

內政部

108年度

三維地形圖資技術發展工作案

(案號：108SU0215)

期末報告(定稿)

主辦單位：內政部

執行單位：國立中央大學 太空及遙測研究中心

國立交通大學 土木工程學系

台灣世曦工程顧問股份有限公司

計畫期程：自 108 年 3 月 27 日 至 108 年 11 月 22 日

摘要

大比例尺(千分之一)基本地形圖是國內最重要的基本圖資之一，也廣泛應用於不同領域。目前大比例尺地形圖仍為二維圖資，雖然有精確的二維坐標，但缺乏精確完整的三維資訊。空間資訊的應用由傳統二維平面逐漸往三維模型、室內外整合及多時序發展，並且與物聯網等新興技術結合，以達到智慧城市發展與應用。內政部自 95 年起陸續推動三維數位城市模型發展相關研究，對於三維房屋與道路模型建置、技術規劃與發展、模型更新、不同等級模型整合等已累積相當程度成果。隨著智慧城市的議題逐漸受到重視，如何擴充及立體化現有大比例尺基本地形圖，成為三維立體數值基本地形圖，作為新一代空間資訊基礎圖資，以滿足日趨複雜的智慧城市相關應用需求已成為刻不容緩的重要課題。

本計畫目的為分析、精進三維地形圖資技術發展與應用需求，並研發三維地形基礎圖資測製技術，以及整合三維地形圖資與物聯網並進行應用服務試辦，以期推廣、加值三維地形圖資成果。在技術發展與應用方面，本計畫工作及成果包含：(1)研發三維數值基本地形圖房屋模型及道路標線自動化產製技術；(2)提升三維數值基本地形圖紋理品質及建築尺度細緻度；(3)三維室內圖資與物聯網之整合方案及應用試辦。

在推動與評估方面，本計畫工作成果包含：(1)精進三維地形圖測製及

檢核作業技術文件指引；(2)提出三維地形圖資測製技術之成本分析、應用領域及成果效益；(3)探討三維地形圖資測製中遭遇之困難或三維地形圖資技術發展需克服之問題並提出可能之解決方案；(4)提出三維地形圖資測製成果物件化、三維空間資料結構與編碼之策略與建議。本計畫的執行與成果，不僅可以整合與強化國內三維地形圖資技術發展，落實科技紮根，對於三維地形圖資應用的推廣和人才培育等也有正面貢獻，進而提昇相關產業與國家整體的競爭力。

Abstract

Large-scale (1/1000) topographic map is one of the important geo-spatial data in Taiwan and it has been extensively applied to different domains. However, traditional 2D topographic map only provides planar coordinates and limited information about height, e.g. the number of building floors. In order to develop the necessary infra-structure in geoinformatics for smart city applications, the Ministry of Interior has been promoting 3D cyber city and related studies since 2006, including 3D building modeling, 3D road modeling, 3D model updating, technical planning and multi-scale model integration. Therefore, it has a great potential to extend the existing 2D topographic maps and city models to 3D topographic maps.

The core objectives of this project include: (1) analysis of the demand of 3D topographic maps; (2) development of the 3D mapping techniques; (3) value-added applications using developed 3D topographic maps.

In terms of execution, evaluation and promotion, the tasks carried out and outcomes of this project include: (1) improving documentation in 3D topographic map generation and quality control; (2) 3D topographic map cost analysis, applications and effectiveness evaluation; (3) identifying challenges in 3D topographic map generation and development as well as possible solutions; (4) strategy development and recommendations on 3D topographic map object reconstruction, data structure and encoding schema.

This project will help integrate and strengthen the technical development of 3D topographic map generation so as to further increase technology capacity. In addition, the execution and results of this 3D topographic map development

project can also contribute to the long-term related education, application, industry development and economic growth.

目 錄

摘要.....	iii
Abstract	v
目 錄.....	i
圖目錄.....	iii
表目錄.....	viii
第一章 前言.....	1
1.1 計畫背景與目的.....	1
1.2 計畫內容.....	3
1.2.1 技術建立.....	4
1.2.2 應用服務試辦.....	4
第二章 背景分析.....	5
第三章 工作項目.....	11
3.1 工作項目.....	11
3.2 工作期間及進度.....	16
3.3 繳交成果及繳驗時程.....	17
3.3.1 進度報告.....	17
3.3.2 期中報告及期末報告.....	18
3.3.3 成果繳交格式、項目、日期及地點.....	18
第四章 實施方法.....	20
4.1 試辦區域選定.....	20
4.2 研發三維數值基本地形圖房屋模型及道路標線自動化產製技術.....	22
4.2.1 建立三維房屋模型自動化辨識及重建流程.....	24
4.2.2 建立道路標線自動化辨識及重建流程.....	29
4.2.3 整合前二項技術試辦三維地形圖資測製.....	31
4.2.4 提出精進前項圖資測製技術自動化程度或品質方案.....	51

4.2.5 配合機關辦理 108 年度行政院災害防救應用科技方案(第 2 期)協助災後快速製圖技術研發相關作業.....	56
4.3 提升三維數值基本地形圖紋理品質及建築尺度細緻度	56
4.3.1 以測繪車測製影像作為基礎，偵測三維數值地形圖模型牆面，並進行紋理判別，找出與真實影像最相近之通用紋理	56
4.3.2 透過既有資料發展近景多視角影像提升三維房屋及道路模型，並評估建置效能	75
4.3.3 藉由影像或點雲資訊搭配既有資料發展重建三維室內模型技術	92
4.3.4 整合前三項技術試辦三維地形圖資測製	106
4.4 精進三維地形圖資測製技術文件	108
4.4.1 精進三維地形圖測製及檢核作業技術文件指引	108
4.4.2 提出三維地形圖資測製技術之成本分析、應用領域及成果效益	109
4.4.3 探討三維地形圖資測製中遭遇之困難或三維地形圖資技術發展需克服之問題並提出可能之解決方案	114
4.4.4 提出三維地形圖資測製成果物件化、三維空間資料結構與編碼之策略與建議	125
4.5 三維室內圖資與物聯網之整合方案及應用試辦	134
4.6 研究成果發表、協助國際事務推動及技術交流	144
4.7 工作會議	145
第五章 結論與建議	146
5.1 結論	146
5.2 執行成果建議	149
5.3 未來執行方向建議	152
參考文獻	154
其他相關資料及附件	156

圖目錄

圖 4-1-1、試辦區域-國父紀念館周邊區域.....	21
圖 4-1-2、試辦區 LOD1 模型成果.....	21
圖 4-1-3、測繪車拍攝路線.....	22
圖 4-1-4、物聯網試辦地點-國立中央大學研究中心大樓二期館.....	22
圖 4-2-1、三維房屋模型自動化辨識及重建流程.....	24
圖 4-2-2、房屋訓練資料示意圖.....	27
圖 4-2-3、二維房屋多邊形正規化示意圖.....	28
圖 4-2-4、三維點雲形塑平面之示意圖.....	28
圖 4-2-5、三維道路模型自動化辨識及重建流程.....	29
圖 4-2-6、道路標線訓練資料示意圖.....	30
圖 4-2-7、深度學習與傳統分類器訓練資料數量比較示意圖.....	31
圖 4-2-8、影像與高程資料.....	32
圖 4-2-9、房屋訓練區及房屋偵測成果.....	33
圖 4-2-10、分類疊代收斂圖.....	33
圖 4-2-11、房屋精度比較圖.....	34
圖 4-2-12、精化房屋區域成果.....	35
圖 4-2-13、正規化房屋區域成果.....	36
圖 4-2-14、IoU 示意圖.....	37
圖 4-2-15、三維形塑成果與點雲模型之套疊比較.....	38
圖 4-2-16、三維形塑分析：點到面垂距統計圖.....	39
圖 4-2-17、訓練、檢核、試辦區、獨立檢核區.....	41
圖 4-2-18、分類疊代收斂圖.....	42
圖 4-2-19、道路標線偵測成果圖.....	43
圖 4-2-20、分類精度及 IoU 比較圖.....	46
圖 4-2-21、兩種分類方式精化前後成果圖.....	47

圖 4-2-22、道路交通標誌標線示意圖.....	48
圖 4-2-23、向量化成果：圖號 4544	49
圖 4-2-24、道路標線三維化成果	50
圖 4-2-25、斑馬線自動標示成果	51
圖 4-2-26、遷移學習運作方式	52
圖 4-2-27、CrowdAI 房屋偵測成果.....	53
圖 4-2-28、道路標線圖徵資料庫	54
圖 4-2-29、二維向量圖資	54
圖 4-2-30、3D Mesh Model.....	55
圖 4-2-31、3D Polyhedral Model	55
圖 4-3-1、模型牆面紋理匹配流程圖.....	57
圖 4-3-2、試辦區示意圖	58
圖 4-3-3、測繪車相機位置示意圖	58
圖 4-3-4、測繪車行徑試辦區路線示意圖.....	59
圖 4-3-5、尋找牆面紋理影像之示意圖.....	59
圖 4-3-6、取得相機紋理影像(推算前).....	60
圖 4-3-7、推算相機與牆面影像的距離之示意圖.....	60
圖 4-3-8、取得相機紋理影像(推算後).....	60
圖 4-3-9、房屋之屋角點坐標示意圖.....	61
圖 4-3-10、房屋牆面中心點示意圖	61
圖 4-3-11、三點共線條件示意圖	62
圖 4-3-12、AOI 切割樓層示意圖	64
圖 4-3-13、AOI 成果示意圖	66
圖 4-3-14、影像分析案例	67
圖 4-3-15、影像分析與成果案例(含分析過程).....	69
圖 4-3-16、影像分析與成果案例(大範圍模型貼圖).....	70
圖 4-3-17、測繪車與街景影像之模型成果分析比對-案例 1	71

圖 4-3-18、測繪車與街景影像之模型成果分析比對-案例 2	72
圖 4-3-19、測繪車影像與街景影像之成果.....	74
圖 4-3-20、UAV 拍攝之影像(花蓮雲翠大樓).....	76
圖 4-3-21、以免費開源軟體(VisualSFM)對多視角影像產製點雲案例	76
圖 4-3-22、以商業軟體(ContextCapture)對多視角影像產製點雲案例.....	76
圖 4-3-23、多視角影像提升模型流程圖.....	78
圖 4-3-24、點雲資料展示	79
圖 4-3-25、點雲資料分類	80
圖 4-3-26、眾數層圖示說明	81
圖 4-3-27、點雲與模型套疊示意圖	81
圖 4-3-28、房屋模型成果	82
圖 4-3-29、兩種點雲資料提升模型細緻度之套疊成果.....	83
圖 4-3-30、光達點雲、航照產製之點雲提升之模型與街景對照.....	85
圖 4-3-31、資料非同期產製造成落差過大案例.....	85
圖 4-3-32、點雲資料展示	87
圖 4-3-33、高程分析與模型建置成果.....	88
圖 4-3-34、高程分析與模型建置成果與 google 地圖比對.....	88
圖 4-3-35、高程分析與提升模型細緻度成果-平面道路	90
圖 4-3-36、高程分析與提升模型細緻度成果-高架道路	91
圖 4-3-37、Mesh 與物件模型套疊成果	101
圖 4-3-38、Mesh 編修、修補成果	102
圖 4-3-39、以三角面與四角面展示突起物案例.....	104
圖 4-3-40、三維室內模型技術重建成果.....	106
圖 4-3-41、結合不同技術之模型成果展示.....	107
圖 4-4-1、原始樓高萃取結果	116
圖 4-4-2、新增樓高萃取結果	116
圖 4-4-3、建築中基地	117

圖 4-4-4、建物面積狹小	118
圖 4-4-5、影像匹配不佳	118
圖 4-4-6、圖資與影像不符	119
圖 4-4-7、平頂房屋案例-成大化工館	120
圖 4-4-8、多重解析度影像分割結果-成大化工館	121
圖 4-4-9、多重解析度影像分割結果-成大中正堂	122
圖 4-4-10、正射影像-成大中正堂	122
圖 4-4-11、正射影像-大學路麥當勞週邊	123
圖 4-4-12、多重解析度影像分割結果-大學路麥當勞週邊	123
圖 4-4-13、建物缺漏-成大會館及太子學舍	124
圖 4-4-14、資料加值策略流程圖	127
圖 4-4-15、以數值地形圖產生二維物件.....	129
圖 4-4-16、以 DTM 及正射影像產生 2.5D 地表	129
圖 4-4-17、以 DSM 形塑三維房屋模型示意圖	130
圖 4-4-18、以 DSM 形塑產生三維地上物.....	131
圖 4-4-19、3D Mesh model.....	132
圖 4-4-20、3D vector model	133
圖 4-5-1、國立中央大學研究中心大樓二期(紅色區域).....	135
圖 4-5-2、室內即時火災逃生路徑規劃系統之架構.....	136
圖 4-5-3、Arduino	137
圖 4-5-4、DHT22	137
圖 4-5-5、感測裝置成品	137
圖 4-5-6、螢幕顯示器	138
圖 4-5-7、蜂鳴器	138
圖 4-5-8、蜂鳴器致動器成品	138
圖 4-5-9、客戶端視覺化展示介面	141
圖 4-5-10、建議逃生路徑(火災發生前).....	142

圖 4-5-11、建議逃生路徑(火災發生時).....	142
圖 4-5-12、控制蜂鳴器	142
圖 4-5-13、控制顯示器	142
圖 4-5-14、顯示器現場位置	143
圖 4-5-15、顯示器顯示逃生指示	143

表目錄

表 2-1、往年計畫摘要.....	6
表 3-1-1、各期程工作項目彙整	15
表 3-2-1、預定工作進度表	16
表 3-3-1、成果繳交項目及日期	18
表 4-2-1、三維形塑分析：點到面垂距統計表.....	39
表 4-3-1、房屋類別與樓層說明	68
表 4-3-2、光達點雲與航照產製之點雲資訊.....	77
表 4-3-3、點雲提升房屋精細度之建置效能表.....	86
表 4-3-4、三種攝影測量拍攝方式	98
表 4-3-5、拍攝模式說明	98
表 4-3-6、三角面與四角面模型比較.....	105
表 4-4-1、房屋模型建置成本分析比較表(依作業方式).....	110
表 4-4-2、三維道路建置成本比較表.....	111
表 4-4-3、路口單價費用表	112
表 4-4-4、道路長度單價費用表	112
表 4-4-5、密匹配點雲計算硬體規格表.....	113
表 4-4-6、臺北市密匹配點雲計算及資料產出時間.....	113
表 4-4-7、航照影像 DSM 樓高萃取未成功類別.....	116
表 4-4-8、三維圖示規格類別	126
表 4-4-9、定義三維繪圖目標	128

第一章 前言

1.1 計畫背景與目的

內政部自 105 年起推動「空間測繪應用研究發展計畫」，規劃於既有先進航遙測技術基礎上，深化我國自主性之測繪科技研究，擴大各項測繪技術本土研發能量，進而吸引國內投入測繪科技之研發人才與經費，厚植測繪軟硬體實力。「空間測繪應用研究發展計畫」以分年延續工作方式，提出三維空間資訊之未來願景，延伸自主研發三維街景影像接合、三維地理資訊系統、智慧城市房屋街道建模、自動導航物件辨識等技術，配合實景影像地圖技術，調整現有地圖標準，訂定新型態的資料格式，建立國家三維地形基礎圖資架構，開創全新的業務應用，為資料鏈注入新的生命；除可作為智慧城市實踐重要基礎外，並提供各界運用普及化行動裝置及未來物聯網(Internet of Things, IoT)架構，快速推展智慧優質生活服務。

現行數值二維地形圖資是國家重要的基礎圖資，其包含有許多圖層，並提供都市等級的民生建設資訊。在這些圖層中，房屋與道路為最重要且數量最多的民生設施。然而，房屋與道路屬於三維物件，礙於早期設備與視覺呈現問題，必須將三維測製結果以二維方式顯示。隨著電腦軟硬體設備進步，以及過去數年內政部與其他單位相關計畫的研發成果，已達到推動直接測繪並保存三維物件的適當時機，亦是本計畫提出三維數值基本地

形圖的初衷。

內政部過去數年相關計畫主要著重三維地形、房屋與道路模型的建置、轉換、更新與應用。經過多年來的研發，數位城市模型建置技術已趨於成熟。相對以往以現成圖資產製三維模型的角度，105 年至 107 年度計畫著重三維地形圖資發展，探討三維房屋與道路模型作為三維數值基本地形圖主要基礎內容之可行性，並了解產、官、學界的需求，進而推廣國家基礎圖資和後端應用之可能性。在需求面上，為有效利用都市土地，以及減少土地、建造物間的紛爭，透過三維地圖解決一個位置對應複數個地上物的現象，亦呈現出三維地形基礎圖資於實務面的價值。

本計畫目的為分析、精進三維地形圖資技術發展與應用需求，並研發三維地形基礎圖資測製技術，以及整合三維地形圖資與物聯網並進行應用服務試辦，以期推廣、加值三維地形圖資成果。在技術發展與應用方面，本計畫工作包含：(1)建立三維房屋模型自動化辨識(Recognition)及重建(Reconstruction)流程；(2)建立道路標線自動化辨識及重建流程；(3)提出精進前項圖資測製技術自動化程度或品質方案；(4)以測繪車測製影像作為基礎，偵測三維數值地形圖模型牆面，並進行紋理判別，找出與真實影像最相近之通用紋理；(5)藉由影像或點雲資訊搭配既有資料(如：千分之一地形圖或臺灣通用電子地圖)發展重建三維室內模型技術；(6)三維室內圖資與物聯網之整合方案及應用試辦。

在推動與評估方面，本計畫工作包含：(1)透過既有資料(如：千分之一地形圖或臺灣通用電子地圖)發展近景多視角影像提升三維房屋及道路模型，並評估建置效能；(2)精進三維地形圖測製及檢核作業技術文件指引；(3)於期末報告提出提出三維地形圖資測製技術之成本分析、應用領域及成果效益；(4)探討三維地形圖資測製中遭遇之困難或三維地形圖資技術發展需克服之問題並提出可能之解決方案；(5)提出三維地形圖資測製成果物件化、三維空間資料結構與編碼之策略與建議；(6)協助國際事務推動及技術交流，配合內政部其他專案共同在臺辦理臺印尼年度測繪技術交流會議活動，並依本案主題場次邀請印尼方產官學研人士(合計至少2位)；(7)配合內政部辦理「科技發展計畫績效評估作業」等作業，協助災後快速製圖技術研發相關作業。

透過本計畫的執行，不僅可以整合與強化國內三維地形圖資技術發展，落實科技紮根，對於三維地形圖資應用的推廣和人才培育等也有正面貢獻，進而提昇相關產業與國家整體的競爭力。

1.2 計畫內容

本計畫為分年延續工作，本年度(108)為第四年，計畫目標是發展建立三維數值地形圖所需的技術，研擬並精進相關作業程序、文獻與技術文件分析蒐集等等的規劃與建議。此外，也透過實際場域進行物聯網應用試辦。

1.2.1 技術建立

計畫中整合各式空間資料及技術，包含大比例尺地形圖、數值地形模型、數值地表模型、物聯網介接等技術，發展三維地形圖資相關技術，並透過物聯網技術進行整合與應用，以突顯三維地形圖資技術發展之成效。

1.2.2 應用服務試辦

本計畫將針對三維地形圖資技術與發展進行試辦應用作業，以提升三維地形基礎圖資測製技術之價值。試辦以實際場域進行物聯網整合方案應用試辦，本團隊自行協調試辦場域及取得相關資料或建置相關物聯網所需裝置。

第二章 背景分析

為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。

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。

近年來，三維測量(3D surveying)及三維服務(3D services)的需求日益成長(POB, 2015)，其中三維地形測繪(3D topographic mapping)的需求成長達69%，預估在2020年3D mapping及3D modeling的市場可達169.9億美元(Marketsandmarkets, 2015)。就資料面而言，數值地形圖是國家空間資訊的基礎建設，亦是建置三維空間資訊的主要材料。因此，投入三維地形測繪

為國家重要且必要的發展工作。

現有的大比例尺地形圖圖資產製程序中，多使用航空測量技術進行三度空間量測，以描繪地形圖目標物之三度空間關係。因產製程序之三維資料不易直接進行三度空間之加值處理，且受限於傳統二維紙圖/螢幕輸出之限制，地形圖以二維地形圖方式輸出為主。隨著科技的進步及應用需求，有必要將地形圖之目標物立體化(Prechtel, 2015; Stoter and Salzmann, 2003)，反應目標物真實的樣貌，因此必須發展三維地形基礎圖資之建置技術。

國際上三維測繪與應用服務目前方興未艾，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。內政部自民國 95 年開始推動三維城市模型發展，陸續有計畫地逐步研擬數位城市的建置機制與規範、成本分析與實務應用。

表 2-1 詳列往年計畫之技術發展、應用項目及主要貢獻。

表 2-1、往年計畫摘要

年度	技術發展項目	應用項目	主要成果與貢獻
100	<ul style="list-style-type: none"> ● 建置三維地形、房屋、道路模型及其屬性 ● 三維房屋模型精度驗證分析 ● 工時及成本分析 	展示三維房屋模型及其屬性	建立三維地形、OGC 房屋及道路模型建置技術基礎，但道路模型仍未考慮多尺度情形。

年度	技術發展項目	應用項目	主要成果與貢獻
101、102	<ul style="list-style-type: none"> ● 發展三維房屋模型變遷偵測及更新技術 ● 三維房屋模型更新效益分析 ● 提出三維房屋模型更新標準作業程序與手冊 ● 發展多尺度道路模型建置技術。 ● 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 	<ul style="list-style-type: none"> ● 以道路模型及空間分析輔助消防車派遣 ● 開發三維防災地圖 	針對三維房屋模型，以更新策略代替重測概念，希冀節省建置成本。而道路模型方面，已發展多尺度建置技術。
103、104	<ul style="list-style-type: none"> ● 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 ● 發展近景攝影測量建置室內模型技術 ● 發展室內定位技術 	<ul style="list-style-type: none"> ● 室內定位技術應用研究 ● 開發雲端建置 OGC LOD 1 三維房屋模型系統 ● 開發臺北車站導覽導航系統 	不同往年以空間資料建置三維房屋模型，此利用現成建築等級模型直接轉換；沒有建築等級模型的地方，則以近景攝影測量技術建置之。
105	<ul style="list-style-type: none"> ● 分析三維地形圖資技術發展與應用需求 ● 發展三維地形基礎圖資技術 ● 發展三維地籍圖資技術 ● 發展三維圖資災害管理應用技術 	<ul style="list-style-type: none"> ● LBS 試辦-停車位導航導覽 ● AR 試辦-結合室內模型、管線與環景影像展示 	發展建立三維數值地形圖所需的技術(包含大比例尺地形圖、地籍圖、建物成果圖、牆面紋理影像、數值地形模型、數值地表模型、定位技術、適地性服務技術、擴增實境技術等)，提出相關作業程序、資料格式、相關系統、平台等規劃與建議。

年度	技術發展項目	應用項目	主要成果與貢獻
106 (延續)	<ul style="list-style-type: none"> ● 三維地形圖資測製規範與應用需求評估 ● 發展三維地形基礎圖資測製技術 ● 三維地形圖資與物聯網之整合及應用 	<ul style="list-style-type: none"> ● 三維地形圖資與物聯網之整合應用服務試辦-臺北市政都發局與地政局辦公室 	<ul style="list-style-type: none"> ● 研擬國家三維製圖之發展策略，提出資料加值與直接製圖兩種策略，並針對作業程序、自動化程度、品質及效率等進行分析。 ● 開發近景攝影測量密匹配點雲等資料精進 LOD1 模型，使其符合現狀；開發以光達點雲資料自動化或半自動化將 LOD1 模型提昇為 LOD2 等級房屋模型，並進行精度評估。 ● 探討開放式物聯網標準、物聯網標準之開放與介接等主題。
107 (延續)	<ul style="list-style-type: none"> ● 研擬並精進三維地形圖資測製技術 ● 研擬三維地形圖資測製技術文件並提出應用領域與成本評估 ● 研發三維地形圖資與物聯網之整合及應用 	<ul style="list-style-type: none"> ● 「發展三維室內外模型與物聯網標準之整合平台」選定臺北市東區地下街為服務試辦地點， ● 以室內平面圖建置東區地下街室內模型，供物聯網應用試辦 	<ul style="list-style-type: none"> ● 蒐集各國三維地形圖技術文件與分析。 ● 建置試辦區之三維網格模型，提出以三維實體模型建置三維地形圖資核心類別之技術。 ● 提升房屋紋理細節及三維道路模型重建之自動化程度。提升房屋騎樓之半自動化建置程度與路面標線深度。 ● 研擬三維地形圖測製及檢核作業技術文件指引。完成房屋模型建置成本分析比較表、房屋建模成本計算表等。 ● 發展物聯網標準之開發與介接技術、探討開放式物聯網基礎建設之技術、建立三維地形圖資與物聯網資源整合之應用案例。

先期研究計畫「三維數位城市模型先期建置工作」(內政部，2007)對三維房屋多重細緻度模型之建置及紋理貼圖進行技術研發，建立數位城市符合 OGC CityGML LOD1 及 LOD2 房屋模型的重建、紋理貼圖及動態瀏覽之技術，並研訂作業規範及標準格式(草案)。民國 100 年執行「多尺度三維數

位城市技術規劃工作案」(內政部，2011)，針對不同建物型態區域，規劃多尺度三維房屋及道路模型之建置技術，整合各式空間資料，包括大比例尺數值地形圖、空載及近景數位影像、空載及地面光達點雲、數值地形模型、高解析衛星影像等。另探討各尺度模型建置及技術之工時及成本，並進行模型精度驗證分析。

民國 101、102 年執行「三維城市模型技術發展與更新機制工作案」(內政部，2012；內政部，2013)，探討三維房屋模型更新效益及分析，加速城市模型與實際現況的同步一致性，降低資料維護成本與管理效益。另提升現有技術的自動化程度與人機介面系統，並建置標準作業程序與作業手冊。

民國 103、104 年執行「三維城市模型與建築等級模型之整合機制工作案」(內政部，2014；內政部，2015)，探討建物資訊模型(Building Information Modeling, BIM)轉換至 OGC (Open Geospatial Consortium) CityGML LOD1 至 4 的轉換機制，並建立標準作業流程與室內空間資料標準(IndoorGML)轉換技術。對於沒有 BIM 的室內場景，進行近景攝影測量(多重環景攝影)建置室內模型之先期研究。

民國 105 年開始執行「三維地形圖資技術發展工作案」分年計畫(內政部，2016)，探討房屋與道路模型作為三維基本地形圖圖資之可行性，進行需求訪談以及整合資訊科技和物聯網技術，進而推廣國家基礎圖資和後端

應用之可能性；民國 106、107 年為「三維地形圖資技術發展工作案」延續性計劃案(內政部，2017；內政部，2018)，精進 105 年度後續相關之研究，研擬三維地形圖資測製規範(草案)、作業技術文件指引，分析三維地形基礎圖資建置策略、提昇建置自動化程度、發展三維地形基礎圖資測製之技術(點雲資料與深度學習技術)等，皆有利於提升三維地形圖資技術發展與推廣。

綜觀歷年計畫，民國 102 年以前著重 LOD1~2 房屋(室外)及道路模型建置的技術研發，民國 103 年至民國 104 年重點在 BIM 模型轉換至 LOD1~4 房屋(室內外)的技術研發。民國 105 年至民國 107 年著重三維地形圖資測製規範(草案)、作業技術文件指引，規劃房屋與道路模型作為三維基本地形圖資之可行性、產官學界的需求訪談以及整合資訊科技和物聯網技術等，皆是作為推廣國家基礎圖資和後端應用需求之基礎。

從國家空間資訊基礎建設的觀點出發，三維地形圖資將會是未來智慧城市建置與應用的基礎，也會對相關施政、產業、與民生應用產生極大的助益。而三維地形圖資技術的研發以及相關系統與應用的規劃、試辦與探討則是現階段必要的課題與工作。從上述相關背景分析可以得知，本計畫之急迫性、重要性與必要性。

第三章 工作項目

3.1 工作項目

本團隊由國立中央大學太空及遙測研究中心、國立交通大學土木工程學系及台灣世曦工程顧問股份有限公司地理空間資訊部所組成。本年度計畫期程自簽約日 108 年 3 月 27 日起至 108 年 11 月 22 日止，共分為三個期程，表 3-1-1 為各期程工作項目彙整，各項工作項目說明如下。

- 一、 工作計畫書：本團隊於簽約日次日起 30 日曆天內，就以下各項工作事項進行規劃並繳交「工作計畫書」。並應依工作計畫書核定方式(或更優)方式辦理相關工作，並依科技部規定之主要績效指標詳列本案產生之績效內容。
- 二、 研發三維數值基本地形圖房屋模型及道路標線自動化產製技術
 - (一) 建立三維房屋模型自動化辨識 (Recognition) 及重建 (Reconstruction) 流程，發展從數值地表模型自動化偵測房屋區域之深度學習模型，以偵測二維房屋區域，並從三維點雲自動化重建三維房屋模型技術，產製三維房屋模型。
 - (二) 建立道路標線自動化辨識及重建流程，發展從航空照片或三維點雲自動化辨識道路標線技術，以產製三維道路標線。
 - (三) 整合前二項技術試辦三維地形圖資測製，需事先於工作會議提出

規劃與內政部討論定案，由本團隊負責取得試辦三維地形圖資測製所需之相關資料，如 UAV、傾斜攝影及街景影像、相關參考圖資等，並出具取得上述資料之證明文件。

(四) 提出精進前項圖資測製技術自動化程度或品質方案，藉此提升三維地形圖資測製效率或品質。

(五) 配合內政部辦理 108 年度行政院災害防救應用科技方案(第 2 期)，協助災後快速製圖技術研發相關作業。

三、提升三維數值基本地形圖紋理品質及建築尺度細緻度

(一) 以測繪車測製影像作為基礎，偵測三維數值地形圖模型牆面，並進行紋理判別，找出與真實影像最相近之通用紋理。

(二) 透過既有資料(如：千分之一地形圖或臺灣通用電子地圖)發展近景多視角影像提升三維房屋及道路模型，並評估建置效能。

(三) 藉由影像或點雲資訊搭配既有資料(如：千分之一地形圖或臺灣通用電子地圖)發展重建三維室內模型技術。

(四) 整合前三項技術試辦三維地形紋理建置：需事先於工作會議提出規劃與內政部討論定案。

四、精進三維地形圖資測製技術文件

(一) 精進三維地形圖測製及檢核作業技術文件指引：延續 107 年度指引成果，依內政部國土測繪中心測製成果精進三維地形圖測製及

檢核作業技術文件指引，文件內容應包括：目的、適用範圍、名詞定義、參考文獻、資料格式、三維地形圖資核心類別及其測製要求、資料品質等級、檢核內容與方式及檢核標準等，滾動修正本案三維地形圖測製及檢核作業技術文件指引。

- (二) 提出三維地形圖資測製技術之成本分析、應用領域及成果效益。
- (三) 探討三維地形圖資測製中遭遇之困難或三維地形圖資技術發展需克服之問題並提出可能之解決方案。
- (四) 提出三維地形圖資測製成果物件化、三維空間資料結構與編碼之策略與建議。

五、 三維室內圖資與物聯網之整合方案及應用試辦

以實際場域進行物聯網整合方案應用試辦，於工作會議提出規劃與內政部討論定案，本團隊自行協調試辦場域及取得相關資料或建置相關物聯網所需裝置。

六、 研究成果發表、協助國際事務推動及技術交流

- (一) 提送國內外期刊或研討會論文文稿至少 3 篇，且其中 1 篇需提送國際期刊(SCI/EI 等級)。
- (二) 協助國際事務推動及技術交流：配合內政部其他專案共同在臺辦理臺印尼年度測繪技術交流會議活動，並依本案主題場次邀請印尼方產官學研人士(合計至少 2 位)；其辦理方式、議程規劃、時

間、場地、參加人次等內容，需與內政部討論定案後辦理。有關辦理會議所需相關費用及印尼方人士來臺參與所需相關費用(機票費、在臺交通費、餐費、住宿費等)由本團隊負擔；另配合內政部需求，參與測繪技術服務團(GEM)技術交流。

七、 成果效益評估:

依據科技計畫績效管考平台(<http://stprogram.stpi.narl.org.tw/>)提供格式，配合內政部辦理本案計畫「科技發展計畫績效評估作業」自評作業需求，參考內政部提供之相關績效作業範本，填寫本案相關成果效益報告書、績效指標、佐證資料、政府科技發展計畫績效評估；另配合將本案各期資訊登載政府研究資訊系統(GRB, <https://www.grb.gov.tw/>)，且將登載結果繳附於各期工作成果，並適時接受諮詢。

八、 工作會議:

本團隊每月召開工作會議，並適時接受諮詢。其中2次邀請有三維地形圖資應用需求之產或官或學界之使用者至少2名(名單需先與內政部討論)參與交換意見，並作為後續應用方向或執行參考，所需費用由本團隊負擔。

表 3-1-1、各期程工作項目彙整

工作項目	第一期	第二期	第三期
一、工作計畫書與各期報告	完成工作計畫書	繳交期中報告	繳交期末報告
二、研發三維數值基本地形圖房屋模型及道路標線自動化產製技術		<ul style="list-style-type: none"> ● 房屋區域自動化辨識 ● 道路標線自動化辨識 	<ul style="list-style-type: none"> ● 三維房屋模型重建流程 ● 道路標線重建重建流程 ● 提出精進自動化程度或品質方案
三、提升三維數值基本地形圖紋理品質及建築尺度細緻度		<ul style="list-style-type: none"> ● 測繪車影像資訊分析 ● 建置影像點雲資訊 	<ul style="list-style-type: none"> ● 牆面影像分析，紋理資料庫影像匹配 ● 分析近景影像資訊，提升三維房屋及道路模型建置技術 ● 藉由影像、點雲重建三維室內模型技術
四、精進三維地形圖資測製技術文件		<ul style="list-style-type: none"> ● 三維地形圖資測製技術成本分析 ● 三維地形圖物件成果，資料結構與編碼之策略與建議 	<ul style="list-style-type: none"> ● 三維地形圖地形圖測製及檢核作業文件精進 ● 探討三維地形圖資技術發展瓶頸與可能解決方案
五、三維室內圖資與物聯網之整合方案及應用試辦		<ul style="list-style-type: none"> ● 設置室內即時火災逃生路徑規劃系統之應用試辦場域 	<ul style="list-style-type: none"> ● 完成室內即時火災逃生路徑規劃系統之應用試辦
六、成果發表		投稿國內外期刊或研討會論文文稿 1 篇	投稿國內外期刊或研討會論文文稿 2 篇(其中 1 篇須為 SCI/EI 等級國際期刊)

3.2 工作期間及進度

表 3-2-1、預定工作進度表

項次	工作項目	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
1	工作計畫書與各期報告									
	工作計畫書	■								
	期中報告		■	■						
	期末報告							■	■	
2	研發三維數值基本地形圖房屋模型及道路標線自動化產製技術									
	建立三維房屋模型自動化辨識及重建流程		■	■	■	■	■			
	建立道路標線自動化辨識及重建流程		■	■	■	■	■			
	整合前二項技術試辦三維地形圖資測製				■	■	■	■	■	
	提出精進前項圖資測製技術自動化程度或品質方案				■	■	■	■	■	
	配合內政部辦理 108 年度行政院災害防救應用科技方案(第 2 期)					■	■	■	■	
3	提升三維數值基本地形圖紋理品質及建築尺度細緻度									
	以測繪車測製影像作為基礎，偵測三維數值地形圖模型牆面，並進行紋理判別，找出與真實影像最相近之通用紋理		■	■	■	■	■	■	■	
	透過既有資料發展近景多視角影像提升三維房屋及道路模型，並評估建置效能			■	■	■	■	■	■	
	藉由影像或點雲資訊搭配既有資料發展重建三維室內模型技術				■	■	■	■	■	
	整合前三項技術試辦三維地形紋理建置：需事先於工作會議提出規劃與內政部討論定案		■	■	■	■	■	■	■	

項次	工作項目	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
4	精進三維地形圖資測製技術文件									
	精進三維地形圖測製及檢核作業技術文件指引									
	提出三維地形圖資測製技術之成本分析、應用領域及成果效益									
	探討三維地形圖資測製中遭遇之困難或三維地形圖資技術發展需克服之問題並提出可能之解決方案									
	提出三維地形圖資測製成果物件化、三維空間資料結構與編碼之策略與建議									
5	三維室內圖資與物聯網之整合方案及應用試辦									
	以實際場域進行物聯網整合方案應用試辦									
6	研究成果發表、協助國際事務推動及技術交流									
	提送國內外期刊或研討會論文文稿至少3篇,且其中1篇需提送國際期刊(SCI/EI等級)									
	協助國際事務推動及技術交流:配合內政部其他專案共同在臺辦理臺印尼年度測繪技術交流會議活動,並依本案主題場次邀請印尼方產官學研人士(合計至少2位)									

3.3 繳交成果及繳驗時程

3.3.1 進度報告

每月將定期舉行工作進度會議，討論工作要項、進度、遭遇困難、需協調事項等。本計畫工作進度會議紀錄經計畫主持人簽章後將附於各期報

告內備查。

3.3.2 期中報告及期末報告

本計畫之執行包含期中報告及期末報告，期中報告初稿於 108 年 7 月 12 日前繳交，期末報告初稿於 108 年 11 月 22 日前繳交，俟內政部指定期限內，依審查意見修正後於分別繳交期中報告及期末報告定稿。

3.3.3 成果繳交格式、項目、日期及地點

一、 成果繳交項目及日期如表 3-3-1 所示。

表 3-3-1、成果繳交項目及日期

期別	成果繳交項目及份數	成果繳交期限
第 1 期	「工作計畫書」書面資料 2 份及電子檔 1 份(含執行團隊人員名冊)。	簽約日次日起 30 日曆天內。
第 2 期	1. 期中報告書初稿 10 份(包含本案各項工作預定繳交資料)。 2. 國內外期刊或研討會論文文稿 1 篇。	108 年 7 月 12 日前繳交。
第 3 期	1. 期末報告書初稿 10 份(包含本案各項工作預定繳交資料)。 2. 國內外期刊或研討會論文文稿 2 篇。	108 年 11 月 22 日前繳交。 左列各項書面資料初稿經審查後，本團隊需於內政部指定期限內，繳交修正後期末報告定稿書面資料 5 份及其電子檔 1 份。

二、 成果繳交地點：內政部地政司。

三、 本團隊應依照契約書及工作規格書相關規定確實執行，並於工作項

目完成後將應繳交之各項成果送交內政部，經審核認可後為合格，若有資料不詳、不全、錯誤或系統功能不符合需求者，則退還本團隊補正，本團隊應於內政部發文通知日次日起 14 天內完成資料之修正。

第四章 實施方法

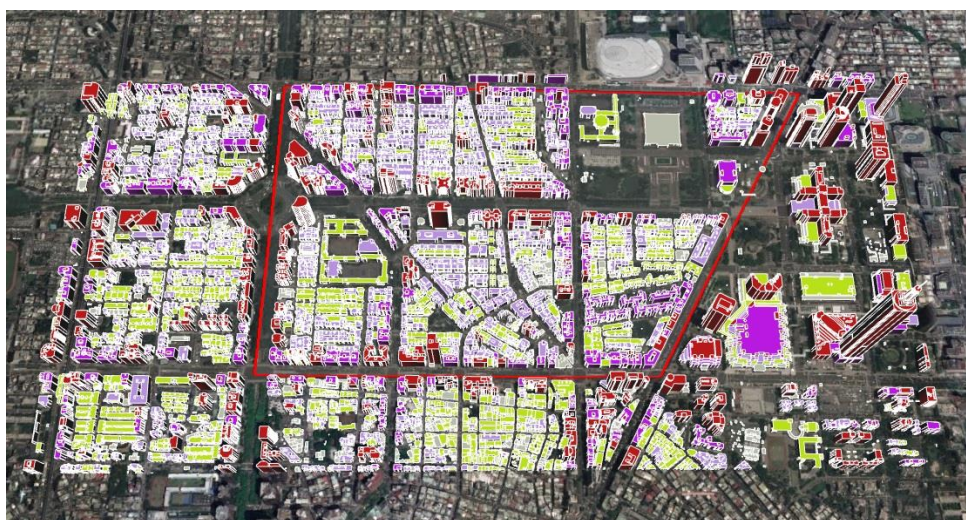
4.1 試辦區域選定

根據以往於試辦場域架設經驗、感測器類型的限制，本年度特別將物聯網試辦場域獨立出來，選定自由度高、能夠支援各式感測器(如煙霧、溫濕度等)架設之場域為主。架設感測器的類型不受限制，才能讓物聯網取到更多元的應用，藉由各式感測器的資料蒐集、分析，使物聯網應用更容易應用於智慧城市中。

試辦區之選定經內政部同意，「研發三維數值基本地形圖房屋模型及道路標線自動化產製技術」與「提升三維數值基本地形圖紋理品質及建築尺度細緻度」試辦區選定國父紀念館周邊區域為試辦區域，此區域面積約為 120 公頃，北以忠孝東路、南以信義路、東以基隆路、西以敦化南路為界，範圍如圖 4-1-1 所示(紅色區域內)。使用圖資為千分之一基本地形圖(圖幅編號為 N4343、N4344、N4443、N4444、N4543、N4544)、正射影像、原始航照影像、數值地形模型(包含數值高程模型與數值地表模型)等。透過千分之一基本地形圖產製 LOD1 房屋模型，LOD1 房屋模型成果如圖 4-1-2 所示。採購之測繪車影像拍攝路線如圖 4-1-3 所示。「三維室內圖資與物聯網之整合方案及應用試辦」選定國立中央大學研究中心大樓二期館作為試辦地點，如圖 4-1-4 所示，試辦場域為紅色區域的 1 樓與 2 樓。



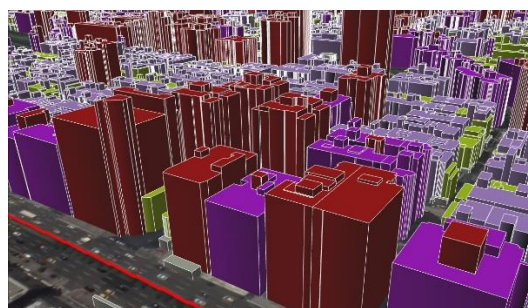
圖 4-1-1、試辦區域-國父紀念館周邊區域



(a) LOD1 房屋模型-遠距離視角



(b) LOD1 房屋模型-近距離視角



(c) LOD1 房屋模型-近距離視角

圖 4-1-2、試辦區 LOD1 模型成果



圖 4-1-3、測繪車拍攝路線



圖 4-1-4、物聯網試辦地點-國立中央大學研究中心大樓二期館

4.2 研發三維數值基本地形圖房屋模型及道路標線自動化產製技術

深度學習(Deep Learning)是機器學習(Machine Learning)的其中一類技術，深度學習使用多層的神經網路進行學習，配合大量的訓練資料，在許

多研究中獲得良好的辨識成果，已廣泛應用在各個不同的領域中。深度學習主要功能包含感知、決策及回饋相關應用(李開復，2016)，「感知」是指資料面需要的視覺、語音、語言的自動化辨識；「決策」是指決策層面需要從巨量數據中歸納的預測及判斷；「回饋」則是系統面經由即時感測器訊號分析及統整的回饋。就深度學習在空間資訊領域的應用進行討論，測量製圖需要深度學習的「感知」功能，發展圖徵的自動化辨識等；地理資訊系統或資料科學，則會需要深度學習的「決策」功能，預測及判斷空間資料隱含的資訊等。

三維數值基本地形圖的製圖觀測資料為影像或光達點雲，可導入深度學習的視覺自動化辨識技術，在二維的影像辨識中，卷積神經網路(Convolutional Neural Network, CNN) (Krizhevsky et al, 2012)廣泛的應用在影像識別，CNN 演算法對影像的局部區域進行卷積運算，提升類神經網路運算效能，並使用多個核函數(Kernel)從局部罩窗獲取影像特徵，以不同尺度的特徵進行辨識。

本項工作目的為發展三維數值基本地形圖房屋模型及道路標線自動化產製技術，研究中導入深度學習技術於房屋及道路標線自動化辨識(Recognition)，針對房屋自動化辨識區域進行模型重建(Reconstruction)，並針對道路標線自動化辨識成果進行精化(Refinement)，經由房屋模型及道路標線自動化產製試辦。本項工作主要研究項目包含：(1)建立三維房屋模型

自動化辨識及重建流程；(2)建立道路標線自動化辨識及重建流程；(3)試辦三維數值基本地形圖之房屋模型及道路標線自動化測製；(4)提出精進前項圖資測製技術自動化程度或品質方案；(5)配合機關辦理 108 年度行政院災害防救應用科技方案(第 2 期)，協助災後快速製圖技術研發相關作業。

4.2.1 建立三維房屋模型自動化辨識及重建流程

本項工作目標為提升 LOD1 三維房屋模型自動化程度，主要包含兩個核心工作：二維房屋區域自動化辨識及三維房屋模型重建(圖 4-2-1)。

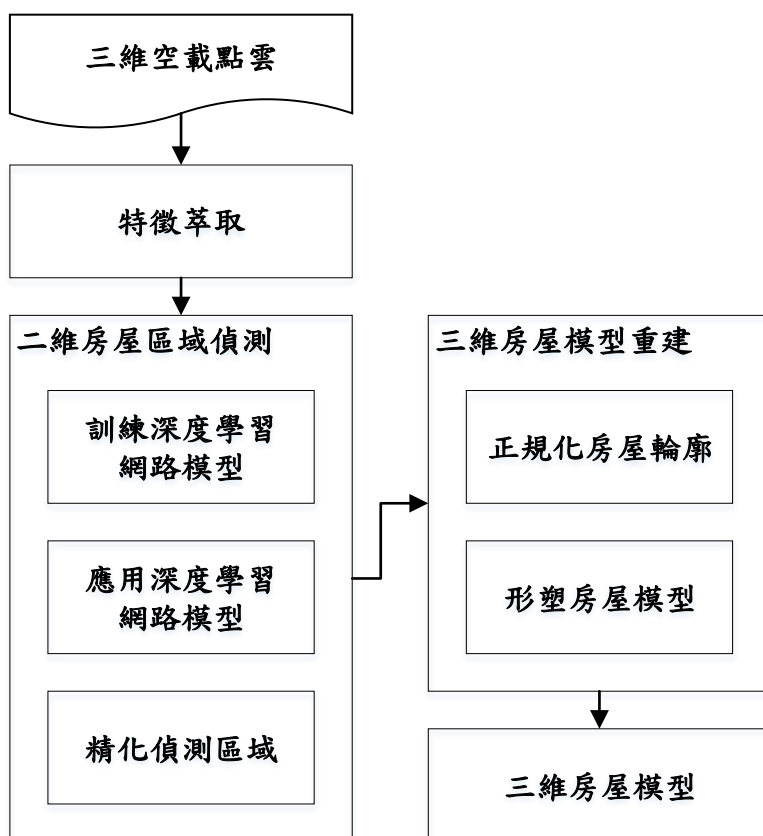


圖 4-2-1、三維房屋模型自動化辨識及重建流程

房屋區域可使用光學影像光譜特徵或數值地表模型(Digital Surface

Model, DSM)形狀特徵進行辨識，使用光譜特徵的優點是影像細節較豐富，但是房屋的高差移位會造成偵測區域與實際的房屋區域有偏差，在缺乏三維房屋模型進行真實正射改正的情況下，使用數值地表模型偵測房屋區域可避免房屋高差移位的影響，因此本項工作採用數值地表模型自動化偵測房屋區域，數值地表模型可來自光達點雲或高重疊影像密匹配。

二維房屋區域自動化辨識採用全卷積神經網絡(Fully Convolutional Network, FCN) (Long et al., 2015)，FCN 是基於 CNN 架構進行改良，FCN 整合三種方法達成不同物體分割(Segmentation)之目的，包含：卷積化(Convolutional)、上採樣(Upsample)、跳躍式結構(Skip Layer)。FCN 使用全卷積層(Fully Convolutional Layer)取替 CNN 架構中的全連接(Fully Connected Layer)層；上採樣則是對卷積層進行反卷積(Deconvolution)技術，經由不斷反卷積上採樣得到和輸入圖層相同維度的影像；但若將全卷積層的結果直接進行上採樣，將會得到粗糙的成果，故使用跳躍式結構，整合該層上採樣預測成果及上一個池化層進行上一層的上採樣預測成果，反卷積原始維度的分類影像，FCN-8s、FCN-16s、FCN-32s 則是使用不同跳躍式結構得到上採樣成果，其中 FCN-8s 的分割成果較另外兩個方法佳(Long et al., 2015)，故本研究採用 FCN-8s 架構，FCN-8s 完整的方法細節可參考 Long et al., (2015)。

深度學習需要大量的訓練資料得到更佳的分類度，房屋區域偵測的訓

練資料使用 1/1000 地形圖進行產製，訓練資料的分類類別包含房屋及其他(道路、植物及地面)(如圖 4-2-2 所示)，本研究僅著重在房屋區域的偵測，增加其他類別之目的是要降低誤判，分類主體仍是房屋區域。先以訓練資料建立深度學習參數，再將深度學習參數套用到獨立檢核區進行精度評估。深度學習成果仍有可能會有椒鹽效應，研究中採用形態學(Morphology)方法降低分類成果中的雜訊。

房屋區域的自動化辨識成果採用誤差矩陣進行精度評估，本研究中將以四項精度表現對分類成果進行討論，而各項精度的計算方法如下(公式 4-2-1~公式 4-2-4)：令誤差矩陣之對角線元素為 E_{ii} ； E_{icol} 為第 i 行之總和表該類別之檢核總數； E_{irow} 為第 i 列之總和表該類別之分類成果總數； n 為所有檢核總數； r 為總類別數。整體精度的計算方式是「分類正確的像元總數」與「所有像元總數」之比值，並以 IoU(Intersection-of-Union)表示萃取成果與房屋之重疊率。

正確性(Correctness)：

$$Correctness = \frac{E_{ii}}{E_{icol}} \times 100\% \quad (\text{公式 4-2-1})$$

完整性(Completeness)：

$$Completeness = \frac{E_{ii}}{E_{irow}} \times 100\% \quad (\text{公式 4-2-2})$$

整體精度(Overall Accuracy, OA)：

$$OA = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r E_{ii} \right) \times 100\% \quad (\text{公式 4-2-3})$$

IoU(Intersection-of-Union)：

$$IoU = \frac{\text{兩多邊形之交集}}{\text{兩多邊形之聯集}} \times 100\% \quad (\text{公式 4-2-4})$$

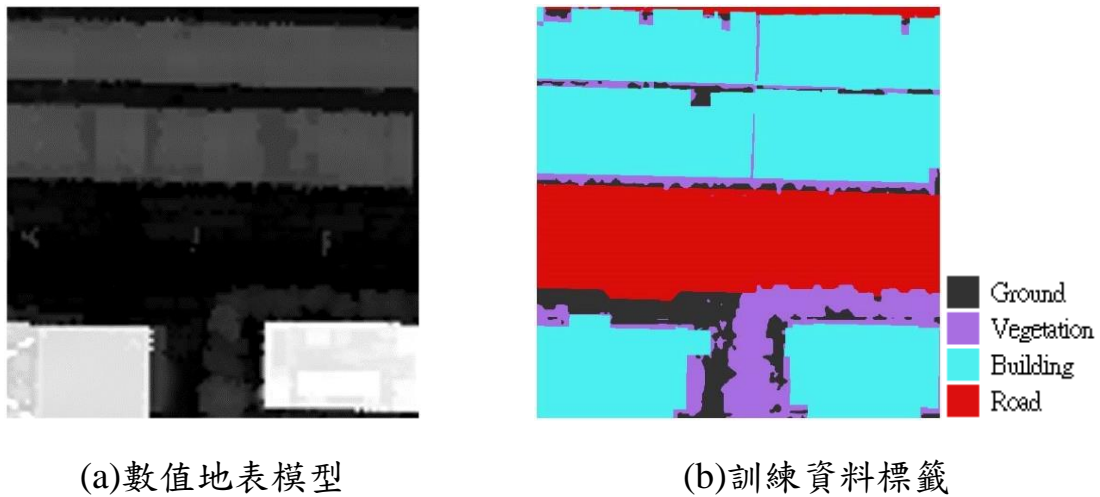


圖 4-2-2、房屋訓練資料示意圖

三維房屋模型重建包含兩項工作：正規化二維房屋多邊形及三維形塑。完成二維房屋區域偵測後，假設房屋邊界形狀大多為正規化的牆面，對二維房屋區域進行邊緣線正規化處理(Teo et al., 2005)，從房屋區域的主軸分析得到房屋最長邊界的方位角，從最長邊界開始，依正交及平行約制，對房屋區域進行正規化處理，從不規則像元得到房屋邊界的節點，最終轉換為正規化二維多邊形(圖 4-2-3)。

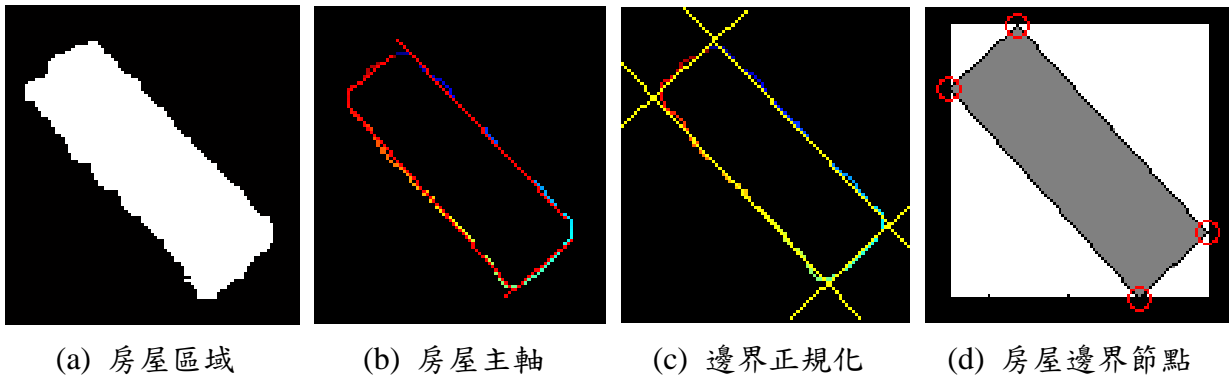


圖 4-2-3、二維房屋多邊形正規化示意圖

三維房屋形塑採用隨機抽樣一致演算法(RANdOm SAmpLe Consensus, RANSAC)過濾非屋頂面點雲及擬合屋頂面。圖 4-2-4 以屋頂面為例，以展示 RANSAC 過濾點雲的能力，RANSAC 會自動挑選主要群聚的主平面點雲，排除非主平面的點雲進行擬合，可有效利用在三維房屋模型形塑(Teo et al., 2007)。

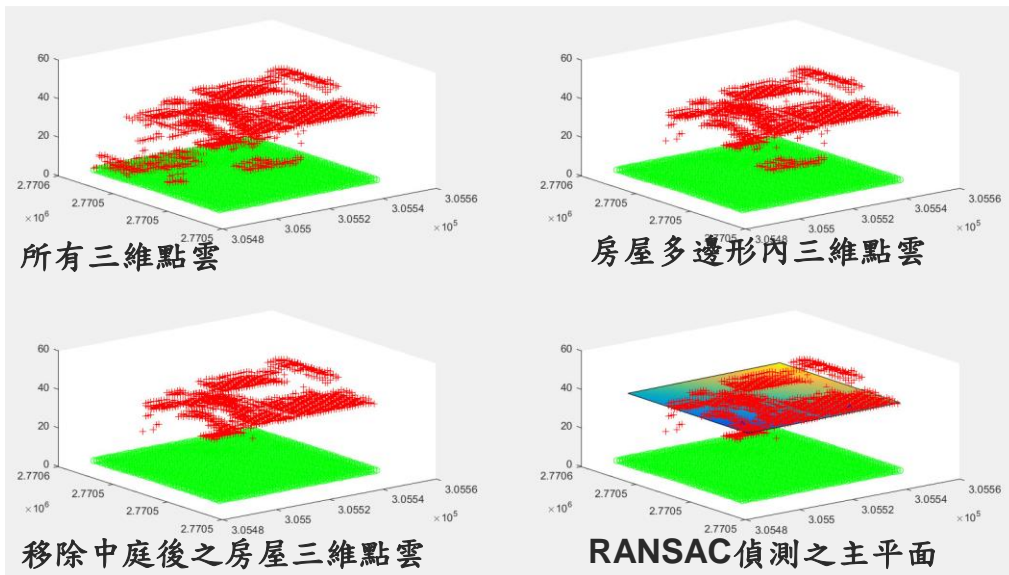


圖 4-2-4、三維點雲形塑平面之示意圖

4.2.2 建立道路標線自動化辨識及重建流程

本項工作目標為提升道路模型的屬性資訊，因此從低細緻度的道路模型進行精化道路標線，本項工作導入深度學習技術，針對向量圖中道路的區域，使用高解析度航照正射影像進行道路標線的辨識，以提升道路模型之細緻度。主要內容為人工建立訓練資料庫、以向量圖道路多邊為遮罩獲取道路區域、以 FCN (Fully Convolutional Network) 偵測道路標線、三維化道路標線，最終以道路標線提升道路模型之資訊(圖 4-2-5)。

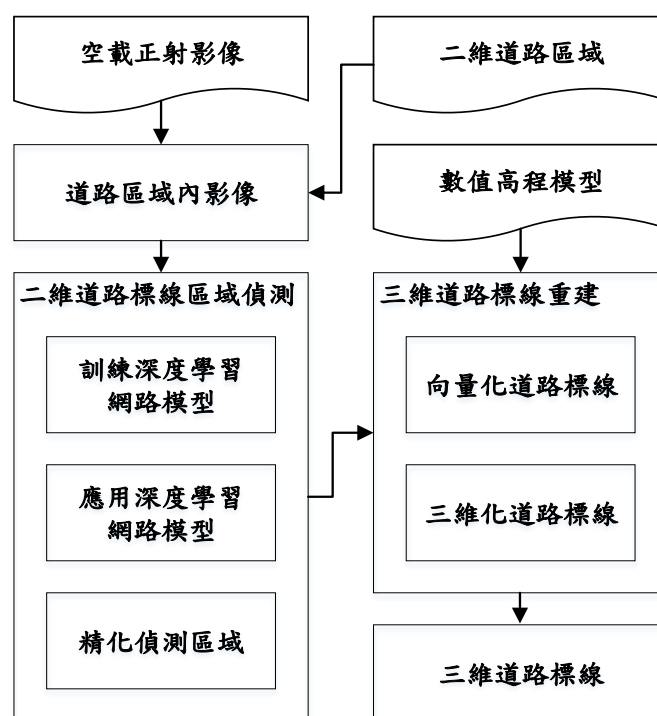


圖 4-2-5、三維道路模型自動化辨識及重建流程

道路區域與非道路區域可直接從 LOD1 三維彩帶式道路模型獲得，以提升辨識的效能及降低錯誤，其中三維彩帶式道路模型是指只有路面區域的

道路模型，此模型沒有車道線或道路設施等細部資訊。研究中僅針對道路區域進行自動化辨識，以道路遮罩排除非路面區域。訓練資料是指影像中道路標線的確切位置，必須有良好的品質方能達成自動化偵測之目的，本研究採用人工數化產生道路標線，訓練區示意如圖 4-2-6。

訓練區大小的選擇，需考量是否能完整涵蓋待分類的道路標線，假設單一車道寬度是 4m，訓練區大小不得小於 4m x 4m，考量都市區域多車道的特性，研究中訓練區大小設定為 50m x 50m，以空間解析度 10cm 的正射影像為例，影像大小約為 500pixels x 500pixels。

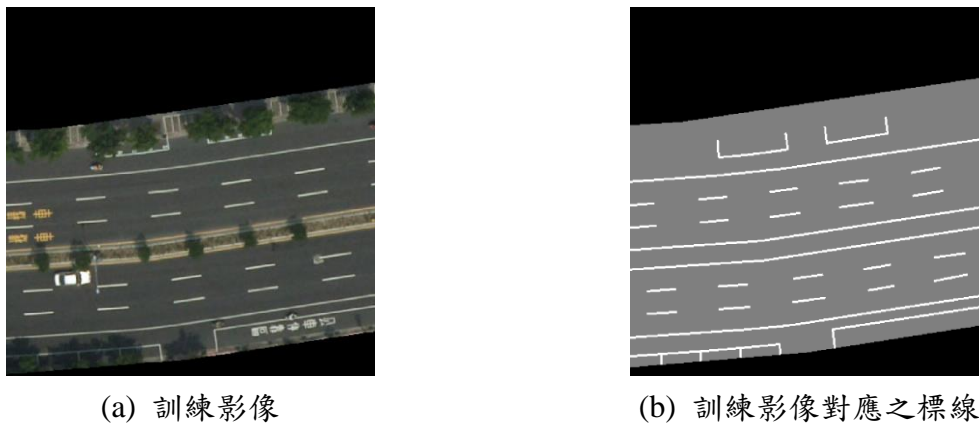


圖 4-2-6、道路標線訓練資料示意圖

訓練區的數量選擇，需考量分類的類別數、類別的複雜性、深層網路的參數、初始網路參數的適用性等。訓練區的數量越多精度越高(圖 4-2-7)，以 ImageNet 為例，每一個類別的訓練影像至少是 1000 個。本研究的分類目標為道路區域中的道路標線，道路標線是指雙實線、單實線、虛線、停等區、停車格、停止線、指向線、近障礙物線、枕木紋行人穿越道線、自

行車道線、網狀線、菱形標線，分類類別數量較少；雖然道路標線的複雜度低，但會受到道路上不同交通工具的遮蔽影響，仍需要考量實際道路標線在真實影像上的外觀。

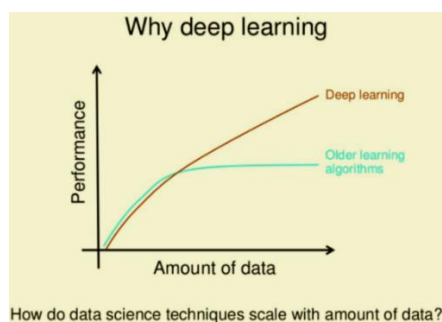


圖 4-2-7、深度學習與傳統分類器訓練資料數量比較示意圖

(圖片來源：©<https://towardsdatascience.com/why-deep-learning-is-needed-over-traditional-machine-learning-1b6a99177063>)

以訓練資料建立深度學習參數後，使用此深度學習參數進行獨立檢核之精度評估。深度學習成果仍有可能會有椒鹽效應，研究中採用形態學 (Morphology) 方法降低分類成果中的雜訊，再以最小二乘直線擬合標線，最後使用數值地形模型內插道路標線的高程，形成三維道路標線。

4.2.3 整合前二項技術試辦三維地形圖資測製

本項工作選定國父紀念館周邊區域為試辦測試區域，整合前二項發展之技術試辦三維地形圖資測製，並根據試辦區之圖資完整度適時調整作業流程與技術。此外，由本團隊負責取得試辦三維地形圖資測製所需之相關資料，如正射影像、數值高程模型等圖資，購買證明文件如附件 D。

4.2.3.1 二維房屋區域自動化辨識

試辦資料包含：(1)辨識所需的數值地形模型及數值地表模型、(2)訓練及驗證所需的 1/1000 數值地形圖。試辦區域共有 6 個 1/1000 圖幅(合計 288 公頃)，其中 2 個圖幅(4543 及 4544)選定為訓練區，其餘 4 個圖幅(4343、4344、4443 及 4444)為檢核區，訓練及檢核所需要的房屋多邊形來自 1/1000 數值地形圖之房屋多邊形，參考用的正射影像如圖 4-2-8a，自動化辨識的依據包含正規化數值高程資料(Normalized Digital Surface Model, NDSM)(圖 4-2-8b)、反射率(Intensity)(圖 4-2-8c)、回波率(Echo Ratio)(圖 4-2-8d)三組資料。正規化數值高程資料可提供地表及地上物的分類依據、反射率可區別柏油路面及非柏油路面區域、回波率在可穿透的植物及非植物區域有明顯的差異。

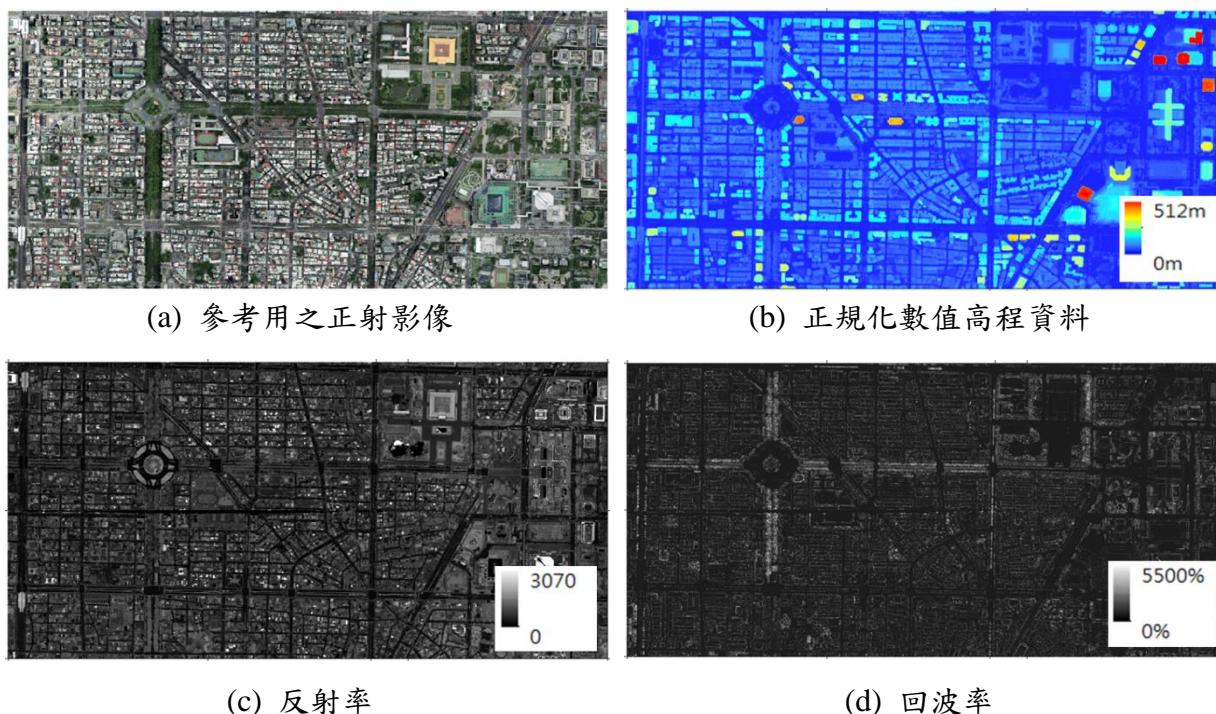


圖 4-2-8、影像與高程資料

深度學習分類類別包含房屋、道路、植物及裸露地共四個類別，完成自動化分類後鎖定房屋區域進行分析及精化，訓練樣本以 1/1000 圖幅(800m x 600m)為單元(圖 4-2-9a)，網格大小為 20cm，訓練單元大小為 4000pixel x 3000pixel，本研究採用 FCN 深度學習方法進行房屋識別，輸入圖幅 4544 及 4543 進行 30 個 epoch 的訓練後，總體精度(Accuracy)及總體損失(Loss)趨於穩定(圖 4-2-10)，代表此 FCN 已達成收斂。完成深度學習訓練參數後，即可使用輸入特徵圖層進行房屋偵測，房屋偵測成果如圖(圖 4-2-9b)所示。

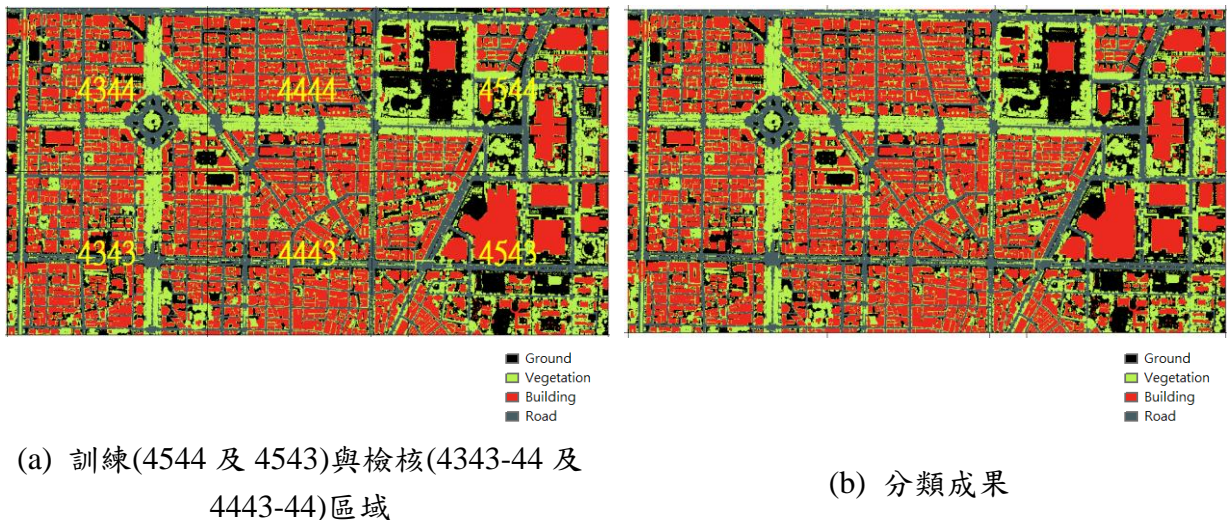


圖 4-2-9、房屋訓練區及房屋偵測成果

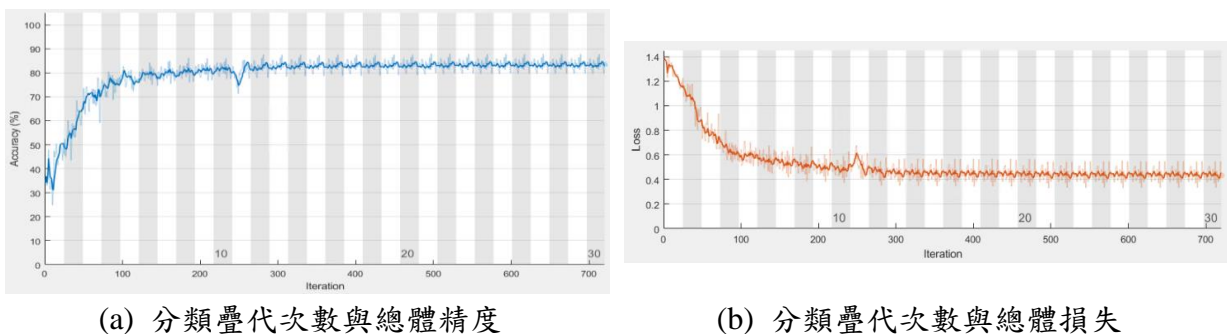
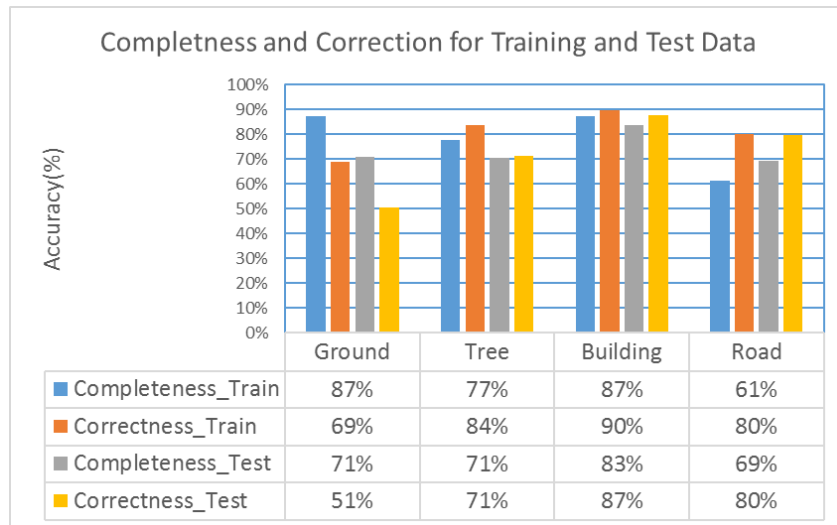
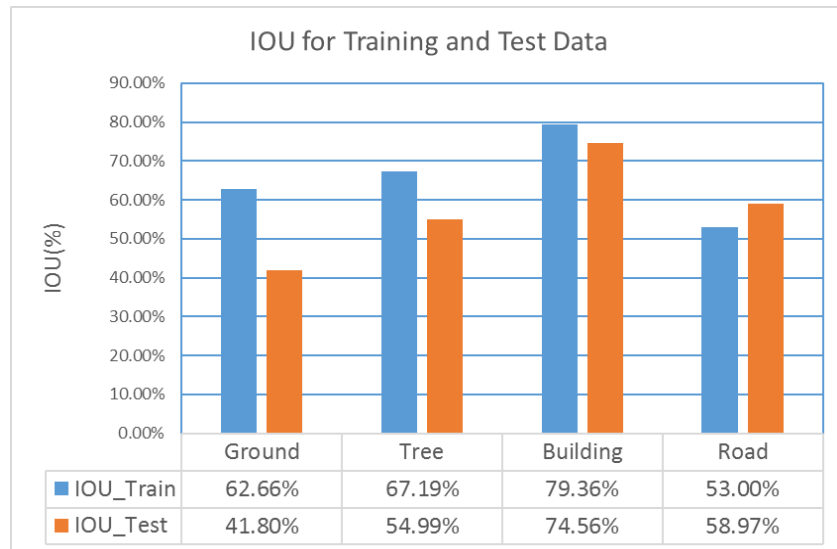


圖 4-2-10、分類疊代收斂圖

精度評估分別使用整體精度、正確性及完整性進行房屋區域識別之量化分析，分析訓練區及檢核區的整體精度分別為 80% 及 76%，各項精度指標整理如圖 4-2-11，鎖定房屋區域進行分析，訓練區均可達到至少 83% 之正確性及完整性，可使用獨立區域進行訓練，並將訓練完成的深度學習參數套用至其他區域。



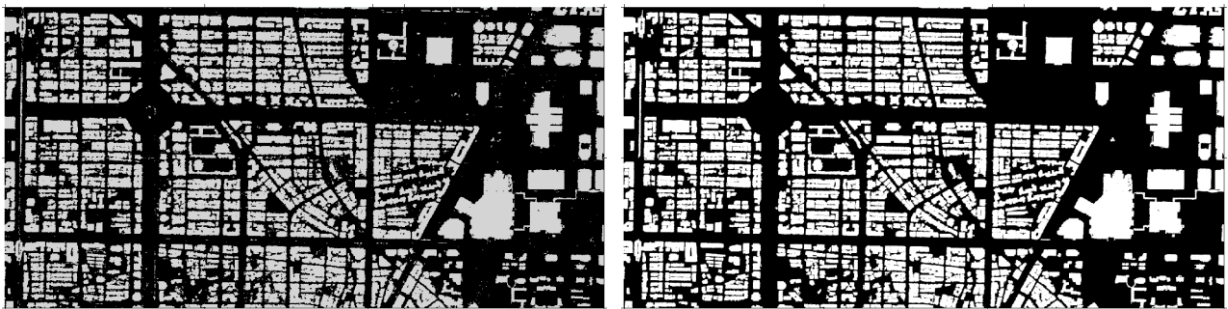
(a) 分類精度比較圖



(b) IoU 面積比較圖

圖 4-2-11、房屋精度比較圖

由於自動化房屋區域萃取成果會有一些破碎的資料，必須對分類所得之原始房屋區域(圖 4-2-12a)進行精化及正規化，精化是以形態學平滑化房屋多邊形邊界並刪去細小區域，圖 4-2-12 比較精化前後的二維房屋區域。最後，假設房屋具有正交規則化的特性，自動化產生正規化二維房屋多邊形供後續建模使用。



(a) 原始偵測房屋區域

(b) 精化房屋區域成果

圖 4-2-12、精化房屋區域成果

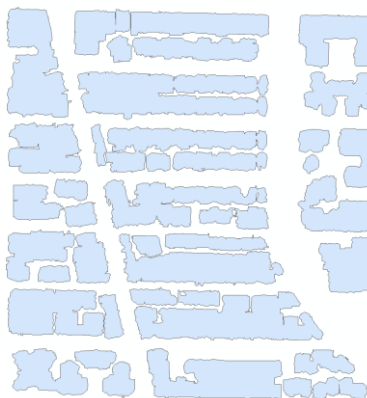
圖 4-2-13a 是正規化房屋封閉多邊形成果，全自動化程序共產生 3270 個房屋封閉多邊形，圖 4-2-13b 到圖 4-2-13d 為局部放大比較 1/1000 人工數化及全自動化萃取之房屋封閉多邊形成果，人工數化採用高解析航照立體對進行量測，故房屋多邊牆面形狀細緻，而自動化原始觀測資料為每平方公里 4 個點的光達資料，因空間解析度低而造成房屋多邊形形狀細緻度較低，但自動化程度高。



(a)正規化房屋封閉多邊形



(b)1/1000 房屋多邊形
(局部放大)



(c) 精化房屋多邊形
(局部放大)



(d) 正規化房屋封閉多邊形
(局部放大)

圖 4-2-13、正規化房屋區域成果

為量化分析正規化房屋區域之成果，本研究使用 IoU (Intersection-of-Union)(圖 4-2-14)指標比較人工數化房屋多邊形與自動化萃取房屋多邊形的重疊率，IoU 的是兩多邊形交集與兩多邊形聯集的比例，分析成果顯示，訓練區及檢核區正規化房屋區的 IoU 分別是 79%及 75%，自

動化萃取成果與人工數化成果有相當高的重疊比例。

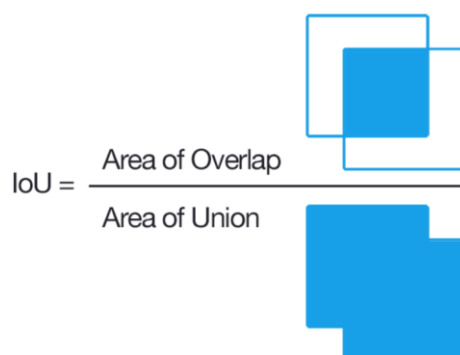
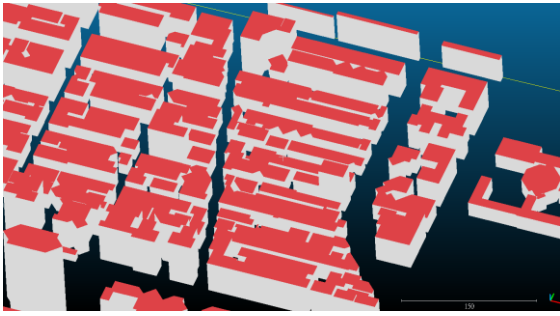


圖 4-2-14、IoU 示意圖

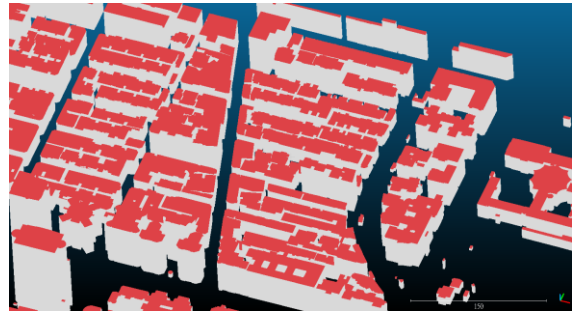
完成二維房屋自動辨識及二維正規化處理後，需要給予房屋屋頂形狀完成三維房屋重建之工作。為了能達到三維屋頂面自動化形塑，本研究採用隨機抽樣一致演算法(RANDom SAmple Consensus, RANSAC)，擬合主平面給予二維房屋輪廓所需之高度，以建立三維房屋模型。本項工作比較(1)原始三維點雲、(2)自動化形塑三維房屋、(3)1/1000 房屋輪廓形塑三維房屋，圖 4-2-15(d)及(e)比較原始三維點雲與形塑三維房屋模型的套疊成果，在三維點雲與三維模型疊合展示中，屋頂主平面與點雲有一致的高程(圖 4-2-15)。



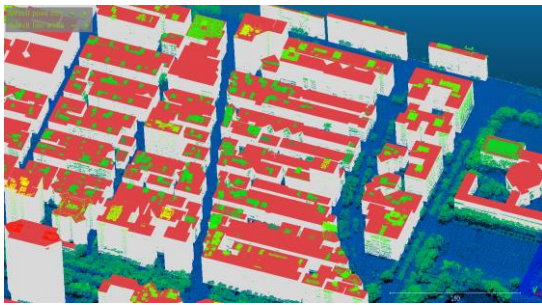
(a)三維點雲



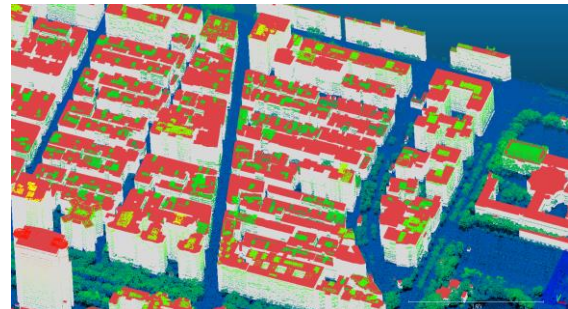
(b)以自動化萃取房屋輪廓形塑之三維模型



(c)以 1/1000 數值地形圖房屋輪廓形塑之三維模型



(d)自動萃取之三維模型與三維點雲套疊



(e) 1/1000 數值地形圖之三維模型與三維點雲套疊

圖 4-2-15、三維形塑成果與點雲模型之套疊比較

本研究使用原始三維點雲到形塑三維平面之垂距評估高差，點到面垂距統計如表 4-2-1 及圖 4-2-16，圖 4-2-16 縱軸 Count 是指：高程偏差在特定值域內的統計數量，可得知使用 1/1000 房屋輪廓的成果比自動化萃取房屋邊界的成果佳，但兩種三維房屋模型的平差偏差均大於 9.257 公尺，分析原因是房屋多邊形未細部分割成不同高度，且本測試區內有許多高樓(如 508 公尺高的臺北 101)會造成顯著的影響，後續研究建議對自動化偵測成果進行二維細部分割，以產生不同的屋頂面的二維多邊形，以避免多個屋頂面對應到使用同一個屋頂高度，而造成公尺等級的平差偏差。雖然，此自動化

呈成未能滿足高精緻度的製圖需求，但可快速自動產製房屋模型，做為緊急製圖的初步成果。

表 4-2-1、三維形塑分析：點到面垂距統計表

6 幅地形圖	1/1000 人工建模	自動萃取房屋建模
最小距離(m)	0	0
最大距離(m)	132.563	132.643
平均距離(m)	9.257	12.144
標準差(m)	16.138	19.289

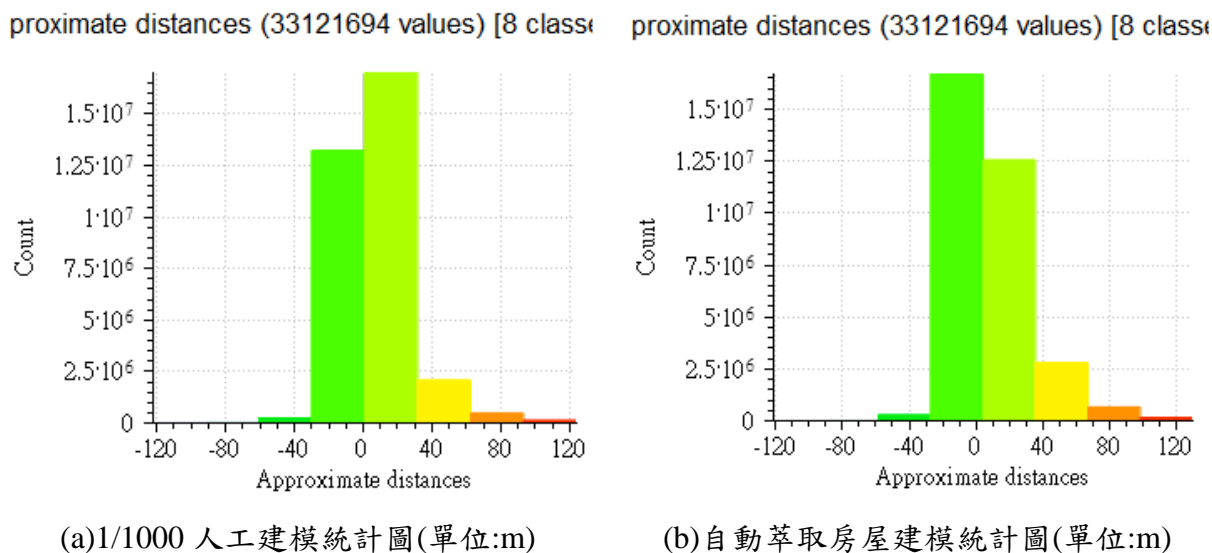


圖 4-2-16、三維形塑分析：點到面垂距統計圖

4.2.3.2 道路標線自動化辨識

本項工作發展深度學習方法於空載影像之道路標線自動化萃取，鎖定向量圖中道路的區域，使用高解析度航照正射影像進行道路標線的辨識，辨識之道路標線包含雙實線、單實線、虛線、停等區、停車格、停止線、指

向線、近障礙物線、枕木紋行人穿越道線、自行車道線、網狀線、菱形標線，以道路標線提升道路模型的資訊。試辦資料包含：(1)辨識所需的航照正射影像、(2)區別道路與非道路區域的 1/1000 數值地形圖、(3)訓練區、檢核區及試辦區影像及對應的人工數化道路標線。訓練資料必須有植生遮蔽率低的必要特性區域，故本研究使用內湖、民權路及建國高架的資料建置訓練及檢核資料，即訓練/檢核資料與試辦區分別是兩個區域；試辦區域涵蓋 6 個 1/1000 圖幅(合計 288 公頃)，航照正射影像的道路區域與非道路區域可使 1/1000 數值地形圖中的道路圖層進行分離。

訓練及檢核區(圖 4-2-17a)大小設定為 50m x 50m，訓練及檢核區對應的道路標線以人工數化而得(圖 4-2-17b)，共數化 518 個，其中 414 個(佔總數的 80%)為訓練區，其餘 104 個(佔總數的 20%)為檢核區，訓練區應用於深度學習參數計算，檢核區僅做精度驗證分析。試辦區域包含 6 個圖幅(4343、4344、4443、4444、4543 及 4544)(圖 4-2-17c)，共 288 公頃。為降低干擾，使用 1/1000 數值地形圖之道路圖層鎖定道路區域(圖 4-2-17d)進行分類。此外，在試辦區域內人工數化 119 個獨立檢核區(圖 4-2-17e 及 f)，以量化評估道路標線偵測的精度。

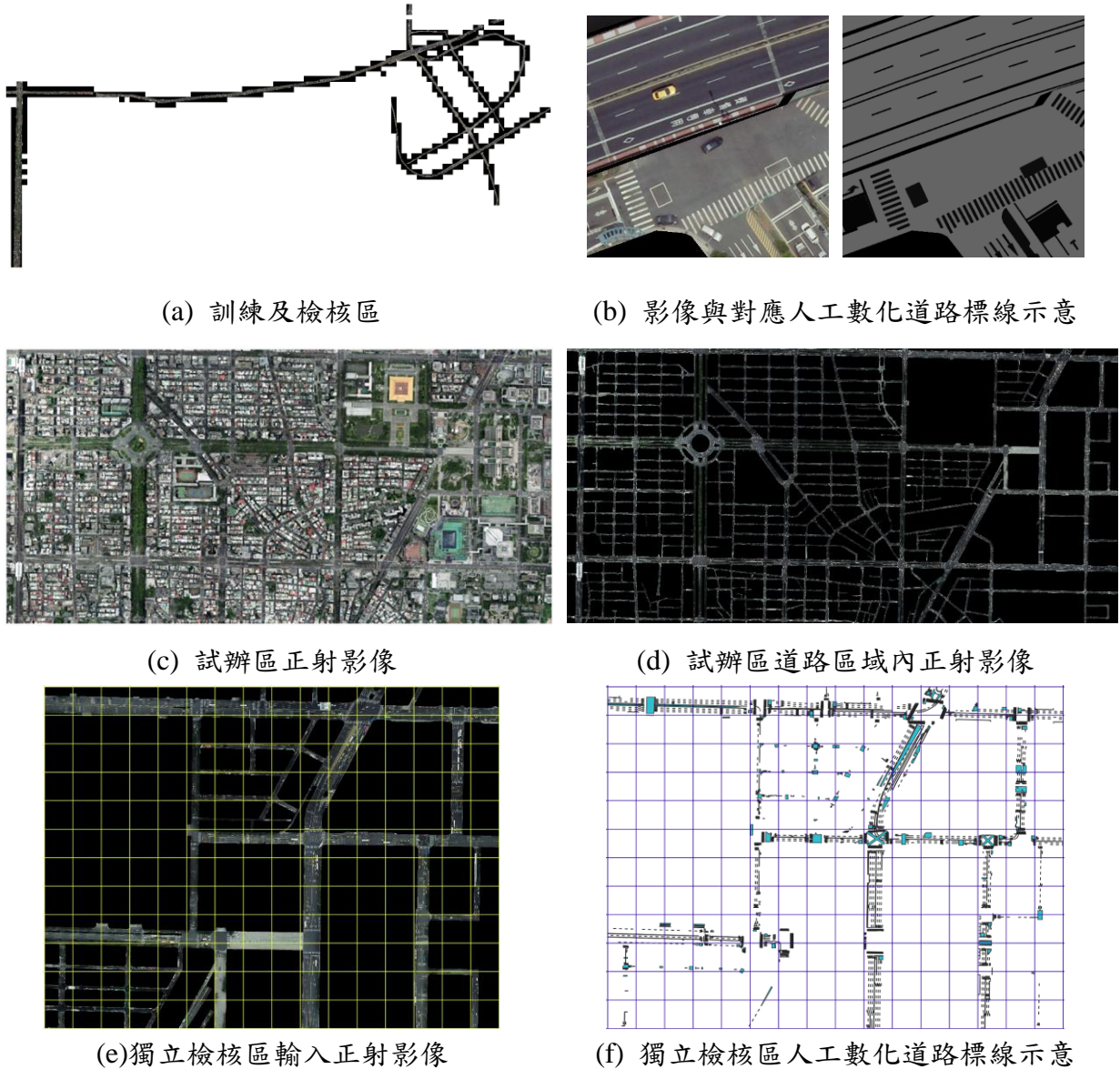
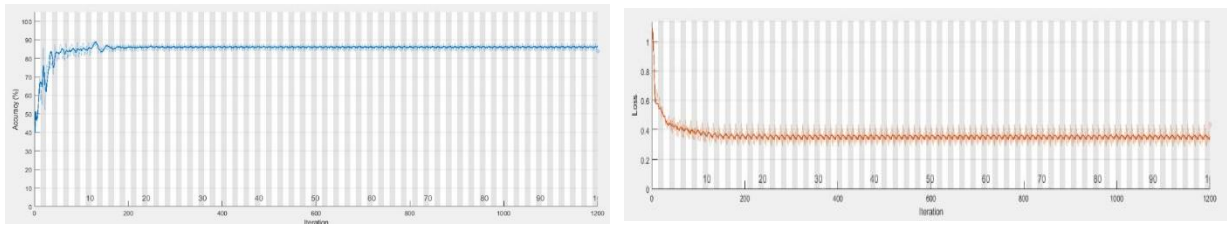


圖 4-2-17、訓練、檢核、試辦區、獨立檢核區

本研究採用 FCN 深度學習方法進行道路標線識別，首先分成 3 個類別 (非道路、道路及道路標線)，輸入 414 個訓練區進行 30 個 epoch 的訓練後，總體精度(Accuracy)及總體損失(Loss)趨於穩定(圖 4-2-18)，代表已達成收斂。完成深度學習訓練參數後，即可使用輸入正射影像進行道路標線識別。



(a) 分類疊代次數與總體精度

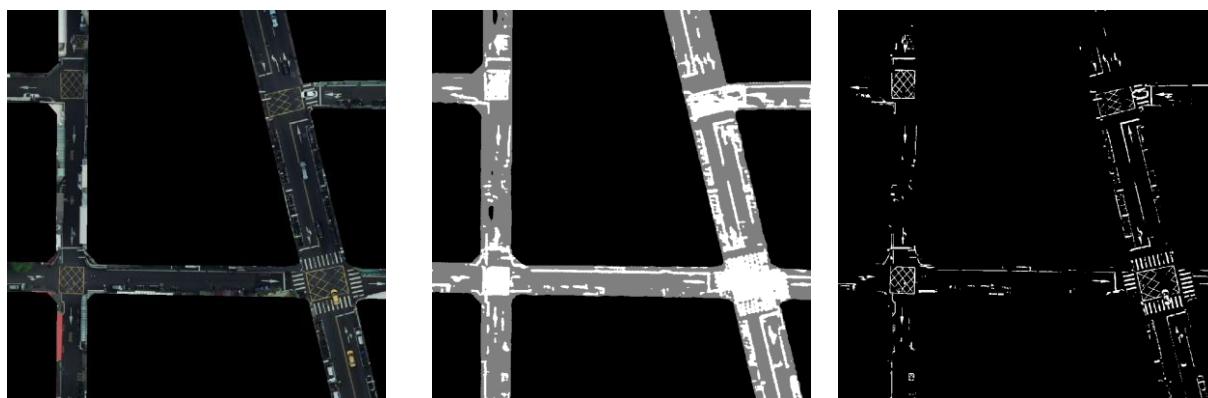
(b) 分類疊代次數與總體損失

圖 4-2-18、分類疊代收斂圖

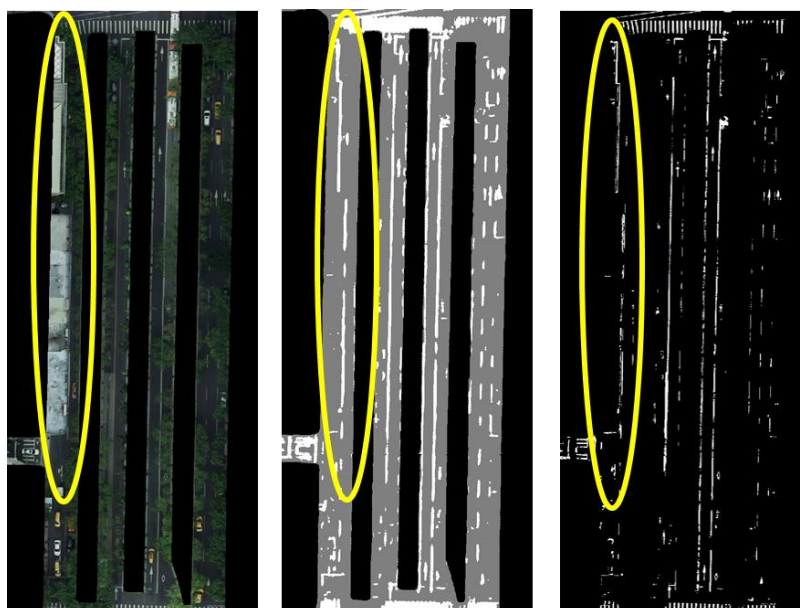
將訓練區建立的深度學習參數套用到試辦區域，可萃取出試辦區域的道路標線(圖 4-2-19a)，初步萃取出成果再經過精化處理，針對區域內的影像灰度值進行二元化、形態學分析、刪除小區域，以產生更精確的標線位置。圖 4-2-19b 是局部放大圖，此區域為非遮蔽區，故偵測成功率高；圖 4-2-19c 是房屋高差移位遮蔽區，其中女兒牆的邊界與道路標線的線形特徵相似，造成誤授，誤授是指將「非道路標線」錯誤判識為「道路標線」，此區域說明對非道路區域進行遮罩的必要性。圖 4-2-19d 是行道樹遮蔽區，道路標線受行道樹遮蔽而無法被偵測，造成漏授，漏授則是指將「道路標線」錯誤判識為「非道路標線」，此區域說明使用進行道路標線偵測的限制。



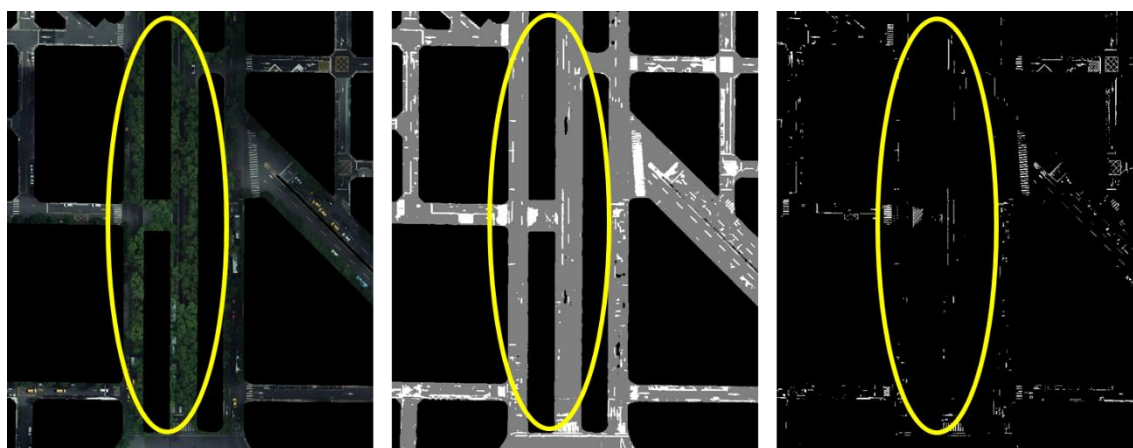
(a) 道路標線偵測成果(全區)



(b) 局部放大(非遮蔽區)左至右分別為正射影像、初步偵測、精化成果



(c) 局部放大(房屋遮蔽區):圓形標示處為道路標線誤判



(d) 局部放大(樹木遮蔽區):圓形標示處為道路標線遺漏

圖 4-2-19、道路標線偵測成果圖

三種分類類別的精度評估量化成果如表 4-2-2，訓練區、檢核區及試辦區獨立檢核的精度均可達 88%，代表 88%的道路標線可以全自動化產生，說明道路標線有很高的偵測率。IoU 描述人工數化與自動化偵測道路標線間的形狀差異，因 IoU 偏低但精度仍高達 88%，代表找到的標線區域比實際區域大，誤授樣本比漏授高，需要對分類成果進行第二階段的精化處理。

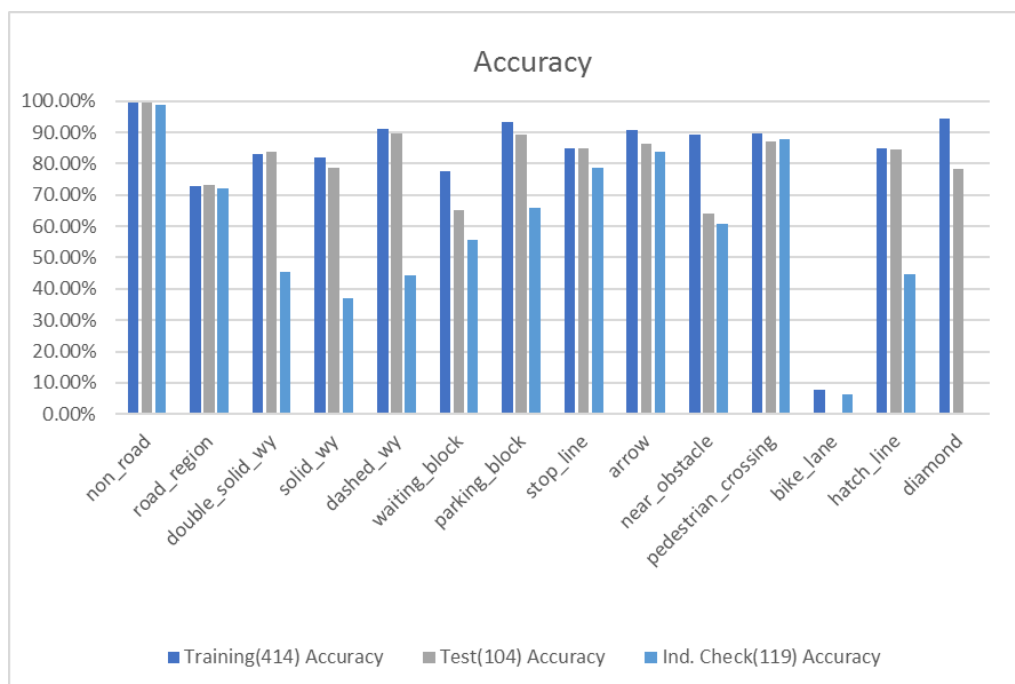
表 4-2-2、道路標線偵測精度評估(3 個類別)

	類別	Accuracy	IoU
訓練區	非道路區	99.76%	99.64%
	道路區域	87.47%	86.41%
	道路標線	93.49%	45.51%
檢核區	非道路區	99.70%	99.59%
	道路區域	86.40%	84.87%
	道路標線	90.39%	44.72%
試辦區獨立檢核	非道路區	99.37%	99.16%
	道路區域	86.42%	84.93%
	道路標線	94.14%	48.63%

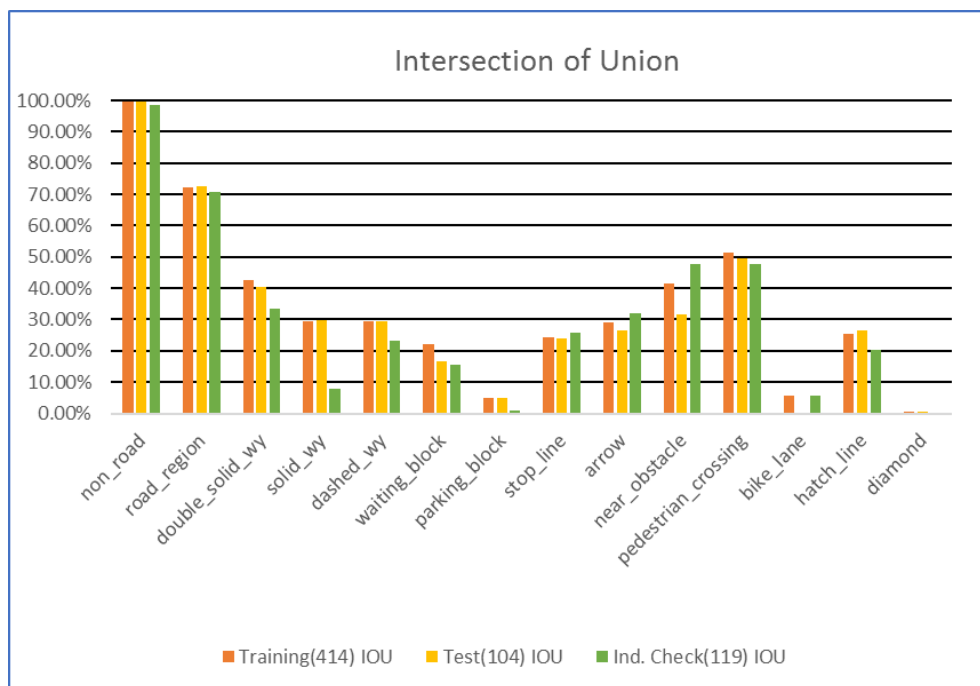
前述分析僅偵測道路標線，本研究進一步對道路標線進行細分，分類類別從 3 種類別增加至 14 種類別，14 種類別的精度評估量化成果如表 4-2-3，試辦區獨立檢核中只有 7 個類別(非道路區域、道路區域、停止線、近障礙物線、指向線、停車格及枕木紋行人穿越道)精度高於 60%，這 7 個類別的特性較為明顯，其他類別則可能不易分離。另一個原因是物件的定義，以機車待轉（歸類為「停等區」）為例：人工數化矩形區域，而偵測成果是四條標線，故 IoU 會偏低。

表 4-2-3、道路標線偵測精度評估(14 個類別)

類別		訓練區(414 個)		檢核區(104 個)		試辦獨立檢核區(119 個)	
		Accuracy	IoU	Accuracy	IoU	Accuracy	IoU
1	非道路區	99.59%	99.47%	99.57%	99.46%	98.85%	98.42%
2	道路區域	73.02%	72.36%	73.36%	72.05%	72.19%	70.67%
3	雙實線	83.09%	42.55%	83.72%	40.53%	45.40%	33.61%
4	單實線	82.08%	29.55%	78.52%	29.63%	36.92%	7.88%
5	虛線	91.16%	29.45%	89.59%	29.41%	44.27%	23.11%
6	停等區	77.74%	22.15%	65.26%	16.69%	55.51%	15.58%
7	停車格	93.44%	5.04%	89.19%	4.96%	65.87%	0.76%
8	停止線	84.81%	24.32%	85.07%	24.02%	78.54%	25.66%
9	指向線	90.79%	29.11%	86.25%	26.64%	83.92%	31.87%
10	近障礙物線	89.46%	41.34%	64.15%	31.79%	60.72%	47.69%
11	枕木紋行人穿越道	89.61%	51.51%	86.98%	49.64%	87.77%	47.61%
12	自行車道	7.82%	5.64%	-	-	6.49%	5.66%
13	網狀線	85.08%	25.29%	84.48%	26.51%	44.79%	20.30%
14	菱形標線	94.24%	0.54%	0.52%	0.52%	-	-



(a)各類別之精度



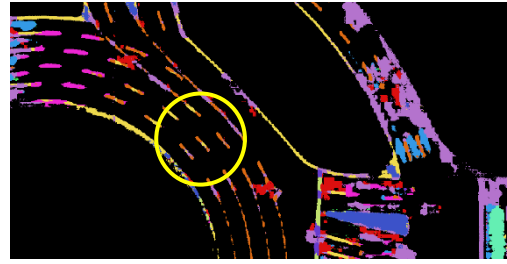
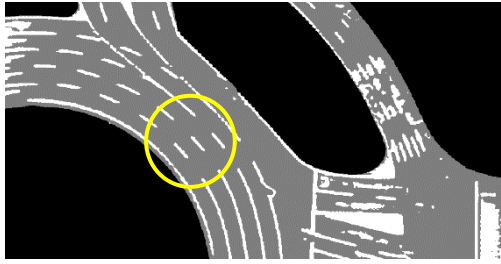
(b)各類別之 IoU

圖 4-2-20、分類精度及 IoU 比較圖

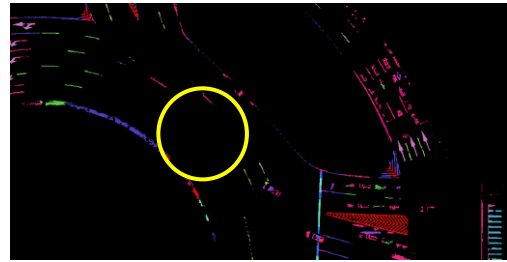
由表 4-2-2 及表 4-2-3 可知分為 3 個類別時精度及 IoU 相較於分為 14 個類別時還要好，表示分為 3 個類別時能產生精度較高的自動化標線。經比較後發現分為 14 個類別其分類過於細碎，無法準確判別各標線種類(圖 4-2-21b)。進行精化後，由於分為 14 個類別過於細碎，使得有些區域被誤判為雜訊去除，造成道路分隔線遺失無法準確判斷標線(圖 4-2-21c)。需要較複雜及精準的分類時，需增加訓練樣本提升自動化標線判斷精度。



(a) 航照影像



(b) 分為 3 類(左)及分為 14 類(右)初步偵測成果



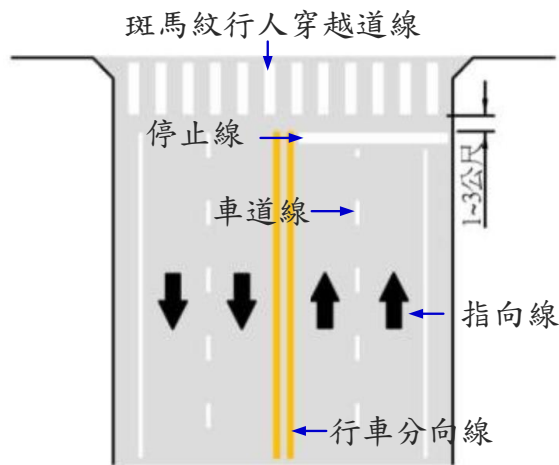
(c) 分為 3 類(左)及分為 14 類(右)精化成果

圖 4-2-21、兩種分類方式精化前後成果圖

完成道路標線的區域偵測及精化後，接著針對道路標線區域進行向量化，將網格式(Raster)的道路區域向量化(Vectorlization)為中心線特徵，並進一步使用數值地形模型內插中心線兩端所對應的高程。

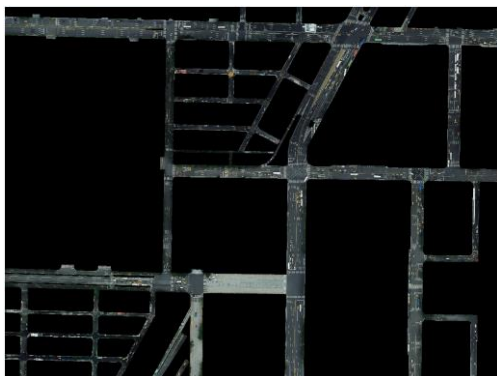
本研究向量化的道路標線類別包含：(1)行車分向線、(2)車道線、(3)停止線、(4)斑馬紋行人穿越道及(5)指向線(圖 4-2-22)。本研究利用最小二乘直線擬合，輸入的觀測量為道路標線網格點，目標直線擬合方程式是 $ax+by+c=1$ ，可避免垂直線段和水平線段無法求解的問題。由於道路標線偵

測可能包含錯誤，本研究使用線段擬合殘差及線段長度進一步過濾錯誤線段，例如線段長度過短(<1.5m，不符合交通標線設置原則)或是擬合殘差總和過大(>1000pixel)，達到各指標線之向量中心線之目的(圖 4-2-23)。試辦成果顯示，遮蔽標線是影響成果的主因，例如停止線及斑馬線通常不會有車子遮蔽，故向量化成果最佳；而車道線等其他標線會有遮蔽的問題。



(圖片來源：<https://168.motc.gov.tw/theme/news/post/1906121101747>)

圖 4-2-22、道路交通標誌標線示意圖



(a) 對應之航照影像 (600m x 800m)



(b) 向量化成果(600m x 800m)

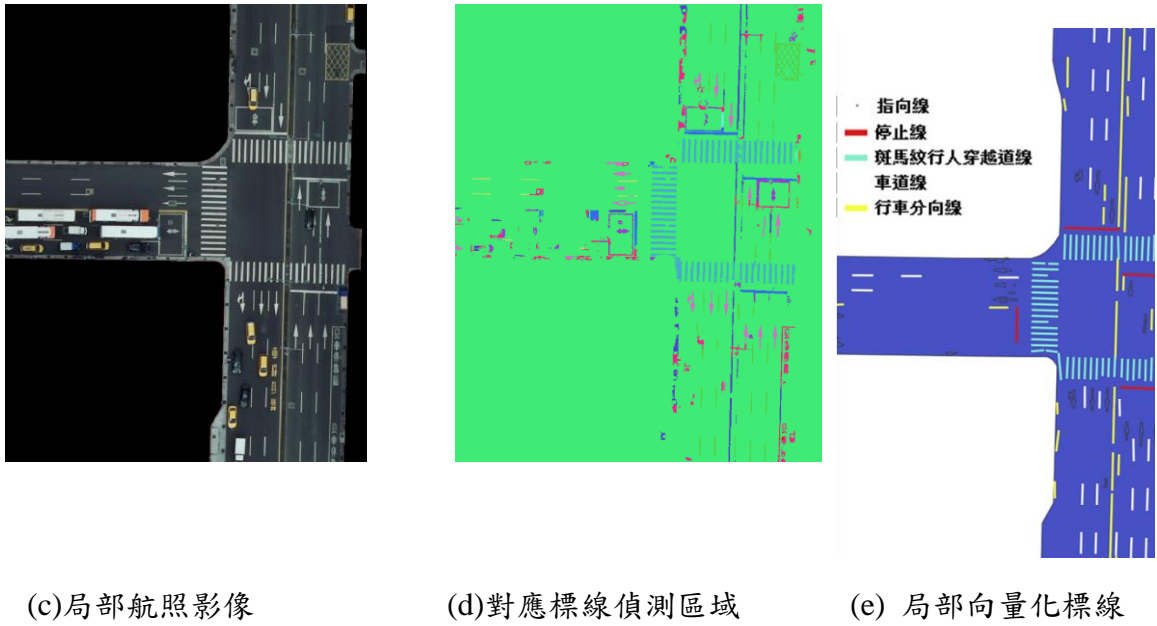
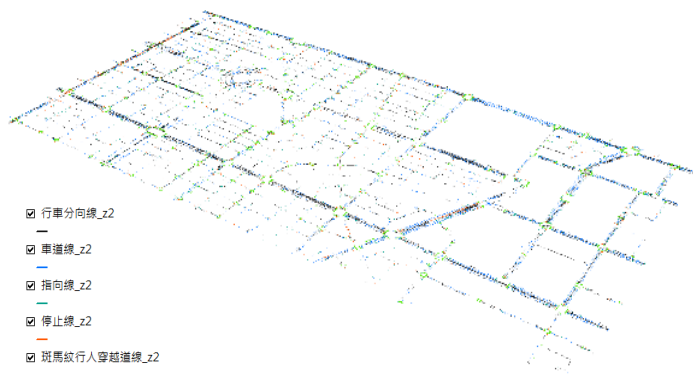


圖 4-2-23、向量化成果：圖號 4544

從正射航照影像偵測二維道路標線，不具有道路標線的高程，考量試辦區為平面道路，因此使用數值地形模型內插出各標線之相對應高程，最後輸出為具有三維坐標及標線屬性的 3D Shapefiles，完成標線三維化之目的(圖 4-2-24)，屬性欄位表(圖 4-2-24c)中呈現中心線高程及對應屬性。



(a) 數值地形模型



(b) 三維標線

Table

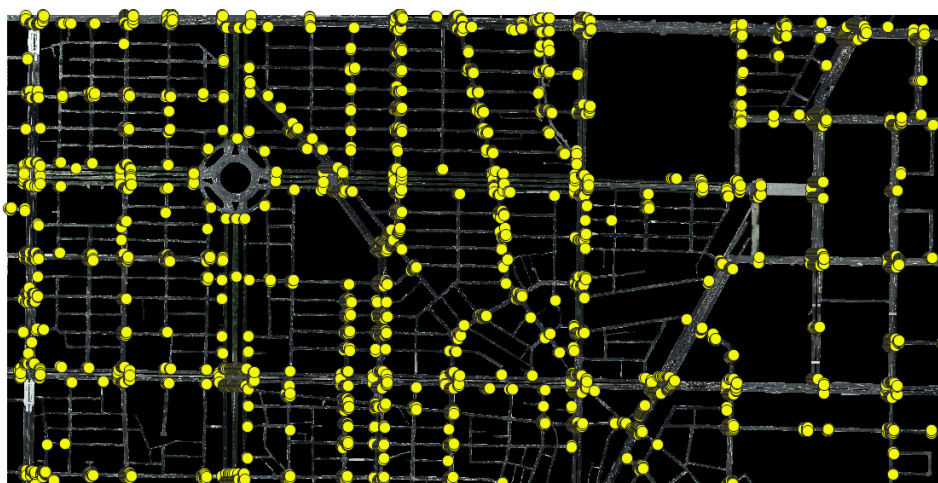
車道線_z2

	FID	Shape	cat	length	classid	Z
▶	0	Polyline ZM	1	4.001782	11	6.757722
	1	Polyline ZM	2	3.902382	11	6.880826
	2	Polyline ZM	3	2.700597	11	6.622041
	3	Polyline ZM	4	4.000002	11	6.850305
	4	Polyline ZM	5	1.516295	11	6.579483
	5	Polyline ZM	6	4.000656	11	6.5654
	6	Polyline ZM	7	1.700355	11	6.88194
	7	Polyline ZM	8	2.300943	11	6.56482
	8	Polyline ZM	9	1.900034	11	6.871429
	9	Polyline ZM	10	1.701317	11	6.916807
	10	Polyline ZM	11	3.60096	11	6.829896
	11	Polyline ZM	12	3.401432	11	6.887112
	12	Polyline ZM	13	1.620818	11	7.1902
	13	Polyline ZM	14	1.901489	11	6.889159
	14	Polyline ZM	15	1.600213	11	6.580041

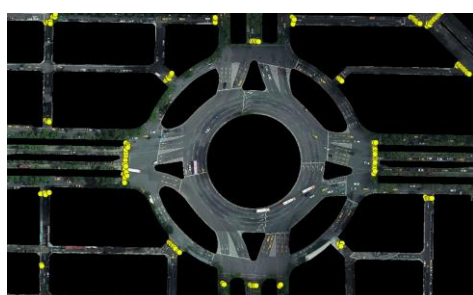
(c) 屬性欄位表

圖 4-2-24、道路標線三維化成果

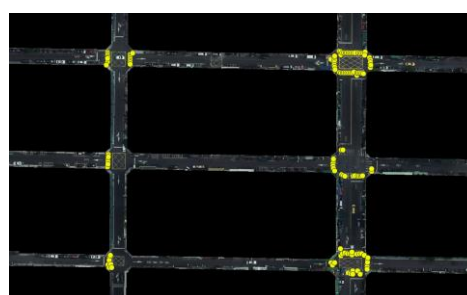
本研究所發展的深度學習方法，可以自動化分辨不同道路標線所對應的類別，並增加道路之細緻度，本研究萃取試辦區所有的斑馬線的位置，並標示在圖面上，可進一步獲取具有斑馬線之道路「路口」的資訊(圖 4-2-25)，即本研究所提出之成果可輔助提供道路屬性資訊。



(a)全區班馬線位置



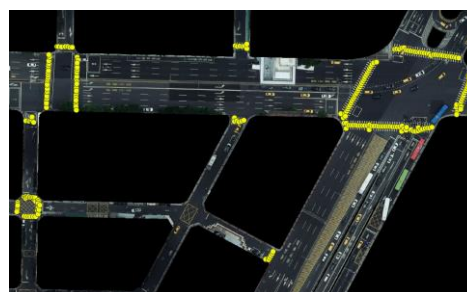
(b)局部放大



(c)局部放大



(d)局部放大



(e)局部放大

圖 4-2-25、斑馬線自動標示成果

4.2.4 提出精進前項圖資測製技術自動化程度或品質方案

依據目前之工作項目，整理後提出精進圖資測製技術自動化程度或品質之方案，藉此將三維地形圖資測製效率或品質提升，方法主要分為三個

部分：偵測、重建及升級為國際標準。

4.2.4.1 偵測：深度學習於三維地形圖測製

精進遷移學習的初始網路模型:由於本研究之訓練集資料樣本數不足，多數的深度學習使用遷移學習(Transfer Learning)，遷移學習僅更新分類層(Classification Layer)的參數，故可克服訓練集計算過多參數之問題(圖 4-2-26)。在遷移學習中，常使用之初始網路模型包含 AlexNet 及 VGG16 等。然而這些都是從 ImageNet 影像之訓練集產生，ImageNet 為近景測量所產生之影像，特性與航遙測影像由上而下的拍攝大不相同，造成遷移學習成效有限，故有必要使用航遙測影像建立初始網路模型，例如：使用 DeepSat 重新計算初始網路模型提升遷移學習之成效。

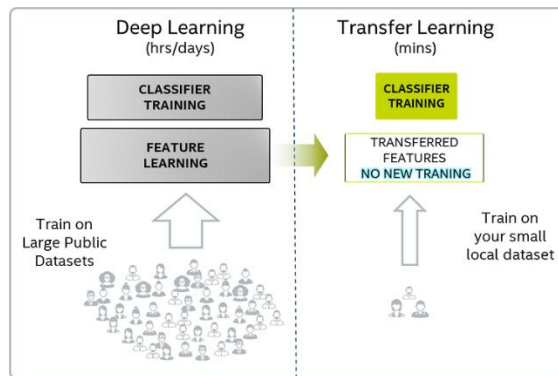


圖 4-2-26、遷移學習運作方式

(圖片來源：<https://medium.com/free-code-camp/asl-recognition-using-transfer-learning-918ba054c004>)

從現有圖資建立訓練集:良好的深度學習網路需要大量且多元的訓練集資料，以 CrowdAI 的房屋偵測為例，使用 280,741 張訓練影像及 OSM(Open

Street Map)人工數化房屋成果，其偵測精確度可達到 95% 以上(圖 4-2-27)。本研究之訓練資料較少，若增加訓練樣本則可提升分類精度。由於各個國家的地紋樣貌不相同，因此無法共用初始網路模型，目前臺灣已累積大量空間圖資，例如：正射影像、大比例尺地形圖或臺灣通用電子地圖。若能由既有的圖資進行加值應用，建立訓練區域，可望在未來能提升圖資測製技術之品質與效率(Teo et al., 2019)。



圖 4-2-27、CrowdAI 房屋偵測成果

(圖片來源：<https://www.crowdai.org/challenges/mapping-challenge>)

4.2.4.2 重建：元件化與向量化

精進從特徵到圖徵:就目前的深度學習方法，在大量且多元的訓練資料下，能有良好的偵測成果，並且能同時賦予物件對應的屬性類別，例如：房屋、道路及植物區域。偵測結果對於製圖而言只能算是階段性產品，並非地圖中最終使用的圖資，因此需要將深度學習所獲得之成果進行加值，才能滿足地圖的需求，其主要的工作可分為兩個方向：元件化及向量化。元件化是針對規範中的物件，例如道路的交通標線及人孔蓋，有一定的尺寸並依照規範設置，因此可設置這類的物件圖徵資料庫(圖 4-2-28)，並建立偵測結果與圖徵之關聯；向量化是針對沒有固定幾何外觀的物件，例如：房屋形狀，對於此類物件之偵測結果進行正規化處理，以獲得二維向量圖資(圖 4-2-29)。

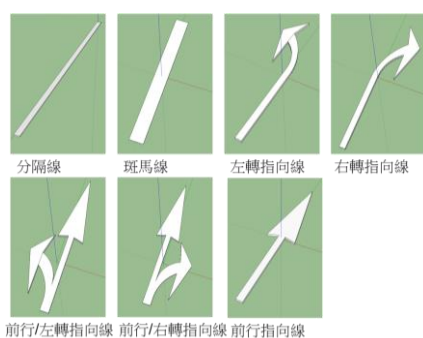


圖 4-2-28、道路標線圖徵資料庫



圖 4-2-29、二維向量圖資

精進從三角網模型到三維稜面體模型:多視角影像密匹配(Dense Matching)技術及光達技術的蓬勃發展，三維點雲(Point Clouds)成為廣泛運

用之空間資料。為了能實體化三維點雲資料，三維網格(Raster)及三角網模型(或 Mesh)為常見的建模型式，其能提供良好的視覺展示效果，但缺乏語意(Semntic)的物件(Object)概念，且沒有明確的屬性(Attrinute)與實體(Entity)資料，無法進行更進一步的空間分析及查詢，大量的三角網也不利編輯。建議發展自動化三維重建技術，補足製圖所需的向量化模型，將 3D Mesh Model(圖 4-2-30)重建為可進行空間分析之 3D Polyhedral Model(圖 4-2-31)。

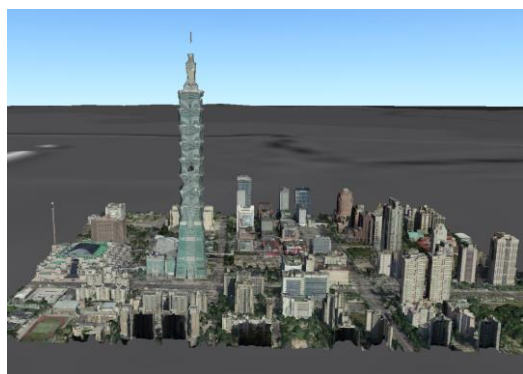


圖 4-2-30、3D Mesh Model

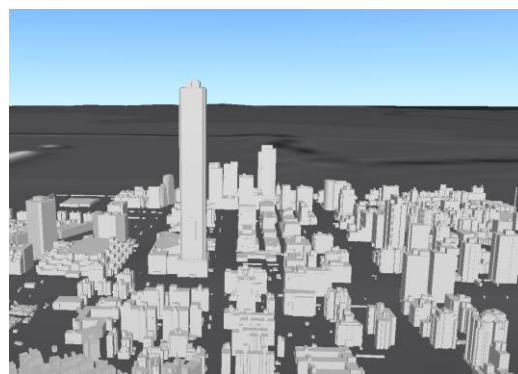


圖 4-2-31、3D Polyhedral Model

4.2.4.3 國際標準

升級至 CityGML 3.0：OCG CityGML 將升級至 3.0 版，3.0 版將會做出多重大變革，例如新增 Construction Module 模組、Space 及 SpaceBoundaries 觀念，以提升與 BIM 的互操作性；新增 Dynmizer Module 加強與 IOT 的相容性；新增 PointCloud Module 混合不同的幾何表示元件。未來也將刪去原有的 LOD4 細緻度，將室內資訊融入到 LOD0 至 LOD3。本研究目前所使

用國際標準 OCG CityGML 2.0，建議升級三維資料至 OCG GML3.0，強化現有的三維資料與其他領域整合之應用性。

4.2.5 配合機關辦理 108 年度行政院災害防救應用科技方案(第 2 期)協助災後快速製圖技術研發相關作業

本項工作建立三維房屋模型自動化辨識及重建流程，同時完成道路標線自動化辨識及重建流程，可經由深度學習技術自動化重建三維房屋模型及萃取道路標線，本研究開發之工具可應用於災後快速製圖技術。災後快速製圖之目的為快速評估受災的範圍，其時效性是關鍵的因素，因此本案以自動化方式發展房屋偵測及重建。未來建議採取的策略是前後期重建模型的比對，即比較前後期自動偵測及形塑成果，理論上未受損的房屋改變量較小，受損的房屋則會有明顯的差異，後續研究仍需真實資料進行技術驗證。

4.3 提升三維數值基本地形圖紋理品質及建築尺度細緻度

4.3.1 以測繪車測製影像作為基礎，偵測三維數值地形圖模型牆面，並進行紋理判別，找出與真實影像最相近之通用紋理

本項工作為延續前一年度(107)之技術發展成果進行研究與精進，除了來源影像由街景影像改為測繪車影像之外，更增加形態學方法，去除影像

中的雜訊，以提高影像分析之正確性，並加入通用紋理資料庫進行匹配，找出牆面對應之通用紋理影像。

本項工作重點包含：(1)測繪車影像資訊分析、(2)房屋模型屬性分析，(3)匹配房屋模型與測繪車影像、(4)AOI 擷取(5)影像分析、(6)紋理資料庫匹配、(7)模型成果產製。圖 4-3-1 為模型牆面紋理匹配流程圖，內容說明如下：

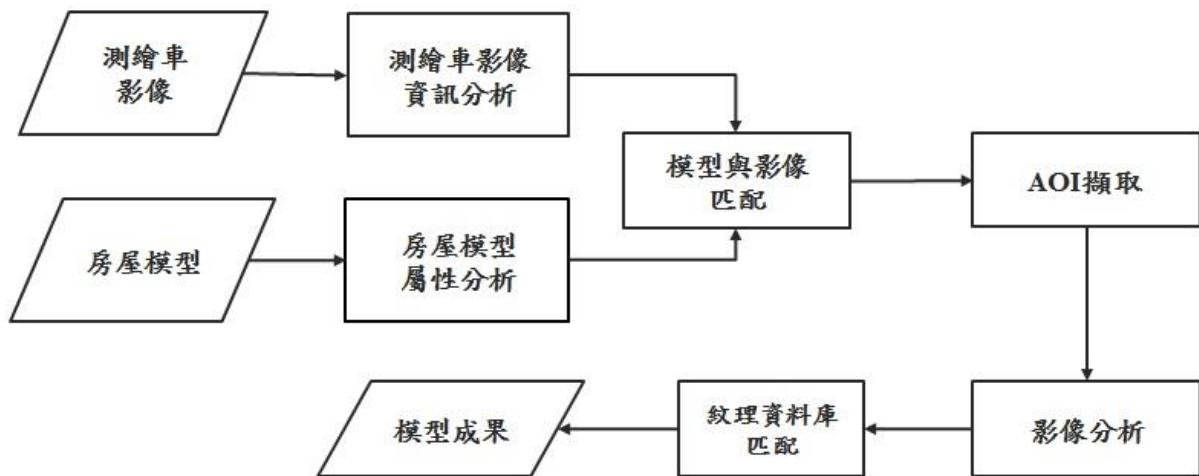


圖 4-3-1、模型牆面紋理匹配流程圖

(1)測繪車影像資訊分析：測繪車提供的資訊為四個相機之拍照影像、相機軌跡點位、方位角 (roll、pitch、yaw)以及朝向等資訊。圖 4-3-2 為試辦區示意圖，圖 4-3-3 為測繪車相機位置示意圖，圖 4-3-4 為測繪車行徑試辦區路線示意圖。取得每棟房屋的牆面影像之方法，以圖 4-3-5a 中標示的房屋牆面為例說明，首先要計算牆面中心點到相機拍照軌跡最近的影像位置的最短距離，接著從影像位置中取得相對應的影像，圖 4-3-6a 和圖 4-3-6b 分別為取自相機 2 和相機 4 的最靠近牆面中心點的影像，而實

際建物牆面如圖 4-3-5b。但此影像仍不能作為紋理影像參考，需再根據相機的位置進行推算，才能取得真實建物能夠參考使用的影像。若要使用相機 2 或相機 4 拍攝的影像，需再推算相機 2 或 4 偏移的距離，如圖 4-3-7a 和圖 4-3-7b，而圖 4-3-8a 和圖 4-3-8b 分別為推算後取得接近牆面中心點的影像。



圖 4-3-2、試辦區示意圖

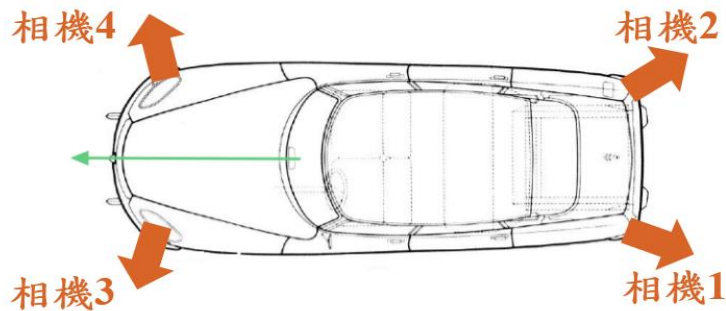
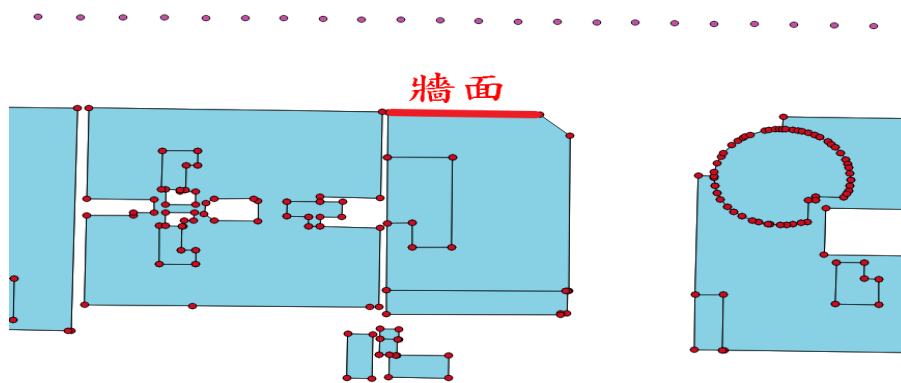


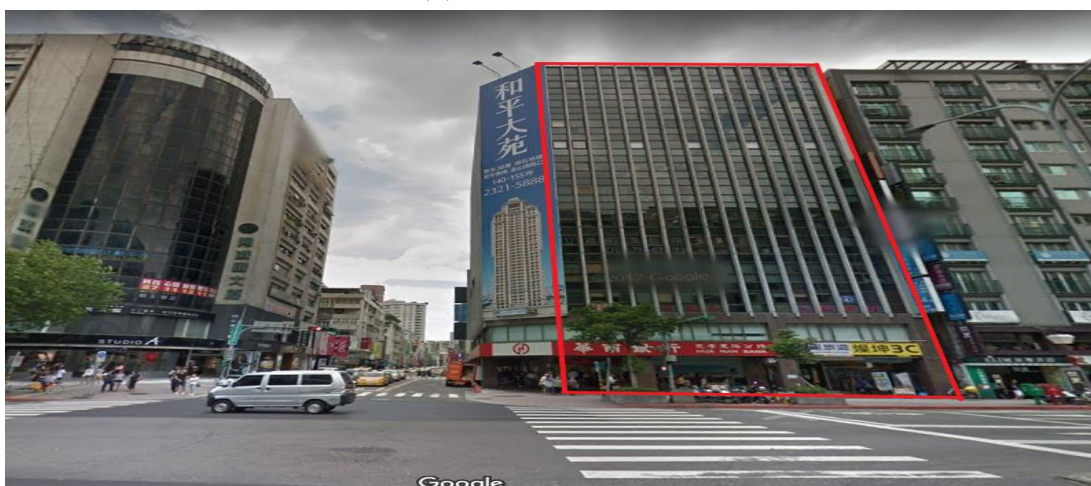
圖 4-3-3、測繪車相機位置示意圖



圖 4-3-4、測繪車行徑試辦區路線示意圖



(a) 尋找牆面示意圖



(b) 實際牆面示意圖

圖 4-3-5、尋找牆面紋理影像之示意圖

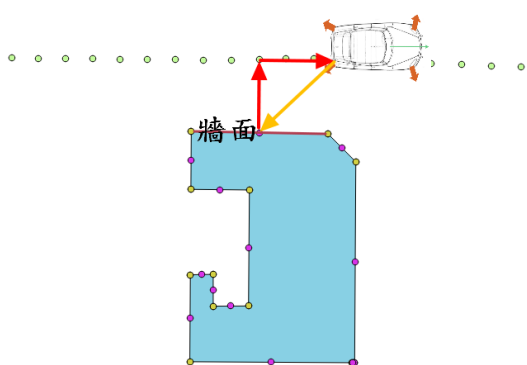


(a) 相機 2 的影像

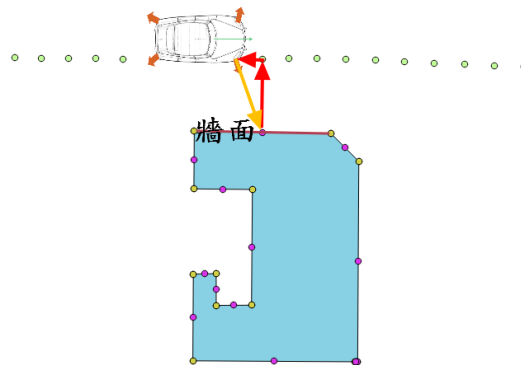


(b) 相機 4 的影像

圖 4-3-6、取得相機紋理影像(推算前)

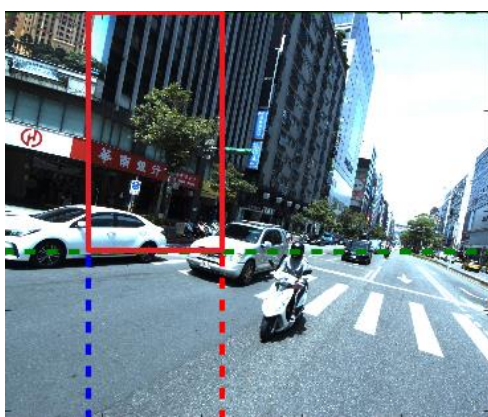


(a) 分析相機 2 的影像

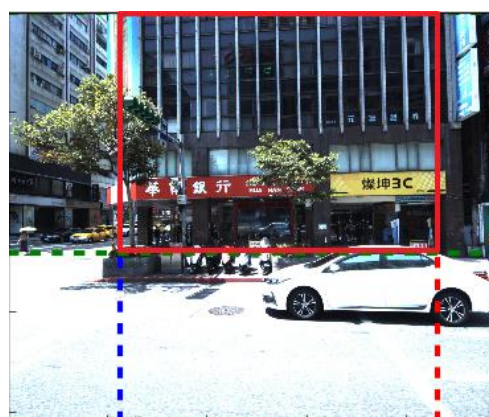


(b) 分析相機 4 的影像

圖 4-3-7、推算相機與牆面影像的距離之示意圖



(a) 相機 2 的建物牆面影像



(b) 相機 4 的建物牆面影像

圖 4-3-8、取得相機紋理影像(推算後)

(2)房屋模型屬性分析：本步驟主要為分析房屋模型的房屋屬性資料、計算房屋之屋角點坐標(圖 4-3-9)、計算試辦區域內各方位牆面中心點坐標(圖 4-3-10)以及計算面向道路較近且牆面最寬的牆面中心點坐標等三個部分的前處理。



圖 4-3-9、房屋之屋角點坐標示意圖

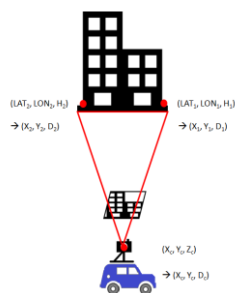


圖 4-3-10、房屋牆面中心點示意圖

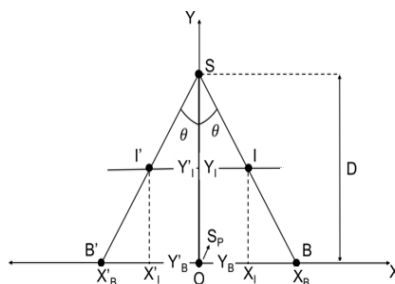
(3) 模型與影像匹配：分析步驟 1、2 之測繪車影像與房屋模型屬性資訊，匹配出每個 polygon 對應之測繪車影像。

(4) AOI 擷取：本步驟主要流程為(I)計算房屋角點在街景影像之坐標；(II)感興趣區域。步驟流程說明如下：

(I)計算房屋角點在街景影像之坐標：關於房屋角點在街景影像中的坐標，以攝影測量中的共線條件方程式取得影像的坐標，圖 4-3-11 為三點共線示意圖。共線條件方程式起初推導源自公式(4-3-1)，利用已知測繪車提供的像主點位置(S)，對目標建物(Building)三維坐標求解房屋在影像(Image)上之坐標。但測繪車並未提供該影像之焦距(focus)，並不能用傳統共線條件方程式求解。但依據像主點位置 S 投影到 $\overline{BB'}$ 之投影點 SP 的距離 D，可取代焦距並改良公式(4-3-1)成公式(4-3-2)與公式(4-3-3)，透過比例解算在影像上之坐標。最後，經由公式(4-3-2)、公式(4-3-3)可求得在建物在影像上之投影坐標。



(a) 測繪車與建物示意圖



(b) 三點共線示求

圖 4-3-11、三點共線條件示意圖

$$\frac{X_S - X_I}{X_S - X_B} = \frac{Y_S - Y_I}{Y_S - Y_B} = \frac{-f}{Z_S - Z_B} \quad \text{公式(4-3-1)}$$

$$I = \frac{\sqrt{(S_{Px} - X_B)^2 - (S_{Py} - Y_B)^2 + (S_{Pz} - Z_B)^2}}{D \tan \theta} \quad \text{公式(4-3-2)}$$

$$I' = \frac{\sqrt{(S_{Px} - X'_B)^2 - (S_{Py} - Y'_B)^2 + (S_{Pz} - Z'_B)^2}}{D \tan \theta} \quad \text{公式(4-3-3)}$$

(II)擷取感興趣區域(Area of Interest,AOI): 為將建物的各樓層交界線切割，以取得模型牆面影像的資料。使用房屋樓層屬性和步驟(1)的計算方法，可推算每棟建物的騎樓和樓層區塊的 AOI。在切割該棟建物的 AOI 會先把建物的上下兩側邊界找出來(圖 4-3-12(b))，並將整棟影像切割下來(圖 4-3-12 (c))，接著在分別切割騎樓(圖 4-3-12 (d))和樓層(圖 4-3-12 (c))。關於樓層的區塊 AOI，因為測繪車影像有遮避問題，例如行道樹、路燈、招牌等，最後會取高樓層的 AOI 切割結果。圖 4-3-13 為試辦區中 AOI 擷取案例成果，但 AOI 擷取的任務中，部分的建物仍會因為遮避物無法截取到影像以及建物的結構無法取得整棟建物的牆面影像，例如圓形建物(圖 4-3-13j)、特殊造型建物(圖 4-3-13h 和圖 4-3-13k)。

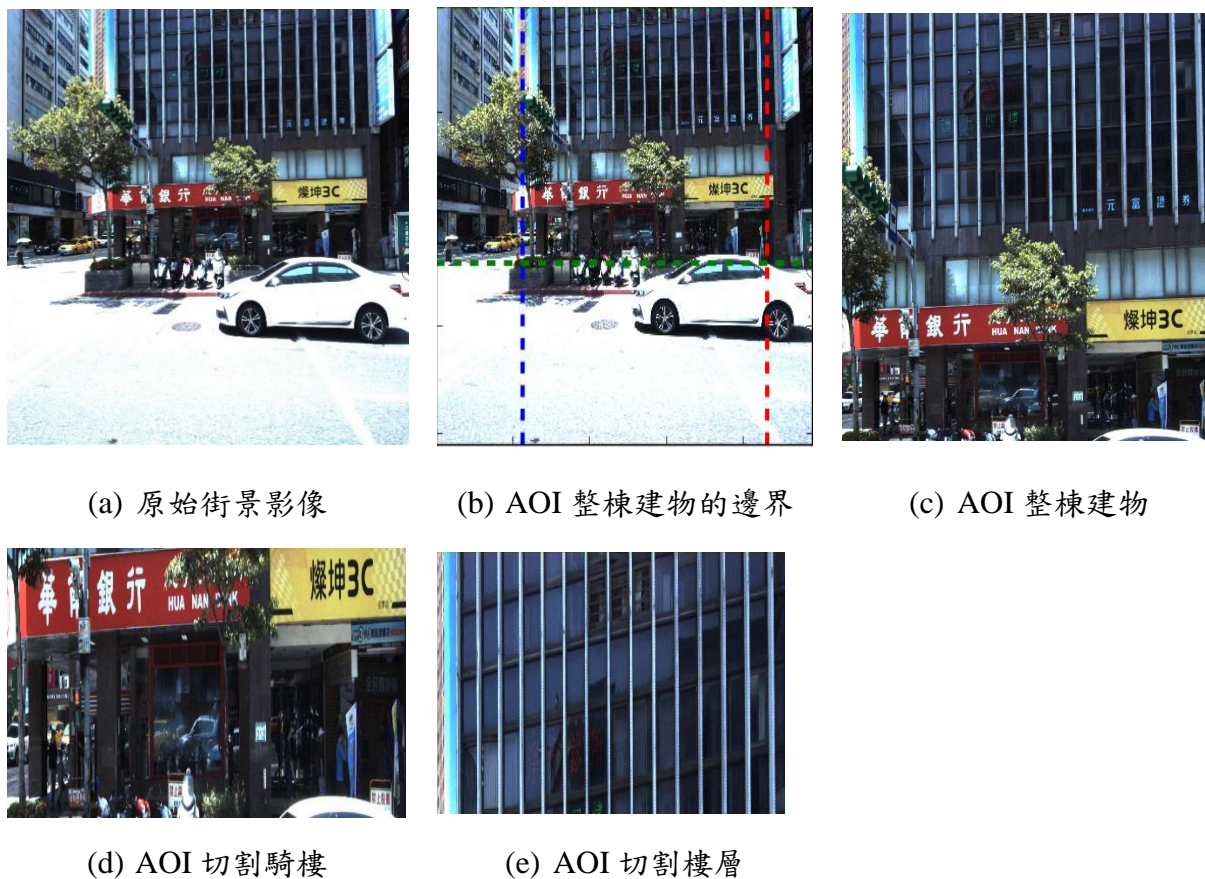




















圖 4-3-12、AOI 切割樓層示意圖

圖例編號	建物的街景影像	測繪車影像騎樓	測繪車影像牆面
(a)			
(b)			

圖例編號	建物的街景影像	測繪車影像騎樓	測繪車影像牆面
(c)			
(d)			
(e)			
(f)			
(g)			
(h)			




圖例編號	建物的街景影像	測繪車影像騎樓	測繪車影像牆面
(i)			
(j)			
(k)			

圖 4-3-13、AOI 成果示意圖

(5) 影像分析：本步驟為分析影像(包含 AOI 區域與紋理資料庫影像)之特性與色調、飽和度、亮度數值。首先透過影像分析函式庫(opencv)提供之大津演算法(公式 4-3-4)分析出影像之前景、後景影像，再藉由色群分析取得影像的顏色分布，找出主色群顏色(即該影像中佔最多像素的顏色)，計算主色群顏色之 HSI 數值(公式 4-3-5~公式 4-3-7)，影像分析案例與過程如圖 4-3-14 所示。

$$\sigma_{\omega}^2(t) = \omega_1(t)\sigma_1^2(t) + \omega_2(t)\sigma_2^2(t) \quad (\text{公式 4-3-4})$$

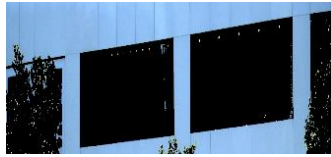
$$H = \begin{cases} \theta, & G \geq B \\ 2\pi - \theta, & G < B \end{cases}, \text{ where } \theta = \cos^{-1} \left(\frac{(R-G) + (R-B)}{2\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \right) \quad (\text{公式 4-3-5})$$

$$S = 1 - \frac{3\min(R, G, B)}{R + G + B} \quad (\text{公式 4-3-6})$$

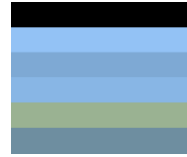
$$I = \frac{1}{3}(R + G + B) \quad (\text{公式 4-3-7})$$



AOI 影像



大津演算法分析

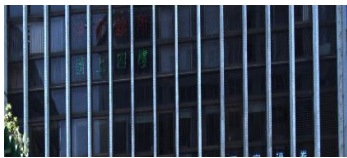


色群分析



主色群選定

(a) 案例 1



AOI 影像



大津演算法分析

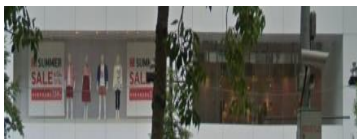


色群分析



主色群選定

(b) 案例 2



AOI 影像



大津演算法分析



色群分析



主色群選定

(c) 案例 3

圖 4-3-14、影像分析案例

(6) 紋理資料庫匹配：本步驟為匹配與 AOI 影像條件最相近之紋理資料庫影

像。匹配條件包含房屋樓層高度與 HSI 數值。在建置紋理資料庫時，已經根據公寓、華廈、大樓、透天別墅、商辦等類別進行產製與分類，因此房屋模型會依據高度屬性資訊選擇對應之紋理類別，篩選依據如表 4-3-1，若有更完善的房屋屬性資訊，在篩選紋理資料庫時會更準確。接著以 AOI 影像的 HSI 數值為分析依據，搜尋符合房屋類別之紋理影像，以 H(色調)為主，若找不到 H 數值相同時，則放寬 H 值範圍(± 1)，直到找到紋理為止。根據搜尋到的紋理影像，計算 S(比重佔 95%)與 I(比重佔 5%)數值，數值與 AOI 影像最接近者即為模型牆面貼圖影像。

表 4-3-1、房屋類別與樓層說明

房屋類型	樓層
公寓	6 樓(含)以下
華廈	7 樓至 11 樓(含)
大樓	12 樓(含)以下
透天	6 樓(含)以下
商辦	5 樓(含)以下

(7)模型成果產製：將步驟 6 匹配出之通用紋理影像，進行房屋牆面紋理敷貼，並產製 KML 模型格式。成果如圖 4-3-15 與圖 4-3-16 所示。



1.AOI 影像



3.色群分析



5.通用紋理敷貼成果



2.大津演算法分析



4.主色群選定

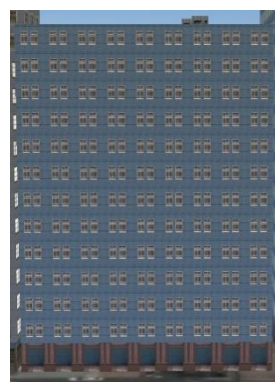
(a) 案例 1



1.AOI 影像



3.色群分析



5.通用紋理敷貼成果

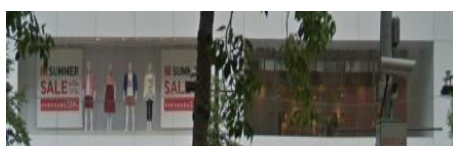


2.大津演算法分析



4.主色群選定

(b) 案例 2



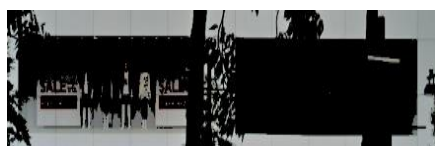
1.AOI 影像



3.色群分析



5.通用紋理敷貼成果



2.大津演算法分析



4.主色群選定

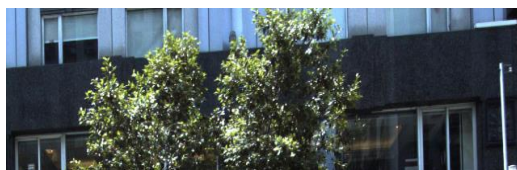
(c) 案例 3

圖 4-3-15、影像分析與成果案例(含分析過程)

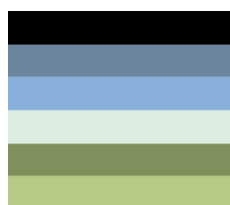


圖 4-3-16、影像分析與成果案例(大範圍模型貼圖)

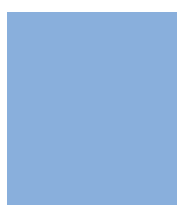
此外，本項工作挑選一小街區，以人工的方式擷取房屋對應的街景 AOI 區域，重複步驟 3~6，並與測繪車影像成果進行比較，分析與成果如圖 4-3-17~圖 4-3-19 所示(各成果皆為同房屋牆面進行對照)。



AOI 影像



色群分析



主色群選定



通用紋理敷貼成果

(a) 測繪車影像分析與模型成果



AOI 影像



色群分析



主色群選定



通用紋理敷貼成果

(b) 街景影像分析與模型成果

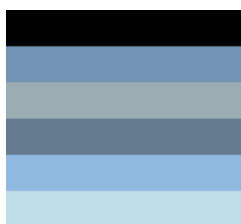
圖 4-3-17、測繪車與街景影像之模型成果分析比對-案例 1



AOI 影像



通用紋理數貼成果



色群分析



主色群選定

(a) 測繪車影像分析與模型成果



AOI 影像



通用紋理數貼成果



色群分析



主色群選定

(b) 街景影像分析與模型成果

圖 4-3-18、測繪車與街景影像之模型成果分析比對-案例 2



測繪車影像



街景影像

(a) 案例 1



測繪車影像



街景影像

(b) 案例 2



測繪車影像



街景影像

(c) 案例 3

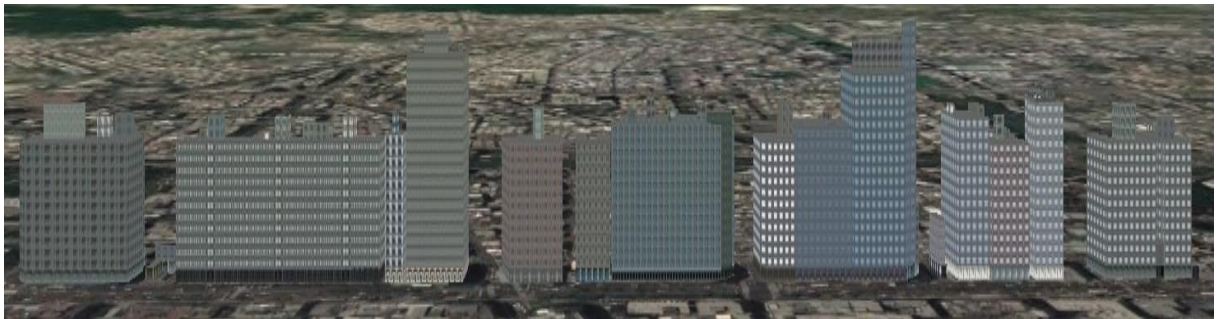


測繪車影像



街景影像

(d) 案例 4



測繪車影像



街景影像

(e) 案例 5

圖 4-3-19、測繪車影像與街景影像之成果

透過圖 4-3-17~圖 4-3-19 之比對，檢視模型對應之測繪車與街景影像，可歸類出不同影像來源對於模型牆面造成差異之原因，亦是在拍攝時需注

意之事項：(1)拍攝時間點不同，如產生店家招牌更換、牆面整修等問題；(2)光線影響，如太陽光線的直射或是陰天時的偏暗光線，此因素影響影像的明亮度分析結果；(3)相機設定，如相機的光圈與快門參數設定，影響影像的曝光度與成像色彩等，亦會造成拍攝出之影像與一般人眼中的牆面顏色有所差異；(4)拍攝角度與位置，拍攝角度過低，分析時容易被招牌、樹木干擾，拍攝角度過高，分析時容易被天空干擾。

4.3.2 透過既有資料發展近景多視角影像提升三維房屋及道路模型，並評估建置效能

近年來，隨著密匹配(dense matching)技術與攝影系統發展，加上空載光達技術成熟，使得點雲導向的建模技術越發受到重視與廣泛使用。但點雲缺乏物件(object)概念，沒有明確的屬性與實體(entity)資料，較難進行進階的空間分析及查詢，單單在高點雲密度下能提供不錯的視覺展示效果，或透過開源(open-source)或商業軟體從多視角影像中萃取影像點雲並建構三角網模型。圖 4-3-20 為 UAV 拍攝之多張視角影像，圖 4-3-21、圖 4-3-22 為分別透過 VisualSFM 與 ContextCapture 分析多張不同視角影像所產製之點雲案例。

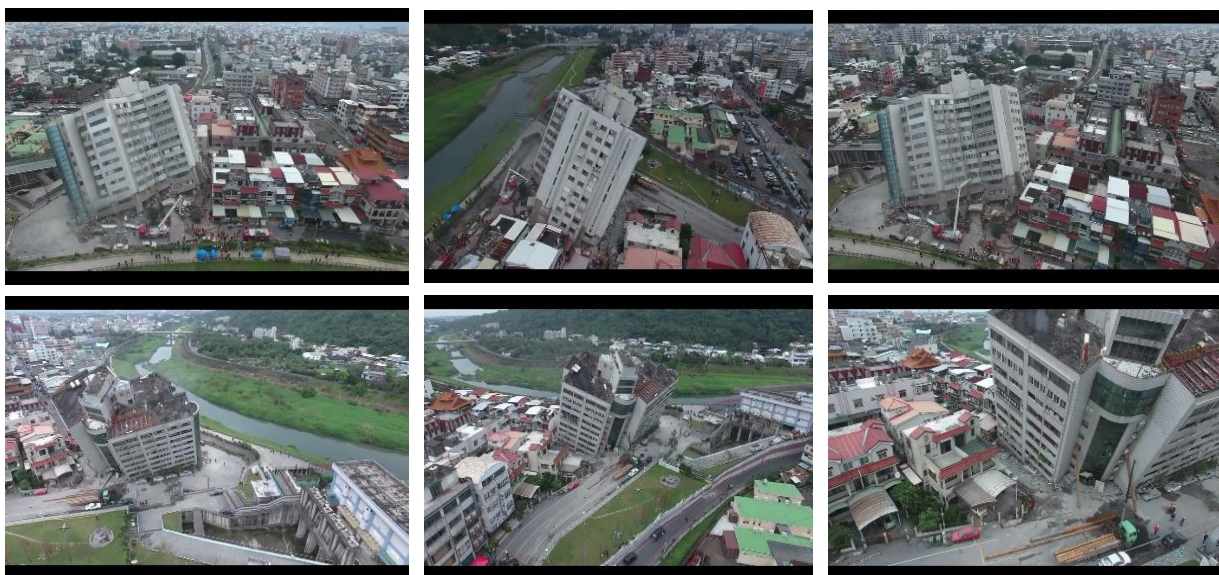


圖 4-3-20、UAV 拍攝之影像(花蓮雲翠大樓)

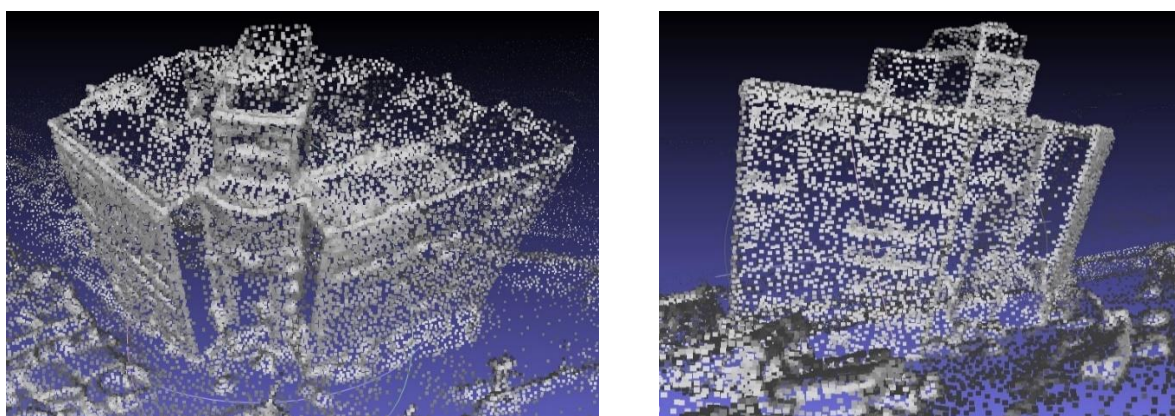


圖 4-3-21、以免費開源軟體(VisualSFM)對多視角影像產製點雲案例

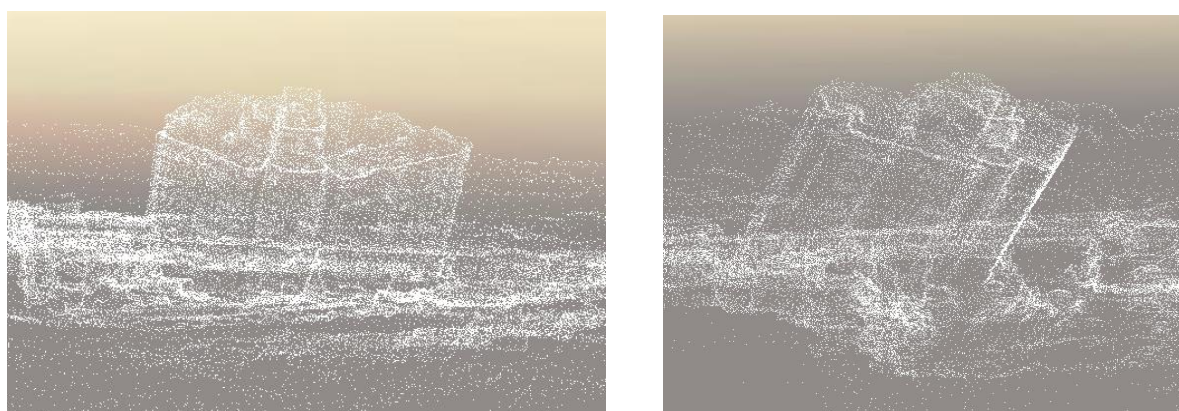


圖 4-3-22、以商業軟體(ContextCapture)對多視角影像產製點雲案例

若單靠近景影像或純點雲資料難以建置精準且符合 OGC CityGML 的建物與道路模型，因此本項工作為透過千分之一地形圖或臺灣通用電子地圖等圖資，搭配近景多視角影像，發展三維房屋及道路模型之技術，並評估建置效能。本項工作使用點雲資料包括 104 年光達點雲與 107 年航照影像產製之點雲，模型資料為 106 年度千分之一地形圖產製之房屋、道路模型，點雲資訊如表 4-3-2 所示。由於各資料建置之年份不同，因此在進行提升模型細緻度之比對，可能會產生兩者模型資料落差過大之問題。

表 4-3-2、光達點雲與航照產製之點雲資訊

	光達點雲	航照產製點雲
點雲資訊	104 年光達點雲 每平方公尺 4 個點	107 年 7 月航照影像 46 張航照，使用 DMC2 解析度 14144*15552 平均地面解析度 9.7424cm/pixel
檔案大小	4343：200 M 4344：300 M 4443：200 M 4444：300 M 4543：400 M 4544：410 M	4343：9 G 4344：9 G 4443：9.7 G 4444：10 G 4543：8.5 G 4544：8.8 G

本項工作重點包含：(1)點雲與模型分析、(2)點雲與模型匹配、(3)高程分析以及(4)產製 KML 模型成果。圖 4-3-23 為多視角影像提升模型流程圖，步驟說明如下：

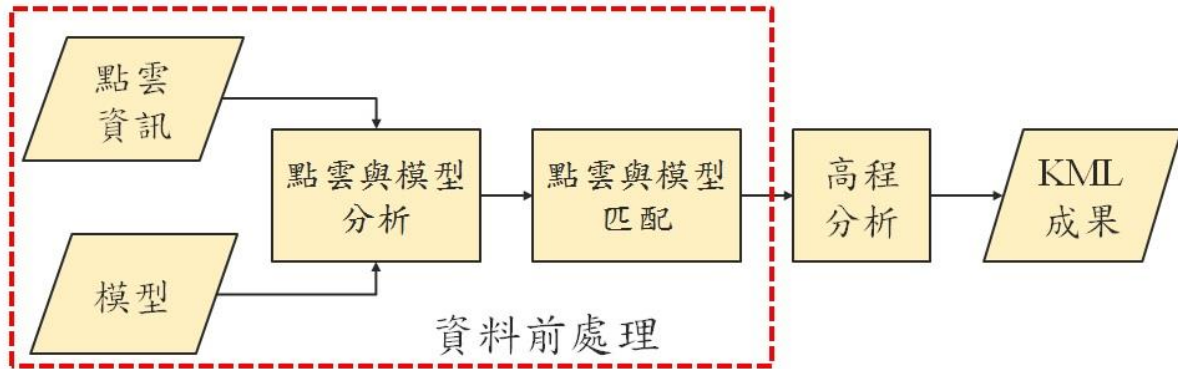
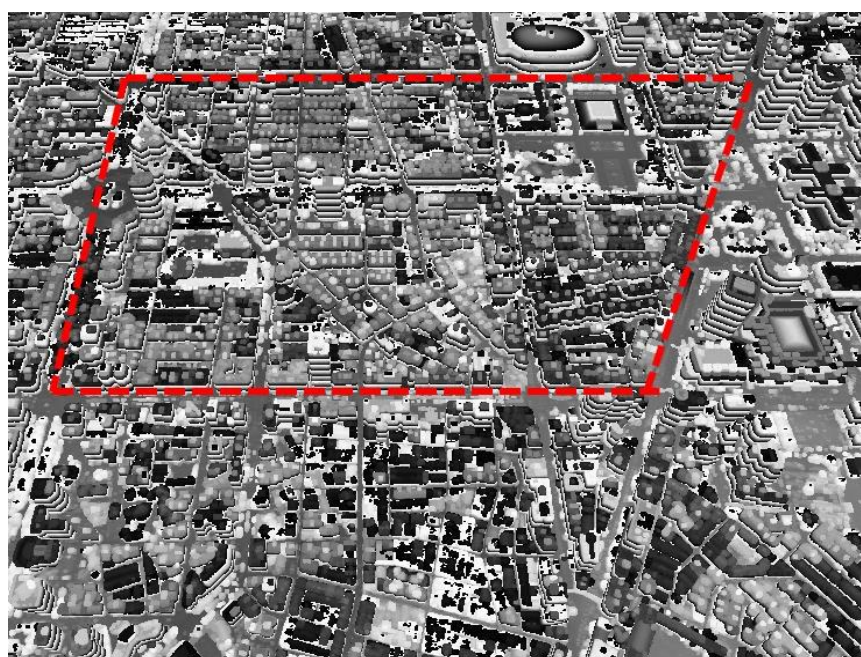


圖 4-3-23、多視角影像提升模型流程圖

(1) 點雲與模型分析：本步驟為分析點雲、房屋與道路模型資料，由於點雲數量龐大，為提升後續模型匹配、建置效能，此步驟為不可或缺之資料前處理作業。因產製點雲軟體眾多，造成點雲檔案格式不一，在進行本項分析步驟前，提前將點雲資料轉換至較通用的格式(如 LAS、XYZ)，以利分析點雲坐標資料作業。圖 4-3-24 為展示點雲資料畫面，紅色區域為試辦區域，圖 4-3-24a 為光達點雲資料，圖 4-3-24b 為航照影像產製之點雲資料。因航照影像產製之點雲並無圖幅分類概念，在分析其點雲坐標資訊時，亦依照圖幅範圍將航照影像產製之點雲進行分類歸納。



(a) 光達點雲資料



(b) 航照產製之點雲資料

圖 4-3-24、點雲資料展示

(2)點雲與模型匹配:此步驟為匹配各模型 polygon 所包含之點雲資訊, 根據圖幅編號與模型 polygon_ID 進行點雲資料分類, 過濾模型以外之點雲, 減少模型與點雲之間分析量, 分類成果如圖 4-3-25 所示。

因點雲資料量龐大，故須先進行過濾與匹配，以加速後續高程分析作業。



圖 4-3-25、點雲資料分類

(3) 高程分析：本步驟為分析模型所屬之點雲高程資訊，以眾數層平均值的概念分析點雲高程。圖 4-3-26 為眾數示意圖，將點雲資訊(紅點)分為 10 個區域，區域內點雲數量較多者即為選取高度之眾數層，計算眾數層區域內點雲高程之平均值，將此值取代成為模型新的高程資訊。圖 4-3-27 為模型(套用新的高程資訊)套疊點雲資料之示意圖，圖 4-3-27a 為光達點雲分析成果，圖 4-3-27b 為航照產製之點雲分析成果。

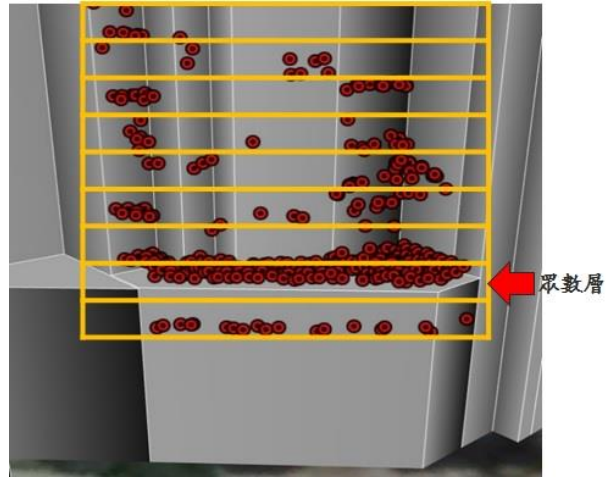
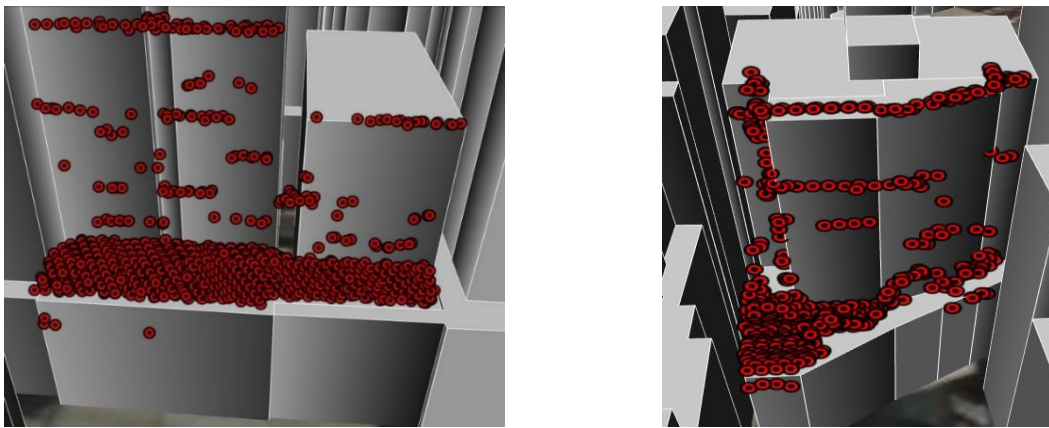
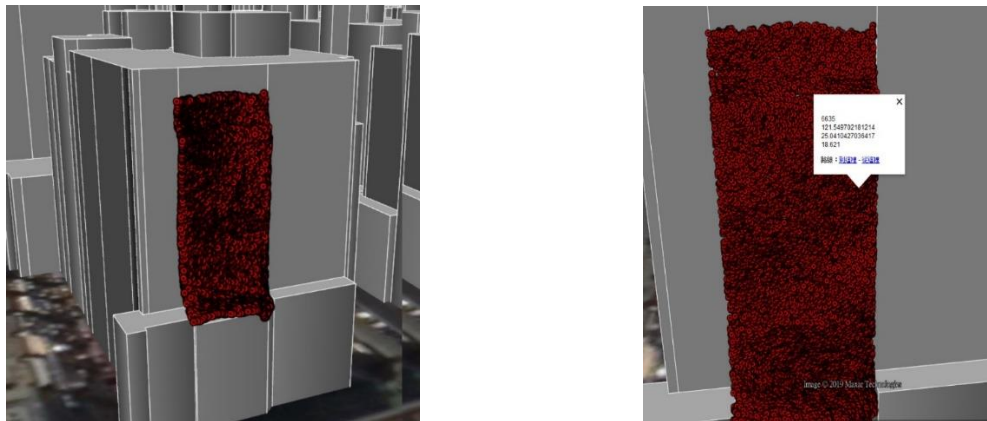


圖 4-3-26、眾數層圖示說明



(d) 光達點雲分析成果



(e) 航照產製之點雲分析成果

圖 4-3-27、點雲與模型套疊示意圖

(4)產製 KML 模型成果：此步驟為產製模型成果資料，並以 KML 格式為模型展示成果。圖 4-3-28 為產製之 KML 模型成果，每個 polygon 皆包含屬性資料，如 ID 編號、模型原始記錄高度(Roof_H)、使用點雲提升之高程資訊(Las_H)等。圖 4-3-29 為光達點雲(灰色)與航照產製之點雲(紅色)資料提升模型細緻度之模型套疊成果。

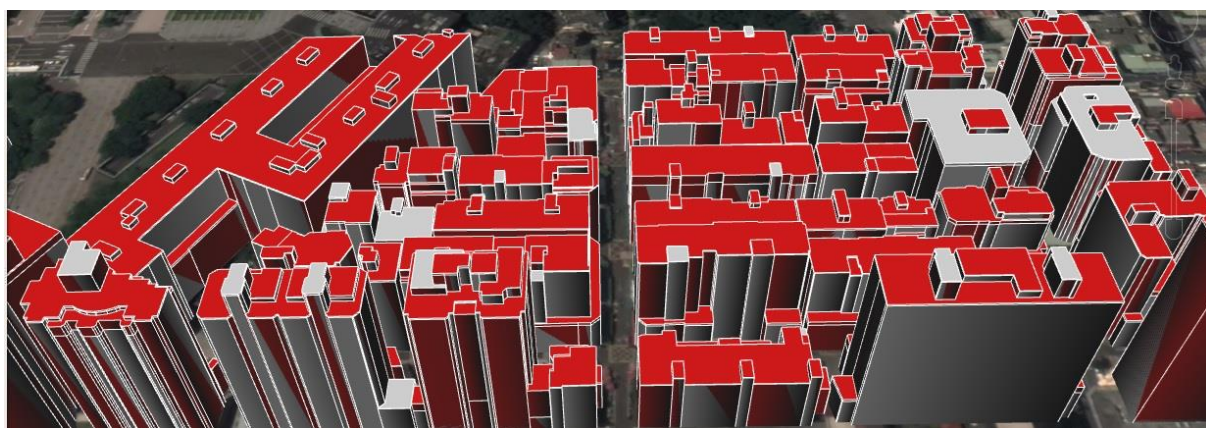


(a) 房屋模型成果-高度為點雲(眾數層)之平均值

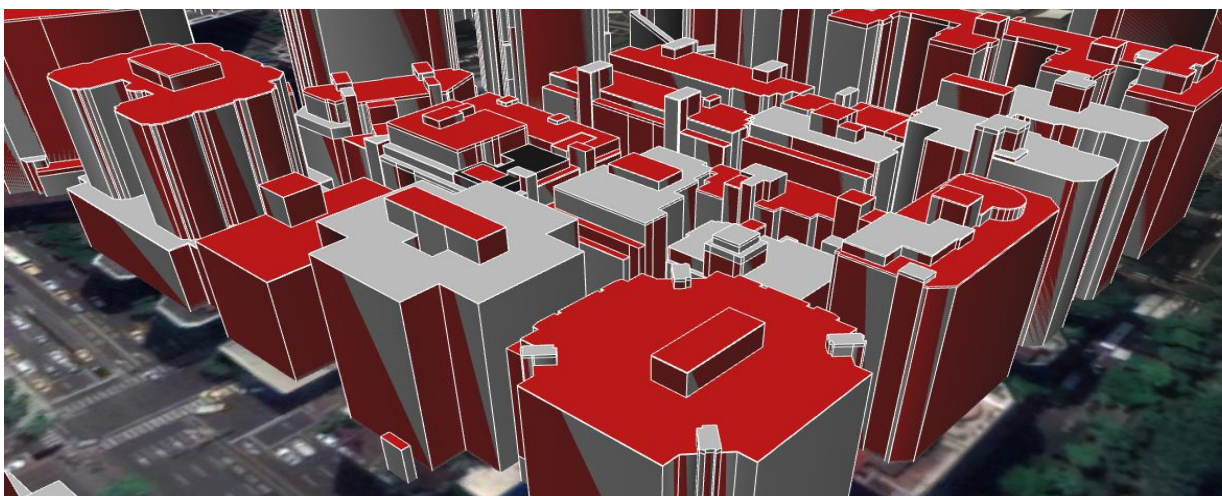


(b) polygon 屬性資訊

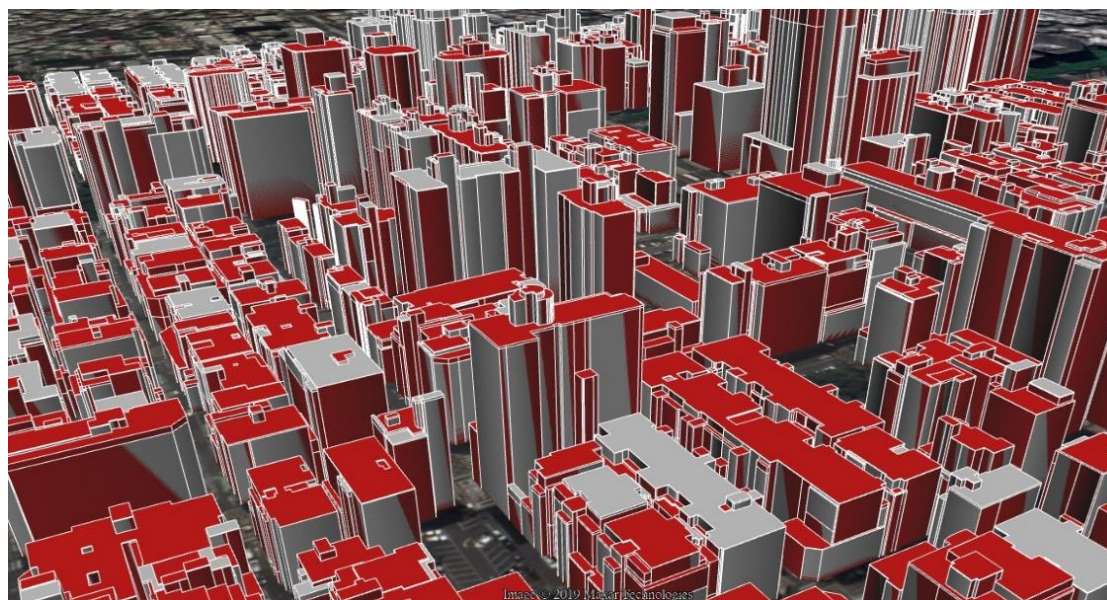
圖 4-3-28、房屋模型成果



(a) 視角 1



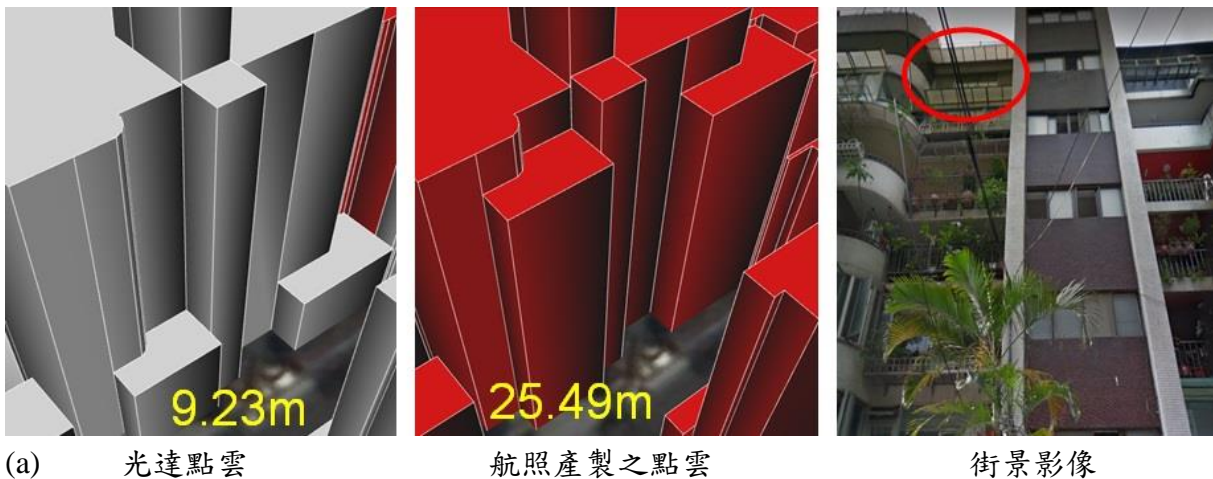
(b) 視角 2



(c) 視角 3

圖 4-3-29、兩種點雲資料提升模型細緻度之套疊成果

透過點雲提升模型細緻度，在分析的點雲過程中，會有各種因素造成模型高度不如預期或高度落差過大，如：屋頂突出物、雨遮、polygon 過於細長等。圖 4-3-30a 為突出之雨遮案例，圖 4-3-30b 為 polygon 過於細長案例。圖 4-3-31 為各資料非同期產製造成高度落差過大之案例，圖 4-3-31a 為 104 年光達點雲(灰色)與 107 年航照產製之點雲(紅色)提升之模型，兩者高度落差約 54 公尺，再根據現有之航照影像進行比較，圖 4-3-31c 為 107 年 7 月之航照影像(屋頂結構較完整)，圖 4-3-31b 為 107 年 1 月之航照影像(屋頂為建設階段)，因此合理推測 104 年時該房屋為尚未建置或正在興建中，才造成房屋高度落差過大之情形。後續可針對各種因素進行研究與提升模型細緻度之技術精進，減少人力介入建模時間，以及增加點雲資料的實用價值。



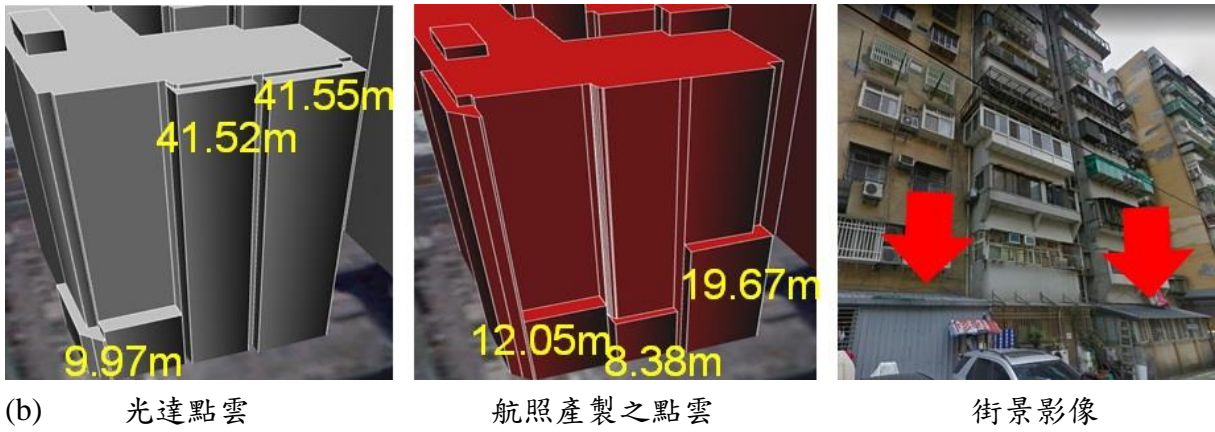
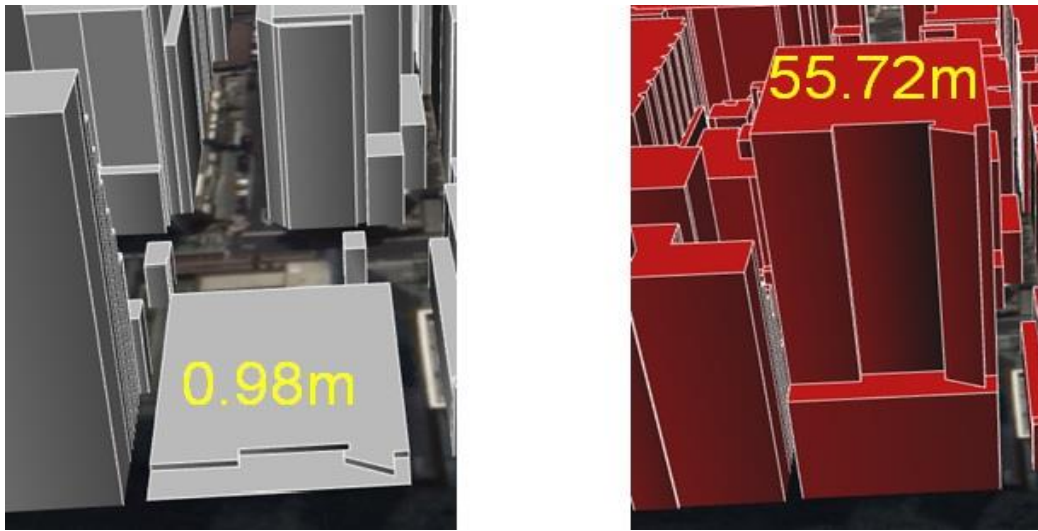


圖 4-3-30、光達點雲、航照產製之點雲提升之模型與街景對照



(a) 104 年光達點雲(灰色)與 107 年航照產製之點雲(紅色)提升之模型



(b) 107 年 1 月航照影像



(c) 107 年 7 月航照影像

圖 4-3-31、資料非同期產製造成落差過大案例

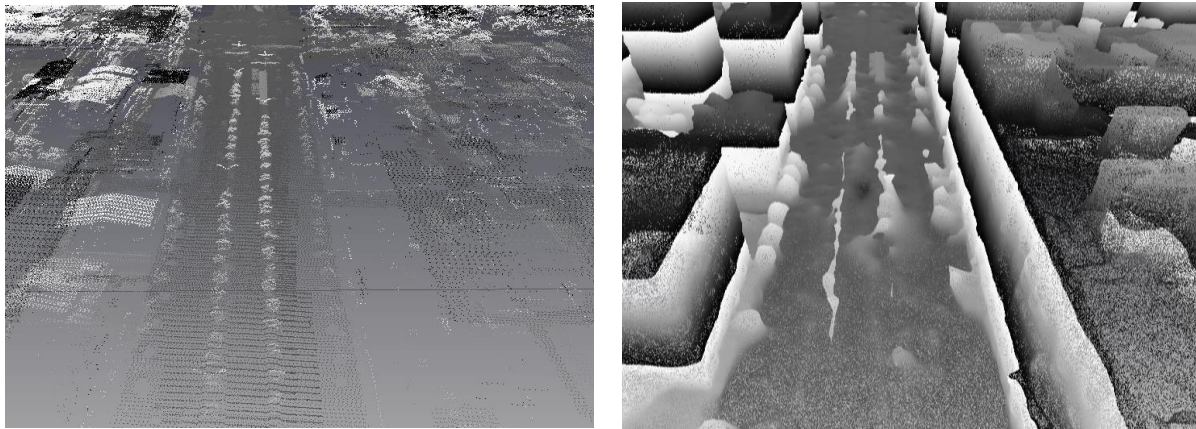
針對房屋建置效能評估，若每次都對大量的點雲資料進行運算，建置房屋模型將非常耗時，因此在設計流程架構時特別加入資料前處理之作業，以提升高程分析、模型產製效能。建置效能如表 4-3-3 所示，在資料前處理作業部分，光達點雲執行 6 個圖幅的前處理作業約耗時 10 小時，之後針對房屋與點雲進行高程分析，每個圖幅耗費時間約在 10 秒內，每個圖幅產製 KML 格式成果耗時 10 秒內；航照產製之點雲執行 1 個圖幅的前處理作業約耗時 190 小時，之後針對房屋與點雲進行高程分析，每個圖幅耗費時間約在 1 分鐘內，每個圖幅產製 KML 格式成果耗時 10 秒。

表 4-3-3、點雲提升房屋精細度之建置效能表

	光達點雲	航照產製點雲
前處理耗時 (只需一次)	10 小時/6 圖幅	190 小時以上/1 圖幅
高程分析耗時	10 秒內/1 圖幅	30 秒~1 分鐘內/1 圖幅
成果產製	10 秒內/1 圖幅	10 秒內/1 圖幅

在道路模型建置部分，同樣適用多視角影像提升模型流程作業(參考圖 4-3-23)，只需將房屋模型資料替換成道路模型資料，進行資料前處理作業，即可迅速分析高程與成果產出。系統展示平台為 Google Earth，其地形高程與測試資料之 DEM 或 DSM 不同，呈現道路模型成果時會出現與 Google Earth 地形高度對應不起來之情況，因此後續呈現道路成果畫面皆在關閉 Google Earth 地形設定下進行展示。圖 4-3-32 分別為光達點雲與航照建置之

點雲資料，而兩種點雲資料皆可看出道路區域內包含路樹或分隔島等高程資訊



(a) 光達點雲資料

(b) 航照建置之點雲資料

圖 4-3-32、點雲資料展示

圖 4-3-33 為透過點雲提升道路模型細緻度之模型成果，紅色區域為試辦區範圍。圖 4-3-34 為高程分析與模型建置成果與 google 地圖比對，圖 4-3-33a 左邊箭頭位置之道路模型高低起伏較大、右邊箭頭位置之模型則較為平順，從對應之 Google Earth 地圖(圖 4-3-33b)看出左邊箭頭位置路樹較多，而右邊箭頭幾乎無地上物遮蔽或干擾；圖 4-3-33c 上方箭頭位置之道路模型較為平順，其餘道路模型高低起伏較大，從對應之 Google Earth 地圖(圖 4-3-33d)看出上方箭頭位置較為空曠，其餘道路皆有路樹干擾。由於路樹多種植於道路兩側，正好與敘述道路 polygon 之節點相近，即使進行道路高程平滑處理，也很難自動化的使道路平順或讓道路左右兩側的高度相近。

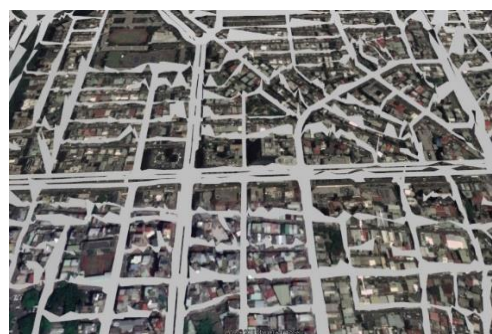


圖 4-3-33、高程分析與模型建置成果



(a) 提升細緻度之道路模型



(b) 對應 Google Earth 地圖



(c) 提升細緻度之道路模型



(d) 對應 Google Earth 地圖

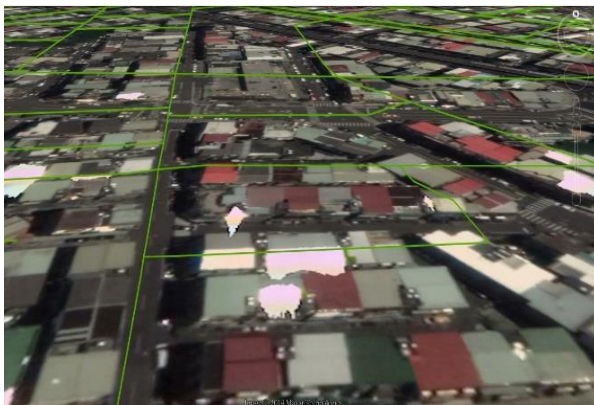
圖 4-3-34、高程分析與模型建置成果與 google 地圖比對

在道路資料及參考資源缺乏的情況下，本項工作自動化產製出的道路模型不足以提供展示使用，要建置精細程度與正確性較高的三維道路模型，除了參考資料需足夠，更應在產置道路 polygon 資料時，就必須有系統性的規劃與方案，本項工作提出幾項建議與考慮因素，並進行驗證作業，供未來建置道路之參考方向，建議如下：

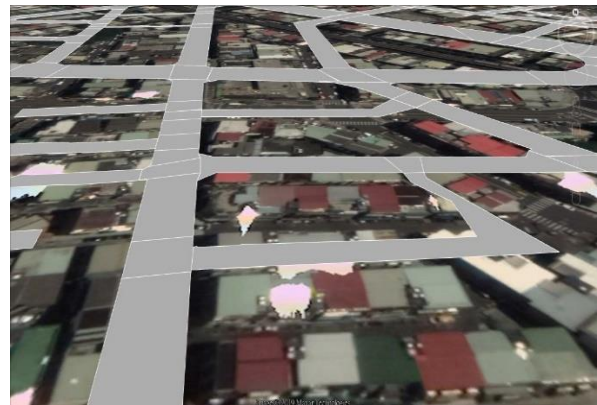
- (1) polygon 的節點數：節點數越多，其提升之精細度越高，但分析的時間、檔案大小與展示效能也將會增加。
- (2) 道路分類：依道路使用方式分成平面道路、高架道路、橋樑等類別，後續再根據道路類別使用對應的高程資料進行分析。
- (3) 道路屬性：可包含線道數、對應的圖幅、道路中心線等屬性資料，屬性資料越豐富、完整，越能提高自動化程度與降低人工介入的機會。
- (4) 產製道路中心線：建置道路 polygon 時，應同時產製道路中心線，在後續高程分析時，以道路中心線為高程分析主要資料，並與對應的道路 polygon 節點進行匹配，產製的三維道路模型成果會更好。

因本次試辦區內之道路模型缺少規劃與道路中心線等資料，為驗證上述建議之可行性，本項工作就手邊現有資源（道路面、道路中心線、DEM 與 DSM 等資料齊全下）挑選一小區域進行驗證測試。平面道路以 DEM 資料進行高程分析，因 DEM 資料較為單純，不需擔心地上突起之物件，可直接

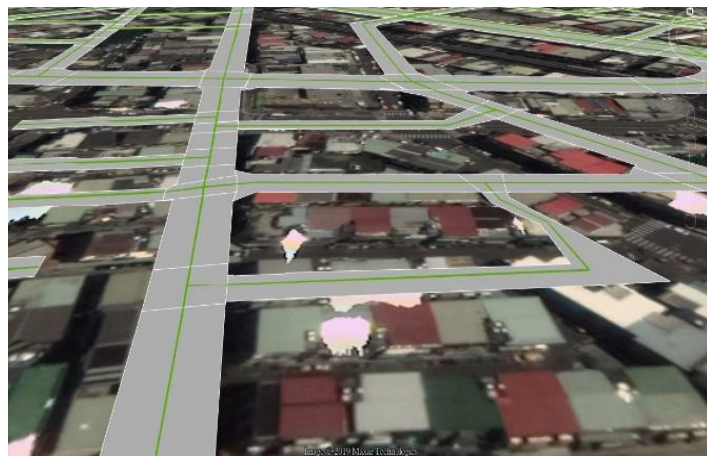
進行道路中心線與 DEM 之高程分析，分析與提升模型細緻度成果如圖 4-3-35 所示。圖 4-3-35a 為高程分析後之道路中心線，各中心線之節點皆具有新的高程資訊，將道路中心線與道路面進行節點匹配，產製出道路模型(圖 4-3-35b)，圖 4-3-35c 為套疊分析之高程道路中心線與道路模型，以三維方式檢視並驗證模型成果。



(a) 道路中心線與 DEM 高程分析成果



(b) 平面道路模型成果



(c) 道路中心線與道路模型套疊驗證

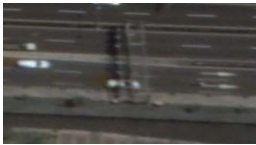
圖 4-3-35、高程分析與提升模型細緻度成果-平面道路

高架道路以 DSM 資料進行高程分析，成果如圖 4-3-36 所示。圖 4-3-36a

為分析道路中心線與 DSM 之高程成果，可看到部分中心線會有突起之情況，觀看街景與航照影像發現該突起地點為道路指示門架(圖 4-3-36b 與圖 4-3-36c)，若直接使用此高程資料產製道路模型，在視覺上不符合一般人對於道路認知，因此需將道路中心線(polyline)平滑處理後，再與道路面(polygon)進行節點分析，最後道路模型成果如圖 4-3-36d 所示。



(a) 道路中心線與 DSM 高程分析成果



(b) A 處航照與街景影像

(c) B 處航照與街景影像



(d) 道路中心線與 DSM 高程分析成果

圖 4-3-36、高程分析與提升模型細緻度成果-高架道路

4.3.3 藉由影像或點雲資訊搭配既有資料發展重建三維室內模型技術

在現今量測三維房屋模型中，建置室外建築物模型的技術經過多年的發展已逐步成熟。但建立室內模型的技術部分，目前仍有許多發展的空間。室內空間與人類的生活最為緊密，又由於室內無法接收 GPS 訊號的關係，室內空間也是最迫切需要各式導航導引技術的場所，而室內空間三維模型是達成室內導航目的的主要途徑之一。本項工作重點為藉由影像或點雲資訊的輔助，發展重建三維室內模型技術，並提出新的解決方案來改善既有影像式掃描的缺點。因此進一步探討室內空間的建模技術，依處理流程分成(1)攝影測量三維模型重建；(2)模型破損缺漏修補；(3)模型切割、物件建立；(4)與繪製模型結合；(5)三角面與四角面模型的差異等五項進行探討，並依處理流程產製(6)試辦成果。

(1) 攝影測量三維模型重建：

除了從 CAD 工程圖轉換或手工建模等繪製方式外，室內空間常見的掃描/逆向工程重建方式有兩種，光達掃描以及攝影測量/電腦視覺(影像式)掃描技術。以光達掃描機產生點雲，透過人工或半自動方式由點雲建立建物室內模型，若模型需敷貼紋理資訊，則需增加至現場拍攝照片並賦予模型紋理之作業。影像式掃描技術須於現場拍攝照片，後製時透過計算相片拍攝的方位後，解算出點雲，並由點雲產製模型。而原本拍攝的相片可以直接應用於模型紋理的貼圖

若單以影像資料或點雲資訊方式建立模型，相對於光達掃描而言有以下的優點：(1)儀器成本低、(2)儀器的可攜性較高以及(3)相片可供量測與紋理敷貼使用。上述優點可分別降低設備維護成本及交通成本。但傳統攝影測量掃描建模也有許多缺點：(1)資料完整性、(2)反光材質無法產生點雲。

相較於以傳統航空攝影測量的拍攝方式，測量車與環景拍攝模式可以改善部分航測拍攝方式的缺點，可以依據建築物室內的特性以及未來模型資料應用的目的決定拍攝的方式。本項工作以(1)拍攝方式、(2)拍攝注意事項、(3)現場拍攝效率、人員要求、(4)後製處理效率等四個方向分別探討航測拍攝模式、測量車拍攝模式與環景拍攝模式。

1. 拍攝方式

(1) 航測拍攝模式：攝影測量的航測拍照模式，是將每一個牆面都當成航測中的地面看待，由高而低的來回沿著牆面拍攝，以航測航向重疊與旁向重疊的概念逐步涵蓋整個牆面。對於每一個牆面而言，其量測精度穩定且成果相當可靠。但是在牆面相互連接的轉角處，便會因為照片間的連結薄弱而造成轉角角度精度差且成果不穩定的情形。由於以往航測拍攝作業中，不存在這種地形，即使真的在險峻的山谷中拍攝，也會提高航高以避免這種高差變化極大的情況發生，因此在傳統航測作業中對此地形並無標準作業流程來因應。

(2) 測量車拍攝模式：測量車拍攝模式是將多台相機架設在車輛的車頂，

朝向設計好的方向拍攝，相機拍攝的時刻是同步的，在同一個時刻下所拍攝的照片稱為一個站點，相機的投影中心距離及相機相對姿態在同一個站點中是穩定的。透過同一站內已知的相機相對姿態，待車輛移動到下一個站點後，藉由同一站的已知條件計算出兩站間車輛的移動距離及方向，整段路徑所經過的特徵點都將可以計算出點位座標。

(3) 環景拍攝模式：環景攝影模式同樣也是以站點為單位，每一個站分別拍攝兩個環景，分別是腳架中柱伸到頂點與降到低點，如此之下，兩站間的拍攝距離是固定的，類似測量車模式中相機間投影中心距離不變的概念，利用同一站內的兩個環景之視差建立深度關係。當相機移到下一個站點時，同樣的以腳架的中柱為基準，拍攝上下兩個環景站。藉由這四組環景，及組成環景的原始照片，用以估計兩站點之間的距離及方位。

2. 拍攝注意事項

(1) 航測拍攝模式：由於攝影測量原理其需要多張相片交會的特性，一件物體或牆面要能夠被建模，不是被拍到一張照片即可，而是要從不同視角及相片重疊度等問題所決定的。因此經常發生攝影作業完成後，開始內業資料處理階段才發現部分區域無法形成點雲的情形，且牆面間的銜接是攝影測量模式最大誤差之所在。可透過攝影人員於可能會遮蔽之位置調整或增加拍攝照片。

(2) 測量車拍攝模式，由於相機涵蓋範圍不夠全面的關係，造成點雲/模型缺漏的情形。可透過增加相機數量與拍攝角度，減少點雲缺漏區域。

(3) 環景攝影方式，因為點雲資料是從上下兩個攝影處所構成，在一般的情形下，點雲缺漏的情形會最少，此拍攝模式能有效改善模型缺漏的問題。但是在下方環景看的到物體但上方環景看不到物體的情形下，缺漏依舊會發生。不過此情形在現場拍攝作業時是可以預想到的，僅需在預期會發生遮蔽的區域，將環景站的密度提高，也就是縮短環景站之間的距離，即可有效改善此問題。

3. 現場拍攝效率、人員要求

(1) 航測拍攝模式：針對每一面牆的拍攝方式、牆面高度、屋頂面高度等，都需有一定的評估計算後方能進行拍攝作業。同時還得評估遮蔽的情形，造成現場拍攝的時間極長，若經過計算後發現牆面轉角精度不足或遮蔽區過大時，甚至還得回到現場重新補拍照片。此模式對於攝影人員之要求必須有相當程度的攝影測量專業知識以及攝影知識，方能拍出精度穩定且成果可靠的照片，並減少再次回到現場重新拍攝的機會。

(2) 航測拍攝模式：在室內空間多半以推車方式執行，執行拍攝的時間相對短暫。由於相機位置、角度固定，相機參數(如:光圈、快門、對焦位置等)於拍攝前設定完全，因此對於專業知識的需求最低。

(3) 環景拍攝模式：分為兩種環景拍攝方式，一種是以一台環景相機，為了以維持每張相片的投影中心一致為目標的方式拍攝。第二種是以多台相機所組成的環景相機組進行拍攝，可以有效提高拍攝效率。由同一台相機拍攝若經過精確的設備率定，可以達到投影中心一致的目標，可以拼接出完美無接縫的環景照片，且具有高精度的內方位率定成果，因此量測成果精度較高。若以多台相機拍攝一處環景，多台相機的組合勢必無法達到投影中心一致的目標，因此環景必然有接縫產生，因此在環景照片的品質是否有要求，成為重要的考量點之一。攝影人員只熟悉攝影知識，不需要具備攝影測量知識，只須遵循拍攝的標準作業流程(SOP)即可。

4. 後製處理效率

(1) 航測拍攝模式：在現場拍攝時，多半會以牆面為單位，將牆逐面進行拍攝。牆面的多寡多半到現場才能確定，因此難以事先規劃。最後拍攝出來的照片也會是以面為單位的一面一區的方式處理，因此資料處理人員必須非常清楚照片拍攝的過程及順序才能有效地尋找與增刪某些照片。也由於航測方式拍攝的照片多半只有牆面的局部，難以從照片中判斷出該照片所拍攝的區域，因此航測方式拍攝的照片，資料處理的困難度在於照片的整理與空三過程中照片挑選，最理想的情形下是資料處理者由攝影者擔任。

(2) 測量車拍攝模式：由於以站點為單位，每一個站點有固定數量的照片，且照片的拍攝方向一致，因此不會有前述照片混亂難以尋找的問題。但由於測量車攝影模式在拍照時一般以固定時間間格觸發快門，因此站點的遠近跟推車的速度有絕對的關係，在室內空間中有轉彎、周遭雜物等情形會被迫減速，此時多半不會停止拍攝或調整拍攝時間間格，而使得站點之間的距離過短，產生過多攝影站的情形。因此最後在照片數量上而言，一般會明顯多過其他拍攝方式所攝得的照片數量。照片數量的增加會導致空三計算的速度明顯減慢，因此必須人工去挑出這些站點予以移除。

(3) 環景拍攝模式：每一個環景站有兩張環景照片組，每組環景照片也可以輕易的辨識出是同一組的環景照片，因此在後製處理上，對於整理照片的人力需求明顯較低，且資料處理人員不需為攝影師本人也能有效率的整理照片，因此可以精確的將外業攝影師與內業攝影測量工程師分工，提高效率並增加工作效益。

表 4-3-4 為統整以上三種攝影測量拍攝模式、特性、差異之比較，表 4-3-5 為各拍攝模式進行模型精度、拍攝條件、資料完整性等說明。

表 4-3-4、三種攝影測量拍攝方式

	以航測模式地面拍攝	測量車模式	環景模式
牆面轉角銜接誤差	差	好	好
覆蓋完整性	中	差	高
現場拍攝效率	低	高	低
現場人員之專業要求	高(須懂攝影及攝影測量)	低	中(須懂攝影)
後製處理效率	低	低	中
後製人員之專業要求	高	高	高
模型精度	好	好，精度不穩定	好，精度不穩定
拍攝條件(光線需求)	一般	高	低

表 4-3-5、拍攝模式說明

項目	說明
模型精度	<ul style="list-style-type: none"> • 使用航測方式攝影具有穩定的精度，但在牆面轉角處精度不佳 • 使用測量車或環景攝影方式進行拍攝，精度會不穩定，相機與牆面的距離、姿態角度等差異，以至於有不同的精度分布情形
現場拍攝條件	<ul style="list-style-type: none"> • 航測攝影模式多半以手持方式拍攝，在一般的光線條件之下，皆可進行攝影作業。 • 測量車攝影模式由於在推車上移動拍攝，光線充足是必要的條件。 • 環景模式拍攝時，由於環景必須要用腳架拍攝，所以對於光線的要求不高，僅需延長曝光時間即可達到曝光正確的照片。
資料完整性	<ul style="list-style-type: none"> • 環景攝影方式取代傳統攝影測量進行相片獲取的作業已達到資料完整性的目的。 • 在反光材質的處理方面，無論是光達或影像式掃描技術，對反光材質都無法有良好的偵測效果。

(2) 模型破損缺漏修補：

模型破損缺漏的情況有兩種主要因素，包括(1)因攝影測量拍攝方式或因為場景內建材或物體的因素無法建模，以至於模型資料不完全的情形時，目前只能以人工繪製的方式將三維模型修補完整。(2)因攝影測量的不同拍

攝方式所造成的缺漏情形與原因如前項工作所說明，本項工作將探討因場景內建材或物體所造成的破損缺漏情形。模型的缺漏可歸咎於三種情形，(1)光線的折射、(2)光線的反射、(3)物體的移動。

當光線穿透不同介質的時候，光線會產生部分反射及部分透射的光線傳遞情形。而透射的光線，因為光線在不同介質中速度不同的關係，而發生了光線的折射現象。以靜止水面為例，水面的倒影是由光線反射而造成的，水面下物體是折射現象所造成。無論是光線的反射或折射，都造成了光線的轉向，而不再維持直線前進的”共線條件”(Collinearity Condition)，以至於無法以攝影測量原理進行模式化。因此在現有技術下無法將光線透過反射或折射之後的影像進行量測及建模作業，會造成光線折射/反射的物體包括水體、玻璃、金屬表面、高反光鏡面等物體。另一類無法建模的物體為移動物體，包括車輛、行人或電扇等，在所有相片拍攝期間無法維持同一型態之物體。其無法量測的原因雖與光線的折射與反射不同，但同樣的都是無法滿足光線的”共線條件”，因為在下一張照片拍攝的時候，該物體已經不在原處，所有應該交會在該物體上的光線，已經不存在共線關係。

無論是透過哪種模型重建與掃描的方式，三維模型的幾何資訊都以由三角面所組成的網(mesh)所構成，於是模型的修補有兩種主要的方式，(1)直接對掃描之 mesh 進行編修的動作或(2)獨立繪製模型並與原 mesh 套合在一起。這兩種編修方式最主要的差異在於最後 mesh 的數量，若以第一種方

式直接修改原 mesh，完成的模型僅會有一個 mesh。若以第二種方式編修，最後的模型當中會有數個 mesh 互相套疊、緊靠在一起的情形。就三維模型在使用階段的適用性來說，單獨一個 mesh 當然是最理想的編修方式，但是考量實務面時，與既有掃描模型 mesh 的接合並不是一件容易的事情。由於三角面與三角面相互接合時，容易產生幾何錯位等錯誤幾何模型，而這種錯誤只能以人工方式逐面修復，將大幅提高製作工時，無法成為實用的修復方式。因此目前主要的掃描模型修復方式是另外繪製 mesh 模型並套疊在原有 mesh 旁邊。套疊成果如圖 4-3-37 所示，門口的門窗為玻璃材質與高反光不鏽鋼材質，這兩者都屬於無法有效掃描的建材。因此以人工繪製方式製作了門窗，並放置於原本的位置。門窗緊臨的左右兩個柱子，也因為建材屬於高反光的物體，有模型品質不佳的狀況產生，也同步的進行人工編修的動作。



(a) Mesh 成果畫面 1



(b)Mesh 成果畫面 2

圖 4-3-37、Mesh 與物件模型套疊成果

(3)模型切割、物件建立

在模型破損區與正確區域之間，多半會有一些模型品質開始變差的區域，這些區域一般而言也不會將之保留，必須進行切除。同時為了要修補某些缺漏的區域，也必須將原有的模型做一定程度的編修，以便後續與修補模型連結之用。模型的切割就必須碰觸到三角面 mesh 的裁剪動作。此外，若要將掃描模型中的部分模型獨立成一個物件，例如案例中牆邊的座椅，因掃描重建完成時，整個空間與座椅的 mesh 是連結在一起的，必須從 mesh 中將座椅切割開來，並補齊牆面的空缺與座椅後半部看不見的區域，才能讓兩個物體完整的分割開來。編修、修補成果如圖 4-3-38 所示，黑色座椅自原 mesh 中切割出來，並繪製黑色座椅的模型放置於虛擬空間之中，便能將座椅當作物件來操作。



(a) 編修、修補成果 1



(b) 編修、修補成果 2

圖 4-3-38、Mesh 編修、修補成果

(4) 與繪製模型結合

三維模型可以用三角面或四角面的方式表示。三維模型的製作方式主要有兩種，第一種是透過繪製的方式製作模型，以人工描繪/雕塑物體的近似樣貌而成；第二種是以掃描的方式，對真實存在的物體進行模型的掃描與重建。以掃描方式所產生的模型，會經過「建立點雲」的步驟，整個三

維模型會被密集的点雲覆蓋，最後再經過點雲的連結，形成一個個的面。形成一個面最少需要由三個頂點所構成，因此三角面的表示方式是掃描建模技術最直覺，也是精度最高的表示方式，同時也是模型還原度最高的表示方式，因此一般來說原始的掃描模型除了修正錯誤以外，不會再進行額外的三角面編修。相反的，人工繪製模型是從基礎模型(primitives, 正方體、球體等基本 3D 物體)開始塑形，類似於黏土雕塑的方式在電腦上進行雕刻，最後建立出近似於主題物體之模型。

現今三維模型的最終應用以電腦動畫或 3D 內容為最大宗。以柔性物體例如動物來說，要讓動物能夠「動」的關鍵是加掛骨架。沒有加掛骨架的三維模型—宛如是人的一張皮，安裝骨架之後，因為關節及骨頭的約制，動物才有了運動的「型態」。骨架同時也連結了皮膚，如此便能將動作、骨架與皮膚連動在一起。當皮膚隨著骨架移動的時候，一定會產生表面的伸縮，例如臉部微笑的動作，一定有部分的紋路與線條產生（魚尾紋、眼帶等），三角面一般來說不一定會與人臉上的折線一致，以致於在變動骨架姿勢時非常容易產生明顯的不正常情形（表面莫名突起、錯誤的皺紋位置等）。此外以三角面表示的紋理，在動態伸縮的時候，相鄰的兩塊三角面伸縮情形不一致，也有可能造成紋理貼圖不連續的情形。相反的，若使用四角面來表示人體將會有許多差異。由於四角面都是人工繪製的方式產生，因此可以刻意將四角面的邊界放在人體本身的折線上，例如魚尾紋的

位置，當模型的表面受擠壓的時候，自然就會在四角面相接之處產生凹陷而形成皺紋，如圖 4-3-39。

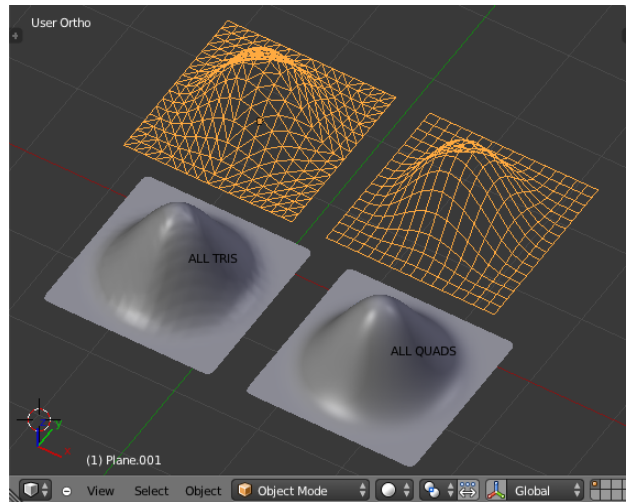


圖 4-3-39、以三角面與四角面展示突起物案例

(5) 三角面與四角面模型的差異與使用時機

三角面與四角面各自的使用時機為何?例如一個動物標本，我們希望它未來能夠製作動畫讓它跳躍或行走，這樣便有掛骨架與使用四角面模型的必要性。若木雕作品未來在動畫片或數位內容中，它仍就是一片靜態的木雕，那就完全沒有轉變成四角面的必要性。如果打算將靜物的三維模型製作如「博物館夜驚魂」電影一般，將靜物擬人化的動畫時，的確就有把木雕四角面化的必要性。但是骨架的設計與四角面拆面的方式息息相關，因此決定每件物件該怎麼移動、講話、做表情等腳本確定之後，才有辦法切割出準確的四角面位置，進而達到精緻的動畫效果。而三角面模型是能維持高解析度及最高精度的最佳三維模型表示方式。

由於主要的 3D 模型設計師多為動畫或多媒體領域出身，他們所熟悉的軟體及三維模型方式皆為四角面模型，因此在與三角面三維模型做接合的時候便產生了觀念上的差異。這部分雖然不涉及技術上的探討，但實務上熟悉四角面模型的設計師普遍較多，如此會造成熟悉三角面編修的設計師難尋的窘況，間接影響到三維模型重建編修作業流程建立時需考量理想與現實的差異，兩者差異如表 4-3-6 所示。

表 4-3-6、三角面與四角面模型比較

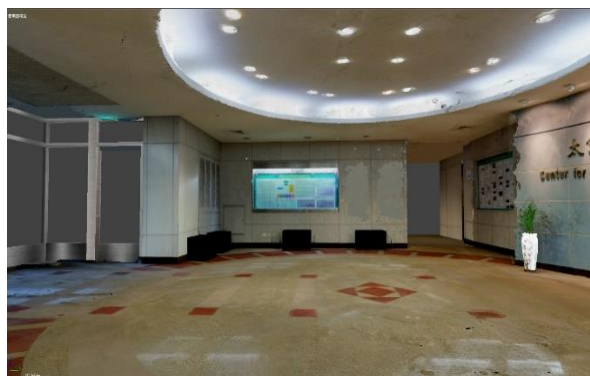
模型種類	三角面模型	四角面模型
擬真度(精度)	高	差
搭骨架做動畫	易產生模型錯誤	若規劃得宜，效果佳
適用情形	靜態呈現	動態效果

(6) 成果

考量到拍攝需求、便利性等，將本項技術重建之室內成果場域選為國立中央大學太空及遙測研究中心 R2 館 1 樓大廳，並依處理流程 1~5 步驟重建室內模型成果，成果如圖 4-3-40 所示。



(a) 視角 1



(b) 視角 2

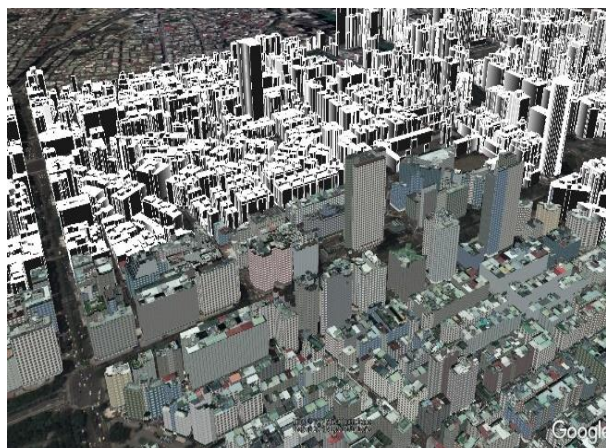


(c) 視角 3

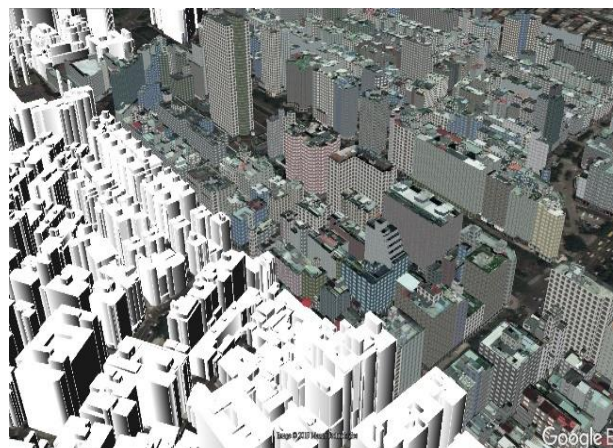
圖 4-3-40、三維室內模型技術重建成果

4.3.4 整合前三項技術試辦三維地形圖資測製

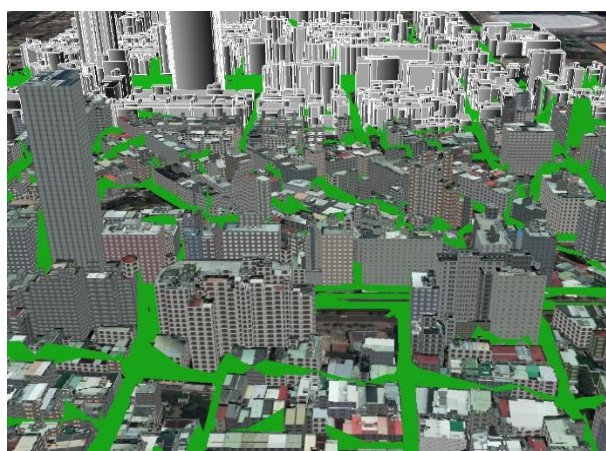
本項工作選定臺北市國父紀念館周邊區域為測試區域，整合 4.3.1 與 4.3.2 技術產製之成果。因 4.3.3 節著重於技術發展之研究，研究之室內模型地點不處於試辦區內，且模型在編修、建置過程中相當耗時，因此與 4.3.1、4.3.2 節之成果不同時呈現，但研究之技術仍適用於室內模型建模作業。圖 4-3-41 為結合 4.3.1 節與 4.3.2 節之模型成果展示，包含以測繪車影像作為基礎，匹配出相近通用紋理所敷貼之模型，以及透過航照產製之點雲提升模型細緻度之模型。



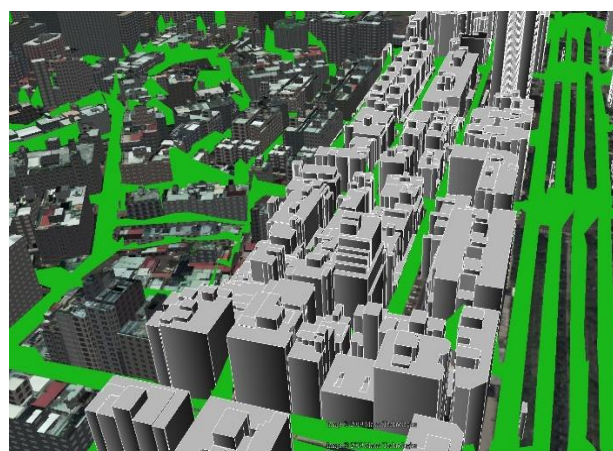
(a) 視角 1



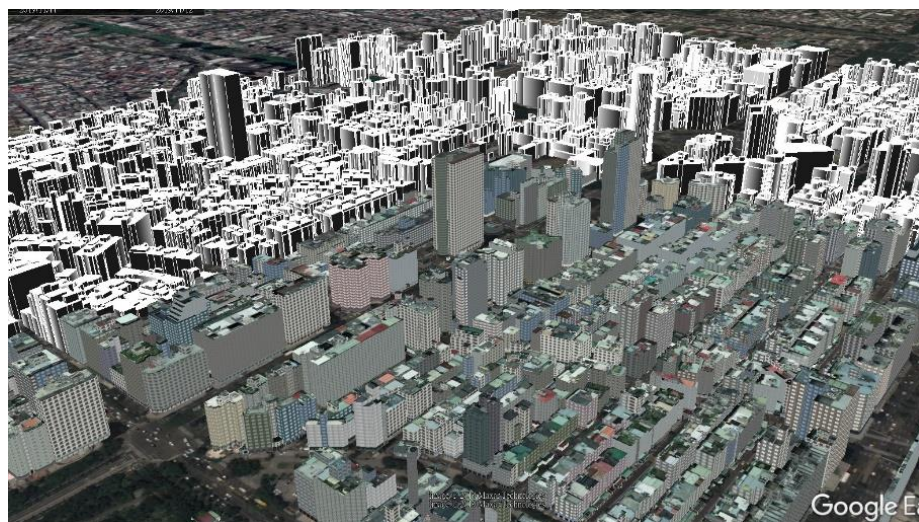
(b) 視角 2



(c) 視角 3



(d) 視角 4



(e) 視角 5

圖 4-3-41、結合不同技術之模型成果展示

4.4 精進三維地形圖資測製技術文件

4.4.1 精進三維地形圖測製及檢核作業技術文件指引

本項工作延續前一年度之工作，同時依據內政部國土測繪中心本年度三維建物模型建置方式及建置成果滾動修正本研究三維地形圖測製及檢核作業技術文件指引。依循往年以 CityGML 為基礎框架以及前一年度擬定之技術文件指引，配合國土測繪中心今年度三維模型建置之作業目標、執行方式與作業成果調整並精進技術文件指引內容，相關內容包括但不限於下列項目：

- (1) 目的：說明三維地形圖測製目的。
- (2) 適用範圍：說明三維地形圖資適用範圍。
- (3) 名詞定義：說明三維地形圖資測製及檢核作業中各項特定名詞或專有名詞之定義。
- (4) 參考文獻：技術文件參考之文獻。
- (5) 資料格式：說明三維地形圖資產製成果之資料格式。
- (6) 資料品質等級：說明三維地形圖資產製成果資料品質等級分類方式。
- (7) 檢核內容與方式：說明三維地形圖資檢核作業項目內容與檢核作業執行方式。
- (8) 檢核標準：說明三維地形圖資各項檢核作業項目之量化指標或是檢核標

準。

本項工作參考國內外地形圖之技術文件，針對不同細緻程度之應用需求，並考量 OGC CityGML 標準對建物模型產品之分級，撰寫測製方式、檢核內容方法以及檢核標準等內容，此外相關專有名詞以及章節架構也依據國土資訊系統資料標準共同規範進行調整。

本年度文件精進重點類別為房屋(Building)以及道路(Traffic Area)兩項核心類別，此兩項為國土測繪中心三維模型建置重點，具有較多實務經驗可以供參考及回饋，另外一項精進重點為參考 CityGML 架構，加強屬性語義相關標準。本計畫參考國內外三維地形圖資技術文件，針對不同細緻程度之應用需求，撰寫測製要求、檢核內容方式及檢核標準等內容，以精進三維地形圖資之技術文件，精進技術指引文件請參考附件 E。

4.4.2 提出三維地形圖資測製技術之成本分析、應用領域及成果效益

本研究依據 106 年所擬定之三維地形圖建置策略，採用以「與同質性工作同步執行」及「既有資料加值」方式建置三維地形圖資，以提高大範圍建置三維地形圖資核心類別(即房屋及道路)的可行性。參考「100 年度多尺度三維數位城市技術規劃工作案-工時統計及成本分析報告書」，針對以大比例尺地形圖為既有圖資來源，高自動化程度建置 LOD1 等級三維房屋及道路，歸納三維房屋成本分析比較表(如表 4-4-1)。

表 4-4-1、房屋模型建置成本分析比較表(依作業方式)

建模方式	LOD1 (主建物及屋頂增建部分)	既有資料加值 LOD1 (僅主建物部分)
同質性工作同步執行 作業方式說明	1. 航測地形圖新測或修測工作 2. 航測正射影像製作 3. 高密度光達掃描及 DEM 建置案	
高程獲取成本	240 元/公頃	240 元/公頃
建模成本 (不含紋理貼圖)	635 元/公頃	127 元/公頃
總成本 (佔地形圖成本比例)	875 元/公頃 (14.5%)	367 元/公頃 (6.1%)
建議建置區域	都市計劃區(有 1/1000 地形圖資)	非都市計畫區(臺灣通用電子地圖)

*註 1：以上均無納入地形圖測製及資料取得費用。

*註 2：建模成本以地形圖測製成本(此處假設為 6000 元/公頃)換算。

本研究以 LOD1 之房屋模型為例進行成本分析，相關所需資料皆由同性質專案取得，高度超過 2 公尺或平面面積超過 16 平方公尺的房屋分部都需要建置模型(包含主建物及屋頂增建部分)，其建置成本約為 875 元/公頃，約為千分之一地形圖建置成本之 14.5%。

三維道路模型部分，可分為 LOD1 彩帶式三維道路模型及高精緻度道路模型兩個部分分析說明。彩帶式道路模型建置包含兩個程序，建立二維路網及重建路面模型，在輸入資料之前需要先經過檔案轉換和編修的前處理，且路面模型重建需使用數值高程資料擬合，如未使用既有圖資(電子地

圖以及數值高程模型)，其作業成本將大幅增加。

此外，試辦區域是使用明確定義且分層的大比例例尺地形圖，道路編修工時與道路複雜度正相關，如為複雜道路，編修成本也將增加。高精緻度道路模型使用光達點雲搭配測量車所拍攝之影像輔助判識，由於資料量龐大，因此需先將作業區域分割，再數化路面號誌、路上物等道路物件，完成高精緻度道路模型。三維道路建置成本比較表如表 4-4-2。另外依據今年度內政部國土測繪中心三維道路模型試辦案之作業經驗，LOD1 彩帶式道路模型若是以半自動路口切分的方式建置，則影響模型建置成本的因素有兩項，一項是道路長度，另一項則是路口數量，自動化處理的部分主要使用道路長度估算，路口處理的部分則主要反映路口需要人力編修的成本。以此估算各等級道路及各種類道路之路口單價費用表(表 4-4-3)以及各等級道路長度單價費用表(表 4-4-4)。

表 4-4-2、三維道路建置成本比較表

	彩帶式道路模型	高精緻度道路模型
作業內容	1. 建立二維路網 2. 重建路面模型 3. 光達點雲擬合	1. 路面標線數化 2. 路面號誌數化 3. 道路物件數化
工時/公頃	0.134 小時	0.518 小時
成本/公頃	143 元	553 元

*註：未包含(1)資料蒐集時間、(2)影像方位求解時間、(3)光達相對及絕對套合時間、(4)不包含資料取得費用。

表 4-4-3、路口單價費用表

路口單價表 (元/個)	1_橋樑	2_隧道	3_匝道	4_高架	6_地下道	7_平面道路
1a_HW國道	1,800	1,200	2,200	2,500	1,000	1,000
1b_HU國道附屬	1,800	1,200	2,200	2,500	1,000	1,000
1c_OE公務專用	120	120	120	120	120	120
2a_RE市區快速道路	2,300	1,200	2,700	3,000	1,500	2,000
2b_1E省道快速道路	2,300	1,200	2,700	3,000	1,500	2,000
3a_1W省道	480	288	504	504	288	216
3b_1U省道	480	288	504	504	288	216
4a_2W縣市道	360	216	378	378	216	162
4b_2U縣市道	360	216	378	378	216	162
4c_3W鄉道	360	216	378	378	216	162
4d_3U鄉道	360	216	378	378	216	162
4e_4W產業道路	240	144	252	252	144	108
4f_4U產業道路	240	144	252	252	144	108
5a_RD一般道路	240	144	252	252	144	108
5b_AL巷弄	240	144	252	252	144	108
5c_OR有路名無法歸類	240	144	252	252	144	108
5d_OT無路名	240	144	252	252	144	108
5e_BR區塊道路	240	144	252	252	144	108
5f_其他道路	240	144	252	252	144	108

表 4-4-4、道路長度單價費用表

長度單價表 (元/KM)	
1a_HW國道	100
1b_HU國道附屬	100
1c_OE公務專用	60
2a_RE市區快速道路	100
2b_1E省道快速道路	100
3a_1W省道	60
3b_1U省道	60
4a_2W縣市道	60
4b_2U縣市道	60
4c_3W鄉道	60
4d_3U鄉道	60
4e_4W產業道路	60
4f_4U產業道路	60
5a_RD一般道路	50
5b_AL巷弄	50
5c_OR有路名無法歸類	50
5d_OT無路名	50
5e_BR區塊道路	50
5f_其他道路	50

若以建置全國 LOD1 三維地形圖為建置目標，因受限於大比例尺地形圖分布面積有限，且高細緻度模型成本較高，可考慮採用中比例尺地形圖

建置 LOD1 房屋模型(僅主建物部分)，建置成本僅增加整體經費 2.1%。以內政部國土測繪中心所建置之臺灣通用電子地圖為例，其中已包含建物及道路兩項核心類別之測製。高程資訊可以使用現有之全國性光達產製之數值高程模型及數值地表模型，但其更新頻率與臺灣通用電子地圖有所差異，因此平面圖資與高程資訊之間存在時間差異，是必須考量的作業重點之一；然而，影像密匹配點雲資料是二維圖資更新之依據，兩者之時效性一致，或可成為高程資訊之可靠來源，去年度計畫利用臺北市數位航照資料產製全市三維網格模型及密匹配點雲資料，計算軟體為 Bentley Context Capture，使用硬體規格如表 4-4-5，計算所需時間如表 4-4-6。

表 4-4-5、密匹配點雲計算硬體規格表

處理器	Intel i7-7820x 3.6GHz
記憶體	128GB
獨立顯示卡	NVIDIA Geforce GTX 1080Ti
	NVIDIA Geforce GTX 1080Ti

表 4-4-6、臺北市密匹配點雲計算及資料產出時間

作業面積	影像匹配及空三計算(單次)	人工介入除錯及量測	成果輸出
27000 公頃	18 小時	No	50 日曆天

參考國外三維地形圖應用方向以及內政部國土測繪中心本年度三維建物建置成果，三維地形圖資之應用領域包含都市計劃、基礎建設規劃、都市熱島效應分析、太陽能潛力分析、都市氣流分析、基地台訊號覆蓋分析、淹水模擬分析、導航路徑規劃，建物模擬等，具有相當多的應用可能性。內政部國土測繪中心本年度三維建物模型成果將於測繪中心圖臺展示，三維模型除了展示功能外，LOD1 三維建物也具備屬性紀錄，所以於圖臺中可以針對三維建物模型不同的欄位進行分析，其創造之效益在於降低溝通成本，供使用者直接檢視三維模型。

4.4.3 探討三維地形圖資測製中遭遇之困難或三維地形圖資技術發展需克服之問題並提出可能之解決方案

依據內政部國土測繪中心本年度測製成果及作業經驗，探討三維地形圖資測製中遭遇之困難以及可能之解決方案；同時依據歷年計畫之作業經驗探討三維地形圖資技術發展需克服之問題及可能之解決方案。目前歸納需克服之問題包含兩項，第一項為高程資料與平面向量資料因為更新頻率不同而產生兩種資料不一致的變遷差異問題。第二項為平面向量資料繪製時，相鄰建物係以建物區塊方式繪製，導致模型無法呈現不同建物之間的高程差異。然而，在高程資料處理時，建物區塊內較大的高程差異仍有機會被辨識。因此可以進一步以自動化方式提升建物模型細緻程度，增加整

體成果價值。

第一項利用航照影像及高解析度衛星影像取得建物高度，補足光達 DEM/DSM 資料更新頻率的缺口，同時也利用新拍的高解析度衛星影像，找出可能新增建物的區塊，回饋電子地圖辦理圖資更新；

以 1.5 公尺做為是否成功取得建物高度的門檻，針對原始樓高不足 1.5 公尺的建物，利用 DMC 航照影像進行密匹配產製 DSM，以重新取得新增建物高度。

以新竹市東區為試辦區域，試辦區域內共計 3999 個建物區塊，透過 102 年度的 1 公尺解析度光達 DSM 進行樓高萃取，共有 501 個建物區塊樓高不足 1.5 公尺，占比約 12%，如圖 4-4-1；利用 105 年度的 DMC 航照影像產製 DSM，據以進行樓高萃取後，其中 446 棟建物區塊成功取得建物高度，成功率約 89%，如圖 4-4-2。

其中的落差，主要來自於資料更新頻率的差異，建物區塊的二維向量，是利用 105 年度的 DMC 航照影像立體數化而成，建物原始樓高來源則是 102 年度的資料，利用跟二維圖資同時序的航照影像做為樓高萃取的依據，可大幅提升新增建物樓高萃取成功率。

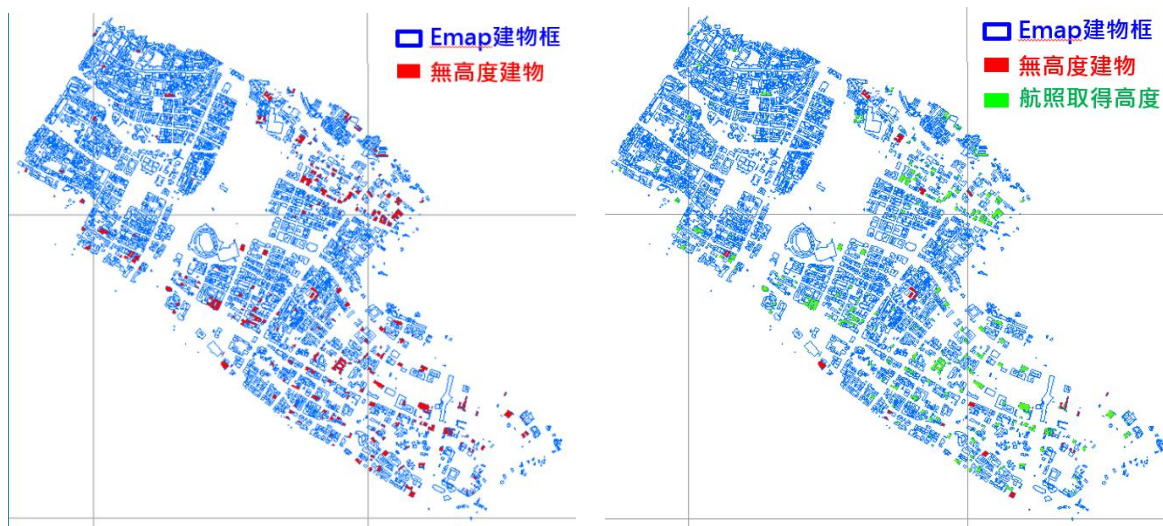


圖 4-4-1、原始樓高萃取結果

圖 4-4-2、新增樓高萃取結果

利用航照影像產製 DSM 資料，仍有部分建物未能透過自動化程序成功萃取樓高，共計有 55 個建物區塊，占整個試辦區建物區塊比例約 1.3%。針對這些建物區塊進行案例探討與分類，藉以提出因應措施。大致歸納出幾種態樣，如表 4-4-7。

表 4-4-7、航照影像 DSM 樓高萃取未成功類別

案例類型	統計數量(棟)	比例(%)	因應措施
建築中基地	14	25	待建築體施工完成後 以新資料來源取得
建物面積狹小	21	38	立體測製人工取得高程 或考量成本效益予以過濾
影像匹配不佳	13	24	立體測製人工取得高程
圖資與影像不符	7	13	標記回饋圖資更新
總計	55	100	

第一類別為「建築中基地」類型，於臺灣通用電子地圖或一千分之一地形圖中，會以能夠辨識的範圍界進行數化，然而施工現地尚未完成建築體，甚至仍處於地底基礎工程階段，利用航照 DSM 萃取建物高程，僅能得到錯誤高程資訊；由於本試辦區位於竹北重劃區，建築中基地多半區塊完整且面積較大(如圖 4-4-3)。此類別之建物，建議於建築體施工完成後，再以更新之航照影像或光達資料取得建物高度。



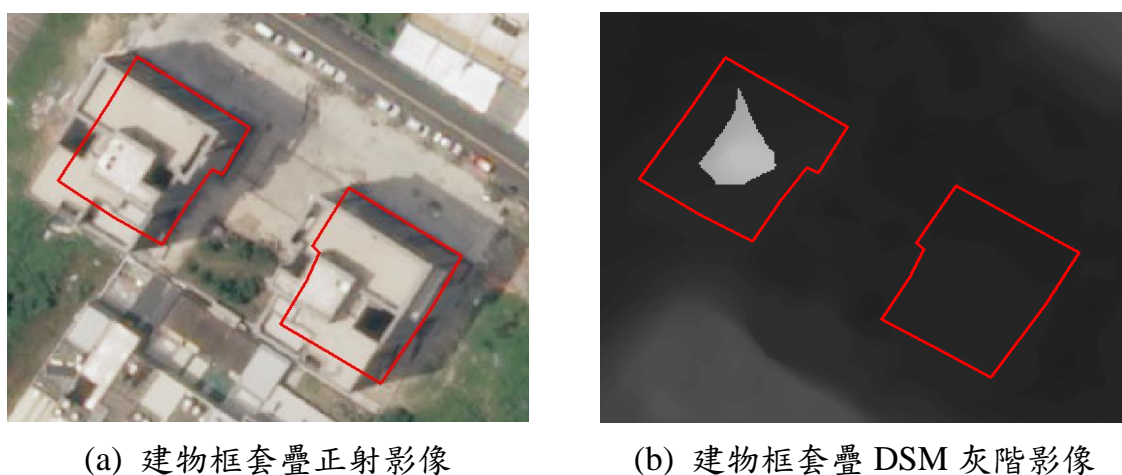
圖 4-4-3、建築中基地

第二類別為「建物面積狹小」，主要因為建物本身面積過小，光達或航照產製的 DSM，都可能因網格點數不足或樓高計算模式導致無法取得正確高度(如圖 4-4-4)。然而，部分建物面積已小於臺灣通用電子地圖測製要求，是否進一步取得高程資訊，應從成本及效益兩方面考量。



圖 4-4-4、建物面積狹小

第三類別為「影像匹配不佳」，航照影像上已有該建物的存在，也能夠以人工判別，然而，依五千分之一製圖比例尺規劃的航照影像，其重疊率並非為密匹配而設計，導致部分建物區塊無法以自動化模式取得正確高度(如圖 4-4-5)。此類別之建物高程，可以航測立體製圖的方式，由人工取得建物高程，但因建物占比不高，且分散於不同航照立體模型，單一建置成本待評估。



(a) 建物框套疊正射影像

(b) 建物框套疊 DSM 灰階影像

圖 4-4-5、影像匹配不佳

第四類別為「圖資與影像不符」，此類建物由航照影像判斷，建物尚不存在於現地(如圖 4-4-6)，由於電子地圖建物區塊的來源不完全都是航照影像，所以此案例為航照影像中無房屋區塊(左圖)，但是新的衛照影像中(108 年)即可看到新的房屋區塊(右圖)，此部分可標記並回饋二維圖資維護單位，做為後續更新之依據。



圖 4-4-6、圖資與影像不符

可能解決方案:

- (1) 針對前述可以人工取得建物樓高的部分，以立體量測方式取得樓高，並評估所需建置成本。
- (2) 以航照密匹配產製 DSM 之自動化作業流程，估算建置成本，並分析兩套高程來源之間的差異。
- (3) 以新拍高解析度衛星影像，找出可能新增建物區塊位置，並建立回

饋圖資更新機制。

第二項為臺灣通用電子地圖建物圖層繪製時，相鄰建物係以建物區塊方式建置，區塊內建物高度為單一固定值，區塊內無高度差異。但在樓高萃取計算時，建物區塊內較大的高度差異仍有機會透過計算過程粹取特徵，提升模型細緻度。因此利用 1m 解析度的光達 DEM/DSM 資料，透過自動化程序，提升建物細緻化程度。

(1) 平頂房屋類型

從圖 4-4-7 中，大致可從假色影像與正射影像比對出幾個較大面積的屋頂突出物，中間最大處為藍綠色透明雨遮、一處樓梯間、一處約兩層樓高的水塔間以及一處沒有圍牆之水泥結構物。針對這些具有高度差異的區塊，利用多重解析度影像分割技術(MRS)進行細緻化分析。



(a) OHM 假色影像



(b) 正射影像

圖 4-4-7、平頂房屋案例-成大化工館

多重解析度影像分割(MRS)時需設定一個尺度參數，此參數對萃取的物件大小與細緻程度有絕對關係。圖 4-4-8 中，分別展示以 Scale = 10, 25, 37.5, 50, 75, 100 進行影像分割的結果，圖中數字為多邊形內建物模型計算之平均高度。由此比較分析可以得知，大的 Scale 參數萃取出之多邊形面積會比較大，地物細節較少，反之則可獲取較細小的地物細節。依此案例測試結果與正射影像進行比較，尺度參數介於 25~37.5 之間比較符合該建物屋頂細節實際狀況。

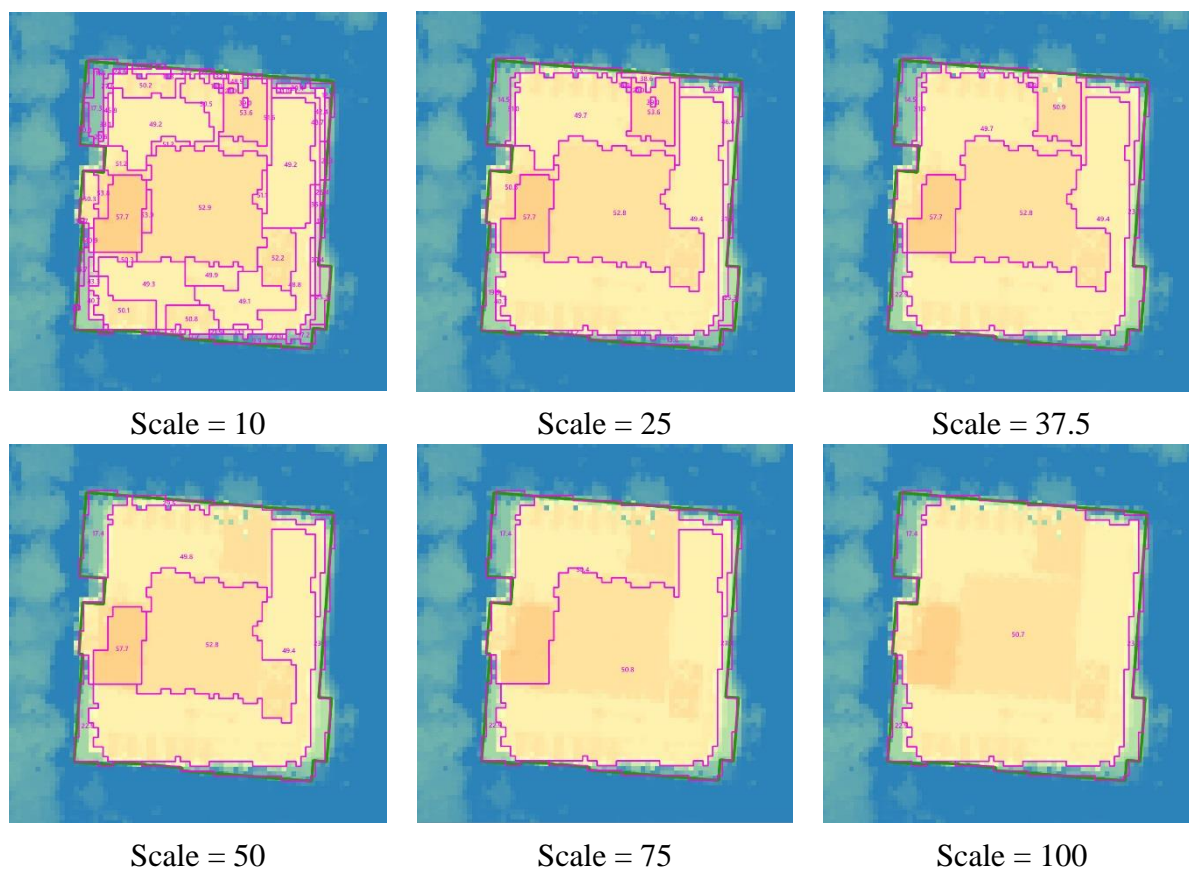
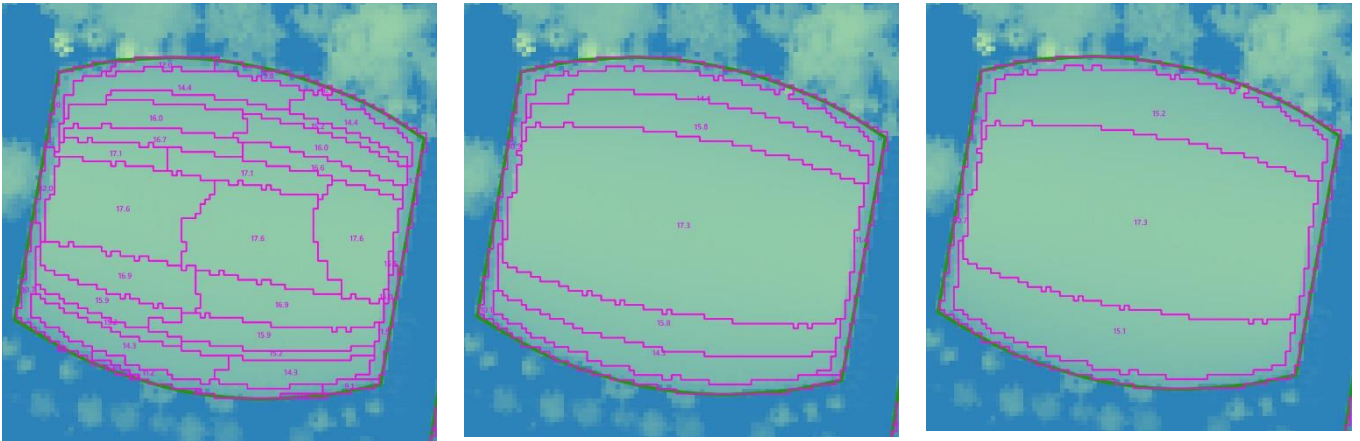


圖 4-4-8、多重解析度影像分割結果-成大化工館

(2) 圓弧形屋頂類型

針對大面積的圓弧形屋頂，於試辦區中選擇成大中正堂做為案例說明；
圖 4-4-9 為成大中正堂進行多重解析度影像分割(MRS)之參數測試結果，與
圖 4-4-10 的正射影像比對，尺度參數約在 30~35 為較佳的成果，與前述平
頂屋案例的測試結果大致相同。



Scale = 10

Scale = 25

Scale =35

圖 4-4-9、多重解析度影像分割結果-成大中正堂

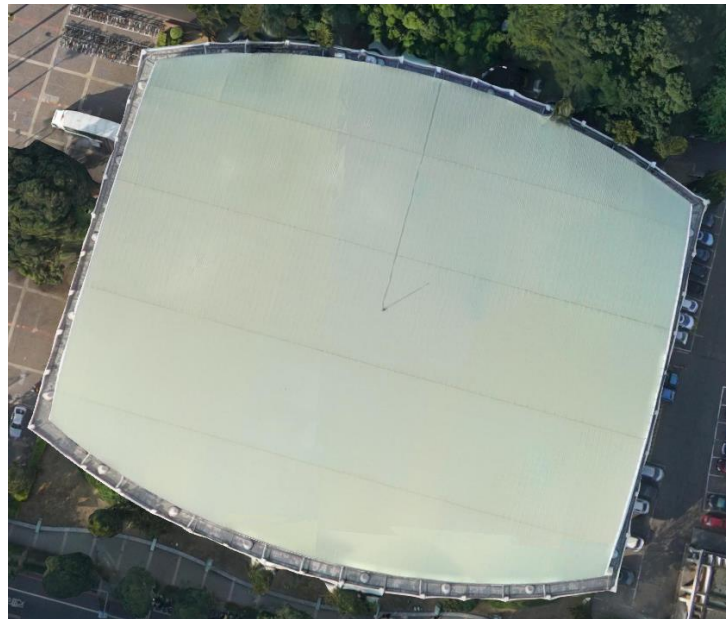


圖 4-4-10、正射影像-成大中正堂

(3) 複雜屋頂結構建築群

以我國的建築形式而言，複雜屋頂結構的案例應占相當高的比例，也為本試辦作業能否實際應用的關鍵測試重點，於本試辦區中選擇大學路麥當勞週邊街區進行案例說明。

如圖 4-4-11，此街區屋頂結構相當複雜，有小型尖塔，也有屋頂上種植樹木，透過不同尺度參數測試後，Scale 等於 10 最能完整描述各建物細部結構，與前述兩案例差異甚鉅；此外，Scale 等於 10 將產生過多細小狹長的多邊形，不利於高度萃取及整體模型資料量，經整體考量，仍建議採用 30 做為適度的尺度參數，如圖 4-4-12。

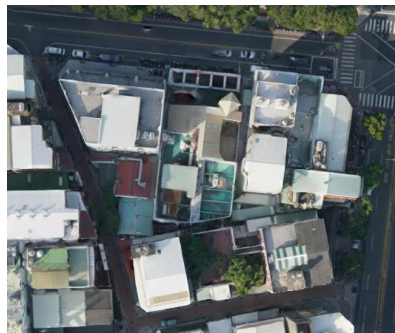


圖 4-4-11、正射影像-大學路麥當勞週邊

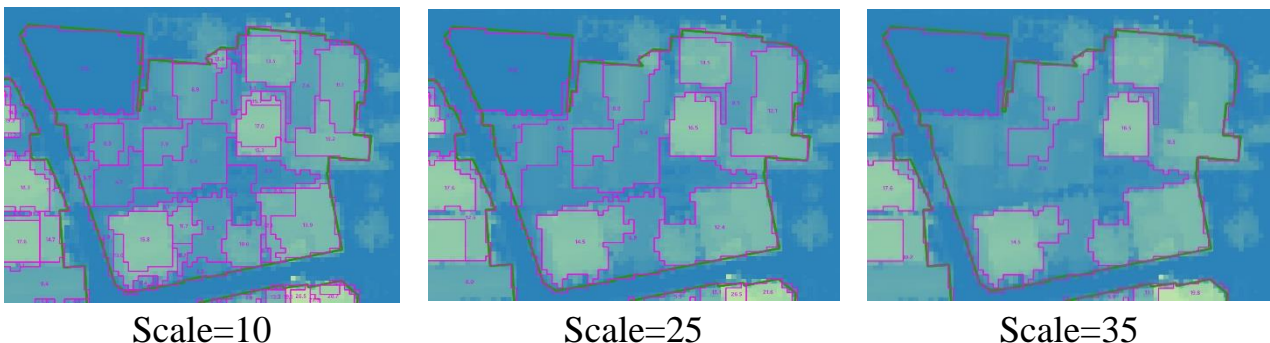


圖 4-4-12、多重解析度影像分割結果-大學路麥當勞週邊

(4) 建物缺漏與資料來源探討

本試辦過程中也觀察到部分建物圖層不足的案例，如圖 4-4-13，於成大會館與太子學舍之間的聯接空橋，並未於臺灣通用電子地圖中繪製，由於本試辦方法是基於臺灣通用電子地圖加值進一步細緻化，此類案例則無法成功分割。

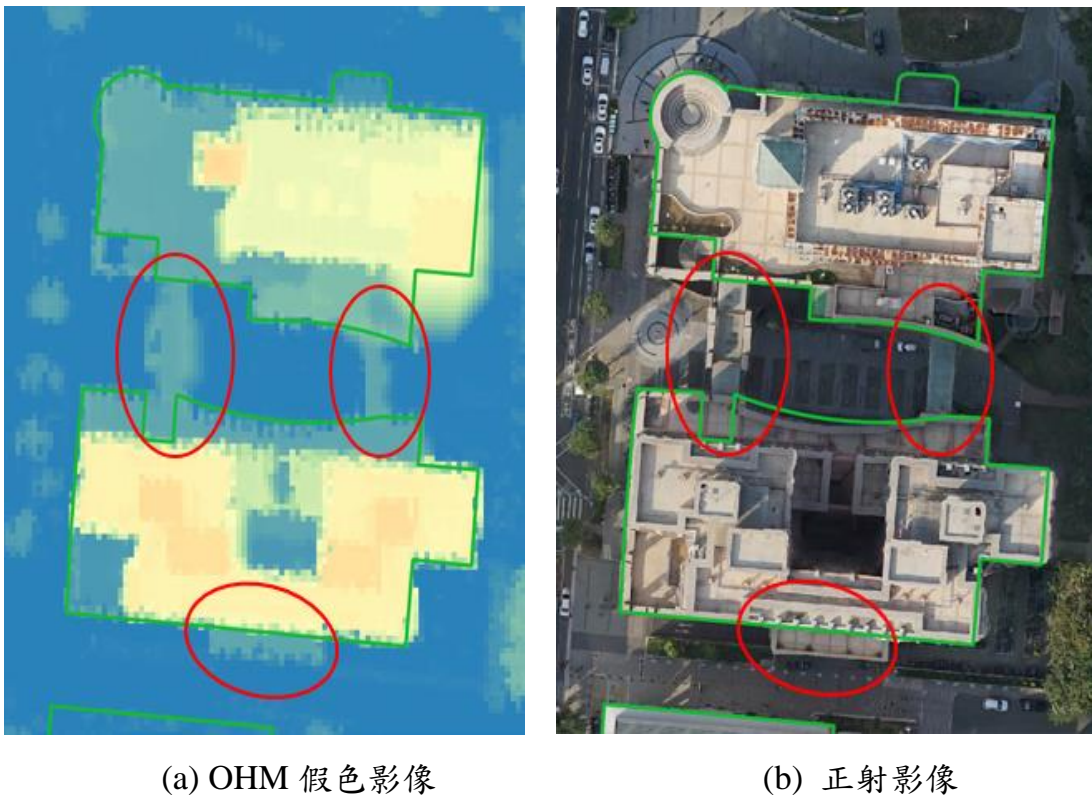


圖 4-4-13、建物缺漏-成大會館及太子學舍

此外，圖 4-4-13 的左上角，其建物高度計算結果為零，是因為本試辦區所採用之光達 DSM 資料較舊，針對新增建物無法正確取得高度，未來此類問題可結合本研究第一項試辦作業所談的技術，提出整合性的解決方案。

可能解決方案：

目前建物屋頂結構萃取是採用物件導向影像分析技術，採用的影像分割技術會造成建物邊界仍有鋸齒狀，後續將持續辦理簡單化與規則化作業，以便後續產製之 LOD1 房屋模型較符合實際的建物外型，並進行整體作業方法之成本評估。

4.4.4 提出三維地形圖資測製成果物件化、三維空間資料結構與編碼之策略 與建議

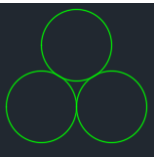



本項工作依循 105 年度所定義的三維地形圖資架構，針對三維地形圖資測製成果物件化、三維空間資料結構與編碼提出相關策略與建議。三維地形圖以包含幾何及屬性資料之物件為單元構成三維地形圖。

三維地形圖為二維地形圖的延伸，由現行二維地形圖基礎編碼進行延伸，定義哪一些地物為必須測繪的目標，以圖徵的方式建立物件，以此建立三維地形圖基礎編碼。三維地形圖資有別於傳統二維地形圖，各類物件的儲存方式多以模型方式存在、儲存，屬性資料之結構也需搭配。於三維地形圖中，每個模型皆為獨立的物件，應依照各物件之特性建構其屬性資料。綜合考量國際發展目前使用 OGC CityGML 以及目前臺灣既有的二維地形圖資料編碼和地形圖產生的 GIS 轉置成果，本項工作將針對三維地形圖編碼提出策略與建議。考量到各平台對於三維建物格式之使用性以及格式

間之互通性，選擇以符合 CityGML 規範之 KML (KMZ) 為三維地形圖成果檔案輸出格式。

本項工作發展以二維數值地形圖建置三維數值地形圖之方法，建置過程中所需的輔助資料包含：數值地形模型(Digital Terrain Model, DTM)、數值地表模型(Digital Surface Model, DSM)、正射影像(orthoimage)及三維圖示模型庫。三維圖示是以物件導向的方式建立不同圖徵對應的地物，以路燈的三維圖示為例，圖徵記錄其平面坐標位置、基座高程、路燈高度、路燈方位角及類別，從三維圖示可在展示介面中繪製出三維路燈，如表 4-4-8 所示。採用此方式可以減少物件(圖示)的重複建置，提升建置效能。考量二維數值地形圖之細緻度，以重建 OGC CityGML LOD1 模型為標的。

表 4-4-8、三維圖示規格類別

類別	2D Symbol	3D Symbol
以影像為基礎 (以 9710101_獨立樹為例)		
以參數模型為基礎 (以 9690104_路燈為例)		

本項工作主要實施步驟(圖 4-4-14)包含：(1)定義三維地形圖應包含之地形、地表物及地上物，(2)建立三維圖示對應之三維模型庫，(3)從二維數值地形圖萃取必要圖層，(4)從二維圖層建置二維物件，(5)以 DTM 及正射影

像形塑三維地形，(6)以 DTM 形塑三維地表物區域，(7)以三維圖示模型庫形塑道路附屬物及植物，(8)以 DSM 形塑地上物建立三維模型。

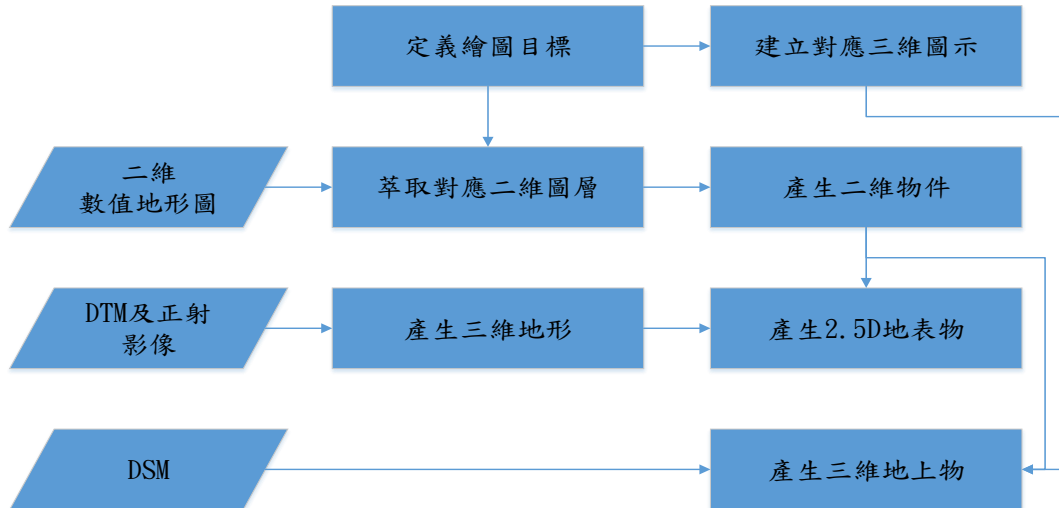


圖 4-4-14、資料加值策略流程圖

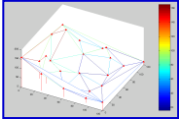
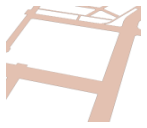

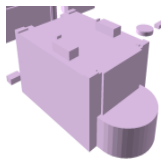

一、定義繪圖目標及建立對應三維圖示

三維地形圖主要包含地上物(3D object) (如人工建築物)、地表物(如敷貼在地面的道路或人孔蓋)、地形(如 2.5D 的 DTM)，本計畫個別針對這三項進行物件化、屬性化及三維化。

數值地形模型及正射影像為航測製圖衍生之產品，地形由這兩組資料組合而成。地表物主要包含為道路及水體等，可從數值地形圖的圖層中萃取這類地表物，以封閉多邊形物件化，並敷貼在 2.5 D 的地面上，例如平面道路的圖層編碼為 9420103，可萃取在此圖層的平面道路二維線段，對這些線段進行重組產生封閉多邊形，每一個多邊形單元為一個物件，再從數值地形圖內插高程，以產生 2.5 D 的道路多邊形物件。地上物主要包含建築物、

道路附屬物及植物。表 4-4-9 為定義繪圖目標之總表及圖示。

表 4-4-9、定義三維繪圖目標

類別	物件	編碼	CityGML 欄位	3D Model	3D Symbol	示意圖
地形	數值地形模型		Lod0:dem:tin	TIN		
地表	道路	9420103	Lod1:tran:Road	Polyhedral		
地表	水體	9520700	Lod0:wtr:WaterSurface	Polyhedral		
地上物	房屋	9310100	Lod1:bdg:GroundSurface Lod1:bdg:WallSurface Lod1:bdg:RoofSurface	Polyhedral		
地上物	獨立樹	9710101	Lod3:veg:SolitaryVegetationObject		Image-based	

二、萃取對應二維圖層及產生二維物件

數值地形圖中的不同地物分別記錄在不同圖層，地物以二維聚合線的方式儲存。為將數值地形圖之地物進行物件化，萃取圖層中的個別地物，形成點的物件(如樹)、或封閉多邊形的物件(如房屋)。形成二維物件的不同地物有不同的唯一碼(FID)，不同唯一碼可對應不同的屬性內容。圖 4-4-15 是從數值地形圖產生二維物件之示意圖，經物件化的二維物件為單一的單元，供後續三維化使用。

三、產生 2.5D 地表物

數值地形模型具有高程資訊，此步驟為使用 DTM 建立 2.5D 的地表模型，並從 DTM 萃取地表物對應的地面高程，產生敷貼在 DTM 的正射影像、道路及水體，以完成 2.5D 地表物模型的建立，圖 4-4-16 是從 DTM 產生地表物之示意圖。

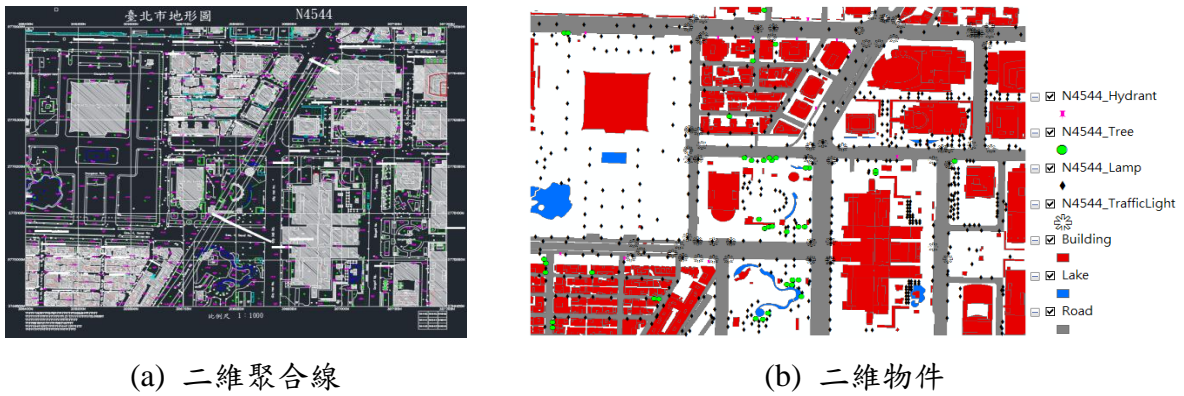


圖 4-4-15、以數值地形圖產生二維物件

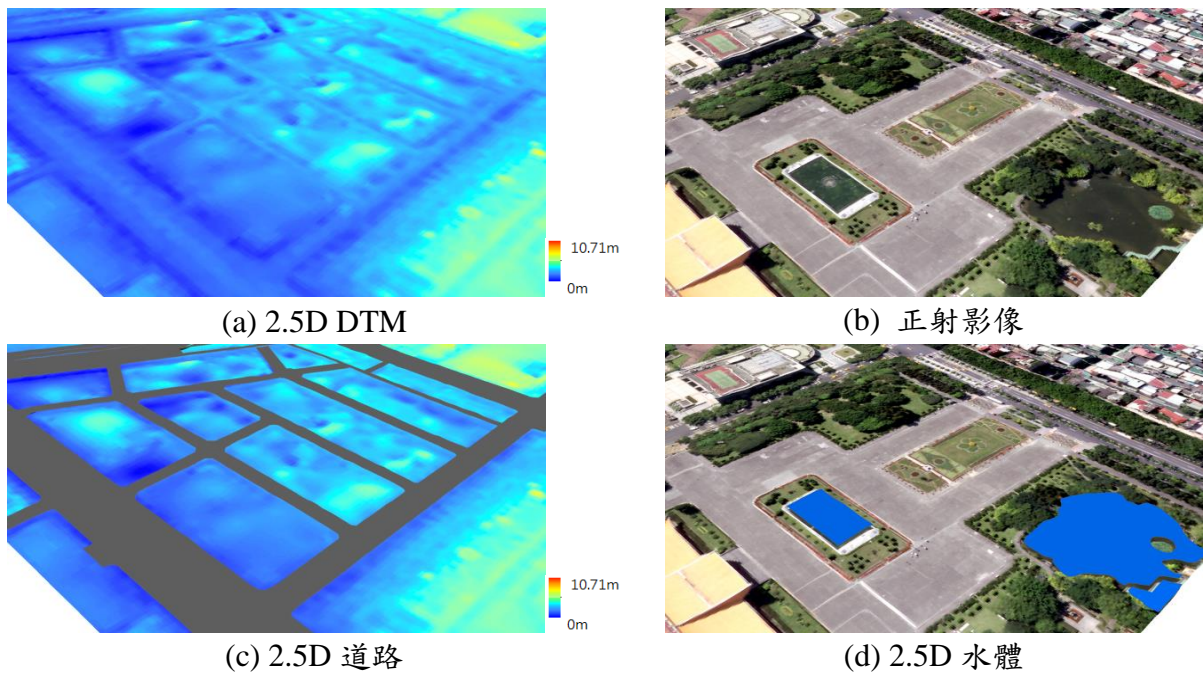


圖 4-4-16、以 DTM 及正射影像產生 2.5D 地表

四、產生三維地上物

建築物的三維化必須使用三維點雲自動化形塑 LOD1 之平頂房屋模型 (圖 4-4-17)，屋頂的形塑採用隨機抽樣一致演算法 (RANDOM SAMPLE Consensus, RANSAC)，從數值地表模型(DSM)的高程中求取屋頂面高程；植物的平面位置同樣來自數值地形圖，高程來自數值地表模型，但使用影像式模型描繪植物模型。圖 4-4-18 為產生三維地上物之示意圖。

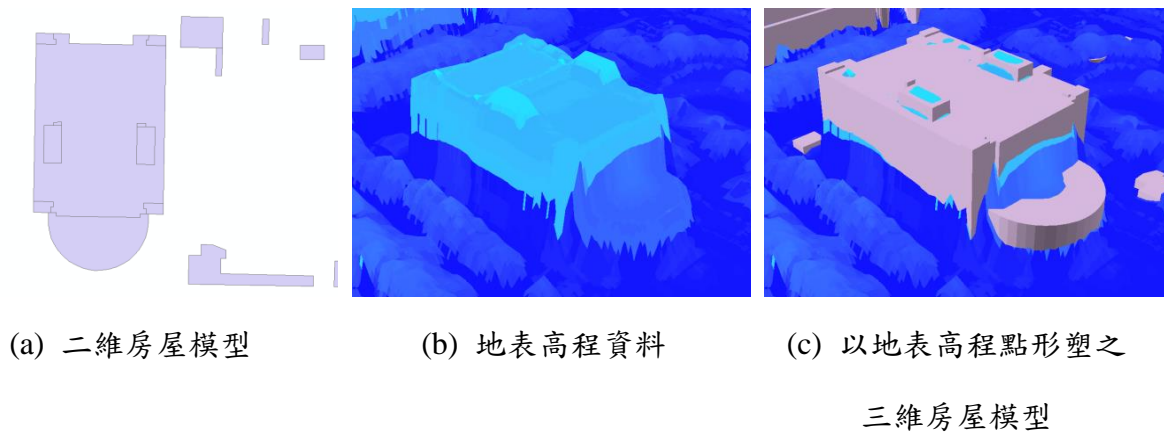
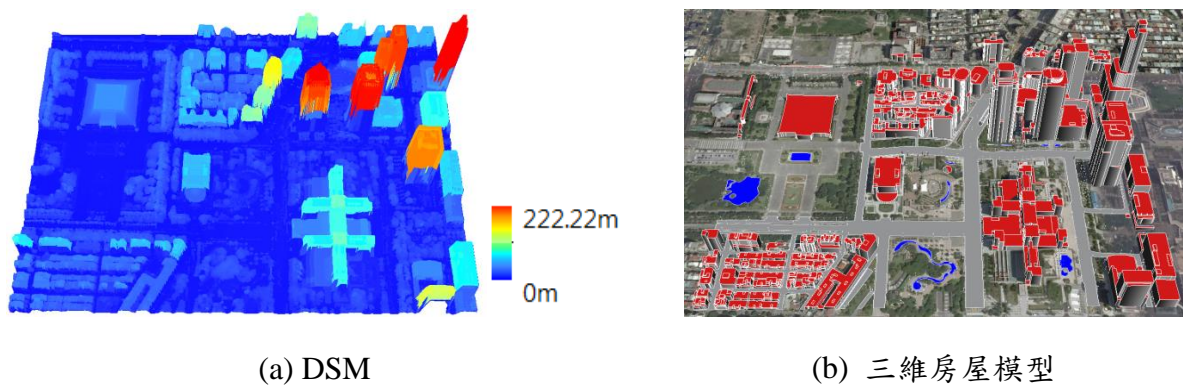
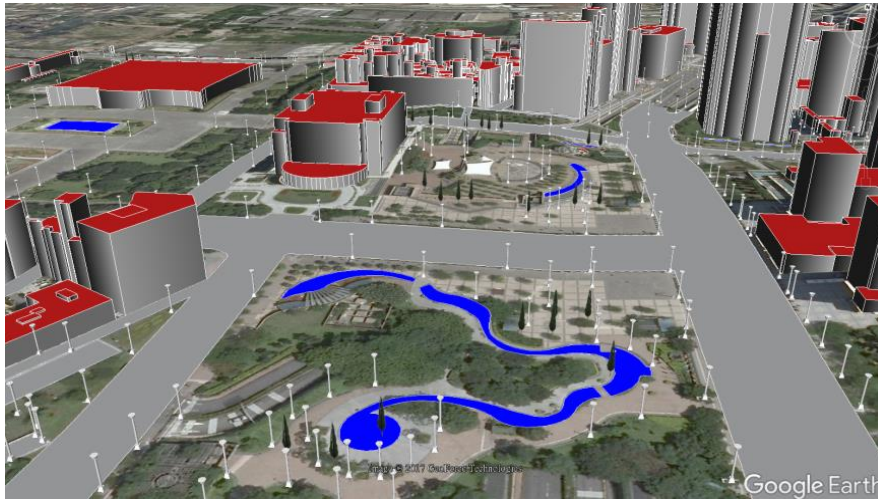


圖 4-4-17、以 DSM 形塑三維房屋模型示意圖





(c) 三維地上物

圖 4-4-18、以 DSM 形塑產生三維地上物

五、試辦 3D Mesh Model

本計畫採用 Bentley Context Capture 的自動化匹配功能產製 3D Mesh Model，使用的輸入影像是 36 張大相幅(14144 x 15552 pixel) DMC2 航空影像，影像方位使用空三平差之成果。經多視角影像密匹配，可建立 3D Mesh 或內插為規則式網格的 3D Grid，試辦成果如圖 4-4-19 所示，此模型使用 i3s 做為資料儲存的格式。利用自動化密匹配產製的 3D Mesh Model，其產自動化程度高且展示效能佳，視覺化有良好的表現，但缺乏不同地物的屬性資訊。

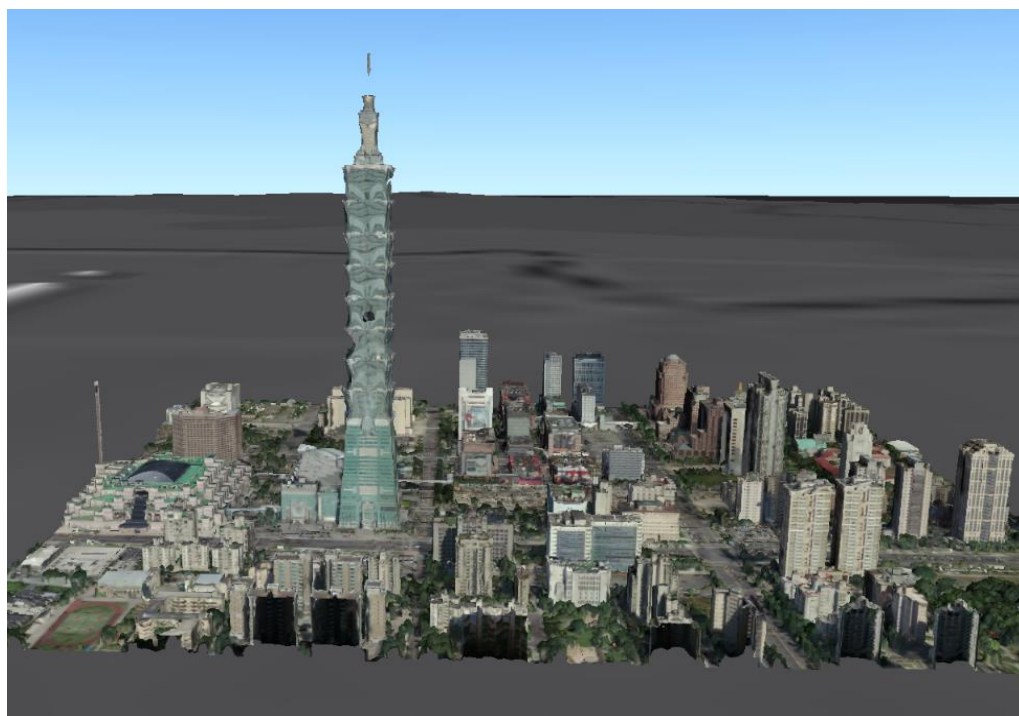
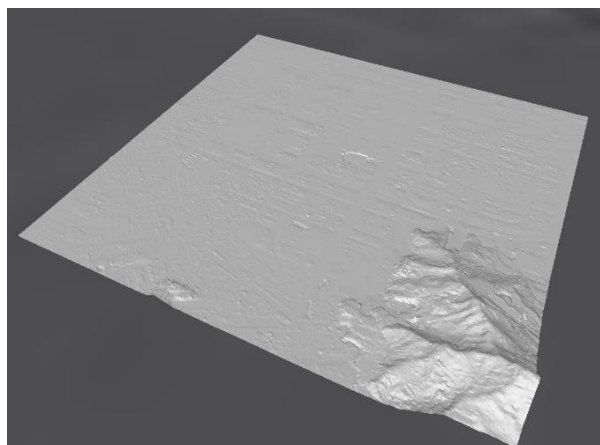


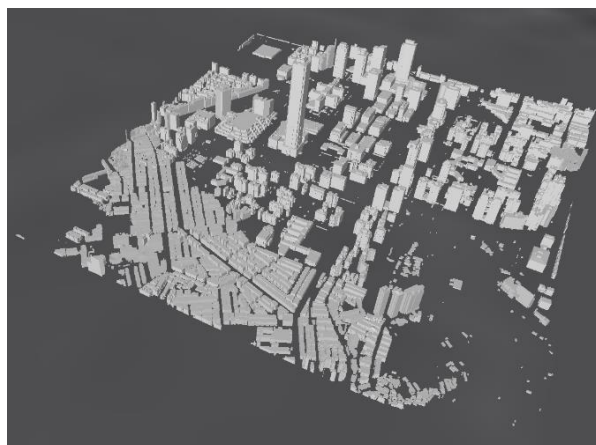
圖 4-4-19、3D Mesh model

六、3D Vector Model

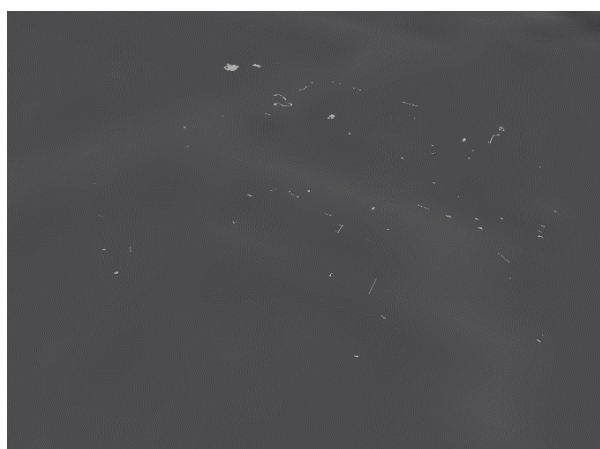
本計畫採用大比例尺地形圖及三維高程資訊，針對 LOD1 房屋等圖徵建立三維地形圖。試辦面積為 6 幅 1/1000 數值地形圖，總面積為 288 公頃。建模方法使用三維高程資訊自動化形塑向量圖，最終產生三維房屋、道路、水體、樹等，而地形的高低起伏則是直接使用數值地形模型，成果如圖 4-4-20 所示。所有成果均以 CityGML 2.0 標準格式儲存，有利資料交換。為了提升展示效能，將此三維向量模型轉換為 i3s，試辦成果展示可成功將 CityGML 轉換為 i3s。



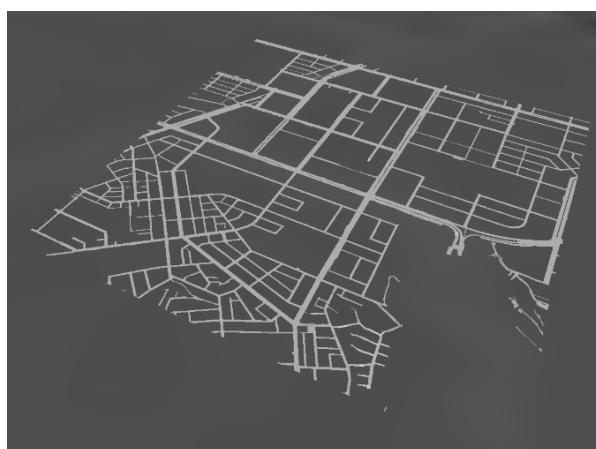
(a) 地形模型



(b) 房屋模型



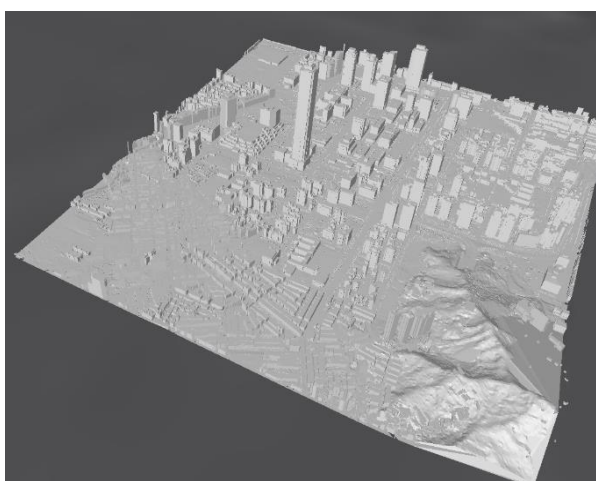
(c) 水體模型



(d) 道路模型



(e) 樹木模型



(f) 整合模型

圖 4-4-20、3D vector model

4.5 三維室內圖資與物聯網之整合方案及應用試辦

本年度三維圖資與物聯網之整合應用試辦為延續先前年度之技術發展成果，依據 OGC SensorThings API 物聯網網路服務標準及介接技術進行應用層與網路服務層之溝通，支援物聯網裝置提供之感測功能及致動功能。透過此國際開放式標準統一物聯網資源的通訊協定，避免異質性物聯網資源整合的客製化開發成本，並提升物聯網資源與三維地形圖的自動化整合程度。隨著近年國內感測網相關標準之推動，前瞻計畫數位建設之民生公共物聯網亦以 OGC SensorThings API 作為主要物聯網感測資料供應之標準介面，故基於此標準發展與三維圖資之整合為必要的探討方向。

本年度以實際場域進行物聯網整合方案應用試辦，並已於工作會議提出規劃與內政部討論定案，確認以國立中央大學研究中心大樓二期館作為試辦地點，如圖 4-5-1 所示。相較於先前年度之試辦地點(臺北市政府辦公室或東區地下街)能更有彈性地進行應用開發。考量試辦地點之可用資源，本年度以單棟建物之場域進行物聯網整合應用的雛形開發，應用主題為「室內即時火災逃生路徑規劃」。本工作項目所需之三維室內圖資資料將透過二維平面圖以人工數化產製。



圖 4-5-1、國立中央大學研究中心大樓二期(紅色區域)

根據內政部消防署統計全國火災事件¹，106 年及 107 年 1 月至 9 月建築物火災事件分別為 6935 件(占總數 29.8%)、6699 件(占總數 31.9%)，皆為火災事件發生次數第二名(第一名為森林田野火災，分別占 43.6%、34.7%)。由此可見，都市建築物是火災發生的熱點，由於人口集中於都市中，發生建築物火災造成的傷害猶勝森林田野火災。

此外，根據臺北市政府消防局的火災歷年統計，民眾因火災而死亡的原因統計，第一名為因逃生受阻而死亡，占 28.21%；第二名為避難延遲及吸入濃煙而逃生失敗，占 20.51%。逃生受阻的原因可能為逃生路線障礙物堆積、逃生路線指示不明、民眾錯誤逃生方向等；避難延遲的問題可能有太晚發現火災發生、火災偵測系統布設不夠完全。

¹ <https://www.nfa.gov.tw/cht/index.php?code=list&ids=958>

這些原因可以透過科技輔助來降低發生機率。透過物聯網，布設溫度、煙霧、火光等偵測器於建物各處，即時取得火災發生事件、火災起火點、火勢蔓延位置等資訊；結合三維建物模型及雲端運算，計算火場狀態預估，最佳逃生路徑等；最後透過通訊技術將火災逃生資訊推播到廣播系統、載具、穿戴裝置通知民眾執行正確的逃生行動。因此，此項應用針對都市建築物火災，思考如何整合三維室內圖資與物聯網，達到智慧城市減災、抗災的目的。

本年度所規劃此應用之系統架構如圖 4-5-2 所示，其中包含的系統組件包含硬體端感測及致動裝置、硬體端閘道器、火災監測資料庫、伺服器端火災危險節點計算模組及火災即時資訊整合模組、客戶端逃生路線規劃模組及展示介面。

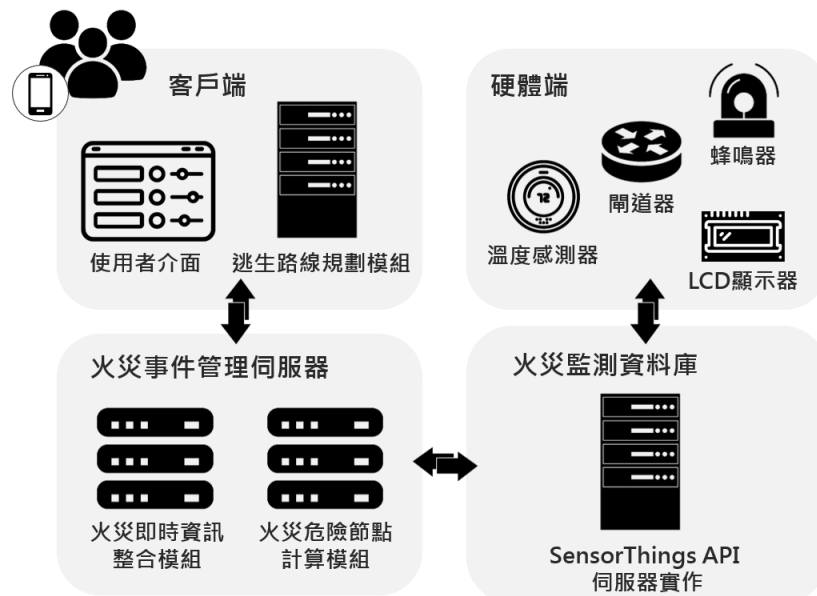


圖 4-5-2、室內即時火災逃生路徑規劃系統之架構

(1)硬體端感測裝置：布設在建物室內的感測裝置可以得到該空間的觀測數值，持續將所觀測到的資訊上傳至火災監測資料庫端的 OGC SensorThings API 服務中。本年度工作完成以開源微控制器 Arduino(圖 4-5-3)結合 DHT22 溫濕度感測器(圖 4-5-4)開發感測節點蒐集動態溫度、濕度等觀測資訊。感測裝置成品如圖 4-5-5 所示。



圖 4-5-3、Arduino

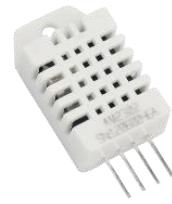


圖 4-5-4、DHT22

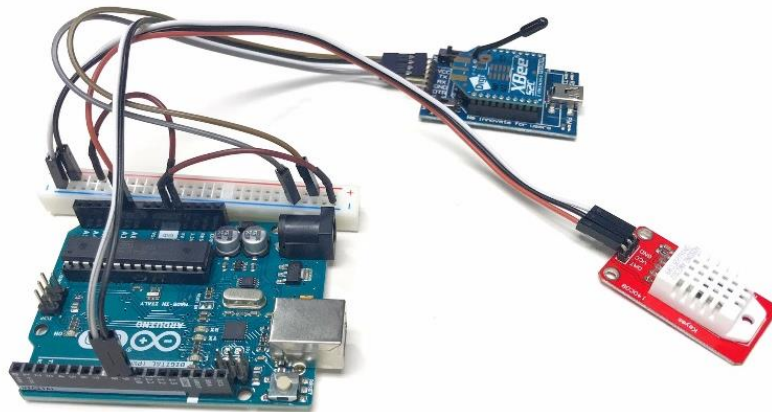


圖 4-5-5、感測裝置成品

(2)硬體端致動裝置：布設在建物室內的致動裝置，可以透過 OGC SensorThings API 服務遠端操控，發送任務命令。例如火災發生時，

遠端推播火災相關資訊以及逃生資訊至螢幕顯示器上，並啟動蜂鳴器示警。本年度工作完成以開源硬體 Raspberry Pi 微控制器結合螢幕顯示器(圖 4-5-6)、Arduino 結合蜂鳴器(圖 4-5-7)等裝置作為致動節點，結合 SensorThings API 服務設計致動能力的情境。蜂鳴器致動裝置成品如圖 4-5-8 所示。



圖 4-5-6、螢幕顯示器



圖 4-5-7、蜂鳴器

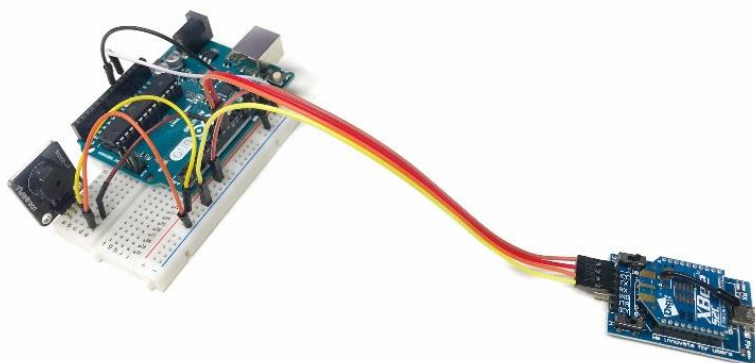


圖 4-5-8、蜂鳴器致動器成品

(3) 硬體端閘道器：作為硬體端及網路服務端資料橋接閘道器，以無線傳輸協議連接物聯網裝置，並以乙太網路將物聯網裝置上傳至網路服務儲存。本年度工作完成以開源硬體 Raspberry Pi 開發閘道器實

作，並基於先前年度所開發之 Huang and Chen (2019)方法，以 ZigBee 無線傳輸協議，建立物聯網裝置與閘道器的自動化註冊與資訊傳輸流程。

(4)火災監測資料庫：本年度以符合 SensorThings API part 1 及 part 2 標準之實作架設物聯網網路服務完成開發火災監測資料庫，將硬體端的感測器及致動器資料以標準的資料模型包裝，並提供客戶端標準的網路服務接口取得資料。其中，最新溫度觀測資料透過 MQTT 推播到伺服器端；致動能力則基於 Huang and Wu (2016)所提方法建立物聯網裝置致動能力的自動化轉換程序。

(5)火災危險節點計算模組：模組中以空間資料庫儲存物聯網裝置的位置。透過位於建物內部每個感測裝置收集的最新一筆溫度感測資訊，結合建物模型空間距離關係計算出路網中受高溫影響之危險節點，將計算結果提供給火災即時資訊整合模組進一步分析逃生路徑。本年度工作項目以 Node.js 完成開發火災危險節點計算模組，Node.js 為基於 Google Chrome V8 引擎開發，能在伺服器端運行且執行 JavaScript 之執行環境。

(6)火災即時資訊整合模組：火災即時資訊整合模組以 MQTT 訂閱火災監測資料庫最新溫度觀測資料，並整合所有火災相關資訊展示於客戶端。本年度工作項目以 Node.js 完成開發火災即時資訊整合模組。

- (7) 路徑規劃模組：路徑規劃模組布署於客戶端，透過伺服器端火災即時資訊整合模組，得到室內的路網危險節點計算結果資訊，以及位於房屋內部每個感測裝置最新一筆溫度感測數值進行路徑分析。模組將路網危險節點設置為不可通行之障礙點，認定無法通行之危險區域，以 Dijkstra 最短路徑演算法路徑規劃分析，計算得出最佳的逃生路線，Dijkstra 為荷蘭電腦科學家 Edsger W. Dijkstra 於 1956 年提出的一種最短路徑演算法。
- (8) 客戶端視覺化展示介面：本年度工作項目以 D3.js 函式庫完成開發客戶端視覺化展示介面，D3.js 是以 Data-Driven 的方式，動態操作 DOM(Document Object Model)進行資料視覺化的 JavaScript 函式庫。透過網頁瀏覽器或行動裝置瀏覽器，以視覺化的方式展示，展示介面及圖例如圖 4-5-9 所示。感測器位置以綠點標記，展示最新感測溫度觀測資料。火災發生時，伺服器端以 Web Socket 方式自動推播火災危險區域至客戶端展示，使用者能選擇目前所在位置，如圖 4-5-10、4-5-11 白點標記處，客戶端路徑規劃模組計算出最佳逃生路線展示於地圖上。如圖 4-5-10 黑色線條區域為火災未發生時之建議逃生路徑，由二樓左下方房間經左方樓梯下樓離開建物；同時，伺服器端也會根據感測資訊自動推播更新的建議逃生路徑至客戶端，如圖 4-5-11 黑色線條區域為火災發生時之建議逃生路徑，當一樓左

側發生火災(黃點)時,由二樓左下方房間經右方樓梯下樓離開建物。

另外,展示介面也能透過瀏覽器遠端控制致動器,如圖 4-5-9,紅點標記為顯示器位置,粉紅點位置為蜂鳴器位置。圖 4-5-11、4-5-12,分別為控制蜂鳴器響鳴及控制顯示器顯示逃生指示。除了手動發送控制命令,伺服器端也能根據最新感測資訊自動發送致動器控制命令遠端控制裝置,例如自動啟動蜂鳴器示警,並自動傳送逃生警示至顯示器顯示,如圖 4-5-14 為顯示器現場擺放位置,圖 4-5-15 顯示器顯示伺服器端遠端發送之逃生指引訊息。

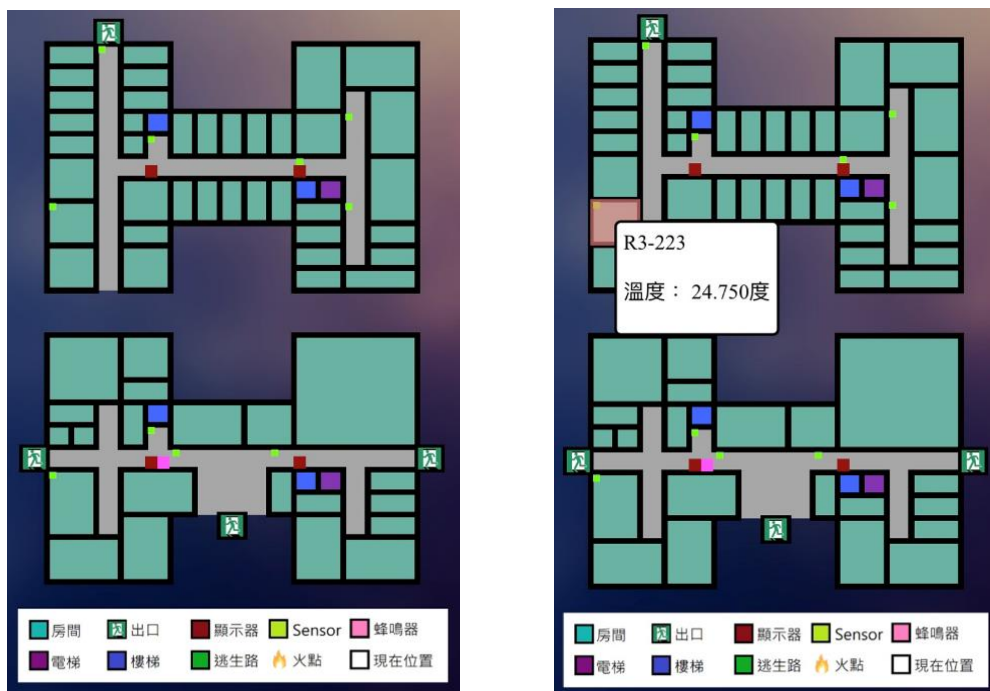


圖 4-5-9、客戶端視覺化展示介面

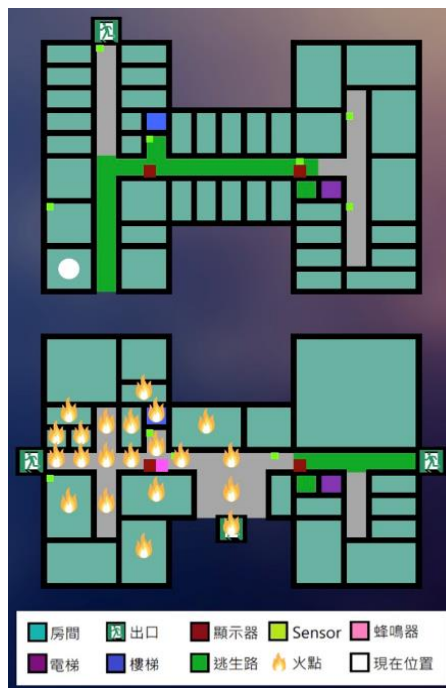
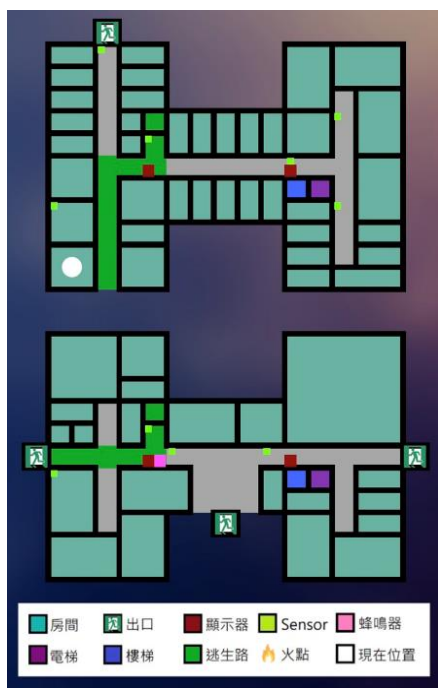


圖 4-5-10、建議逃生路徑(火災發生前) 圖 4-5-11、建議逃生路徑(火災發生時)



圖 4-5-12、控制蜂鳴器

圖 4-5-13、控制顯示器

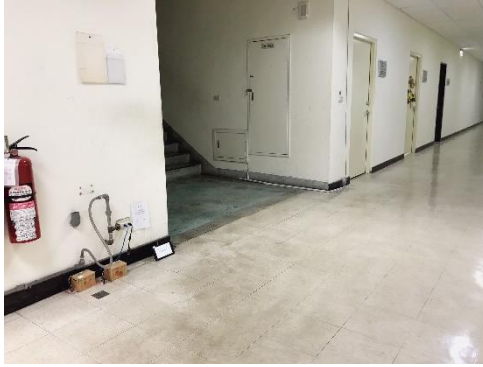


圖 4-5-14、顯示器現場位置



圖 4-5-15、顯示器顯示逃生指示

總結本年度本項工作項目完成內容，為驗證三維地形圖與物聯網整合之可行性及應用性，本年度結合三維室內圖資資訊、物聯網感測器即時觀測資訊、致動器遠端控制，完成「室內即時火災逃生路徑規劃」試做應用。試做架構包括：硬體端感測器及致動器，提供最新溫度觀測資料及遠端控制功能；資料庫採用符合國際開放標準 OGC SensorThings API 之網路服務實作，存取感測器及致動器資料；伺服器端實作火災資訊模組及危險節點計算模組，整合火災相關資訊；客戶端實作路徑規劃模組及視覺化展示介面，計算最佳逃生路徑並將路徑及火災資訊視覺化展示於介面上。試作成果成功驗證整合三維室內圖資提供之空間資訊，以及物聯網提供之感測能力與致動能力之可行性及應用性。

關於未來發展方向，三維室內外圖資與物聯網的整合可進一步透過語意網技術基於標準資料模型之定義發展整合技術及應用。透過語意網能彈性描述及擴充資料間之關係，建立三維室內圖資及物聯網資源間的對應連

結。預期語意網能有效提升三維室內圖資與物聯網整合之完整度，提升跨領域資料查詢之彈性。此外，建議利用電腦模擬方式進行整合應用探討，可避免硬體裝置開發及佈設之成本，進而發掘更多潛在應用。

4.6 研究成果發表、協助國際事務推動及技術交流

一、 已投稿 1 篇國際研討會與 2 篇國際期刊論文，共 3 篇論文文稿，分別為：

(1) 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)，題目為 Deep-Learning for LOD1 Building Reconstruction From Airborne Lidar Data。

(2) Sensors，題目為 An Open Internet of Thing Architecture Integrating oneM2M and OGC SensorThings API Standards。

(3) ISPRS International Journal of Geo-Information，題目為 Spatial Analysis with Detailed Indoor Building Models for Emergency Services。

二、 協助國際事務推動及技術交流:配合內政部其他專案共同在臺辦理臺印尼年度測繪技術交流會議活動，並依本研究主題場次邀請印尼方產官學研人士(合計至少 2 位)。爰此，本計畫邀請印尼日惹大學(Gajah Mada University, UGM)地理系(Faculty of Geography) Dr. Muh Aris Mafari 教授以及泗水理工學院(Institut Teknologi Sepuluh Nopember

(ITS)空間資訊學系的 Dr. Hepi Hapsari Handayani 教授來臺參加第一屆臺灣印尼測繪高峰論壇，有關辦理會議所需相關費用及印尼方人士來臺參與所需相關費用(機票費、在臺交通費、餐費、住宿費等)由本團隊負擔；另配合內政部需求，參與測繪技術服務團(GEM)執行技術交流。

4.7 工作會議

本團隊每月召開工作會議檢，並適時接受諮詢。其中於第 2 次與第 6 次工作會議中邀請有三維地形圖資應用需求之產或官或學界之使用者參與交換意見，並作為後續應用方向或執行參考，所需費用由本團隊負擔，工作會議紀錄請參考附件 C。

第五章 結論與建議

5.1 結論

本計畫成果依照原規劃，執行 3.1 節詳列之各工作項目，且持續執行後續工作，確保計畫執行符合進度，並有良好成效。執行成果總結如下：

一、 試辦區資訊

經內政部同意，「研發三維數值基本地形圖房屋模型及道路標線自動化產製技術」與「提升三維數值基本地形圖紋理品質及建築尺度細緻度」試辦區選定國父紀念館周邊區域為試辦區域，總面積約為 120 公頃，並透過地形圖資建置試辦區 LOD1 房屋模型；「三維室內圖資與物聯網之整合方案及應用試辦」選定國立中央大學研究中心大樓二期館作為試辦地點。

二、 研發三維數值基本地形圖房屋模型及道路標線自動化產製技術

本項工作完成：(1)建立三維房屋模型自動化辨識及重建流程，以深度學習偵測房屋區域，再經由數值高程模型形塑屋頂面，完成 LOD1 房屋模型的自動化形塑；(2)建立道路標線自動化辨識及重建流程，以深度學習偵測道路標線區域，再經由正射影像的光譜值精化標線之位置，經由向量化及三維化，以道路標線豐富道路模型的屬性資訊；(3)試辦三維數值基本地形圖之房屋模型及道路標線自動化測製，偵測房屋區

域精度達 83%，而道路標線偵測能力達 88%；(4)提出 5 項精進圖資測製技術自動化程度及品質之建議，藉此提升三維地形圖資測製效率或品質。

三、提升三維數值基本地形圖紋理品質及建築尺度細緻度

本項工作完成：(1)以測繪車測製影像作為基礎，偵測三維數值地形圖模型牆面，並進行紋理判別與 HSI 分析，匹配出與真實影像最相近之通用紋理影像；(2)分析光達點雲、航照產製之點雲資料與房屋、道路模型，匹配模型對應之點雲資料，進行高程分析，產製 KML 模型成果；(3)藉由影像或點雲資訊搭配既有資料發展重建三維室內模型技術，並探討室內空間的建模技術。

四、精進三維地形圖資測製技術文件

本項工作完成：(1)精進三維地形圖測製及檢核作業技術文件指引：延續 107 年度指引成果，依據內政部國土測繪中心專案執行狀況精進技術文件指引(附件 E)。精進重點項目為參考實際作業狀況，調整測製方式以及檢核方式指引，以符合實務作業經驗。文件內容包括：目的、適用範圍、名詞定義、參考文獻、資料格式、三維地形圖資核心類別及其測製要求、資料品質等級、檢核內容與方式及檢核標準等項目。(2)提出三維地形圖資測製技術之成本分析、應用領域及成果效益：完成三維建物模型建置成本分析比較表、三維道路模型建置成本比較表，

三維地形圖應用領域以及成果效益說明。(3)探討三維地形圖資測製中遭遇之困難或三維地形圖資技術發展需克服之問題並提出可能之解決方案，包含：高程資料與平面向量資料因為更新頻率不同而產生兩種資料不一致的變遷差異問題、平面向量資料以建物區塊繪製，以高程資料提升建物模型細緻度問題、三維地形圖與二維圖資對應圖層問題等。(4)提出三維地形圖資測製成果物件化、三維空間資料結構與編碼之策略與建議：依據國際發展目前使用 OGC CityGML 為主以及目前臺灣既有的二維地形圖資料編碼和臺灣既有地形圖產生的 GIS 轉置成果，針對三維空間資料結構與編碼提出策略與建議。

五、三維室內圖資與物聯網之整合方案及應用試辦

本項工作以室內即時火災逃生路徑規劃作為試辦應用。除了基於先前年度所研發之方法，本年度以實際應用的開發為主。本項工作完成：(1)提出應用之系統架構及各組件，包含物聯網裝置、閘道器、標準化物聯網資料庫、資料整合模組、路徑規劃模組以及客戶端展示；(2)完成各項組件，並整合測試完整系統達到期初規劃功能，驗證三維室內圖資與物聯網結合之可行性及應用性。

六、研究成果發表

本團隊已投稿 1 篇國際研討會與 2 篇國際期刊論文，共 3 篇論文文稿，投稿證明請見附件 B。投稿論文為：(1) 2019 IEEE International

Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)，題目為 Deep-Learning for LOD1 Building Reconstruction From Airborne Lidar Data；(2) Sensors，題目為 An Open Internet of Thing Architecture Integrating oneM2M and OGC SensorThings API Standards；(3) ISPRS International Journal of Geo-Information，題目為 Spatial Analysis with Detailed Indoor Building Models for Emergency Services。

七、協助國際事務推動及技術交流

協助國際事務推動及技術交流:配合內政部其他專案共同在臺辦理臺灣印尼測繪技術交流會議活動，邀請兩位印尼大學教授來臺參與臺灣印尼測繪高峰論壇。有關辦理會議所需相關費用及印尼方人士來臺參與所需相關費用(機票費、在臺交通費、餐費、住宿費等)由本團隊負擔；另配合內政部需求，參與測繪技術服務團(GEM)執行技術交流。

5.2 執行成果建議

(1) 研發三維數值基本地形圖房屋模型及道路標線自動化產製技術

本研究試辦成果顯示，深度學習技術可達成初始自動化偵測，但偵測區域需要精化，故建議經由形態學提升偵測成果之品質。為克服影像中房屋高差移位之問題，三維房屋模型建議可使用高程資料配合深度學習技術自動化產製；在道路標線偵測，細分道路類別可能造成過度分割，故

建議道路標線偵測建議同時建立 3 種類別及 14 種類別的偵測模型。

(2) 提升三維數值基本地形圖紋理品質及建築尺度細緻度

1. 紋理資料庫之影像，若持續使用 HSI 數值分析，因 S(飽和度)數值對於影像呈現上有所影響，建議將紋理資料庫之影像透過影像編輯軟體進行飽和度的調整(調高或降低飽和度)，後續的影像匹配與模型成果會更完善，且更貼近現實場景。
2. 點雲資料前處理時，可以針對點雲做更完善的資料劃分，將圖幅內的點雲依坐標細分成更多檔案，之後 polygon 即能更有效率、快速的找到點雲資料，而不用將圖幅內的所有點雲資料都一一進行判斷與分析。
3. 透過函式庫(如 PCL)或點雲處理軟體，將一定區域內的點雲進行集合，可大量減少點雲資料量，加速程式的運算處理。
4. 道路高程處理時，為使道路兩側高度看起來一致，可以加入道路中心線資料進行輔助判斷。首先以道路中心線進行點雲資料的高度分析，為了視覺上的美觀，亦可在此進行中心線高程的平滑處理。最後，分析道路 polygon 與鄰近的道路中心線高程資料，產製更合理的道路高程模型。

(3) 精進三維地形圖資測製技術文件

1. 精進三維地形圖測製及檢核作業技術文件指引：內政部國土測繪中心未來也將持續執行三維建物模型更新以及三維道路模型建置等專案，建議持續依據執行狀況精進技術文件指引，並且持續關注三維地形圖資測製

技術，納入技術文件指引中。

2. 提出三維地形圖資測製技術之成本分析、應用領域及成果效益：三維地形圖資已開始有全台範圍的項目進行建置，未來可以依據實際執行狀況評估建置成本。另外更重要的是三維地形圖資之應用以及成果效益，三維地形圖資仍處於起步發展階段，建議需多加推廣找出實際應用方向。
3. 探討三維地形圖資測製中遭遇之困難或三維地形圖資技術發展需克服之問題並提出可能之解決方案：建議未來可以針對解決方案進行實際測試，以評估三維地形圖資建置中之限制以及對應做法。
4. 提出三維地形圖資測製成果物件化、三維空間資料結構與編碼之策略與建議：建議持續關注 OGC CityGML 發展，並依據三維地形圖實際應用需求與既有二維地形圖資料編碼建立資料編碼方式。

(4) 三維室內圖資與物聯網之整合方案及應用試辦

1. 由於本年度工作項目僅作為驗證三維室內圖資與物聯網整合情境模擬，在實際應用時須配合火場實際狀況。例如備用電源、感測器最高承受溫度等。
2. 由於本年度工作項目重點在於三維室內圖資與物聯網整合，室內定位不在本工作項目研究範圍。但室內定位對於「室內即時火災逃生路徑規劃」應用有極大的幫助，使用者自動取得自身所在位置能為使用者爭取逃生時間。建議未來將室內定位技術，例如物聯網無線通訊協定定位、5G 室

內定位，加入「室內即時火災逃生路徑規劃」應用中。

5.3 未來執行方向建議

1. 內政部國土測繪中心已開始執行全國 LOD1 層級三維房屋模型之建置，未來可考慮針對都市區域建置更高精緻度層級之模型。現行 LOD1 層級房屋模型主要根據千分之一地形圖及臺灣通用電子地圖進行加值，日後當隨這類圖資之修（重）測一併更新。此外，隨著超高解析衛星影像的普及，以及人工智慧和機器學習等技術的發展，值得加以整合，發展衛載“智慧三維測繪”相關應用，以精進三維地形圖資及房屋模型等之建置與更新。
2. 隨著各領域人工智慧的發展，測量製圖領域應積極導入人工智慧相關技術，以精進及提升三維地形圖的製圖效能，建議從現有圖資建立訓練集，並建立更貼近測量製圖領域需求之初始網路模型。
3. 由於點雲資料在道路區域容易被道路上物件(樹木、分隔島等)干擾，造成高程判斷錯誤，因此不建議使用點雲資料進行道路高程分析與模型建置。建議未來可以根據道路類型進行分類，如平面道路、高架道路、橋梁、匝道等，配合對應的 DEM 或 DSM 資料，方能建置更正確的道路高程模型。
4. 三維地形圖資已經由規劃階段開始邁入執行階段，內政部與國家發展委

員會積極推動將現有 2D 國家底圖升級為 3D 國家底圖，因此相關技術文件指引，資料標準以及編碼方式等綱要文件也需持續發展以符合作業需求。此外，除了持續精進三維地形圖資產製方法之外，配合不同領域的實務作業，發展三維地形圖資適合的應用方向也將是未來的重點，因此建議除了持續精進相關的文件內容之外，可以多方試驗各種領域運用三維地形圖資的可能性，藉此發揮三維地形圖資的最大效益。

5. 未來三維室內外圖資與物聯網的整合可進一步透過語意網技術基於標準資料模型之定義發展整合技術及應用。透過語意網能彈性描述及擴充資料間之關係，建立三維室內圖資及物聯網資源間的對應連結。預期語意網能有效提升三維室內圖資與物聯網整合之完整度，提升跨領域資料查詢之彈性。此外，建議利用電腦模擬方式進行整合應用探討，可避免硬體裝置開發及佈設之成本，進而發掘更多潛在應用。

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 年度多尺度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案，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案，成果報告。
- 5、內政部，2014。103 年度三維城市模型與建築等級模型之整合機制工作案，成果報告。
- 6、內政部，2015。104 年度三維城市模型與建築等級模型之整合機制工作案，成果報告。
- 7、內政部，2016。105 年度三維地形圖資技術發展工作案，成果報告。
- 8、內政部，2017。106 年度三維地形圖資技術發展工作案，成果報告。
- 9、內政部，2018。107 年度三維地形圖資技術發展工作案，成果報告。
- 10、李開復，2016，為什麼今天是人工智慧的黃金時代？
URL:<https://www.inside.com.tw/article/6581-kai-fu-li-talked-about-ai>
- 11、Allen, J. G., Xu, R. Y. D., Jin, J. S., (2004). Object Tracking Using CamShift Algorithm and Multiple Quantized Feature Spaces, *Conferences in Research and Practice in Information Technology*, 36.
- 12、Bechhofer, S. (2009). OWL: Web ontology language. In *Encyclopedia of database systems* (pp. 2008-2009). Springer US.
- 13、Huang, C.Y. and Wu, C.H., 2016. A Web Service Protocol Realizing Interoperable Internet of Things Tasking Capability. *Sensors*. 16(9), 1395.
- 14、Huang, C.Y. and Chen, H.H., 2019. An Automatic Embedded Device Registration Procedure based on the OGC SensorThings API. *Sensors*. 19(3), 495.
- 15、Long, J., Shelhamer, E., & Darrell, T. (2015). Fully convolutional networks for semantic segmentation. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 3431-3440).
- 16、Klyne, G., & Carroll, J. J. (2006). Resource description framework (RDF): Concepts and abstract syntax.
- 17、Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. 2012. ImageNet classification with deep convolutional neural networks. In *Advances in neural information processing systems*, pp. 1097-1105.
- 18、Marketsandmarkets, 2015. 3D mapping and 3D modeling market by application in 3D mapping (3D projection mapping, mapping and navigation, and others), by Vertical (Healthcare, Building and Construction, and Others), and by Geography - Forecast to 2020, <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/3d-mapping-market-819.html>. [last access: 20 April 2019]
- 19、Perry, M., & Herring, J. 2012. OGC GeoSPARQL-A geographic query language for RDF

- data. OGC implementation standard.
- 20、Prechtel, N., 2015. On strategies and automation in upgrading 2D to 3D landscape representations. *Cartography and Geographic Information Science*, 42(3):244-258.
 - 21、Prud, E., & Seaborne, A. 2006. SPARQL query language for RDF.
 - 22、Sheth, A., Henson, C., & Sahoo, S. S. (2008). Semantic sensor web. *IEEE Internet computing*, 12(4).
 - 23、Smart City Expo, 2014. Smart City Expo 2014, <http://www.smartcityexpo.com/>. [last access: 20 April 2019]
 - 24、Stadler, C., Lehmann, J., Höffner, K., & Auer, S. (2012). Linkedgeodata: A core for a web of spatial open data. *Semantic Web*, 3(4), 333-354.
 - 25、Stoter, J., and Salzmann, M., 2003. Towards a 3D cadastre: where do cadastral needs and technical possibilities meet? *Computer, Environmental and Urban Systems*, 27:395-410.
 - 26、Teo, T.A., Chen, L.C., Liu, J.K., and Hsu, W.C., 2005. Building reconstruction from LIDAR data using iterative regularization approach, *Proceedings of Asian Conference on Remote Sensing*, Nov. 7-11, Hanoi, Vietnam, CD-ROM.
 - 27、Teo, T.A., Chen, L.C., Rau, J.Y., and Chen, S.J., 2007, Building Reconstruction using a Split-Shape-Merge Method, *Asian Journal of Geoinformatics*, Vol. 7, No. 3, PP. 31-34.
 - 28、Teo, T.A. and Lin, F.Y. 2019. Semantic Land Use Segmentation From Aerial Images Using Deep Learning Approach, *The 4th Smart Data & Smart Cities*, Oct. 1-3, 2019, Kuala Lumpur, Malaysia.
 - 29、Yue, P., Gong, J., & Di, L. (2010). Augmenting geospatial data provenance through metadata tracking in geospatial service chaining. *Computers & Geosciences*, 36(3), 270-281.

其他相關資料及附件

附件 A：各期成果審查意見與回覆

附件 B：期刊或研討會投稿全文或證明

附件 C：工作會議紀錄與簽到單

附件 D：購買三維地形圖資測製所需之相關文件

附件 E：三維地形圖核心類別的測製及檢核作業技術文件

附件 A：各期成果審查意見與回覆

第二期成果審查意見與回覆

意見	意見回應
林委員老生	
<p>1. P40 請進一步說明評估方法中，Accuracy 與 IoU 的關聯性？為何某些狀況 Accuracy 很高，但是 IoU 卻偏低？</p>	<p>Accuracy 用於描述偵測的成功率有多高(0 最差;1 最佳)，在某些特殊情況中，偵測到的面積遠比實際面積大很多，造成 Accuracy 很高，但有許多誤判。為能知道誤判程度，同時使用 IoU 比較物件分割之形狀是否與參考資料一致(0 最差;1 最佳)。Accuracy 及 IoU 是深度學習之物件分割中最常使用的評估指標，兩種指標分別評估偵測成功率及物件形狀正確率，故本研究使用這兩個指標進行精度評估。</p> <p>Accuracy 很高但是 IoU 偏低是指：偵測到的形狀比實際形狀大，物件都有被找到，故 Accuracy 偵測率很高；但面積大了許多，故同時 IoU 會偏低。</p> <p>本研究直接使用深度學習物件分割的道路標記偵測成果，會有 Accuracy 很高但是 IoU 偏低的現象。為能改善此問題，本研究進行第 2 階段的精化程序，從影像反射值分析初始成果，刪去低反射值的區域，以提升路標形狀的正確性。</p>

意見	意見回應
<p>2. P32 FCN 訓練時，如何確保避免 over-fitting 或 under-fitting 狀況？</p>	<p>由於深層神經網路需解算大量未知參數，over-fitting 與 under-fitting 是深層網路參數解算比需注意的問題，over-fitting 代表過度參數化，反之 under-fitting 是參數不足。</p> <p>避免深層神經網路 over-fitting 或 under-fitting 的方法有許多，最直覺的方式是在解算過程中使用 Validation data(驗證集)，以確定神經網路的參數是否足夠，此時的驗證集(Validation data)不是測試集(Test data)。第二種常用的方式是採用 Dropout 設定自動捨棄神經元的比例，Dropout 對神經網路中的神經元，依照一定的機率將其暫時捨棄，若捨棄能有顯著更佳的效果則刪去。</p> <p>本案使用遷移式學習(Transfer learning)，可在有限訓練集(Training data)的情況下，避免過度參數化的問題，遷移式學習的概念是：影像特徵萃取到的 Deep Features 來自既有的卷積神經網路(本案使用 VGG16)，只有在 Classification layer 重新訓練模型的參數。簡而言之，前面各層的參數保持來自 VGG16 的參數，只有最後面三層的重新訓練模型的參數，既可減少參數，同時能獲得符合需求的成果，也較不會發生過度參數化的問題。</p> <p>本案使用每一次疊代的 Accuracy 及 Loss function 觀察是否有以上兩個問題，測試成果為穩定收斂的參數解算。</p>
<p>3. 本技術案研究成果演算法是否仍可用於非住宅區？</p>	<p>深度學習的限制是依賴訓練集(Traning Data)的特性，本案訓練集為都市區域，在缺乏非都區訓練區的情況下，僅能處理都市區，未來只要再納入非都市區域的訓練集，即可將改良後的模型應用在都市及非都市區。</p>

意見	意見回應
洪委員榮宏	
1. 請評估與說明完整性指標之意義，要如何評估找到的是否為「建物」。	本案驗證分析的參考資料來自 1/1000 數值地形圖中之房屋多邊形，建物分類之評估指標使用誤差矩陣(Error Matrix)計算而得，完整性(Completeness)是指在數值地形圖的建物區域中，有多少比例是被自動化偵測。而正確性(Correctness)是指在自動化偵測的建物區域中，有多少比例是正確的。
2. 是否與原地形圖精度綁定？是否因此缺乏彈性，高程資訊之取得方式不同，影響規格之判定？或是否可區隔不同技術生產之資料？	深度學習的限制是依賴訓練集(Traning Data)的特性，此時使用的訓練集來自 1/1000 數值地形圖，故成果會與原地形圖精度綁定。 解決的方式是混合不同比例尺的訓練集，分別建立神經網路萃取 Deep Features，最後再整合 Deep Features 一起分類。此概念已應用在不同空間解析度影像（如整合 30m 多光譜及 15m 全色態影像）的深度學習中。唯本研究缺乏不同比例尺的訓練集做為整合之來源。 隨著多視角影像密匹配技術的進步，可獲取越豐富的高程資訊。本案比較數值地表模型與可見光正射航照影像，正射影像中房屋的高差移位現象隨著房屋越高，影響越嚴重。即使在正射影像中正確找到房屋，高差移位仍會造成正射影像中房屋的位置不正確，故本案使用數值地表模型。
3. 物件化之建置策略建議予以說明（Building/Building Part）。	將於期末報告補充說明物件化之建置策略。

意見	意見回應
4. 即時疏散路線部分，不同位置的人是否收到不同訊息（需先掌握使用者位置）？／動態持續更新？／推播模式為何？	本案為驗證三維圖資與物聯網感測資料結合之可能性，因此著重在感測資料與三維模型結合加值應用開發。使用者位置掌握係屬室內定位技術之範疇，暫未納入本案實作規劃，目前僅透過使用者自行輸入位置的方式，模擬室內定位的效果。目前亦正在開發以 MQTT 動態獲取資料庫最新感測資料，並以 Web socket 推播給使用者。
5. 標線辨識，是否可應用於高精地圖使用。	本案使用之航照影像無法滿足平面 20 公分及高程 30 公分之精確度，無法滿足高精地圖的規範，故本案的研發定位在提升 OGC CityGML LOD2 車道模型之細緻度。
6. 三維地形圖資測製技術指引，章節是否依國土資訊系統範圍敘述文字資料標準共同規範？專有名詞建議移「範圍」章節敘述，並應有來源。	將於期末報告修正相關內容，依據國土資訊系統範圍敘述文字資料標準共同規範，並修正章節架構
7. P93 建物紋理，其列舉方式，要採詳細或是開放式較為彈性？	建物紋理列舉方式將採開放式方法保持彈性。
8. 技術指引六、各章節 title 請再檢討，力求一致。	已修正文字內容。
9. 表6.2-4似為屬性規劃，與 Code 不同，是否要給予更進一步定義？	將於期末報告修正代碼，並依據需求增加屬性規劃及定義。
10. P104 MultiSurface 或 MultiCurve 直譯並不是三維的。	已修正文字內容。
11. P111 各類圖徵檢核建議有具體規則，例如細緻度或精度。完整度「準則」，似乎較偏向「規格要求」。	將於期末報告補充具體規則，另將修正完整度準則部分。
劉委員正倫	
1. P33 圖4-2-9未顯示整體精度，請補列。	圖 4-2-9 訓練集的整體精度為 80%；獨度檢核集的整體精度為 76%。
2. P29及 P36 敘及「路面標線」或「道路標線」，2專有名詞請一致，其定義亦應一致。	經 檢 索 (http://terms.naer.edu.tw/detail/2542482/)，road marking 應為道路標線，將統一使用道路標線。

意見	意見回應
3. P49-51 利用點雲資料計算該區域內點雲眾數高程平均作為模型之高程資訊，請評估與原有1/1000地形圖產製之房屋模型高程之差異量？另期中報告內容尚無道路模型成果，期末應納入。	將於期末報告提出兩者高度差異量，並加入道路模型成果。
4. P55 4.3.4選定國父紀念館周邊區域為試辦測試區域，請問周邊範圍有多大？區域內建物均建置室內模型？	4.3.4 節主要是整合 4.3.1 至 4.3.3 內容，試辦測試區域詳細介紹可參考 4.1 節，主要面積為 120 公頃，區域內建置 LOD1 模型。4.3.1 與 4.3.2 節技術為針對試辦區全區進行應用；4.3.3 節技術以技術開發為主，針對建置室內模型技術進行研究，並非建置全區室內模型。
5. 文字修正建議已修正於期中報告初稿，提供修正參考。	已修正文字內容。
本部國土測繪中心	
1. 第4.3.2節已試作：利用既有之一千分之一地形圖資搭配光達點雲資料(密度為每平方公尺4點)萃取建物 polygon 之真實高程以產製建物模型，並評估建置效能。其中提到資料前處理最為耗時(平均1.5小時/每圖幅)，該項作業人工介入所占時間比例為何？另此項作業如果改用臺灣通用電子地圖之建物區塊萃取高程資訊時，是否可利用高密度光達點雲資料/光達 DTM 之優勢，將建物區塊模型進一步細緻化為分戶之建物模型？	資料前處理最為耗時(平均 1.5 小時/每圖幅)，此項作業人工介入約 10 秒內/每圖幅，人工介入只有在選擇要轉換的資料部分。 由於高密度光達點雲資料/光達 DTM 在資料面上並無房屋等屬性資訊，若是根據點雲群聚概念可進行粗略的建物分戶，現階段想要正確的將建物區塊模型進行分戶，避免不了人工作業，或是後續的技術研發。

意見	意見回應
<p>2. 第4.4節提到將利用本中心本（108）年度測製成果滾動修正三維地形圖測製及檢核作業技術文件指引，且已於附錄 D 之技術指引（初稿）中參考本中心本年度測製案規劃方法修正部分內容，惟因本中心本年度三維近似化建物模型建置案、三維道路模型試辦案尚在執行中，目前相關成果及模型產製之技術與流程皆仍有修正之可能，建議確實與本中心保持聯繫以獲取最新訊息。針對本中心前開2工作案之作業方法及目前工作進度，簡要說明如下：</p> <p>(1)3D 建物產製：為達成108年底完成全臺3D 建物之目標，依據105年試辦成果，以高效快速之作業流程，利用既有臺灣通用電子地圖建物框(107年產製)及各直轄市、縣(市)政府提供104-107年產製之一千分之一地形圖建物框，搭配全國最新版光達 DTM(99-106年產製)高度資訊萃取樓高，建立3D 建物模型。其中各直轄市、縣(市)政府已產製相同類型3D 建物模型區域，採成果整合方式，不重複建置。已於6月底完成所有之三維灰階建物模型成果(計20縣市)及部分三維精緻建物模型成果(計75棟)，目前辦理驗收中；下階段之三維近似化建物模型成果預計於9、10及11月底分3次繳交，另本案期中、期末報告於7及11月底繳交。</p> <p>(2)3D 道路產製：規劃採用臺灣通用電子地圖道路圖層、光達 DTM 及道路竣工圖等既有資料，建置全國3D 道路圖資。目前以產製三維彩帶式道路為主，並研議道路貼面之適切處理方式。</p>	<p>已了解國土測繪中心提供之相關建置技術與流程，並持續保持聯繫以獲取最新訊息。</p>

意見	意見回應
<p>3. 第4.4.3節已歸納2項三維地形圖資技術發展需克服之問題，本中心前已針對前開問題研擬因應策略，說明如下：</p> <p>(1)3D 建物之更新作業：將配合臺灣通用電子地圖建物框更新與蒐集新產製一千分之一地形圖，並比對既有一千分之一地形圖分戶建物框與臺灣通用電子地圖建物框之差異，獲取須更新作業所需標的建物框；建物高度資訊，則優先採用最新更新光達 DTM；如無更新的光達 DTM，則透過航照影像密匹配(自動)及立體量測(人工)，獲取建物高度資訊。</p> <p>(2)3D 建物精進細緻化：3D 建物模型大部區域係以臺灣通用電子地圖建物框為基礎建置，該建物框目前無分戶線，3D 建物模型細緻度仍有精進空間，後續將運用相關圖資(如建物測量資訊、門牌位置、地籍圖)及影像處理技術，進行電子地圖建物框分戶研究及試作，提升3D 建物模型成果細緻度，以提供各界更優質的3D 國家底圖。倘電子地圖建物框分戶確認可行，將優先辦理上開「新增區塊建物框」(一千分之一地形圖範圍新增區塊建物框)產製之3D 建物，其次將視經費額度，逐步辦理臺灣通用電子地圖建物框產製之3D 建物。</p>	<p>感謝國土測繪中心提供之因應策略，未來將以此策略方向克服遇到之問題。</p>
<p>4. 文字修正如下：</p> <p>(1)P53，「表4-3-2、點雲、房屋模型建置效能」，請修正表格內文字「資料前處理(步驟1、2)」。</p> <p>(2)P88，請修正文字「多邊形」。(如第3行：LOD0是以多邊型.....、第4行：既有多邊型.....及第10行：每個多邊型.....)。</p>	<p>已修正。</p>

意見	意見回應
本部地政司	
1. P40 表4-2-1評估指標，可否說明為何訓練區的 IoU 低於檢核區？	本案訓練區與試辦區獨立檢核是不同區域，訓練區的道路類別豐富（平面、高架、路橋、圓弧道路等）且複雜，而獨立檢核是市區平面道路，即訓練區複雜度較高，故訓練區的 IoU 低於試辦區獨立檢核區。
2. 續，因道路標線自動化辨識 IoU 偏低，請於期末提出再精進策略。	深度學習已成果獲得概略道路標線區域及對應道路標線類別，道路標線具有反射率較柏油路面高的特性，本案的精進策略是使用影像的反射值，萃取高反射值的區域，做為道路標線，並進一步使用形態學方法去除雜訊，填補缺漏，使道路標線更為完整。
3. P31試辦資料之（c）反射率（d）回波率是如何產製或取得的？	反射率來自光達反射強度；回波率來自光達回波數統計分析。
4. P57節4.4.2部分，有關三維地形圖資之應用領域及成果效益，撰寫主軸仍應為本案之試辦區域提出應用領域及成果效益分析。惟可利用國土測繪中心之成果進行相互比較。	遵照辦理。
5. P96表6.2-4房屋模型管控屬性代碼，是針對1棟建物，或是1群建物？因設計之編號6代碼1050建物高眾數層比例，似針對1群建物，與前後代碼有衝突。另每個編號（代碼）都應該要輸入資料，是否要說明輸入範例或單位？再同表，似乎遺漏 LOD2模型代碼。	編號6代碼1050建物高眾數層比例是針對一棟建物，是指該棟建物其建物高所屬的眾數層佔全部高程資訊的比例。每個編號欄位都需要輸入資料，於期末階段會再補上範例及單位。於測繪中心目前執行的專案中沒有產製 LOD2模型，於期末階段會再補上 LOD2模型代碼。
6. P106表6.4-2建議補充高程單位（如公尺或公分）。	已修正內容。
7. P111第七節全文，單位撰寫有 m、m2、cm，建議替換為公尺、平方公尺、公分。	已修正文字內容。
8. 期中報告(初稿)部分內容建議修正如下，其餘內容文字請再詳校：	已修正。

意見				意見回應
頁碼	原內容	建議修正	備註	
36	指向線及班馬線	指向線及斑馬線		
36	內湖、民權路	內湖、民權東路		
41	民權路三段	民權東路三段		
54	若有數貼紋理的需求，則以影像資料作為數貼進行紋理	數貼紋理則以環景影像資料處理	語意重複建議修正	
55	4.3.4 整合前二項技術……(內文)整合前二項發展之技術	4.3.4 整合前三項技術……(內文)整合前三項發展之技術	經詢為誤繕	
115	房屋類別、屋頂類型及房屋裝置……屋頂類型以編碼方式紀錄，	房屋類別、屋頂類型及房屋裝置……屋頂類型以編碼方式紀錄，		

第三期成果審查意見與回覆

意見	意見回應
劉委員正倫	
1. P34敘及訓練區及檢核區的整體精度，請補充(1)整體精度如何計算？(2)請將期末簡報 P16 房屋區域 IOU 圖放入報告。	(1)整體精度計算方式是計算「分類正確的像元總數」與「所有像元總數」之比值，如公式 4-2-3。 (2)房屋區域 IoU 如圖 4-2-11b。
2. P37文字寫到「…進行形塑比較，三維房屋形塑有良好的成效…」，請問比較的結果如何？	修改及補充如下： 本項工作比較(1)原始三維點雲、(2)自動化形塑三維房屋、(3)1/1000 房屋輪廓形塑三維房屋，圖 4-2-15(d)及(e)比較原始三維點雲與形塑三維房屋模型的套疊成果，在三維點雲與三維模型疊合展示中，屋頂主平面與點雲有一致的高程(圖 4-2-15)。
3. P38文字平均偏差均大於9公尺，與下方表4-2-1平均距離，是否相同？另同頁提到「…未來工作為分割不同屋頂面高度…」此類工作能達成什麼效果？	修改及補充如下： 本研究使用原始三維點雲到形塑三維平面之垂距評估高差，點到面垂距統計如表 4-2-1 及圖 4-2-16，可得知使用 1/1000 房屋輪廓的成果比自動化萃取房屋邊界的成果佳，但兩種三維房屋模型的平差偏差均大於 9.257 公尺，分析原因是房屋多邊形未細部分割成不同高度，且本測試區內有許多高樓(如 508 公尺高的臺北 101)會造成顯著的影響，後續研究建議對自動化偵測成果進行二維細部分割，以產生不同的屋頂面的二維多邊形，以避免多個屋頂面對應到使用同一個屋頂高度，而造成偏差。
4. P43表4-2-2道路標線偵測 Accuracy 都是 90% 以上，期末簡報 19 頁為何僅 46.42%？請說明。另同頁文字提到「機車待轉」，其類別歸類為 P44 頁停等區或是停車格？	已訂正：道路標線偵測成果以像元(Pixel)為單元進行精度評估，期末報告書為 119 個獨立檢核區偵測成果之精度評為 94.14%。 已補充於內文：「機車待轉」歸類為「停等區」

意見	意見回應
5. P73-74有利用街景影像跟測繪車影像製作貼面，能否分析2者、提供成本建議及建議後續更新方式？	考量經費、影像品質與處理時間，若是需取得大量影像資料(如全臺灣或縣市等)，建議使用街景影像為主，但街景影像並不一定為最近期的影像，因此可根據需求，針對特定範圍或建物，透過測繪車或人力方式進行後續之影像更新作業。
6. P106係以整合前三項技術試辦三維地形圖資，圖4-3-41未見套疊三維道路模型，請修正。	已補充成果資料於圖 4-3-41。
7. 4.3.3節三維室內模型，請提供成果。	已補充成果資料於圖 4-3-40。
8. 4.5節的試驗場域三維圖資係由二維平面圖數化繪製而來，請問防災應用（或物聯網分析）是利用二維圖資三維化就好，還是需要測製三維室內模型？並建議評估未來室內三維空間的相關應用。	目前 4.5 節所提的室內防災應用需要的三維圖資可利用二維平面圖進行數化即可，然而後續如欲支援及探討更多精細的相關室內應用，則其三維室內模型的產製方式應遵循相關的標準流程。
9. P109三維建物的建置成本，非都市地區之建置應該是由通用電子地圖而來，成本評估應與地形圖(都市計畫區)不同。請釐清。	表 4-4-1 為說明兩種不同建模策略，已依據建議補充非都市計畫區域使用臺灣通用電子地圖建置，都市計畫區域使用 1/1000 地形圖建置。
10. P110三維道路的建置成本，請於備註加註「不含資料取得費用」。另採用了成本/公頃的算法，這種算法1公頃道路不論密疏皆為相同成本？有無較明確計算方式？	依據今年度內政部國土測繪中心三維道路模型試辦案之作業經驗，補充各等級道路及各種類道路之路口單價費用表以及各等級道路長度單價費用表。
11. P2、11、16工作項目有重複寫「及道路標線」，建議刪除。	已修正內容。
12. P30、39、46道路標線項下定義不一致，請統一。	已統一文句： 「道路標線偵測」類別包含:雙實線、單實線、虛線、停等區、停車格、停止線、指向線、近障礙物線、枕木紋行人穿越道線、自行車道線、網狀線、菱形標線。 「道路標線向量化」類別包含:(1)行車分向線、(2)車道線、(3)停止線、(4)斑馬紋行人穿越道線、及(5)指向線。

意見	意見回應
13. 文字修正建議已修正於期末報告初稿，提供修正參考。	已修正內容。
林委員老生	
1. 4.5節 P134頁圖形之硬體「層」與 P135之硬體「端」，是否相同？請統一本節用詞。P135圖4-5-3及4-5-4請補中文意思。另請說明 Node.js、D3.js、Dijkstra 名詞。	圖片使用之硬體「層」與硬體「端」表達相同意義，已修改圖 4-5-2 統一使用「硬體端」一詞。已補充圖 4-5-3、圖 4-5-4 中文意思，並於本節補充 Node.js、D3.js、Dijkstra 名詞解釋。
2. P139與 P140火災逃生圖例，例如火源、逃生出口、通道等，建議修正為約定俗成圖例，較利於閱讀。另請說明本節潛在客戶/使用者。	已修正圖 4-5-9、4-5-10、4-5-11、4-5-12、4-5-13 之圖例。本節潛在客戶/使用者可為任何有複雜室內火災疏散需求之建物管理者，如社區大樓、辦公大樓、商場等。條件是需有三維室內建物模型資訊或基本路網資訊。
3. P29與 P110頁提及三維彩帶式道路模型、高精緻度道路模型，建議另說明解釋。	已補充： 三維彩帶式道路模型是指只有路面區域的道路模型，此模型沒有車道線或道路設施等細部資訊。
4. P32三維建物擇定2圖幅為訓練區，其餘4圖幅為檢核區；P39三維道路擇定80%為訓練區，20%為檢核區，請說明為何有差距？	房屋區域偵測及道路標線區域偵測均需要大量訓練區域，因為都市中的房屋比例高，房屋在1/1000數值地形圖所佔的面積比例很高，故選擇兩個圖幅已經可以獲取相當多的房屋像元。 而細長道路標線面積小，需要更多道路面積，才能累積一定程度的道路標線像元，故本項工作使用80%為訓練，其他20%進行檢核。
5. P38請說明圖4-2-16縱軸 Count 意思？	已補充：圖 4-2-16 縱軸 Count 是指，高程偏差在特定值域內的統計數量。
6. P41請於文中說明「誤授」、「漏授」意義及有何差別？	已補充：「誤授」指將「非道路標線」錯誤辨識為「道路標線」。反之，「漏授」則是指將「道路標線」錯誤辨識為「非道路標線」。
洪委員榮宏	

意見	意見回應
1. 本案發展建立三維建物技術成熟，可否於適當章節描述建立三維建物所需要的資料規格及建置方法，及能夠符合之 LOD 規格，並說明自動化程度及人工需介入的工作項目（或工作量）。	本團隊已執行內政部三維地形圖資相關計劃多年，建置之三維模型皆遵循 CityGML 格式。本項工作建置之房屋模型為 LOD1 等級，透過本團隊開發之系統介面產製模型，人工介入的部分主要為選擇來源(佔整體工作量不到 1%)，大部分時間為電腦進行運算分析(資料分析、點雲與模型匹配等處理)。
2. 產置三維建物之不同時期資料，或不同的建置技術，如同時期資料不同技術，或不同時期資料相同技術，對模型的影響如何？請提出討論及建議。	資料來源日期、資料產置日期、模型建置方法等資訊都將記錄於詮釋資料內說明，使後續的模型使用者可以了解其限制與發展背景。
3. 三維標線產製效果，有時跟原始資料相關（如磨損），本案有無類似情形？產製好的標線模型，未來應用的方向是什麼？	本計畫試辦區域中有標線磨損的情況，其偵測成果會較不完整，即部份磨損區域會無法偵測。 以空載影像進行標線偵測，未來的應用發展主軸是產生車道，因為 OGC CityGML 的 LOD2 道路模型包含車道，大範圍 LOD2 道路模型採用測量車的成本很高，故發展空載影像標線偵測技術。
4. P53圖徵化及向量化，選用「圖徵」之名詞，似有疑義，請加以考量。	已修改「圖徵」化為「元件」化。
5. P55災後快速製圖1節，可否補充或討論本研究案開發之技術，例如面對傾倒的房屋等，採取的策略是如何？	災後快速製圖之目的為快速評估受災的範圍，其時效性是關鍵的因素，因此本項工作以自動化方式發展房屋偵測及重建。未來建議採取的策略是前後期重建模型的比對，即比較前後期自動偵測及形塑成果，理論上未受損的房屋改變量較小，受損的房屋則會有明顯的差異，後續研究仍需真實資料進行技術驗證。

意見	意見回應
6. 4.3.1節，利用街景影像跟測繪車影像的貼面，作了成果的對照，請問能否以文字說明2者貼面好壞優劣或執行紋理貼面的建議？	街景影像優點為影像資料多、光線品質固定，缺點為非近期影像、不一定能取得建物對應之影像；測繪車影像優點為影像年份較新、每棟房屋皆能取得影像，缺點為影像品質與光線較不固定。若是需取得大量影像資料(如全臺灣或縣市等)，建議使用街景影像為主，另針對特定範圍或建物，透過測繪車或人力方式進行後續之影像更新作業。
7. 4.3.3節，建議說明成果。	已補充成果資料於圖 4-3-40。
8. 附錄 E 三維地形圖資測製技術指引章，(1)有帶到 LOD3跟 LOD4的部分，可以考慮是否為指引需探討的對象。(2)各分項如係遵從 CityGML 定義，建議將 CityGML 規範於章節前段說明。(3)測製三維地形圖的內容似乎由地形圖轉進來(綁定)，可否定義資料的來源，並保留其彈性以利擴充？(4)6.5節土地使用定義與屬性，與國土利用調查，是否相關？請說明。	(1)LOD3 跟 LOD4 的部分只有概略提到適用情境，目前不在指引文件範圍內。(2)已將各項規範增加於對應章節前說明。(3)因為各核心類別的資料來源皆可能不同，因此未來將依據各核心類別之項目內容定義其資料來源並保留其彈性以利後續擴充。(4)6.5 節土地使用定義與屬性目前與國土利用調查脫鉤，為不同的屬性內容。但是未來可以依據使用需求或是資料整合之需求，調整 6.5 節土地使用定義與現行的國土利用調查成果整合。
9. 物聯網三維室內模型運用於救災的技術，可以研究使用者的位置(室內定位)的技術，以及使用者的移動，火點的改變併同逃生策略同時修正	感謝委員建議，「室內定位技術」能提供本應用更多功能彈性，如自動取得使用者位置而提供使用者建議逃生路徑，為使用者爭取更多逃生時間，同時也能追蹤使用者的移動狀態、其他使用者的移動狀態，以人工智慧計算出人員分流疏散路線等進階功能。期許未來新技術能為本應用帶來革命性突破。
本部國土測繪中心	

意見	意見回應
1. P41、P42提到道路標線自動化辨識易受到女兒牆、行道樹遮蔽等因素影響，如較高等級道路，例如國道、快速道路等，因較無上述影響因素，是否自動化辨識成功率較高？	本計畫試辦成果顯示，低遮蔽的區域(如快速道路)是有較佳的自動化辨識成功率。
2. P76有關透過既有資料發展近景多視角影像提升三維道路模型部分，提及所使用道路模型資料為106年度千分之一地形圖產製之道路模型；惟 P88說明本項工作就手邊現有資源(道路面、道路中心線、DEM 與 DSM 等資料齊全下)挑選一小區域進行驗證測試，請補充所採用測試資料為何？以及採道路中心線生成道路面，或直接使用該案產製之道路面資料接續產製道路模型？	道路面與道路中心線為 107 年電子地圖成果，DEM 與 DSM 為 105 年台北市成果，測試資料為辛亥路三段附近區域。此外，透過人工編修的方式增加道路面與道路中心線之節點數，使道路成果更為正確。
3. P85目前對於用於建置道路模型之地形高程與顯示圖臺所用的地形高程不一樣時，僅採用關閉道路畫面方式處理，因本中心預計於109年開始進行三維道路模型建置工作，對於成果顯示方式有無建議方案？	以資料正確性與成果展示進行考量： (1)資料正確性為主：在建置道路資料時，使用展示圖台的地形高程資料進行三維道路模型建置，缺點為遇到不同地形高程之圖台，道路模型必須重新產製。(2)成果展示為主：以 kml 格式作為模型敘述，並將地表作為起始高度，在圖台展示時較為美觀，缺點為道路模型不在正確之高度位置。(可保留正確之高度資訊於屬性欄位中)
4. P88提出建議未來建置道路，可依道路分類如平面道路、高架道路、橋樑等類別，並使用對應的高程資料進行後續分析，因 P110表4-4-2，目前三維道路模型建置成本估算採元/公頃，因不同類型作業成本亦不同，建議可針對不同道路類型，並改以長度(元/公里)為單位進行成本評估；另請補充說明路面標線單獨成本為何？	依據今年度內政部國土測繪中心三維道路模型試辦案之作業經驗，補充各等級道路及各種類道路之路口單價費用表以及各等級道路長度單價費用表。

意見	意見回應
5. 試辦區內包含基隆路地下道，因地下道位置一般皆位於地表之下，請補充該處道路邊線偵測及道路中心線與 DTM 之高程分析等作業是否須特別處理。	本計畫採用空載影像進行道路標線偵測，受視角的限制，只能自動化萃取地下道入口處的道路標線，缺乏地下道的道路資訊。地下道建議採用測量車獲取標線及高程資訊。
6. P109以「面積(公頃)」為單位進行成本分析，惟因市區與郊區之建物分布密度差異大，僅以單位面積為建置成本估算基準，是否合適？	因試辦區域未同時包含市區與郊區兩種建物密度不同之區域，因此評估成本時未特別區分，未來將考量兩種不同區域之特性進行成本分析。
7. CityGML 2.0建議之 LOD1建物相關精度規範為：(1) 5m/5m 以內之點位精度(平面/高程)、(2) 圖徵簡化之門檻值為 6*6m/3m(平面/高程)。本案利用一千分之一正射影像以深度學習技術偵測房屋區域，建立三維房屋模型自動化辨識及重建流程，再搭配數值高程模型資料完成 LOD1房屋模型形塑，能否評估前開房屋模型成果符合 LOD1精度規範之比例？	本計畫目前發展的全自動化偵測技術仍無法滿足 LOD1 的精度需求，雖然有高的偵測率找到房屋區域，但找到的房屋區域是許多屋頂面的合併區域，未來發展需要改進的程序是自動化細部房屋多邊形分割，以產生不同的屋頂面的二維多邊形，避免多個屋頂面對應到使用同一個屋頂高度。
8. P215三維房屋模型建置作業準則規定「任何高度超過2m 或平面面積超過16m ² 的房屋實體都須建置房屋模型」已達 CityGML 中 LOD2要求，建議需放寬至 LOD1之規範(即3m 與36m ²)，或應依不同 LOD 層級設定相關規範。另前開作業準則，與 P113提及以樓高不足1.5m 作為建物高度異常之判斷門檻，兩者之高度門檻不同，是否須調整以作業準則為基準？	已修正。

意見	意見回應
<p>9. 文字修正如下：</p> <p>(1) P38，第 4 行「顯注影響」、第 5 行「，。」及「自動化呈成」應為誤繕，請修正文字及標點符號。</p> <p>(2) P56，4.3.1 小節之 7 項工作重點，其各項工作重點之標號誤植為(2)~(8)，應修正為(1)~(7)。</p> <p>(3) P93，第 4 行「<u>還</u>景」應修正為「<u>環</u>景」。</p> <p>(4) P98，第 7 行「2. 物體的移動。」標號修正為「3. 物體的移動」。</p>	<p>已修正。</p>
本部地政司	
<p>1. 有關劉正倫委員第10點提及三維道路成本的估算方式，可否另補充以道路公里數計算成本？以及自動化、人工介入的成本分析。</p>	<p>依據今年度內政部國土測繪中心三維道路模型試辦案之作業經驗，補充各等級道路及各種類道路之路口單價費用表以及各等級道路長度單價費用表。</p>
<p>2. 貼面雖然大部分可利用 Google 街景，但有可能會有不提供資源的情形，建議貼面修測可考量利用測繪車辦理。</p>	<p>若是需取得大量影像資料(如全臺灣或縣市等)，建議使用街景影像為主，但街景影像並不一定為最近期的影像，因此可根據需求，針對特定範圍或建物，透過測繪車或人力方式進行後續之影像更新作業。</p>
<p>3. 附件 E 之指引，談到 LOD0 是以三角網組成，但目前產品是網格，是否建議網格納入指引，以增加彈性？</p>	<p>已納入說明。</p>
<p>4. P34 可否說明圖 4-2-11 為何道路的測試區成果會優於訓練區？</p>	<p>訓練區與測試區的完整性精度分別為 61% 及 69%，本項工作使用 2 個圖幅進行訓練，其餘 4 個圖幅進行測試，可能原因為訓練區與測試區樣本數量之差異，造成統計上的差異。</p>

意見	意見回應
5. P112節4.4.3部分，建議先說明試辦區的位置；另 P117頁第四類別「圖資與影像不符」描述有誤，因 P113已經說明建物區塊係106年電子地圖，但航照影像（來源為通用電子地圖）無建物，該情形應屬有建物位置資料，卻與影像不符情形。	已修正。
6. P201(附件 E)表6.2-4房屋模型管控屬性代碼，每個編號（代碼）都應該要輸入資料，是否要說明輸入範例或單位？另同表，似乎遺漏 LOD2模型代碼。	已補充單位資訊。
7. P211(附件 E)表6.4-2建議補充高程單位（如公尺或公分）。	已補充高程單位。
8. P109及 P215(附件 E)第七節全文，單位撰寫有 m、m ² 、cm，建議替換為公尺、平方公尺、公分。	已修正。

附件 B：期刊或研討會投稿全文或證明

2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)

**DEEP-LEARNING FOR LOD1 BUILDING RECONSTRUCTION FROM
AIRBORNE LIDAR DATA**

Tee-Ann Teo

Department of Civil Engineering, National Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan 30010
Email: tateo@mail.nctu.edu.tw

ABSTRACT

A three-dimensional building model is an important geospatial information for a smart city. The objective of this study is to reconstruct OGC CityGML LOD1 prismatic building models from 3D lidar points automatically. A deep learning approach (i.e. Fully Convolutional Network, FCN) is developed to detect initial building regions for lidar data. After refinement, the building boundary needs regularization to reshape the irregular boundary into a regular building primitive. Finally, a 3D plane fitting is applied to shape the rooftop using lidar points inside building primitive. The test data was an urban area with the size of 1800m by 1200m. The lidar point density was 4 pt/m². The experimental result indicated that the proposed method automatically reconstruct the LOD1 block model from lidar data. The accuracy of building detection reached 72% using lidar object height and intensity. The reconstruction showed high similarity with reference LOD1 building model.

Index Terms— CityGML LOD1, 3D building model, deep learning, lidar.

1. INTRODUCTION

1.1. Motivation and Goals

A three-dimensional building model is one of the essential geospatial infrastructures for a smart city. The applications of 3D building models for a smart city could be energy and resources analysis, real estate and urban planning. Different applications need different details of building models. For example, the analysis of the potential for solar energy production mainly focuses on the detail of roof-top. The Open Geospatial Consortium (OGC) defines CityGML as an open data model in different level-of-details (LOD) [1]. The LOD1 building model is a block model comprising prismatic building with flat roof while LOD2 is a polyhedral model with different roof structures. LOD3 enhances façade while LOD4 contains indoor building elements. A high detailed building model needs more efforts on 3D model generation. As LOD1 building model is the simplest model among these LODs, it is suitable for large city area and can be generated automatically.

Airborne lidar system provides high accuracy and high-density 3D point clouds of ground surface. Several countries have released their nationwide lidar data set into open data (e.g., The Netherland and Finland). Some of the government agencies also have opened their lidar data in the website (e.g., OpenTopography <https://opentopography.org>). Lidar data is usually used in 3D modelling. It has become more and more popular and can be an efficient data for automatic 3D building model reconstruction.

1.2. Previous studies

There are two steps to establish a 3D building model, i.e., detection and reconstruction. Building detection comprises methods to detect regions of interest for subsequent building reconstruction while building reconstruction is the determination of the 3D geometrical description of a building located in a given region of interest. To solve the problem of building detection, Elberink et al., (2013) [2] fused 2D map and 3D height model to produce 3D model automatically. Several studies have reported on the generation of building models from lidar data. Sampath and Shan, (2007) [3] extracted the planar features from lidar points and derived the line features from the plane intersection. The building model is reconstructed by integrating the planar and linear features. In contrast, Hu, (2003) [4] extracted linear features and then trace the building polygons. The building model is obtained by shaping the rooftop of the building polygons. Recently, 3D convolutional neural network from deep learning technique has also applied to lidar data for building reconstruction [5]. This deep learning approach generated 3D building models with arbitrarily roof shapes while preserving the verticality of connecting walls.

1.3. Research Purpose

This study aims to reconstruct LOD1 prismatic building models from 3D lidar data automatically. A Fully Convolutional Network (FCN) [6] for lidar data is developed to detect initial building regions. After refinement, the straight line regularization extracts 2D building boundaries from detected building regions. Finally, a 3D plane fitting is applied to shape the rooftop.

Sensors

題目：An Open Internet of Thing Architecture Integrating oneM2M and OGC SensorThings API Standards

10/6/2019

Gmail - [Sensors] Manuscript ID: sensors-622432 - Submission Received



Alec Huang <alechuang192@gmail.com>

[Sensors] Manuscript ID: sensors-622432 - Submission Received

1 message

Editorial Office <sensors@mdpi.com>

Sun, Oct 6, 2019 at 2:11 PM

Reply-To: sensors@mdpi.com

To: Chih-Yuan Huang <cyhuang@csrsr.ncu.edu.tw>

Cc: Chih-Yuan Huang <cyhuang@csrsr.ncu.edu.tw>, Liang-Yi Chen <106322088@cc.ncu.edu.tw>

Dear Dr. Huang,

Thank you very much for uploading the following manuscript to the MDPI submission system. One of our editors will be in touch with you soon.

Journal name: Sensors
Manuscript ID: sensors-622432
Type of manuscript: Article
Title: An Open Internet of Thing Architecture Integrating oneM2M and OGC SensorThings API Standards
Authors: Chih-Yuan Huang *, Liang-Yi Chen
Received: 6 October 2019
E-mails: cyhuang@csrsr.ncu.edu.tw, 106322088@cc.ncu.edu.tw
Submitted to section: Internet of Things,
https://www.mdpi.com/journal/sensors/sections/internet_of_things

You can follow progress of your manuscript at the following link (login required):

https://susy.mdpi.com/user/manuscripts/review_info/314d70aa6949a8e0535b97e0c0865d33

The following points were confirmed during submission:

1. Sensors is an open access journal with publishing fees of 1800 CHF for an accepted paper (see <https://www.mdpi.com/about/apc/> for details). This manuscript, if accepted, will be published under an open access Creative Commons CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), and I agree to pay the Article Processing Charges as described on the journal webpage (<https://www.mdpi.com/journal/sensors/apc/>). See <https://www.mdpi.com/about/openaccess> for more information about open access publishing.

Please note that you may be entitled to a discount if you have previously received a discount code or if your institute is participating in the MDPI Institutional Open Access Program (IOAP), for more information see <https://www.mdpi.com/about/ioap>. If you have been granted any other special discounts for your submission, please contact the Sensors editorial office.

2. I understand that:

a. If previously published material is reproduced in my manuscript, I will provide proof that I have obtained the necessary copyright permission. (Please refer to the Rights & Permissions website: <https://www.mdpi.com/authors/rights>).

b. My manuscript is submitted on the understanding that it has not been published in or submitted to another peer-reviewed journal. Exceptions to this rule are papers containing material disclosed at conferences. I confirm that I will inform the journal editorial office if this is the case for my manuscript. I confirm that all authors are familiar with and agree with submission of the contents of the manuscript. The journal editorial office reserves the right to contact all authors to confirm this in case of doubt. I will provide email addresses for all authors and an institutional e-mail address for at least one of the co-authors, and specify the name, address and e-mail for invoicing purposes.

<https://mail.google.com/mail/u/0/?ik=743bb57c90&view=pt&search=all&permthid=thread-f93A1646623258254517714&siml=msg-f93A1646623258254517...> 1/2

ISPRS International Journal of Geo-Information

題目：Spatial Analysis with Detailed Indoor Building Models for Emergency Services



Tsai, Fuan <ftsai@g.ncu.edu.tw>

[IJGI] Manuscript ID: ijgi-652965 - Submission Received

1 message

Editorial Office <ijgi@mdpi.com>

Tue, Nov 12, 2019 at 1:45 AM

Reply-To: ijgi@mdpi.com

To: Fuan Tsai <ftsai@csrsr.ncu.edu.tw>

Cc: Fuan Tsai <ftsai@csrsr.ncu.edu.tw>, Min-Lung Cheng <cheng.m.ab@m.titech.ac.jp>, "Walter W. Chen" <waltchen@ntut.edu.tw>, Tee-Ann Teo <tateo@nctu.edu.tw>

Dear Professor Tsai,

Thank you very much for uploading the following manuscript to the MDPI submission system. One of our editors will be in touch with you soon.

Journal name: ISPRS International Journal of Geo-Information
Manuscript ID: ijgi-652965
Type of manuscript: Article
Title: Spatial Analysis with Detailed Indoor Building Models for Emergency Services
Authors: Fuan Tsai *, Min-Lung Cheng, Walter W. Chen, Tee-Ann Teo
Received: 11 November 2019
E-mails: ftsai@csrsr.ncu.edu.tw, cheng.m.ab@m.titech.ac.jp, waltchen@ntut.edu.tw, tateo@nctu.edu.tw

You can follow progress of your manuscript at the following link (login required):

https://susy.mdpi.com/user/manuscripts/review_info/337183989a67af3c49891b9aa74ce33b

The following points were confirmed during submission:

1. IJGI is an open access journal with publishing fees of 1000 CHF for an accepted paper (see <https://www.mdpi.com/about/apc/> for details). This manuscript, if accepted, will be published under an open access Creative Commons CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), and I agree to pay the Article Processing Charges as described on the journal webpage (<https://www.mdpi.com/journal/ijgi/apc>). See <https://www.mdpi.com/about/openaccess> for more information about open access publishing.

Please note that you may be entitled to a discount if you have previously received a discount code or if your institute is participating in the MDPI Institutional Open Access Program (IOAP), for more information see <https://www.mdpi.com/about/ioap>. If you have been granted any other special discounts for your submission, please contact the IJGI editorial office.

2. I understand that:

a. If previously published material is reproduced in my manuscript, I will provide proof that I have obtained the necessary copyright permission. (Please refer to the Rights & Permissions website: <https://www.mdpi.com/authors/rights>).

b. My manuscript is submitted on the understanding that it has not been published in or submitted to another peer-reviewed journal. Exceptions to this rule are papers containing material disclosed at conferences. I confirm that I will inform the journal editorial office if this is the case for my manuscript. I confirm that all authors are familiar with and agree with submission of the contents of the manuscript. The journal editorial office reserves the right to contact all authors to confirm this in case of doubt. I will provide email addresses for all authors and an institutional e-mail address for at least one of the co-authors, and specify the name, address and e-mail for invoicing purposes.

附件 C：工作會議紀錄與簽到單

108 年度 三維地形圖資技術發展工作案 第一次工作會議紀錄

- 時間：108 年 04 月 03 日 14:00
- 地點：國立中央大學太空及遙測研究中心 R2-221
- 出席人員：

內政部地政司	吳俊毅
國立中央大學太空及遙測研究中心	蔡富安、黃智遠、劉育青、楊清松
國立交通大學土木工程學系	張智安
台灣世曦	仝宜中、林立哲

- 議題：

一、 期中規劃說明

- (1) 研發三維數值基本地形圖房屋模型及道路標線自動化產製技術
 1. 試辦區域範圍暫定為臺北市南區。
 2. 房屋區域自動化判識。
 3. 道路標線自動化判識。
- (2) 提升三維數值基本地形圖紋理品質及建築尺度細緻度
 1. 試辦區域範圍暫定為臺北市南區。
 2. 採購試辦區域之測繪車資料，分析測繪車影像資訊。
 3. 建置影像點雲資訊。
- (3) 精進三維地形圖資測製技術文件
 1. 依據三維地形圖資測製技術成本分析。
 2. 三維地形圖物件成果，資料結構與編碼之策略與建議。

(4) 三維室內圖資與物聯網之整合方案及應用試辦

1. 以實際場域進行物聯網整合方案應用試辦，選定國立中央大學研究中心大樓二期作為試辦地點。
2. 進行兩項物聯網整合應用的雛形開發，應用項目為火災逃生路徑規劃及跨攝影機影像物件追蹤。

二、 其他議題：

- 確認試辦區域相關資料(如航照影像、測繪車是否能進行拍攝等)，相關細節確認完成後與內政部討論該區域是否可為此計劃之試辦區域。

- 散會 (15:30)

內政部 「108 年度三維地形圖資技術發展工作案」

第一次工作會議簽到單			
會議時間		108 年 04 月 03 日 下午 2:00	
會議地點		中央大學太遙中心-空間運算實驗室	
編號	所屬單位	姓名	簽名欄
01	內政部地政司	吳俊毅	吳俊毅
02	國立中央大學	蔡富安	蔡富安
03	國立中央大學	黃智遠	黃智遠
04	國立中央大學	劉育青	劉育青
05	國立中央大學	楊清松	楊清松
06	國立交通大學	張智安	張智安
07	台灣世曦	仝宜中	仝宜中
08	台灣世曦	林立哲	林立哲

108 年度

三維地形圖資技術發展工作案

第二次工作會議紀錄

- 時間：108 年 05 月 22 日 11:00
- 地點：國立中央大學太空及遙測研究中心 R2-221
- 出席人員：

內政部地政司	吳俊毅
國立中央大學太空及遙測研究中心	蔡富安、黃智遠、楊清松
國立交通大學土木工程學系	張智安
台灣世曦	仝宜中、林立哲
國立交通大學土木工程學系	史天元(學者代表)

- 議題：

一、 進度說明

(1) 試辦區選定與確認

1. 提出試辦區範圍，北以忠孝東路四段、南以信義路、東為基隆路及西以敦化南路一段為界，範圍約 120 公頃。(經內政部代表同意)
2. 根據試辦區範圍，會議後進行圖資申請、購買等作業。

(2) 提升三維數值基本地形圖紋理品質及建築尺度細緻度

1. 規劃試辦區內之測繪車拍攝路線。
2. 會議後聯繫測繪車影像拍攝公司，並進行影像採購作業。

(3) 三維室內圖資與物聯網之整合方案及應用試辦

1. 提出室內即時火災逃生路徑規劃的初步模擬成果。
 - i. 布設溫度、煙霧監測器於建物各處，即時取得火災發生事件、火災起火點、火勢蔓延位置等資訊。
 - ii. 結合三維模型及路網模型，計算最佳逃生路徑、預估火場狀態

等。

iii. 透過通訊技術推播火災逃生資訊至警報系統、移動載具、穿戴裝置通知民眾執行正確的逃生行動。

2. 規劃跨攝影機影像物件追蹤。

i. 利用三維模型與攝影機拍攝方位分析視域範圍。

ii. 利用語意網技術整合攝影機拍攝範圍及路網資訊之空間關係。

iii. 萃取影像中移動物體特徵，判斷跨影像移動物體之相似性，以建立其語意網資源連結。

二、 其他議題：

- 計劃主持人提議：因計劃時程較趕，且跨攝影機影像物件追蹤具有肖像權等疑慮問題，故物聯網應用重點應放在「室內即時火災逃生路徑規劃」之實作與完善，專注於單一應用，亦可豐富應用內涵。
(提議經內政部代表同意)

● 散會 (11:50)

內政部「108 年度三維地形圖資技術發展工作案」

第二次工作會議簽到單			
會議時間		108 年 05 月 22 日上午 11:00	
會議地點		中央大學太遙中心-空間運算實驗室	
編號	所屬單位	姓名	簽名欄
01	內政部地政司	吳俊毅	吳俊毅
02	國立中央大學	蔡富安	蔡富安
03	國立中央大學	黃智遠	黃智遠
04	國立中央大學	楊清松	楊清松
05	國立交通大學	張智安	張智安
06	台灣世曦	仝宜中	仝宜中
07	國立交通大學	史天元	史天元

108 年度

三維地形圖資技術發展工作案

第三次工作會議紀錄

- 時間：108 年 06 月 27 日 14:00
- 地點：國立中央大學太空及遙測研究中心 R2-223_2
- 出席人員：

內政部地政司

紀凱程

國立中央大學太空及遙測研究中心

蔡富安、黃智遠、劉育青、楊清松

國立交通大學土木工程學系

張智安

台灣世曦

林立哲

- 議題：

一、 期中進度說明

(1) 試辦區

1. 完成建置試辦區 LOD1 房屋模型。
2. 試辦區測繪車影像拍攝蒐集中。

(2) 研發三維數值基本地形圖房屋模型及道路標線自動化產製技術

1. 完成初步三維房屋模型向量化程序。
2. 檢核、偵測房屋區域成果。
3. 精化房屋區域。
4. 完成初步道路標線偵測程序。

(3) 提升三維數值基本地形圖紋理品質及建築尺度細緻度

1. 分析測繪車資料，如鏡頭方位角、位置等。
2. 解算房屋牆面、測繪車影像兩者對應關係。
3. 分析點雲資訊，並與房屋模型進行歸類、簡化作業。

4. 點雲高程萃取，匹配房屋模型高度。
5. 蒐集太遙中心大廳影像、點雲資訊。

(4) 精進三維地形圖資測製技術文件

1. 說明三維地形圖資產製成果之資料格式。
2. 說明三維地形圖資檢核作業項目內容與檢核作業執行方式。
3. 說明三維地形圖資各項檢核作業項目之量化指標或是檢核標準。

(5) 三維室內圖資與物聯網之整合方案及應用試辦

1. 室內即時火災逃生路徑規劃應用、架構設計。
2. 完成路徑規劃模組，以 Dijkstra 演算法進行導航。
3. 完成火災監測資料庫端，正在排除錯誤以及穩定度測試。
4. 以 Node.js 進行實作，開發火災即時整合資訊模組與火災危險節點計算模組。(開發中)
5. 持續蒐集建物內溫度觀測數據，以 ZigBee 及 Huang and Chen (2019)方法建立裝置與閘道器的傳輸。(開發中)

二、 其他議題：

- 無。
- 散會 (15:30)

內政部 「108 年度三維地形圖資技術發展工作案」

第三次工作會議簽到單			
會議時間		108 年 06 月 27 日 下午 2:00	
會議地點		中央大學太遙中心 R223-2	
編號	所屬單位	姓名	簽名欄
01	內政部地政司	紀凱程	紀凱程
02	國立中央大學	蔡富安	蔡富安
03	國立中央大學	黃智遠	黃智遠
04	國立中央大學	劉育青	劉育青
05	國立中央大學	楊清松	楊清松
06	國立交通大學	張智安	張智安
07	台灣世曦	林立哲	林立哲

108 年度

三維地形圖資技術發展工作案

第四次工作會議紀錄

- 時間：108 年 07 月 29 日 14:00
- 地點：國立中央大學太空及遙測研究中心 R2-219
- 出席人員：
國立中央大學太空及遙測研究中心 蔡富安、黃智遠、劉育青、楊清松
台灣世曦 林立哲

- 議題：

一、 進度說明

(1) 試辦區

1. 試辦區-測量車影像拍攝完成，廠商處理資料中。

(2) 研發三維數值基本地形圖房屋模型及道路標線自動化產製技術

1. 完成二維房屋區域自動化辨識。
2. 完成道路標線自動化辨識。
3. 完成房屋區域與道路標線自動化辨識。

(3) 提升三維數值基本地形圖紋理品質及建築尺度細緻度

1. 完成測繪車影像資料分析。
2. 完成多視角影像提升模型流程架構設計。
3. 完成透過光達點雲與房屋模型進行試辦與效能評估。

(4) 精進三維地形圖資測製技術文件

1. 精進三維地形圖核心類別的測製及檢核作業技術文件(初步規劃)。

(5) 三維室內圖資與物聯網之整合方案及應用試辦

1. 提出應用之系統架構及各組件，包含物聯網裝置、閘道器、標

準化物聯網資料庫、資料整合模組、路徑規劃模組以及客戶端展示。

2. 部分組件已完成，各組件完成後將進行系統整合測試。

二、 其他議題：

- 無。

- 散會 (15:30)

內政部 「108 年度三維地形圖資技術發展工作案」

第四次工作會議簽到單			
會議時間		108 年 07 月 29 日 下午 2:00	
會議地點		中央大學太遙中心 R2_219	
編號	所屬單位	姓名	簽名欄
01	國立中央大學	蔡富安	蔡富安
02	國立中央大學	黃智遠	黃智遠
03	國立中央大學	劉育青	劉育青
04	國立中央大學	楊清松	楊清松
05	台灣世曦	林立哲	林立哲

108 年度

三維地形圖資技術發展工作案

第五次工作會議紀錄

- 時間：108 年 08 月 22 日 14:00
- 地點：國立中央大學太空及遙測研究中心 R2-219
- 出席人員：

國立中央大學太空及遙測研究中心	蔡富安、劉育青、楊清松、陳信憲
國立交通大學土木工程學系	張智安
台灣世曦	林立哲
- 議題：
 - 一、 進度說明
 - (1) 研發三維數值基本地形圖房屋模型及道路標線自動化產製技術
 - 1. 精化房屋針測區域。
 - 2. 提出道路標線重建流程，以利後續進行數化訓練區等作業。
 - (2) 提升三維數值基本地形圖紋理品質及建築尺度細緻度
 - 1. 分析測繪車資料，並進行 AOI 區域影像擷取。
 - 2. 分析紋理資料庫之 HSI 數值，進行匹配作業測試。
 - (3) 精進三維地形圖資測製技術文件
 - 1. 說明三維地形圖資各項檢核作業項目之量化指標或是檢核標準。
 - (4) 三維室內圖資與物聯網之整合方案及應用試辦
 - 1. 完成室內即時火災逃生路徑網頁應用介面第一版。
 - 2. 測試即時路徑逃生、物聯網驅動裝置測試
 - 二、 其他議題：
 - 無。

- 散會 (15:00)

內政部 「108 年度三維地形圖資技術發展工作案」

第五次工作會議簽到單			
會議時間		108 年 08 月 22 日 下午 2:00	
會議地點		中央大學太遙中心 R2_219	
編號	所屬單位	姓名	簽名欄
01	國立中央大學	蔡富安	蔡富安
02	國立中央大學	劉育青	劉育青
03	國立中央大學	楊清松	楊清松
04	國立中央大學	陳信憲	陳信憲
05	國立交通大學	張智安	張智安
06	台灣世曦	林立哲	林立哲

108 年度

三維地形圖資技術發展工作案

第六次工作會議紀錄

- 時間：108 年 10 月 02 日 14:00

(原定 108 年 9 月 30 日，因颱風順延至 108 年 10 月 02 日)

- 地點：國立中央大學太空及遙測研究中心 R2-219

- 出席人員：

國立中央大學太空及遙測研究中心 蔡富安、黃智遠、劉育青、楊清松、
陳信憲

國立臺北科技大學 陳偉堯

- 議題：

一、 進度說明

(1) 提升三維數值基本地形圖紋理品質及建築尺度細緻度

1. 加入大津演算法，進行 AOI 區域影像分析。
2. 進行室內模型 Mesh 切割、物件建立。

(2) 三維室內圖資與物聯網之整合方案及應用試辦

1. 完成開發火災即時整合資訊模組與火災危險節點計算模組。
2. 完成 ZigBee 及 Huang and Chen (2019)方法建立裝置與閘道器的傳輸。
3. 進行物聯網與裝置間的驅動測試。

(3) 國立臺北科技大學陳偉堯教授意見

1. 本計畫(工作案)的工作包括房屋模型自動化產製和道路標線自動化產製，在房屋模型自動化產製部份的精度評估採用整體精度(Overall Accuracy)、正確性(Correctness)、完整性(Completeness)及 IoU 指標(第 26 頁和 35 頁)，但是在道路標線自動化產製部份則只有 Accuracy(是指整體精度嗎?)和 IoU 指標(第 40 頁)，或可考慮仿照道路萃取的方式(見附件)也納入正確性和完整性指

標，以使兩項工作的精度評估方法更趨於一致。(在不妨礙整體工作進程的條件下，否則忽略此意見)

2. 本計畫採用內湖、民權路及建國高架道路的資料建置訓練和檢核資料(第 36 頁)，由於將來要使用數值地形模型計算道路標記的高程，形成三維道路標記(第 30 頁)，不知是否會區分平面道路和高架道路(ground and elevated roads)？
3. 本計畫(工作案)的「設置跨 CCTV 攝影機影像物件追蹤之應用試辦場域」已經取消(見第 15 頁的表 3-1-1)，因此同一個表中的「完成跨 CCTV 攝影機影像物件追蹤之應用試辦」似乎應該加以註銷。同理，第 20 頁的第 5 行的 CCTV 等字似應刪除。
4. 報告格式問題：標題不宜在一頁的最後一行，如 30 頁、112 頁和 114 頁。另外，附錄 D 的第七節似乎應該接續前頁，而不是另起一頁(其他節沒有同樣的問題)。
5. 英文摘要第 9 行和第 10 行，兩個 map 應該加 s。

二、 其他議題：

- 無。

- 散會 (15:30)

內政部 「108 年度三維地形圖資技術發展工作案」

第六次工作會議簽到單			
會議時間		108 年 10 月 02 日 下午 2:00 (原定 108 年 9 月 30 日，因颱風 順延至 108 年 10 月 02 日)	
會議地點		中央大學太遙中心 R2_219	
編號	所屬單位	姓名	簽名欄
01	國立中央大學	蔡富安	蔡富安
02	國立中央大學	黃智遠	黃智遠
03	國立中央大學	劉育青	劉育青
04	國立中央大學	楊清松	楊清松
05	國立中央大學	陳信憲	陳信憲
06	國立臺北科技大學	陳偉堯	陳偉堯

108 年度

三維地形圖資技術發展工作案

第七次工作會議紀錄

- 時間：108 年 10 月 29 日 14:00
- 地點：國立中央大學太空及遙測研究中心 R2-219
- 出席人員：

內政部地政司

紀凱程

國立中央大學太空及遙測研究中心

蔡富安、黃智遠、劉育青、楊清松、
陳信憲

國立交通大學土木工程學系

張智安

- 議題：

一、 進度說明

(1) 研發三維數值基本地形圖房屋模型及道路標線自動化產製技術：

1. 建立道路標線自動化辨識及重建流程。
 - (a) 人工數化訓練區:增加獨立檢核區 119 個。
 - (b) 精化獨立檢核區針測成果。
2. 提出精進前項圖資測製技術自動化程度或品質方案。
 - (a) 偵測：深度學習於三維地形圖測製。包括「精進遷移學習的初始網路模型」與「從現有圖資建立訓練集」。
 - (b) 重建：圖徵化與向量化於三維地形圖測製。包括「精進從特徵到圖徵」與「精進從三角網模型到三維稜面體模型」。
 - (c) 升級國際標準（升級至 OGC CityGML 3.0）。

(2) 提升三維數值基本地形圖紋理品質及建築尺度細緻度

1. 以測繪車測製影像作為基礎，偵測三維數值地形圖模型牆面，並進行紋理判別，找出與真實影像最相近之通用紋理。

- (a) 色群分析：分析大津演算法辨識 AOI 影像之影像。
 - (b) 紋理匹配：匹配色群分析與紋理資料庫之影像。
 - (c) 紋理敷貼：將影像敷貼至牆面。
2. 透過既有資料發展近景多視角影像提升三維房屋及道路模型，並評估建置效能。
 - (a) 分析航照產製之點雲高程，將高程提供予模型與道路模型。
 - (b) 分析光達點雲與航照點雲產製之模型高度差異。
 3. 由影像或點雲資訊搭配既有資料發展重建三維室內模型技術。
 - (a) 完成 Mesh 模型與物件模型的結合。
 - (b) 提出三角面與四角面模型適用建議。
- (3) 三維室內圖資與物聯網之整合方案及應用試辦
 1. 展示室內即時火災逃生路徑應用介面。
 2. 透過網頁介面與物聯網結合，驅動火災蜂鳴器。
 - (4) 確認期末各項繳交成果。
- 二、 其他議題：
- 無。
 - 散會 (15:40)

內政部 「108 年度三維地形圖資技術發展工作案」

第七次工作會議簽到單			
會議時間		108 年 10 月 29 日 下午 2:00	
會議地點		中央大學太遙中心 R2_219	
編號	所屬單位	姓名	簽名欄
01	內政部地政司	紀凱程	紀凱程
02	國立中央大學	蔡富安	蔡富安
03	國立中央大學	黃智遠	黃智遠
04	國立中央大學	劉育青	劉育青
05	國立中央大學	楊清松	楊清松
06	國立中央大學	陳信憲	陳信憲
07	國立交通大學	張智安	張智安

附件 D：購買三維地形圖資測製所需之相關文件

臺北市府都市發展局 數值圖檔 府外單位申請表

108年 6月 4日

申請單位	國立中央大學太空及遙測研究中心	性別	<input checked="" type="checkbox"/> 男 <input type="checkbox"/> 女 <input type="checkbox"/> 其他
聯絡人	姓名	劉育青	
	電話	03-422-7151(分機57695)	
	地址	3 2 0 0 1 桃園市中壢區中大路300號-太遙中心 R2-219	
	電子信箱	liuyuching0402@gmail.com	
用途(業務性質/研究計畫)	研究計畫-108年度三維地形圖資技術發展工作案		
數值地形圖	坐標系統	<input checked="" type="checkbox"/> TWD97 <input type="checkbox"/> TWD67(維護至98年版)	
	比例尺	<input checked="" type="checkbox"/> 1/1000 <input type="checkbox"/> 1/5000 <input type="checkbox"/> 1/10000 <input type="checkbox"/> 1/25000 (註：1/10000僅有 TWD67系統)	
	格式	<input checked="" type="checkbox"/> MicroStation DGN <input type="checkbox"/> AutoCAD DXF <input type="checkbox"/> MapInfo MIF <input type="checkbox"/> ArcView SHP <input type="checkbox"/> Google KML (註：後三者僅提供1/1000比例尺，最後者僅提供 TWD97系統)	
	範圍	<input checked="" type="checkbox"/> 圖號列舉(或詳如附件圖幅接合表)：N4343、N4344、N4443、N4444、N4543、N4544 <input type="checkbox"/> 全套	
航測正射影像圖	坐標系統	<input checked="" type="checkbox"/> TWD97 <input type="checkbox"/> TWD67(維護至98年版)	
	比例尺	<input checked="" type="checkbox"/> 1/1000 <input type="checkbox"/> 1/5000 <input type="checkbox"/> 1/10000 <input type="checkbox"/> 1/25000 (註：1/10000僅有 TWD67系統)	
	範圍	<input checked="" type="checkbox"/> 圖號列舉(或詳如附件圖幅接合表)：N4343、N4344、N4443、N4444、N4543、N4544 <input type="checkbox"/> 全套 (註：TWD97系統可提供 NIR 影像，請於本欄註明)	
歷史類比圖	種類	<input type="checkbox"/> 1/1200日據時期水道圖 <input type="checkbox"/> 1/3000日據時期測量原圖 <input type="checkbox"/> 1/1200日據時期實測圖 <input type="checkbox"/> 1/1200 47年版地形圖 <input type="checkbox"/> 1/1200 58年版地形圖 <input type="checkbox"/> 1/1000 69年版地形圖	
	範圍	<input type="checkbox"/> 圖號列舉(或詳如附件圖幅接合表)： <input type="checkbox"/> 全套	
數值地	種類	<input checked="" type="checkbox"/> 數值高程模型10公尺網格間距 <input checked="" type="checkbox"/> 數值地表模型10公尺網格間距	

附件 E：三維地形圖核心類別的測製及檢核作業技術文件

三維地形圖資測製技術指引(初稿)

一、目的

隨著三維測圖技術的發展成熟，三維空間資訊的需求及應用成為趨勢，都會區的空間規劃、管理、以及未來第三代行動通訊細胞網路設計都需要準確的三維空間資訊。都市地區現況地貌及地物之三維空間資料稱為三維城市模型 (3D City Model)。然而，三維地形圖可視為是傳統二維數值地形圖之延伸，因此三維地形圖建置方法亦為二維數值地形圖建置方法之延伸，本作業技術指引旨在建立測製標準，使至所生產的三維地形圖資有共同的細緻度與精度品質，有效評估應用的效能，並提供各級政府未來之三維地形圖建置作業有所依循，特訂定此技術指引。本技術指引訂定的目標如下：

- 提供本技術指引所界定之三維地形圖核心類別的定義、所包含之項目、測製細緻度及幾何精度，以及其座標系統及單位
- 提供本技術指引所界定之三維地形圖核心類別建置作業準則
- 提供本技術指引所界定之三維地形圖核心類別檢核作業準則

二、適用範圍

本技術指引之適用範圍為三維地形圖核心類別之建置，或於傳統地形圖新測或修測工作同時進行三維地形圖之產製。技術指引之設計以測量製圖及空間資訊的應用為導向，規範各類別之細緻度及準確度，細緻度的要求包含物件外型幾何塑模的完整度，準確度則是物件外型明確角點坐標之精度必須符合所訂定之標準。

本技術指引所界定之三維地形圖核心類別為二維地形圖之表現維度的延伸，從二維圖形延伸為三維的模型。因此，依本技術指引所建置之三維

地形圖資料，不但具備數位塑模之細緻度，同時坐標精度需符合地形圖之測量準確度，亦即可以轉換為符合地形圖測繪精度的圖層，亦可以形成三維城市模型資料中之類別。

本技術指引之重點，主要針對可以自動生成並支援大多數應用領域的模型等級，CityGML 支援的模型細緻等級中，LOD0、LOD1 及 LOD2 是自動化產生程度較高的級別，將分別逐各核心類別說明。LOD3 及 LOD4 則需要大量的人工介入，其應用已涉及建築物內部資訊，較多應用於建築產業的 IFC/IFD 標準，是另一個介面及領域，不在本技術指引文件範圍。

三、應用及適用對象

本技術指引適用於整合各式圖資之三維地形圖資建置計畫，亦適用於地形圖新測或修測工作同時建置三維地形圖之計畫。以測量製圖及空間資訊的應用為主，其成果可適用於國土資訊系統或民間之各類應用，本技術指引不限制適用對象及應用場合。

四、引用相關標準

以下條列本技術指引制訂過程中參考下列相關標準：

1. Open Geospatial Consortium (OGC), 2012, Version2.0.0, CityGML Implementation Specification.
2. 2017, Version2.1.0, Technical Specifications for the Construction of 3DIMGeo.
3. 內政部，2007，1.0 版，國土資訊系統標準制度制定須知。
4. 內政部，2009，三維房屋模型建置作業規範(草案)。
5. 內政部，2009，三維房屋模型資料標準格式(草案)。
6. 內政部，2013，三維道路模型建置作業手冊
7. 內政部，2014，地形資料分類架構。
8. 內政部，2016，第二版，國土資訊系統資料標準共同規範。

五、專有名詞及縮寫

本節之專有名詞或縮寫分別參考 CityGML 標準及國土資訊系統相關名詞解釋彙編等，專有名詞列舉如表 5-1，名稱縮寫列舉如表 5-2。

表 5-1、專有名詞

英文名稱	中文名稱	定義	參考來源
3D City Model	三維城市模型	都市地區三維空間資訊	
aggregation	聚合性	特殊之關聯性關係，表達兩物體之間的關係為全體及全體中之某部分。	ISO/TC211
Boundary representation	邊界表示法	電腦製圖中以邊界圖元描述物體外型之方法	
class	類別	有關具有共同屬性、操作、方法、關係及語意物件集合的描述	ISO/TC211
data type	資料型別	特定資料範圍的規格，允許有關對應範圍的操作	ISO/TC211
entity	實體	地理資訊系統中具有空間及屬性描述資料之物件類別	
feature	圖徵	具有共同特性之現實世界現象的抽象化表示	ISO/TC211
feature association	圖徵關聯性	存在於同一類圖徵型別或不同圖徵型別之間的關係	ISO/TC211
main use of building	房屋主要用途	記錄登記之房屋的主要用途，如住家用、商業用、工業用等。	國土資訊系統土地基本資料庫標準制度專有名詞
modeling	塑模	建立地物之三維幾何描述資料	
NGIS	國土資訊系統	結合全國各種具有空間分佈特性之地理資料，以分工合作方式達到資料共享與多目標應用之整合性分散式地理資訊系統	內政部資訊中心
polygon	多邊形	由單一外包邊界（outer boundary）及一至多個內邊界（inner boundaries）所描述的二維幾何單元	ISO/TC211
schema	綱要	描述物件特性即與其他物件關係的抽象化表示，XML 綱要被用以描述 XML 物件之屬性及其元素關係	ISO/TC211
structure of building	房屋主體構造	房屋所使用之主體結構。	國土資訊系統土地基本資料庫標準制度專有名詞

英文名稱	中文名稱	定義	參考來源
use of accessory building	層次或附屬房屋用途	說明房屋分層或附屬房屋的用途，如一層、二層、三層，及陽台、防空避難室、水塔等。	國土資訊系統土地基本資料庫標準制度專有名詞
encoding	編碼	將資料轉換為一連串之代碼的過程	ISO/TC211
aerial triangulation	空中三角測量	利用相鄰航攝像片重疊區域之視差幾何學原理，並結合攝影站空中位置建立空間立體幾何關係，以類似於地面三角測量之方法推算像片上點位的坐標及每張像片之空間方位的測量技術。簡稱「空三」。	NGIS
attribute	屬性	(1)地理圖徵之非空間屬性，通常與其空間表示具有連結之關係，其內容可以不同資料型別記錄，並可透過資料庫管理。(2)在 UML 表示中，係指某類別實體所具有的文字及數字資料。(3)在 XML 表示中，係指 XML 資訊集 (information set) 的一個資訊項目 (information item)，用以記錄一個元素 (element) 之名稱與數值。	NGIS
contour interval	等高線間隔、等高線間距	兩相鄰等高線間的高度差距。	ESRI
inheritance	繼承	特定元素包括一般元素之結構及行為的機制。在物件導向之觀念中，子類別由其父類別取得屬性及方法之操作。	ISO/TC211
topographic map	地形圖	一種呈現地表起伏變化的一般參考地圖，其內容包括各類自然與人文景觀。我國目前主要產製之地形圖包括 1/1000、1/5000 和 1/25000 等不同之比例尺，可滿足不同應用場合之需求。	NGIS

表 5-2、名稱縮寫

英文縮寫	英文名稱	中文名稱
GML	Geography Markup Language	地理標記語言
ISO	International Organization for Standardization	國際標準組織
LOD	Level Of Detail	細緻度等級
OGC	Open Geospatial Consortium	開放空間資訊協定組織
TIN	Triangulated Irregular Network	不規則三角網
UML	Unified Modeling Language	統一塑模語言
XML	eXtensible Markup Language	可擴充式標記語言

六、三維地形圖核心類別定義

本技術指引所定義之三維地形圖，其作業原理是將已經存在二維地形圖元件的延伸，LOD0 是以多邊形表現各核心類別的平面幾何及相互之間的拓撲關係，再由地表、地上或地下呈現立體交叉的不同物件。基於 LOD0 的既有多邊形，高細緻度模型以低細緻度模型為基礎逐漸發展出 LOD1、LOD2 及 LOD3 等不同級別。

6.1 LOD0 模型規格及類別

在 CityGML 定義中的 LOD0 是以 2.5D 連續表面的方式呈現，於本技術指引文件中，則可區分為地表表面及地上或地下表面兩部份。在地表表面部份，每個多邊形都有自己的 2.5D 表面，每個二維坐標都帶有高程資訊，並以不規則三角網(TIN)或是網格(grid)的形式表現；地上或地下表面部份，也以同樣的方式搭配組合，故相同的平面位置可能存在不同高程的獨立物件。

6.1.1 地表表面的 LOD0

地面上的物體以平面分區存在，物體之間並無縫隙或是相互重疊，所有的單獨特徵應於地面上共同形成 2.5D 的拓撲封閉結構。在 CityGML 定義中，地形交叉曲線是描述地形三角網 TIN 中的明確曲面，用於描述與地平面的交點。以上述形式於 LOD0 中表現的核心類別如表 6.1-1 所示。

表 6.1-1、地表表面 LOD0 各類別建置物件圖層列表

物件	地形分類架構編碼	CityGML 類別
道路	9420000	Traffic Area
土地利用	對應土地使用分區類別	Land Use
植被	9700000	Plant Cover
水體	9500000	Water Body
房屋	9310000	Building

在本技術指引中，LOD0 是由相鄰的三角網表面集合而成，同時具有可識別對象的邊界，地面上所有多邊形（水，道路，建築物，土地利用，植

被) 的 LOD0 幾何形狀應形成 2.5D 的平面分區 (無孔隙或重疊)。

在 2D 中, 多邊形的邊界是在平面上劃分。在 3D 中, 這些邊界的部分可以垂直表面來描繪 (如圖 6.1-1)。實務上, 許多演算法在 TIN 的計算上尚無法用於垂直表面, GIS 軟體在處理這類 TIN 資料經常無法計算, 透過垂直面的上側和下側彼此相距最小的傾斜角度, 可以避免 TIN 中的垂直表面。

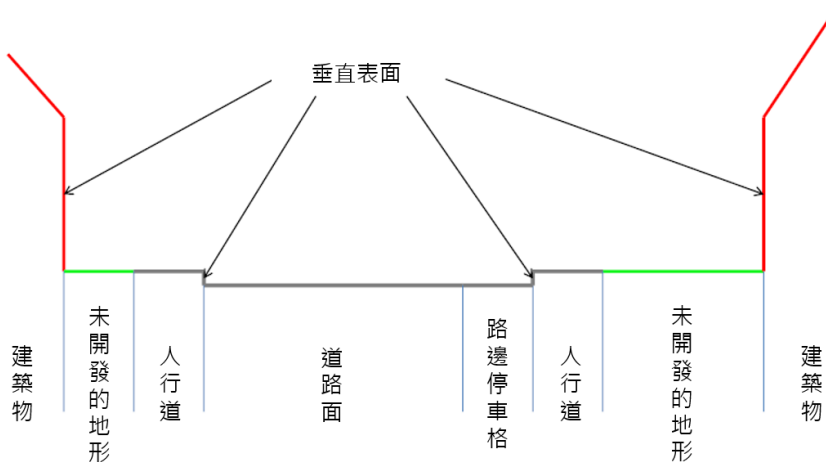


圖 6.1-1、各類型物件相鄰垂直表面示意圖

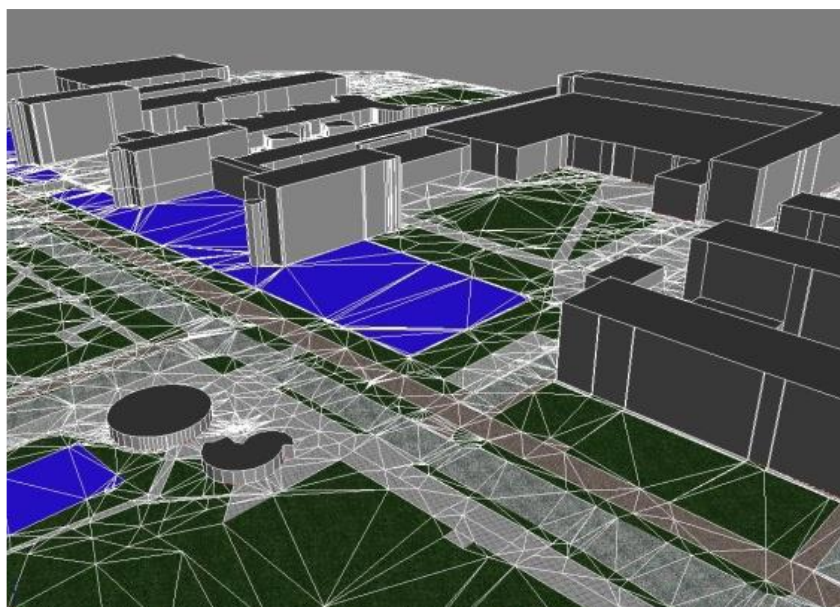


圖 6.1-2、三角網地形表面結合 LOD1 建物模型

6.1.2 地上或地下的 LOD0

地面以上或以下的多邊形在 LOD0 中建模如圖 6.1-3 (Oude Elberink , 2010)，利用其真實高程於三維空間組成三角網，此類物件與地表表面的 LOD0 物件相接處，需要增加新的二維邊界(如下圖 b)；此外，為了定義額外的三維變化並確保地表表面 LOD0 沒有破洞，可能需要在 2D 中的位置上方(或下方)添加地形表面(如下圖 c 和 d)。

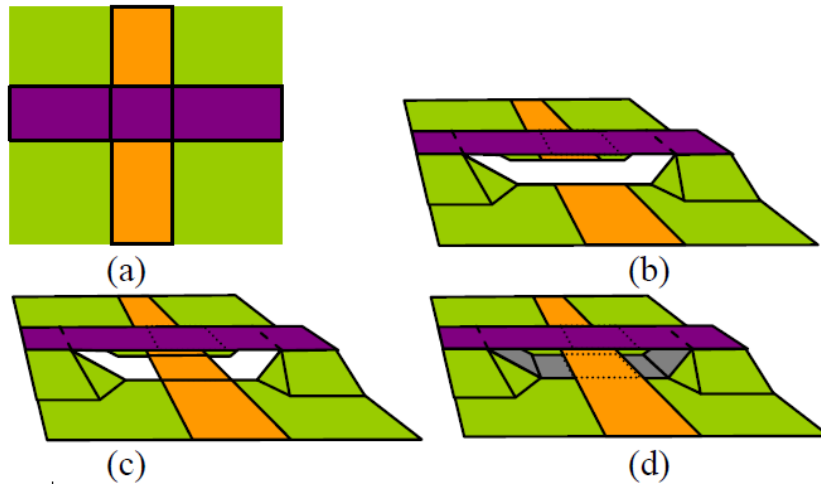


圖 6.1-3、地上或地下 LOD0 示意圖

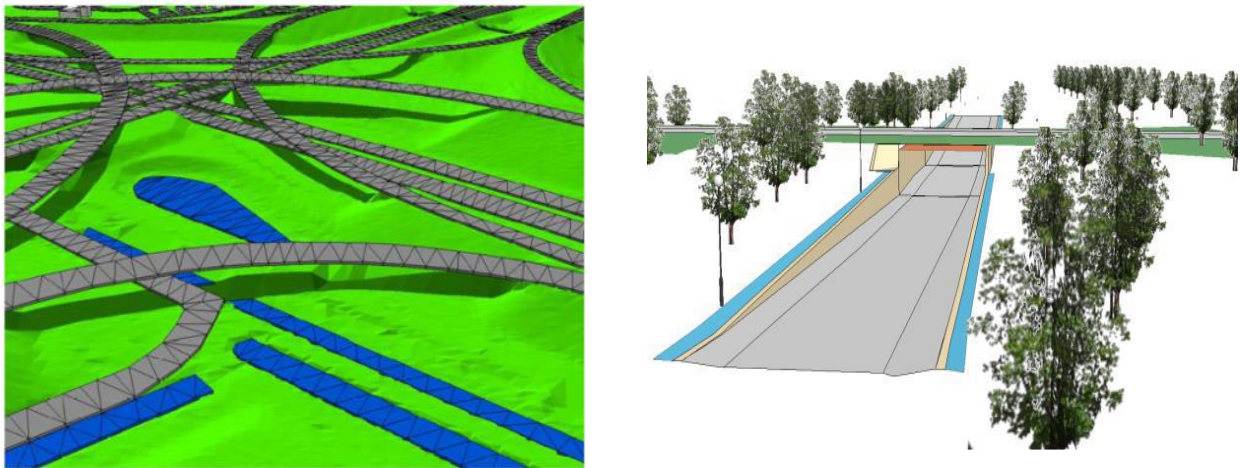


圖 6.1-4、LOD0 立體交叉示意圖

6.2 房屋模型定義

6.2.1 房屋實體構件及屬性

本技術指引文件所定義之房屋三維模型只描述房屋之外觀形體，數位塑模只限於房屋地上樓層之幾何構造及外觀，不包含房屋內部空間及設施及房屋地下樓層構造。外觀部分亦不實質模塑房屋門、窗、招牌、及任何不屬於房屋結構體之設施，而是以仿真或虛擬紋理影像敷貼於模型面，達到外觀之辨識度。

房屋模型以共同地基或共同結構體之房屋為單元，亦即以一般所認知的一棟房屋或一幢房屋為數位塑模單元，從空間資訊觀點即為房屋實體(entity)。針對每一房屋實體賦予獨立的幾何及外觀描述(即空間資料描述)，以及房屋相關之屬性資料描述。某一房屋實體可能只由其主要結構體形成，稱為房屋主體，也可能由其房屋主體及依附於房屋主體之不同高度或不同建材之房屋分部(臺灣常見的房屋分部的房屋側邊增建或頂樓增建之次結構體等)或房屋裝置(臺灣常見的有電梯間、陽台、或水塔等)而構成。亦即房屋實體之構件包含房屋主體、分部及裝置(圖 6.2-1)，可分別塑模賦予空間及屬性資料形成子實體(sub-entity)，並聚合(aggregate)成單一實體。



圖 6.2-1、房屋構建範例

6.2.2 房屋模型描述項目

房屋模型的描述依據上節所述之三種房屋實體構件分別描述，每一種實體構件都具有空間及屬性資料描述項目，空間資料則又分成房屋實體構件幾何資訊項目及房屋表面材質及紋理描述項目。以下分別說明描述項目

之內容及細節：

- 幾何資訊描述項目

房屋實體構件之三維幾何描述採用邊界表示法 (boundary representation)，亦即以三維面特徵 (3D surface features) 來構成房屋模型。一個三維面特徵可以由單一個三維平面多邊形 (3D polygon) 構成，或者由一個多邊網 (polymesh) 或不規則三角網 (TIN) 構成。本技術文件指引將構成房屋模型之面特徵分成下列幾類：屋頂面特徵 (roof surfaces)、牆面特徵 (wall surfaces)、地面特徵 (ground surfaces) 及閉合面特徵 (closure surfaces)。每種面特徵都必須紀錄面向，以區別模型外部及內部表面。房屋主體或分部之幾何描述主要以屋頂面特徵及牆面特徵構成，必要時可加上閉合面特徵使模型更完整。屋頂面特徵原則上以房屋屋頂的滴水線形成，屋簷可視為屋頂面的一部份如圖 6.2-2，其垂直投影後之二維向量圖應與地形圖或電子地圖等二維圖資來源之房屋向量圖層相同。牆面特徵用來描述房屋側牆，牆面特徵應互相銜接並應與屋頂面及地表面銜接構成封閉之房屋立體模型。非屋頂面或牆面部分則以封閉面特徵填補。房屋裝置之幾何描述則單純以封閉面特徵構成。

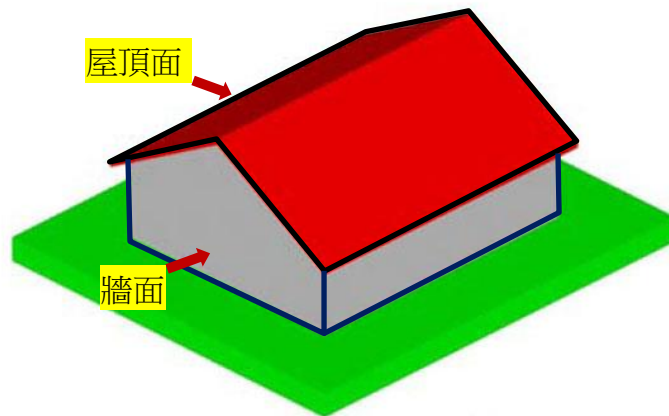


圖 6.2-2、房屋屋頂面及牆面特徵

- 房屋表面材質及紋理描述項目

房屋模型外部表面應具表面材質之描述，並數貼仿真紋理影像、虛擬紋理、或色彩，以描述房屋模型的外觀。因此，上述之三種面特徵都應具

表面材質及紋理之描述資料。本技術指引文件要求的表面材質之描述項目為亮度 (shininess) 及透明度 (transparency)，值域為 0~1，其他選項描述參考 CityGML 標準。屋頂面之紋理採航照影像建置，依據資料來源採用不同的方案，若是資料來源為原始航照影像搭配空中三角解算方位，則以逆轉換方式（圖 6.2-3）產製屋頂真實正射影像；若無原始航照影像，則採用半自動化人工判釋方式，以分割工作區塊方式逐區修正正射航照影像至屋頂位置，亦可採用小區塊影像、模擬紋理影像、或單純色彩以填滿或重複方式敷貼。房屋牆面之紋理建置主要利用牆面紋理資料庫敷貼，配合街景影像分析與匹配挑選資料庫內適合的紋理影像。紋理資料庫之建立主要透過牆面與騎樓相互搭配，參考臺灣街道常見之房屋外觀樣式，於資料庫中依照建築形式態樣進行分類，如都市區域常見之公寓、大廈、商辦、透天等類型，以及非都市區域常見之廠房、三合院、農舍等類型，如圖 6.2-4 所示，亦可採用以近景拍攝或空載傾斜攝影之牆面影像經糾正後敷貼（圖 6.2-5）、小區塊影像、模擬紋理影像或單純色彩以填滿或重複方式敷貼。房屋牆面原則上採用紋理材質庫敷貼，若有特殊需求時則可採用仿真紋理影像敷貼。

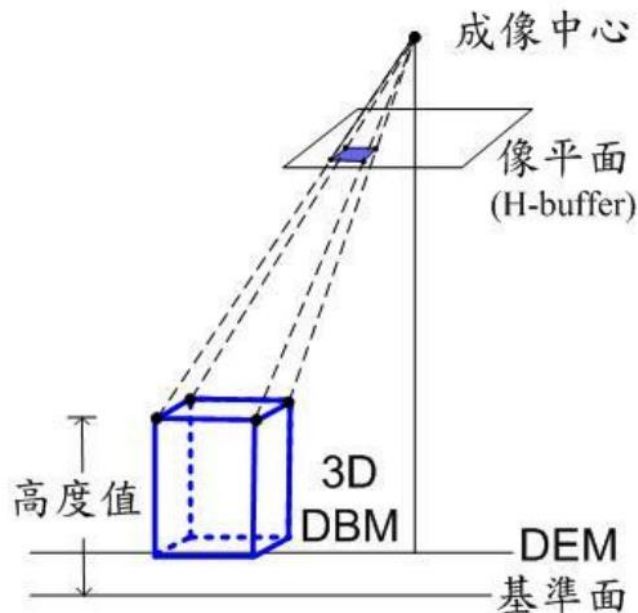


圖 6.2-3、產製屋頂真實正射示意圖

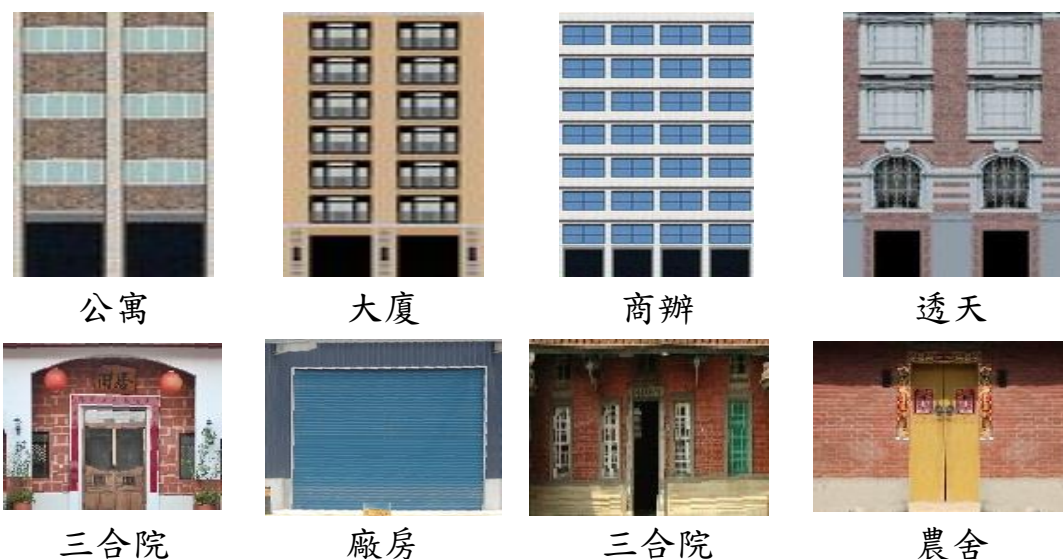


圖 6.2-4、各類型牆面紋理示意圖



圖 6.2-5、(a)房屋牆面近景影像 (b)牆面敷貼紋理之房屋模型

● 房屋屬性描述項目

CityGML 所訂定的房屋主體及分部之基本屬性資料項目，包含房屋類別 (Building Class Type)、房屋功能 (Building Function Type)、房屋用途 (Building Usage Type)、建造年份 (Year of Construction)、毀損年份 (Year of Demolition)、屋頂類型 (Roof Type)、房屋高度 (Measured Height)、地上樓層數 (Storeys above Ground)、地下樓層數 (Storeys below Ground)、地上各樓層高 (Storey Heights above Ground)、地下各樓層高 (Storey Heights below Ground)。從測量製圖觀點，本技術指引採用房屋類別、屋頂類型、房屋高度、及地上樓層數為基本屬性資料，但在資料格式中保留以上所有項目，以便未來加值應用。房屋類別屬性代碼如表 6.2-1，房屋屋頂型態屬性代碼

如表 6.2-2。

表 6.2-1、房屋類別屬性代碼

編號	代碼	定義
1.	1000	住家類
2.	1010	公共衛生類
3.	1020	行政部門類
4.	1030	商業及貿易類
5.	1040	飲食及服務類
6.	1050	娛樂類
7.	1060	體育及運動類
8.	1070	文化活動類
9.	1080	宗教類
10.	1090	農林類
11.	1100	學校、教育及研究類
12.	1110	維修及廢棄物管理類
13.	1120	保健醫療類
14.	1130	通訊類
15.	1140	保安類
16.	1150	倉儲類
17.	1160	工業類
18.	1170	交通類
19.	1180	其他類

表 6.2-2、房屋屋頂型態屬性代碼

編號	代碼	定義
1.	1000	水平面屋頂
2.	1010	單邊傾斜屋頂
3.	1030	山型或屋脊型屋頂
4.	1040	球型面屋頂
5.	1050	圓錐面屋頂
6.	1060	其他曲面屋頂
7.	1070	其他

CityGML 所訂定的房屋裝置基本屬性資料項目，則只包含房屋裝置類別 (Building Installation Class Type)、房屋裝置功能 (Building Installation Function Type)、房屋裝置用途 (Building Installation Usage Type)，本技術指引文件採用房屋裝置類別為基本屬性資料，房屋裝置類別屬性代碼如表 6.2-3。除此之外，於房屋模型建置實務中，除了原有的二維圖資所具備的屬性資料之外，額外規畫下列相關屬性欄位，以便提高房屋模型控管效率，房屋模型管控屬性代碼如表 6.2-4。

表 6.2-3、房屋裝置類別屬性代碼

編號	代碼	定義
1.	1000	頂樓電梯或樓梯間
2.	1010	頂樓水塔
3.	1020	頂樓涼亭或棚架
4.	1030	女兒牆
5.	1040	房屋側邊陽台
6.	1050	房屋側邊樓梯
7.	1060	拱廊或騎樓
8.	1070	煙囪
9.	1080	其他

表 6.2-4、房屋模型管控屬性代碼

編號	代碼	定義	
1.	1000	建物編號	利用建物中心點 TWD97 坐標資料以 32 位元編碼
2.	1010	建物結構	原建物結構， 如:R、B、M
3.	1020	建物樓層數	原建物樓層數
4.	1030	建物資料來源	記錄圖檔原始來源，如:花蓮市都市計畫區
5.	1040	建物屋頂高	DSM 高度(建物眾數)
6.	1050	建物高眾數層比例	建物高眾數層比例
7.	1060	建物樓高	建物屋頂高-建物地面高
8.	1070	測製日期	該地形圖記錄之測製日期，跨圖框則擇較新日期

編號	代碼	定義	
9.	1080	屋頂影像	屋頂所使用影像名稱
10.	1090	騎樓紋理	側面一樓使用影像名稱
11.	1100	牆面紋理	側面二樓及以上使用影像名稱
12.	1110	變遷比例統計	統計建物框內，DSM 與 DEM 高差值為 1.5 公尺以下之網格點比例
13.	1120	LOD1 模型	0：無轉製(過小、該區有 LOD2、LOD3 模型) 1：有轉製
14.	1130	LOD2 模型	0：無轉製 1：有轉製(控管有 LOD2 模型不轉製)
15.	1140	LOD3 模型	0：無轉製 1：有轉製(控管有 LOD3 模型不轉製)
16.	1150	共界註記	記錄有涵蓋圖框之數目(1~4)
17.	1160	圖幅編號	記錄有涵蓋圖框之圖號， 跨圖框處則以逗號進行區分
18.	1170	縣市名稱	B_臺中市、C_基隆市等， 跨圖框處則以逗號進行區分
19.	1180	模型檔案名稱	匯出後模型檔名
20.	1190	模型 E 坐標	建物中心點 E 坐標值(TWD97)
21..	1200	模型 N 坐標	建物中心點 N 坐標值(TWD97)

6.2.3 房屋模型細緻度等級

CityGML 針對房屋模型細緻度等級 (Level of Detail, LOD) 分為 LOD1、LOD2、LOD3 及 LOD4 四個等級 (圖 6.2-6 及 6.2-7)，簡易描述如下：

- LOD1: 塊狀模型 (Block Model)
- LOD2: 具屋頂結構模型 (Roof Structure Model)
- LOD3: 外部建築模型 (Outside Architectural Model)
- LOD4: 內部建築模型 (Interior Architectural Model)

本技術指引依循此分級方式，採用 LOD1、LOD2 及 LOD3 房屋模型等級，亦即應用本技術指引可選擇建置 LOD1、LOD2 及 LOD3 房屋模型資料，或者同時建置 LOD1、LOD2 及 LOD3 房屋模型資料。其中，LOD 1 為建物區塊模型，建物的牆面及屋頂皆由平坦平面構成；LOD 2 進一步表示不

同的屋頂結構及不同邊界的表面紋理；LOD 3 則是外部建築模型，表現建物屋頂及牆面的細節，包含了建物的門與窗。LOD 4 是內部建物模型，包含室內房間、樓梯、門、家俱。圖 6.2-8 為 OGC CityGML 所定義 LOD3 建物模型示意圖。

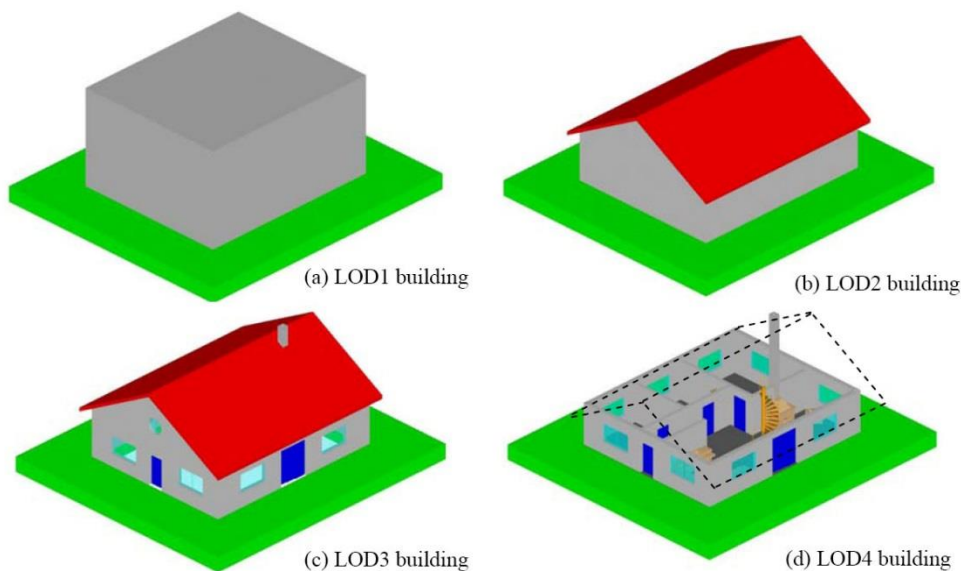


圖 6.2-6、LOD1、LOD2、LOD3 及 LOD4 四個房屋模型細緻度等級

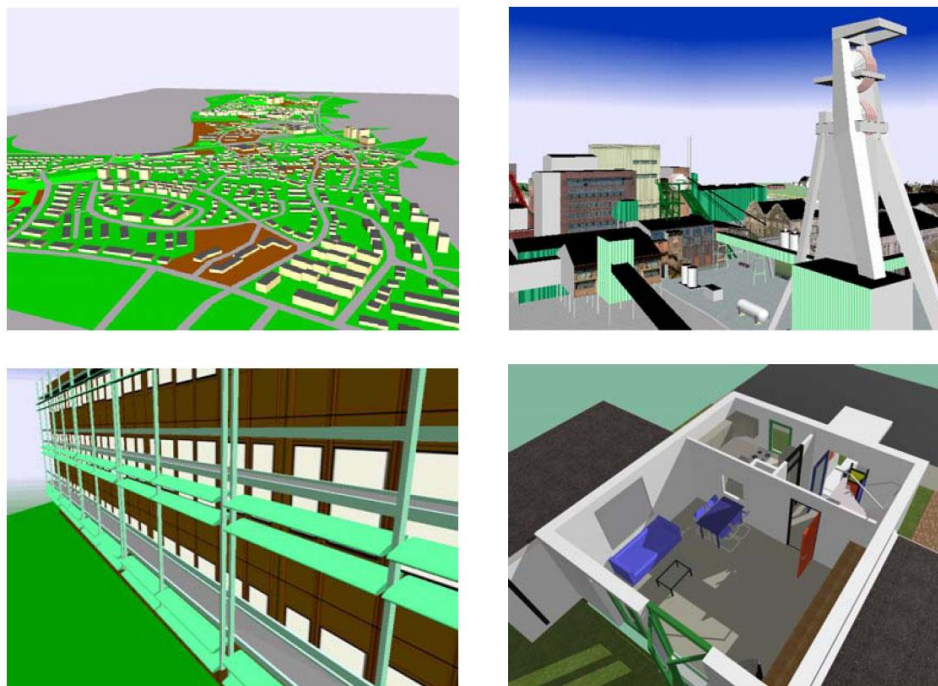


圖 6.2-7、LOD1、LOD2、LOD3 及 LOD4 四個等級房屋模型範例



圖 6.2-8、CityGML 定義 LOD3 建物模型(OGC)

6.2.4 房屋模型測製精度

因本技術指引所界定之三維房屋模型資料為地形圖房屋圖層之表現維度的延伸，而屋頂面特徵之垂直平行投影即可形成房屋邊界圖，因此若屋頂面特徵角點之平面坐標精度符合地形圖之測量準確度，則可以轉換為符合地形圖測繪精度的房屋圖層。因此本技術指引要求 LOD1 及 LOD2 房屋模型之屋頂面特徵角點之平面坐標精度應符合來源地形圖資之平面精度要求，三維高程精度要求則需符合來源數值地形模型之高程精度要求。

6.3 三維道路模型定義

本技術指引之三維道路模型細緻度等級，依 OGC CityGML 之道路規範定義，可區分為 LOD 1 三維彩帶式道路模型、LOD2 含交通區域分離之三維彩帶式道路模型及 LOD3 含道路設施之三維彩帶式道路模型，其所需之觀測資料包括道路輪廓、路面高程、路面號誌及道路物件等資訊。

6.3.1 道路實體構件及屬性

CityGML 的道路模型是一個多功能，多尺度的模型，是由交通區域與輔助交通區域所組成，交通區域是在交通使用方面很重要的元素，包含了人行道、車行道路、自行車道和停車場；輔助交通區域則包含凸起花圃、中央分隔島及綠地等設施。



圖 6.3-1、CityGML LOD2 三維道路模型內容分類

6.3.2 道路模型描述項目

CityGML 所訂定的交通綜合(TransportationComplex)基本屬性資料項目，包含交通類別屬性(TransportationComplex Class)及交通功能及用途(TransportationComplex Function and Usage)，其中所涵蓋的交通類別相當廣泛，詳列於表 6.3-1。本技術指引採用與道路相關之交通功能及用途為道路基本屬性資料，其他交通類別則保留於後續擴充。交通功能及用途屬性代碼如表 6.3-2。

表 6.3-1、交通類別屬性代碼

編號	代碼	定義	地形分類架構編碼
1.	1000	私人	
2.	1010	共同	
3.	1020	國內	
4.	1030	軍事	
5.	1040	道路交通	9420000
6.	1050	空中交通	9450000
7.	1060	鐵路交通	9410000
8.	1070	水路	9460000
9.	1080	地鐵/大眾捷運	9430000

表 6.3-2、交通功能及用途屬性代碼

編號	代碼	定義	地形分類架構編碼
1.	1000	一般道路	9420600
2.	1010	高速公路	9420100
3.	1020	公路/國家主要道路	9420200
4.	1040	區道路	9420400
5.	1050	市政道路	9420300
6.	1100	高速公路交匯處/公路交叉口	9420901
7.	1110	連接點	
8.	1210	車道	
9.	1220	人行道/人行道	9420906
10.	1230	爬山徑	9420701
11.	1240	自行車道/循環路徑	
12.	1260	主要農業道路	
13.	1270	農業公路	9420702
14.	1280	自行車道	9420705
15.	1290	通路	
16.	1300	死路	
17.	1400	車道	
18.	1410	車道，一個方向	
19.	1420	車道，兩個方向	
20.	1500	步行區	
21.	1610	停車場	9960204
22.	1700	服務區	9960205

6.3.3 道路模型細緻度等級

從 LOD1 開始，CityGML 定義了一個明確的道路表面幾何體，反映道路的實際形狀，而不僅僅是其中心線。在 LOD2 至 LOD4 中，它進一步細分為各類別交通區域，例如汽車、公共交通工具、自行車或行人；以及各類輔助交通區域，例如道路標記、綠地或花盆。

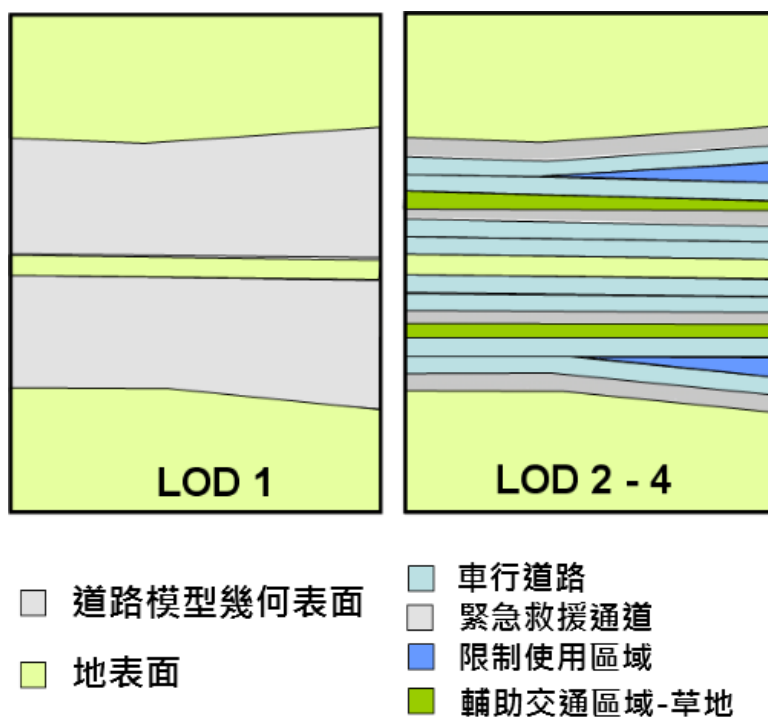


圖 6.3-2、CityGML 三維道路模型細緻度分級

LOD 1 三維彩帶式道路模型可整合 LOD 0 三維道路中心線模型及各式觀測資料進行重建，其中 LOD 0 道路模型提供中心線位置及道路屬性。

LOD2 道路模型以 LOD1 道路模型為基礎進行重建，即 LOD2 道路模型是 LOD1 道路模型之延伸，LOD2 道路模型為交通區域分離之三維彩帶道路模型，該模型完成車道分離。交通區域包含路面區域的獨立車道、左轉或右轉專用車道、路口區域、分隔島區域、近障礙物體線區域等，圖 6.3-3 為交通區域分離之示意圖，LOD2 道路模型中可用於分析道路區域內有多少車道、計算車道寬度等。

為考量多層立體交叉交通系統，交通區域以高程對不同道路系統進行立體分離，如圖 6.3-4 所示。在相同平面坐標上，可對應兩種不同的高程之道路模型。

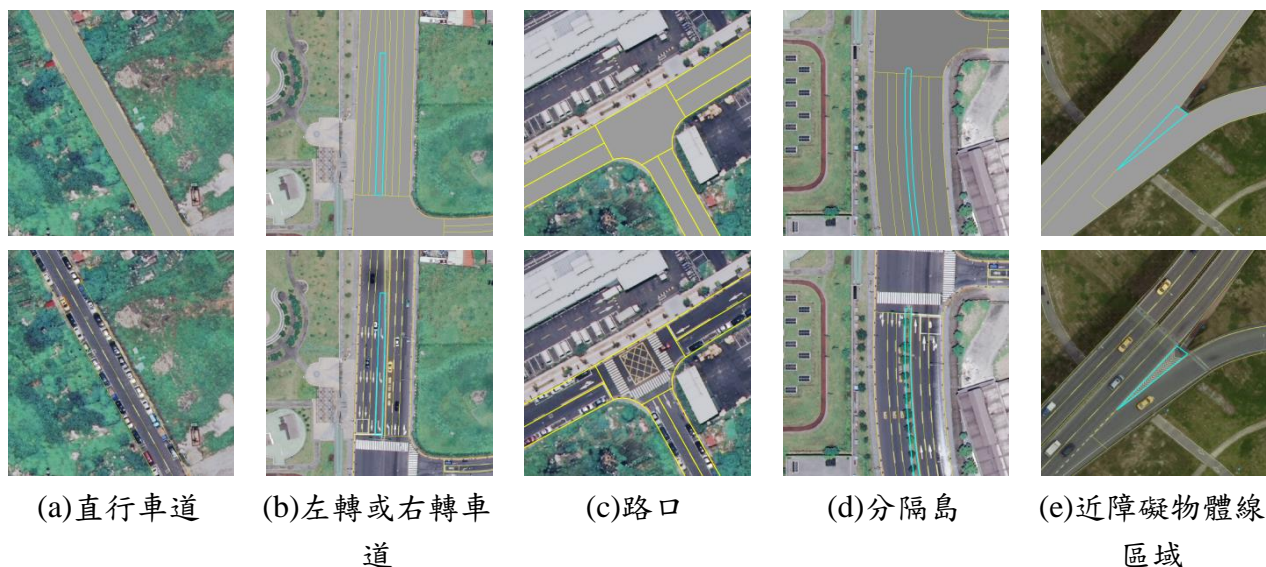


圖 6.3-3、交通區域類別



圖 6.3-4、高架道路示意圖

LOD3 以 LOD2 為基礎進行重建，LOD2 道路模型僅包含交通區域分離之車道，而 LOD3 三維道路模型則擴充至路面之標示及路面上之交通設施等。LOD3 道路模型包含(1)路面交通區域(Traffic Region)、(2)路面道路標記(Road Mark)及(3)路面上交通物件(Traffic Element)。LOD2 及 LOD3 道路亦可視為是大比例尺數值地形圖之延伸，延伸是指細緻化、立體化、物件化及屬性化，因此交通物件可參照基本地形資料分類編碼之交通系統及公共事業類別。

LOD3 在路面方面包含(1)交通區域與(2)道路標記。交通區域主要包含車道等，由 LOD2 可得到交通區域資料；道路標記則有指向線、停止線等標記。LOD3 模型數化的內容參考民國 101 年「道路交通標誌標線號誌設置規則」、民國 96 年「內政部基本地形資料分類編碼」與實際數化時資料所包含的物件。LOD3 的道路標記數化項目包含：停車格、公車停車區、機車停車格、白實線、白虛線、雙白實線、黃實線、黃虛線、雙黃實線、機車

停等區線、機慢車左轉待轉區線、機慢車專用、指向線、停止線、網狀線、枕木紋行人穿越道線、近障礙物線。

交通物件則是以路面上的附屬交通設施，如交通號誌、分隔島、路燈、等，可視為道路家俱。本計畫針對交通物件之重建目標包含：交通號誌桿、路燈、行道樹、分隔島、變電箱座、公車站牌、消防栓、電力人孔蓋、紅綠燈等。

6.3.4 道路模型測製精度

因本技術指引所界定之三維道路模型資料為地形圖道路圖層之表現維度的延伸，而道路邊線及人行道等交通區域之認定，於各類型地形圖皆有所差異，應以導入圖資之標準為主。因此若道路邊線之平面坐標精度符合該地形圖之測量準確度，則可以轉換為符合地形圖測繪精度的道路圖層。

因此本技術指引要求 LOD1 及 LOD2 道路模型之路邊線平面坐標精度應符合來源地形圖資之平面精度要求，三維高程精度要求則依觀測資料來源精度另行訂定。

6.4 三維水體模型定義

6.4.1 水體模型細緻度等級

本技術指引定義之三維水體模型代表了來源地形圖資裡的河流、運河以及湖泊面狀水域的三維幾何呈現。LOD0 及 LOD1 皆可以三維曲線(MultiCurve)或三維曲面(MultiSurface)的方式呈現，其中，河流是以三維曲線(MultiCurve)的方式建模，並捨棄了小河及溪流，海洋及湖泊則以三維曲面(MultiSurface)建模。在 LOD 2-4 中，水體由不同的主題表面界定。WaterSurface 定義為水和空氣之間的邊界，WaterGroundSurface 定義為水和地下之間的邊界（例如 DTM 或 3D 盆地的底部），以及零個或多個 WaterClosureSurfaces，定義為在不同的水體之間的虛擬邊界。可用測量、地圖勘探或資料加值方式產製。

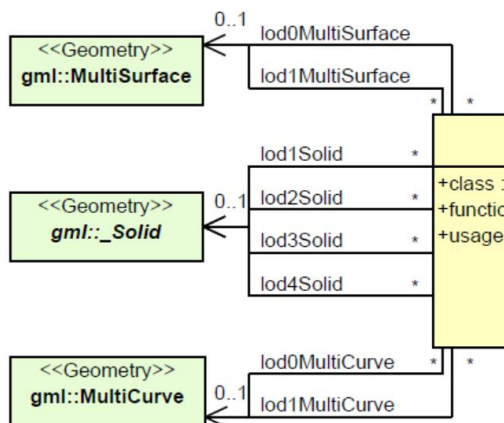


圖 6.4-1、CityGML 水體模型分類架構

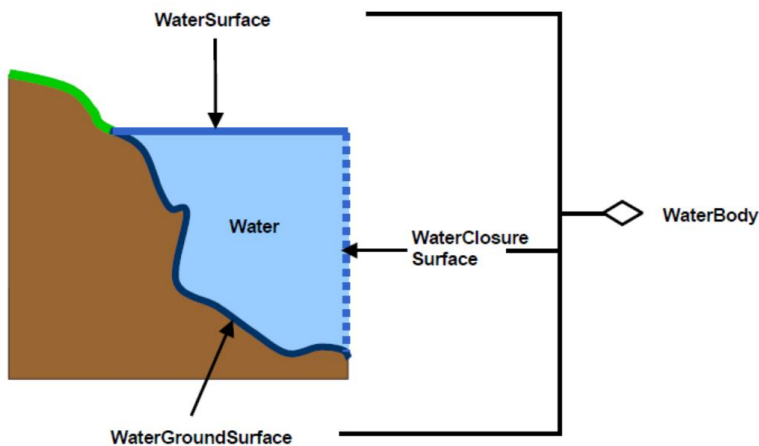


圖 6.4-2、高細緻度水體模型定義示意圖

6.4.2 水體實體構件及屬性

CityGML 所訂定的水體(WaterBody)基本屬性資料項目，包含水體類別(WaterBody Class)、水體功能(WaterBody Function)、水體用途(WaterBody Usage)及水面水位(WaterSurface WaterLevel)。

從測量製圖觀點，本技術指引採用水體類別及水面水位為基本屬性資料，但在資料格式中保留以上所有項目，以便未來增值應用。水體類別屬性代碼如表 6.4-1，水面水位屬性代碼如表 6.4-2。

表 6.4-1、水體類別屬性代碼

編號	代碼	定義	地形分類架構編碼
1.	1000	海洋	9530200
2.	1030	河流	9510101
3.	1040	溝	9510106
4.	1060	湖	9520100
5.	1120	水池	9520200
6.	1150	人造水體	
7.	1160	水道	
8.	1170	運河	9510105
9.	1190	水庫	9520600

表 6.4-2、水面水位屬性代碼

編號	代碼	定義(單位：公尺)
1.	1000	MSL-平均海平面
2.	1010	LAT-最低的天文潮位
3.	1020	國家基準水位
4.	1030	平均高潮位 (與國家基準水位相關)
5.	1040	極端高潮位 (與國家基準水位相關)
6.	1050	平均低潮位 (與國家基準水位相關)
7.	1060	極端低潮位 (與國家基準水位相關)
8.	1070	平均水位 (水道)
9.	1080	關鍵高水位
10.	1090	百年洪水位
11.	1100	最高已知水位
12.	1110	關鍵低水位
13.	1120	已知最低水位
14.	1130	已建立可航行線
15.	1140	可航行最低限度
16.	1150	可航行最大限制
17.	9999	未知

6.5 土地使用定義及屬性

土地使用可以用來描述專門用於特定土地用途，也可以描述具有或不具有植被的特定土地覆蓋情形，例如沙子，岩石，泥灘，森林，草地等（即物理外觀）。土地利用和土地覆蓋是不同的概念，第一個描述人類在地球表面的活動，第二個描述它的物理和生物覆蓋，兩者在實際作業上是相通的，也常常是混合的。在資料幾何描述上，則是以三維曲面(MultiSurface)方式建模。

CityGML 中的土地使用代表了兩個概念，類別屬性用來表示土地利用對象的分類，如安置區，工業區，耕地等，欄位中係唯一值，如表 6.5-1。功能及用途屬性則定義了使用目的或其性質，例如玉米田或荒地，如表 6.5-2。

表 6.5-1、土地使用類別屬性代碼

編號	代碼	定義
1	1000	住宅區
2	1100	未發展區域
3	2000	交通
4	3000	植被
5	4000	水

表 6.5-2 土地使用功能及用途屬性代碼

編號	代碼	定義
1	1010	住宅
2	1020	工商業
3	1030	混合使用
4	1040	特殊功能區
5	1050	紀念碑
6	1060	垃圾堆置
7	1070	礦業
8	1110	公園

編號	代碼	定義
9	1120	公墓
10	1130	體育，休閒和娛樂
11	1140	露天採石場
12	2010	道路
13	2020	鐵路
14	2030	機場
15	2040	運輸
16	2050	軌道
17	2060	廣場
18	3010	草原
19	3020	農業
20	3030	森林
21	3040	樹林
22	3050	健康
23	3060	泊
24	3070	沼澤
25	3080	耕種地
26	4010	河
27	4020	直立水體
28	4030	港口
29	4040	海

6.6 三維植被定義及屬性

植被特徵是三維城市模型的重要組成部分，通過對植被物體的分析 and 可視化，可以得出其分佈，結構和多樣性的表述。透過棲息地的分析，對動物群體的影響可以分開。植被模型可以用作模擬例如森林火災，城市曝氣或微氣候的基礎。

CityGML 所定義的三維植被模型可分為單一獨立植物或區域性的植被分布，單一植被由獨立植被物件(SolitaryVegetationObject)建模，而對於特定的植被區域則使用 PlantCover 建模。PlantCover 特徵的幾何表示可以使用三維曲面(MultiSurface)或三維實體模型(MultiSolid)，取決於植被類型的垂直

生長高度。例如森林可能較適合使用三維實體模型(MultiSolid)，如圖 6.6-1。

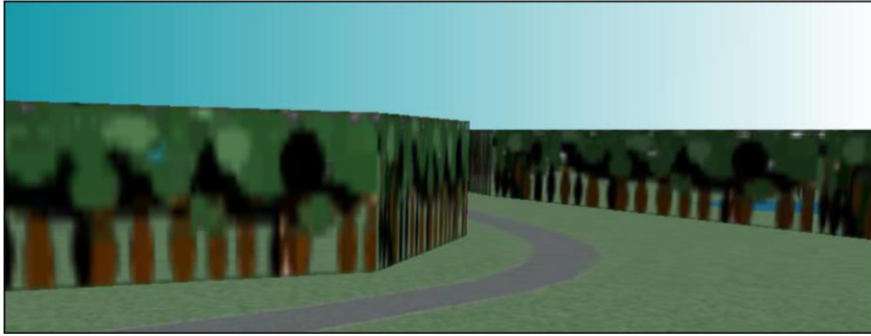


圖 6.6-1、以三維實體模型建構森林示意圖

獨立植被物件(SolitaryVegetationObject)的屬性類別包含了類別、功能、用途、物種、樹幹直徑(trunkDiameter)和樹冠直徑(crownDiameter)。本技術指引之獨立植被物件採用 LOD1 等級細緻度模型，針對地標性之獨立樹木建置影像或參數化模型，目前我國大比例尺地形圖針對獨立樹圖層使用統一的二維圖塊表現，並無獨立樹類別的區分，故表 6.6-1 僅說明 CityGML 中針對獨立植被物件屬性類別說明，作為未來擴充內容之參考。

表 6.6-1、獨立植被物件類別屬性代碼

編號	代碼	定義	地形分類架構編碼
1	1000	灌木	
2	1010	矮植物	
3	1020	中等高度植物	
4	1030	高植物	
5	1040	草	9720000
6	1050	蕨類植物	
7	1060	針葉樹	9710400
8	1070	落葉樹	9710500
9	1080	灌木叢	9710700
10	1090	水生植物	
11	1100	攀緣植物	

針對區域性的植被分布(PlantCover)，本技術指引之植被區塊採用 LOD2 精緻度模型，即面積大於 5m x 5m 範圍者須獨立區分為單一區塊，其屬性

類別分類模式較偏向植物學的範疇，與我國大比例尺地形圖植被分類差異甚大，建議參考表 6.6-1 之分類，於 PlantCover 架構下延伸。

6.7 坐標系統及單位

依本技術指引所生產的三維地形圖資料，必須採用政府公告的測量坐標系統；即平面坐標系統採用內政部 1997 臺灣大地基準(TWD97)，高程坐標系統採用內政部 2001 臺灣高程基準 (TWVD2001)。量度單位為公尺 (m)。

七、三維地形圖核心類別建置作業準則

7.1 通則

本技術指引不限定使用何種原始資料來建置三維地形圖模型，亦不限定採用何種方法或作業程序來生產三維地形圖資料，原則上技術指引資料的建置作業應符合下列條件：

1. 應依據當年度現況建置三維地形圖資料
2. 建置的三維地形圖資料應符合第六節之所有定義
3. 建置作業應依循本節之準則
4. 建置的三維地形圖資料應通過第八節所列之檢核項目

7.2 資料完整度準則

必須依據當年度現況建置三維地形圖資料，亦即所應用的原始資料應為該執行計畫所收集的資料，若此原始資料為早期資料，則應補充現況資料，使得所建置的三維地形圖資料符合當年度現況。

一、三維房屋模型

- (1)任何高度超過 3 公尺或平面面積超過 36 平方公尺的房屋實體都須建置房屋模型資料，第八節之檢核作業將依據此準則檢核資料之遺漏率。
- (2)本技術指引文件，針對我國大比例尺地形圖資進行加值策略建

模，建議採用 LOD1 或 LOD2 模型細緻度建構三維房屋模型。

二、 三維道路模型

- (1) 以路肩為準，依道路之地形地物邊界（不含明渠）繪製，道路旁 U 型溝如有加蓋，則視為道路一部分，於施測道路邊線時，應以路旁加蓋 U 型溝外側為界測製；連接農地住家之水泥構造物便橋，不視為道路一部分；如以航測繪製且在影像模型中無法確定之邊線，應以實地調繪補測。
- (2) 高架道路、橋樑、地下道等依實形測繪。
- (3) 區塊（大廠區、學校、公園、動物園 ... 等）內之道路（路寬大於 1 公尺）皆需建置。
- (4) 道路寬度小於 1 公尺，不予建置。
- (5) 本技術指引文件，針對我國大比例尺地形圖資進行加值策略建模，建議採用 LOD1 模型細緻度建構三維道路模型。

三、 三維水體模型

- (1) 河、溝、渠等明渠，皆需繪製河岸線並建構為封閉三維曲面，若河流兩岸有明顯堤防或河床有明顯範圍，以此認定河流寬度；若無明顯河流範圍，則以河川流域面認定河流寬度。若因遭遇水利構造物或遮蔽等因素導致河流不連貫，仍需配合實際狀況使河流合理連貫。
- (2) 水溝、河寬度小於 1 公尺，不予繪製。
- (3) 大於 2 公尺×2 公尺之水體（面狀水域）皆應測繪，水體間距小於 1 公尺得合併為同一區塊，大於 1 公尺需分開測繪。
- (4) 本技術指引文件，針對我國大比例尺地形圖資進行加值策略建模，建議採用 LOD1 模型細緻度建構三維水體模型。

四、 土地使用

依取得之土地使用分區資料來源，搭配高程觀測資料建置。

五、 植被

(1)獨立植被物件：採用 LOD1 等級標準，地標性之獨立樹需予測繪。

(2)植被區塊：採用 LOD2 等級標準，區塊範圍大於 5 公尺 x 5 公尺，需予測繪，屬性分類以最大面積者給定。

7.3 模型細緻度準則

一、 三維房屋模型

採行 CityGML 所制訂之 LOD1 模型細緻度為準，則可以只針對房屋主體及分部塑模，房屋裝置則可以忽略。房屋主體及分部之塑模亦可以採用平頂式模型，亦即忽略屋頂面及牆面之造型。

若採行 CityGML 所制訂之 LOD2 模型細緻度為準，則須針對房屋主體、分部及裝置等實體構件塑模。房屋主體及分部之塑模需考慮屋頂面及牆面之造型，房屋裝置實體構件亦需依據其造型塑模。表 7.3-1 分房屋實體構件明列塑模之準則。

表 7.3-1、房屋主體、房屋分部區分

房屋主體	<ul style="list-style-type: none"> ● 觀測明顯的屋頂面及牆面角點構成房屋主體模型 ● 小於 3 公尺之造型變化可以忽略 ● 明顯的曲面屋頂面或牆面須測繪其表面模型
房屋分部	<ul style="list-style-type: none"> ● 高度超過 3 公尺或平面面積超過 36 平方公尺的房屋分部都需塑模 ● 觀測明顯的屋頂面及牆面角點構成房屋分部模型 ● 小於 3 公尺之造型變化可以忽略 ● 明顯的曲面屋頂面或牆面須測繪其表面模型

屋頂面裝置	<ul style="list-style-type: none"> ● 需依造型塑模，小於 3 公尺之造型變化可以忽略 ● 高於 1 公尺之女兒牆皆須塑模，可獨立塑模或將女兒牆視為牆面之延伸 ● 頂面面積大於 10 平方公尺之房屋裝置皆須塑模
牆面裝置	<ul style="list-style-type: none"> ● 需依造型塑模，小於 3 公尺之造型變化可以忽略 ● 凸出牆面距離大於 3 公尺且凸出面面積大於 10 平方公尺者皆須塑模

表 7.3-2、CityGML 對 LOD1~LOD3 提出的建議精度

	LOD0	LOD1	LOD2	LOD3
模型尺度	區域，地景	城市，地區	城市，城區	城市區，建築模型(外部)，地標
準度分級	最低	低	中	高
三維精度 (位置；高程)	低於 LOD1	5 公尺；5 公尺	2 公尺；2 公尺	0.5 公尺；0.5 公尺
模型簡化	最大化的叢集	以概括圖徵呈現物件區塊； 所占面積>6*6 平方公尺/3 公尺	以概括圖徵呈現物件； 所占面積>4*4 平方公尺/2 公尺	以真實圖徵呈現物件； 所占面積>2*2 平方公尺/1 公尺
建物設施	無	無	有	具代表性的外部特徵
屋頂結構展現	有	平坦屋頂	差異化的屋頂結構	實際物件形式
屋頂懸掛部分	有	無	有	有

二、三維道路模型

採行 CityGML 所制訂之 LOD1 模型細緻度為準，道路模型為三維彩帶式模型，模型應能忠實描述路面高度起伏變化，並於具有立體交叉之道路區段，能夠建立完整且連續之各層三維彩帶道路模型。

採行 CityGML 所制訂之 LOD2 模型細緻度為準，道路模型為交通區域分離之三維彩帶道路模型，該模型應完成車道分離。其中，交通區域包含路面區域的獨立車道、左轉或右轉專用車道、路口區域、分隔島區域、近

障礙物體線區域等。

7.4 模型精確度準則

一、 三維房屋模型

因本技術指引所界定之三維房屋模型資料為大比例尺地形圖房屋圖層之表現維度的延伸，而屋頂面特徵之垂直平行投影即可形成房屋邊界圖，因此若屋頂面特徵角點之平面坐標精度符合千分之一地形圖之測量準確度，則可以轉換為符合大比例尺地形圖測繪精度的房屋圖層。因此本技術指引要求 LOD1 房屋模型之屋頂面特徵角點之平面坐標精度應優於中誤差 50 公分，其他所有角點坐標精度應優於中誤差 2 公尺。

7.5 外觀相似度準則

一、 三維房屋模型

房屋模型外部表面應賦予表面材質之亮度及透明度描述項目，值域為 0~1。屋頂表面之紋理敷貼原則上採空照或衛照影像經糾正後敷貼，但較為均調或規則紋理屋頂面，亦可採用小區塊影像、模擬紋理影像、或單純色彩以填滿或重複方式敷貼。房屋正面之牆面原則上以近景拍攝或空載傾斜攝影之牆面影像經糾正後敷貼，但較為均調或規則紋理屋頂面，亦可採用小區塊影像、模擬紋理影像、或單純色彩以填滿或重複方式敷貼。其他房屋牆面原則上採用小區塊影像、模擬紋理影像、或單純色彩以填滿或重複方式敷貼，有特殊要求時才採用仿真紋理影像敷貼。

二、 三維道路模型

本技術指引文件僅探討道路模型幾何建置，外觀材質相似度待後續研發成果擬定。

7.6 屬性完整度準則

一、 三維房屋模型

房屋主體及分部都應賦予房屋類別、屋頂類型、房屋高度、及地上樓

層數等基本屬性資料，房屋裝置則只需賦予房屋裝置類別為基本屬性資料。房屋類別、屋頂類型及房屋裝置類別等項目以編碼方式記錄，編碼表如 6.2-1~6.2-3。

二、 三維道路模型

各級道路模型應繼承 LOD0 道路中線所賦予之屬性資料，即交通功能及用途屬性，編碼表如 6.3-2。

八、 成果檢核作業準則

8.1 通則

依據建置單位計畫書所提的作業方法，檢核其觀測資料是否合乎作業需求，並檢核資料前處理作業成果是否合乎要求。例如觀測資料為航空攝影測量影像，則須檢核影像的清晰度、解析度、重疊度、含雲量等，然後檢核其空中三角作業成果是否合乎影像方位求解的精度要求。本項查核工作應於建置單位完成資料觀測及資料前處理後實施。

成果檢核採抽樣檢驗方式，母體數為送驗批內所有檢核項目資料總數，以隨機抽取分區之樣本進行查核，樣本數須超過送驗總數的5%。建議以100公尺正方網格將作業區域規則分割成數個樣本區域，如此每一樣本區域為一公頃。反覆隨機抽取樣本區域，樣本區域應均勻分佈於測區，持續累計樣本數，直至累計的樣本數超過送驗總數的5%為止。檢核發現有不合本規範標準者，應由作業單位改正後再提請複查。檢驗項目為屬性檢查時，凡規範內未明訂允收水準者，一律以6.5%計。檢驗項目為幾何精度檢查時，以檢驗觀測量之中誤差為原則，檢定方法詳如附錄9.2。

8.2 檢核作業層次

檢核作業應依下列層次檢驗所有樣本：

- ✓ 第一個層次的檢驗是缺測率的檢驗，所謂缺測率是現場有需觀測之地物卻無觀測成果。檢核項目有房屋主體、房屋分部、房屋外部裝置及道路交通區域，房屋主體屬重要項目，允收水準為3%，房屋分部、房屋外

部裝置及道路交通區域之允收水準則為6.5%。若第一次檢查不合格，則另行抽樣檢查相同數量之樣本（雙次抽樣檢查），累積兩次檢查總數量之檢核若符合所訂定之允收水準方為合格。否則建置單位應重新修正，再送請複查。檢驗出缺測的房屋都必須補測完整。

- ✓ 第二個層次的檢驗是模型細緻度正確率，依據房屋模型建置作業準則，檢驗房屋主體、房屋分部及房屋裝置是否有不符合細緻度標準者，並依據道路模型細緻度標準檢驗道路模型，允收水準為6.5%。若第一次檢查不合格，則採雙次抽樣檢查。若不合格則建置單位應重新修正，再送請複查。檢驗出不完整的房屋都必須補測完整。
- ✓ 第三層次的檢驗是房屋外觀相似度，依據房屋模型建置作業準則，檢驗房屋主體屋頂面及正面紋理敷貼與現場(或場景影像)是否有明顯不同，允收水準為6.5%。若第一次檢查不合格，則採雙次抽樣檢查。若不合格則建置單位應重新修正，再送請複查。檢驗出不正確紋理敷貼的房屋都必須補測完整。道路模型部分暫無外觀相似度之準則，故未針對此項目進行檢驗。
- ✓ 第四層次的檢驗是模型準確度，檢驗房屋樣本之房屋邊界點及明確定義的角點坐標，檢驗時可採用建置單位所提供的觀測資料進行重複量測，以比較角點的坐標差值。首先檢驗是否有錯誤點位，坐標差值大於3倍之中誤差標準（屋頂面邊界點平面坐標之中誤差標準為 0.5 公尺，屋頂面邊界點高程坐標及其它角點坐標之中誤差標準為 2 公尺），允收水準為3%。若第一次檢查不合格，則採雙次抽樣檢查。若不合格則建置單位應重新修正，再送請複查。之後再以非錯誤點位之坐標差值進行數值檢定，即檢定差值之平均值及標準偏差是否合乎規範，檢定方法詳如附錄9.2。
- ✓ 第五層次的檢驗是屬性資料完整性及正確性，檢驗房屋主體、房屋分部、房屋外部裝置及道路模型的基本屬性，允收水準為6.5%。若第一次檢查不合格，則採雙次抽樣檢查。若不合格則建置單位應重新修正，再送請複查。
- ✓ 第六層次的檢驗是資料格式的正确性，成果資料格式應符合「三維房屋

模型資料標準格式」及CityGML標準，正確率應達100%，否則建置單位應重新修正，再送請複查。

完成以上六個層次的檢驗，即代表送驗成果通過檢核，符合本技術指引文件所制訂的核心類別模型建置標準。

8.3 檢核作業項目

依據上述層次以及房屋模型建置實務做法，可以分為五項實際檢核項目。項目如下：

- (1) 建物框檢核：檢查二維圖資建物框與三維模型建物框數量是否一致以及建物模型屬性欄位是否完整及正確。
- (2) 建物高程粹取檢核：檢查建物屬性欄位高程資訊是否與高程來源原始資料眾數層平均值一致，檢查地形高程是否與高程來源最低點數值一致，檢查樓高計算是否正確，計算樓層數是否與繼承屬性欄位一致。
- (3) 建物模型檢核：檢查模型灰階呈現方式是否與規定一致。
- (4) 屋頂及牆面紋理檢核：屋頂紋理的部分，於1/5,000圖幅範圍內，幅隨機抽驗20棟，辦理屋頂紋理正確性評估，若未通過，則須重新進行檢查。牆面紋理的部分，以縣市為單位，採取隨機抽樣100棟以上牆面紋理進行房屋類別、色階數值評估，若未通過，則須重新進行檢查。
- (5) 模型資料格式檢核：檢核資料格式，需合於KML或KMZ的規格需求，正確率應達100%。

九、附錄

9.1 參考文獻

- 1、王蜀嘉，2007，數碼城市三維建模規範訂定問題探討，第二十六屆

- 測量及空間資訊研討會，宜蘭大學，pp. 509-518。
- 2、Groeger, G., T. H. Kolbe, A. Czerwinski, and C. Nagel, 2008. OpenGIS City Geography Markup Language (CityGML) Implementation Specification, Open Geospatial Consortium (OGC) 08-007, Version 1.0.0 (<http://www.citygml.org/>).
 - 3、內政部，2009，三維房屋模型建置作業規範(草案)。
 - 4、內政部，2010，建置都會區一千分之一數值航測地形圖作業工作手冊。
 - 5、內政部，2012，空載光達測製數值地形模型標準作業規範(草案)。
 - 6、內政部，2012，三維道路模型建置作業手冊。
 - 7、Open Geospatial Consortium，2012，OGC City Geography Markup Language(CityGML) En-coding Stantard
 - 8、內政部，2014，地形資料分類架構。
 - 9、內政部，高精度及高解析度數值地型模型測製規範(草案)。
 - 10、內政部，航遙測正射影像測製規範及審核機制(草案)。
 - 11、NCHRP, 2013. Guideline for the Use of Mobile Lidar in Transportation Applications。

9.2 本技術指引使用之統計檢定

(一) 對差值之平均值進行檢定

當檢定值精度高於被檢定值至少二倍時，由 n 個被檢定值 X_i 與檢定值 Y_i 之差值 D_i ，可計算其平均值：

$$\bar{D} = \frac{\sum(X_i - Y_i)}{n}$$

此平均值視為常態分佈，在 α 的顯著水準下，以下面之零假說做檢定：

$$\left| \frac{\bar{D}}{\sigma/n} \right| \leq z_{\alpha/2} \quad \sigma \text{ 為規範值}$$

但若檢定時檢定值本身精度並未高到視為擬真值的程度，則需改以下法檢定：

- 估計差值的標準偏差

$$S_D = \sqrt{\frac{\sum (D_i - \bar{D})^2}{n-1}}$$

- 然後以 t 分佈對下值檢定

$$\left| \frac{\bar{D}}{S_D/\sqrt{n}} \right| < t_{n-1, \alpha/2}$$

(二) 對差值之標準偏差進行檢定

由 n 個被檢定值 X_i 與擬真值 Y_i 之差值 D_i ，可估得 X 之標準偏差

$$S_X = \sqrt{\frac{\sum D_i^2}{n}}$$

此估值與規範值是否一致，可藉由 χ^2 分佈來檢定：

$$\frac{\sum D_i^2}{\sigma^2} < \chi_{n, \alpha}^2$$

其中 σ 為規範值， α 為檢定的顯著水準。

但若檢定值本身中誤差與被檢定值中誤差相較，並不可以視為擬真值，則嚴密的檢定十分複雜，不易執行；下面為一變通的近似檢定方式：

由檢定值與被檢定值的差值計算差值變方的估值

$$S_D^2 = \frac{\sum (D_i - \bar{D})^2}{n-1}$$

由檢定值中誤差 σ_c (若無理論值，則只得用估值) 及被檢定值規範的中誤差 σ ，依誤差傳播計算差值標準偏差的理論值 σ_D

$$\sigma_D^2 = \sigma_c^2 + \sigma^2$$

則可對 $\frac{(n-1)S_D^2}{\sigma_D^2} < \chi_{n-1, \alpha}^2$

進行檢定。不過要注意的是，對檢定值中誤差的估計必須審慎，它的誤差會影響檢定的正確性。