

三維實景三角網模型製作規範之研究 -以虛擬中興新村為例

內政部國土測繪中心自行研究報告

中華民國 107 年 12 月

本報告內容及建議，純屬研究人員意見，不代表本機關意見

三維實景三角網模型製作規範之研究 -以虛擬中興新村為例

研究人員： 技正 林世賢
 技士 施錦揮
 課員 鍾文彥

內政部國土測繪中心自行研究報告

中華民國 107 年 12 月

本報告內容及建議，純屬研究人員意見，不代表本機關意見

MINISTRY OF THE INTERIOR
RESEARCH PROJECT REPORT

A Study of Specifications for 3D Mesh Models
-An Example of Virtual Chung Hsing New Village

BY

Lin,Shih-Hsien

Shih,Chin-Hui

Jung,Wen-Yen

December,2018

目次

目次.....	I
表次.....	III
圖次.....	IV
摘要.....	1
ABSTRACT.....	5
第一章 緒論.....	8
第一節 緣起與背景.....	8
第二節 研究動機及目的.....	11
第二章 研究方法與流程.....	13
第一節 研究方法.....	13
第二節 研究流程.....	14
第三章 文獻回顧.....	15
第一節 國內三維模型發展現況.....	15
第二節 國外三維模型發展現況.....	18
第三節 三維模型之應用.....	19
第四章 理論基礎.....	21
第一節 三維點雲數據.....	21
第二節 建築資訊模型.....	24
第三節 紋理影像.....	25
第四節 三維模型.....	27
第五節 三維模型資料標準.....	30
第五章 作業流程及研究內容.....	34
第一節 影像資料蒐集.....	35
第二節 控制測量.....	37
第三節 空載光達資料蒐集.....	39
第四節 室內光達資料蒐集.....	40

第五節 真實正射影像及數值地表模型製作	41
第六節 三維模型重建	43
第七節 三維地理資訊系統	44
第六章 作業成果展示及分析	46
第一節 幾何精度	46
第二節 數值地表模型	49
第三節 真實正射影像	50
第四節 三維實景三角網模型	53
第五節 光達資料建置三維模型	60
第六節 室內三維模型	63
第七節 三維資訊系統應用實例	67
第七章 三維實景三角網模型測製規範	75
第一節 作業原則說明	75
第二節 研擬三維實景三角網模型作業規範	81
第八章 結論與建議	83
第一節 結論	83
第二節 建議	85
參考文獻	86
附錄 1 實施航空測量攝影及遙感探測管理規則	89
附錄 2 民用航空法(遙控無人機規定)	91
附錄 3 無人駕駛航空器系統(UAS)在臺北飛航情報區之作業	94

表次

表 3-1 內政部歷年計畫發展項目清單	16
表 3-2 已建置三維圖資之城市	18
表 4-1 三角網模型與實體模型比較表	29
表 4-2 CityGML 定義之細緻度層級(LOD)	31
表 4-3 LOD0 至 LOD4 精度等級建議表(OGC, 2012).....	31
表 5-1 e-GNSS 作業規範	38
表 6-1 中興新村遙控無人機任務執行概況	46
表 6-2 檢核點坐標較差	47
表 6-3 拍攝時間與相片數	58
表 6-4 中興新村三維模型成本分析	59
表 6-5 Velodyne VPL-16 光達規格表	60
表 6-6 GeoSLAM ZEB-REVO 規格	63
表 6-7 虛擬中興新村可節省國有土地勘測時間	70
表 6-8 中興新村辦公廳舍使用情形屬性表	71

圖次

圖 2-1 研究流程圖	14
圖 3-1 三維近似化建物模型成果圖	17
圖 3-2 虛擬新加坡示意圖	20
圖 3-3 虛擬新加坡示意圖	20
圖 3-4 特殊路徑規劃示意圖	20
圖 3-5 太陽能板效能評估示意圖	20
圖 4-1 遙控無人機搭載光達掃描儀	21
圖 4-2 地面光達掃描儀	21
圖 4-3 本中心光達式車載移動測繪系統	22
圖 4-4 SfM 原理示意圖	23
圖 4-5 BIM 示意圖	24
圖 4-6 東京廟寺 3D 模型	25
圖 4-7 加拿大溫哥華 3D 模型	26
圖 4-8 混合式建物模型(東京)	26
圖 4-9 Mesh 概念示意圖	27
圖 4-10 純 DSM 網格面(左) 與貼敷真實影像紋理後的 DSM (右)	28
圖 4-11 CityGML 定義的 5 種 LOD(OGC, 2012)	31
圖 4-12 ArcGIS 平臺以 I3S 標準為核心示意圖	33
圖 5-1 三維模型重建流程圖	34
圖 5-2 中興新村井字型飛行航線規劃	35
圖 5-3 環型拍攝航拍規劃圖(紅色為拍攝路線)	36
圖 5-4 包覆環拍+地面拍攝示意圖	36
圖 5-5 漆航測標	37
圖 5-6 航測控制點形狀	37
圖 5-7 航測控制點分布規劃圖	38
圖 5-8 e-GNSS 外業測量	38
圖 5-9 光達點雲資料處理流程	39
圖 5-10 室內測繪示意圖	40
圖 5-11 空中三角平差示意圖	42

圖 5- 12 ContextCapture 三維模型重建流程圖	43
圖 5- 13 SkyLine 產品總覽.....	45
圖 5- 14 本研究案 3D GIS 架構圖	45
圖 6- 1 檢核點分布圖	47
圖 6- 2 中興新村數值地表模型.....	49
圖 6-3 一般正射影像.....	50
圖 6-4 真實正射影像.....	50
圖 6-5 中興新村全區真實正射影像	51
圖 6- 6 省政資料館真實正射影像	52
圖 6- 7 中興會堂真實正射影像.....	52
圖 6- 8 省政府真實正射影像	52
圖 6- 9 國史館真實正射影像	52
圖 6- 10 國史館真實正射影像	52
圖 6- 11 中科園區真實正射影像.....	52
圖 6-12 中興新村三維模型.....	53
圖 6-13 井字拍攝影像重建之三維模型(省政資料館).....	54
圖 6-14 補上環型拍攝重建之三維模型(省政資料館 1)	55
圖 6-15 環型拍攝重建之三維模型(省政資料館 2)	55
圖 6- 16 環型拍攝重建之三維模型(國史館)	55
圖 6- 17 環型拍攝重建之三維模型(經濟部中科園區).....	56
圖 6-18 包覆式環拍及地面拍攝重建之三維模型(省政資料館).....	56
圖 6-19 包覆式環拍及地面拍攝重建之三維模型(臺灣省政府).....	57
圖 6-20 包覆式環拍及地面拍攝重建之三維模型(中興會堂)	57
圖 6- 21 中興新村光達掃瞄點雲資料.....	60
圖 6- 22 光達點雲資料 (左) 與正射影像 (右) 比對	61
圖 6- 23 省政資料館正面(上)與光達點雲(下)比較圖	61
圖 6-24 省政資料館正面(上)與光達點雲(下)比較圖.....	61
圖 6-25 省政資料館 3D 模型圖	62
圖 6- 26 省政資料館內部(上)及點雲成果(下)	64
圖 6- 27 省政資料館內部(上)及點雲成果(下).....	64
圖 6- 28 省政資料館室內光達點雲	65

圖 6- 29 省政資料館室內光達點雲(以顏色顯示高程).....	65
圖 6- 30 省政資料館模型疊合室外光達點雲 (左)及室內光達點雲 (左)	66
圖 6- 31 省政資料館室內模型	66
圖 6- 32 現場使用現況圖.....	68
圖 6- 33 現場勘查照片	69
圖 6- 34 國土財產清查與盤點屬性資料	71
圖 6- 35 量測高度	72
圖 6- 36 量測面積	72
圖 6- 37 套疊臺灣通用電子地圖	72
圖 6- 38 套疊地籍圖	72
圖 6- 39 剖面地形圖.....	73
圖 6- 40 新增建物	74
圖 6- 41 日照陰影分析	74
圖 6- 42 飛行模擬示意圖	74

摘要

關鍵字:三維實景三角網模型、無人機

一、研究背景與目的

重建三維模型最普遍的方法是利用既有地形圖資，萃取建物樓高及位置等資訊，並輔以 DEM 及 DSM 資料，屋頂以正射影像進行數貼，牆面以事先建立紋理材質影像自動化數貼，完成三維近似化建物模型，這樣的成果受限於該地區既有地形圖資之時效性，無法建置最新的三維模型，另該方式存在一個平面位置僅可記錄一個高程點，對於立體交叉道路或複雜建物，其細緻度仍嫌不足。

三維實景三角網模型(3D Mesh Model)建模技術是藉由取得三維點雲數據(例如垂直影像或傾斜影像、光達點雲)，自動產製細緻度高、具有真實地物表面的三維模型，模型不僅量測精度高，還可以帶給人們身歷其境的感受，是現實世界的真實還原，可當作政府與民眾一個良好的溝通媒介。遙控無人機(Unmanned Aircraft System ,UAS)具有高機動、高效率、低成本的特性，搭配傾斜攝影技術，可取得地物垂直影像及傾斜影像，已成為目前三維實景三角網模型的新利器。

本研究案是藉由蒐集遙控無人機拍攝中興新村多視角影像，透過密匹配技術，自動化重建中興新村三維實景三角網模型，並將這個三維模型，用於輔助中興新村未來規劃及活化策略參考，並藉由本研究案的執行經驗，提出三維實景三角網模型的作業規範，提供相關機關推動參考，以滿足未來智慧城市及物聯網發展應用需求。

二、研究方法與過程

(一) 蒐集國內外三維模型發展歷程、方向，以及主要應用領域，並針對國際上一些已建置三維模型的國家案例，做為本研究案建置三維模型參考。

- (二)蒐集遙控無人機拍攝中興新村垂直及傾斜影像，透過影像密匹配技術，產製高密度數值地表模型、真實正射影像及三維真實三角網模型。
- (三)蒐集遙控無人機搭載光達掃描中興新村(省政資料館)之光達點雲資料，並製作三維建物模型。
- (四)以手持式光達掃描儀試辦掃描中興新村省政資料館內部，並藉由蒐集之室內點雲資料，製作該建物室內三維模型。
- (五)綜合彙整測試區成果，進行相關分析及驗證，評估後續各項應用工作之效益與可行性，並研提出三維實三角網模型之測製規範。

三、重要發現

- (一)由本研究發現，利用遙控無人機機動性高、可於雲下作業的特性，搭載高解析度相機取得中興新村影像，航拍高度約 230 公尺，平均地面解析度約 3 公分，布設地面控制點 37 點，經空中三角平差計算後，17 個檢核點之平面坐標平均較差為 3.3 公分，較差均方根值為 3.6 公分，高程平均較差為 9.0 公分，高程較差均方根植為 16.2 公分，平面精度優於高程精度，且均優於一千分之一地形圖之精度要求。利用多視角影像，搭配密匹配處理，除可獲得三維實景三角網模型外，亦可一併產製高密度數值地表模型、真實正射影像，是一種自動化程度高、效率高、精度高的三維實景三角網模型建模方法。
- (二)傳統的國有財產勘查係以勘查人員親自到每一筆土地到現場勘查，以本案中興新村國有房地勘查為例，中興新村面積約 260 公頃，國有房地範圍內計有 1 千多筆國有房舍及土地須勘查，使用遙控無人機航拍所需要工作天數約 17 天(外業天數約 4 天，內業處理約 10 天，如有未拍攝到地區需外業調繪 3 天)，相較於 4 位勘查人員(每人每天勘查 7 筆)，需花費 38 天，可節省近 52% 外業調查時間。因此，使用遙控無人機航拍影像進行製圖，

進行預處理輔助外業勘查工作，可有效減少外業勘查工作量，並可將相關成果運用於中興新村活化業務。

四、主要建議事項

根據本研究成果提出下列具體建議，分成立即可行之建議與長期性之建議兩部分：

立即可行之建議：訂定三維實景三角網模型格式，加速完成全國三維圖資建置

主辦機關：內政部國土測繪中心

隨著遙控無人機與影像密匹配軟體的普及，使得自動快速建立三維模型的門檻降低，不只在測繪領域，亦有其他行業利用這個方法快速建置實景三維模型。目前中央並未有相關的規範，本研究將根據本案執行經驗及參考國內外相關作法，研提建置三維實景三角網模型之作業規格，可作為未來推廣及規劃之參考，也可以使其他單位辦理三維模型重建作業有所依循，各單位的格式統一後，不同單位建置的成果也可彙整在一起，加速完成全國三維模型之建置。

遙控無人機搭配傾斜攝影可快速、自動化產製三維實景三角網模型成果，本研究案所產製模型可真實展示中興新村，但因中興新村綠樹成蔭的街道和密集的建築環境限制空中可見的視野，建物側面紋理和附屬建物易受遮蔽，使得部分建物模型有扭曲、破損情形，建議後續可搭配地面移動測繪系統搭載全景相機及光達設備，用以萃取天然及人工特徵物，輔助三維模型建置；另因三維角網模型缺乏建物的屬性，建議後續可從三角網中萃取出向量模型，並建置屬性，實現三角網與向量的混合模型，增加後續應用的可行性與價值。

長期性之建議：發展室內及地下三維模型技術，建構無縫三維模型

主辦機關：內政部國土測繪中心

在推動智慧國土之數位建設過程中，結合地下、室內、室外無接縫三維地圖預期將成為地圖的發展趨勢，建議應加速三維圖資產製、成果更新維護及共通性服務功能擴充，滿足各界應用需求，以促進數位國家創新經濟發展方案之智慧城鄉及民生物聯網等多元增值應用，並達成跨部門、跨領域、跨地域之協同合作，創造地理空間資訊在政府施政應用的無限可能，更進一步達到智慧城市之目標。

在災難發生當下，三維模型可提供現場人員從各種角度判斷災害狀況，並可在三維模型上面量測建物高度、崩塌面積及體積等資訊，幫助決策者更快速且精確的進行決策；另由 103 年高雄氣爆及 107 年桃園工廠火災發現，國內尚缺乏室內三維地圖、部分地下三維管線與實際位置有差異等問題，建議訂定適合國內之三維資料標準、圖資流通及服務應用共同規範，並將國家三維圖資納入室內三維地圖及地下三維管線，並隨時維護圖資正確性，以確保災害防救業務可以安心使用。

ABSTRACT

Keywords: 3D Mesh models 、 UAS

The most common way to reconstruct 3D model is to use existing topographic maps. Although it can be assisted by DEM, DSM data, roof orthophoto, wall texture material image. However, there are still many restrictions on the actual operation, such as the inability to build the latest 3D model in real time. In addition, there is only one elevation point in the plane position. For the 3D intersection road or complex construction, the detail is still insufficient.

The 3D Mesh Model technology automatically produces 3D model with high detail and real object surface by 3D point cloud data. The 3D model not only has high accuracy, but also makes people feel immersive. It can be a good tool for government promotion. The Unmanned Aircraft System (UAS) is high mobility, high efficiency, low cost to get Aerial images that is good method for building 3D model quickly.

The core objectives of this research include:

- (1)Collecting and analyzing the cases about 3D model at home and abroad.
- (2)Obtaining vertical and oblique images of Zhongxing New Village by UAS, and producing high-density DSM, true orthophoto and real texture 3D mesh model by image dense matching technology.
- (3) Using UAV LiDAR to obtain point cloud data of Zhongxing New Village to build a 3D building model.
- (4)Collecting interior point cloud data of the Taiwan Provincial Administration Information Hall with a handheld light scanner to build an interior 3D model.

(5) Analyze and verify the results of test area to assess benefits and feasibility about the application work in the future.

Important conclusions :

(1) We use the UAS is equipped with a high-resolution camera, to obtain multi-view images above 330 meters of Zhongxing New Village. The GSD (ground resolution distance) is about 3 cm. The 37 ground control points are set there. After calculation 17 checkpoints by aerotriangulation adjustment, the average horizontal position errors are 3.3 cm, RMSE is 1.5 cm, the average elevation position errors and the medium errors are 9 cm, RMSE is 13.9 cm. It's better than large-scale (1/1000) topographic map. Make 3D building mesh models by those images quickly. The real texture taken by cameras is more realistic than the virtual texture. However, Zhongxing New Village is a garden city with many trees, and the texture of building sometime are covered by trees.

(2) By LiDAR scanning, obtain a good quality height of the object position. However, there is currently no technology that cannot automatically extract structural lines of object.

Suggestions :

(1) Formulate the 3D Mesh model standard, and accelerate build a national 3D map.

With the popularity of UAV and image dense matching software, building 3D models is more automatic and faster. There are more and more 3D applications, but no relevant specifications

It is recommended to formulate a 3D Mesh model standard, and the common rules for sharing and service.

(2) Develop indoor and underground 3D model technology to construct a seamless 3D model.

Combining underground, indoor and outdoor seamless 3D maps is expected to become a development trend for mapping. It is recommended to accelerate the development of 3D maps, for service the general public.

In the event of a disaster, the 3D model can provide many space information for relief workers. It is recommended to formulate a 3D data standard, and the common rules for sharing and service.

第一章 緒論

第一節 緣起與背景

一、緣起

虛擬新加坡(Virtual Singapore)是新加坡智慧國家計畫(Smart Nation)的一部分，由新加坡土地管理局(Singapore Land Authority, SLA)自93年起開始推動的計畫，目的建立新加坡全國高解析度的3維模型。新加坡的面積約718平方公里，目前人口約550萬，預計109年將增加10%至600萬，新加坡政府為確保居民的生活品質可得到改善，而且在未來也得到相同的品質，積極啟動智慧國家計畫，在該計畫中，三維地理空間技術主要是輔助新加坡政府在有限空間中將土地資源做最大限度的使用(Nicholas, B. and D. Kruiemel, 2018)。

中興新村坐落於南投縣南投市，45年至87年期間為臺灣省政府所在地，具有行政特殊地位，也是全臺第一個有汙、雨水分流下水道的社區，尤其車輛迴轉的囊底路與花園城市的街道設計，又具備了臺灣城市規劃歷史上典範的特殊空間價值。但87年精省以後，公務機關逐漸撤出；88年921地震，區內建物損毀比率幾達百分之十，歷經精省和921大地震兩次衝擊，中興新村發展也隨之停滯。政黨多次輪替，也曾經就中興新村的土地規劃及發展定位提出多項措施，但政策不連續且績效有限。國家發展委員會於107年7月20日新成立「中興新村活化專案辦公室」，專案辦公室下設三個組，分別是廳舍調配組、宿舍運用組及公共設施維運組，希望透過相關部會跨域合作，再現中興新村繁榮新風貌。

新加坡利用3D科技來規劃與管理未來數十年的城市，是全球最具有前瞻性遠景的國家之一。臺灣面積3萬6,000餘平方公里，是新加坡的50倍大，隨著人口的增加，逐漸也會面臨新加坡同樣的挑戰。本研究以中興新村為測試區，藉由遙控無人機搭載高解析度相機拍攝中興新村，獲得多視角的影像，再利用密匹配技術，製作中興新村三維實景三角網模型，導入3D GIS平台展示，進而提出我國推動三維地理資訊發展之建議策略，做為相關政府機關推動發展參

考，也期待藉由三維模型可以輔助中興新村活化，建構一個政府、居民、產業三者共榮的平臺。

二、背景現況

(一)建置三維圖資為國際趨勢

因應全球都市人口快速增長，智慧城市是全球發展趨勢之一 (Smart City Expo, 2014)。就複雜的城市運作而言，完整且優質的資訊，配合高效率視覺化環境，將對決策者提供最佳支援。由於都市的使用者對基礎設備及其提供的服務需求日趨急迫，國際間許多政府、組織、和企業均投入資源於智慧城市的發展，隨著新一代資通技術 (Information and Communication Technologies, ICT) 的發展與啟用，智慧城市亦將會是國家發展政策的主軸之一。

103 年高雄氣爆發現既有地下管線圖資和實際位置不同；107 年桃園工廠火災因缺乏室內配置設備圖，致逃生受阻。在災難發生當下，一份最新、最正確的三維圖資，可以提供現場人員從各種角度觀看災難現場，判斷災害狀況，三維模型上面可以作量測，例如量測出大樓高度、崩塌面積及體積，幫助決策者作出如何搜救的最佳判斷。

三維空間資訊是建置智慧城市不可或缺的重要基礎元素，為了提升都市規劃、設計、建設、及經營管理之效能，有必要於電腦系統中建置城市的基礎空間資訊。據此，一個重要決策之前，可進行模擬並檢視其成效，再進行決策。為提升智慧城市的應用領域，建置高細緻度的空間資訊模型是一項必要的工作 (內政部，106)。

(二)建置三維圖資缺乏自動、快速、經濟的工具

建置三維圖資最普遍的方法是利用既有地形圖資，萃取建物樓高及位置等資訊，並輔以 DEM 及 DSM 資料，屋頂以正射影像進行數貼，牆面以事先建立紋理材質影像自動化數貼，完成三維近似化建物模型，這樣的成果受限於該地區既有地形圖資之時

效性，無法建置最新的三維模型，另該方式存在一個平面位置僅可記錄一個高程點，細緻度仍有不足(如圖 1-1 左圖 2.5D 圖示)，如須忠實完整記錄複雜的人工建築物、立體高架道路(如圖 1-1 右圖 3D 圖示、圖 1-2)，可以航空攝影測量取得多視角影像，搭配蜜匹配方式建置三維實景三角網模型，但是，此種方法需耗費大量時間及經費，緩不濟急。



圖 1-1 2.5D 與 3D 之差異

圖片來源：迅聯光電有限公司網站



圖 1-2 複雜的 3D 道路

遙控無人機(Unmanned Aircraft System ,UAS)具有高機動、高效率、低成本的特性，搭配傾斜攝影技術，可以取得建物垂直攝影及傾斜攝影影像，已成為目前三維實景三角網模型建模的新利器。不過，該方式需要龐大人力、財力及時間，如何在模型品質、建置效率與成本間取得折衷策略，以作為後續推動大規模三維模型之參考，是現階段必要的課題與工作。

第二節 研究動機及目的

一、研究動機

依據「國家發展委員會第 54 次委員會議」及「中央災害防救會報第 38 次會議」共識與國家發展委員會「國土資訊系統優先推動事項(107-109 年)」確認，「通用電子地圖」定位為「國家底圖」，由內政部負責維護及供應，並將既有二維(2D)國家底圖升級為三維(3D)，訂定相關標準及提供共通性服務。為統一建置三維 國家底圖及發布符合國際標準服務，滿足各界對國家底圖應用需求，內政部國土測繪中心(以下簡稱本中心)為國家底圖維護與供應機關，應廣泛了解並蒐集各種三維模型建置方式、所需成本及優缺點，俾利後續訂定相關標準及測製規範。

中興新村在經歷精省和 921 大地震兩次衝擊，中興新村發展也隨之停滯。行政院國家發展委員會為活化中興新村，於 106 年度成立「中興新村國有財產清查與盤點工作小組」，本中心亦為工作小組成員之一，負責工作為中興新村航拍與三維模型製作，希望藉由三維模型的製作經驗及應用情形研擬測製規範，供後續各項實際建置作業之參據。

二、研究目的

(一)研提三維實景三角網模型製作規範

三維模型的建置方式可分為三維三角網模型(3D Mesh model)及三維實體模型(3D Solid Model)兩種方式，本中心前於 105 年度試辦三維實體模型重建作業，試辦成效良好；另為了解三維三角網模型重建所需時間、費用與成本、適用範疇及發展潛力，本研究藉由遙控無人機(UAS)取得中興新村多視角之相片，以自動化方式重建中興新村三維實景三角網模型之執行經驗，並研提三維實景三角網模型製作規範，以作為未來推廣三維模型及規劃之參考。

(二) 評估運用於國有財產清查與盤點之可行性

本中心為行政院國家發展委員會「中興新村國有財產清查與盤點工作小組」成員之一，本研究藉由重建中興新村之三維模型，並分析將其運用於中興新村國有財產業務清查與盤點業務之可行性，研提相關運用策略，期待藉由該三維模型可輔助中興新村活化，並滿足未來智慧城市、物聯網發展應用所需基礎圖資。

第二章 研究方法與流程

第一節 研究方法

一、國內外文獻蒐集

蒐集國內外三維模型發展歷程、方向，以及主要應用領域，並針對國際上一些已建置三維模型的國家案例，做為本研究案建置三維模型參考。

二、測試區資料蒐集

本研究的選定測試區域為中興新村，中興新村坐落南投縣南投市，是個南北狹長，面積約260公頃的區域，藉由蒐集遙控無人機，取得測區範圍之多視角影像、室外光達、室內手持式光達資料，重建測試區之三維模型，並針對測試區內3棟建物辦理精緻建模。

三、成果分析

本研究的成果包括測試區之三維實景模型、真實正射影像、數值地表模型等，綜合彙整測試區成果，進行相關探討分析與驗證，評估後續三維模型各項應用之效益及可行性。

四、測製規範研擬

根據本案執行經驗及參考國內外相關作法，研提建置三維實景三角網模型之測製作業規範(草案)，供後續作業參考

五、研究報告撰寫

依內政部推動自行研究發展獎勵作業規定格式，辦理本研究報告書之撰寫製作工作。

第二節 研究流程

本自行研究流程主要分為國內外文獻蒐集、測試區資料蒐集、成果分析、測製規範研擬及撰寫研究報告等5個部分，其流程圖如圖 2-1。



圖 2-1 研究流程圖

第三章 文獻回顧

第一節 國內三維模型發展現況

一、行政院國家發展委員會定位將國家底圖由 2D 升級為 3D

過去國家重要基礎圖資礙於電腦設備與三維資料處理及展示技術限制，難以針對建物進行精緻化建模或僅能將三維地形測製結果以二維平面的方式來展現，導致三維地圖的建置及相關應用不足，然地形及建物皆具有三維空間性質，二維方式往往無法呈現出如建物或道路立體交叉的真實三維空間原貌。現階段則因電腦軟硬體設備及運算效能顯著提升，加上近年運動回復結構(Structure-from-Motion, SfM)及影像密匹配(Dense Matching)技術成熟，利用空中垂直及傾斜航拍與地面側拍影像資料，搭配軟體自動化建構三維城市模型正快速發展之中，惟現行以移動測繪資料建置三維模型，仍非常繁複、費時及耗工，故須透過精進處理模式，提升產製效能，滿足智慧城市及物聯網發展應用需求。

三維空間資訊所產生的三維模型，與過去平面的二維圖資相比，更能貼近實體，透過視覺化的三維空間平臺，使用者能更直覺找到所需資訊。目前國家二維圖資多元且持續擴增，但三維資料相對不全，對於國土規劃及防救災所需之三維建物資訊更是缺乏。縱使部分地區已建置小範圍三維建物模型，但無全臺成果，在整體應用上仍相當困難。三維建物模型雖可以二維地形圖之建物區塊位置及樓高基礎去建置，但二維地形圖之內涵仍需予以補強，如五千分之一地形圖雖有全臺成果，卻僅具有建物區塊位置，無樓高資訊；一千分之一地形圖雖具備建置三維建物模型所需資訊，但僅都會區有成果。此外，除基礎資料取得不易外，目前產製作業需耗費較多人力及成本，故須研發高效率且自動化之產製流程，以完備全臺成果。

行政院國家發展委員會「落實智慧國土-國家地理資訊系統發展政策」，致力提升地理空間資料的內容及品質，強化國家地理資訊系統感知、分析及回應處理問題之智慧化能力，爰於「數位國家創新經濟發展方案(2017-2025年)」納入國家底圖建置規劃，嗣依據

「國家發展委員會第 54 次委員會會議」及「中央災害防救會報第 38 次會議」共識與國家發展委員會「國土資訊系統優先推動事項(107-109 年)」確認，「臺灣通用電子地圖」定位為「國家底圖」，由內政部負責維護及供應，並將既有 2D 國家底圖升級為 3D、訂定相關標準及提供共通性服務。

二、內政部空間測繪應用研究發展計畫

內政部過去數年亦著重三維地形、房屋、道路模型建置、轉換、更新與應用，歷年發展項目如表 3-1(內政部，2010-2017)。

表 3-1 內政部歷年計畫發展項目清單

年度	發展項目
100	1、建置三維地形、房屋、道路模型及其屬性 2、三維房屋模型精度驗證分析 3、工時及成本分析
101 102	1、發展三維房屋模型變遷偵測及更新技術 2、三維房屋模型更新效益分析 3、提出三維房屋模型更新標準作業程序與手冊 4、發展多尺度道路模型建置技術。 5、提升三維房屋及道路模型建置技術自動化程度及開發人機介面
103 104	1、發展建築等級模型與 OGC 三維房屋模型之轉換技術及驗證分析 2、發展近景攝影測量建置室內模型技術 3、發展室內定位技術
105	1、分析三維地形圖資技術發展與應用需求 2、發展三維地形基礎圖資技術、發展三維地籍圖資技術 4、發展三維圖資災害管理應用技術
106	1、三維地形圖資測製規範與應用需求評估 2、發展三維地形基礎圖資測製技術 3、三維地形圖資與物聯網之整合及應用

三、本中心三維近似化建物模型試辦計畫

為擴大測繪資料應用層面及推廣 3D GIS，本中心於 105 年度時試辦三維近似化建物模型，利用既有圖資，以自動化方式萃建物樓高，都市計畫區利用一千分之一地形圖取得各棟建物樓高及位置等資訊；非都市計畫區以臺灣通用電子地圖建物圖層取得建物位置資料，並輔以 DEM 及 DSM 資料，以自動化的方式，萃取出樓高資訊，產製三維建物模型，屋頂以正射影像進行敷貼，修正影像之傾斜位移，牆面以事先建立紋理材質影像自動化敷貼，完成三維近似化建物模型。

該計畫辦理範圍內包含「都市計畫區」及「非都市計畫區」，作業範圍挑選數幅圖幅分別位於臺中市及彰化縣。臺中市作業範圍，共計 9 幅一千分之一圖幅範圍；彰化縣作業範圍分布於 36 幅五千分之一圖幅。全案計產製出都市計畫區計約 12 萬棟建物三維近似化模型、非都市計畫區約 4 萬棟建物三維近似化建物模型，如圖 3-1。

從成果來看，有別於精緻建模需要龐大人力、財力及時間，本試辦計畫提出相對快速且經濟之方式，在模型品質、建置效率與成本間取折衷策略，成果及方法可作為後續推動大規模三維數位城市建置之參考，期使全臺具有整體三維城市景觀視覺，並利爾後進一步發展三維 GIS 加值應用。(內政部國土測繪中心，2016)

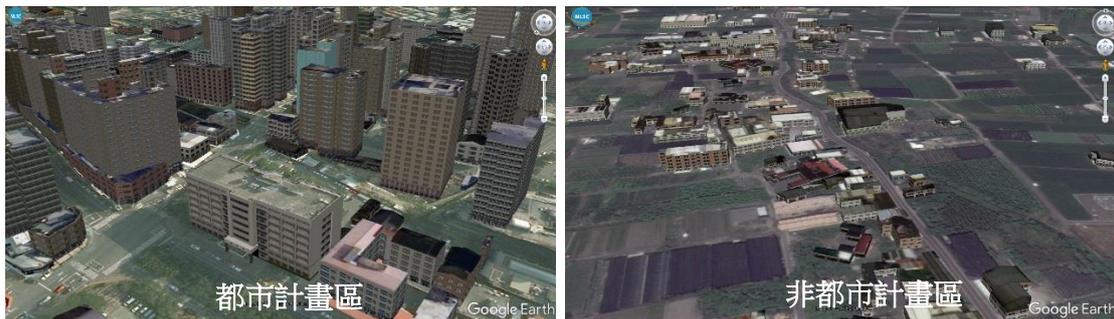


圖 3-1 三維近似化建物模型成果圖

第二節 國外三維模型發展現況

從國家空間資訊基礎建設的觀點出發，三維圖資將會是未來智慧城市建置與應用的基礎，國際上與此領域相關的國際組織，例如 FIG (Federation Internationale des Geometres)及 OGC (Open Geospatial Consortium)等，也積極的推動此一方面的發展與應用，並提出許多規範、標準與其他相關文件。根據 OGC 網站上的統計，目前有 9 個國家 25 個城市已建置三維模型資料，如表 3-2。

表 3-2 已建置三維圖資之城市

Country	CityGML datasets	Not in CityGML
Austria	Linz、Vienna	Adelaide、Greater Geelong
Belgium	Brussels	-
Canada	Montréal	Fredericton、Toronto、Vancouver
Finland	Helsinki	-
France	Lyon	-
Germany	Berlin、Dresden、Hamburg、North Rhine-Westphalia (state) Thuringia (state)	-
Netherlands	Dutch cities、Rotterdam、The Hague	-
United States	New York City (by TUM)、New York City by DoITT	Austin、Boston、Philadelphia、San Francisco
United Kingdom		Cambridge

第三節 三維模型之應用

虛擬新加坡 (Virtual Singapore) 是一個動態的三維城市模型和資料協作平台，由新加坡國立研究基金會 (National Research Foundation, NRF) 主導，並由新加坡土地管理局和科技技術管理局 (Government Technology Agency, GovTech) 負責研發和推動，歷經 5 年的時間，至少耗資 7,300 萬美元。新加坡政府希望通過這一平臺，結合各方資料，輔助政策規劃，促進政府、企業、研究機構、社區、居民的合作，解決新加坡能源問題及日益複雜的挑戰，攜手提升生活品質，推動智慧國家 (Smart Nation) 的願景 (NRF, 2018)。虛擬新加坡的功能可分成 4 項，說明如下：

一、虛擬實驗 (Virtual Experimentation)

虛擬新加坡可用於虛擬實驗。例如，檢查 3G/4G 網路信號的覆蓋範圍，提供覆蓋率差之區域的實際樣貌，並於三維城市模型中標示 3G/4G 需改善的區域。

二、虛擬測試平臺 (Virtual Test-Bedding)

虛擬新加坡可用作測試平台，以驗證所提供服務可行性。例如，在緊急狀況下，可利用虛擬新加坡內具有語意信息的新體育運動中心的三維模型，模擬人群分散情形，並建立疏散程序。

三、規劃和決策 (Planning and Decision-Making)

憑藉豐富的數據環境，虛擬新加坡是一個開發分析應用程式 (APP) 的平臺。例如，可以開發分析交通運輸流量和行人運動模式程式，此類應用在非連續的城市路網中非常有用。

四、研究與開發 (Research and Development)

虛擬新加坡中豐富的資料，可提供研究團體必要存取權限，允許研究人員開發新技術或新功能，另外具有語意信息的三維城市模型也可提供研究人員開發先進的三維工具。



圖 3-2 虛擬新加坡示意圖



圖 3-3 虛擬新加坡示意圖



圖 3-4 特殊路徑規劃示意圖

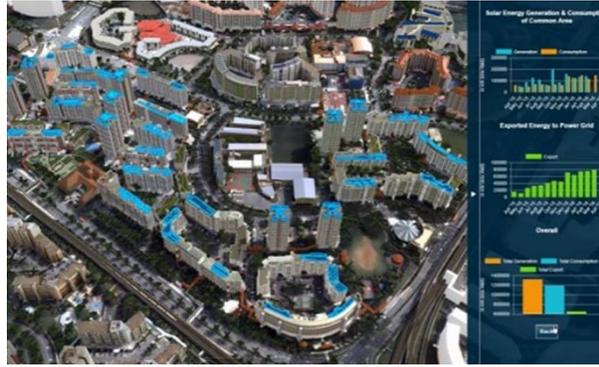


圖 3-5 太陽能板效能評估示意圖

第四章 理論基礎

第一節 三維點雲數據

一、光達點雲

雷射掃描儀，又稱光達(Light Detection And Ranging ,Lidar)，光達系統技術原理為利用近紅外光之脈衝雷射進行掃瞄，紀錄脈衝雷射之發射角度及接收時間差與回波，搭配載具上之 GNSS(Global Navigation Satellite System)及 IMU(Inertial Measurement Unit)，以動態定位方式獲取掃瞄點之三維坐標，加上其多重反射回波特性的，可同時獲取地表及其地上物之資料。

光達技術可於短時間內獲取地表面大量高精度且高密度點雲(Point cloud)資料，利於三維模型製作。使用光達點雲，物空間位置不需要透過匹配得到，具有準確及快速性的優點，但是其資料密度與成本相關，且須先點選控制點套合光達點雲及影像(Matikainen et al, 2004)。

光達的載具基本上可分為空載、車載、地面等三類，按不同使用目的、範圍，精度要求可使用不同之光達設備，如圖4-1、圖4-2、圖4-3。



圖 4-1 遙控無人機搭載光達掃描儀
圖片來源:迅聯光電有限公司網站



圖 4-2 地面光達掃描儀
圖片來源:迅聯光電有限公司
網站



圖 4-3 本中心光達式車載移動測繪系統

二、影像密匹配

影像匹配(image matching)之目的是利用相似性關係找出兩張或多張影像共軛點的位置，密匹配(dense matching)即逐像元匹配(pixelwise matching)，匹配整張影像的每一個像元，為了提升可靠度，採多張重疊影像的同名攝影光線(multi-ray)匹配(前後重疊80%、側向60%)得到高密度點雲(蔡展榮，2017)。

影像密匹配得到的點雲比光達點雲更加綿密，更有利於產製高精度高解析力的數值地形模型、正射影像、城市建模等各式應用，不過使用影像交會出的三維點雲，需透過影像匹配建立多影像間的物像關係，獲得影像間的共軛點及三維點雲，其中需要花費搜尋時間，及需考慮匹配成果的除錯，不如光達點雲的即時確切。

現行以立體影像建置DSM的策略可分為兩大類：第一類採用特徵式匹配，第二類是逐點式密匹配。特徵式匹配先偵測特徵點，再鎖定特徵點匹配及前方交會獲取三維坐標，最後以內插方法建立網格式DSM；逐點式密匹配則是針對立體影像中的每一個像元進行匹配，將每一個像元都視為特徵點，獲取每一像元的視差，再進行前方交會獲取密集之三維點雲，最後以內插方法建立網格式DSM。比較兩種策略，特徵式匹配策略受點雲內插的影響較大，而逐點式密

匹配的內插影響較小，但運算量較大(張智安，2017)。

影像匹配為數值攝影測量邁向自動化過程中重要的發展，其目的為自動化尋找立體像對中之共軛像點，取代以人工立體量測獲取三維資訊。一般而言，匹配方式可分為區域匹配和特徵匹配，區域匹配使用影像局部區塊像元灰度值，比較待匹配影像間之相關性；特徵匹配則為影像中萃取灰度值變化明銳之特徵，依特徵間之幾何關係，搜尋對應特徵。多重影像匹配為基於區域匹配之匹配方式。

SfM (Structure from Motion, SfM) structure代表「3D point cloud of the scene」，motion代表「camera location and orientation」，SfM的直觀解釋即「get the point cloud from moving cameras」，核心思想為通過特徵匹配獲取多視圖影像之間的同名點，其原理係透過分析相機姿態與拍攝影像，計算出相機拍攝時的移動軌跡、相機內方位參數、稀疏三維點雲基礎矩陣等資訊，並透過前開資訊重構出三維場景中目標物件或場景。SfM的計算原理如圖4-4所示，相機在不同位置拍攝多張具有重疊影像，根據兩相鄰影像A、B中三角椎的紅色頂點坐標，用交會原理推算實際三角椎的紅色頂點坐標，並建立三角點位的對應關係。(趙智凡，2016)

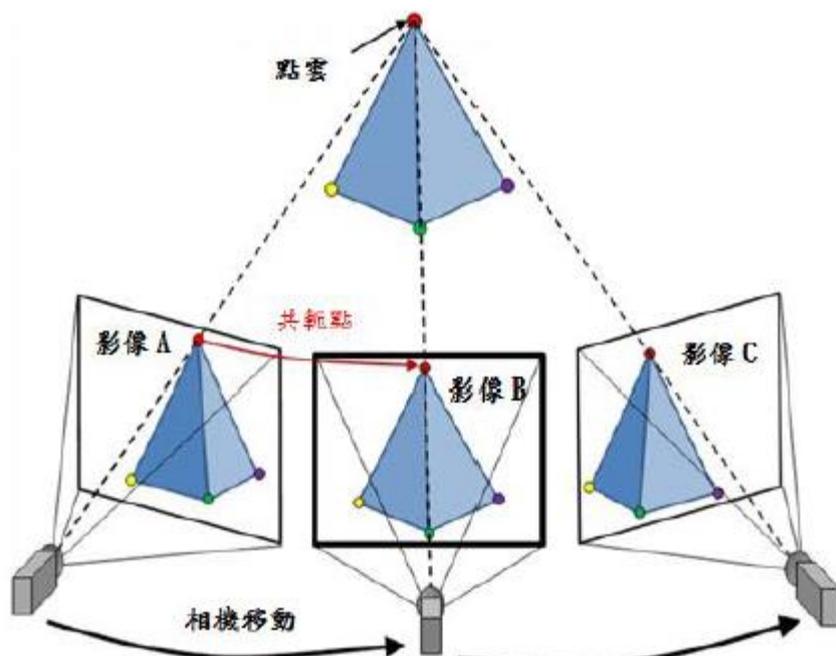


圖 4- 4 SfM 原理示意圖

第二節 建築資訊模型

建築資訊模型 (Building Information Model, BIM) 內容包含建築物的三維幾何及屬性資訊，具有高細緻度及富含語意資訊的特性；從製圖的角度出發，以建物資訊模型產製的三維城市模型可提升模型建置的效能，並可提升細緻度。其優勢為兼顧大量以三維外型為主的都市等級的建物、及地標等級的精細建築模型，並可串聯現有三維空間資料及細緻模型提供更多元的空間資訊服務，對國家空間資訊技術升級及產業發展可帶來顯著的貢獻及影響(內政部,103)。

IFC(Industry Foundation Classes)及 CityGML 分別為 BIM 及 GIS 之開放標準，同樣作為開放標準，IFC 與 CityGML 同樣具備對於建築物之表述。由於 BIM/IFC 與 GIS/CityGML 同樣以全三維、物件方式描述，並同為幾何與屬性的載體，可將 IFC 之幾何與屬性轉換至 CityGML。



圖 4- 5 BIM 示意圖

圖片來源：<https://area-info.net/building-information-modeling-market-2016-2023-outlook-research-report/>

第三節 紋理影像

三維建物模型依據敷貼的紋理影像的類型可區分為通用式(Generic Model)、像真式(Photo-texture Model)以及混合模式(Hybrid Model)建物模型。

一、通用式建物模型

通用式建物模型是對建物模型之側面牆壁、屋頂等外觀表面敷貼虛擬紋理影像，即以材質圖庫中的圖形紋理貼敷模型各表面，建立建物外觀。雖材質圖庫的紋理樣式繁多，純具幾何外型的建物模型敷貼虛擬紋理後具有豐富的視覺效果，但通用式建物模型與真實世界實物間有段差距，建物視覺化的效果有限。

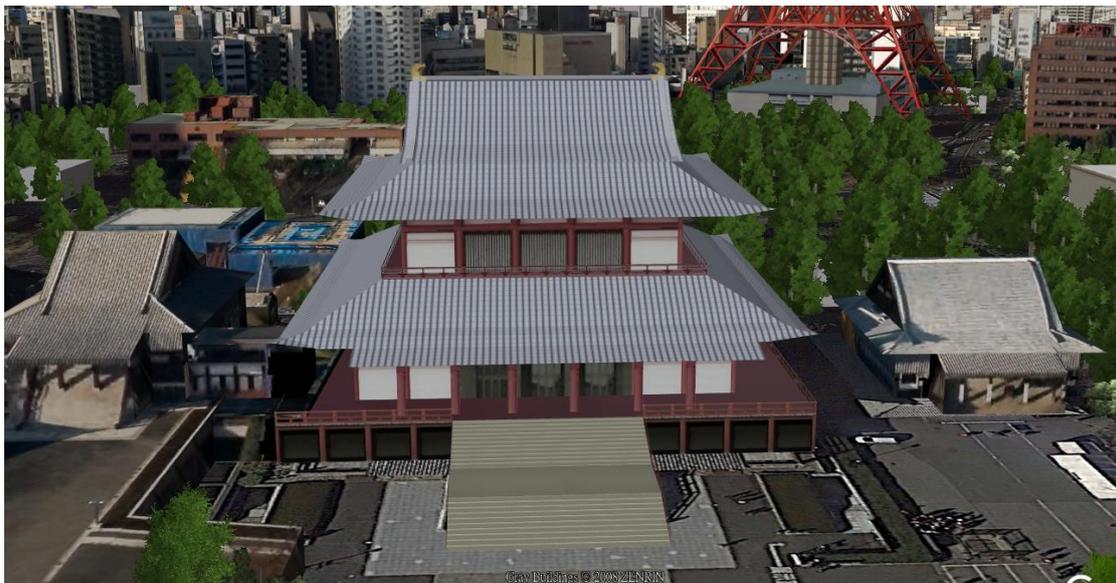


圖 4- 6 東京廟寺 3D 模型

圖片來源:Google Earth

二、像真式建物模型

像真式建物模型是將建物之真實立面影像敷貼於建物各牆面及屋頂面，具有直觀且與實際建物相同外形與紋理之三維建物模型。由於仿真建物模型鑲嵌真實影像資訊，與真實建物間具有高度的真實性，有利於視覺化的展示及查詢。



圖 4-7 加拿大溫哥華 3D 模型

圖片來源:Google Earth

三、混合式建物模型

混合式建物模型整合通用式建物模型與像真式建物模型的特色，在城市區域尺度內的一般建物以通用模式建置，重要地標或建物以真實紋理像真式模型重建。此類建模方式不僅有效控制立體建物資料量，降低資料龐大造成電腦重繪速率的問題，除此之外，多數建物模型以材質圖庫紋理鑲嵌，資料取得的成本相較於全區皆為像真式模式建物模型低。混合式建物模型可依據需求調整建物模型的複雜程度，在不浪費建置時間與人力成本的前提下，滿足不同應用領域下三維建物模型美觀及視覺化的效果。

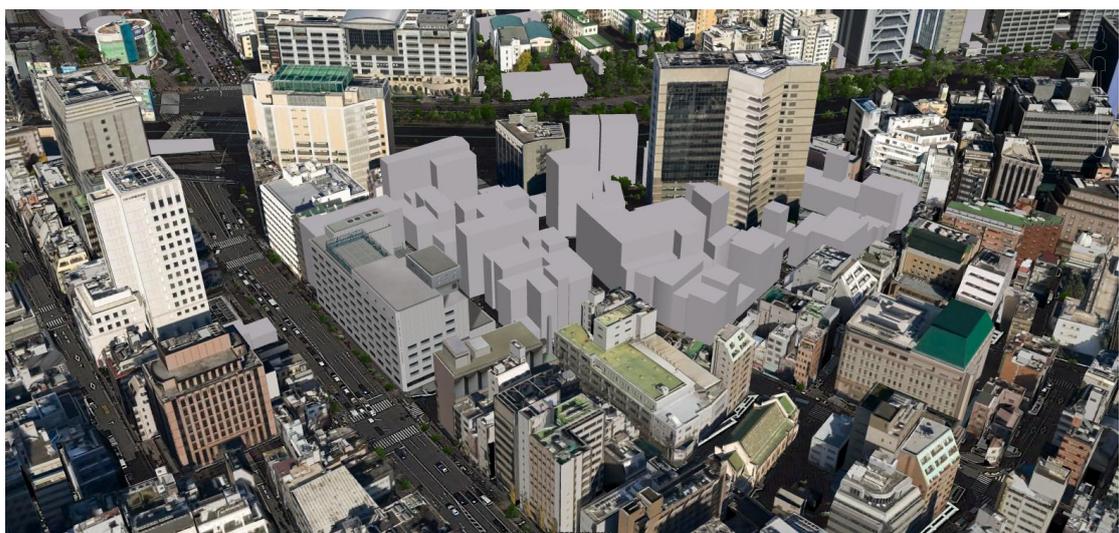


圖 4-8 混合式建物模型(東京)

圖片來源:Google Earth

第四節 三維模型

三維模型(3D Model)按組成元素的不同可分為三維三角網模型(3D Mesh Model)及三維實體模型(3D Solid Model)兩種，相關內容說明如後。

一、三維三角網模型

Mesh model為頂點與多邊形的集合，通常由三角形、四邊形或凹凸多邊形構成，組成Mesh model的基本物件為點、線、面，將兩個頂點(vertices)連起來的直線稱為邊(edge)， n 個頂點與 n 個邊組合而成的多邊形則稱為面(faces)，最後再由多個面組合成模型(model)。由於三角形是幾何模型中最簡單的多邊形，並且能快速地透過電腦計算出鄰近的邊與面，因此許多3D Mesh model的內容描述多由三角形組合而成，以提升計算、展示效能。(內政部，2018)

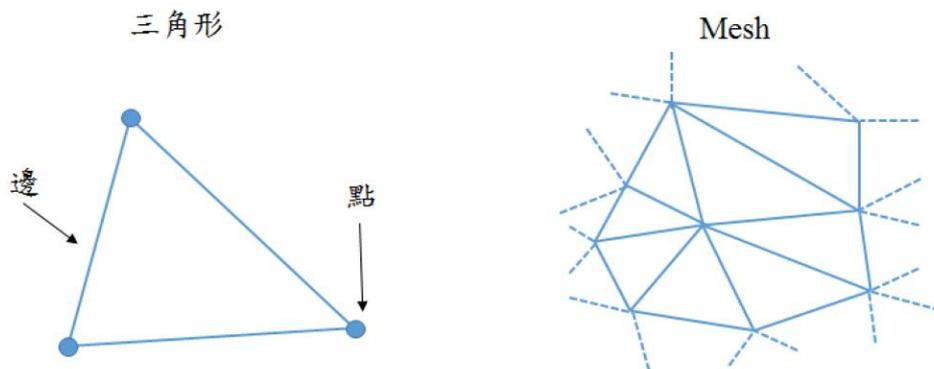


圖 4- 9 Mesh 概念示意圖

航空攝影拍攝所得之影像透過自動化匹配及光束法平差，解算還原拍攝瞬間之外方位參數，再透過影像密匹配技術產製高密度之三維點雲，建構不規則三角網 (Triangulated Irregular Network, TIN)，三角網須完整涵蓋描述區域且互不重疊，並貼附真實影像紋理 (photorealistic surface texture) 做為模型之材質，即得地形地物之三維模型。

如圖4-10左所示之DSM，肉眼看似可區分個別棟的房屋，但是

其實全區只是單一張三維網格面，並未對個別的房屋結構面作區分。不過一旦在DSM 網格面上貼敷了由實際攝影（航空攝影、地面攝影）所得的真實影像紋理後，人眼在電腦螢幕上對它做觀察時，仍能依據網格上所覆蓋的影像紋理來辨識網格所包覆個別房屋結構面及樹木等個別的地物（如圖4-10右所示）。



圖 4-10 純 DSM 網格面(左) 與貼敷真實影像紋理後的 DSM (右)

二、三維實體模型

三維實體模型在指完整、明確的物體進行建模。建置實體模型資料來源為二維地形圖，可針對屋角點等輪廓進行建置，幾何敘述部分較單純，即檔案較小。另由於在繪製二維地形圖之各物件時，可針對各物件進行圖層式的分類，故建置模型時，可針對不同圖層進行三維實體模型之建置，甚至重複性高之物體可用物件化的方式直接產製；加上各物件具有豐富的屬性資訊，在建置的過程中能保留屬性資訊，或透過ArcGIS等軟體進行屬性加值分析，最後將模型與屬性進行連結。另由於資料來源為二維地形圖，因此若無地形圖資則無法產製模型；若圖資過舊，則需進行重測、變遷偵測等處理。(內政部，2018)。

三、比較分析

分別就資料來源、使用優點、缺點及適用範疇等面向比較三角網模型與實體模型，兩者的比較如表4-1(內政部，2018)

表 4-1 三角網模型與實體模型比較表

	三角網模型	實體模型
來源資料	空載、地面影像或點雲資訊等	二維地形圖
優點	<ol style="list-style-type: none"> 1.資料取得便利 2.適用於複雜的幾何形態 3.具有高細緻的呈現效果 4.多套軟體支援影像建模，大幅降低建模門檻 	<ol style="list-style-type: none"> 1.可自動化快速建置LOD 1房屋模型 2.模型輪廓精度準確 3.模型幾何敘述較單純(檔案size小) 4.具有模型細緻度分級規範
缺點	<ol style="list-style-type: none"> 1.無法進行圖層分類 2.無物件化概念 3.缺乏屬性資訊 4.若影像資訊不全，模型品質會較差 5.需調整來源影像之色調、亮度等，模型外觀才有一致性 6.模型由網格組成(檔案大) 	<ol style="list-style-type: none"> 1.需要二維地形圖才能進行模型建置 2.LOD 2以上之模型無快速建模技術 3.必須明確規範定義從二維數值地形圖建置三維數值地形圖標準
適用範疇	<ol style="list-style-type: none"> 1.適合非都市區建置模型 2.地形地貌較特殊區域 3.模型可參照OGC i3s規範，以提升展示效能 	<ol style="list-style-type: none"> 1.適合都市區建置模型 2.室內外應用較連貫 3.模型可參照OGC CityGML規範，以利資料交換

第五節 三維模型資料標準

開放地理空間協會（Open Geospatial Consortium，OGC）是一個致力於發展和執行地理空間資訊的開放式標準，規範地理空間的內容、服務，方便地理資訊系統的數據處理與共享。OGC標準用於各種領域，包括地球科學與環境、國防與情報、智慧城市(物聯網和傳感器網絡，移動技術、3D和建築環境)、緊急應變與災害管理、航空、能源與公用事業等等(OGC，2018)。

目前OGC針對三維產品訂定的標準格式主要為CityGML及i3s，3D Vector Model可採用CityGML，而3D Raster Model適用i3s。CityGML定義三維以GML為基礎具有豐富且詳盡的標籤資訊，適用於資料交換，但展示效能不佳；i3s是一個以scene layer為基礎的格式，所記錄的標籤資訊簡單，適用於Integrated Mesh，具有很好的三維資料展示效能。

一、CityGML

OGC所提出之「城市地理標記語言(City Geography Markup Language，簡稱CityGML)」為一國際標準格式，可供使用者免費使用的開放標準，是用來表示城市物體的通用語意資訊(semantic information)模型，它是以三維虛擬城市景觀模型的紀錄、管理、交換為目的資料標準，其最主要的精神在於利用機器可讀的邊界線表示法(boundary-representation)或是幾何實體(solid geometry)塑造及重建房屋外廓每個表面之間的位相關係(topology)以及屬性。CityGML定義5個連續的細緻度層級(Level of Detail, LOD)，由LOD0到LOD4共5個級別涵蓋對地形、建物外形及內部構造等各模型細緻度(如表4-2)，CityGML所定義的LOD的各級示意如圖4-11，表4-3則為OGC所提出對LOD各級之精度需求。

以建物模型為例，LOD中最粗糙的等級是LOD0，可視為以航空影像或地圖覆蓋的2.5D的數值地形模型；LOD1則是由棱柱體與平屋頂結構組成的積木模型(block model)；LOD2的建物模型則依建物之屋頂結構和牆面類型組成各式各樣的模型；而LOD3則除了依屋頂結

構和牆面類別組成不同模型外，還包含了門窗等模型表面開口物件；LOD4則藉LOD3擴充建物內部結構達成，由建物的外觀到內部配置如房間、樓梯、室內外門窗等皆納入建置範圍(李姝儀，2018)。

表 4-2 CityGML 定義之細緻度層級(LOD)

LOD 0	regional, landscape
LOD 1	city, region
LOD 2	city districts, projects
LOD 3	architectural models (outside), landmarks
LOD 4	architectural models (interior)

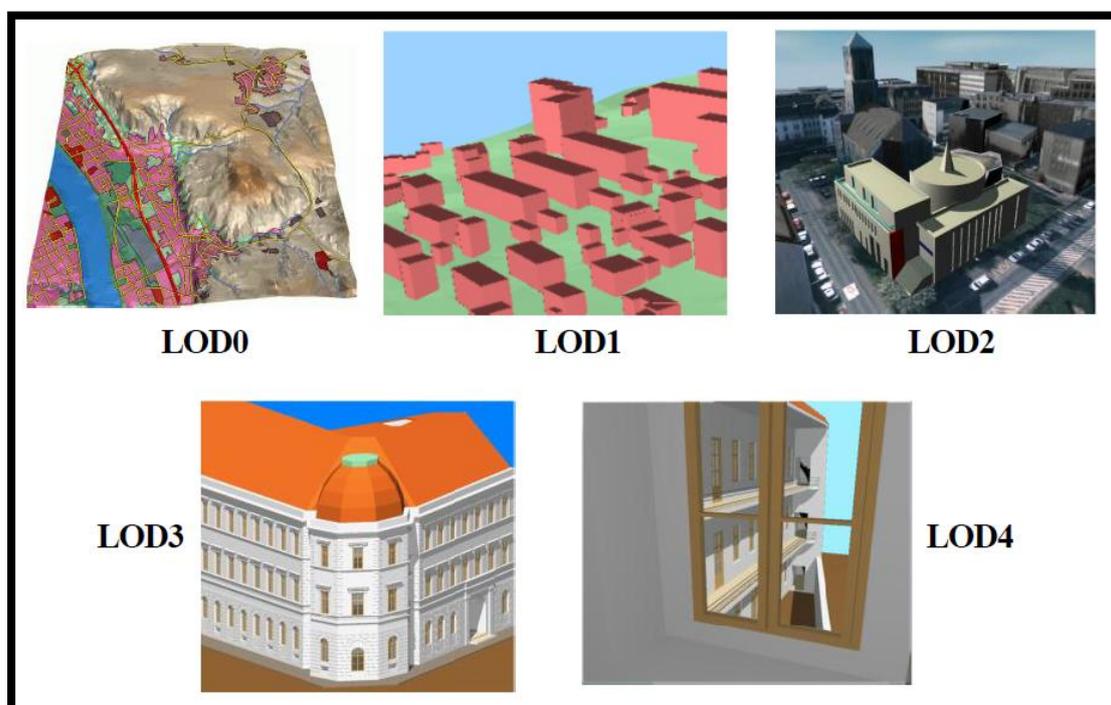


圖 4- 11 CityGML 定義的 5 種 LOD(OGC，2012)

表 4-3 LOD0 至 LOD4 精度等級建議表(OGC，2012)

	LOD0	LOD1	LOD2	LOD3	LOD4
Model scale description	regional, landscape	city, region	city, city districts, projects	city districts, architectural models (exterior), landmark	architectural models (interior), landmark
Class of	lowest	low	middle	high	Very high

accuracy					
Absolute 3D point accuracy (position / height)	lower than LOD1	5/5m	2/2m	0.5/0.5m	0.2/0.2m
Generalisation	maximal generalisation	object blocks as generalised features; > 6*6m/3m	objects as generalised features; > 4*4m/2m	object as real features; > 2*2m/1m	constructive elements and opening are represented
Building installations	no	no	yes	representative exterior features	real object form
Roof structure/representation	yes	flat	differentiated roof structures	real object form	real object form
Roof overhanging parts	yes	no	yes, if known	yes	yes
CityFurniture	no	important objects	prototypes, generalised objects	real object form	real object form
SolitaryVegetationObject	no	important objects	prototypes, higher 6m	prototypes, higher 2m	prototypes, real object form
PlantCover	no	>50*50m	>5*5m	< LOD2	<LOD2
...to be continued for the other feature themes					

二、I3S

為了進一步拓展對 3D 內容的支援，OGC 於 2017 年宣佈以 Esri 發起的 I3S 標準規範作為 OGC 的國際三維資料標準。該標準包括 I3S 規範(Indexed 3D Scene Layer)，以及基於該規範的三維資料格式規範 SceneLayer Package(SLPK)，專注於在網際網路或離線環境中提供高效能三維視覺化和空間分析。

I3S 是個概念，它是一個媒介體，讓 2D 和 3D 的資料得以整合成一個場景(Web Scene)，透過網路串流的方式提供瀏覽器讀取或是儲存成為檔案提供單機端讀取，i3S 採用 LOD 的概念，在不同比例尺下針對資料做了結構的優化，其資料的組成是採用 JSON 並搭配 REST 方式提供服務讀取，這樣的技術最終還是需要一個儲存的格式，就像是我們常聽到的 Map Tiles 其儲存的方式為 JPG 或 PNG，Vector Tiles 則是有 4 個資料夾儲存(Fonts，Info，Sprites，Styles)，而在 i3S 部分其儲存的格式為 SPK(SLPK，Scene Layer Package)，只要能夠將你的 3D 資料轉換成這個檔案格式，就能夠透過 ESRI 的 ArcGIS Enterprise(之前稱為 ArcGIS Server)發佈，提供給 ArcGIS Pro、ArcGIS Earth 或瀏覽器直接讀取。目前支援 i3S 的公司有 Vricon、Pix4D 及 Bentley(Integrated Meshes 資料型態)。

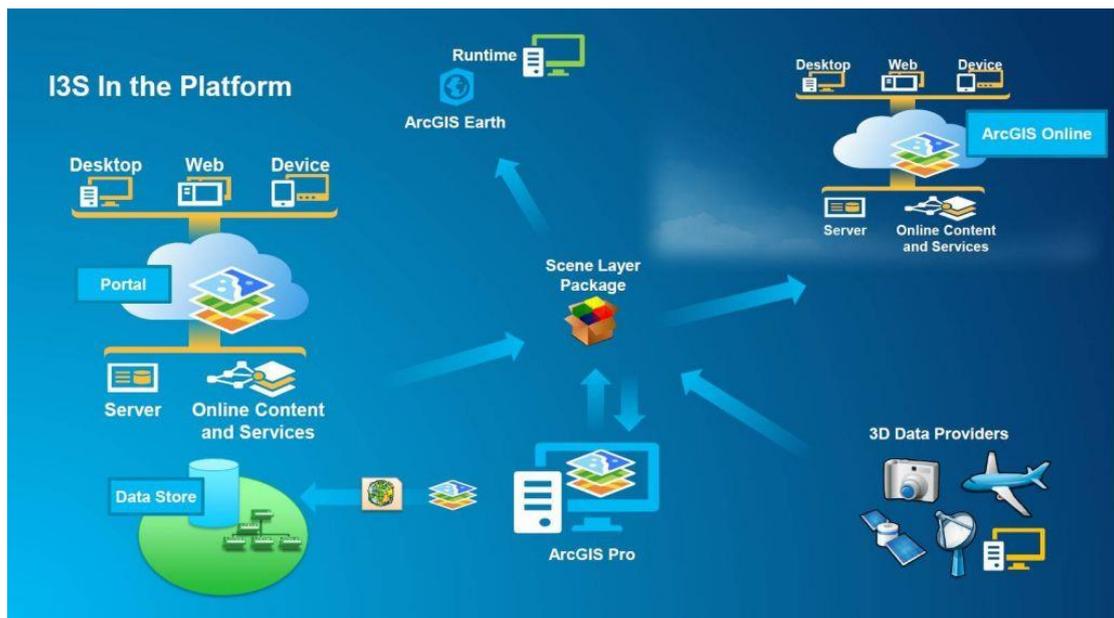


圖 4- 12 ArcGIS 平臺以 I3S 標準為核心示意圖

資料來源:ArcGis 網頁

第五章 作業流程及研究內容

蒐集的資料包括遙控無人機航拍影像、遙控無人機光達掃描及室內光達掃描等 3 項，內業處理的流程包括空中三角平差計算、正射影像產製及編修、數值地表模型產製及編修、空載光達及室內光達點雲分類及平差處理、三維模型產製及編修、3D GIS 平臺，相關作業流程圖如圖 5-1。

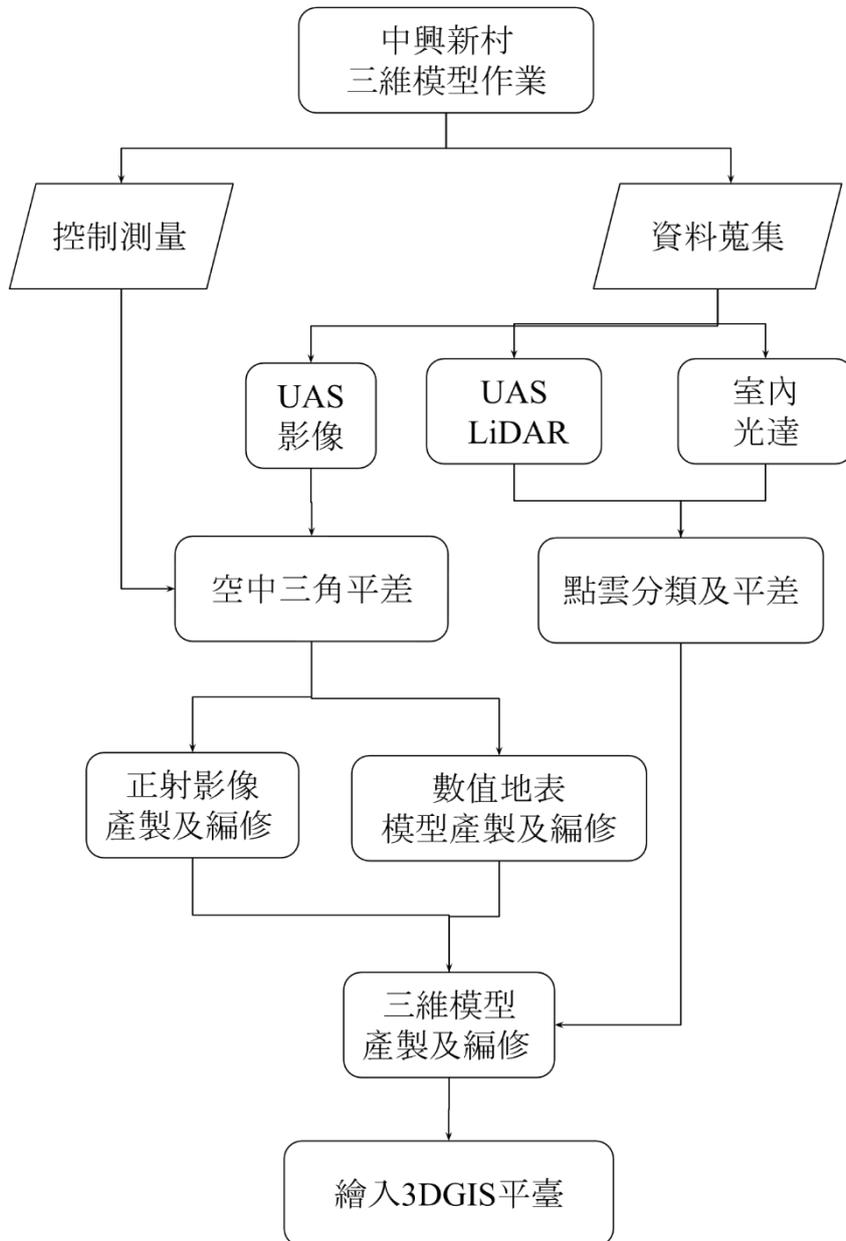


圖 5-1 三維實景三角網模型重建流程圖

第一節 影像資料蒐集

傳統的航空攝影測量技術主要是對地表面的頂部進行拍攝，而對地形起伏明顯的地物，側面紋理和三維幾何結構等資訊的獲取十分有限。隨著傾斜航空攝影測量技術的發展，提供了豐富、真實的建築物側面紋理資訊。

中興新村航拍區範圍約 2.6 平方公里，地表高程約 30 公尺，為一南北狹長的地形，本研究案所蒐集之中興新村影像係採用遙控無人機搭載高解析度相機進行中興新村航拍取得，該批資料使用 3 種拍攝模式，全區使用井字型拍攝，並搭配區域式的環繞式傾斜攝影，最後針對 3 棟建築物進行包覆式精緻建模拍攝。

(一)井字型拍攝

以規則井字型拍攝，影像前後重疊率約 80%、側向重疊率約 60%，相機鏡頭採正下方往上微傾斜 5-10 度角的方式取樣，共拍攝南北向 36 條航帶，東西向 16 條航帶，井字型航線圖如圖 5-2。

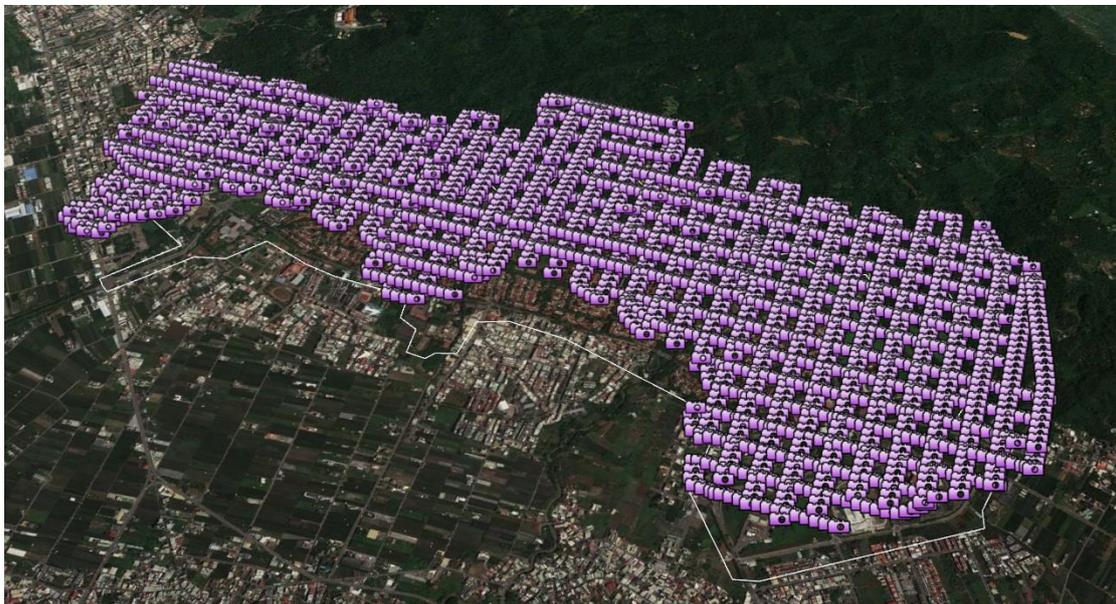


圖 5-2 中興新村井字型飛行航線規劃

(二)環型拍攝

因中興新村區內之建築多屬低矮建物，為增加所有建物之側

面紋理取樣，將降低航高至 100m，並以 45-50 度角的傾斜角度，以環繞式拍攝對作業區內之建物作側面加強取樣，並在作業區規劃 6 組的環型拍攝作業(如圖 5-3)，讓實景模型效果能最完整呈現。



圖 5-3 環型拍攝航拍規劃圖(紅色為拍攝路線)

(三) 包覆式環拍及地面拍攝

針對臺灣省政府、臺灣省政資料館(含荷園)、中興會堂精緻建模等 3 處建物以包覆式主體環拍及地面拍攝方式取像，如圖 5-4 所示，以得到特定主體建物最精緻完整的建模效果。

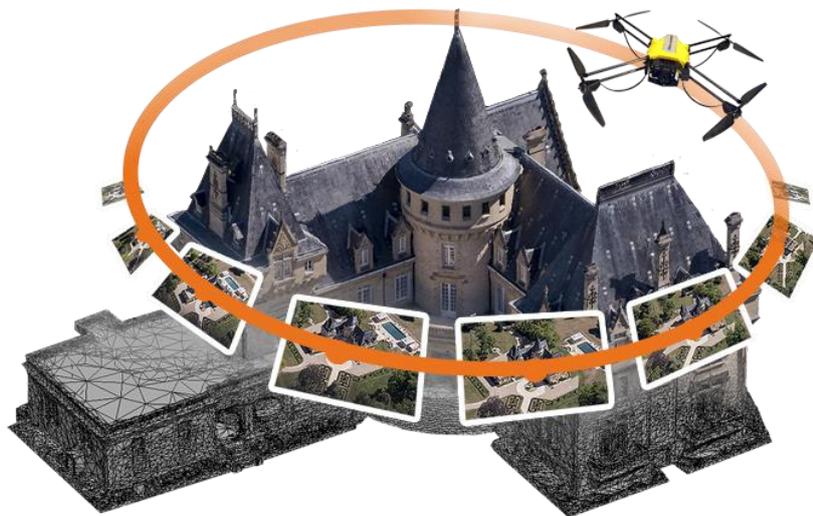


圖 5-4 包覆環拍+地面拍攝示意圖

圖片來源:迅聯光電有限公司網站

第二節 控制測量

實施遙控無人機航拍前，應於航拍區域範圍挑選適當位置布設航測控制點，以供後續空中三角平差控制使用。航測控制點需位於對天透空良好，位置務必包含整體測區，勿使測區有外插情況，並避免設置於雷達站、微波站、電視轉播站、金屬結構物等易干擾衛星訊號之人工構造物附近。控制點出現在相片上數量越多，代表觀測量越大，可使整體成果精度品質越佳，因此規劃時，可於航線規劃軟體看到相片覆蓋重疊率，盡量在重疊率最高的情況下規劃控制點位。

航測控制點布設包括中心標及翼標，中心標採方形，翼標之寬度與中心標之邊長相等，長度則為寬度 2 倍以上，翼標以 4 個為原則，如受地形限制，亦可布設 2 個翼標，油漆應選用耐久及與地面顏色足夠反差，使其在影像上易於辨認。布標情形如圖 5-5、圖 5-6。

中興新村作業區之控制測量由本中心中區測量隊施測，採用本中心電子化衛星即時動態定位系統（e-Global Navigation Satellite System, eGNSS）辦理，坐標系統為 TWD97，作業規範是依本中心「採用虛擬基準站即時動態定位技術辦理加密控制及圖根測量作業手冊」相關規定辦理，其觀測時間、記錄頻率、重複觀測及成果精度作業規範如表 5-1，航測控制點分布如圖 5-7，e-GNSS 外業測量情形如圖 5-8。



圖 5-5 漆航測標



圖 5-6 航測控制點形狀

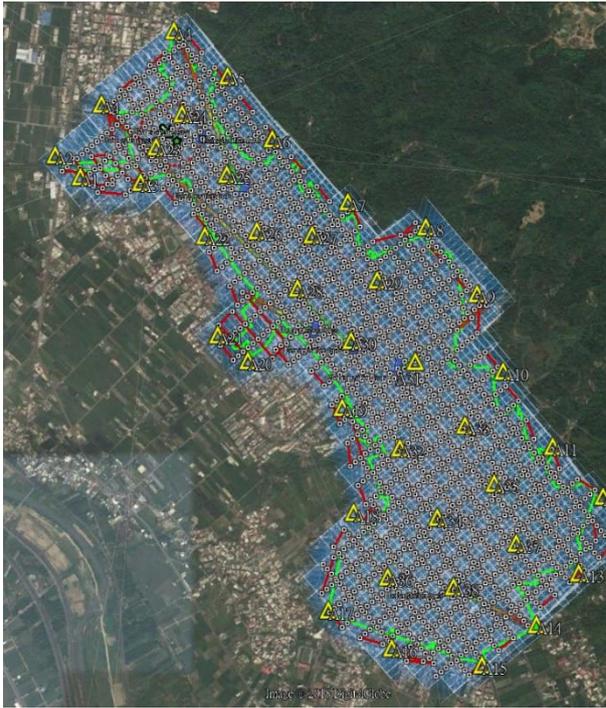


圖 5-7 航測控制點分布規劃圖



圖 5-8 e-GNSS 外業測量

表 5-1 e-GNSS 作業規範

項目	作業規範
資料記錄速率	1 秒
觀測數量	固定 (FIX) 解至少 180 筆以上
重複觀測	至少觀測 2 次，每次至少須間隔 60 分鐘以上，且兩次坐標較差要符合平面位置較差 ≤ 40 毫米，高程位置較差 ≤ 100 毫米。
成果精度	平面中誤差 ≤ 20 毫米 高程中誤差 ≤ 50 毫米

第三節 空載光達資料蒐集

光達具有高精度、高密度的特性是近幾年逐漸受到重視的三維點雲資料來源，本研究除蒐集遙控無人機搭載高解析度相機拍攝中興新村之影像，產製三維實景三角網模型外，亦蒐集使用遙控無人機搭載簡易型光達設備，藉以評估光達設備運用於三維模型建模之可行性。

所蒐集的光達資料包括原始光達點雲資料、載具 POS (GNSS、IMU)資料及光達率定資料(光達與載具間之軸角、固定臂相對方位資料)等。資料處理部分，先使用 POS 資料解算載具三維軌跡，並加入各項率定參數及坐標投影參數，逐條航線求解原始點雲資料，計算各航帶之點雲資料之三維坐標後，再進行點雲平差及點雲分類，點雲資料處理流程圖5-9。

光達點雲資料處理軟體為 TerraSolid，該軟體包含 TerraScan、TerraMatch、TerraModeler 模組，輸入原始光達點雲資料及 POS 軌跡解，可處理點雲編輯及平差作業，另可藉由外部控制點擬合輔助，提升三維點雲精度。點雲建模的軟體是採用 Google SketchUp，並可配合 Google Earth 作為展示平台，更便於使全世界的眾多使用者觀看模型成果。

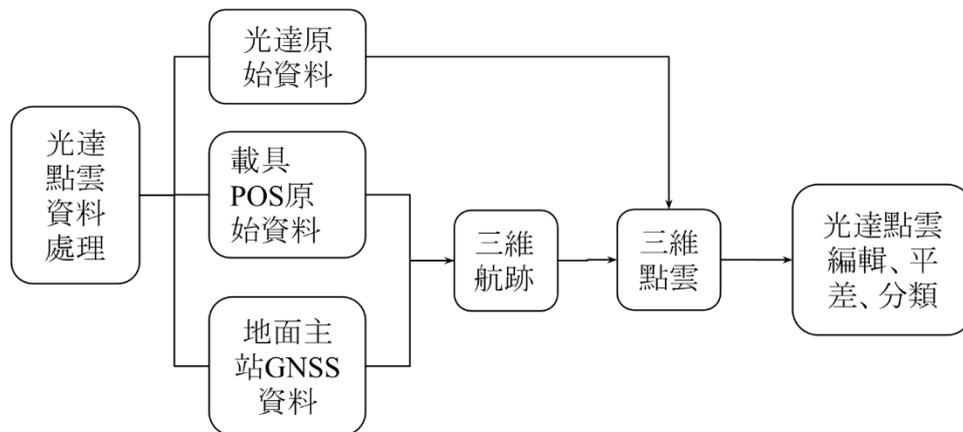


圖 5-9 光達點雲資料處理流程

第四節 室內光達資料蒐集

測繪製圖按照使用場景的不同，可劃分為室內製圖和室外製圖兩大類，因為場景不同，需求也就不同，所以分別採用的測繪技術，也不盡相同。目前 GNSS 定位技術，基本已滿足了大部分用戶在室外場景中，對位置服務的需求，然而室內場景則因受到建築物的遮擋，無法正常接收 GNSS 信號，使得 GNSS 目前尚無法滿足室內場景中之需求。例如在臺北車站捷運地下街路線錯綜複雜，宛如一個大型地下迷宮，而 GNSS 手機導航一進入建築物即無用武之地，讓很多人都曾有過迷路經驗。

為了建構無接縫三維模型，除了室外三維模型外，也蒐集中興新村省政資料館室內三維資料，希望將藉由蒐集之點雲資料建置室內三維模型的經驗，提供後續建置室內三維圖資可行性評估參考。

為了克服室內無法接收 GNSS 訊號及室內多障礙空間的特性，所蒐集的室內點雲資料是來自手持式移動光達掃描儀掃描，藉由 SLAM (Simultaneous Localisation and Mapping) 技術可快速計算出室內點雲的位置資訊，不過，這類的產品，因缺乏外部控制點，坐標系統為獨立的系統，因此在本研究案中，另採用該建物之室外點雲資料，將室內之點雲資料轉換至 TWD97 坐標系統上。

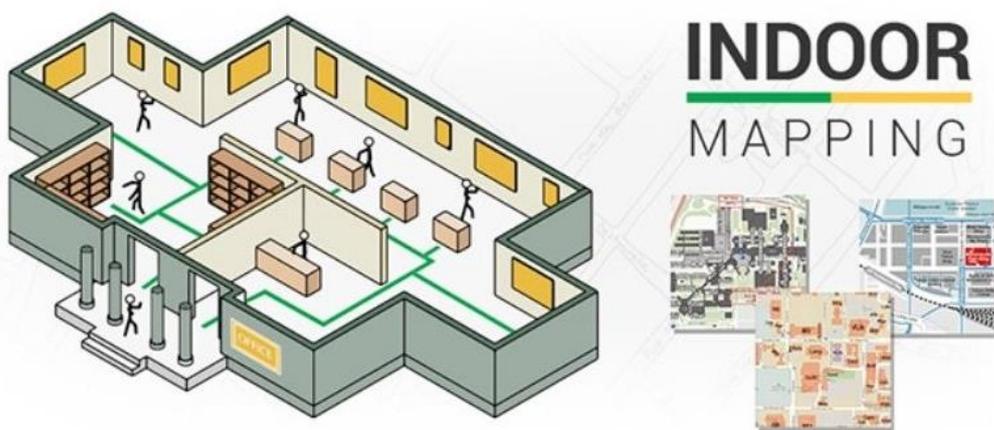


圖 5-10 室內測繪示意圖

圖片來源:patentlyapple 公司網頁

第五節 真實正射影像及數值地表模型製作

所蒐集的影像成果，可使用航測專業軟體 Pix4D，配合空中三角測量、高密度數值地表模型(DSM)資料，將中心投影之航拍像片，以微分糾正方法消除像片上因相機傾斜及地表所造成傾斜移位及高差位移，逐點糾正為正射投影，製作近真實正射影像(true orthphoto)，經鑲嵌後成為全區彩色正射影像，其步驟如下：

一、原始航拍影像

採用 Sony A7R 數位相機，航攝時航向重疊(overlap)80%，側向重疊 60%，取得中興新村的影像，並透過影像處理軟體，進行影像增揚與色調調整等作業，使影像顯示之地物與原本天然色彩一致，並減少不同拍攝時間影像色調不一致的現象。

二、相機率定

一般相機拍攝為中心透視投影成像，由相機中心、像平面及物空間符合共線條件關係，以共線條件式表示。其中相機中心至像平面成像時，會因為透鏡畸變及焦平面變形，導致光軸偏移，故需要利用數學模式改正，即為相機率定(Camera Calibration)，其參數稱為內方位參數，包含像主點像空間坐標以及點位之像空間系統誤差。像主點為相機之焦平面與透鏡中心光軸正交時，透視中心與焦平面的交點，因光軸的偏移，故需進行位置的校正。另外，點位之像空間系統誤差包含透鏡輻射畸變差、透鏡切線畸變差、焦平面上的影像變形、焦平面以上的變形及其他因素。雖然在非量測型相機上沒有已檢定過的數值，但在相同的數位相機中的變形程度是固定的，因此利用大量多角度的照片，去尋找可能的扭曲樣子，得到其修正參數。

三、空中三角測量

空中三角測量的主要目的是求解攝影瞬間影像投影中心的物空間坐標與姿態角，其次則是求連結點的地面坐標。其基本原理為共線式，即攝影時投影中心、像點及物點位在同一條直線上。透過數

值航測影像工作站量測影像連接點、人工航空標點或自然點之控制點後，由空中三角平差求解航拍瞬間影像的外方位參數，即投影中心的位置與姿態，以供後續產製數值地形模型及真實正射影像之用。

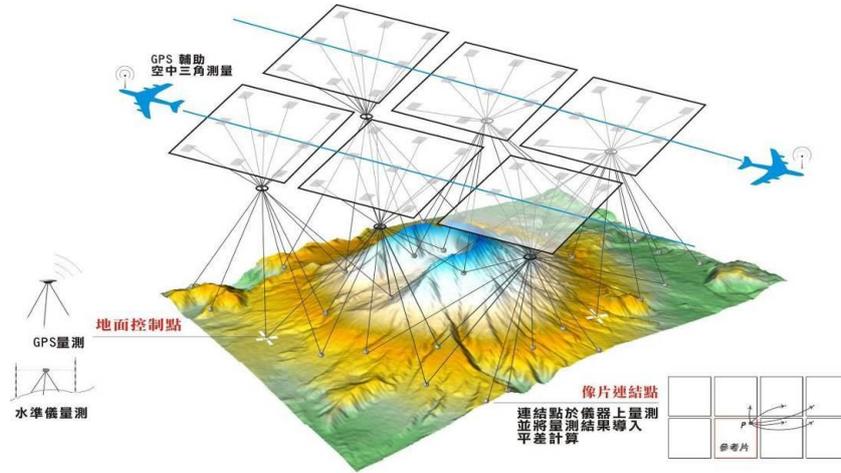


圖 5-11 空中三角平差示意圖

來源:本中心 106 年度基本地形圖報告書

四、數值表面模型

數值地表模型 (digital surface model, DSM) 是以數值化方式來展現三度空間地形起伏變化情形，本研究利用空中三角測量計算完的遙控無人機影像，可於航測專業軟體中 Pix4D 計算出高密度數值表面模型。

五、幾何修正

使用高密度 DSM 製作正射影像，因密點雲之解析度高，故可直接獲取各建物之樓頂高程，並糾正為近真實正射影像，但仍然某些區域可能造成屋頂邊緣抖動或變形，因此需要檢視及編修，達到美觀之目的。

六、彩色無接縫鑲嵌

真實正射影像由不同的原始航空影像拼接而成，拼接線 (seamline) 應儘可能選取紋理交接處 (例如：道路邊緣、田埂線等)，以達成無接縫鑲嵌之目的，再使用正射影像處理軟體進行色調勻化處理。

第六節 三維模型重建

三維實景三角網模型，是針對立體影像中的每一個像元逐點進行匹配，將每一個像元都視為特徵點，獲取每一像元的視差，再進行前方交會獲取密集的三維點雲，並以內插方式建立數值地表模型，重建出以實際拍攝照片為紋理之三維實景模型。

近年來由於實景建模技術的盛行，坊間也出現不少的實景建模商業軟體，例如 Pix4D、Aqisoft Photoscan、Contextcapture 等，不同軟體在自動匹配、空中三角平差及建模速度各有有所長。本研究採用 ContextCapture 軟體來建置中興新村三維城市模型，該軟體是藉由多視角影像密匹配，建立三維實景三角網模型，具有自動化程度高且展示效能佳的特性，並可輸出各種三維模型格式；除了高解析度三維模型外，還可產製數值地表模型(DSM)及真實正射影像 (True OrthoPhoto)。ContextCapture 資料處理的流程包括輸入影像、影像外方位、影像密匹配、點雲生成三角網、三角網貼附真實紋理等步驟，處理流程如圖 5-12。

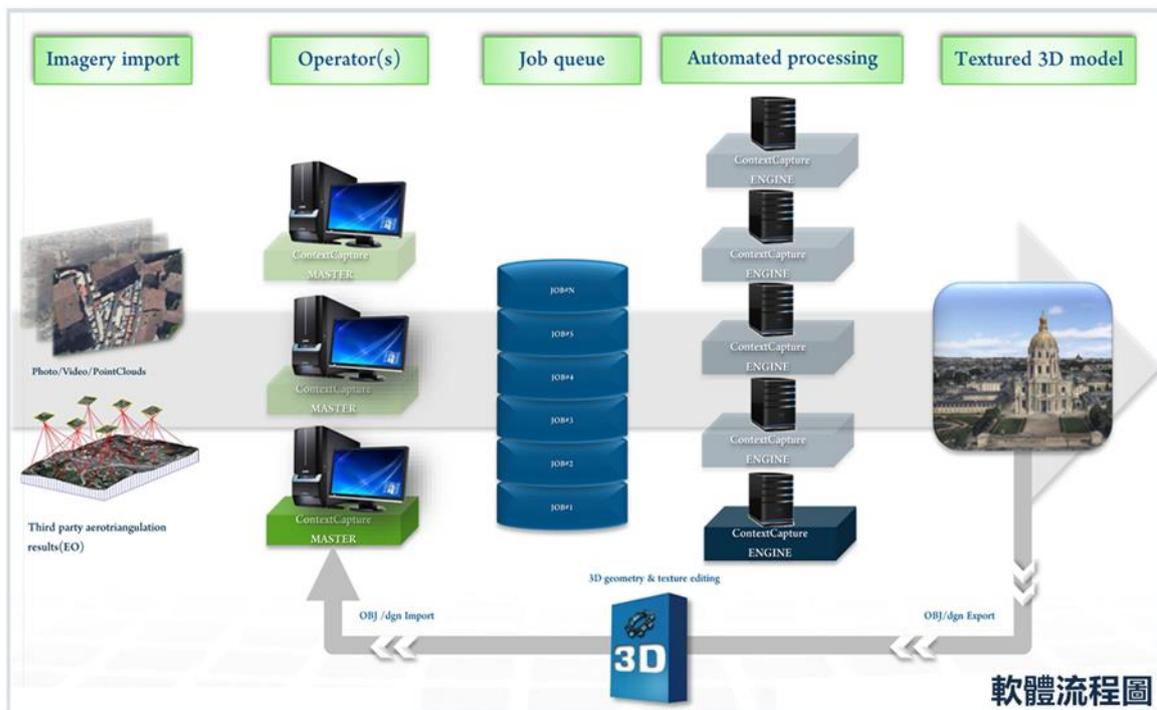


圖 5- 12 ContextCapture 三維模型重建流程圖

圖片來源:迅聯光電有限公司網站

第七節 三維地理資訊系統

隨著科技的進步，目前世界各國積極測製三維城市模型，地理資訊系統也從二維擴展成三維，朝向三維地理資訊系統(3D GIS)的目標發展。三維地理資訊系統可將建置完成的三維模型做各種分析與應用，提供各式的測量工具，使用者可以利用這些測量工具進行長度、面積與三維環境下的高度測量，並提供了 GIS 常用的空間分析功能，包含最佳路徑分析，視域分析、球體視域分析、直視分析、陰影分析、坡度分析及坡向分析等等。

三維實景三角網模型因為儲存大量的影像，其檔案非常大，一般來講，可以使用特定商業軟體以單機板軟體開啟，但如果要發佈到網際網路上，就需考慮是否需額外外掛程式(Plug in)，其效能亦是令人關注的焦點。

三維實景三角網模型因檔案大，經常會受限於頻寬，因此如何將三維模型資料透過金字塔的方式，在不同的比例尺下提供不同精緻度的資料是比較好的解決方案，在大比例尺時提供高解析的三維模型成果，而小比例尺時僅呈現大概形狀並降低材質細緻度，讓傳輸的檔案小運作快，這也是目前三維地理資訊系統業者在鑽研的關鍵技術。

目前市面上三維地理資訊系統的軟體很多，包括 ArcGIS、Cesium、SkyLine 及國內藏識科技公司開發 PilotGaea Express 等。Skyline 是由三個獨立的子系統構成，包括 TerraBuilder、TerraExplorer、TerraGate，透過這三個子系統，可以把不同的地理訊息串聯起來，並且可以快速發佈到各用戶(如圖 5-13)。

建置三維地理資訊系統地步驟可分成兩部分，首先使用 ContextCapture 產製不同 LOD 的三維模型，再利用 SkyLine 的 CityBuilder 轉檔成 Skyline 專用格式 3dml 檔，再匯入 TerraExplorer Viewer。本研究案採用免費 SkyLine TerraExplorer 單機板軟體，展示及分析中興新村三維實景三角網模型，同時進行蒐集中興新村「辦公廳舍」、「宿舍」及「公共設施」調查資料及既有之二維向量圖檔

(包括地籍圖及臺灣通用電子地圖)及外業調查的屬性資料，一併匯入三維地理資訊系統，即可完成單機版之三維地理資訊管理平臺(如圖 5-14)。

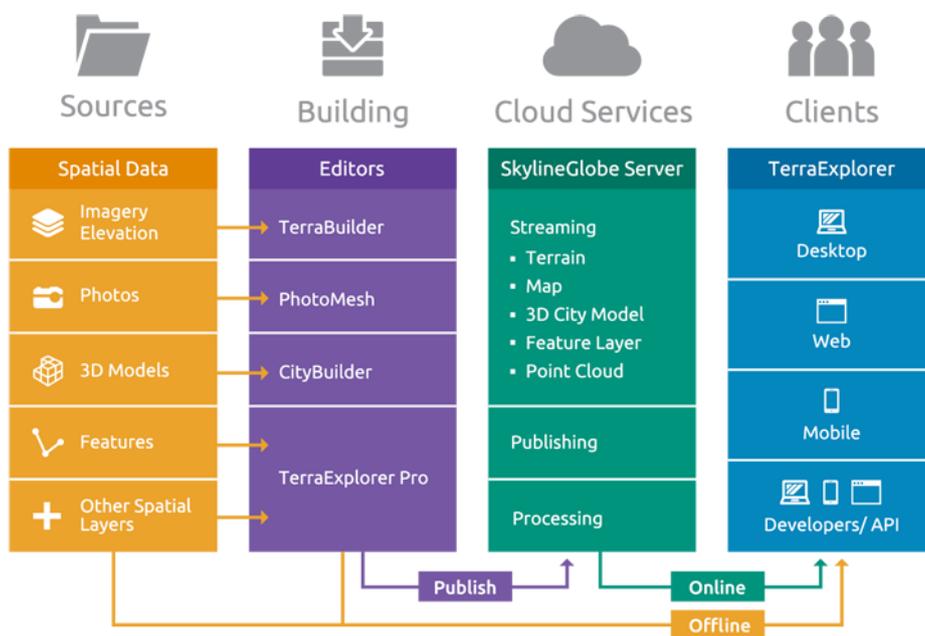


圖 5- 13 SkyLine 產品總覽
 圖片來源:數位地球科技有限公司

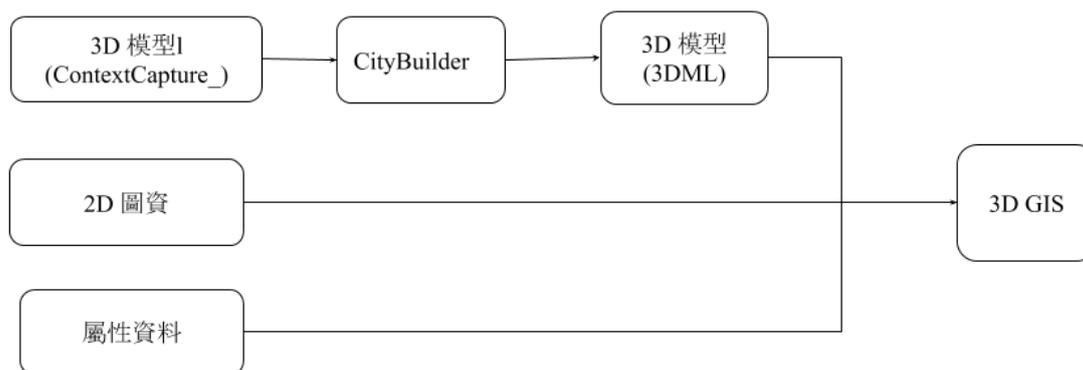


圖 5- 14 本研究案各項資料匯入 3D GIS 示意圖

第六章 作業成果展示及分析

第一節 幾何精度

中興新村範圍面積約 260 公頃，遙控無人機搭載 SONY A7R 相機，垂直攝影影像數量合計 2,348 張，航拍高度約 330 公尺，前後重疊率 80%，側向重疊率約 60%，總航程數約 84 公里，平均地面解析度(GSD)約 3 公分，相關資料說明如表 6-1。

為辦理空中三角測量，除於測區周遭布設地面控制點計 37 點，另於測區中挑選 17 個均勻分布於測區內之檢核點。測區內所有影像經空中三角平差計算後，於模型上量測檢核點坐標，與外業實測坐標比較。檢核點之平面坐標平均較差為 3.3 公分，中誤差為 3.6 公分，高程平均較差為 9 公分，中誤差為 16.2 公分。平面坐標精度優於高程，且均優於一千分之一地形圖之精度要求，即平面方向 RMS 不大於 25 公分，高程方向 RMS 不大於 30 公分，足以證明本研究案成果除了地面解析度高外，其幾何精度亦高。各檢核點分布如圖 6-1、坐標較差如表 6-2。

表 6-1 中興新村遙控無人機任務執行概況

項目	說明
航拍日期	107/1/23~26
前後重疊率	80%
側向重疊率	60%
航線航程	總航程約 84 公里
航拍高度	230 公尺
地面解析度	0.03 公尺
遙控無人機載具	LION 四旋翼
相機	SONY A7R+35mm
影像數量	2,348

9	0.0119	-0.0225	-0.013	0.025	0.013
10	-0.0028	0.0064	-0.0149	0.007	0.015
11	-0.0014	0.0138	0.0122	0.014	0.012
12	0.0319	0.0205	0.0491	0.038	0.049
13	-0.0208	-0.0263	-0.0401	0.034	0.040
14	-0.0153	-0.0177	-0.022	0.023	0.022
15	-0.0068	-0.0358	-0.0385	0.036	0.039
16	0.0078	-0.0402	0.0443	0.041	0.044
17	0.0082	0.0191	-0.0273	0.021	0.027
Mean [m]				0.033	0.090
RMS [m]				0.036	0.162

第二節 數值地表模型

遙控無人機影像搭配密匹配技術可以得到高密度三維點雲，以三維點雲為基礎組成不規則三角網格(TIN)即成數值地表模型(DSM)，用以描述測區最上層的表面起伏，由於是採電腦自動匹配製作，未經人工編修，故製作成本低。DSM 以數值化的方式展現三維空間地形的起伏變化，透過地理資訊系統將空間資料展示於電腦螢幕或輸出設備，並完整呈現地形資訊，是相當重要且基本的資料，能依需求作所需要之處理與判識，包括災害評估、量體評估、地形環境調查、數值模擬等。

地面解析度為 3 公分，可產製 3*3 公分的 DSM，因該 DSM 密度非常高，檔案太大(4.6G)，另輸出 10 公分*10 公分之 DSM(705M)。依據內政部目前採用空載光達測制 DTM 的作業規定，每平方公尺要求至少要有兩點以上的點雲，高程精度要求 25 公分(平坦地區)，本研究案產製的 DSM 每平方公尺至少有 100 個點雲，為內政部空載光達 DTM 的 50 倍，從第一節幾何精度分析，可知本案點雲高程精度可符合內政部規範，可用於全臺 DTM 局部更新，中興新村全區 DSM 如圖 6-2。

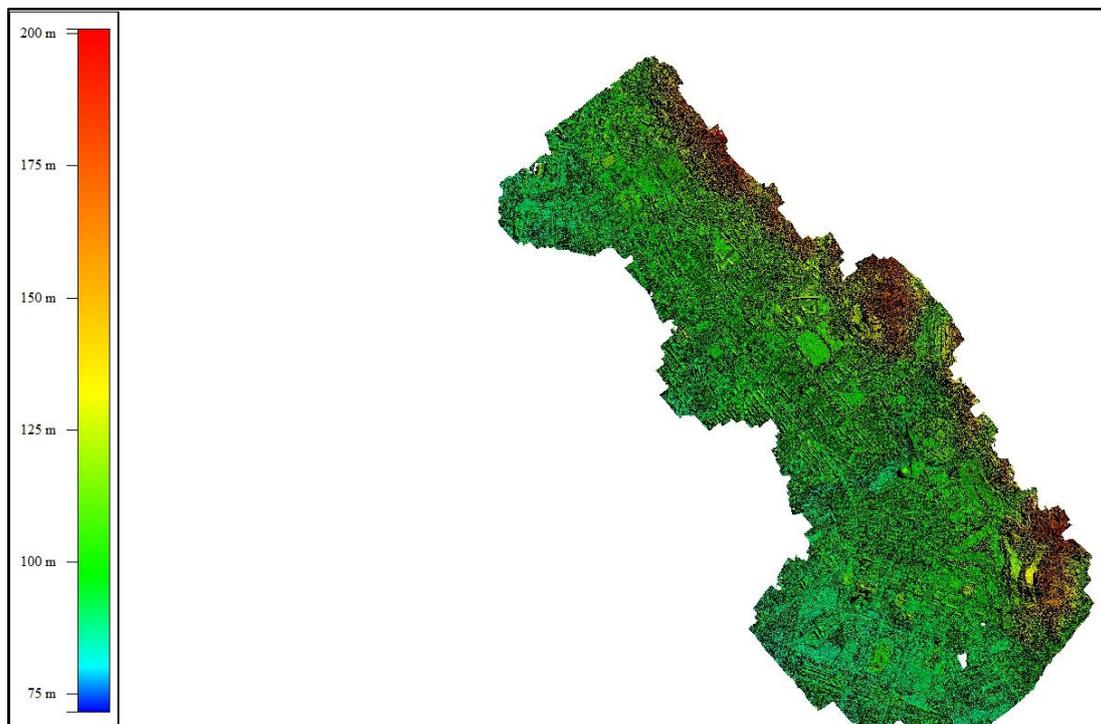


圖 6-2 中興新村數值地表模型

第三節 真實正射影像

傳統正射影像改正程序僅處理傾斜位移以及地表起伏所產生的高差位移，並未對建築物進行高差位移修正，同時也未對建物遮蔽區修正影像資訊，造成都市區影像中，高樓和立體交會之道路系統於正射影像中仍有幾何變形及錯誤殘影，嚴重影響到成果之可用性與正確性。一般來講，會把經過校正後，可以展示所有地表覆蓋物的『真實位置』，稱為真實正射影像(True Orthphoto)，用以區隔未校正建築物高差位移之正射影像成果。真實正射影像除了豐富的地表影像資訊外，可展示地物的正確位置與形狀，如同地形圖般具有可量測性。

Bentley ContextCapture 軟體可利用多視角影像及高密度 DSM 資料，將原中心投影之航拍像片，以微分糾正方法消除像片上因相機傾斜及地表所造成傾斜移位及高差位移，逐點糾正為正射投影，製作近真實正射影像檔。以位於中興新村北方國有財產署南投分署為例，圖 6-3 為未修正建物高度所造成的位移，由影像中可看出屋頂與屋腳位置不同，圖 6-4 則是已修正建物高度位移之真實正射影像，屋頂與屋腳的位置相同。本研究案產製之中興新村全區、省政資料館、中興會堂、臺灣省政府及國史館等地區之真實正射影像如圖 6-5 至圖 6-11。



圖 6-3 一般正射影像

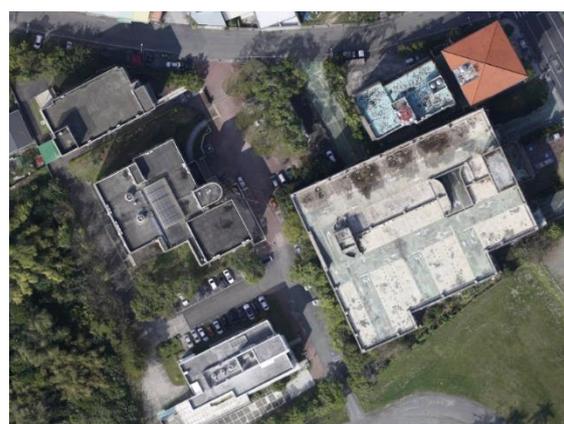


圖 6-4 真實正射影像



圖 6-5 中興新村全區真實正射影像



圖 6-6 省政資料館真實正射影像



圖 6-7 中興會堂真實正射影像

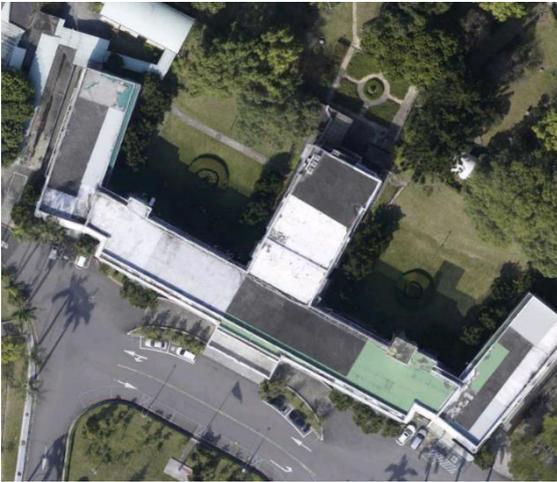


圖 6-8 省政府真實正射影像



圖 6-9 國史館真實正射影像



圖 6-10 國史館真實正射影像



圖 6-11 中科園區真實正射影像

第四節 三維實景三角網模型

使用三維建模軟體 Bentley ContextCapture，將垂直影像、傾斜影像以及地面攝影等影像，透過特徵點匹配及光束法平差，解算還原拍攝瞬間相片之外方位參數，再利用影像密匹配產製高密度之三維點雲，依據三維點雲生成不規則三角網格(TIN)模型，自動化貼附紋理影像，產製中興新村全區三維實景三角網模型，如圖 6-12。

實景建模技術的優點是可以快速地建置出現場實景的三維資訊，但同時也產生非常數量非常多的三角網格，通常都是百萬到千萬以上等級的三角網格面，這樣的資料量太過於龐大，很難在一般的三維軟體呈現或是瀏覽。本研究案將原生模型再依網格密度及材質解析度不同而分階層的模型(Level of Detail ,LOD)，讓使用者在單機瀏覽或是網頁瀏覽時，可以依照視野比例大小來自動輸出相對應解析度的模型，讓整體瀏覽速度順暢。

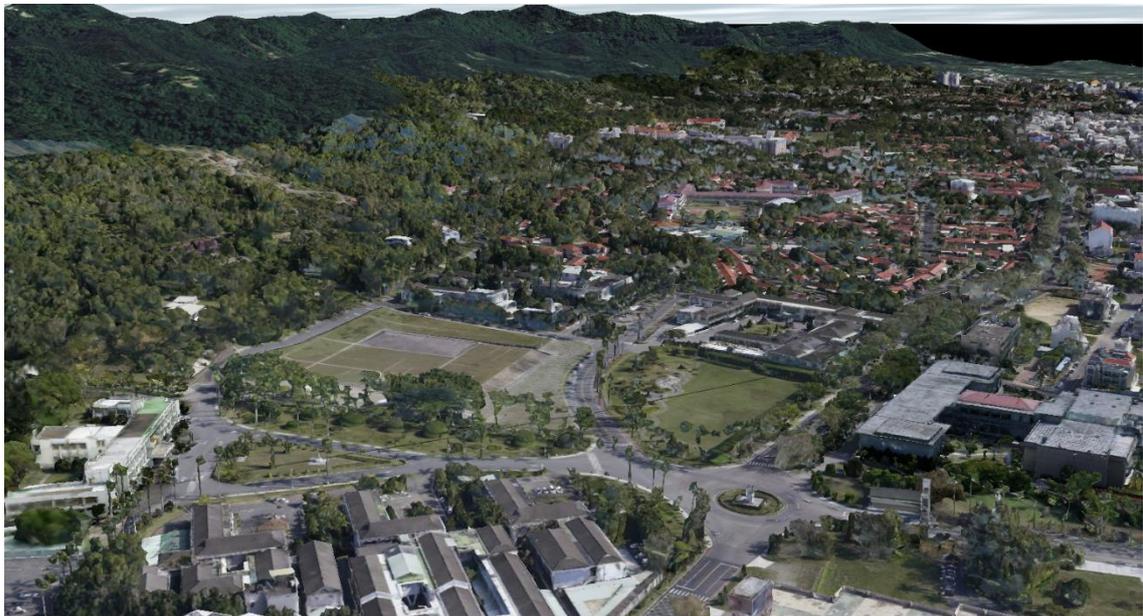


圖 6-12 中興新村三維模型

一、拍攝方式分析

作業區多低樓層矮建物，實景三維模型需要針對建物各個面進行多重拍攝。為進一步探討航拍任務與三維模型的影響，另針對垂直攝影、側拍的影像進行分析，以利往後以傾斜攝影建立三維模型之作業規劃方式。

(一)井字型拍攝

遙控無人機軌跡以規則井字型拍攝，相機鏡頭採正下方往上微傾斜5-10度方式拍攝，所產製三維模型會因缺乏建築物或立體道路之側面影像，導致側面有扭曲變形、破損或增生的現象，以省政資料館為例，四周牆面均有扭曲變形，如圖6-13。



圖 6-13 井字拍攝影像重建之三維模型(省政資料館)

(二)環型拍攝

為增加建物側面紋理取樣，將高度降低至 100 公尺，相機以 45-50 偏離垂線角度，另於中興新村規劃 6 處，以半徑 220 公尺之環繞方式拍攝，於內業處理過程發現，可能因為部分側面影像重疊不足，於影像匹配時，常需介入人工量測連結點予以修正。

以省政資料館為例，原本井字拍攝增加環型拍攝之影像後，其中一面牆之紋理已補足，其他未拍攝到之牆面，仍存在扭曲變形，模型照片如圖 6-14、圖 6-15。另比對國史館(如圖 6-16)及經濟部中部科學園區(如圖 6-17)等獨立建物，環型拍攝重建之三維模型，側面之紋理均已非常完整。



圖 6-14 補上環型拍攝重建之三維模型(省政資料館 1)



圖 6-15 環型拍攝重建之三維模型(省政資料館 2)



圖 6-16 環型拍攝重建之三維模型(國史館)



圖 6-17 環型拍攝重建之三維模型(經濟部中科園區)

(三) 包覆式環拍及地面拍攝

為提升建物側面紋理之真實感，本研究針對省政資料館、中興會堂等 2 棟歷史建築及臺灣省政府 1 棟縣定古蹟進行包覆式環拍及地面拍攝，確保各牆面均有真實的影像，建立完整的三維模型。以省政資料館為例，包覆式環拍及地面拍攝所建置之三維模型如圖 6-18、圖 6-19、圖 6-20，其牆面的紋理均清晰可見。



圖 6-18 包覆式環拍及地面拍攝重建之三維模型(省政資料館)



圖 6-19 包覆式環拍及地面拍攝重建之三維模型(臺灣省政府)



圖 6-20 包覆式環拍及地面拍攝重建之三維模型(中興會堂)

二、時間分析

全區使用井字型帶微傾斜角拍攝方式，已可使得全區地形地物獲得最平均的取樣相片，即可得到全區最平均且最完整的實景模型效果，260公頃之面積拍攝的時間約4天。包覆式精緻建模拍攝，可讓被攝建物或主體獲得最精緻的拍攝效果，如簷空或屋簷下方亦可完整建模，拍攝的時間與被拍攝的主題面積大小有關，例如省政資料館、荷園及牌樓所需的時間約6小時，拍攝的影像3,221張已比全區垂直攝影影像數多，所需內業處理時間也不容小覷，建議只針對

特殊重要的建物再以此方式拍攝。另區域式的環繞傾斜攝影，雖可增加部分側面影像，不過，在內業處理發現，影像匹配上常出現問題，需要人工介入，建議後續可以再針對如何改善匹配問題進一步研究，各種拍攝方式所需時間與相片數量如表 6-3。

表 6-3 拍攝時間與相片數

拍攝方法	地區	面積	相片數量	拍攝時間
井字型拍攝	中興新村全區	約 260 公頃	2,348	4 天
環型拍攝	中興新村 6 處	約 260 公頃	1,300	2 小時
包覆式環拍 及地面拍攝	臺灣省政府	約 0.6 公頃	1,310	2 小時
	中興會堂	約 0.5 公頃	1,262	2 小時
	省政資料館 (含荷園及中興新村牌樓)	約 2 公頃	3,221	6 小時

三、成本分析

由於三維的資料量較傳統二維資料多出數倍，且可能涉及運算能量及技術層次更為複雜，對於人力、經費及技術等資源需求較高。中興新村面積約 260 公頃，以遙控無人機航拍所需要外業天數約 4 天，內業處理約 10 天，平均每公頃所需外業與內業的費用約 2,000 元，精緻建模費用與拍攝主體面積有關，以本家中興新村 3 棟建物來計算，每棟平均需 50,000 元，總計中興新村三維模型建置作業所花費的金額計 86 萬元，成本分析如表 6-4。

全臺面積約 3,600,000 公頃，實景三維模型以每公頃 2,000 元計算，製作全國實景三維模型所需費用約 72 億元，扣除中央山脈高山地區面積(約占全臺面積 20%)，其餘地區所需經費約 57.6 億元，仍是一筆很可觀的金額，因此，建議只針對有迫切性需求地區採此方法製作即可，其餘地區建議採用既有之二維向量圖及三維高程資料建置三維模型。

表 6-4 中興新村三維模型成本分析

項目	單價	數量	小計
實景模型	2,000	260	520,000
精緻模型	50,000	3	150,000
3D GIS	190,000	1	190,000
合計			860,000

四、小結

使用遙控無人機可快速取得多視角之影像，完成中興新村三維建模，具有自動化建模的優勢，以影像所拍攝的真實紋理作為建築物側面填補資訊，比傳統填補方式的假設紋理更真實，且可以讓三維模型更具有真實直觀的呈現，不過中興新村都屬低矮建物，牆面受到樹木遮蔽，導致紋理影像不完整，如何獲取最小遮蔽的房屋牆面紋理是後續一個值得需研究的方向。

中興新村內多屬低樓層矮建物，本研究案所製作的三維模型也可完整呈現中興新村真實樣貌，不過，瀏覽時如一直放大比例尺(zoom in)，建物側面仍可發現一些破洞、扭曲之情形，建議未來應針對三維實景三角網模型訂定合適的觀看的最大比例尺，在該比例尺下時編輯三維模型，使視覺上一致的程度，並確保建物與周遭基礎設施可清楚辨識。

目前國內有定期執行航拍機關有內政部地政司(光達及影像)及農林航空測量所(影像)，未來，建議可由專責機關整合各項航拍工作之需求，統一率定相機之前後與左右重疊率，大範圍拍攝以有人機為原則，小區域才使用遙控無人機執行，在經費許可下，可於載具上加裝傾斜相機及光達掃瞄儀，以提升航拍效率，降低資料蒐集之成本。

第五節 光達資料建置三維模型

空載光達能快速蒐集空間三維資料，並獲取空間特徵點及特徵線段資料，使得空載光達也成為城市建模的主要測製來源。本研究使用遙控無人機搭載 Velodyne 光達掃描中興新村，光達掃瞄之航帶寬度為120公尺，並以每秒6公尺飛行速度進行航拍，作業範圍面積約為103公頃，共分為3個架次，6個航帶進行作業，每架次作業時間各約25分鐘，實際作業時間共約105分鐘。Velodyne 光達規格如表6-5，光達掃描情形如圖6-21、圖6-22所示。

表 6- 5 Velodyne VPL-16 光達規格表

雷射等級	1
測量頻率	Single Return Mode: 30 萬點/秒 Dual Return Mode: 60 萬點/秒
掃描距離	100 公尺
掃描頻率	5-20 Hz
角度解析度	2 度
作業溫度	-10°C ~ +60°C

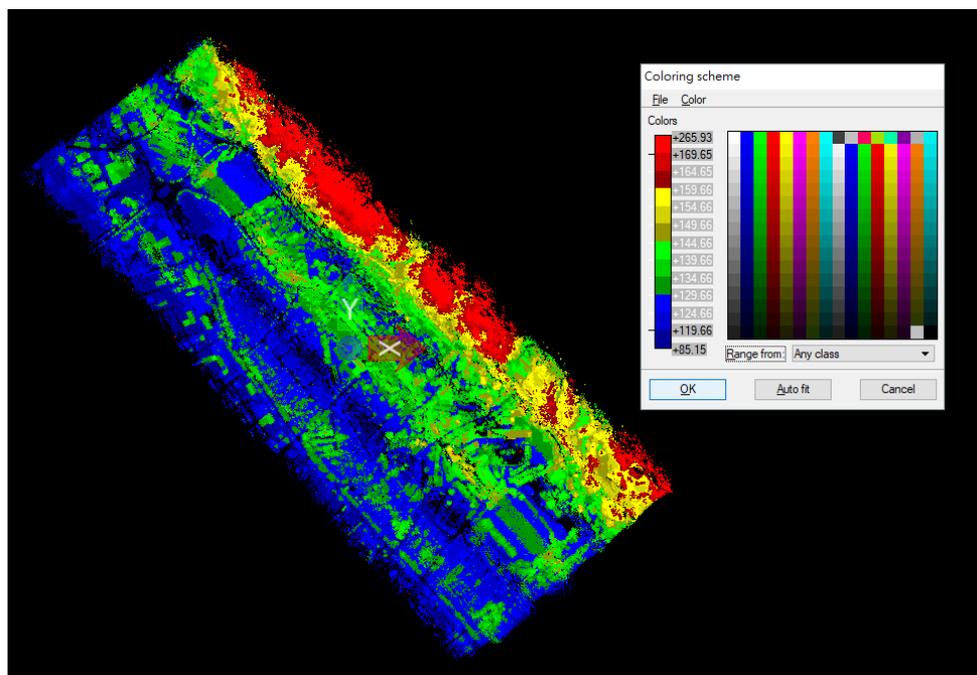


圖 6- 21 中興新村光達掃瞄點雲資料



圖 6-22 光達點雲資料（左）與正射影像（右）比對

建物模型很重要的一項是屋頂，但國內建物的屋頂普遍存有頂樓加蓋現象，而且有很多形狀怪異的衍生結構體，不易歸納出常見屋頂類型。本研究藉由高密度的光達掃瞄建物，除提供建物不錯的視覺展示效果外，並可偵測屋頂結構線，描繪出複雜的屋頂(如圖 6-23、圖 6-24)，但由於光達系統之掃描特性，其掃描點隨機的分佈在地表面，因此點雲密度是複雜建物建模良窳之關鍵因素之一，點雲密度則與成本相關，點雲密度越高，則掃描的成本越高。

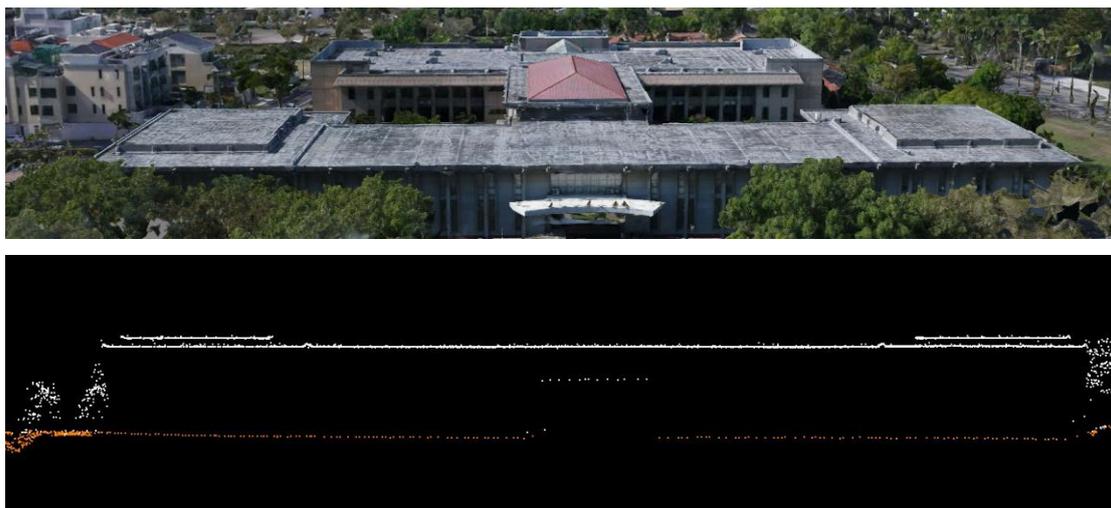


圖 6-23 省政資料館正面(上)與光達點雲(下)比較圖



圖 6-24 省政資料館正面(上)與光達點雲(下)比較圖

在建物模型部分，本研究案是使用 Sketchup 軟體，將中興新村光達點雲資料匯入，根據點雲資料人工繪製省政資料館之建物外框線並以通用材質圖片與拍攝相片貼上屋頂及牆面紋理，製作建物模型(圖 6-25)。

光達點雲，物空間位置不需要透過匹配得到，具有準確及快速性的優點，使用影像交會出的三維點雲，需透過影像匹配建立多影像間的物像關係，獲得影像間的共軌點及三維點雲，其中需要花費搜尋時間，及需考慮匹配成果的除錯，不如光達點雲的即時確切。然而，採用空載光達進行地面掃瞄時，不只獲取建物高程資訊，相對也加入許多不必要的資料，如植被、電力及交通設施、移動性物體等，也對後續建物模型萃取造成極大的困擾。也因此為了增加對空載光達掃瞄後之點雲的辨識能力，需加入航空影像輔助判斷。

高密度點雲雖可萃取建物的結構線，但目前的技術無法自動化萃取結構線，後續可持續精進、完善結構線自動萃取研究工作，以期減少大量人工介入房屋模型產製，提升模型建置效率。



圖 6-25 省政資料館 3D 模型圖

第六節 室內三維模型

室內三維圖資也是三維模型中一個很重要的一環，室內通常無法接收到 GNSS 訊號，因此，如何有效蒐集室內圖資，並將室內、室外的三維圖資整合為一無接縫三維模型，一直是國內外很重視的課題之一。LOD1 至 LOD3 三維建物模型以描述建物之外形及外觀樣式為主，LOD4 建物模型除呈現建物內部房間配置與結構外，包括室內傢俱如桌、椅、消防設施、牆面紋理等的展現，可由建築資訊模型 BIM 轉置，如未有相關資訊，此部分之資訊需經由外業測量取得。

本研究使用手持式光達設備進行省政資料館室內光達掃瞄，藉以了解目前蒐集室內3維圖資設備能力，供後續作業參考。室內掃瞄於107年1月24日在中興新村省政資料館辦理，使用設備為 Geoslam 手持式移動光達，該設備重量約3.5kg，在無 GNSS 環境下，單人單機即可作業，省政資料館一樓室內掃描時間約半小時，透過 SLAM (Simultaneous Localisation and Mapping) 技術，可立即顯示室內點雲，點雲資料如圖6-26、6-27。

表 6- 6 GeoSLAM ZEB-REVO 規格

Maximum Range	30m
Data Acquisition Rate	43,200 points/sec
Resolution	0.625° horizontal, 1.8° vertical
Angular FOV	270° x 360°
Relative Accuracy	1 - 3cm
Absolute Accuracy	3 - 30cm (10 mins scanning, 1 loop)

資料來源:GeoSLAM 網頁



圖 6-26 省政資料館內部(上)及點雲成果(下)

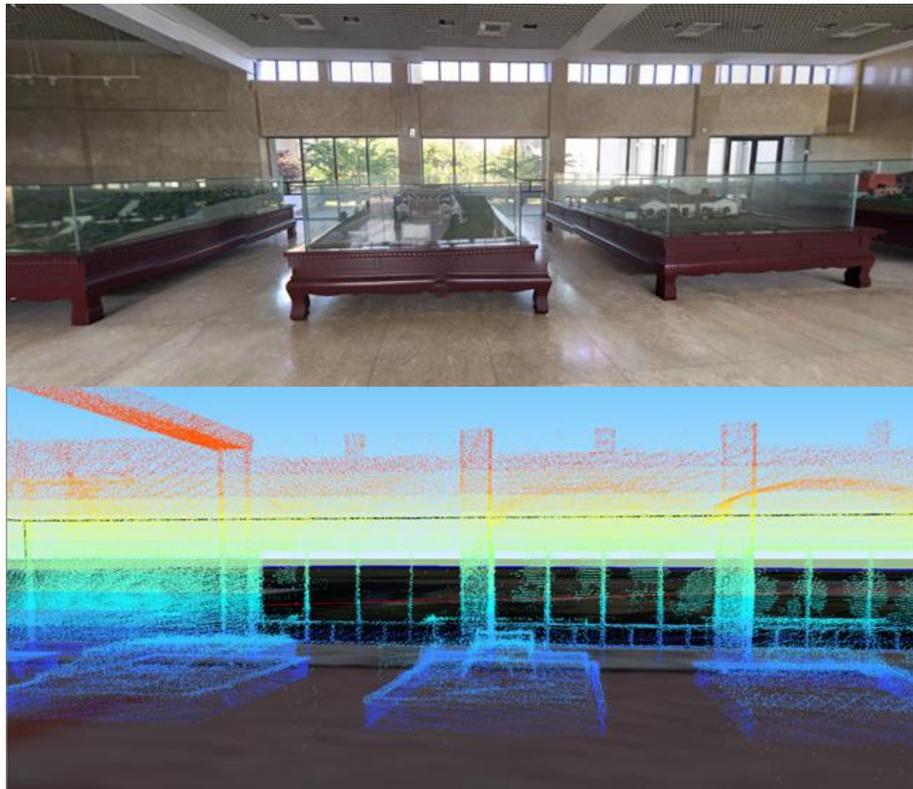


圖 6-27 省政資料館內部(上)及點雲成果(下)

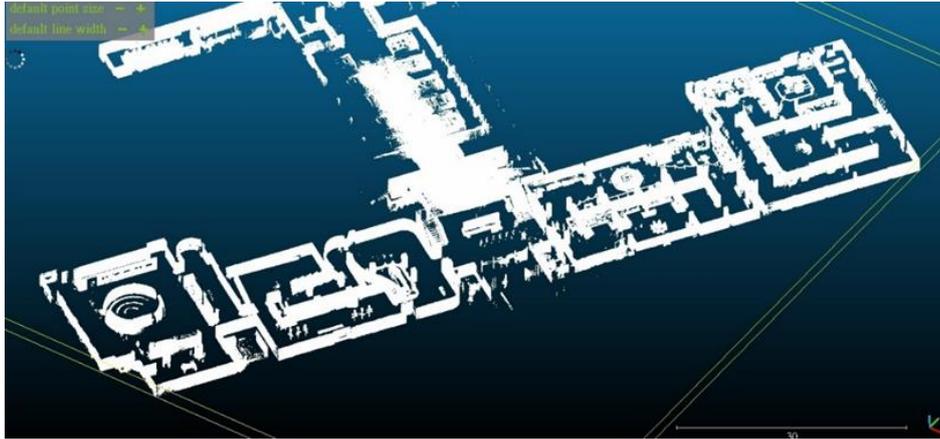


圖 6-28 省政資料館室內光達點雲

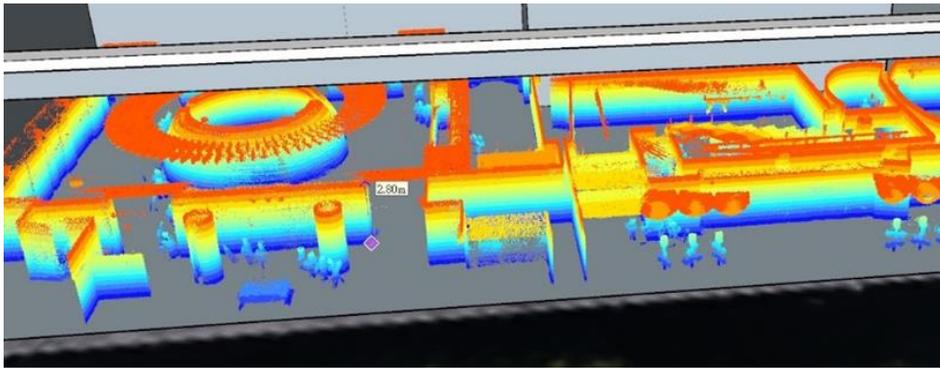


圖 6-29 省政資料館室內光達點雲(以顏色顯示高程)

因室內點雲資料自成一坐標系統，無法自動與室外資料結合，本研究先使用坐標轉換工具將室內點雲坐標系統轉至室外點雲坐標系統，使室內與室外點雲之坐標系統一致(TWD97)，然後將室內與室外光達點雲資料匯入 Sketchup 軟體，並根據點雲資料人工繪製省政資料館之建物外框線並以通用材質圖片與拍攝相片貼上屋頂及牆面紋理，製作室內模型，相關示意圖如圖6-30、圖6-31。

一般來講，車載式的移動測繪系統或測站式掃描儀，都可能會遇到室內環境可能會有許多隔間、上下樓梯，車子或腳架移動困難的問題，因此本研究案採用手移式的移動測繪系統克服環境問題，由測試結果發現手持式之光達掃描系統於室內三維圖資蒐集上，的確可以達到很好的效能，後續可探討室內與室內外模型整合應用，供後續發展無接縫的三維圖資技術參考。

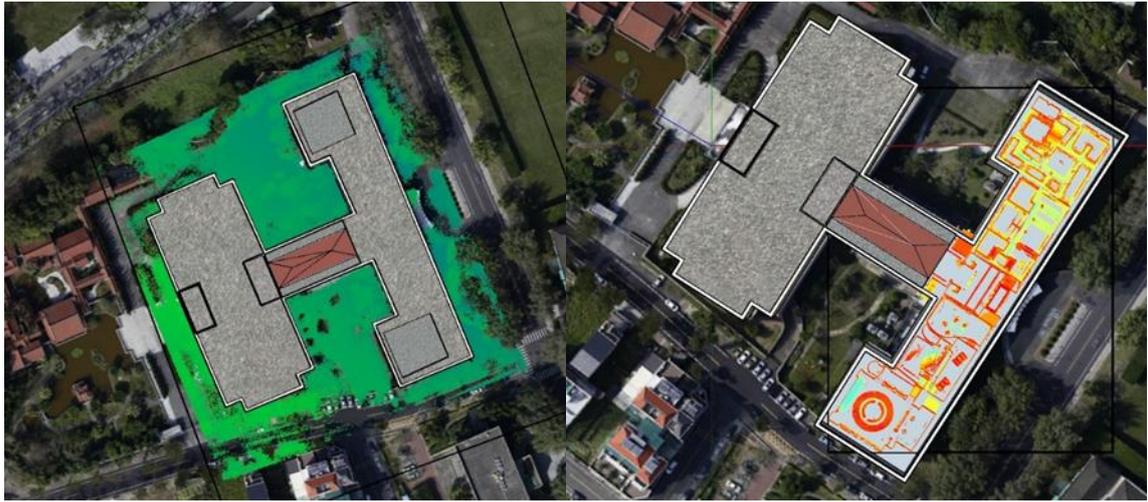


圖 6- 30 省政資料館模型疊合室外光達點雲 (左)及室內光達點雲 (左)

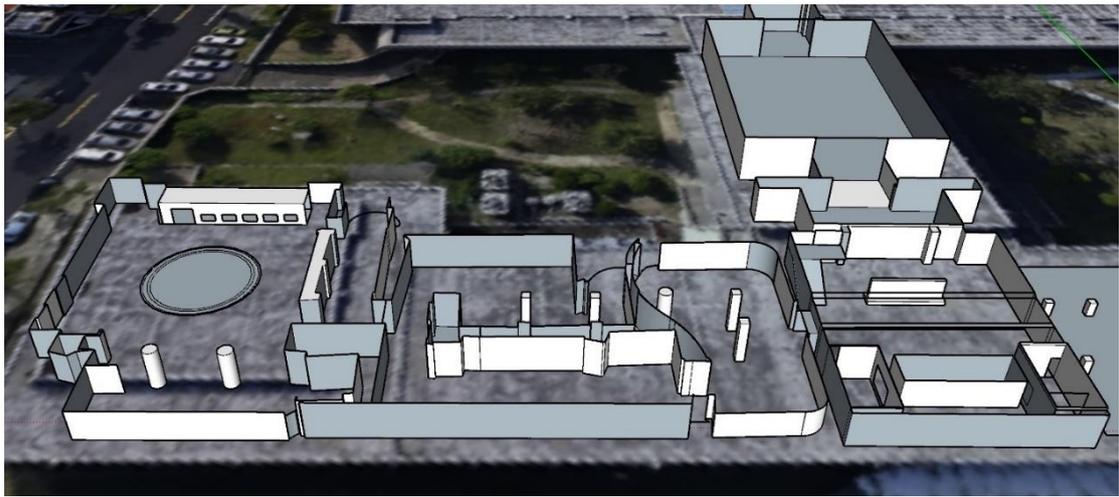


圖 6- 31 省政資料館室內模型

第七節 三維資訊系統應用實例

中興新村位在南投縣南投市，是臺灣第一次自行規劃的造鎮計畫，不僅在臺灣都市規劃史上相當難得，而且具有重要意義，在當年也是走在時代尖端。但歷經 1998 年臺灣省政府虛級化及 1999 年 921 大地震後，人口逐年外移與老化，使得中興新村逐漸沒落，中興新村面臨轉型困境，國家發展委員會於今(2018)年 7 月 20 日新成立「中興新村活化專案辦公室」，專案辦公室下設三個組，分別是廳舍調配組、宿舍運用組及公共設施維運組，希望透過相關部會跨域合作，再現中興新村繁榮新風貌。

中興新村活化的標的物可分成「辦公廳舍」、「宿舍」及「公共設施」三個部分，中興新村三維模型的建置，除可以視覺化的方式呈現前開設施現況，還可以於虛擬空間規劃未來；藉由重建中興新村三維模型，並導入三維地理資訊系統，希望對於該地區未來的都市計畫更新、都市景觀再造、交通動線改善、空間利用及國有財產清查盤點等議題，提供另一個新選擇。中興新村運用三維資訊系統之實際案例作業過程及效益說明如下：

一、重建中興新村三維模型，有效節省國有財產勘查時間

目前國有土地作業程序所稱勘查，包括派員實地測量及調查國有非公用不動產使用現況，並依據測量、調查結果繪製勘查表、使用現況略圖（建物配置圖）、地籍分割略圖及拍攝照片。勘查作業流程如下：

（一）查詢內部資料：

實地勘查前，查詢勘查標的、毗鄰國有土地之產籍、地籍資料及以前之勘查資料。

（二）核對外部資料：

依據土地、建物登記謄本、地籍圖、建物測量成果圖及都市計畫使用分區等相關資料核對土地標示、面積、建物等相關事項。

（三）實地勘查：

- 1、土地：測量及調查土地座落位置、地上物使用情形。
- 2、建物：實地查對（註）建物門牌號碼、現使用人姓名、坐落基地地號、構造型式及範圍。

(四) 勘查作業後應繪製之勘查表、使用現況略圖、建物配置圖內容及照片拍攝原則如下：

- 1、土地勘查：應繪製勘查表、使用現況略圖及拍攝照片。
- 2、房地（房屋）勘查：應繪製勘查表、建物配置圖及拍攝照片。
- 3、照片拍攝：以取得全貌為原則，依現場狀況按正面、左側、右側、背面等取景，如為單一景物時，得僅拍攝正面照片。取景有困難者，得敘明原因後從略。

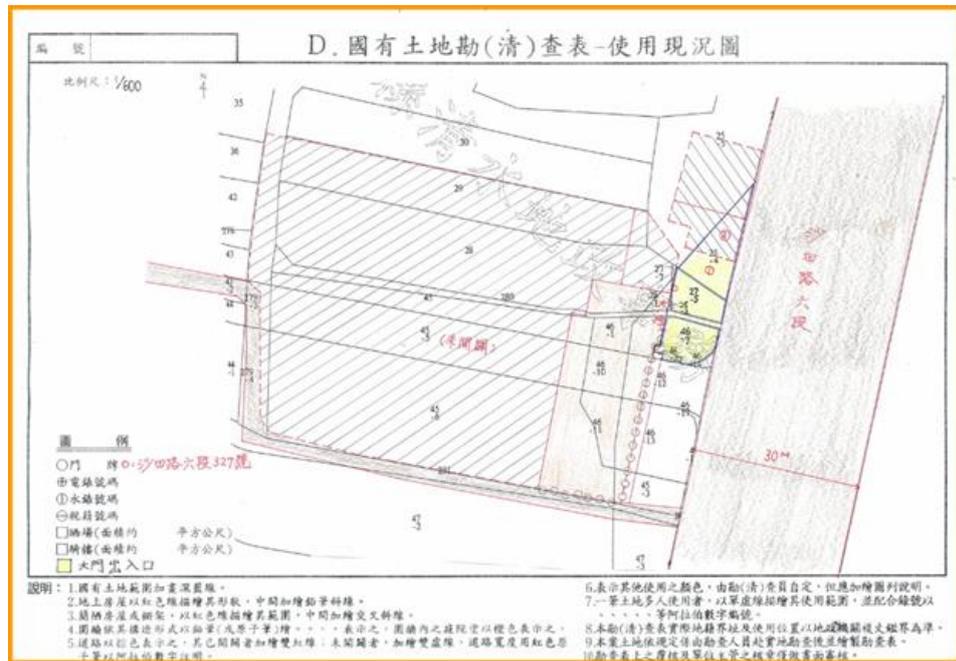


圖 6-32 現場使用現況圖

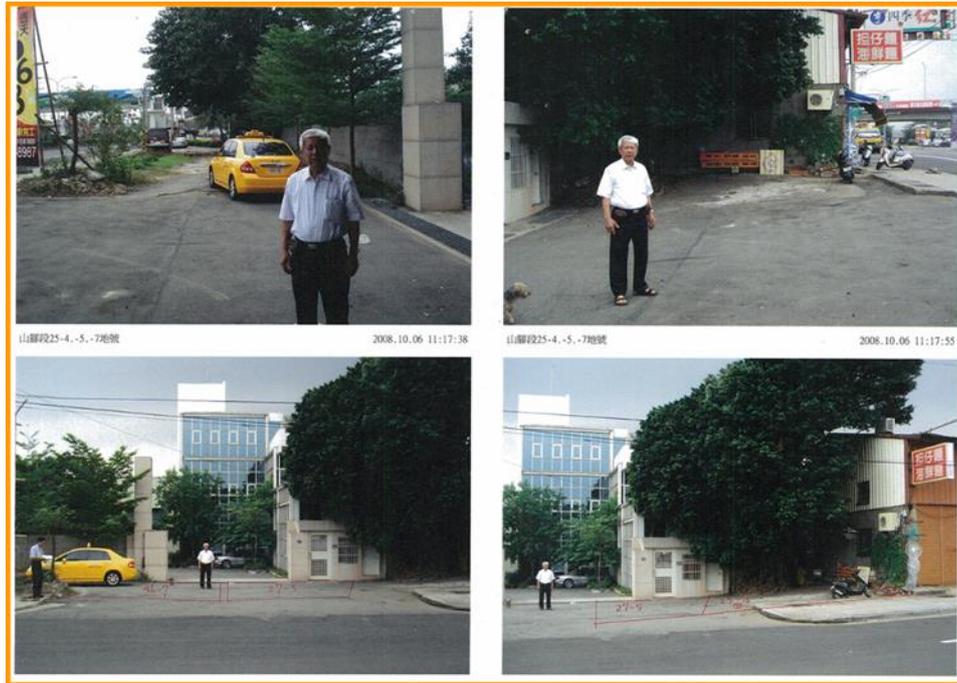


圖 6-33 現場勘查照片

中興新村的範圍約 260 公頃，為快速獲得地上物的現況資訊，本研究案採用遙控無人機取得多視角影像，並使用密匹配技術，以自動化方式建立中興新村三維實景三角網模型，完成中興新村國有財產圖資數位化、三維化。

以目前中興興村，閒置宿舍約 901 筆建號(棟)，使用中辦公廳舍或公共設施及閒置中辦公廳舍約 100 筆左右建物，共坐落在上千筆土地上，若依照國有土地勘查，依照正常國有土地外業勘查作業，每人一天約可以勘查 3-4 筆國有土地房舍作業，且不含內業製作及查詢時間。完成目前閒置宿舍及辦公廳舍外業勘查作業，若由國產署中區分署南投辦事處，抽調 4 名勘查人力，一天可完成 16 筆國有房地外業勘查作業，約需 62 工作天外業時間，約需 3 個月上班日，而且會排擠現有正常人民一般案件勘查案件。若不排除正常勘查案件，只排一名勘查人員負責，約需 250 工作天，需 1 年上班日左右完成外業勘查作業。

以本家中興新村國有房地勘查為例，國有房地範圍內計有 1 千多筆國有房舍及土地須勘查，利用航拍影像進行製圖，中興新村面積約 260 公頃，以遙控無人機航拍需要 17 天(外業天數約 4 天，內業處理約 10 天、補調繪 3 天)，平均每公頃所需外業與內業的費用

約 2,000 元，比起 4 位勘查人員，需花費 36 天，節省近 52% 外業調查時間。因此，使用航拍影像進行製圖，進行預處理輔助外業勘查工作，可有效減少外業勘查工作量。

表 6-7 虛擬中興新村可節省國有土地勘測時間

外業作業方式	勘查數量 (7 筆/1 人)	辦理數量	處理時間	較傳統人力 節省外業時間(百分比)
傳統勘查 運用 4 位 勘查人員	28 筆	1000 筆	36 天	52%
運用無人 飛機航拍 方式	操作遙控無人 機人力:2 人	1000 筆	17 天 (外業 4 天、 內業處理 10 天、未拍到 區域調繪 3 天)	

傳統的勘測拍攝照片，以取得全貌為原則，並依現場狀況按正面、左側、右側、背面等取景；改以三維實景模型後，不僅現場正面、左側、右側、背面均可得，還可取得傳統人力無法拍攝到的屋頂角度，藉由三維實景模型了解國有建物屋頂之保存現狀，有助於後續管理運用。

另為配合「中興新村國有財產清查與盤點工作小組」，本研究將該小組清查與盤點之成果，辦公室名稱、使用狀況(使用中、閒置)、辦公室編製人數與實際上班人數等屬性資料建檔管理(如表 6-7)，並將該屬性資料與幾何資料結合，可用使用者於平臺上點選辦公聽舍之位置，就可直觀地顯示該建物使用情形(如圖 6-34)。

表 6- 8 中興新村辦公廳舍使用情形屬性表

欄位名稱	欄位說明	值域
BUILD_ID	編號	數字
NAME	辦公廳舍名稱	文字
STATUS	使用狀態	文字 -使用中辦公廳舍 -閒置辦公廳舍



圖 6- 34 國土財產清查與盤點屬性資料

二、導入三維地理資訊系統，擴大應用範疇

本研究案所採用的三維地理資訊系統工具為 SkyLine TerraExplorer Viewer，這是一套免費軟體、可瀏覽融合航照正射影像、衛星影像和地形高程的三維地形，以及 2D/3D 圖層創造的高解析度 3D 環境。提供瀏覽、基本的編輯及基本的測量、分析功能，可於單機、網頁或客製化應用程式中使用。

同時進行蒐集中興新村「辦公廳舍」、「宿舍」及「公共設施」調查資料及既有之二維向量圖檔(包括地籍圖及臺灣通用電子地圖)，匯入本三維地理資訊系統，即可完成單機版之三維多功能資訊管理平臺，各項分析功能說明如後。

(一)空間量測工具

可藉由滑鼠、鍵盤來控制放大、縮小、平移、飛行、旋轉，並可於視窗內進行距離、面積、高程量測；例如可在平臺上用滑鼠點選中興新村牌樓頂點與地面點即可量測牌樓之高度約 14 公尺(如圖 6-35)、用滑鼠點選一個多邊形即可計算面積(如圖 6-36)。

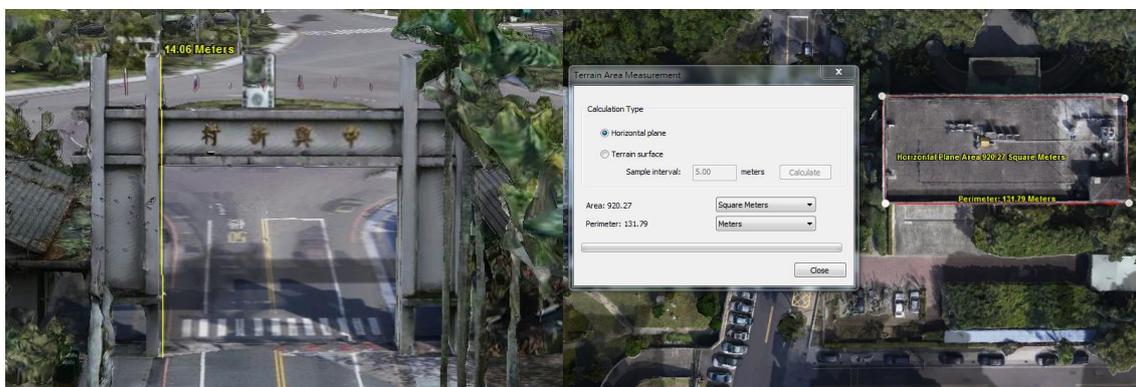


圖 6-35 量測高度

圖 6-36 量測面積

(二)空間分析

三維數據空間分析功能包括可套疊臺灣通用電子地圖(圖 6-37)、地籍圖(圖 3-38)；任意切一地行剖面，顯示最高、最低位置、坡度等功能，並可將斷面位置匯出，以了解地形高低起伏及坡度情形(圖 6-39)。



圖 6-37 套疊臺灣通用電子地圖

圖 6-38 套疊地籍圖

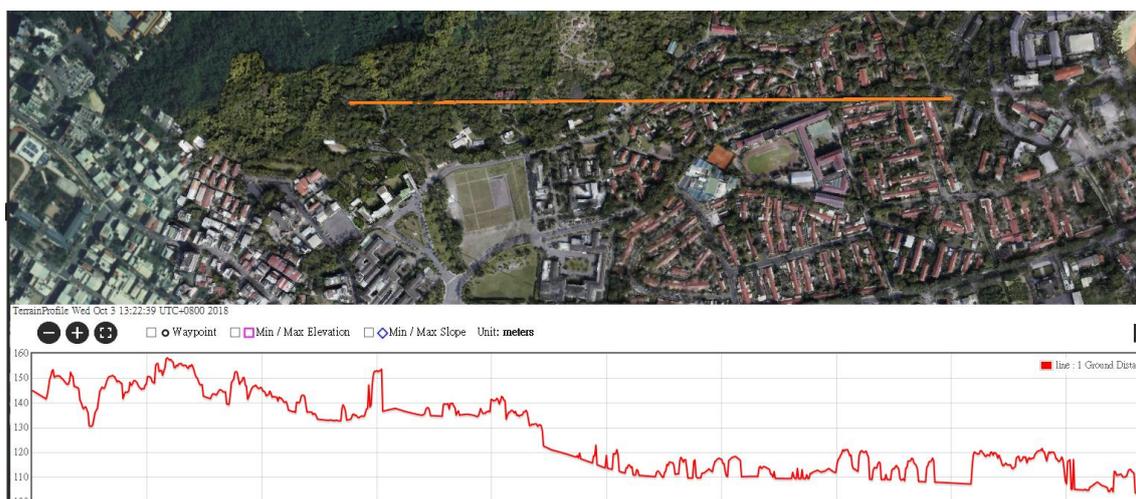


圖 6-39 剖面地形圖

(三)日照權分析

臺灣都會地區人口稠密且寸土寸金，房屋樓層愈蓋愈高，然而，在爭取更多居住空間的同時也逐漸衍生出日照不足的問題。「日照權」是指每個人都有享受陽光的權利，陽光照射良好的住宅能降低病菌孳生、情緒變好及舒緩壓力等正向能量，若長時間居住在陽光不足的房屋裡，居住者的情緒和生理健康皆會受影響，所以日照權被視為人類生存必須的基本權利。

「建築技術規則」建築設計施工編第 39 條之一規定，新建或增建建築物高度超過 21 公尺部分，在冬至日所造成之日照陰影，應使鄰近之住宅區或商業區基地有一小時以上之有效日照，並自 109 年 7 月 1 日施行。

應用 Skyline 工具，於中興新村南核心的空地上，模擬新增兩棟新建築物之後，並可針對建築物陰影遮蔽情況作三維視覺化分析，建築物陰影與太陽的角度、建築物的高度均有相關，使用 skyline 可以設定不同時間，顯示建築物的陰影，可用來分析新建設之建築物對周遭住戶日照權之影響情形。

(四)太陽能產能分析

利用三維模型提供建築物高度、屋頂表面和陽光角度預估值等數據，可提供規劃人員分析哪些建築物適合安裝太陽能板，才可獲

得最有效率的太陽能，並進一步估算一天中可以產生多少太陽能，以及節省能源和成本。

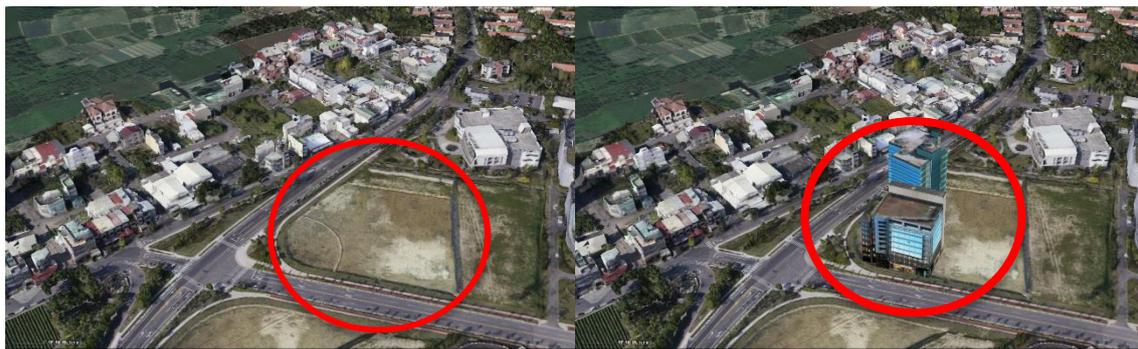


圖 6-40 新增建物



圖 6-41 日照陰影分析

(五) 飛行導覽

可於平臺上設定飛行路徑製作飛行導覽物件，將導覽路徑紀錄後於 3D 視窗撥放，在 3D 環境下可由瀏覽者自行操作移動及飛行姿態，包括飛行的速度、速度增減、離地高度、轉彎及傾角方式，亦可藉由滑鼠、鍵盤、搖桿來控制三度空間移動，透過軟體之飛行控制面板更改飛行參數，獲得目標區導覽畫面、導航鷹眼地圖及屬性顯示獲得全區之最佳觀察效果。



圖 6-42 飛行模擬示意圖

第七章 三維實景三角網模型測製規範

隨著遙控無人機與影像密匹配軟體的普及，使得自動快速建立三維模型的門檻降低，不只在測繪領域，亦有其他行業利用這個方法快速建置實景三維模型。目前中央並未有相關的規範，本研究將根據本案執行經驗及參考國內外相關作法，研提建置三維實景三角網模型之測製規範，以作為未來推廣及規劃之參考。

第一節 作業原則說明

本研究分別就坐標系統、航拍規格、精度要求、模型要求、模型格式等面向，說明測製作業制定原則。

一、坐標及高程系統之要求

依據基本測量實施規則第 6 條，中央主管機關應選定衛星追蹤站作為大地基準，並將其測量成果作為訂定坐標系統之依據。基本控制測量之地心坐標、橢球坐標及平面坐標值計算，應以中央主管機關所定之坐標系統為依據，並以一九九七坐標系統（TWD97）命名，其內容應包括：

- (一)地心坐標框架：依國際地球參考框架及國際時間局所定之標準時刻方位建構而成。
- (二)參考橢球體：採用國際大地測量與地球物理聯合會所定之參考橢球體。
- (三)地圖投影方式採用橫麥卡托投影經差二度分帶：臺灣、小琉球、綠島、蘭嶼及龜山島等地區之中央子午線定於東經 121 度；澎湖、金門及馬祖等地區之中央子午線定於東經 119 度。投影坐標原點向西平移 25 萬公尺，中央子午線尺度比為 0.9999。

依據基本測量實施規則第 7 條，中央主管機關應選定潮位站及水準原點作為高程基準，並將其測量成果作為訂定高程系統之依據。基本控制測量之正高值計算，應以中央主管機關所定之高程系統為依據，並以二〇〇一高程系統（TWVD2001）命名。

綜上，本測製規範亦必須在基本測量實施規則的架構辦理測量，坐標系統採內政部公布最新版之 TWD97，高程系統採 TWVD2001。

二、航拍之要求

(一)航測實施計畫

按國土測繪法第 55 條第 4 項規定，機關、團體或個人為實施國土測繪法所為之航空測量攝影及遙感探測，應向中央主管機關申請核准。申請之資格要件、應備文件、審查程序、影像資料保管、曬製與供應及其他應遵行事項之規則，由中央主管機關定之。

故不論使用有人機或遙控遙控無人機辦理本案航拍，應遵守前開規定，至前開規定應向中央主管機關申請核准，中央主管機關係指內政部，申請資料則規定於實施航空測量攝影及遙感探測管理規則，相關內容請參考附錄 1。

(二)遙控無人機之要求

使用遙控遙控無人機進行拍攝，則需遵守民用航空法之相關規定。民用航空法明定遙控遙控無人機最大起飛重量 250 公克以上、公務機關或法人所有之遙控無人機，應辦理註冊與標示；操作人操作最大起飛重量 25,000 公克以上、公務機關或法人所有之遙控無人機或最大起飛重量 1,000 公克以上不逾 25,000 公克裝置導航設備之遙控無人機，應取得相關操作證後，始得操作遙控無人機，相關規定請參考附錄 2。

另根據交通部民航局航空公報 AIC for Taipei FIR 04/2012 規定，UAS/RPAS 在臺北飛航情報區內作業，須依據航空公報於作業前 15 天向民用航空局提出飛航作業及空域申請。因此經航線規劃後，應於規定時程內檢具申請表、作業空域圖、起降場資訊向民用航空局提出申請遙控無人機作業流程建議如圖 7-1，UAS/RPAS 作業申請表如附錄 3。

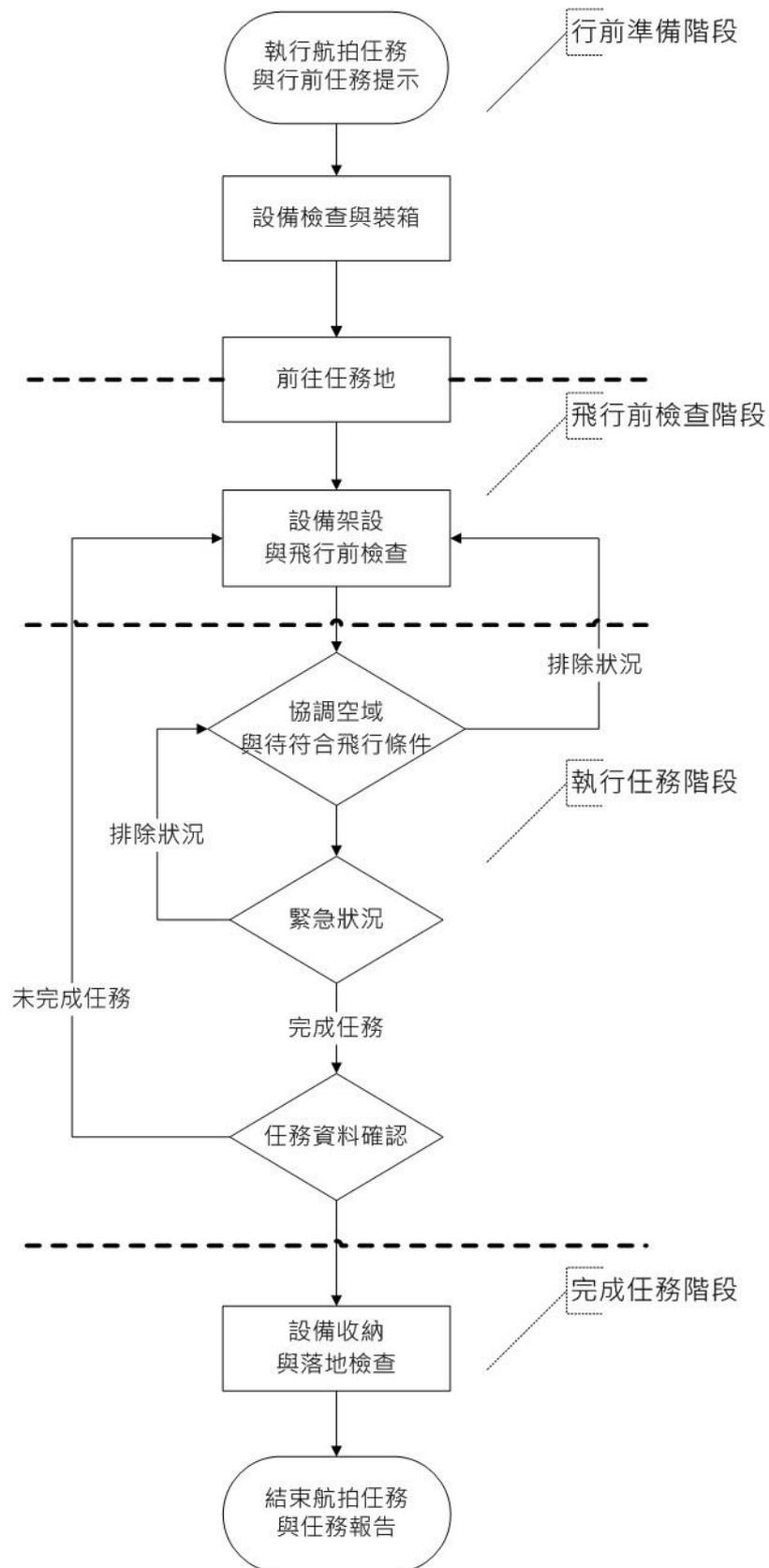


圖 7-1 遙控無人機航拍作業流程

三、三維模型之要求

(一)資料以影像為主、光達為輔

重建三維模型所需的三維點雲資料來源包括光達及影像，利用遙控無人機搭載光達，可於短時間內獲取地表面大量高精度且高密度點雲(Point cloud)資料，可用於萃取建物結構線邊界，不過成本較影像高，且尚無法自動化處理；另影像密匹配得到的點雲會比光達點雲更加綿密，不過使用影像交會出的三維點雲，需透過影像匹配建立多影像間的物像關係，獲得影像間的共軛點及三維點雲，其中需要花費時間，及需考慮匹配成果的除錯，不如光達點雲的即時確切。

考量光達資料尚無法自動化萃取建物結構線，搜集光達資料仍需搭配影像，因此，建議三維實景三角網模型以影像資料為主，適需要再輔以光達資料。

(二)測製精度比照一千分之一地形圖

目前國內製作一千分之一地形圖其航空攝影方式，航帶間影像之重疊率(左右重疊)為 30%，航線內相鄰影像重疊率(前後重疊)為 80%，正射影像，GSD 為 10 公分，為增加影像密匹配成果品質，建議將左右重疊率提升為 60%，前後重疊率維持 80%。平面與高程精度則建議比照一千分之一地形圖，即平面方向 RMS 不大於 25 公分，高程方向 RMS 不大於 30 公分

(三)採用實景影像紋理

使用三維點雲內插計算數值地表模型，數值地表模型表面則以實際航拍取得之影像敷貼。密匹配與 DSM 內插方法不拘，只要所得之點雲成果可符合所規範最低精度要求即可。

(四)適當編修實景模型

為確保模型品質，建議應針對三維實景三角網模型訂定合適的觀看的最大比例尺，在該比例尺下時編輯三維模型，使視覺上一致的程度，並確保建物與周遭基礎設施可清楚辨識。

重建完成之實景模型常因拍攝時人車移動，或其他相對較小物體造成物體只有一半或漂浮於空中，應予以剔除，或還原原始樣貌。而攝影建模之最大缺點為拍攝目標如有水體存在，該水體通常因模型匹配成果不佳影響模型重建成果，該水體會有高低起伏或留下破洞，亦須透過模型編修手段予以還原。另外，建築物立面亦常因為空拍角度取樣不足造成紋理扭曲變形，須以地面攝影進行紋理取樣，並以原攝影角度敷貼至原始模型上。

(五)參考國際標準建立網格式模型

CityGML 係以各種不同細緻度等級 (Level of Detail, LoD) 規範建物三維模型的資料標準，要求建物必須以邊界線表示法 (boundary-representation) 或是幾何體塊 (solid geometry) 來塑造，最重要的是必須建置出建物外廓每個面之間的位相關係 (topology) 以及每個面的屬性，以便供空間分析 (spatial analysis) 之用。

依照 CityGML 國際標準建置模型所需之工期較長，成本太高。為加速都市三維模型建置，本研究建議採用目前科技可快速完成的航測密匹配技術來測製城市模型，並以 OGC 建議之資料標準 I3S 格式來建置三維實景三角網模型。另因三維角網模型缺乏建物的屬性，建議後續可從三角網中萃取出向量模型，並建置屬性，實現三角網與向量的混合模型，增加後續應用的可行性與價值。

(六)優先適用非都會區及有迫切需要之地區

以航測影像自動化匹配方式快速建置 DSM，在遇到都市建物密集或巷道狹窄地區，匹配成果品質將會降低，建議三維實景三角網模型應用在非都會區的模型重建，或需快速建模之地區；而都會區考量建物密集側面紋理不易蒐集，則建議使用大比例尺二維向量圖及三維高程資料進行加值，以建立三維實體模型，後續再視必要性作進一步建模之投資。

四、儀器校正

「基本測量實施規則」第 24 條及「應用測量實施規則」第 12 條均規定辦理測量業務之儀器均應定期送校，其中「基本測量實施規則」更明定儀器應定期送國家度量衡標準實驗室或簽署國際實驗室認證聯盟相互承認辦法之認證機構所認證之實驗室辦理校正，爰此，亦規定測製三維模型所使用之儀器包括 GNSS、航測攝影機均須於辦理校正。

五、作業流程

三維實景三角網模型作業流程如圖 7-2。

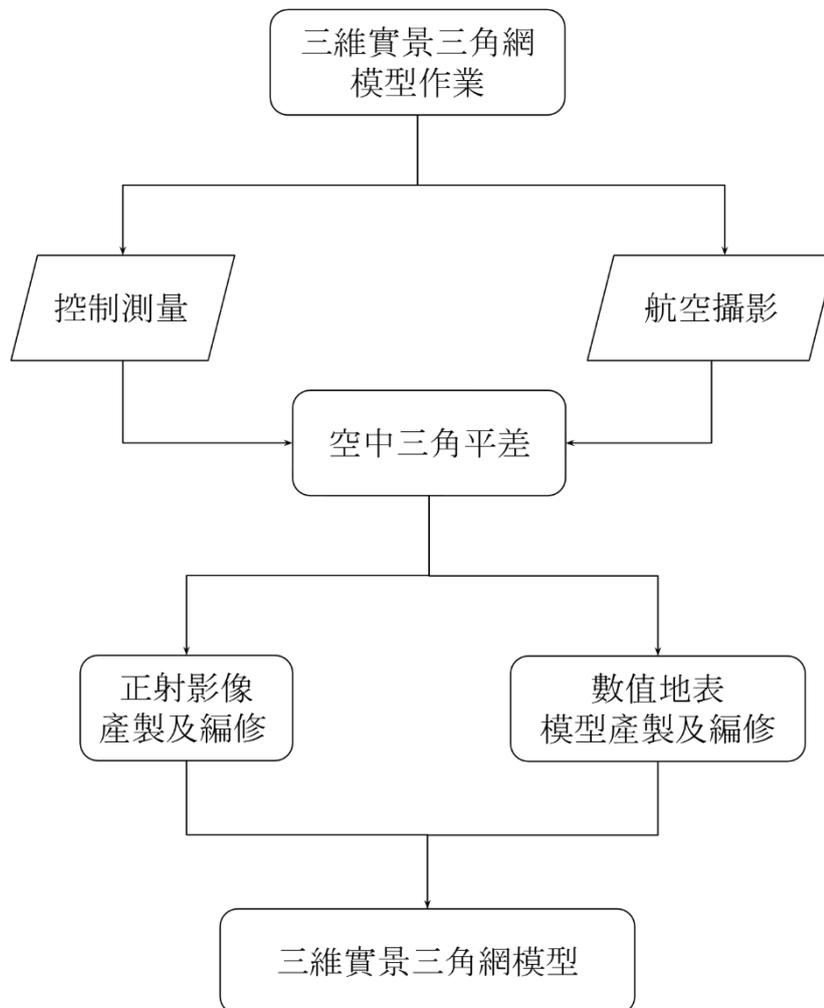


圖 7-2 三維實景三角網模型製作流程

第二節 研擬三維實景三角網模型作業規範

根據本案執行經驗及參考國內外相關作法，研提建置三維實景三角網模型之測製作業規範(草案)，相關內容說明如後。

一、擬定測製計畫

- (一)航空攝影前應擬訂航空攝影計畫，其內容應符合內政部「實施航空測量攝影及遙感探測管理規則」所規定實施計畫書內容項目。
- (二)為確保成果品質，辦理本項作業所使用之衛星定位儀、航測攝影機等裝備，至少 3 年內送至國家度量衡標準實驗室或簽署國際實驗室認證聯盟相互承認辦法之認證機構所認證之實驗室校正一次，並出具校正報告。

二、控制測量

- (一)坐標系統：使用內政部所定之一九九七坐標系統(TWD97)為原則，並採用內政部最新公布之坐標成果。
- (二)高程系統：使用內政部所定之二〇〇一高程系統(TWVD2001)為原則，並採用內政部最新公布之正高成果，無 TWVD2001 成果地區則以內政部提供之高程成果為原則。
- (三)測控制點之分布，應符合空中三角區域平差之要求，另為確保空中三角測量品質，應選擇至少 5 個均勻分布於測區之檢核點，供空中三角平差成果檢核。
- (四)航測控制點之精度應符合基本控制測量實施規則之加密空製測量規定。

三、航空攝影

- (一)GSD 尺寸不得大於 10 公分。
- (二)拍攝載具須搭載 GNSS 及 IMU。
- (三)航拍應涵蓋測區範圍，垂直航拍應採正交之交叉航帶攝影方式，航帶之前後重疊方式不得低於 80%，側向重疊率不得低於

60%，除垂直攝影外，亦可增加傾斜攝影，輔助密匹配及影像數貼使用。

四、空中三角測量

為獲得各影像之外方位參數應辦理空中三角測量，空中三角測量平差計算，先以最小約制(或自由網)平差，以進行粗差偵測並得到觀測值精度的估值，其觀測值之殘餘誤差均方根值不得大於 8 微米，其次進行強制附合至控制點上平差，其觀測值之殘餘誤差均方根值不得大於 12 微米。

五、三維模型

(一)原則上以航拍影像密匹配所得之點雲為主，但如有較影像匹配所得品質更高之測量方法，如空載或地面光達測量，亦得採用之。

(二)使用三維點雲內插計算數值地表模型，數值地表模型表面則以實際航拍取得之影像數貼。

(三)在適當的比例尺下應編修模型，改善側面扭曲變形、破損或增生的現象，不得有肉眼可見之錯位、色調不均勻之情況，並確保建物與周遭基礎設施可清楚辨識。

(四)模型之平面精度優於 25 公分，高程精度優於 30 公分。

(五)網格資料格式 OGC I3S。

(六)為使後續 3D GIS 平臺可瀏覽順暢，必須製作不同細緻度(Level of Detail, LOD)的三維模型。

六、繳交成果

原始航拍影像、空中三角測量成果、密匹配原始點雲、真實正射影像、數值地表模型、三維實景三角網模型、工作總報告書。

第八章 結論與建議

第一節 結論

1. 建立城市之三維模型為推展智慧城市之關鍵步驟，世界各國亦競相發展；虛擬中興新村計畫研究是利用遙控無人機機動性高、可於雲下作業的特性，取得中興新村多視角影像(垂直及傾斜)，透過影像密匹配處理，除可獲得三維實景三角網模型外，亦可一併產製高密度數值地表模型、真實正射影像，是一種自動化程度高、效率高、精度高的方法。另本研究案所研提的測製規範，可提供相關單位參考，俾確保三維實景三角網模型品質。
2. 中興新村面積約 260 公頃，遙控無人機以前後重疊 80%、側向重疊 60%、航拍高度約 330 公尺，規則井字型拍攝，取得影像數量計 2,348 張，平均地面解析度約 3 公分。布設地面控制點計 37 點，經空中三角平差計算後，17 個檢核點之平面坐標平均較差為 3.3 公分，均方根值為 3.6 公分，高程平均較差為 9 公分，均方根值為 16.2 公分，平面精度優於高程精度，且均優於一千分之一地形圖之精度要求。中興新村建物大都屬低矮建物，全區使用井字型帶微傾斜角拍攝方式，可得到全區最平均且最完整的實景模型效果，另以實際拍攝的影像敷貼建物側面，比傳統填補方式的假設紋理更真實，惟部分牆面受到樹木遮蔽，導致紋理影像不完整；另區域式的環繞傾斜攝影，亦可增加部分側面影像，效果有限；包覆式精緻建模拍攝，可讓被攝建物或主體獲得最精緻的拍攝效果，惟所需拍攝時間亦較長。
3. 數值地表模型(DSM)是以數值化的方式展現三維空間地形的起伏變化，內政部目前採用空載光達產製 DSM 的作業規定，每平方公尺要求是至少要有兩點以上的點雲，本研究案所產製高密度 DSM(GSD 10 公分)，每平方公尺的點雲數量有 100 點，為內政部空載光達 DSM 的 50 倍，另由檢核點高程精度可知(平均較差為 9 公分，均方根值為 16.2 公分)，亦符合內政部空載光達點雲高程精度要求 25 公分(平坦地區)，故產製之高密度 DSM 可用於全臺 DSM 局部更新使用。

4. 傳統正射影像改正程序僅處理傾斜位移以及地表起伏所產生的高差位移，並未對建築物進行高差位移修正，同時也未對建物遮蔽區修正影像資訊，造成都市區影像中，高樓和立體交會之道路系統於正射影像中仍有幾何變形及錯誤殘影，嚴重影響到成果之可用性與正確性。本研究案利用多視角影像及高密度 DSM 資料，將原中心投影之航拍像片，以微分糾正方法消除像片上因相機傾斜及地表所造成傾斜移位及高差位移，逐點糾正為正射投影，製作近真實正射影像，可展示地物的正確位置與形狀，如同地形圖般具有可量測性，提升正射影像的品質。
5. 利用遙控無人機搭載光達，雖可於短時間內獲取地表面大量高精度且高密度點雲資料，萃取建物結構線，惟尚無法自動化處理且所需成本較影像高；另影像密匹配得到的點雲會比光達點雲更加綿密，不過使用影像交會出的三維點雲，需透過影像匹配方可獲得三維點雲，其中需要花費時間，不如光達點雲的即時確切，不過透過影像密匹配可自動產製三維模型，目前仍以可自動化完成三維模型建模之影像密匹配為主要三維點雲資料來源。
6. 室內製圖的問題在於室內無法接收 GNSS 訊號及室內環境的限制，本研究案採用手移式的光達搭配 SLAM 技術，可克服前開問題，由測試結果發現手持式之光達掃描系統於室內三維圖資蒐集上，的確可以達到很好的效能，可供後續發展無接縫的三維圖資技術參考。
7. 傳統的國有財產勘查係以勘查人員親自到每一筆土地到現場勘查，以本案中興新村國有房地勘查為例，中興新村面積約 260 公頃，國有房地範圍內計有 1 千多筆國有房舍及土地須勘查，使用遙控無人機航拍所需要外業天數約 4 天，內業處理約 10 天，比起 4 位勘查人員，需花費 62 天，節省近 77% 外業調查時間。因此，使用本方法輔助外業勘查工作，可有效減少外業勘查工作量。另透過三維地理資訊系統互動式操作，可強化資料可讀性，搭配該系統的空間分析、模擬規劃、陰影分析等工具，可讓使用者有身歷其境的虛擬體驗，參與城市總體規劃的互動，輔助中興新村活化，提供未來智慧城市及物聯網應用所需。

第二節 建議

1. 遙控無人機搭配傾斜攝影可快速、自動化產製三維實景三角網模型，雖可於虛擬世界真實展示中興新村；因該模型缺乏建物的屬性，應用將受限；建議後續可參考國際標準，訂定適合國內之三維資料標準，並研究從三角網中萃取出向量模型、建置屬性，朝向三角網與向量的混合模型，確保未來不同單位建置的資料可輕易串連，並由專責機關負責建置多維度圖資服務平臺，開發高共通性應用服務，增加後續應用的可行性與價值。
2. 本研究是以空中影像為基礎進行影像密匹配產製三維模型，並試辦以光達點雲資料萃建物結構線，惟須以人工方式繪製，建議後續可研究結合 AI 辨識技術，針對點雲之線、面進行自動化特徵物萃取，以取得建物模型框架，提升產製效能。
3. 建議未來可結合空中遙控無人機與地面車載移動測繪系統，研究陸空資料整合處理方式，以充分利用不同載具優點及互補性，快速蒐集資料並利用精進處理模式產製三維空間資訊，提供局部圖資更新、國土監測及緊急災害應變使用，同時利用三維空間資訊結合 AI、AR、VR 等新科技應用，擴大圖資效益及應用層面。
4. 103 年高雄氣爆及 107 年桃園工廠火災發現，國內尚缺乏室內三維地圖、部分地下三維管線與實際位置有差異，建議未來國家基礎圖資應結合地下、室內、室外整合成無接縫三維地圖，並隨時維護圖資正確性，以確保災害防救業務可以安心使用，並促進數位國家創新經濟發展方案之智慧城鄉及民生物聯網等多元增值應用，並達成跨部門、跨領域、跨地域之協同合作，創造地理空間資訊在政府施政應用的無限可能，更進一步達到智慧城市之目標。
5. 活化中興新村是目前政府非常重視的一項工作，本研究案已建立中興新村三維模型，建議後續可導入更多生活資訊(如氣象、交通、人口等等)，並提供相關單位進行虛擬實驗提供政府決策參考，例如模擬緊急災害發生時人群分散的狀況，檢查 3G/4G 網路信號的覆蓋範圍，改善覆蓋率差的區域，找出太陽能板最佳的設置地點打造成綠能城市，進一步將中興新村打造成智慧城市的示範區。

參考文獻

1. 內政部，2007。三維數位城市模型先期建置工作，成果報告。
2. 內政部，2011。100 年度多尺三維數位城市技術規劃工作案，成果報告。
3. 內政部，2012。101 年度三維城市模型技術發展與更新機制工作，成果報告。
4. 內政部，2013。102 年度三維城市模型技術發展與更新機制工作，成果報告。
5. 內政部，2014。103 年度三維城市模型與建築等級之整合機制工作，成果報告。
6. 內政部，2015。104 年度三維城市模型與建築等級之整合機制工作，成果報告。
7. 內政部，2016。105 年度三維地形圖資技術發展工作，成果報告。
8. 內政部，2017。106 年度三維地形圖資技術發展工作，成果報告。
9. 內政部國土測繪中心，2016，105 年度三維近似建物模型試辦計畫。
10. 內政部國土測繪中心，2017，106 年度基本地形圖修測計畫工作總報告。
11. 蔡展榮，2017。影像密匹配特刊，航測及遙測學刊，第 22 卷，第 3 期。
12. 張智安、郭怡伶 2017。半全域匹配法於福衛二號立體影像之數值地表模型重建，航測及遙測學刊，第 22 卷，第 3 期。
13. 趙智凡、籐偉庭、楊明德，2016。應用多視立體及運動回復結構之三維場景重構，航測及遙測學刊，第 20 卷，第 2 期，第 129-137 頁。
14. 李姝儀、黃鉅富，2018。台灣地理資訊學會年會暨學術研討會。
15. 迅聯光電有限公司，2018，取自 <http://www.linkfast.com.tw/>。

16. 數位地球科技有限公司，2018，取自 <http://www.geo3dearth.com.tw/>。
17. ArcGIS, <https://www.arcgis.com/index.html>, last accessed date:18/10/2018.
18. GeoSLAM Web , https://geoslam.com/wp-content/uploads/2018/04/GeoSLAM-ZEB-REVO-RT-Solution_v4.pdf?x97867, last accessed date:18/10/2018.
19. Helmut Mayer, 2015. - From Orientation to Functional Modeling for Terrestrial and UAV Images , 55th Photogrammetric Week,University of Stuttgart, Germany, pp. 59-70.)
20. Smart City Expo 2014, <http://www.smartcityexpo.com/>,last access:18/4/ 2018.
21. TechTarget ,<https://whatis.techtarget.com/definition/3D-mesh> , , last accessed date: 26/10/2018.
22. Matikainen, L., Hyypä, J.,and Kaartinen, H., 2004. Automatic detection of changes from laser scanner and aerial image data for updating building maps. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 35(B2): 434-439.
23. National Research Foundation ,Virtual Singapore, <https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore>, last accessed date:18/10 2018
24. Nicholas, B. and D. Kruiemel, 2018. "Singapore: Towards a Smart Nation", GIM International, URL: <https://www.gim-international.com/content/article/singapore-towards-a-smart-nation>, last updated date: 12/01/2018.
25. OGC, 2012. OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard, <http://www.opengeospatial.org/standards/citygml> ,last access: 18April 2018.

26. patentlyapple , <https://www.patentlyapple.com/patently-apple/2016/12/apple-acquired-another-indoor-mapping-company-and-prepares-to-use-drones-to-improve-apple-maps-live-data.html> ,last accessed date: 26/10/2018.

附錄 1 實施航空測量攝影及遙感探測管理規則

<p>第 2 條</p>	<p>機關、團體或個人（以下稱辦理單位）申請實施本法測繪所為之航空測量攝影（以下簡稱航攝）及遙感探測（以下簡稱遙測），應具備下列資格：</p> <p>一、備有航攝或遙測性能之航空器或遙測性能之衛星者，或取得載臺管理機關或普通航空業之行政協助或勞務服務者。</p> <p>二、備有整套航攝儀器及底片沖洗曬印或影像處理設備者，或備有整套遙測儀器及影像處理設備者。</p> <p>前項之團體負責人及個人應具有中華民國國籍。</p>
<p>第 3 條</p>	<p>辦理單位實施航攝或遙測，應檢附下列文件向中央主管機關提出申請：</p> <p>一、實施計畫書三份。</p> <p>二、航攝或遙測地區範圍圖。</p> <p>三、辦理航攝或遙測業務之設備清冊：</p> <p>（一）航空器或衛星之類型及機號。</p> <p>（二）航攝或遙測儀器與沖洗曬印或影像處理設備之種類、名稱及數量。</p> <p>四、團體及個人應另附人民團體立案證書、法人登記證明文件或其他足資證明身分文件之影本。</p> <p>前項實施計畫書，應記載下列事項：</p> <p>一、目的。</p> <p>二、航攝或遙測地區及範圍。</p> <p>三、作業方法、航攝或遙測之航高、航速、比例尺、地面解析度、航線及重疊比等。</p> <p>四、實施航攝或遙測作業人員之姓名、年齡、住址、職務及國民身分證統一編號。</p>

	<p>五、經費概算表。</p> <p>六、實施期間。</p> <p>七、預計成果。</p> <p>八、取得載臺管理機關之行政協助案件應附相關公文，取得載臺管理機關或普通航空業之勞務服務案件應附承攬契約書。</p> <p>九、獲取之影像或其他相關資料須送往其他國家處理者，其理由。</p> <p>十、其他有關事項。</p>
--	--

附錄 2 民用航空法(遙控無人機規定)

<p>第 99-10 條</p>	<p>自然人所有之最大起飛重量二百五十公克以上之遙控無人機及政府機關（構）、學校或法人所有之遙控無人機，應辦理註冊，並將註冊號碼標明於遙控無人機上顯著之處，且一定重量以上遙控無人機飛航應具射頻識別功能。</p> <p>下列遙控無人機之操作人應經測驗合格，由民航局發給操作證後，始得操作：</p> <p>一、政府機關（構）、學校或法人所有之遙控無人機。</p> <p>二、最大起飛重量達一定重量以上之遙控無人機。</p> <p>三、其他經民航局公告者。</p>
<p>第 99-11 條</p>	<p>遙控無人機設計、製造、改裝，應向民航局申請檢驗，檢驗合格者發給遙控無人機檢驗合格證；其自國外進口者，應經民航局檢驗合格或認可。但因形式構造簡單且經民航局核准或公告者，得免經檢驗或認可。</p>
<p>第 99-12 條</p>	<p>外國人領有外國政府之遙控無人機註冊、操作及檢驗合格等證明文件者，得向民航局申請認可後，依本章之規定從事飛航活動。</p>
<p>第 99-13 條</p>	<p>禁航區、限航區及航空站或飛行場四周之一定距離範圍內，禁止從事遙控無人機飛航活動；航空站或飛行場四周之一定距離範圍由民航局公告之。</p> <p>前項範圍外距地表高度不逾四百呎之區域，由直轄市、縣（市）政府依公益及安全之需要，公告遙控無人機活動之區域、時間及其他管理事項。但相關中央主管機關認有禁止或限制遙控無人機飛航活動之需要者，得提請所在地之直轄市、縣（市）政府公告之，</p>

	<p>直轄市、縣（市）政府應配合辦理。</p> <p>政府機關（構）、學校或法人執行業務需在第一項範圍之區域從事遙控無人機飛航活動，應申請民航局會商目的事業主管機關同意後，始得為之。</p> <p>政府機關（構）、學校或法人執行業務需在第二項公告之區域、時間及其他管理事項外從事遙控無人機飛航活動，應申請直轄市、縣（市）政府會商相關中央主管機關同意後，始得為之。</p> <p>未經同意進入第一項禁航區、限航區活動之遙控無人機，由禁航區、限航區之管理人採取適當措施予以制止或排除；必要時，得通知民航局會同警察機關取締。</p> <p>未經同意進入第一項航空站或飛行場四周之一定距離範圍內活動之遙控無人機，由航空站、飛行場之經營人、管理人會同航空警察局取締；必要時，並得洽請有關機關協助執行。</p> <p>未經同意於第二項公告之區域、時間及其他管理事項外活動之遙控無人機，由直轄市、縣（市）政府取締；必要時，得洽請警察機關協助取締。但未經同意進入政府機關（構）區域之遙控無人機，政府機關（構）可採取適當措施予以制止或排除。</p>
<p>第 99-14 條</p>	<p>從事遙控無人機飛航活動應遵守下列規定：</p> <ol style="list-style-type: none"> 一、遙控無人機飛航活動之實際高度不得逾距地面或水面四百呎。 二、不得以遙控無人機投擲或噴灑任何物件。 三、不得裝載依第四十三條第三項公告之危險物品。 四、依第九十九條之十七所定規則之操作限制。 五、不得於人群聚集或室外集會遊行上空活動。

- 六、不得於日落後至日出前之時間飛航。
- 七、在目視範圍內操作，不得以除矯正鏡片外之任何工具延伸飛航作業距離。
- 八、操作人不得在同一時間控制二架以上遙控無人機。
- 九、操作人應隨時監視遙控無人機之飛航及其周遭狀況。
- 十、應防止遙控無人機與其他航空器、建築物或障礙物接近或碰撞。

政府機關（構）、學校或法人經檢具有關文書向民航局申請核准者，得不受前項第一款至第八款規定之限制。

前項政府機關（構）、學校或法人，從事核准之遙控無人機飛航活動前，應向民航局申請許可；其涉及第一項第五款之限制者，應先取得活動場地之直轄市、縣（市）政府及相關中央主管機關之同意。

附錄 3 無人駕駛航空器系統(UAS)在臺北飛航情報區之作業

<p>第 1 點</p>	<p>無人駕駛航空器系統(以下簡稱 UAS)包括依據預設程序自主飛行之空用無人載具或由地面遙控站(以下簡稱 RPS)操作之遙控駕駛航空器系統(以下簡稱 RPAS)。因目前多數 UAS 尚不具備感測與避讓功能，先進國家對 UAS 之作業空域仍有許多限制措施並限定於國防、公務等用途；惟因其操作與維護較載人航空器成本低廉，已逐漸影響載人航空器使用空域與飛航作業。國際民航組織(以下簡稱 ICAO)已分別於 2011 年 3 月及 5 月發布 UAS 作業之相關通告(Circular-328 暨 Circular-330)及其後續規劃文件，作為此類航空器在民用航空領域運用之參考規範。另參照 ICAO 規範，遙控模型航空器(Remote Control Model Aircraft)屬娛樂及運動用途，不在本航空公報管理範圍。</p> <p>UAS/RPAS 在臺北飛航情報區(以下簡稱本區)內作業，須以「不威脅載人航空器飛航作業，不危害地面人員生命、財產安全，不影響現行飛航服務優先順序」為考量。本區因地狹人稠且空中交通擁擠，為有效使用空域，交通部民用航空局(以下簡稱本局)對 UAS 作業案件之申請，依據「民用航空法」第三十四條暨「交通部民用航空局對機場四周禁止施放有礙飛航安全物體實施要點」，針對特定對象、視個案任務特殊性並考量申請單位各方面的安全作為實施審查。</p> <p>本航空公報提供 UAS 在本區安全作業之必要資訊與作業程序，期使本區之空域更能經濟有效運用。</p> <p>本航空公報取代 AIC 03/2011，並於 102 年 01 月 01 日生效。</p>
<p>第 5 點</p>	<p>申請方式：</p>

申請方式區分為平時與緊急兩類，平時由使用機關向本局提出申請，作業期限一次以 3 個月為限；緊急時使用依「國土空間情報管理機制」辦理：

平時：

應於作業前 15 天向本局提出申請，UAS/RPAS 作業申請表如附件 1。

如實施「國土測繪法」所為之航空測量攝影與遙感探測，應先向內政部地政司申請核准。

如使用專用頻道應向國家通訊傳播委員會申請核准。

緊急：

應於作業前向國家災害防救科技中心提出申請，再由其協調本局發布公告後執行空拍任務。

國防單位申請依其「國軍無人駕駛航空器系統空域管制作業程序」辦理。

附件 1

無人航空器系統 (UAS) 作業申請表

作業名稱				
用途	(研究計畫請加註計畫編號並檢附主管機關核定文件)			
委託單位	(無委託者免填)			
申請單位				
申請單位承辦人	姓名		電話號碼	
作業現場負責人	姓名		行動電話	
駕駛人員	姓名		行動電話	
	姓名		行動電話	
協調人員	姓名		行動電話	
作業日期及時間 (24 時制)	自	____年__月__日起	至	____年__月__日止
	自	____時____分起	至	____時____分止
空域範圍各點連線(WGS-84/可視需要增加欄位)	1.北緯	____度____分____秒	東經	____度____分____秒
	2.北緯	____度____分____秒	東經	____度____分____秒
	3.北緯	____度____分____秒	東經	____度____分____秒
	4.北緯	____度____分____秒	東經	____度____分____秒
作業高度	自____英呎至____英呎 (AMSL, Above Mean Sea Level) 實際高度(平地/山區)____英呎 (AGL, Above Ground Level)			
UAS/RPAS 起飛/降落地點名稱與座標(WGS-84)	起飛/降落地點名稱			
	北緯	____度____分____秒	東經	____度____分____秒
作業範圍中心點座標(WGS-84)	北緯	____度____分____秒	東經	____度____分____秒
作業半徑(海哩)				
作業概述				
備註	<p>1.本申請表填寫時，請自行依實際需要調整欄位。</p> <p>2.請配合完成「無人駕駛航空器系統(UAS)在臺北飛航情報區之作業」要求事項後，並於實施作業前十五天，向交通部民用航空局提出申請。</p>			
<p>茲聲明以上所填資料均屬實無誤，並確實遵守「國土測繪法」、「要塞堡壘地帶法」、「國家機密保護法」、「實施航空測量攝影及遙感探測管理規則」及使用國家通訊傳播委員會核准專用頻道等相關規定，保證操作組員熟悉本區飛航指南及相關飛航規則內容，已完成相關空域協調，作業期間絕不影響載人航空器飛航安全或地面人員及財產安全，並同意依交通部民用航空局、航管單位及軍方相關單位指示事項進行作業，倘有違反前述之情事，願負一切法律責任。</p> <p>申請單位：_____ (蓋章)</p> <p>中華民國_____年_____月_____日</p>				