

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

以光達、差分雷達、及空照產製數值高程模型及數值覆蓋模型研究(3/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2211-E-009-011-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：國立交通大學土木工程學系(所)

計畫主持人：史天元

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 10 月 30 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

以光達、差分雷達、及空照產製數值高程模型及數值覆蓋模型研究
On the Construction of Digital Elevation Model and Digital Surface
Model with InSAR, and Aerial Photos

計畫編號：93-2211-E-009-011-

執行期限：93年8月1日至94年7月31日

主持人：史天元 國立交通大學土木工程學系

一、中文摘要

以類比、解析、或數位立體製圖儀，使用立體空照像對繪製線形圖、等高線、及錄製高程點，為目前大面積地形測量之主要作業型態。隨同儀器之發展，尤其是 GPS 與 INS 之結合，數值高程模型及數值覆蓋模型之產製，亦有了新的作業方式。其中、光達採用主動式雷射光進行高速掃描測距，差分雷達則應用雷達干涉之原理產生干涉條紋進而求解高差，為目前最具應用價值者。除了新儀器所導致之新作業方法外，沿用立體製圖之原理，應用立體空照像對作業方式亦已有較諸 1980 年代及 1990 年代初期，有許多自動化之發展。除了作業流程之自動化，IKONOS 及 QuickBird 之順利運作，亦使高空間解析度之衛星影像提供另一立體像對之來源。本研究探討以此三種作業方式所生成之數值高程模型及數值覆蓋模型之特性。研究之成果分別總結，陳述精簡摘要於本報告。

關鍵詞：地形測量；影像相關；交叉比對、最近搜尋

ABSTRACT

Mapping with aerial photos, and utilizing analogue, analytical, or digital, stereo-plotters, is the primary operating method for the production of line maps, contours, and spot heights. Along with the advance of instruments, particularly the progress of the GPS and INS integration, there are new methods for the production

of digital elevation model and digital surface model. Lidar uses laser beam for ranging with high pulse rate. InSAR uses active microwave for interference. The fringes are related to the terrain. After the unwrapping procedure, the height differences can be obtained from the fringes. Besides the new methods brought with new instruments, there are new image sources for the stereo-mapping, the high spatial resolution satellite images, such as those from IKONOS and QuickBird. For the stereo-mapping itself, automation has changed the work flow as well.

In this study, the digital elevation model and digital surface model produced with Lidar, InSAR and stereo-photogrammetry, are analyzed for their characteristics. The results are briefly summarized in this report.

Keyword: topographic survey, image matching, cross validation, nearest neighbor searching

二、第一部分：

2-1 前言

「數值高程模型」(DEM, Digital Elevation Model)之涵義，與「數值地形模型」(DTM, Digital Terrain Model)多年來一直具有混淆不清之處。最早之使用名詞為「數值地形模型」，用以代表地形面上之高程矩陣。故而其涵義為地形面之高程，同時使用此一名詞時，亦有指其為格網式數據結構之涵義。由於「地形」一辭，涵義甚廣，可能並非「高程矩陣」所能對等，故乃有以 DEM (Digital Elevation Model)或 DHM (Digital Height Model)之名詞替代，以精確描述其內容為高程，其數據結構可以為格網式、不規則三角網、或其他。隨同科技進展，「數值覆蓋模型」(DSM, Digital Surface Model)之引用亦逐漸頻繁，故有認為 DEM 為一通稱，包含 DTM 與 DSM，此時之 DTM 乃指地形面之描述，而 DSM 為覆蓋面之描述。本文採用之定義為以 DEM 代表對地形面描述之數據模型，以 DSM 代表對覆蓋面描述之數據模型。不限定其數據結構，僅以產製過程及其品質、特性進行討論。

三維空間高度之量測，傳統地測方式如直接水準、全測站經緯儀、平板儀等，及現代全球定位系統，其作業方式對大面積之量測有成本偏高、效率偏低之憾。

故大面積之地形測量，目前多以航空測量為之。以其作業技術區分，包含攝影測量、光達、合成口徑雷達干涉、三種。相同之作業原理，亦可運用於衛星或太空梭等載具，目前運用攝影測量原理者，可以 Aster 為代表，運用差分合成口徑雷達則以 SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) 為最典型。各種量測方式，均有其特性。本研究謹就此三種作業方式所具有之取樣特性，進行探討。

2-2 航空攝影測量

「航空攝影測量」(Aerial Photogrammetry) 為三種量測技術中發展最早者，目前之作業方式，就外方位元素之獲取，可大分為二：進行空中三角(Aerial Triangulation)計算、與直接求定外方位(Direct Geo-referencing)。外方位元素之精確度，與後續之製圖工作成果有直接之影響。而由作業之高程系統而分，包含以正高系統進行空中三角，後續作業亦以正高進行量測者。另一種方式為以橢球高進行外方位求解，以橢球高系統進行製圖，之後再進行正高化算，獲得正高。若以地形高程資料產生方式分，包含人工斷面掃描、人工定點量測、自動匹配再進行人工編修、與人工量取計曲線及地性點線，再進行內插者。謹就此一實際量測作業，進行描述、探討。

I. 人工斷面掃描

此一作業方式最早運用於正射影像之產製過程。該時使用之儀器為類比式立體繪圖儀(Analogue Stereo-plotter)，使用伺服馬達，自動進行垂直或平行儀器模型軸向掃描，同時作業員以手輪或腳盤改變高程，使浮測標貼合地面，儀器則定時取樣、記錄。此一作業方式，依其掃描方式，又可分為來回掃描、與單向掃描。由於人之反應並非即時，當地形變化時，手腳之反應有一延遲現象。此一延遲，會造成地形特徵之掃描方向偏移。此一偏移在來回掃描最為突顯，因為相鄰兩掃描線之方向相反，延遲偏移之方向亦相反。

在當時生產相片基本圖時，其配合正射影像產製之等高線並非由掃描數據獲得。而是以人工繪製等高線之作業方式得取，故並不包含此一掃描延遲偏差。而就掃描作業本身，若改為單向掃描，並配合作業人員之延遲進行座標平移改正，理論上可大幅減小掃描延遲偏差。但是，作業人員之延遲反應，是否為線性，則有待探討。

II. 人工定點量測

在生產格網式高程模型時，若將各點均以人工直接量測，即為本作業方式。其進行為以儀器驅動，自動進入各點，停留一段時間，以待作業人員完成高程量測，記錄，進入下一點。如此重複，直至完成所有點位量測。由於作業人員無須追隨地形之變化，而為逐點量測，故無延遲偏差。但是在有植生覆蓋處，作業人員需於附近透空處觀察，以判斷植生厚度，以便扣除，若不考慮此一問題，則植生覆蓋處之量測品質堪虞。同時，此一作業方式所需人工與作業時間均長，成本較高。

III. 自動匹配再進行人工編修

使用數位立體工作站時，由於類比影像已經數化，故可運用各種數位影像處

理軟體與技術進行作業。若以影像匹配技術進行共軛點求定，則可進行自動作業，求得覆蓋面之高程。此時所得成果，雖均為樹頂、房頂、等覆蓋面，但是包含大量匹配錯誤，故其品質並不一定合於數值覆蓋模型之需求，而須進行編修。對數值高程模型之產製而言，當然更須經由人工編修，以獲得地面高。理論上，編修可進行至完美之境。但是實際上，編修在高精度需求時，往往難於達成要求。

IV. 人工量取計曲線及地性點線

若以人工量取計曲線，加以最高點、最低點，等地形特徵點，及稜線、谷線、等地形特徵線，對地形之描述可稱完整、精確。若以適當演算法進行內插，產製數值高程模型，則其精度可期。此一作業方法堪稱目前以攝影測量進行地形高程測量之最佳作業方式。

但是，無論如何作業，攝影測量均為以「前方交會」之原理進行地形量測。其條件為，當兩條以上之光束交會於一點時，該點方可量測。因此，在有植生覆蓋時，其穿透率極低，故於植生覆蓋區，攝影測量所得地形面高程為「猜測」所得。同時，在均調區，匹配不易時，無論人工或數值影像處理，誤差產生之機率均高。

2-3 空載光達

空載光達之量測原理為「光線法」，亦即以一距離及一角度進行地形三維座標之量測。此時，只要任一地面點具有一「光線」，即可量測。因此，在植生覆蓋區，空載光達之穿透率大增。而其誤差，可大分為「光線」之誤差，與地形描述之誤差。前者受載台等外方位之觀測精度與率定作業精度影響，後者則主要來至於高程分類與人工編修。

除因幾何原理使得空載光達有較高之植生區穿透率外，空載光達具有多重回訊之機能。亦即，單一雷射光束，其回波記錄可辨識出多個特徵點，例如頂層樹葉、枝幹、土地，可能於同一光束之回波中辨識。多回波回訊之解算座標點之平面座標並不一定相同，其差異受光束傾角之影響。此一特質使得穿透率增加，不只是對地形之描述較為精確，對覆蓋層結構之分析亦有相當助益。

本年度之研究，對因載台及雷射掃描所引起之系統性誤差，有較完整之探討，成果見劉榮寬等(2005)。高程自動分類與人工編修，三年來探討成果見陳威誠與史天元(2004)，彭森祥(2005)。整體性作業成果之統計性分析，目前仍在持續進行中。

2-4 合成口徑雷達干涉

目前合成口徑雷達干涉之作業性統中，台灣地區成果包含美國 NASA 所測之 TopSAR 數據組，為環太平洋計畫(PACRIM)之產品，太空梭計畫 SRTM 數據，國科會資助之台灣南部 Intermap 空載系統作業，及以 ERS-1, 2 所進行之衛載影像解算。由於 TopSAR 及 SRTM 均為開放性，由美國 NASA 提供免費使用，故本研究以其數據進行持續探討。較完整之成果見賴子銘與史天元(2005)。ERS-1, 2 之衛載影像部分，本研究亦持續探討多年，由於重疊立體像對並非即時同步所

得，以之求取全區高程模型，頗不可行。尤其是植生區，其相關性低，解算不易。目前研究成果顯示，衛載影像合成口徑雷達干涉作業適合於變形、沉陷，之應用，而非地形測量。使用差分合成口徑雷達干涉(DInSAR)處理程序，解析度高，且具有面之量測效果。由文獻回顧獲知，目前研究朝向永久散射區(Permanent Scatter)之處理方式，在本研究中尚未有實質討論。

以研究成果綜合文獻回顧，合成口徑雷達干涉技術，無論空載、衛載，均不適合高精度之地形量測。現有系統中，有一系統解析度達公分級，但是姑不論其作業限制條件，合成口徑雷達干涉技術所測得者完全為覆蓋面之高程，使得求取地形面高程之作業挑戰性極高。Chang & Tao(2004)針對合成口徑雷達干涉技術所測得之高程面進行自動高程分類，其正確度受限資訊不足，難有高品質之成果。但是合成口徑雷達干涉技術不受天候影響，作業迅速，成本相對低廉，對大區域低精度之需求有應用價值。

2-5 結語

每一種量測技術，均受限於其基本量測原理，及現有系統之可達程度。攝影測量根據前方交會，光達根據光線法，合成口徑雷達干涉技術根據干涉原理，其實亦可視之為一種前方交會。以高程解析度而言，合成口徑雷達干涉技術可達相當高之程度，攝影測量之高程解析度受限於像空間之解析度與像比例尺，光達則受限於時間量度之解析度。就平面解析度而言，三者實務上均可達原始點雲每平方公尺一點之作業密度要求。以目前之作業方法而言，攝影測量可量取高程之平面特徵，如稜線、谷線，其綜合所得地形模型較為詳盡；空載光達與合成口徑雷達干涉技術則現階段作業中並不涵括。但是若改善地形分析之演算法，應可有某一定程度之改變。

2-6 參考文獻

Chang, Y. and V. Tao, 2004. Personal communication.

賴子銘、史天元，2005。SRTM/TopSAR 高程數據比對，航測及遙測學刊，審查中。

劉榮寬、徐偉城、史天元、劉進金，2005。空載光達系統率定初探，測量工程，47(2):49-66。

陳威誠、史天元，2004。由光達覆蓋模型萃取數值高程模型之研究，第二十三屆測量學術及應用研討會，301-310。

彭淼祥，2005。空載雷射掃描生產數值高程及其精度評估，交通大學土木工程系博士論文初稿。