

新北市政府一一一年度自行研究報告

三 維 建 模 技 術 之 分 析 與 應 用

研究機關：新北市政府城鄉發展局

研究人員：郭韋倫

研究期程：111 年 1 月 1 日至 111 年 12 月 31 日

新北市政府一一一年度自行研究成果摘要表

計畫名稱	三維建模技術之分析與應用
期程	111年1月1日至111年12月31日
經費	無
緣起與目的	<p>隨著社會科技進步，過往的二維資訊已經無法滿足現今各種需求，利用三維建模技術所記錄下來的資訊與二維圖像資料相比更讓人一目了然。</p> <p>三維建模目前以攝影測量配合電腦視覺、光達掃描技術為主要的方法，兩者所取得的資料直接來自於建築本體，並可間接求得空間坐標值，因此快速地建構模型，最重要的是在最低干擾與無污染的情況進行，符合永續發展的目標趨勢。</p>
方法與過程	<p>本研究目的將比較分析現今各種三維建模方法，整理優缺點以及相關特性，並思考未來在政策運用上的可行性，藉此順應數位科技發展的潮流。</p> <p>利用三維建模技術中的攝影測量方法，將都市計畫範圍內的城市或特定建物，以影像拍攝方式建立工作流程。</p>
研究發現及建議	<p>本研究以測量與空間資訊領域中的三維建模技術作為建立城市模型的方法，利用攝影測量方法為基礎，最後完成自動化的建模，並在短時間且低成本的情況下，取得具有真實度的三維建模成果。</p> <p>希望未來能結合近年新科技如虛擬實境或擴增實境等技術，達三維建模的進階應用，並結合GIS空間分析技術，達成城市防救災工作，最後打造與三維資訊密不可分的智慧城市。</p>

目錄

一、緒論.....	6
1.1 研究動機與目的.....	6
1.2 研究方法.....	6
二、文獻回顧及理論	8
2.1 建物細緻度(Level Of Detail, LOD)	8
2.2 三維模型建立方法.....	9
2.3 影像建模理論基礎.....	16
2.4 影像建置三維模型軟體.....	20
2.5 視覺化建模軟體.....	22
三、研究應用-建置新北市三維城市模型	25
3.1 建置範圍.....	25
3.2 新莊副都心、頭前重劃區試辦區	29
3.3 航測密匹配技術建置三維模型	32
四、結論與建議	36
4.1 結論.....	36
4.2 建議.....	37
五、參考文獻.....	38

圖目錄

圖 1 數值地形圖建模.....	10
圖 2 建物測量成果圖建模.....	11
圖 3 空載光達建模.....	12
圖 4 地面光達建模.....	13
圖 5 航空攝影影像建模.....	14
圖 6 近景攝影影像建模.....	15
圖 7 SfM 架構流程圖.....	18
圖 8 MVSNet 流程圖	19
圖 9 研究應用建置範圍.....	27
圖 10 新莊副都心、頭前重劃區試辦三維模型建置	29

表目錄

表 1 建物細緻程度分級.....	8
表 2 三維建模方法比較.....	15
表 3 影像處理軟體建模比較.....	22
表 4 視覺化建模軟體比較.....	25
表 5 研究應用建置範圍比較表.....	28
表 6 LOD2 成果	30
表 7 LOD3 成果	31
表 8 航測密匹配技術建置三維模型.....	33

摘要

隨著社會科技進步，過往的二維資訊已經無法滿足現今各種需求，利用三維建模技術所記錄下來的資訊與二維圖像資料相比更讓人一目了然。

本研究比較現今三維建模方法，歸納出利用以攝影測量建模技術為基礎的影像建置三維模型軟體，最終可獲得短時間、低成本的三維建模成果。將此初步成果藉由相關視覺化軟體，進行模型的編修與渲染，使三維模型能更符合真實性，最後完成都市計畫城市模型建置的工作。

最後將三維建模技術應用於城市治理上，利用三維建模技術中的攝影測量方法，將新北市都市計畫區的城市做初步三維建模，在低污染、低成本的情況下進行保存，達成永續發展的目標。未來藉由進階的應用，取代過去需實際抵達現場的現地勘查方式，最終不受時間與空間限制，達成都市規劃的介紹，最終建立以三維模型資訊為基礎的智慧城市。

一、緒論

1.1 研究動機與目的

隨著社會科技進步，過往的二維資訊已經無法滿足現今各種需求，三維建模技術因此被廣泛應用，利用三維建模技術所記錄下來的資訊包括幾何坐標、顏色、規模、材質及紋理等，這些數據資料使建築物得以視覺化方式呈現，並強調其空間性，與二維圖像資料相比更讓人一目了然。

三維建模目前以攝影測量配合電腦視覺、光達掃描技術為主要的方法，兩者所取得的資料直接來自於建築本體，並可間接求得空間坐標值，因此快速地建構模型，最重要的是在最低干擾與無污染的情況進行，符合永續發展的目標趨勢(張舜孔、邵慶旺、蔡育林、陳俊宇，2013)。

本研究目的將比較分析現今各種三維建模方法，整理優缺點以及相關特性，尋找其各自適合應用的領域，並思考未來在政策運用上的可行性，藉此順應數位科技發展的潮流。

1.2 研究方法

本報告採用資料蒐集法及資料分析法，首先蒐集相關之理論基礎與文獻，對三維建模方法做出說明，並比較其之間的優劣勢，探討各

種方法現今所應用的領域；接著對相關建模軟體進行比較分析，考量低技術門檻、低成本與快速建模等因素，找出作業操作最容易且適合的建模軟體；最後根據提出之研究方法與成果進行討論，並提出未來進行相關應用之建議。

二、文獻回顧及理論

2.1 建物細緻度(Level Of Detail, LOD)

2008 年開放地理空間協會(Open Geospatial Consortium, OGC)，訂定城市地理標記式語言(City Geographic Markup Language, CityGML)的分級標準，將三維模型的細緻程度分為五級，從 LOD0 到 LOD4 而細緻程度由低到高，不同尺度標準應用於適當目的，以下對建物細緻度進行說明(Gröger, Kolbe, Czerwinski and Nagel, 2008；Löwner, Benner, Gröger and Häfele, 2013；蔡富安、張智安、張桓、陳良健、陳杰宗，2013；高琬婷，2015；Biljecki, Ledoux and Stoter, 2016)。

表 1 建物細緻程度分級

模型展示	細緻度	名稱	結構描述
	LOD 0	數值地形模型	區域地景尺度，精度最低，以 2.5D 的數值地形模型 DTM (Digital Terrain Model) 來展示，表現地表高低起伏。
	LOD 1	積木模型	城市、鄉鎮區尺度，精度低，又稱 Block Model，以稜柱與無屋頂結構體構成大範圍模型。
	LOD 2	結構建物模型	行政區尺度，精度中，又稱 Structure Model，具有不同方向屋頂與紋理牆面等結構，範圍與精度皆為中階層級。
	LOD 3	細緻建物模型	建物模型外部尺度，精度高，又稱 Architectural Model，建物外部新增如

			窗、門、陽台等結構物，其牆面紋理為更高解析度之影像。
	LOD 4	細部建物模型	建物模型內部尺度，精度最高又稱 Interior Architectural Model，以 LOD3 模型再新增內部結構物，細緻度為最高層級。

資料來源：Gröger, et al., 2008；高琬婷，2015

2.2 三維模型建立方法

三維建模的方法依據建立的資料格式，可分為向量式圖資、光達點雲、攝影影像，以下就三種方式建模步驟與實際案例做說明並將其做比較。

2.2.1 向量式圖資

向量式圖資主要分為數值地形圖以及建物測量成果圖，兩者皆是將實體圖資以數化技術轉換成電腦可讀取的數值檔案，以利後續進行建模的程序。

以數值地形圖建模的步驟，首先利用相關繪圖軟體進行擷取資料，將地形圖的建物輪廓予以儲存；接著進行輪廓的編輯，錯誤的部分進行改正或刪除；若有建物在相鄰的地形圖分開，需要進行合併，目的是減少資料的儲存容量；最後加入建物樓層的高度，藉由高度的屬性資料將建物輪廓進行拉升，完成三維模型的

建置(張毅雄，2010)。Ledoux 將其用來建置城市大範圍的模型，且認為數值地形圖是相對容易進行自動化的建模方法，但缺點為建置細緻的模型較困難(Ledoux and Meijers, 2011)。

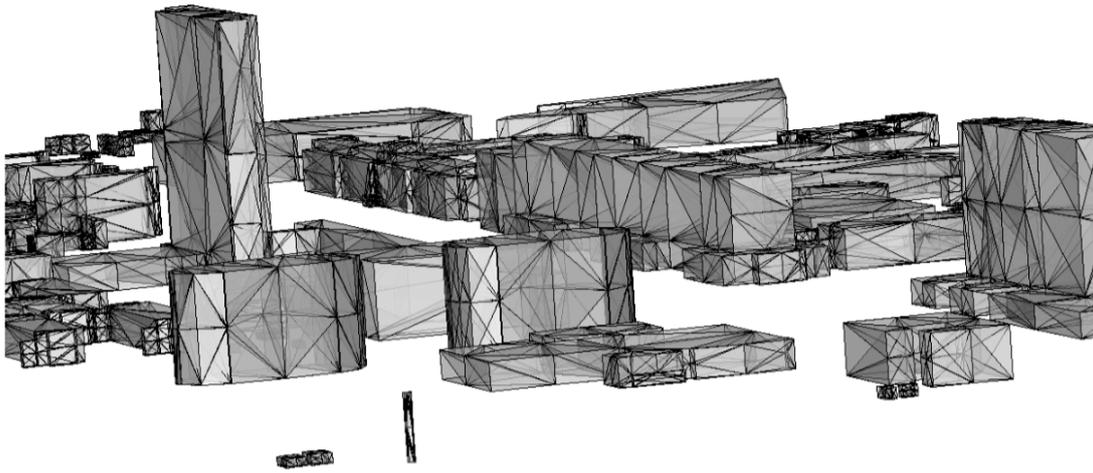


圖 1 數值地形圖建模

資料來源：Ledoux and Meijers, 2011

建物測量成果圖藉由建築的平面圖與位置圖特性進行建模。其程序為將不同樓層的平面圖先轉換為相同坐標系上；利用相同的邊界線，並依據竣工圖的註記高度進行主建物拉升建模；附屬建物如陽台、雨遮等，同時進行高度的拉升，產製出某一樓層的模型；最後進行樓層對齊，完成具有主建物與附屬建物的三維建物模型(馮怡婕，2009)。江渾欽將建物平面圖所建立的三維模型，進行推動三維地籍的研究，主要目的為發展多目標價值並應用於後續管理(江渾欽，2013)。

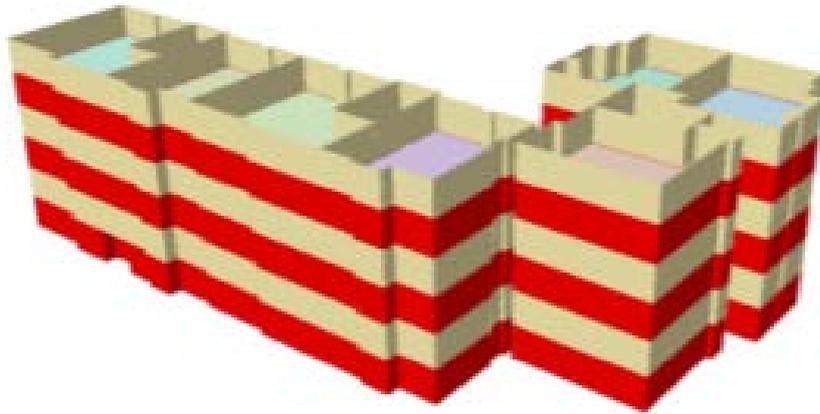


圖 2 建物測量成果圖建模

資料來源：江渾欽，2013

2.2.2 光達點雲

光達(Light Detection And Ranging, LIDAR)為主動式的遙感測距系統，雷射掃描儀會發射雷射光束，藉由反射光束所記錄的坐標、角度與 RGB 值，經由解算後得到三維點雲，最後作為建模基礎，根據載具又可分成空載光達(Airborne LiDAR)點雲及地面光達(Ground-based LiDAR)點雲。

空載光達建模能獲得大範圍的區域模型。藉由做光達資料的先行處理，進行建物特徵面與線的偵測，形成建物輪廓線並組成多邊形，配合 DEM(數值高程模型)提升模型，完成主要建物後進行屋頂面重建，最後完成模型建置(張智安、陳良健，2009)。Rubinowicz 用空載光達點雲對比利時布魯塞爾的城市景觀進行大範圍建模，同時也為空載光達與文化資產的結合，利用模型來做

城市規劃並保護文化地景(Rubinowicz and Czyńska, 2015)。

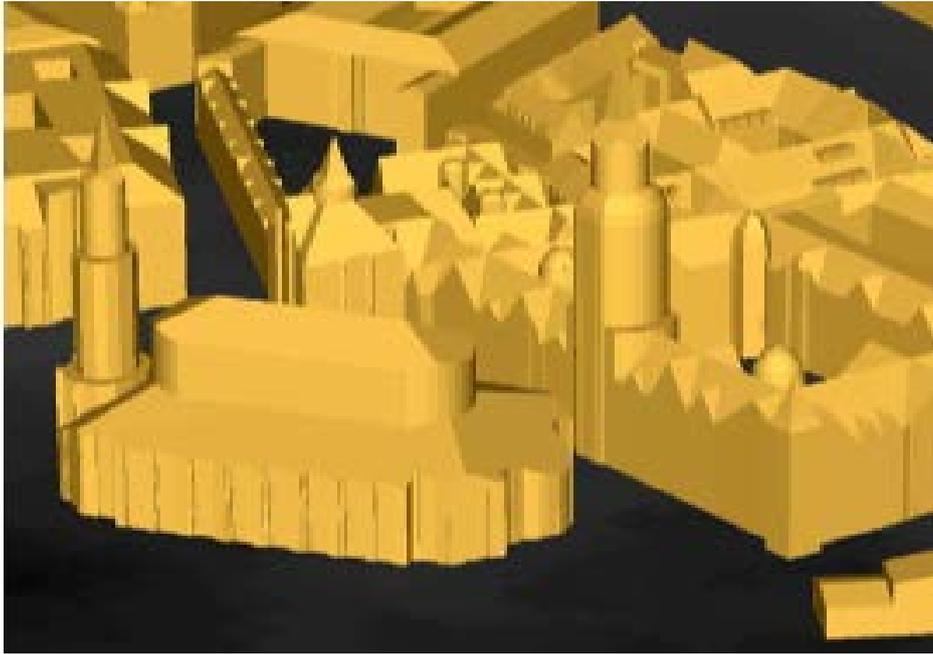


圖 3 空載光達建模

資料來源：Rubinowicz and Czyńska, 2015

地面光達建模則是小範圍，針對特定的目標進行建模，此方法能獲得快速且高精度的點雲模型。選擇標的物後，開始進行掃描的工作，藉由重疊的區域來結合點雲模型，獲得點雲模型後進行編輯，運用相關建模軟體重建線與面，利用線、面資料進行模型拉升，獲得初始模型後需要再編修，為更貼近真實而貼附紋理，三維模型便完整產製(邱式鴻、吳志文、張瑋、黃聖日，2011)。

陳偉倫將地面光達運用於金門縣唯一第一級古蹟-金門邱良功母節孝的建模上，搭配 Revit 軟體完成極細緻的模型建置，但此方法花費的時間成本較多，對於複雜的建物較不合適(陳偉倫，2016)。



圖 4 地面光達建模

資料來源：陳偉倫，2016

2.2.3 攝影影像

根據影像獲取方式，可分為航空攝影測量與近景攝影測量，兩種攝影測量的建模方法，均需具備一定的像片重疊率，再利用基本成像原理計算三維坐標，以利進行三維建模。

過去航空攝影測量進行建模為半自動化式，部分步驟需經由人工的處理才能完成模型。近年因無人航空載具(Unmanned Aerial Vehicle,UAV)的普及率漸高，現今航空攝影測量結合電腦視覺，透過傾斜攝影技術解決垂直影像無法獲得的建物側面資料；多視立體視覺重建技術(Multi-View Stereo)與運動恢復結構(Structure from Motion,SfM)來獲取三維空間結構與相機的外方位參數；影

像密匹配技術則用來產製三維模型的密點雲(Dense Cloud)與網格(Mesh)，此模式為目前最具經濟效益的方式(羅正方、劉正倫、李良輝、陳信安、張庭榮、林昌鑑、施錦揮，2018)。Azzola 等人以 2017 年被 UNESCO 註冊成世界文化資產的義大利貝加莫城牆為目標，進行 UAV 影像的三維建模，獲得快速的大範圍建模成果(Azzola, Cardaci, Mirabella Roberti, Nannei, 2019)。

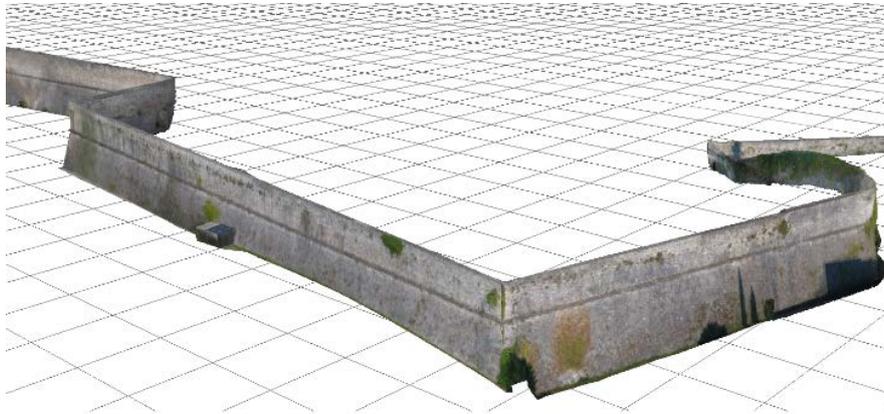


圖 5 航空攝影影像建模

資料來源：Azzola, Cardaci, Mirabella Roberti, Nannei, 2019

近景攝影測量建模針對單一結構複雜建物實施，步驟是先相機率定，採多重影像進行相對定向來完成方位重建，接著利用重疊影像恢復三維模型，獲取各點間的控制點與連結點後，建構出表面形狀，最後貼附影像紋理完成建模(吳笛豪，2008)。楊文斌等對三重先嗇宮室內與室外的物件進行近景攝影測量建模，對於廟宇這類型的文化資產而言，因物件皆有複雜的外型，所以影響模型完整度的因素，為不同角度影像的重疊率與光線的充足，在

建模時多加留意，因此這種方法是建立複雜建物時最符合成本的方式(楊文斌、王聰榮、閻亞寧，2017)。



圖 6 近景攝影影像建模

資料來源：楊文斌、王聰榮、閻亞寧，2017

2.2.4 三維建模方法比較

以下表格針對上述建模方法與案例的資料格式、獲取時間、模型處理時間、模型真實度及建構範圍進行比較。

表 2 三維建模方法比較

資料格式	資料獲取時間	模型處理時間	真實度	範圍
數值地形圖	快	短	較低	大
建物測量成果圖	慢	長	中	小
空載光達點雲	較快	最長	中	大
地面光達點雲	較快	長	高	小
航空攝影影像	快	中	高	大
近景攝影影像	快	中	最高	小

2.3 影像建模理論基礎

根據上節對於三維建模方法比較分析後，本研究認為建置模型時應考慮的優先順序為，高模型真實度、較短的模型處理時間與具彈性的建構範圍這三項因素，而資料獲取時間差異不大因此不為主要考慮因素，所以綜合以上幾點，本研究聚焦於攝影影像作為資料來源的三維建模方法。

影像建模軟體主要運用的基礎理論，為利用深度學習技術強化空中三角測量演算法，並利用運動恢復結構(Structure from Motion, SfM)及多視立體視覺重建技術(Multi-View Stereo, MVS)進行回復相機姿態和點雲匹配重建以完成建模(Yao, Luo, Li, Fang and Quan, 2018)，因此以下將論述 SfM 與 MVS 兩基礎理論。

2.3.1 運動恢復結構(Structure from Motion, SfM)

運動恢復結構 SfM 理論，主要是藉由電腦視覺與攝影測量技術為基礎，如空中三角測量、光束法平差、SIFT 或 SURF 演算法等進行計算，如圖 6 利用相機於不同角度所拍攝的多張影像，恢復相機拍攝時的移動軌跡，並獲得外方位參數與相機內方位參數，自動化呈現物體在空間中的三維坐標(Jebara, Azarbajani and Pentland, 1999)。

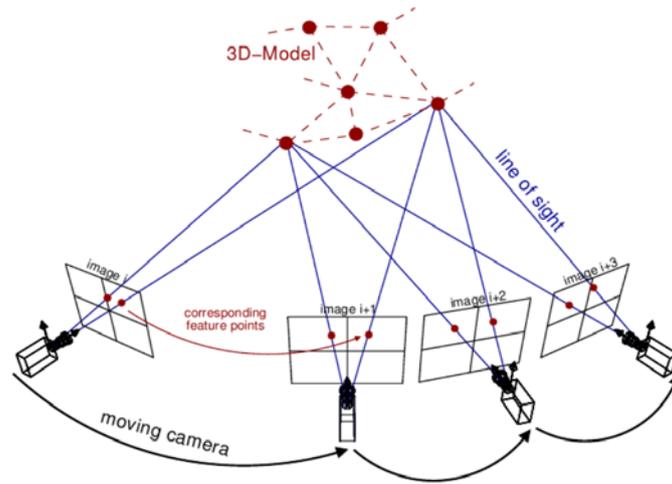


圖 7 SfM 示意圖

資料來源：(Theia-sfm.org, 2016)

SfM 理論的基本運作流程，如圖 7 所示，先取得多張不同角度二維影像，進行多張影像的特徵偵測與匹配，接著利用基礎矩陣進行計算，獲得初始相機的內方位參數，透過三角測量與光束法平差為基礎取得相機外方位參數與稀疏點雲，藉此重建空間中的三維坐標，若是加入新相機角度影像，則必須再經由三角測量與光束法平差進行遞迴計算，直到所有影像皆已重建完成(Lee, Huang and Lin, 2012；趙智凡、潘偉庭、楊明德，2016)。

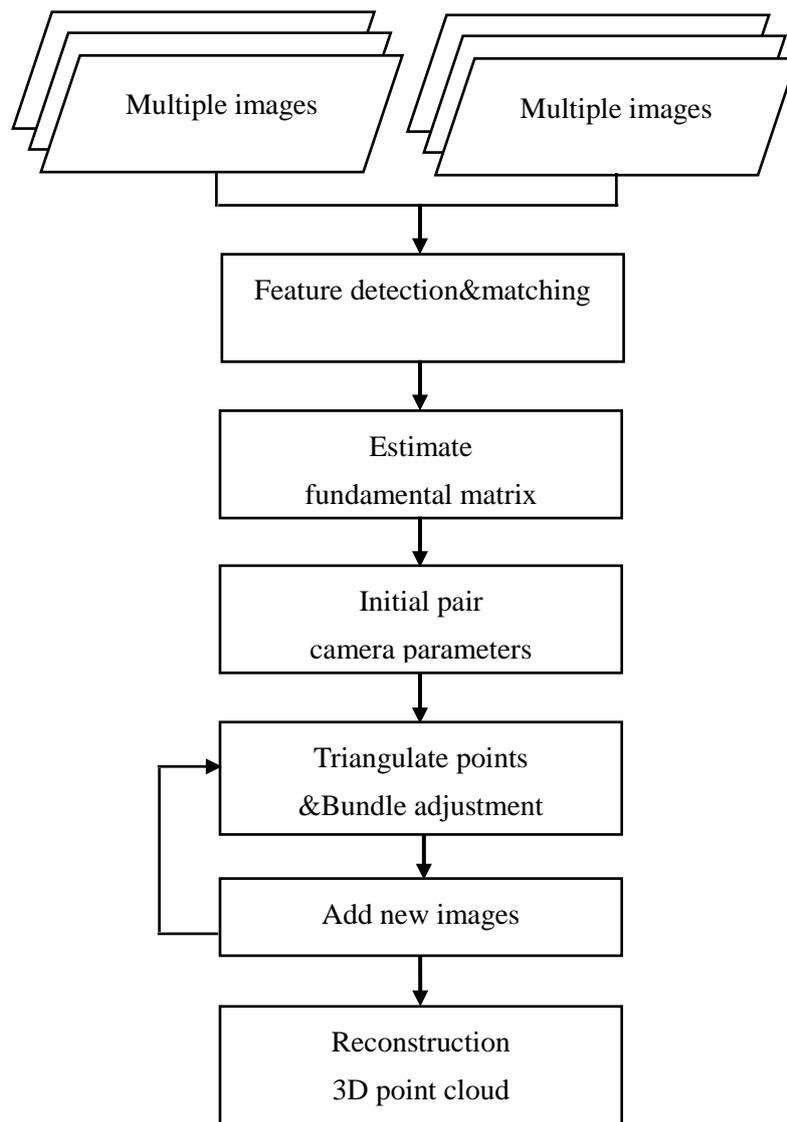


圖 7 SfM 架構流程圖

2.3.2 多視立體視覺重建技術(Multi-View Stereo, MVS)

多視立體視覺技術 MVS 目的為獲取稠密點雲以得到更細緻化的三維模型，軟體彼此之間由不同演算法所構成，結合深度學習與電腦視覺，並於演算法中引入神經網絡結構進行優化，藉由多張影像來計算密集的三維點雲。

2018 年 MVS 技術改善並提出進階的三維重建演算法

MVSNet，如圖 8 所示，主要分為四個步驟。首先匯入影像、相機參數與從 SfM 所得稀疏點雲，接著將多張影像進行特徵萃取，所獲得的為深度影像特徵；第二個步驟提出電腦視覺的可微分單應性映射(Differentiable Homography)，將相機參數導入深度學習的神經網絡中，主要目標為連接 2D 影像間特徵網絡(Feature Mesh)，將影像匹配後建置於 3D 空間中；第三步驟為代價空間正規化(Cost Volume Regularization)，經由上步驟構建完成 3D 空間後，再透過多尺度卷積網絡優化得到三維機率空間，獲得參考影像的初步深度圖與過濾雜訊機率圖；第四步驟利用深度與機率圖進行深度估計優化，得到移除雜訊的參考影像，將此深度影像結合三維模型，最後獲得精確性與細緻性高的三維點雲模型。MVSNet 演算法對於多視角影像的深度估計，以及多數量影像的大規模三維重建，皆有相當大的優化改善(Yao, et al., 2018)。

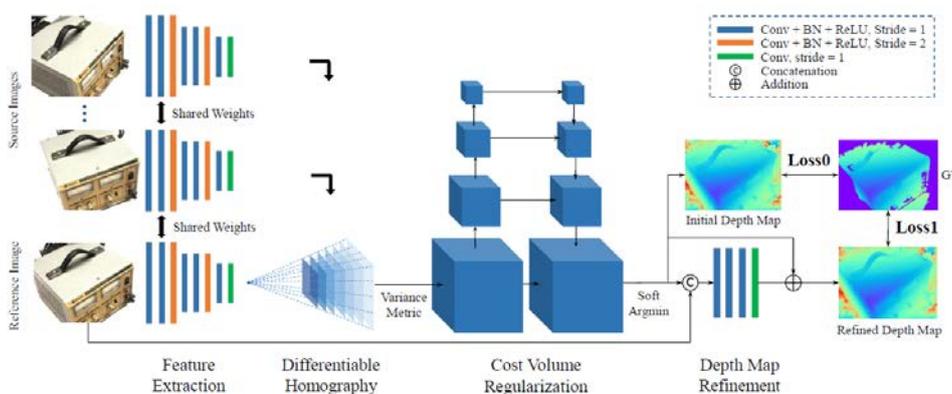


圖 8 MVSNet 流程圖

資料來源：Yao, et al., 2018

2.4 影像建置三維模型軟體

根據上個小節對於三維建模方法比較分析後，本研究建置模型時所考慮的優先順序為，高模型真實度、較短的模型處理時間與具彈性的建構範圍這三項因素，而資料獲取時間差異不大因此不為主要考慮因素，所以綜合以上幾點，本研究採用以攝影影像作為資料來源的三維建模方法。因此接下來將探討無論是利用航空影像或是近景影像皆可進行影像建模的軟體，提出主要的軟體並分析其應用領域與優劣，最後評估適合使用的建模軟體。

2.4.1 Pix4D Mapper

一款由瑞士洛桑聯邦理工大學的電腦視覺研究室開發而成的軟體，主要針對 UAV、數位相機的影像進行資料處理應用。軟體能處理的包括航空、傾斜及地面所拍攝的影像，其精度可到公分級，涵蓋的格式相當廣，如 JPG、TIFF、BMP 等都可被匯入軟體中使用，主要利用影像的加密匹配技術，因此自動化的程度高，軟體能自動對相機內外方位參數解算，解算後自動進行空中三角測量平差，透過內建演算法產製點雲與網格模型，依據三維點雲與網格產生鑲嵌的正射影像、DSM 數值地表模型、等高線及三維模型等。Pix4D Mapper 能自動偵測相機型號及參數，因此能校正匯入來自不同相機的影像，系統自動修正後使建模成果減少誤差(徐金煌、張國楨，2015)。

Manajitprasert 等人利用 Pix4D Mapper 對 UNESCO 註冊為文化遺產的泰國瑪哈泰寺進行三維建模，研究認為對考古研究應用上有助益，所產製的點雲和光達點雲做比較，精度足以符合標準，作者認為這種自動的建模方式是經濟有效的(Manajitprasert, Tripathi, Arunplod, 2019)。

2.4.2 ContextCapture

原為 Smart3D，後來由 Actue3D 公司收購改名為 ContextCapture，建模基礎為高解析航照影像、幾何圖像演算法與電腦視覺組成，透過不同角度的連續像片進行三維模型的重建，而多種相機的像片組合，則是利用相關相機參數進行自動匹配，最後產生彩色三角網格完成建模。然而三維模型的品質受照片數量與解析度影響，操作時需特別考慮，軟體建模能夠達到工業級的精度，所以現今主要用於施工、營造場地等(Lapierre, 2015)。李忠玉選擇用 ContextCapture 進行鋼筋吊裝位置的模擬，因其認為此軟體是三維重建精度最好的，適合用於施工現場，期望未來類似工程能夠採納(李忠玉，2019)。

2.4.3 Agisoft PhotoScan

簡單又快速的建模軟體，透過自動計算而得的相機參數，能組合不同相機所拍攝的影像，利用影像之間重疊率還原相機所在位置，以及像片之間的共軛點，自動匹配後產生初步點雲，點雲再經演算法生

成網格，以快速建構幾何模型(陳宜鴻，2016)。徐一文用不同三維軟體對 UAV 影像進行精度分析，PhotoScan 相對其他系統較為簡單，建模速度也較快，但效果相對其他軟體而言較差，道路建模成果較其他崎嶇(徐一文，2019)。

2.4.4 比較分析

以下對上述建模軟體的作業平台、處理工作量、操作難易度、模型成果細緻度及軟體優缺點進行比較分析。

表 3 影像處理軟體建模比較

軟體名稱	處理工作量	細緻度	優點	缺點
Pix4D Mapper	中	中	正射影像精度高且支援多光譜使用	模型紋理貼附較差
Context Capture	多	高	工業級的精度，適合用於施工營造現場	軟體操作較複雜，硬體要求較高
Agisoft PhotoScan	少	低	建模速度快，適合新手使用	模型生成效果不理想

資料來源：吳明諺，2016；劉庭宇，2018

2.5 視覺化建模軟體

由影像建置三維模型軟體建模後，獲得初始的模型，但不同領域會有不同的需求，若要進行後續的編修，則需匯入視覺化建模軟體，並加入後期的人工編輯，以增加模型的真實效果，讓成果更符合現

況，避免自動化建模產生的不一致情況。

2.5.1 Autodesk Revit

Revit 由 Architecture 建築專業用、Structure 結構專業用、MEP 管線專業用所組成，其為市場上主要使用的建築資訊模型 BIM(Building Information Modeling)軟體，軟體主要優勢在於現今使用者較多，獲得的操作教學資源豐富，問題容易被解決；因配合 BIM 做使用，建模是以參數化的方式為基礎，利用參數化組件如門、窗等，使用者可以彈性依據自己需求做設計；Autodesk 公司旗下有許多軟體，Revit 與他們整合性高，但相對的跟其他軟體的相容性就低。而最主要的缺點為對硬體的要求大，處理資源時相當耗效能，因此通常使用在專業領域，如建築設計、地下管線配置、土木、機電、交通等複雜結構上。

2.5.2 SketchUp

2006 年 Google 將其收購，並應用於 Google Earth 上，創造出全新的三維地圖展示，而 SketchUp 最主要的優勢在簡單的操作介面、新手容易上手、快速的建模、與其他軟體的相容性極高，現今主要被建築模型、都市計畫、景觀設計、遊戲場景等領域應用，軟體對硬體的需求不高，處理資料時的負擔較輕，因此可在短時間創造出大範圍的建模；但最大的缺點為不適合複雜的結構物，其紋理真實度低需透過其他的渲染軟體提升模型的真實度。

2.5.3 3Ds Max

Autodesk 公司研發的軟體，主要的目的為模型渲染，應用在如電影場景、室內設計、美術等專業領域，3Ds Max 在材質與燈光上的表現極佳，能夠創造出擬真的效果；缺點為軟體的介面複雜且操作困難，需經過一定的訓練才能熟悉軟體的操作，軟體對於電腦的硬體效能要求高，不具備高配的電腦環境，會造成工作時效率過低，軟體進行處理時會相當耗時。

2.5.4 Lumion

近年興起的模型渲染軟體，Lumion 能夠支援的軟體及格式多，直覺性的操作介面，軟體操作和 3Ds Max 相比較簡單，模型的渲染速度快且效果佳，材質庫豐富如天空、草地等以利提供多元視覺化，不需要算圖技術即可進行動畫的製作，製作完成後能直接做成 VR 影片做使用；缺點為匯入的模型不能在軟體內進行編輯，其只提供渲染的工具，且渲染效果較夢幻不符合真實，且成果無法匯入 Unity 做使用。現今將 Lumion 使用於景觀設計、建築模型、不動產行銷等，適合用於展示導覽。

2.5.5 比較分析

市面上有多種建模軟體，本研究挑選主要的四種，將其適合的應用領域、軟體主要能達成的目標功能、操作時的介面設計、對電腦硬體設備的要求及優缺點進行表格式比較整理。

表 4 視覺化建模軟體比較

軟體名稱	應用領域	主要功能	優點	缺點
Autodesk Revit	土木 機電 建築設計	建築資訊 模型整合	基於建築平面設計圖建模，達成室內設計及配置，對結構化建物建模。	硬體需求高，介面設計與操作複雜，過量的建築訊息導致建模效率差。
SketchUp	景觀 都市計畫 建築模型	進行 3D 模型繪圖	硬體需求低，容易上手且介面設計簡易，建模效率高，支援多種格式。	模型的渲染效果較弱，需額外軟體搭配使用。
3Ds Max	景觀 美術 電影產業	模型渲染	最符合真實性的渲染效果。	硬體要求高，操作困難介面設計複雜，需長時間訓練才得以上手。
Lumion	景觀 動畫 不動產	3D 模型渲染與景觀建置	渲染效果佳，直覺性操作介面較簡易，能直接匯出成 VR 相片使用。	無法於軟體內編輯模型，效果不真實，過於絢麗。

資料來源：金益，2014；Tony, Vereda and Linda, 2016

三、研究應用-建置新北市三維城市模型

3.1 建置範圍

本局都計測量科與詮華國土測繪公司共同合作，於 103 年至 108 年間，針對新北市特定範圍(如圖 9)，如新莊副都心、頭前重劃區、二重疏洪道周邊、板橋江翠北側、淡水竹圍、鶯歌三峽、新北環狀線、特定都更建物、社會住宅等地區(如表 5)。

本研究建置三維城市模型時，主要運用攝影測量建模技術，以及搭配視覺化軟體的人工編修，產製出建物細緻度 LOD1-LOD3 不等的成果。

第五期的建置模型，先是利用 Pix4D Mapper 產製初步的模型，以影像自動化匹配產製時，房屋表面無法避免會有破洞、缺漏現象，所以需再匯入 SketchUp 進行後續的貼模，如此才能將模型成果從全自動化匹配 CityGML 的一級標準，提升至經過人工編修，使房屋破損或增生較少的二級標準。

第六期的建置成果，則是選擇 ContextCapture 作為主要影像建置三維模型軟體，經比較分析後，雖然此軟體處理工作量相比之下較多，但其主要的優點是能夠產生工業級的精度，未來無論是要重建城市，又或是在都市計畫中應用，皆需要較高的精度以符合建置模型的需求，研究成果顯示，軟體確實能大範圍且自動化產生細緻度高的三維城市模型，並且減少第五期時，需要人工編修所增加的人力及時間成本。



圖 9 研究應用建置範圍

表 5 研究應用建置範圍比較表

期別	年度	建製模型範圍	建置面積與建置方式
第五期	103	新莊副都心	106 公頃精緻+29 公頃白模 (偏人工方式建置)
	104	頭前重劃區	56 公頃精緻+142 公頃白模 (偏人工方式建置)
第六期	105	二重疏洪道週邊	528 公頃 影像密匹配建置
	105	板橋江翠北側-新板特定區、府中 456 特區-台灣藝術大學、浮洲特定區	758 公頃 影像密匹配建置
	106	淡水竹圍	659 公頃 影像密匹配建置
	106	鶯歌三峽	611 公頃 影像密匹配建置
第七期	107	新北環狀線	1080 公頃 影像密匹配建置
	108	都更、社會宅、重劃	500 公頃 影像密匹配建置

3.2 新莊副都心、頭前重劃區試辦區

現代化都市管理及規劃除了需要傳統的二維平面地形圖做為基礎資料外，對於日照權、噪音擴散、天際線、三維景觀、視覺阻擋等之分析尚需要三維之都市模型資料。本市在 103 年曾依照國際標準組織（ISO）所認可，由國際開放空間資訊協會（Open Geospatial Consortium，OGC）所設計之三維都市建模國際標準 CityGML 以及內政部草擬之三維房屋模型建置作業規範，於新莊副都心、頭前重劃區及其週邊試辦過三維房屋模型建置(如圖 5)。

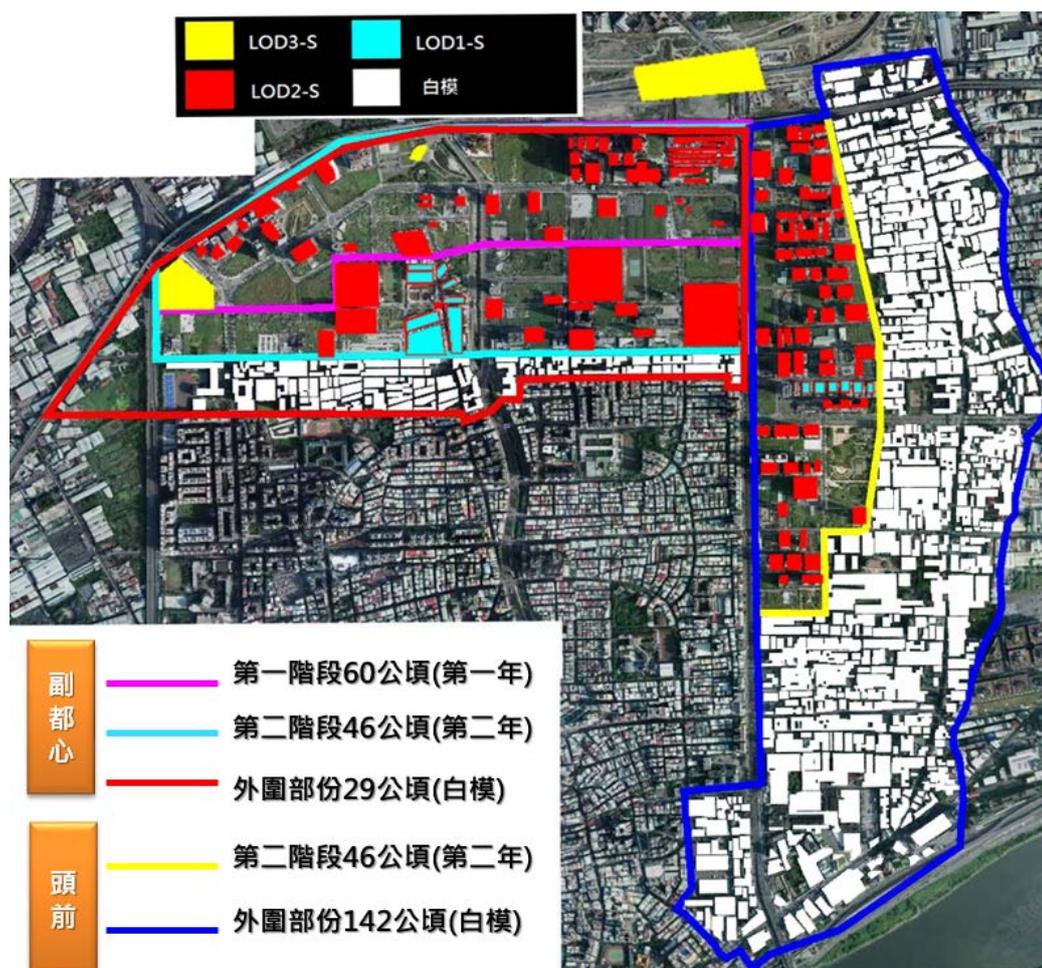


圖 10 新莊副都心、頭前重劃區試辦三維模型建置

除大範圍的 LOD1 三維模型建置外，試辦期間內容包含了各類房屋及都市附屬設施（如圍牆、陸橋、路燈、樹木等）的幾何模型及屬性資料，將三維模型細緻度提升至 LOD2-LOD3(如表 6、表 7)，但其需人工編修的作法較繁雜，相當耗費時間與成本。

表 6 LOD2 成果



表 7 LOD3 成果

願景館



聯合大樓



產業園區捷運站



3.3 航測密匹配技術建置三維模型

經過本市試辦後發現依照 CityGML 國際標準建置房屋模型所需之工期較長，成本太高。因此為增加視覺化的資料呈現，加速都市三維模型資訊在本市都市計畫及都市設計審議上之應用，本市續於 105 年地形圖修測計畫內試辦採用目前電腦科技易於快速完成的航測密匹配技術來測製都市的簡易數位表面模型（digital surface model from dense matching，以下簡稱 DSM）取代複雜的 CityGML 格式的真三維都市模型。此簡易的 DSM 既無房屋輪廓的邊緣線、無輪廓面之間的位相關係，亦無任何屬性，純粹僅供肉眼做三維觀察之用。

表 8 航測密匹配技術建置三維模型

105 年第六期-二重疏洪道地區



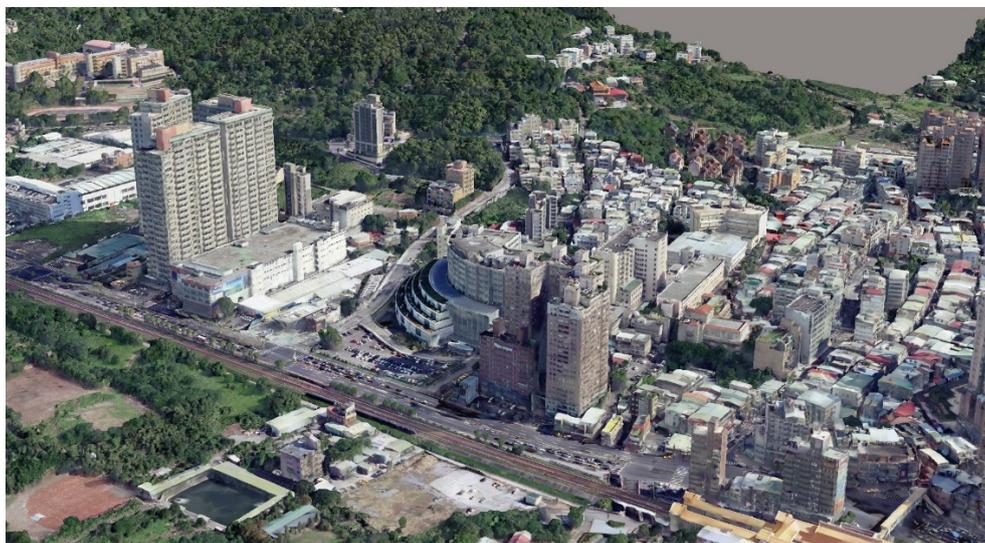
105 年第六期-新板特區



106 年第六期-北大特區



106 年 第六期-淡水竹圍地區



106 年第六期-鶯歌地區



108 年第七期-淡水捷運站



108 年第七期-三重大同青年社宅



四、結論與建議

4.1 結論

本研究以三維建模方法中，模型真實度最高且處理時間成本最經濟的攝影測量技術進行建模，利用航空攝影影像，並匯入影像建置三維模型軟體進行自動化計算稀疏點雲並重建稠密點雲，獲得短時間且低成本的三維建模。

透過攝影測量三維建模技術，達到可製作兼具精準度與視覺美學及真實性結合之虛擬三維模型，最重要的是必須建置出房屋外廓每個面之間的位相關係以及每個面的屬性，以便供空間分析之用而不是僅供肉眼觀察三維的視覺效果。

本研究試辦區之三維房屋模型建置成果證明，多尺度三維房屋模型重建技術可建置不同 LOD 等級的三維房屋模型，LOD1 模型建置有高效率，適合應用大範圍的三維城市模型建置，如重劃區建物等；LOD2 模型重建相較 LOD1 模型需搭配人工的編修，所要的時間成本相對更高，但成果的外觀紋理更真實，適合應用於一般住宅；LOD3 的房屋模型雖然有最高的細緻程度，但建置成本遠高於其他層級，故適用於特定指標性建物，如捷運站、都更建物、社會住宅等。

4.2 建議

4.2.1 虛擬實境與擴增實境

未來建議配合近年快速發展的虛擬實境與擴增實境，以更沉浸式的體驗，將三維城市模型呈現出來，便能不受時間與空間限制，讓體驗者也有於現地參觀的感受，並搭配事先建構的虛擬場景，完成虛擬實境導覽的建置，讓使用者能體驗新型態的數位導覽，更快速認識無論是都市規劃的想法抑或是特定指標性建物背後的故事。

4.2.2 應用於防救災工作

以往利用二維平面圖所規劃的防災策略，相比三維模型減少樓高與樓層的因素，未來利用建置三維城市模型，便能更周全的考慮，並搭配 GIS 空間分析技術，進而繪製出三維的最佳避難路徑，並利用虛擬實境與擴增實境的技術，民眾能更直覺性的瞭解防救災計畫。

4.2.3 智慧城市

三維城市模型可謂是智慧城市的基礎，藉由三維的資料，便可利用數位化的方式進行串聯，再加上現今普及的行動裝置及網際網路，強化對於三維資訊的蒐集及增進其使用效益，未來三維空間資訊將成為城市發展最不可或缺的部分。

五、參考文獻

- G. Gröger, T. H. Kolbe, A. Czerwinski and C. Nagel, 2008. "OpenGIS city geography markup language (CityGML) encoding standard, version 1.0. 0, Open Geospatial Consortium".
- Löwner, MO., Benner, J., Gröger, G., Häfele, KH., 2013. "New Concepts for Structuring 3D City Models – An Extended Level of Detail Concept for CityGML Buildings".
- F. Biljecki, H. Ledoux and J. Stoter, 2016. "An improved LOD specification for 3D building models".
- H. Ledoux and M. Meijers, 2011. "Topologically consistent 3D city models obtained by extrusion".
- P. Rubinowicz and K. Czyńska, 2015. "Study of City Landscape Heritage Using Lidar Data and 3d-City Models".
- P. Azzola, A. Cardaci, G. Mirabella Roberti and V. Nannei, 2019."UAV PHOTOGRAMMETRY FOR CULTURAL HERITAGE PRESERVATION MODELING AND MAPPING VENETIAN WALLS OF BERGAMO".
- Yao, Y., Luo, Z., Li, S., Fang, T., & Quan, L., 2018."Mvsnet: Depth inference for unstructured multi-view stereo".
- T. Jebara, A. Azarbayejani and A. Pentland, 1999."D structure from 2D motion".
- P.-H. Lee, J.-W. Huang and H.-Y. Lin, 2012."D model reconstruction based on multiple view image capture".
- S. Manajitprasert, N. Tripathi and S. Arunplod, 2019, "Three-Dimensional (3D) Modeling of Cultural Heritage Site Using UAV Imagery: A Case Study of the Pagodas in Wat Maha That, Thailand".
- A. Lapierre, 2015, 3D City GIS – A Major Step Towards Sustainable Infrastructure.
- 郭韋倫，2020，「三維建模結合虛擬實境應用於文化資產保存之研究」，國立政治大學地政學系碩士論文。
- 張舜孔、邵慶旺、蔡育林、陳俊宇，2013。「3D 掃描技術應用於文化資產之適用性討論」，文化資產保存學刊。
- 蔡富安、張智安、張桓、陳良健、陳杰宗，2013。「多尺度三維數位房屋模型建

- 置」，航測及遙測學刊。
- 高琬婷，2015。「三維地籍應用於區分所有建物登記實務之研究」，國立臺北大學不動產與城鄉環境學系碩士論文。
- 張毅雄，2010。「地籍建物資訊模型建立之研究」，國立臺北大學不動產與城鄉環境學系碩士論文。
- 馮怡婕，2009。「多尺度三維地籍建物資料流通架構建立之研究」，國立臺北大學不動產與城鄉環境學系碩士論文。
- 江渾欽，2013。「利用建物測量成果圖建立建物樓層平面圖籍資料之研究」，國土測繪與空間資訊。
- 張智安、陳良健，2009。「整合空載光達點雲與地形圖模塑房屋之分治策略」，航測及遙測學刊。
- 邱式鴻、吳志文、張瑋、黃聖日，2011。「以地面雷射掃描儀數位典藏校園歷史古蹟建築成果報告」，國立政治大學校務發展研究計畫。
- 陳偉倫，2016。「整合三維點雲技術與 BIM 技術建置古蹟模型之研究」，國立臺北科技大學土木工程系土木與防災研究所碩士論文。
- 羅正方、劉正倫、李良輝、陳信安、張庭榮、林昌鑑、施錦揮，2018。「無人機傾斜攝影於三維都市模型重建之應用」，航測及遙測學刊。
- 吳笛豪，2008。「應用近景攝影與地面雷射掃描於地物量測精度及三維建模之研究」，國立高雄應用科技大學土木工程與防災科技研究所碩士論文。
- 楊文斌、王聰榮、閻亞寧，2017。「近景攝影測量於古蹟、歷史建築之數位化運用與推廣」，文化資產保存學刊。
- 趙智凡、潘瑋庭、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。
- 蔡永橙、黃國倫、邱志義，2007。「數位典藏技術導論」，國立臺灣大學。
- 徐金煌、張國楨，2015。「以 Pix4Dmapper 進行 UAV 影像之空間資料產製」，中國土木工程學刊。

李忠玉，2019。「淺談 BIM+ UAV 在複雜環境大噸位鋼蓋梁吊裝方案中探索運用」，*建築工程管理*。

徐一文，2019。「三維建模軟體對無人載具攝取影像之精度分析」，*國立宜蘭大學土木工程學系碩士論文*。

陳宜鴻，2016。「以多軸飛行器之空拍影像評估由 SfM 建構 3D 模型之精度」，*逢甲大學土木工程學系學位碩士論文*。

吳明諺，2016。「以無人飛行載具拍攝影像建置三維橋梁模型之初步研究」，*國立中央大學營建管理研究所碩士論文*。

Theia-sfm.org (2019). Structure from Motion (SfM). from SfM on the World Wide Web : <http://theia-sfm.org/sfm.html>