統與 GPS 全球性定位系統以精確導航。

- (二) 攝影測量
- (三) 空載 LiDAR 測量
- (四) 多光譜掃描：許多 EUROSENSE 客戶有空中光譜掃描的需求，以研究各種各樣的現象譬如：都市微氣候、土地利用、大廈耗熱和水汙染。為因應此類應用 EUROSENSE 使用一部 12 波段的數位式多光譜掃描器執行相關任務。
- (五) 海域測量：EUROSENSE 擁有多種載具，並可進行單音束或多音束海域測量

四、荷蘭 TerraImaing 公司

10 月 18 日參訪 TerraImaing 公司，參觀該公司 LiDAR 作業情形，並由該公司 ir. Jaap Stroet 先生進行簡報，討論歐洲 LiDAR 發展情形及業界現況，會談成果詳如心得及建議。

TerraImaing 公司位於荷蘭阿姆斯特丹郊區，成立於 1993 年，擁有 12 年的地球表面三維模型測製經驗，並有全球性的專案經驗，有許多國際級的伙伴及堅強的大學合作陣容。主要服務項目為：

- (一) 空載遙感資料獲取；
- (二) 資料增值產品及服務；
- (三) 技術諮詢；
- (四) 專案執行；
- (五) 軟體研發。

TerraImaing 公司目前擁有之器
設備如下：

- (一) 航測數位相機：
 1. Rollei db45
 2. UtraCam
 3. ADS40



圖 16 航測數位相機

(二) 光達雷射掃瞄儀，規格如下：

- Optech ALTM
laserscanners
 - 5, 25, 33, 50 and 100
 KHz
 - integrated digital
 cameras
 - multiple pulses
 - intensity data
 - from 80m up to 3500
 meter
- Airplanes and Helicopters
- Point densities up to 25/m²
- Accuracies up to 5 cm



圖 17 光達雷射掃瞄儀

(圖 16-圖 19 摘自 TerraImaing 網站)

(三) 儀器載台：

1. 航測專用機隊
2. 航測專用直昇機



圖 18 航測專用機隊



圖 19 航測直昇機



圖 20 TerraImaing 公司 Jaap 先生簡報



圖 21 參觀 TerraImaing 公司作業情形



圖 22 參觀 TerraImaing 公司作業情形

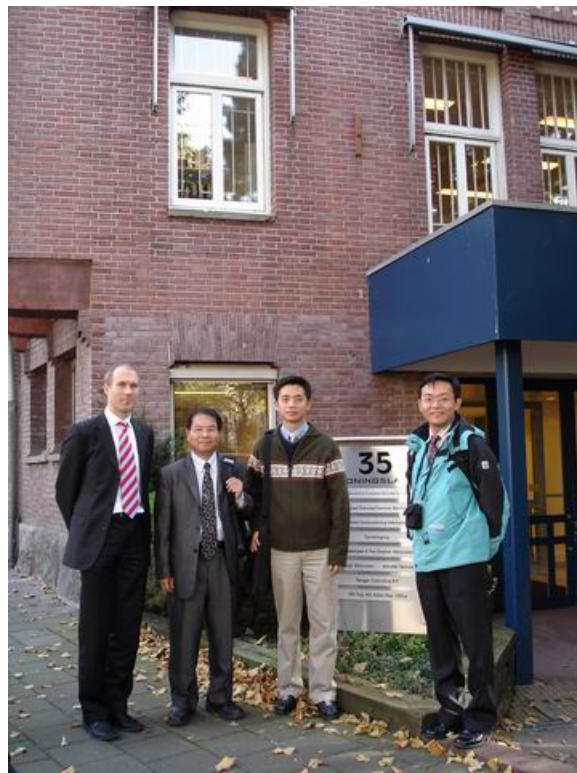


圖 23 TerraImaing 公司外合影

肆、我國數值地形模型發展

一、高精度及高解析度數值地形模型建置計畫

(一) 數值高程模型及數值地表模型現況

數值高程模型乃以數值化方式來展現三度空間地形起伏變化情形。數值地表模型為地表（如建築物、植被）之三度空間數值模型。除可應用於國土規劃外，對於防救災、建築景觀設計、工程規劃、民生、科技、建設等方面，亦具有極高的應用價值。

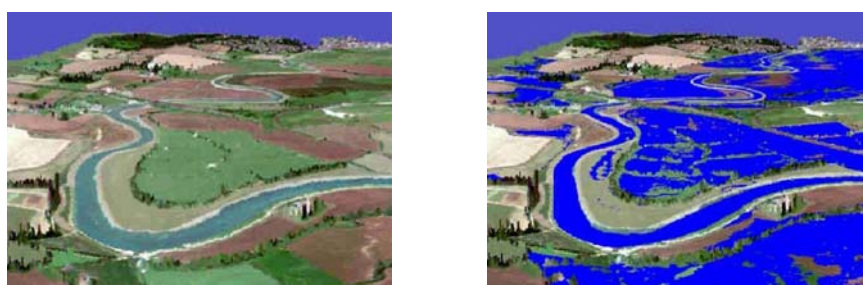


圖 24 DEM 結合數位影像進行洪泛監測應用
(圖片來源：工研院能資所)

目前國內現有的 DEM 資料，為 20 年前陸續製作，並缺乏 DSM 資料，主要來源如下：

1. 行政院農業委員會林務局農林航空測量所製作 40 公尺解析度 DEM，現由國立中央大學太空及遙測研究中心負責供應事宜；
2. 內政部臺灣地區像片基本圖修測工作陸續製作 20 公尺解析度 DEM，由內政部供應；
3. 部分直轄市及縣（市）政府製作 1/1000 地形圖時，製作解析度 4 至 10 公尺不等解析度 DEM；
4. 水利署及各河川局局部製作所需流域 DEM。

惟其中 40 公尺解析度之資料因受限於測製當時之儀器與技術，缺乏明確之精確度，且臺灣地形變遷快速，已不敷各界需求；部分地區 20 公尺解析力及都會區 4 至 10 公尺解析度之數值地形資料，因資料散布於各製作單位，並未整合成全臺灣高精度及高解析度之數值地形資料庫提供各界應用，且所使用之坐標系統及精確度均不相同

，造成重複投資（王定平、王成機、陳思仁，2004）。

（二）數值高程模型及數值地表模型測製

建立高精度及高解析度數值地形模型為內政部當前重要科技計畫之一，內政部自 93 年起，開始測製全國數值高程模型與數值地表模型，並製作全台 1/5000 彩色正射鑲嵌影像，預計於 95 年起陸續對外提供。

90 年 1 月第六次國家科技會議，已將更新國土數值地形模型基本資料列為決議事項之一（行政院國家科學委員會，2001）。內政部「高精度及高解析度數值地形模型建置計畫」前經行政院 91 年 10 月 23 日院臺內字第 0910050634 號函核定，由內政部統籌資源測製全臺灣高精度及高解析度之 DEM 及 DSM，並獲國科會科技預算支應部分經費，以提供國家整體建設規劃及各級政府施政應用，避免各單位重複投入人力、物力及時間局部測製，提升國家競爭力。

為使業務順利進行，內政部於 92 年委託國立成功大學依據臺灣地區目前現況及未來發展情形，辦理「研訂高精度及高解析度數值地形模型測製規範」案，研擬計畫草案，並於 93 年 1 月 30 日邀集產官學界舉行座談會，作為本計畫執行的參考，完成臺灣地區第一套較完整、有系統化的規範（王蜀嘉、曾義星，2003）。

內政部正辦理「高精度及高解析度數值地形模型測製工作」及「高精度及高解析度數值地形模型測製督導查核工作」兩案，分別執行測製工作及協助內政部辦理督導查核，其中「高精度及高解析度數值地形模型測製工作」第一作業區由財團法人中華顧問工程司辦理，第二作業區由財團法人成大發展基金會及詮華工程顧問股份有限公司聯合承攬

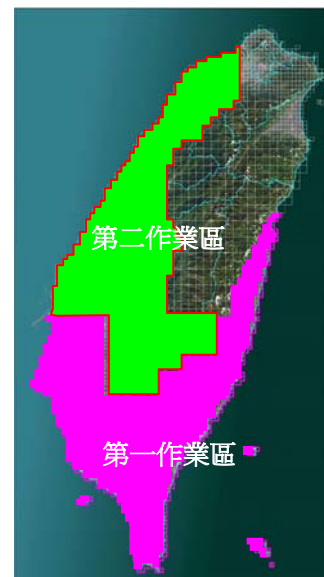


圖 25 高精度及高解析度數值地形模型測製工作測區示意圖

，「高精度及高解析度數值地形模型測製督導查核工作」由中華民國航空測量及遙感探測學會辦理，目前已完成第一批約 1200 幅測製工作，俟查驗後及完成供應辦法即可陸續對外提供，預計 95 年中全

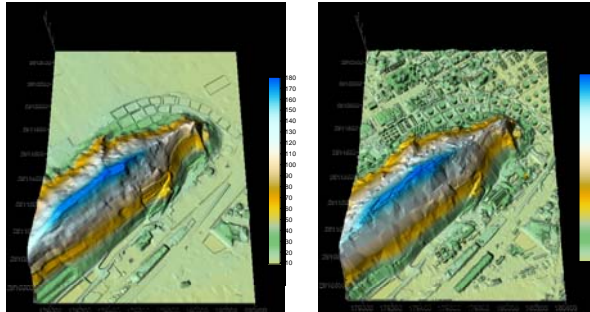


圖 26 檢驗場（半屏山）數值高程模型（左）及數值地表模型（右）

部完成。94 年起辦理「高精度及高解析度數值地形模型成果資料庫及供應維護系統建置工作」，將建立網路查詢及申請機制，提供國家整體建設規劃及各級政府施政應用。

（三）引進 LIDAR 測繪技術

空載雷射掃瞄（Airborne Laser Scanning、ALS）技術之發展，源自 1970 年代起美國太空總署（NASA）的研發。因全球定位系統（Global Positioning System、GPS）及慣性導航系統（Inertial Navigation System、INS）的發展，使精確的即時定位及定姿態付諸實現。德國 Stuttgart 大學於 1988 至 1993 年期間將雷射掃瞄技術與即時定位定姿態系統結合，形成空載雷射掃瞄儀（Ackermann、1999）。之後，空載雷射掃瞄儀隨即發展相當快速，約從 1995 年開始商業化，目前已有十多家廠商製作空載雷射掃瞄儀，可選擇的型號更超過 30 種（Baltsavias、1999）。



圖 27 LIDAR 測區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測區示意圖

研發空載雷射掃瞄儀的原始目的是觀測樹林區域的 DTM，藉由多重反射（multiple echoes）的觀測值，測出地表及樹頂的高程模型。由於其高度自動化及精確的觀測成果，許多測量機構已嘗試應用空載雷射掃瞄儀為主要的 DTM 生產工具，如荷蘭

Rijkswaterstaat 的測量部門於 1997-1998 實施雷射掃瞄的區域超過全國土地面積的一半 (Huisling and Pereira、1998)。目前，空載雷射掃瞄儀最主要的應用仍是 DTM 的生產，也常應用於集水區或崩場地的分析 (Cobby et al.、2001)，其他如建物、樹林、及電纜線的萃取及三維城市模型的建置亦在快速發展中。但國外多於秋冬落葉時施測以取得地面資料，臺灣地區高溫多雨，植被茂盛，並無明顯落葉時節，因此可能影響資料之蒐集。

內政部委託工研院辦理「LIDAR 測區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，2004 年起於桃園、新竹、南投草嶺潭、外傘頂洲、台南、高屏等地區，針對不同地形及地貌進行測量、分析及應用推廣等工作，以評估其精度及適用之區域，作為將來應用之依據。2004 年已完成高屏地區及外傘頂洲的測製工作，其較高的高程精度及資料獲取速度將對防災、水利等相關單位應用有極大助益。2005 年將完成其他測區，並辦理教育訓練、成果發表及應用研討會，並進行相關推廣工作。

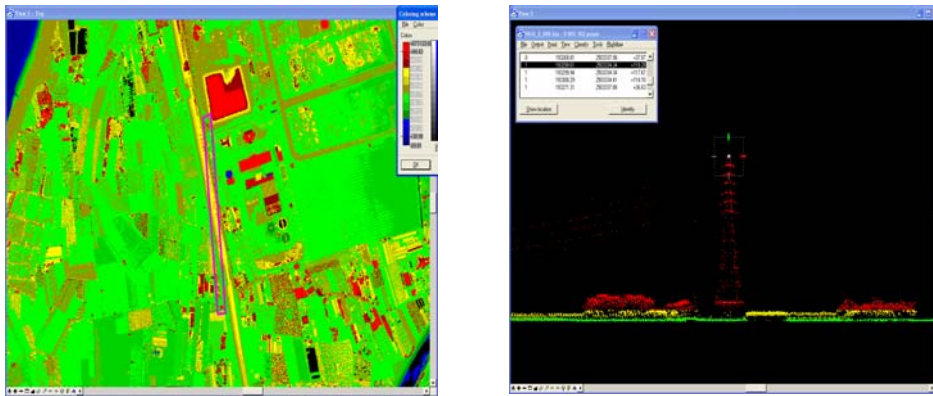


圖 28 高屏測區成果分析及高壓電塔萃取示意圖

二、高精度及高解析度數值地形模型後續計畫

內政部「高精度及高解析度數值地形模型建置計畫」2006 年中完成後，將建構全國高精度及高解析度數值高程模型、數值地表模型及正射影像，對國土規劃及各項經濟建設有極大助益。但由於各

項國家建設積極推展，以及天災仍頻，地形、地貌變化仍然非常劇烈，持續引進新測繪技術更新資料，定期修測以維持資料的即時性於國家發展極為重要。

民國 94 年 1 月第七次全國科技會議，策略三中「強化海洋科技研究」為重要議題，其中包含潮間帶及近岸等海域調查測量技術之發展。策略五「促進科技民生應用，強化社會互動發展」中包含「研發及引進先進偵測技術及設備並整合與建置監測網」、「加強航空攝影、華衛二、三號資料於災害防救相關應用研究」等重要目標。（行政院國家科學委員會，2005。）

行政院國家科學委員會之福爾摩沙衛星二號業於 93 年 5 月 21 日升空運作，為得到高精度之影像，需配合高精度及高解析度數值地形資料進行影像正射糾正，即時製作台灣地區高精度正射衛星影像，以充分發揮福爾摩沙衛星二號功效。計畫與太空計畫室及國內相關學術機構建立高解析度影像正射糾正相關技術，配合數值地形模型進行各項分析，提供土地資源利用調查、國土保安、防救災及其他經建與學術計畫需要。

過去中央山脈中高海拔地區之航攝任務均有賴目前內政部空中勤務總隊所屬航測專用定翼機執行。國內近年來天災多發生於山區，為快速獲取災區地形資訊，作為防救災及後續復建之重要依據，中高海拔地區之航攝作業需求激增。目前國內已有航空公司引進馬力較強之飛機，可進行中央山脈地區之航測作業。計畫結合農委會林務局、內政部各國家公園管理處及防救災單位進行中、高海拔作業相關測試，提供各快速取得地形資訊之參考。

行政院研究發展考核委員會 90 年 3 月編印之「海洋白皮書」及內政部海岸法（草案），有關海洋、潮間帶及海岸之開發、管理與永續經營均有賴完整的測量、調查等資料，以建立相關管理資訊系統（行政院研究發展考核委員會，2001）。潮間帶及近岸水深測量因傳統測量技術限制，花費龐大又難以有效取得正確資訊，影響國土規劃與發展。配合國家海洋政策，及藍色國土規劃，急需取得高

精度的岸際及近岸地形資料，提供國家對於海岸及近岸地區之國土規劃、管理及各項海洋調查應用。計畫引進透水光達測繪技術，選擇幾處典型水域，分別就地形、底質、海水透明度、深度等不同條件進行測試，並評估適用之區域。測試成功後將可大量應用於內政部「領海及鄰接區海域基本圖測製」及內政部營建署海岸管理等業務，亦可作為水利、農政單位辦理河川、海岸及資源變遷調查等應用。並配合東沙海洋國家公園建立及大陸礁層調查、海洋事務推動委員會海洋資源組決議「推動東沙群島含（東沙島、環礁、北衛灘、南衛灘）之海洋資源調查工作」等相關計畫需要，進行東沙地區海域及陸域地形測量。

近年國內航空測量業務繁重，各單位對於航空標及自然、人工地物點資料要求殷切，在資料無法流通的情形下，只能不斷重複建置，增加所需經費。建立國內航空標及自然、人工地物特徵點等地面控制點資料庫，並擬定流通辦法及更新機制已屬當務之急。

未來的空間資訊必以 3D 為主。無論都市規劃、空間管理以及未來第三代行動通訊細胞網路設計都需要三維城市模型。歐洲各國在此方面已進展多年，我國可先進行相關技術及規範訂定的研究，並積極發展相關技術，作為未來國土資訊及相關產業應用之基礎。

地面三維雷射掃瞄技術可在近距離快速獲取高精度地面三維現況提供使用者立即顯像的三維資料，讓使用者迅速決策，對於部分人員無法到達點位或危險現況，可使用地面三維雷射技術來達成目標。此外，使用雷射點位資料輔助空載光達資料，對於未來的 3D 城市模型建置作業也將有助益，以發展數位台灣的基本三維城市地理資訊資料庫。

綜上內政部爰延續「高精度及高解析度數值地形模型建置計畫」訂定「高精度及高解析度數值地形模型後續計畫」，主要工作如下：（一）訂定維護、更新、管理機制及修測；（二）發展影像高精度正射糾正相關技術及系統；（三）發展空載光達測繪技術；（四）引進及發展透水光達測繪技術；（五）辦理航遙測空標及自然

、人工地物特徵點資料庫建置；（六）發展 3D 城市模型相關技術；
（七）發展地面三維雷射測量技術。

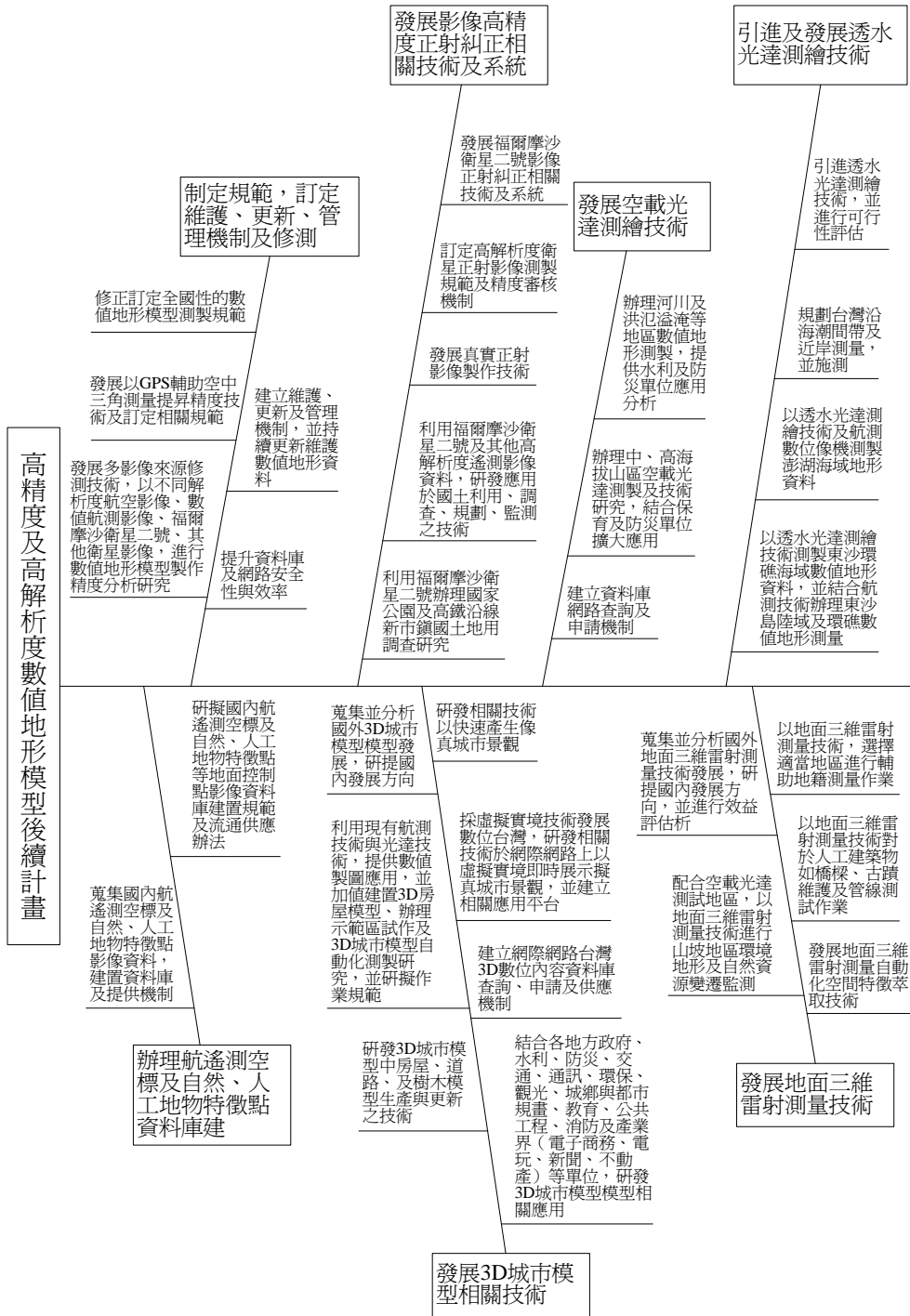


圖 29 高精度及高解析度數值地形模型後續計畫要項

伍、心得：

一、光達技術發展說明

光達技術廣義的定義是指以雷射光對目標物進行量測的技術，目前所稱的光達是指利用雷射光對目標物進行高密度的掃描獲取目標物三維形貌的技術，其中發展最快用途最廣的就是以飛機為載具進行地表掃描測繪之空載光達技術（Airborne LiDAR）。

空載光達系統發展過程如下：

- 1960s
 - NASA 著手發展以雷射測定地球與衛星間距離之技術
- 1975
 - NASA 與 NOAA 合作進行空載雷射遙測計畫
- 1980s
 - University of Stuttgart、Azimuth 及 Optech 等，開始進行商業化系統開發
- 1990~1995
 - 商業化系統問世，但性能有待改善
- 1995~2000
 - 性能快速提升（POS、pulse rate、range、…）
 - 儀器及掃描服務市場展開
- 2000~
 - 性能持續精進，資料處理軟體逐漸成熟
 - 儀器及掃描服務市場快速成長
- 台灣
 - 2002 年：工研院與交大合作，執行農委會空載光達測試計畫成功
 - 2004 年：民間業者引進二套商業系統。內政部 LiDAR 計畫展開

二、光達技術原理

空載光達主要包含：雷射掃描儀（Laser Scanner）、定位定向

系統 (POS, Position and Orientation System) 及控制器 (System Controller) 等三部份。其中, 雷射掃瞄儀則是以每秒高達 60,000 ~ 80,000Hz 的頻率, 紀錄脈衝雷射之發射角度及接收之時間差與回波, 並轉換為量測之距離與反射之強度; 定位定向系統是以「直接幾何對位 (Direct Georeferencing)」技術, 整合動態 GPS 差分定位技術求得之三維坐標, 與精密慣性姿態儀 (IMU, Inertial Measurement Unit) 測得之三軸偏轉角及加速度等資訊, 直接提供在飛航過程的精密軌道定位; 而控制器除了作為操作者的人機介面外, 並紀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。空載光達的作業原理如圖 30 所示:

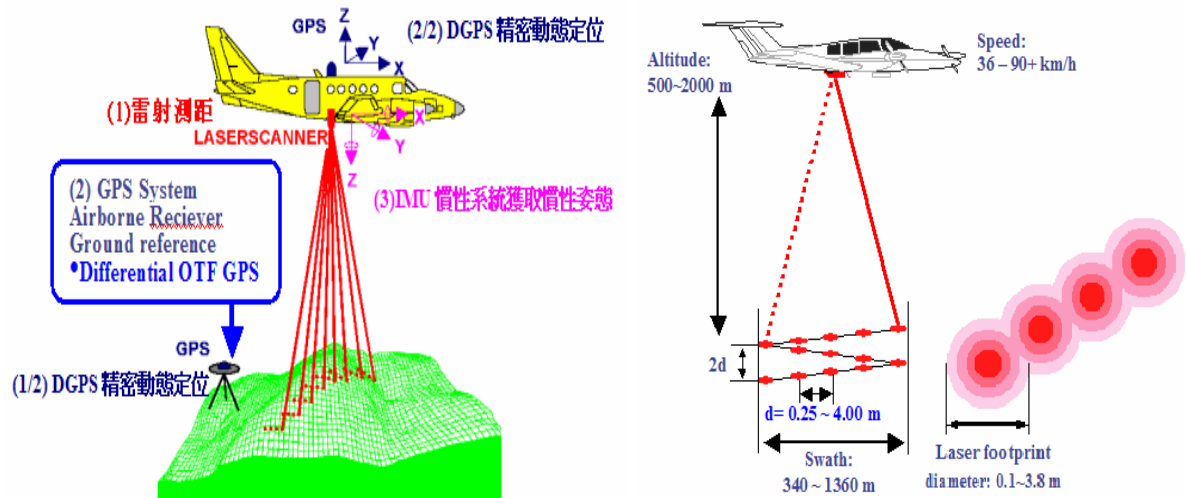


圖 30 空載光達作業示意圖 (史天元, 2004)

LiDAR 訊號具有一項非常特殊的「多重反射」(multiple echoes) 能力, 其多重反射之原理如圖 31 所示。即發射單一脈衝而能接收最多個反射回波訊號, 因此有機會可同時量測到地表及樹頂甚至樹幹的點位 (或是建物的不同位置), 甚至電力的輸配線路,

其原理為：LiDAR 發射之雷射光為圓錐狀，當接近地表時單一光束投影在地表之範圍約為 50 公分直徑之圓形（稱之為足點（footprint）），而所獲取的資料有部分落在樹木表層，有些為樹幹位置，而有些則為地面反射點，因此可同時測得上述之資訊。根據 LiDAR 雷射光反射回波的情形，也可藉此了解地面物體對於雷射光的穿透情形。

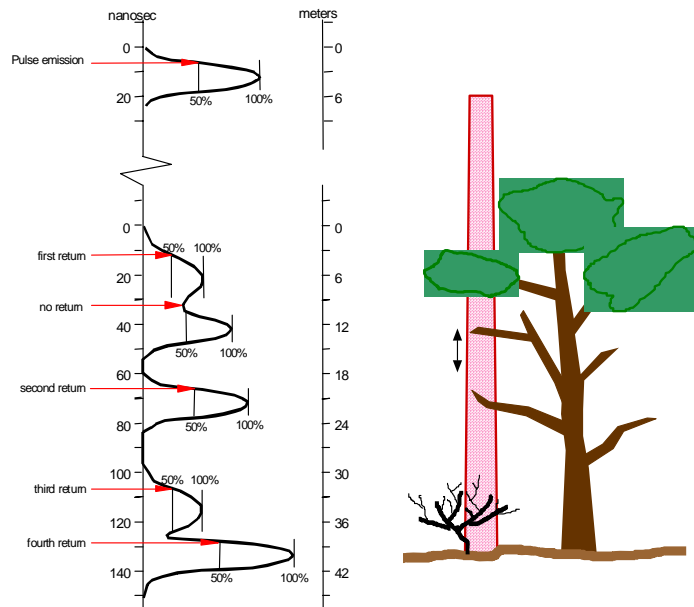


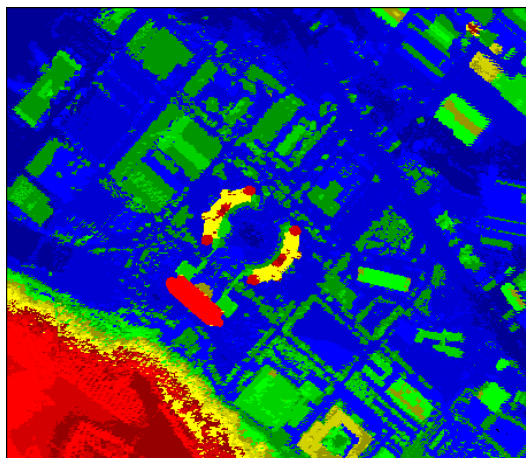
圖 31 光達訊號多重反射回波示意圖

空載光達掃描獲取之大量分布密集的坐標點稱為點雲（Point Cloud），點雲資料除點位本身具備精確之三維坐標外，並同時紀錄原始雷射脈衝之反射強度（intensity），可隨著地表不同之反射特性呈現類似航空照片之影像特徵（圖 32（a））；經過軟體與人工之處理，可將各雷射點進行分類，一般可區分為地面點及非地面點（圖 32（d）），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（圖 32（b）），這也是空載光達的基本成果。因此，可應用於地圖測繪、洪災模擬、地

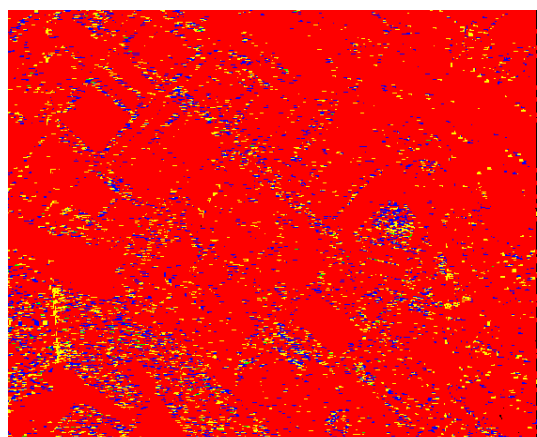
質分析、災害調查等應用。而非地面點可進一步再區分為植被、建築物等類別，可作為後續森林資源估算、房屋模型建置等應用。



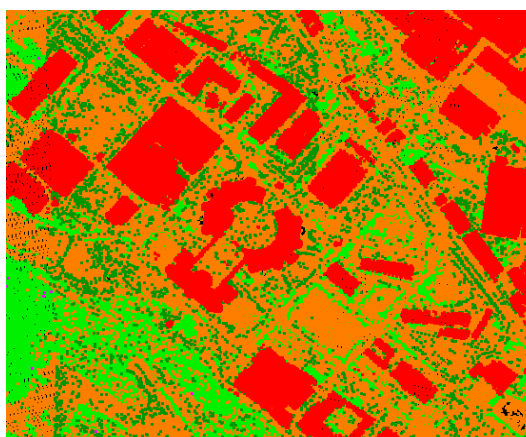
(a) 依反射回波強度展示



(b) 依高度展示



(c) 依回波順序展示



(d) 依處理後類別展示

圖 32 空載光達之點雲資料展示

三、光達技術優勢

空載光達技術以高精度、高效率與低成本的三個優勢，以及豐富的資訊內涵，迅速掀起一場全球的測繪技術革命，其主要特色為：
：（1）以雷射光進行掃瞄測距，施測之精度與解析度遠高於以往的技术，根據現地實測之資料驗證可達 15 公分。（2）以 GPS 動態差

分精密定位，免除傳統方式需在測區特定位置佈設一定數量之控制點，大幅降低成本並提高效率。(3) 雷射光可穿透霧、霾及稀薄雲層，並可在夜間進行施測。(4) 資料處理過程中不需由人工進行量測，僅需人為協助判定點位類別(地面或非地面點)，使成果的品質穩定並可提高生產效率。

四、光達技術的限制

空載光達技術在高精度 GPS 定位技術上，仍必須在測區 20~50 公里之範圍內設置地面控制基站作為差分計算之用；而雷射光在茂密植被區，仍無法穿透而獲得地面坐標；此外，點雲資料為離散的不連續點狀資訊，無法提供清晰的地表特徵(如：房屋邊界等)，而必須搭配附掛之數位相機或其他來源的影像，且足點為接近地表時單一光束投影在地表之範圍之圓形，並非明確的一個點，其水平精度較難評估。

五、光達作業流程

光達作業流程如圖 33 所示：

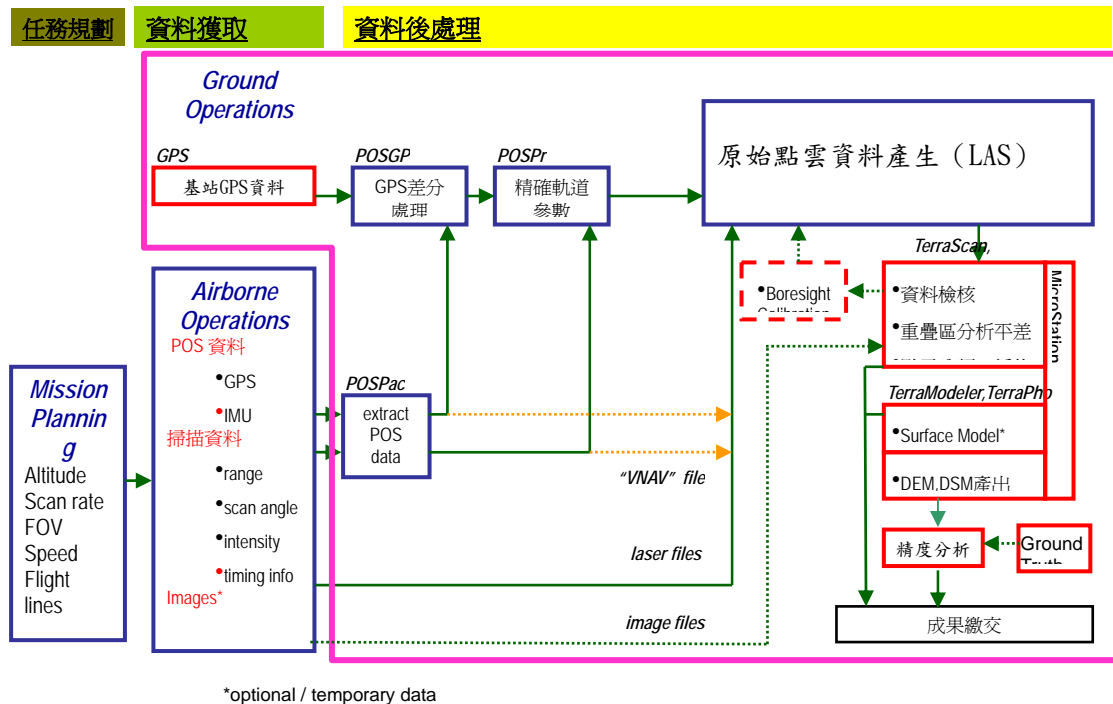


圖 33 空載光達作業流程

六、德國及荷蘭目前空載光達辦理情形如下表：

	荷蘭	德國
測區與面積	全國 40,000 km ²	Baden Wurtemberg 30,000 km ² NordRhein Westfalen 30,000 km ² Sachsen 20,000 km ²
產品	數值高程	數值高程
垂直精確度	5-10 cm	15-25 cm
點雲密度	2 - 4 m 網格	0.5 - 2.0 m 網格
目標	國家空間資訊基礎建設	國家空間資訊基礎建設
預算籌措	地方與中央政府共同	測繪部門
執行期間	1997 - 2002	1998 - now
推廣應用	授權使用,依用戶不同價格	政府部門免費,低價策略
更新日期	2005 開始	-

七、測深光達技術

目前使用之空載光達系統，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，但有所謂「測深光達」(Bathymetric LiDAR)之特殊系統採用綠光波段，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，然而在混濁的水域可能受限於雷射之能量而無法穿透，其作業示意圖如圖34所示。惟測深光

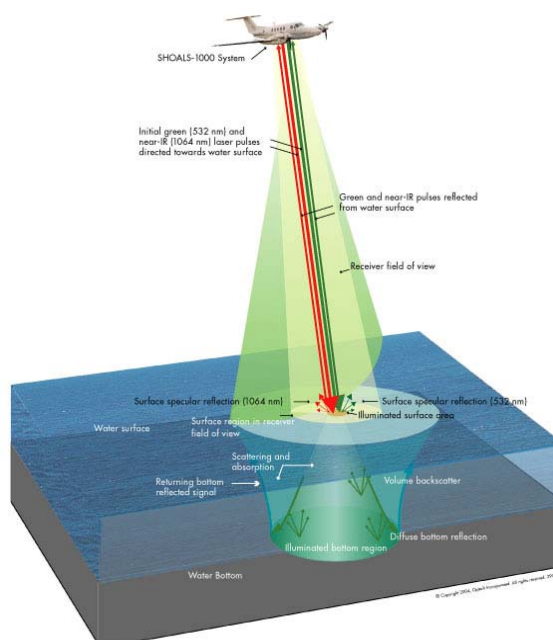


圖 34 測深光達作業示意圖 (Optech, 2005)

達受水質清澈度影響極大，就本次考察之荷蘭及德國學界及業界表示，該國海岸地區及河川由於水質不佳，尚無相關成功案例。

八、航測專用機隊

有關國外專業測量公司均擁有專用測量機隊，相關儀器均長期安裝在飛機上，以減少率定工作，及避免經常拆卸造成儀器磨損故障。目前國內有大鵬航空股份有限公司：BN-2 Islander（2架）；群鷹翔國土資源航空股份有限公司（原華毅航空）：BN-2 Islander；德安航空股份有限公司：BK-117（直升機）及內政部空中勤務總隊：Beech King Air 350、Beech King Air 200。原航測專用定翼機在轉為內政部空中勤務總隊後，因海巡署等其他單位計畫移作其他業務之用，對國家整體航測及資源調查之發展有相當影響，而國內民間現有之飛航器能量又不足以支應現有工作，值得有關機關慎重考量。

九、空載光達市場的發展

依歐美各國近年發展情形，目前空載光達市場的發展，大範圍空載光達測繪已開始進入成熟期，大範圍高精度空載光達測繪正處於成長期，而有關廊道測繪部分亦已由進入期跨入成長期，測深光達部分則仍屬於技術發展的進入期，詳如圖 35。而我國由於引進時間較晚，透過政府部門專案引進發展相關技術，已跨過許多摸索期，直接進入相關應用，並結合學界及業界以期與國際接軌。

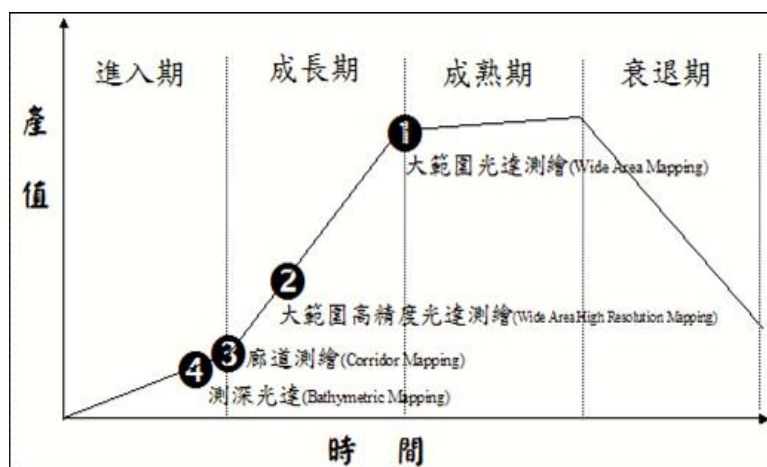


圖 35 光達市場發展情形

十、本次考察有關國外目前光達測繪技術及三維城市模型應用領域整理如下：

基礎	■ 產製DTM
水患	» 集水區與河川洪患管理 » 水患與堤防管理 » 海岸帶管理
都市	» 三維都市模型建立 » 三維建築模型用於通訊（視線） » 三維建築模型用於噪音模擬
公共設施	» 公路基礎建設維護 » 廊道測繪 » 電線測繪 » 都市變遷偵測
應變	» 地質災害 » 防災與緊急應變
環境	» 森林經營管理 » ...

十一、三維房屋模型（3D Building Model）建置

原始點雲資料經過分類別設定，並透過地面點與非地面點之自動與人工分類後，產生（a）地面（b）非地面及（c）無用等三大類別。因此，三維房屋模型建置前，需要進一步將房屋點（building points）從非地面點（non-ground points；或稱離地點，off-terrain points；或稱地物點，object points）的點雲中區分或辨認出來。

十二、點雲分類與三維房屋模型建置流程

利用三維光達點雲於房屋模型建置（如圖 36 之流程），基本上有兩種涵義：

1. 從非地面點中將屬於「房屋」或「建物」之地物分離，建置一個單獨的點雲類別。
2. 進一步偵測建物，並依據點雲與其他輔助數據，萃取建物的三維結構線，再以此三維結構線重建建物三維框架模型，或更進一步處理牆面之組織。

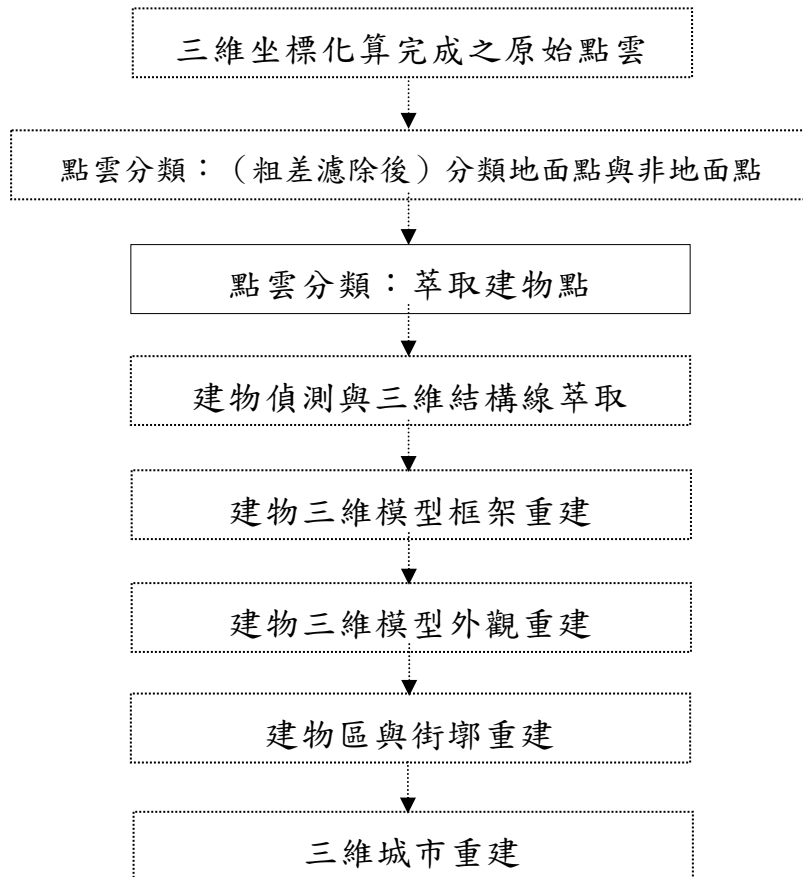


圖 36 點雲分類與三維房屋模型建置流程

由於光達的雷射光未必打恰好到建築物邊線上，且理論上光達資料測取的平面精度比高程精度差；所以光達點雲不是用於建立建築物邊線萃取的最理想數據，通常需要其他數據的補強，如既有建物外框、攝影測量成果之建物外框、正射影像…等資料；因此，光達之數位建築模型通常指前述之第一種涵義。第二種涵義中有部分研究顯示，當點雲密度大於每平方公尺一點時，則可輔助建物之三

維結構線萃取 (Rottensteiner, 2003 ; Rottensteiner and Briese, 2005) 。

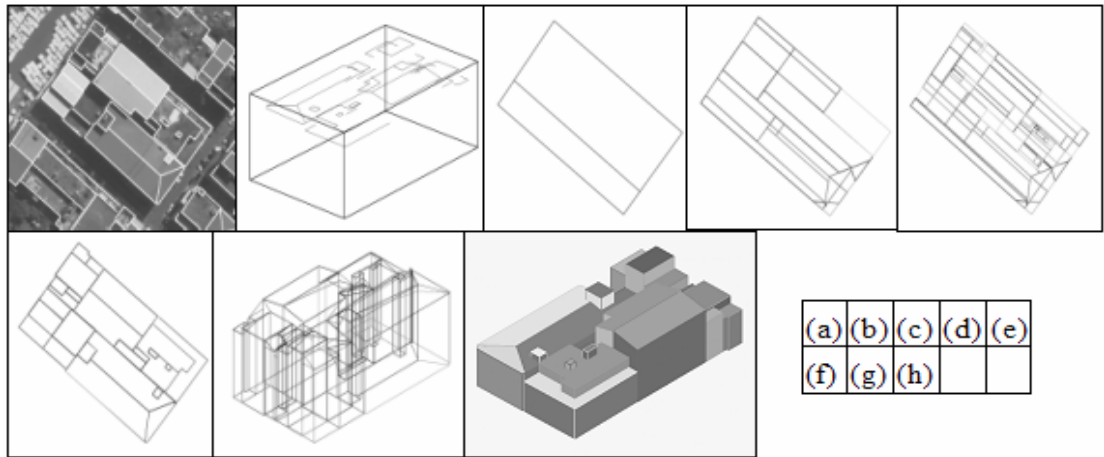


圖 37 利用 SMS 重建三維房屋模型之步驟

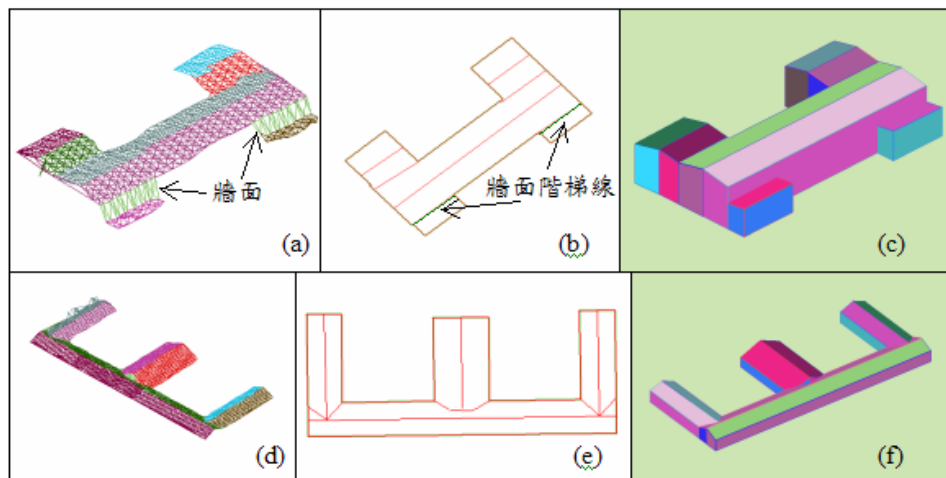


圖 38 融合光達與房屋二維向量圖於重建房屋三維模型

陸、建議：

一、參考歐美相關技術發展，積極執行「高精度及高解析度數值地形模型後續計畫」

本部「高精度及高解析度數值地形模型建置計畫」95年中完成後，將建構全國高精度及高解析度數值高程模型、數值地表模型及正射影像，對國土規劃及各項經濟建設有極大助益。但由於各項國家建設積極推展，以及各項天災造成地形、地貌的變化，持續引進新測繪技術更新資料，定期修測以維持資料的即時性於國家發展極為重要。「高精度及高解析度數值地形模型後續計畫」報奉行政院94年7月12日院臺建字第0940030777號函核定，自95年起執行，應參考歐美相關技術發展及國內環境，積極規劃執行。

二、發展光達測製技術，擴展應用領域

為配合本部辦理「LIDAR 測區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」，國內已於93年引進二部空載光達系統，相關之資料處理、加值及應用等研發也透過該計畫之執行逐漸展開，並開始使用點雲資料及其衍生的高精度DEM與DSM數據。綜合本次考察經驗，空載光達可分成下列應用範疇：

1. 地形測繪 (Topographic mapping)：海岸地區測繪、沙丘、潮汐淺灘、海岸變遷與侵蝕、礦體、影像製圖等。
2. 建築與景觀設計 (Architecture and landscape design)：景觀設計、3D 建築設計、土木工程專案模擬、景觀雕塑等。
3. 都市規劃與發展 (Urban planning and development)：3D 都市模型、無線電通訊地形地物之雜訊傳播、虛擬都市、道路設計等。
4. 災害防治與緊急應變 (Disaster prevention and response)：洪災模擬、土石流潛勢評估、災損估計等。

5. 地質測繪 (Geological mapping)：尋找斷層、山崩災害、洪患、地表滲透、逕流模式、河系或堰塞湖等。
6. 基礎建設與維護管理 (Infrastructure construction, maintenance and management)：工程挖填方、廊帶測繪：如道路、鐵道、油管、水路、電力傳輸線、電塔等。
7. 生態環境研究、監測與管理 (Ecological and environmental research, monitoring and management)：魚類棲息、珊瑚礁、濕沼地測量、山坡地開發管理、國土變遷監測等。
8. 農林 (Agriculture and forestry)：精密農業與林葉、推導植生參數：如樹木高度、密度，生物量預估等。
9. 多媒體與廣告 (Multimedia and advertising)：電影 3D 模型、電腦繪圖、新聞播報、虛擬觀光、電子遊樂等。

其中與本部業務相關的項目有地形測繪、建築與景觀設計、都市規劃與發展、災害防治與緊急應變、生態環境研究、監測與管理等。本部建立制度整合資源，進行相關基礎資料建置，除可供業務需求外，可擴大提供相關部會使用，以達資源共享節省國家經費之目的。

三、加強三維城市模型技術，發展相關應用

三維的空間資訊已成為世界潮流，應加強研發大規模測製自動化技術，開發 3D 城市模型增值應用平台與技術，作為各界製作 3D 城市模型之參考，提供國家整體規劃之像真參考與展示資訊。可以提升都市規劃及空間管理的品質、提供航道淨空管理及 3G 行動通信業者做網路設計等應用。結合各地方政府、水利、防災、交通、通訊、環保、觀光、城鄉與都市規畫、教育、公共工程、消防及產業界（電子商務、電玩、新聞、不動產）等單位，以促進技術推廣應用。

四、重建並加強政府專業測量機隊

有關國外專業測量公司均擁有專用測量機隊，相關儀器均長期安裝在飛機上，以減少率定工作，及避免經常拆卸造成儀器磨損故障。而國外政府如美、日等國均擁有專業的測量專責機構及航遙測調查機隊。目前國內原航測專用定翼機 Beech King Air 200 為本部為基本圖測製所購置，Beech King Air 350 為農委會為執行農林相關調查業務購置，均為專業的航測專用定翼機，後因資源整合本部 Beech King Air 200 移撥農委會統一調度，為國內航遙測調查之主力。因應整合國內相關航空器資源成立內政部空中勤務總隊後，又移撥內政部空中勤務總隊。惟空中勤務總隊之任務以防救災等為第一優先，復因海巡署等其他單位計畫移作其他業務之用，使專業之飛航器未能用於適當用途，對國家整體航測及資源調查之發展有相當影響。而國內民間現有之飛航器計有大鵬航空股份有限公司：BN-2 Islander（2 架）；群鷹翔國土資源航空股份有限公司（原華毅航空）：BN-2 Islander；德安航空股份有限公司：BK-117（直升機）等，能量又不足以支應現有工作，值得有關機關慎重考量。建議應重建政府專業測量機隊，以維持並發展各項業務。