

內政部

107 年度

三維地形圖資技術發展工作案

(案號：107SU0217)

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 107 年 3 月 31 日至 107 年 11 月 16 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，本計畫工作包含：(1) 提出以三維網格模型及三維實體模型(3D Solid Model)建置三維地形圖資核心類別模型建置之技術，並分析前2項模型優缺點、適用範疇與發展潛力；(2) 提出精進三維地形圖資測製技術自動化程度或品質方案；(3) 由航空攝影俯視角度取得空間資料延續至由地面視角取得街景之

影像資料及點雲資料，進而增加三維地形圖資核心類別模型之尺度資訊與建置效能；(4) 發展三維室內外模型與物聯網標準之整合平台與試辦。

在推動與評估方面，本計畫工作包含：(1)蒐集國內外三維地形圖資測製及其測製成果物件化、三維空間資料結構與編碼及三維地形資料庫等研究、技術文件及各國發展與應用情形並提出分析；(2) 依試辦結果研擬三維地形圖測製及檢核作業技術文件指引；(3) 於期末報告提出三維地形圖資之「測製成果物件化、三維空間資料結構與編碼之策略與建議」與「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) 了解物聯網標準之開發與介接技術；(6) 配合內政部辦理106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。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。

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 map and city models to 3D topographic map.

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.

The major works in technical developments and applications are: (1) developing and comparing 3D mesh- and solid-based topographic mapping methods for the critical targets; (2) improving degree of automation or efficiency for 3D digital topographic mapping; (3) increasing multi-scale information and performance for the critical targets using aerial and terrestrial remote sensing data; (4) developing and applying the platform of integrating 3D in- and out-door building models with Internet of Things (IoT).

The major works in promotions and validations are: (1) collecting and analyzing the related literatures, (2) proposing the procedure and guideline, (3) proposing the strategies and cost analysis, (4) highlight the challenges and

potential solutions for 3D topographic mapping; (5) realizing the IoT standards and interconnection technologies; (6) supporting the disaster-related projects.

目錄

摘要.....	iii
Abstract.....	v
目錄.....	i
圖目錄.....	iii
表目錄.....	vi
第一章 前言.....	1
1.1 計畫背景與目的.....	1
1.2 計畫內容.....	6
1.2.1 技術建立.....	6
1.2.2 試辦區試作.....	6
1.2.3 應用服務試辦.....	7
第二章 背景分析.....	8
第三章 工作項目.....	12
3.1 工作項目.....	12
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.....	17
3.3.3 成果繳交格式、項目、日期及地點.....	18
第四章 實施方法.....	19
4.1 試辦區選定.....	19
4.2 研擬並精進三維地形圖資測製技術.....	23
4.2.1 三維地形圖資測製文獻蒐集與分析.....	23
4.2.2 研擬三維地形圖資核心類別測製技術.....	27
4.2.3 提升三維地形圖資核心類別測製效率或品質.....	41

4.2.4 增加三維地形圖資尺度資訊.....	56
4.3 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	64
4.3.1 研擬三維地形圖測製及檢核作業技術文件指引	64
4.3.2 規劃三維地形資料庫發展策略.....	65
4.3.3 三維地形圖資測製技術成本與分析.....	75
4.3.4 三維地形圖資測製待克服之問題討論.....	78
4.4 研發三維地形圖資與物聯網之整合及應用	81
4.4.1 物聯網標準之開發與介接技術.....	81
4.4.2 開放式物聯網基礎建設之技術發展.....	84
4.4.3 發展三維室內外模型與物聯網標準之整合平台	93
4.5 研究成果發表、協助國際事務推動及技術交流.....	99
4.6 工作會議.....	100
第五章 結論與建議.....	101
參考文獻.....	107
其他相關資料及附件.....	110

圖目錄

圖 1-1-1、複雜三維建物與道路	4
圖 4-1-1、試辦區範圍	19
圖 4-1-2、試辦區 LOD1 房屋模型.....	20
圖 4-1-3、試辦區 20 公尺道路資訊	21
圖 4-1-4、試辦區 20 公尺道路近景影像部分拍攝成果.....	21
圖 4-1-5、LOD2 牆面紋理成果.....	22
圖 4-2-2-1、Mesh 概念示意圖	28
圖 4-2-2-2、試辦區全區網格模型	29
圖 4-2-2-3、網格模型成果	30
圖 4-2-2-4、高架道路網格模型	31
圖 4-2-2-5、自動化建置 LOD1 模型流程圖	33
圖 4-2-2-6、利用空載數位航照影像立體對建置 LOD2 模型.....	34
圖 4-2-2-7、利用空載光達點雲建置 LOD2 模型	35
圖 4-2-2-8、道路建置示意圖	36
圖 4-2-3-1、改良版通用紋理流程圖	41
圖 4-2-3-2、房屋內部的多邊形之溶解處理	42
圖 4-2-3-3、房屋牆面臨界值分布圖	42
圖 4-2-3-4、房屋牆面中心點示意圖	43
圖 4-2-3-5、試辦區測站搜尋成果	44
圖 4-2-3-6、取得測站與牆面之方位角示意圖	45
圖 4-2-3-7、街景影像下載之測試案例	46
圖 4-2-3-8、三點共線條件示意圖	47
圖 4-2-3-9、AOI 切割樓層示意圖	48
圖 4-2-3-10、AOI 切割樓層-最高樓層成果.....	48
圖 4-2-3-11、牆面影像分析	49

圖 4-2-3-12、紋理資料庫影像	49
圖 4-2-3-13、牆面影像與對應之改良版通用紋理分析成果	50
圖 4-2-3-14、道路模型重建流程圖	51
圖 4-2-3-15、三維點雲形塑平面之示意圖	52
圖 4-2-3-16、道路模型重建成果	53
圖 4-2-3-17、LOD1 重建成果之比較	55
圖 4-2-4-1、房屋騎樓建置流程圖	58
圖 4-2-4-2、半自動化系統介面	58
圖 4-2-4-3、模型高度調整前後與街景影像之對照	59
圖 4-2-4-4、道路區域示意圖	61
圖 4-2-4-5、道路標線訓練資料示意圖	61
圖 4-2-4-6、道路標線成果示意圖	62
圖 4-2-4-7、成果套疊比較圖	63
圖 4-2-4-8、成果分析示意圖	63
圖 4-3-2-1、3D CityDB 之主要流程	66
圖 4-3-2-2、3D CityDB 之主要流程	68
圖 4-3-2-3、房屋模型之階層式架構	69
圖 4-3-2-4、房屋模型之幾何資訊	70
圖 4-3-4-1、大規模影像匹配需以人工除錯提高正確率	80
圖 4-3-4-2、三維網格模型側面資訊不足	80
圖 4-4-1-1、第二版 OGC SensorThings API 資料模型	83
圖 4-4-1-2、所測試之三種物聯網裝置	84
圖 4-4-2-1、物聯網架構	85
圖 4-4-2-2、OGC SensorThings API 第一版資料模型	86
圖 4-4-2-3、物聯網裝置自動註冊與資料傳輸程序	87
圖 4-4-2-4、oneM2M 資料模型	88

圖 4-4-2-5、oneM2M 之 SensorThings API 子資料模型	91
圖 4-4-2-6、SensorThings API 與 oneM2M 整合範例	93
圖 4-4-2-7、物聯網試辦之裝置佈設位置，黑點為裝置、紅星符號為閘道器.....	97
圖 4-4-2-8、物聯網裝置佈設照片	97
圖 4-4-2-9、物聯網 6 號裝置之時序感測資料	98
圖 4-4-2-10、三維模型與物聯網物件之整合平台	98
圖 4-5-1、國際事務推動及技術交流-澳門	100

表目錄

表 1-1-1、往年計畫摘要	2
表 3-1-1、各期程工作項目彙整	14
表 3-2-1、預定工作進度表	16
表 3-3-3-1、成果繳交項目及日期	18
表 4-2-2-1、影像建模軟體比較	38
表 4-2-2-2、網格模型與實體模型比較表	40
表 4-2-2-3、LOD1 三維地形圖模組之對應圖層	54
表 4-3-2-1、房屋類別屬性代碼	72
表 4-3-2-2、房屋屋頂型態屬性代碼	72
表 4-3-2-3、房屋裝置類別屬性代碼	73
表 4-3-2-4、交通類別屬性代碼	74
表 4-3-2-5、交通功能及用途屬性代碼	74
表 4-3-3-1、房屋模型建置成本分析比較表(依作業方式)	75
表 4-3-3-2、三維道路建置成本比較表	77
表 4-3-3-3、密匹配點雲計算硬體規格表	78
表 4-3-3-4、臺北市密匹配點雲計算及資料產出時間	78

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及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、房屋及道路模型的建置、轉換、更新與應用。表 1-1-1 詳列往年計畫之技術發展、應用項目及主要貢獻。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，前(105)年與去(106)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，人造物日益複雜，都市中將會有更多立體交叉物件，如圖 1-1-1 展示國內外複雜的人工建物。為有效利用都市土地，以及減少土地、建造物間的紛爭，三維地圖可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。

表 1-1-1、往年計畫摘要

年度	技術發展項目	應用項目	主要貢獻
100	1、建置三維地形、房屋、道路模型及其屬性 2、三維房屋模型精度驗證分析 3、工時及成本分析	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	主要貢獻
101、102	1、發展三維房屋模型變遷偵測及更新技術 2、三維房屋模型更新效益分析 3、提出三維房屋模型更新標準作業程序與手冊 4、發展多尺度道路模型建置技術。 5、提升三維房屋及道路模型建置技術自動化程度及開發人機介面	1、以道路模型及空間分析輔助消防車派遣 2、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	1、發展建築等級模型與 OGC 三維房屋模型之轉換技術及驗證分析 2、發展近景攝影測量建置室內模型技術 3、發展室內定位技術	1、室內定位技術應用研究 2、開發雲端建置 OGC LOD1 三維房屋模型系統 3、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	1、分析三維地形圖資技術發展與應用需求 2、發展三維地形基礎圖資技術 3、發展三維地籍圖資技術 4、發展三維圖資災害管理應用技術	1、LBS 試辦-停車位導航導覽 2、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	主要貢獻
106 (延續)	1、三維地形圖資測製規範與應用需求評估 2、發展三維地形基礎圖資測製技術 3、三維地形圖資與物聯網之整合及應用	三維地形圖資與物聯網之整合應用服務試辦-臺北市府都發局與地政局辦公室	研擬國家三維製圖之發展策略，提出資料增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，包括平頂、山形、及斜頂屋等類別之房屋模型，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。



(a) 複雜建築物：京華城



(b) 建物二樓走廊與平面道路重疊：Prague



(c) 建物與道路立體交叉：日本 Gate Tower Building



(d) 道路立體交叉範例：五楊高架路段

圖 1-1-1、複雜三維建物與道路

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) 提出以三維網格模型及三維實體模型(3D Solid Model)建置三維地形圖資核心類別(至少包括房屋及道路模型2項)模型建置之技術並分析前2項模型優缺點、適用範疇與發展潛力；(2) 提出精進三維地形圖資測製(至少包括房屋及道路模型2項)技術自動化程度或品質方案；(3) 由航空攝影俯視角度取得空間資料延續至由地面視角取得街景之影像資料及點雲資料，進而增加三維地形圖資核心類別(至少包括房屋及道路模型2項)模型之尺度資訊與建置效能；(4) 發展三維室內外模型與物聯網標準之整合平台與試辦。

在推動與評估方面，本計畫工作包含：(1)蒐集國內外三維地形圖資測製及其測製成果物件化、三維空間資料結構與編碼及三維地形資料庫等研究、技術文件及各國發展與應用情形並提出分析；(2) 依試辦結果研擬三維地形圖測製及檢核作業技術文件指引；(3) 於期末報告提出三維地形圖資之「測製成果物件化、三維空間資料結構與編碼之策略與建議」與「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) 了解物聯網標準之開發與介接技術；(6) 配合內政部辦理106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。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，今(107)年度為第三年，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、系統平台整合等等的規劃與建議。此外，也進行試辦區試作以及應用試辦。

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、光達或遙測影像點雲、物聯網介接等技術，發展三維地形圖資測製技術，並透過物聯網技術進行整合與應用。此外，本計畫亦針對發展之三維地形圖資與測製技術進行試辦作業，以突顯三維地形圖資技術發展之成效。

1.2.2試辦區試作

在國內選定 100 公頃以上區域，於內政部同意後，進行三維地形圖資

建置試辦，試辦區宜涵蓋不同型態建物類型(如大廈、公寓、辦公大樓、學校等)。詳細請見 4.1 節。

1.2.3 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，應用試辦包括：(1)規劃三維地形基礎圖資測製試辦；(2)規劃三維室內外與物聯網標準之整合平台應用服務試辦。

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。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。為了推廣三維城市模型建置技術的普及性與自動化程度，開發使用者圖形化網頁介面，並藉由上傳指定通用格式的地形圖透過網路建置 OGC CityGML LOD1 三維房屋模型。針對室內定位技術與室內外模型整合應用，調查與探討現有室內定位技術的原理並比較硬體設備。選擇適用於公共區域的行動裝置與定位技術為研發重點，並整合試辦區室內外模型，開發行動裝置的擴增實境導覽與跨平台之室內外環景導航導覽介面。

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。自前(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 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)，除了精進前(105)年度後續相關之研究，研擬三維地形圖資測製規範(草案)，分析三維地形基礎圖資建置策略並提昇建置自動化程度，研發以點雲資料輔助發展三維地形基礎圖資測製之技術，並進行可行性及精度評估，皆有利於提升三維地形圖資技術發展與推廣。

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。107 年度計畫期程自簽約日次日起至 107 年 11 月 16 日止，分為三個期程完成下列七項工作，表 3-1-1 為各期程工作項目彙整，各項工作項目之說明如下。

- 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、 研擬並精進三維地形圖資測製技術
 - （一）三維地形圖資測製文獻蒐集與分析。
 - （二）研擬三維地形圖資核心類別測製技術。
 - （三）提升三維地形圖資核心類別測製效率或品質。
 - （四）增加三維地形圖資尺度資訊。
 - （五）整合前三項技術試辦三維地形圖資測製。
 - （六）配合內政部辦理 106 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、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

- (一) 研擬三維地形圖測製及檢核作業技術文件指引。
- (二) 規劃三維地形資料庫發展策略。
- (三) 三維地形圖資測製技術成本與分析。
- (四) 三維地形圖資測製待克服之問題討論。

四、研發三維地形圖資與物聯網之整合及應用

- (一) 物聯網標準之開發與介接技術。
- (二) 開放式物聯網基礎建設之技術發展。
- (三) 發展三維室內外模型與物聯網標準之整合平台。

五、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) 參與年度計畫成果發表活動：配合內政部舉辦空間測繪應用相關之年度計畫成果發表（含研討會方式）活動，就本案工作相關成果及研究議題，規劃辦理至少 3 小時議程（包含主持人、與談人、主講人、議程題目與內容等），所需講者出席費由廠商負擔，至於活動主題、場地、日期與議程等細節，需適時配合內政部作業。
- (三) 製作成果介紹短片：成果介紹影片長度約 3~5 分鐘，含中英文介紹，無須字幕。

(四) 協助國際事務推動及技術交流:依內政部需求協助推動國際測量事務交流合作。

六、 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。

七、 工作會議:

廠商應自行定期召開工作會議, 並適時接受諮詢。其中2次需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, 所需費用由廠商負擔。

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、試辦區選定	完成試辦區選定		

工作項目	第一期	第二期	第三期
三、研擬並精進三維地形圖資測製技術		<ol style="list-style-type: none"> 1、研擬三維地形圖資核心類別測製技術，並分析此兩種模型之優缺點、適用範疇與發展潛力 2、蒐集國內外三維地形圖資測製文獻 3、三維彩帶式道路模型形塑 4、改良牆面通用紋理產製 	<ol style="list-style-type: none"> 1、提升牆面通用紋理自動化敷貼 2、透過影像與點雲資訊等輔助資料，增加模型之尺度資訊，亦或提升建置模型之效能 3、分析國內外三維地形圖資測製文獻 4、提升三維彩帶式道路模型細緻度
四、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		蒐集三維地形圖測製及檢核作業技術文件資料	<ol style="list-style-type: none"> 1、三維地形圖測製及檢核作業技術文件指引 2、規劃三維地形資料庫發展策略 3、針對試辦區建置三維地形圖資，進行成本分析 4、探討三維地形圖資測製中遭遇之困難、或技術發展需克服之問題，並研究解決方案
五、研發三維地形圖資與物聯網之整合及應用		<ol style="list-style-type: none"> 1、開發 OGC SensorThings API 網路服務第二版實作雛形 2、提出基於 OGC SensorThings API 標準之開道器層與裝置層通訊協定 	<ol style="list-style-type: none"> 1、完成 OGC SensorThings API 網路服務第二版實作 2、提出 OGC SensorThings API 與 oneM2M 標準之整合方案 3、試辦三維室內外模型與物聯網標準整合之應用
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	研擬並精進三維地形圖資測製技術										
	三維地形圖資測製文獻蒐集與分析		■	■	■	■	■	■			
	研擬三維地形圖資核心類別測製技術		■	■	■	■	■				
	提升三維地形圖資核心類別測製效率或品質			■	■	■	■	■			
	增加三維地形圖資尺度資訊				■	■	■	■			
	整合前三項技術試辦三維地形圖資測製					■	■	■			
	配合內政部辦理 106 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					■	■	■	■		
3	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										
	研擬三維地形圖測製及檢核作業技術文件指引			■	■	■	■	■	■		
	規劃三維地形資料庫發展策略					■	■	■			
	三維地形圖資測製技術成本與分析					■	■	■			
	三維地形圖資測製待克服之問題討論					■	■	■			

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	研發三維地形圖資與物聯網之整合及應用									
	物聯網標準之開發與介接技術									
	開放式物聯網基礎建設之技術發展									
	發展三維室內外模型與物聯網標準之整合平台									
5	研究成果發表									
	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)									
	參與年度計畫成果發表活動									
	製作成果介紹短片									
	協助國際事務推動及技術交流									

3.3 繳交成果及繳驗時程

3.3.1 進度報告

每月定期舉行工作進度會議，討論前一個月工作要項、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 107 年 6 月

15 日前繳交，期末報告初稿於 107 年 11 月 16 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、 成果繳交地點：內政部地政司。
- 二、 工作計畫書、期中報告及期末報告，成果繳交格式：以 Microsoft WORD 格式編製，版面採用 A4 直式橫書、編目錄、章節、頁次、並加封面裝訂成冊，電子檔含 Microsoft WORD 及 PDF 格式。
- 三、 成果繳交項目及日期如表 3-3-3-1 所示。

表 3-3-3-1、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。	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。	107 年 6 月 15 日前繳交。 左列各項書面資料初稿經審查後，廠商需於內政部指定期限內，繳交修正後期中報告定稿書面資料 3 份及其電子檔 1 份。
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。	107 年 11 月 16 日前繳交。 左列各項書面資料初稿經審查後，廠商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。

第四章實施方法

4.1 試辦區選定

本計畫選定臺北市小巨蛋與其附近區域為試辦區域，此區域面積約為 110 公頃。試辦區涵蓋範圍北以南京東路四段、南以忠孝東路四段、東以光復南路與光復北路、西以敦化北路與敦化南路為界，範圍如圖 4-1-1 所示。預計使用圖資為千分之一地形圖(圖幅編號為 N4344 ~ N4346、N4444 ~ N4446)、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)。試辦區範圍涵蓋不同型態建物類型(如住宅、辦公大樓、學校等)，在進行服務試辦時，亦有更多發展、應用空間。此外，試辦三維地形圖資測製所需之相關資料、申請證明文件如附件 D。

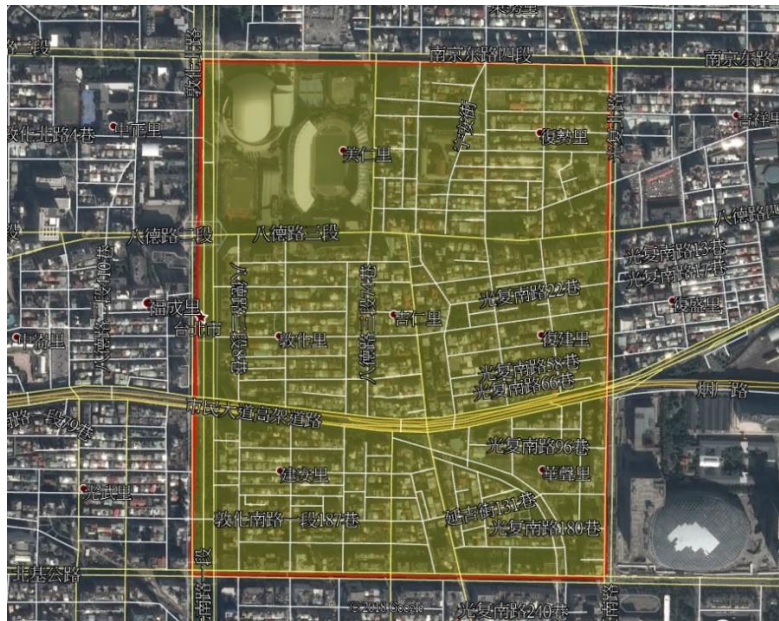
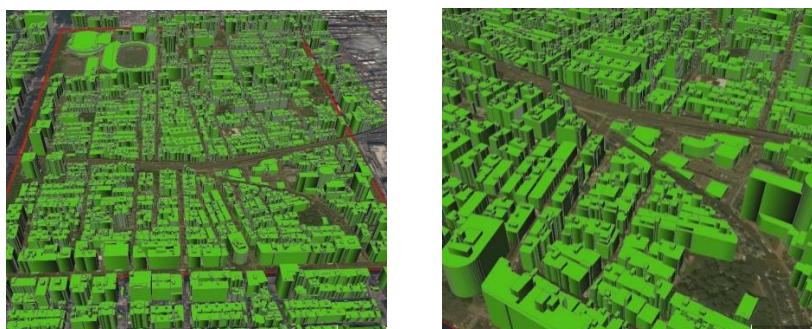


圖 4-1-1、試辦區範圍

針對試辦區內房屋模型，產製 LOD1 及 LOD2 房屋模型。LOD1 房屋模型部分，主要透過千分之一地形圖進行產製，房屋高度以每層樓 3.3 公尺為參考值(即樓層數*3.3 公尺)。試辦區涵蓋 6 幅圖幅，透過線上系統自動將千分之一地形圖轉檔為 kml 格式，每幅圖幅耗時皆在 5 分鐘之內，LOD1 房屋模型成果如圖 4-1-2 所示，紅色區域為本次試辦區範圍，綠色積木式模型為 LOD1 房屋模型。圖 4-1-2(a)為大範圍展示 LOD1 房屋模型，圖 4-1-2(b)為近距離視角。



(a) LOD1 房屋模型-全區



(b) LOD1 房屋模型-近距離

圖 4-1-2、試辦區 LOD1 房屋模型

LOD2 房屋模型部分，針對面臨道路 20 公尺之房屋進行 LOD2 房屋建模，此部分模型牆面敷貼真實紋理影像，其餘牆面則敷貼通用紋理影像。試辦區 20 公尺道路如圖 4-1-3 所示，黃色區域為試辦區域，藍色線段為 20 公尺道路(亦為拍攝路段)。拍攝影像部分成果如圖 4-1-4 所示，牆面貼圖成果如圖 4-1-5 所示。

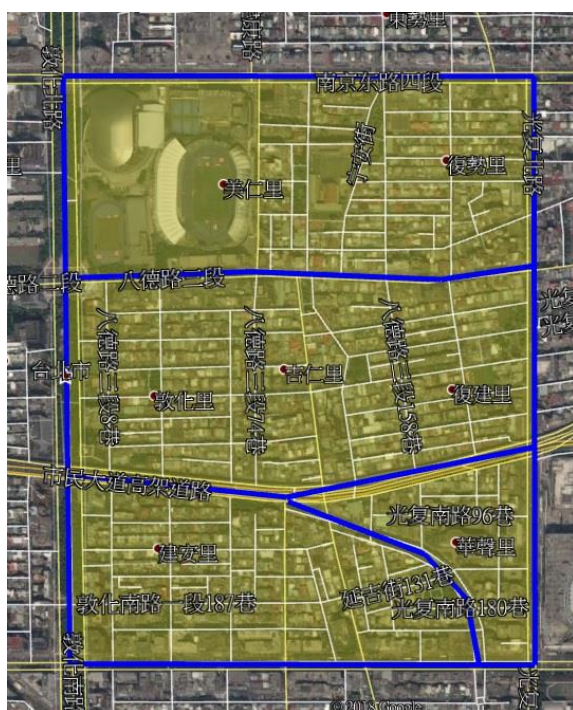


圖 4-1-3、試辦區 20 公尺道路資訊

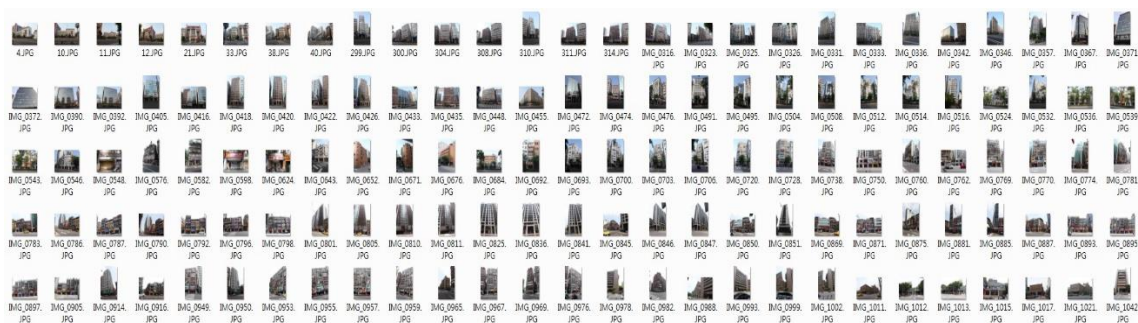


圖 4-1-4、試辦區 20 公尺道路近景影像部分拍攝成果



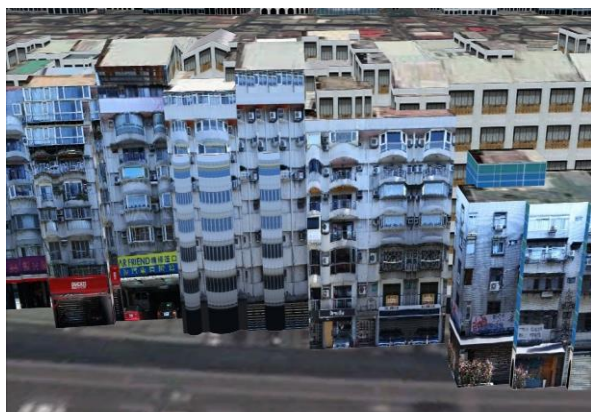
(a) 臺北市大安區忠孝東路 179 號



(b) 臺北市大區忠孝東路四段 329 號



(c) 臺北市大安區敦化南路一段 179 號



(d) 臺北市松山區市民大道四段 213 號



(e) 臺北市松山區八德路三段 10 號



(f) 臺北市松山區八德路三段 132 號

圖 4-1-5、LOD2 牆面紋理成果

4.2 研擬並精進三維地形圖資測製技術

4.2.1 三維地形圖資測製文獻蒐集與分析

本項工作蒐集國內外三維地形圖資測製之相關規範文獻，本年度工作重點為各國三維地形圖技術文件之文獻蒐集與分析，核心分析工項為三維地形圖之測製方法、三維地形圖之測製成果物件化、三維地形圖之資料結構、三維地形圖之編碼、三維地形圖之資料庫等。

受限於各國採用的不同語言及技術文件的公開性，本次報告蒐集之各國三維地形圖技術文件包含新加坡 3D National Map (Singapore Land Authority, 2013)、香港 3D Spatial Data(Hong Kong Land Department, 2012)、瑞士的 swissTLM3D(Schmassmann 2010)、荷蘭的 IMGeo (Information Model Geography) (Geonovum, 2017)技術文件。

一、三維地形圖之測製方法：建置三維地形圖的主要方式是使用二維地形圖延伸至三維地形圖，例如芬蘭對原本的 National Topographic Database (NTDB)擴充建立三維地形圖；荷蘭對原本的 2D IMGEO 擴充建立三維地形圖 3D IMGEO；瑞士對 2D 產品 swissTLM 等擴充建立 swissTLM^{3D} 等三維產品。雖然香港的 3D Spatial Data 不必然從二維資料產生，但仍使用千分之一分幅管理。因此，國家是三維地形圖測製方法主要使用現有二維圖資進行三維化，也就是使用網格式數值

高程模型或光達三維點雲提供高程資訊給現有二維圖資，採用自動化形塑演算法，以滿足大範圍三維地形圖產質的需求(Elberink et al., 2013)。

另一個應重視的重要發展為深度學習(Deep Learning)於自動化三維建模的發展，例如 DigitalGlobe 採用大量高解析衛星影像(如 30cm WorldView-3)及數值地表模型(如 50cm Vriicon 3D surface model)，以 AWS 雲端運算自動化建置全美國的房屋輪廓封閉多邊形(Ecopia Building Footprints 產品)，雖然產品的水平精度約為 4 公尺(90% circle error)，但可大範圍且全自動化重建。

二、三維地形圖之測製成果物件化：三維地形圖應包含地下物、地表物、地上物等不同尺度的不同物件（核心類別），可依不同方式對三維地形圖進行分類：

第一個方式，使用 CityGML 的 Thematic Model，核心類別為 Relief, Building, Transportation, Bridge, Tunnel, CityFurniture, Vegetation, WaterBody Modules 等(Soon and Khoo, 2017)，瑞士的三維地形圖產品即採用這種分類方式，每一個類別是各自獨立的產品，只針對需求較高的二維產品進行三維化，不需要將所有二維產品三維化。

第二個方式，使用 CityGML 的細緻度(Level-of-details)，可分類為 LOD0, LOD1, LOD2 等(Geonovum, 2017)，將相同尺度的物件依細緻度合併在

同一產品中，第二個方式仍包含第一個方式的主題模型，例如 LOD0 產品應包含 2.5D 地形、2.5D 交通區域、2.5D 水體區域、2.5D 房屋地面輪廓等；LOD1 產品均使用平頂量體模型(Solid Model)表示，例如平頂房屋、橋樑橋面、立方體隧道、平頂植物域等；LOD2 產品則是具有頂部幾何形狀的模型。這個方式的精神類似比例尺的概念，不同尺度的物件不會混在一起，但是不同細緻度著重在三維的差異，不同細緻度的二維幾何仍要一致，例如 LOD0、LOD1 及 LOD2 的房屋模型的二維輪廓要一致。此一繼承的概念也適用於精度，如 LOD0 二維房屋輪廓來自二維地形圖，因此 LOD0 二維房屋輪廓應繼承二維地形圖的精度要求，同理 LOD1 也應滿足 LOD0 的精度要求。

三、 三維地形圖之資料結構：現今三維地形圖之資料結構主要採用 **OGC CityGML** 標準(Stoter et al., 2001)，多數國家都使用 CityGML，對於 CityGML 不足的地方，則是使用 Application Domain Extension (ADE) 擴充，例如荷蘭 3D IMGEO-CityGML。採用 CityGML 的主要優點是滿足易於交換的 OGC Open Standard，且定義豐富的語義標籤。CityGML 現已發展至 2.0 版，有越來越多的軟體支援此格式，提供更好的資料使用環境。

由於 CityGML 採用 GML 為基礎，GML 的檔案通常都較大且複雜，因此發展了以 JSON 為基礎的 **CityJSON**，以克服另一個檔案大小的

問題。CityJSON 的目標是提供 CityGML 的 GML 編碼的替代方案，。CityJSON 是一種使用 JavaScript Object Notation(JSON)編碼 CityGML 資料模型（版本 2.0.0）的格式。CityJSON 文件表示城市的幾何和語義特徵，例如建築物，道路，河流，植被和城市家具等。CityJSON 旨在易於使用，可用於讀取及寫入資料，因此可以快速構建對應的工具和 API。CityJSON 目前為 v0.8 版，即延續了 CityGML 的語義又提升了資料讀寫的便利性，是一個具有發展潛力的資料結構。

四、三維地形圖之編碼：CityGML 對不同物件類別的編碼可參考 <http://www.sig3d.de/codelists/standard/>，雖然 CityGML 提供大量的物件編碼，但各國已有特定圖層編碼對應不同圖徵，無法直接與 CityGML 的 codelist 對應，必須建立現在編碼與 CityGML Codelist 的對照表，為一重大工程。

五、三維地形圖之資料庫：三維地形圖可使用各類不同資料庫(Database Management System, DBMS)，本計畫主要在探討支援 CityGML 的資料庫，現有支援 CityGML 的資料庫包含 GeoRocket(<https://georocket.io>) 及 3D City Database(<http://www.3dcitydb.org>)，GeoRocket 可支援多種資料格式(例如 CityGML、GML、GeoJSON 等)，用於高性能的空間數據存取，並可應用於雲端服務。3D City Database 是一個開放空間資料庫，用於三維城市模型在標準空間資料庫（PostGIS 和 Oracle）的存儲、展

示和管理，現已有許多實作案例。3D City Database 的主要功能是定義 CityGML 幾何及語義的 schema，以便使用者將 CityGML 匯入及匯出空間資料庫，一方面有效管理 CityGML 資料，另一個優點是採用空間資料庫中進行空間分析功能，加強 CityGML 的分析應用。

4.2.2 研擬三維地形圖資核心類別測製技術

近年來，由於空拍儀器的普及與影像建模的軟體便利，透過空載或地面影像建置三維物件與場景的展示方式有逐漸變多的趨勢。但是大比例尺(千分之一)基本地形圖資可精確地描繪地表物(如道路、人孔蓋等)與地上物(如人工建物)等的輪廓與位置，亦是目前國內建置三維數位城市的重要來源圖資之一。因此，若將數位城市以三維化的方式展示時，大多以 Mesh model 或 SolidModel 的類型進行呈現。現今支援 Mesh model 與 SolidModel 的檔案格式眾多(如 stl、xyz、obj、dae、fbx 等)，在考量模型的屬性、紋理與互通性等情況下，本項工作為建置試辦區之三維網格模型(3D Mesh model)，並以三維地形圖的核心類別(包括房屋及道路模型)為模型建置考量，提出以三維實體模型(3D Solid Model)建置三維地形圖資核心類別之技術，並分析此兩種模型之優缺點、適用範疇與發展潛力。

Mesh model 為頂點與多邊形的集合，通常由三角形、四邊形或凹凸多邊形構成。組成 Mesh model 的基本物件為點、線、面，將兩個頂點(vertices)

連起來的直線稱為邊(edge)，n 個頂點與 n 個邊組合而成的多邊形則稱為面(faces)，最後再由多個面組合成模型(model)，Mesh 的概念示意圖如圖 4-2-2-1 所示。由於三角形是幾何模型中最簡單的多邊形，並且能快速透過電腦計算出鄰近的邊與面，因此許多 3D Mesh model 的內容描述多由三角形組合而成，以提升計算、展示效能。

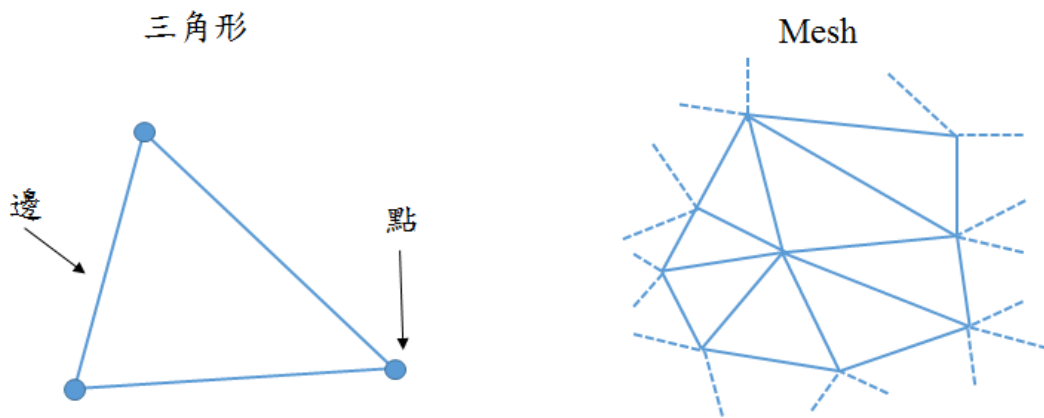


圖 4-2-2-1、Mesh 概念示意圖

前一年度之工作針對三維地形圖資的核心類別進行研究與建模試辦，本團隊已對 CityGML 格式有深入的研究，且 CityGML 格式具有資料互通性，因此今年依舊選擇以 CityGML 格式為 Solid Model 的代表類型。CityGML 為一個開放的標準化數據模型與展示三維城市所設計的資料交換格式，以 XML(Extensible Markup Language)格式為基礎的資料編碼標準，並遵循 OGC(Open Geospatial Consortium) [OGC,2012]與 ISO TC211 制訂的 GML (Geography Markup Language)規範所發展之應用模式。CityGML 主要為定義三維城市中各種類型物件(房屋、道路等)的幾何、屬性與拓樸等資訊，亦

可以加入顏色和紋理的描述，以便更真實地展示模型的外觀。本項工作為：
(1)建置試辦區之三維網格模型，(2)以三維實體模型建置三維地形圖資核心類別之技術，(3)分析此兩種模型之優缺點、適用範疇與發展潛力。

一、試辦區三維網格模型建置：

此部分工作為建置三維網格模型，主要透過 Bentley Context Capture 軟體進行模型建置，採用 Context Capture 的自動化匹配功能產製三維網格模型，本次試辦區共使用 20 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，試辦區全區三維網格模型成果如圖 4-2-2-2 所示。

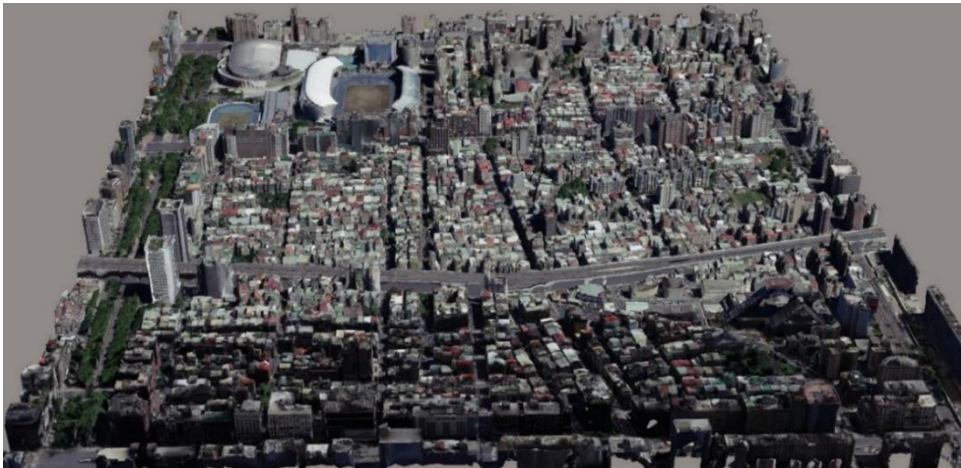
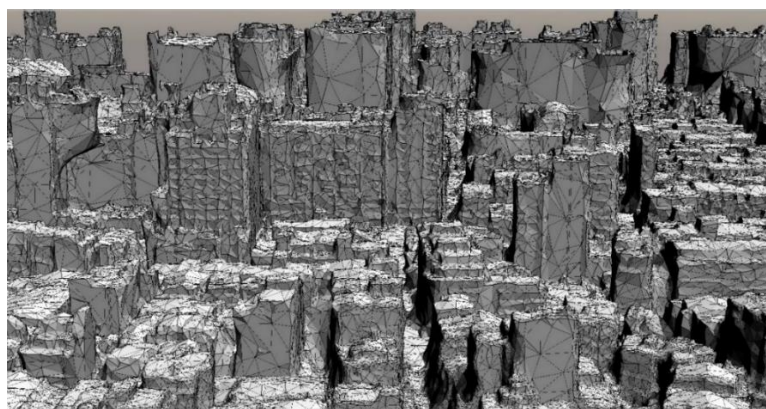


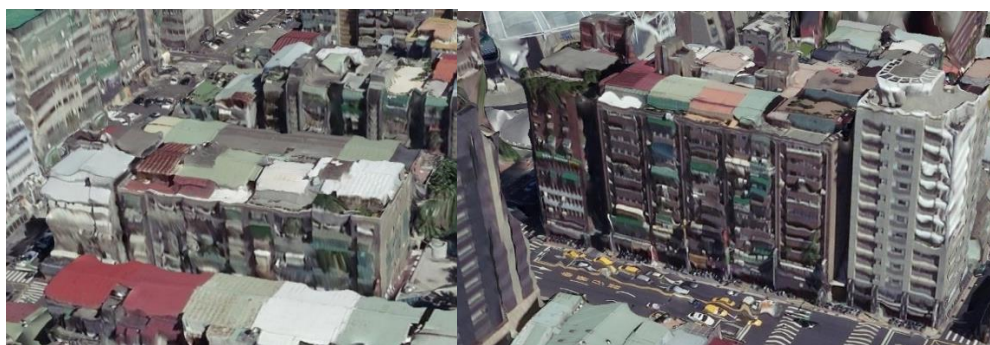
圖 4-2-2-2、試辦區全區網格模型

由於使用影像為未調色之原始航照影像，因此產製之網格模型之外部紋理色調不一致(不同拍攝航帶造成)，造成圖 4-2-2-2 中下方模型外觀偏暗。

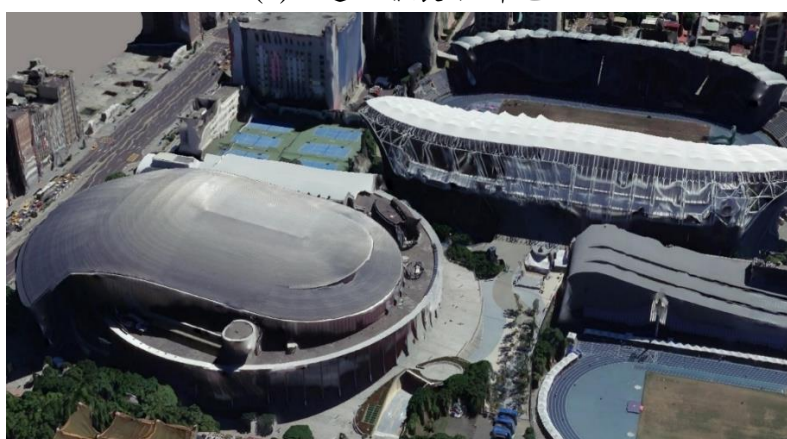
圖 4-2-2-3 為網格模型展示之成果，圖 4-2-2-3(a)為不含紋理之網格模型展示成果，圖 4-2-2-3(b)與圖 4-2-2-3(c)為近距離展示試辦區網格模型成果。



(a) 大範圍展示(不含紋理)



(b) 近距離展示-市區



(c) 近距離展示-小巨蛋周邊

圖 4-2-2-3、網格模型成果

透過原始航照影像建置網格模型，在影像特徵不足區域(橋下、遮蔽等)

建置之模型正確度會較低，而實體模型因具有物件的概念，透過輔助資料則能快速建置出高架道路。圖 4-2-2-4 為建置之高架道路網格模型案例，地點位於臺北市大安區光復南路 74 號附近，圖 4-2-2-4(a)為街景影像，圖 4-2-2-4(b)為高架道路模型。



(a) 街景影像



(b) 高架道路

圖 4-2-2-4、高架道路網格模型

二、以三維實體模型建置三維地形圖資核心類別之技術：分成 LOD1 房屋模型、LOD2 房屋模型與道路模型三種核心類別之技術進行介紹。

i. 房屋立體化技術(LOD1 房屋模型)：

此部分為自動化建置 LOD1 房屋模型，建置技術概念以千分之一地形圖為建置 OGC LOD1 房屋模型之材料，分析房屋輪廓線與樓層數等圖層資訊，自動化產製 LOD1 房屋模型，形成三維地形圖雛形。本團隊在執行內政部 100 年度「多尺度三維數位城市技術規劃工作案」

針對建置 LOD1 房屋已有初步成果，後續不斷研發、精進此技術，在執行內政部 104 年度「三維城市模型與建築等級模型之整合機制工作案」中，研發出線上自動化建置 LOD1 房屋技術。但此自動化建置技術對於千分之一地形圖的格式有所限制，限制的原因為早期在製作千分之一地形圖時並無嚴格的規範，而不同的製圖人員或公司所繪製之地形圖也可能會有所差異，例如：圖層名稱的訂定、應屬於同一圖層物件卻分成多個圖層、製圖軟體版本的差異等。為了避免各種因素造成自動化建置 LOD1 房屋模型錯誤，將各縣市千分之一地形圖版本的新舊(新舊版本的檔案格式與樓層圖層的定義皆有所不同)納入房屋模型自動化轉換考量。若是使用舊版的千分之一地形圖格式(dwg 格式)進行轉檔，則需將房屋與樓層數以外的圖層刪除；若是使用新版的千分之一地形圖格式(dgn 格式)進行轉檔，則需先行提供房屋圖層的名稱。由於千分之一地形圖擁有圖層式管理方式，即使是手動刪除不必要之圖層至多花費在 30 秒左右，之後透過線上自動轉檔系統，每幅圖幅轉檔約花費時間約 5 分鐘。

圖 4-2-2-5 為自動化建置 LOD1 房屋模型流程，主要分成資料前處理、高程加值與成果產出三個部分，流程步驟說明：(1)資料前處理，讀取千分之一地形圖資(房屋圖層)，將線型特徵(polyline)轉換成多邊形(polygon)，經過合併(merge)及空間連結(spatial join)等前處理，將成果

轉檔成 Shapefile 形式；(2)高程加值，結合 DTM、千分之一地形圖資(樓層資訊)與 Shapefile 資訊，將高程資訊與房屋模型進行屬性連結；(3)成果產出，產製 LOD1 房屋模型，房屋高度以每層樓 3.3 公尺為參考值(即樓層數*3.3 公尺)，將檔案轉換為通用格式，如 KML (Keyhole Markup Language)檔案。

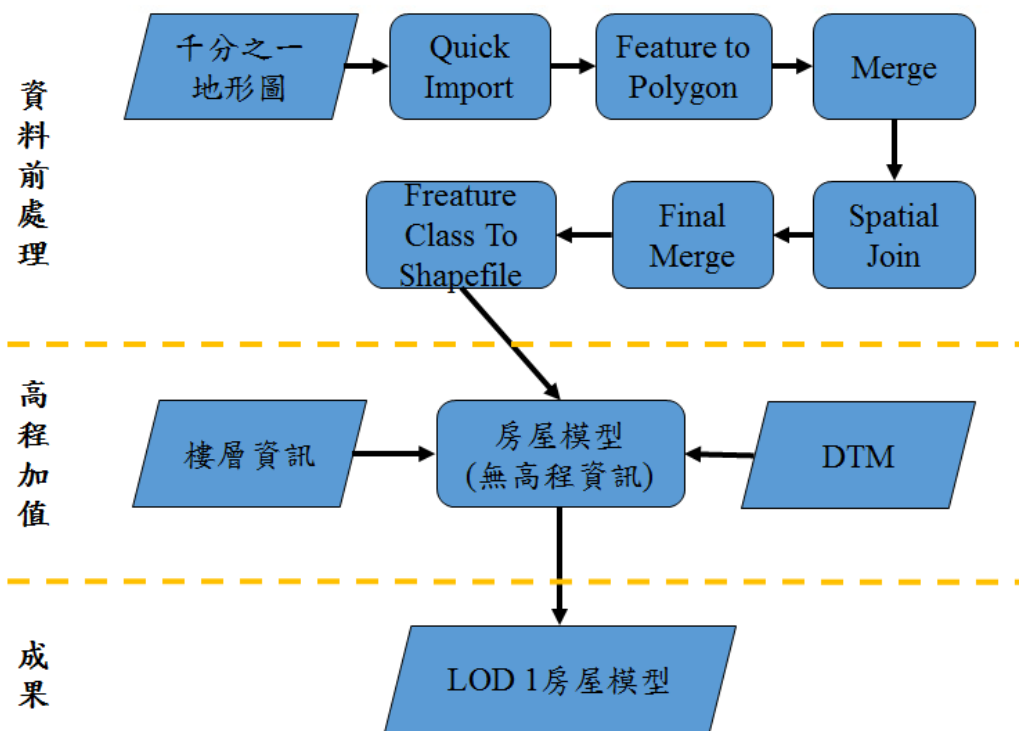


圖 4-2-2-5、自動化建置 LOD1 模型流程圖

ii. 房屋立體化技術(LOD2 房屋模型)：

此部分為半自動化建置 LOD2 房屋模型，建置技術概念為透過人工立體量測三維結構線，進而以半自動方式進行房屋模塑及編修，LOD2 房屋模型相關規格均參考內政部「三維房屋模型建置作業規範草

案」辦理。由於千分之一地形圖可提供精確之二維房屋輪廓邊界資料，故將自動化產製 LOD1 房屋模型的成果作為建置 LOD2 房屋模型之基礎材料，並採用資料整合的策略方式(包括整合空載數位航照影像立體對或空載光達資料等)，進一步提升 LOD1 房屋模型至 LOD2 房屋模型等級。

透過本團隊於執行內政部 100 年度「多尺度三維數位城市技術規劃工作案」(內政部，2011)開發之建模系統，若是使用航照影像進行測製，則是將房屋模型框架反投影到原始影像上，透過航照影像(1~N 張)之載入與比對，再由人工進行模型屋頂之判釋與調整等，如圖 4-2-2-6 所示；若是使用空載光達資料進行測製，則透過程式以半自動方式進行房屋模型及編修，如圖 4-2-2-7 所示。

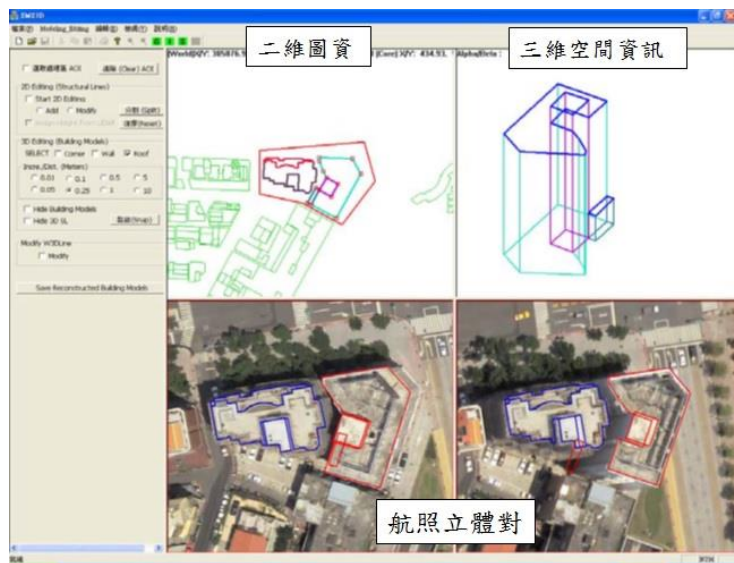


圖 4-2-2-6、利用空載數位航照影像立體對建置 LOD2 模型

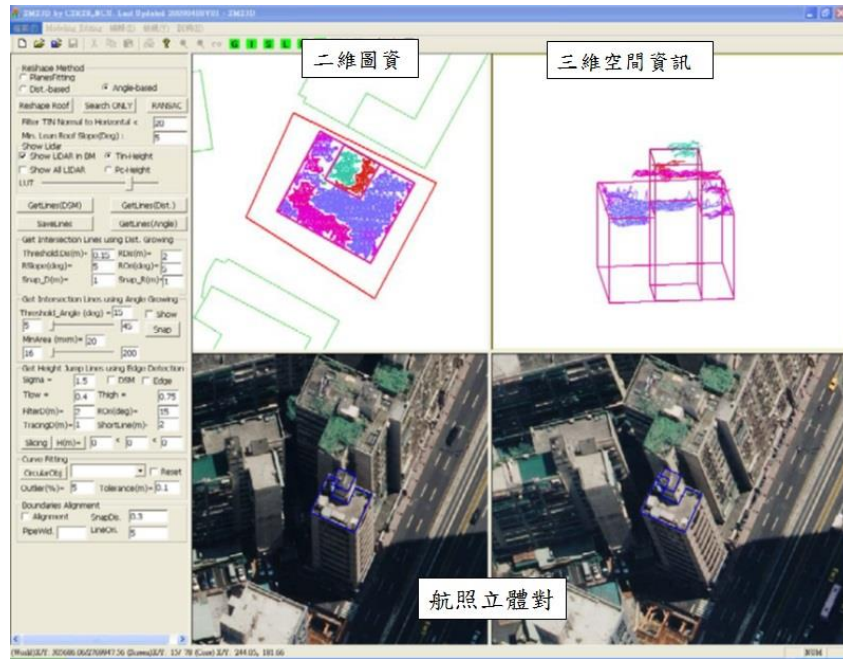


圖 4-2-2-7、利用空載光達點雲建置 LOD2 模型

建置 LOD2 房屋模型之工時可分成模型建置與牆面紋理敷貼，作業包含教育訓練、資料蒐集與數化結構線、影像遮蔽處理等內外業處理，統計後每幅圖幅約花費 266.3 小時/每人。詳細工時及成本分析介紹可參閱本團隊執行內政部 100 年度「多尺度三維數位城市技術規劃工作案」之「工時成本分析」內容。

iii. 彩帶式三維道路模型建置技術：

道路模型主要建置概念為透過千分之一地形圖之道路輪廓線產生道路中心線幾何線形，建立各路段間之位相關係，完成道路模型，圖 4-2-2-8 為道路建置示意圖。處理步驟可分成：(1)截取道路輪廓線，(2)產生道路中心線，(3)位相關係連接，(4)產製道路模型。截取道路輪廓

線部分，分析千分之一地形圖中道路相關圖層(包含平面道路、高架道路與安全島等)之邊界線，藉由分離與合併輪廓線，以配對走向相似的道路輪廓線，如圖 4-2-2-8 (a)。產生道路中心線部分，經路寬距離、平面走向與邊界高程差等條件計算各路段中心線，圖 4-2-2-8(b)中藍線為處理後之道路邊界，橘線為經配對產生中心線。位相關係連接部分，將各路段道路中心線相互連接，並建立彼此間之位相關係，經數學模式平滑化保持高程、坡度與坡度差之連續性，完成路網建立，以描述道路位相關係，如圖 4-2-2-8(c)所示。產製道路模型部分，為維持既有的輪廓線形，此部分使用原始邊界線組不規則多邊形，產生三維道路模型路面，如圖 4-2-2-8(d)所示。最後，使用光達點雲之數值地形模型與數值地表模型進行路面擬合，建置 LOD1 三維彩帶式道路模型。

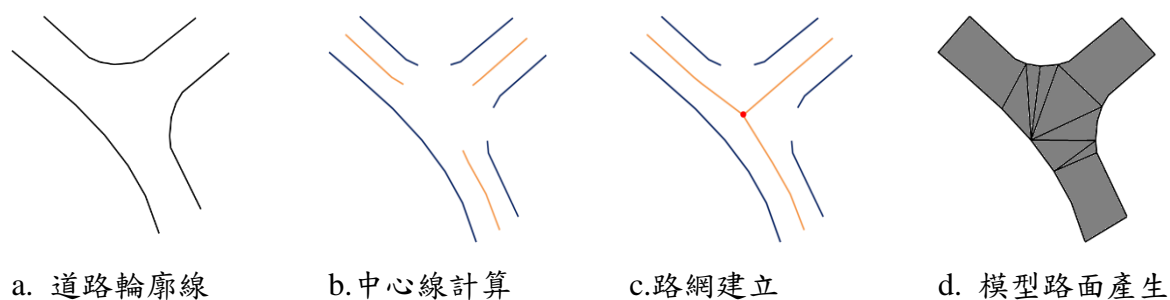


圖 4-2-2-8、道路建置示意圖

三、優缺點、適用範疇與發展潛力：

i. 三維網格模型(3D Mesh model)：

建置網格模型來源可為空載、地面影像或點雲資料等。優點部分，近年來透過無人航空載具(UAV)、車載取得影像相當便利，且在不考慮網格模型的品質下，只要能取得影像資料，即可快速產製出網格模型。若想建置高品質之網格模型，則需考慮影像之分辨率、清晰度、光影效果等。網格模型的描述方式對於複雜的幾何形態具有較高的呈現效果，例如：大範圍如地形、樹木、景觀等，小範圍如玩具、傢俱、雕像等。

缺點部分，由於建置網格模型之來源影像沒有分門別類或圖層式的概念，因此建置出之網格模型暫時無法針對同類型物體進行分類或是物件化的選擇，亦缺乏不同地物的屬性資訊。若建模之影像資訊不全、重疊辨別度不夠或出現遮蔽等問題，產生之網格模型品質會較差，甚至是組成錯誤的網格模型；而高品質的網格模型，使用的幾何敘述也越多，即模型檔案大。使用影像建模時，來源影像之色調、色差應先調整過，展示出的網格模型外觀紋理部分才會有一致性。

適用範疇與發展潛力部分，若只想快速且大範圍產製三維模型(暫不論模型品質)，可以考慮使用網格模型，但若是想建置出高品質的模型(可近距離觀看)，且後續要能針對模型、屬性資訊進行應用，現階段的網格模型則不一定適合。使用網格模型之時機，建議在非都市區、無千分之一地形圖資之區域、有快速且大範圍建置需求或地形地貌較

特殊之地區等。由於 OGC i3s 是一個以 scene layer 為基礎的格式，適用於 Integrated Mesh，具有很好的三維資料展示效能，因此網格模型格式標準建議參考 OGC i3s 規範。目前較常被用來線上展示網格模型(電腦、手機可直接瀏覽)的網站為 Sketchfab (<https://sketchfab.com/>)，但前提是必須先將資料上傳至 Sketchfab 網站上才能瀏覽模型。現今已有許多軟體支援利用影像建立網格模型的功能，如付費軟體：PhotoScan(Agisoft)、Pix4D mapper(Pix4D)、ContextCapture (Bentley)等，比較如表 4-2-2-1；免費軟體：透過 VisualSFM 產生影像點雲，再搭配 MeshLab 建置網格模型等。這些軟體的出現降低建置網格模型的門檻，進而提高網格模型的使用率。

表 4-2-2-1、影像建模軟體比較

	Pix4D mapper	PhotoScan	ContextCapture
輸出格式	GeoTiff、OBJ、LAX、XYZ 等	OBJ、PLY、VRML、DAE、FBX、3DS、PDF 等	3MX、I3S、OBJ、FBX、STL、DAE、OSGB、Cesium 等
人工操作	自動化高， 成果錯誤率略高	自動化高， 成果錯誤率中	自動化高， 成果錯誤率低
模型精細程度	中	中	高
人工修復處理工作	高	中	低

ii. 三維實體模型(3D Solid Model)：

建置實體模型資料來源為二維地形圖。優點部分，LOD1 房屋模型

部分，已有自動化建置 LOD1 房屋模型之技術，且模型之輪廓精度準確；若要求屋頂之精度，則可透過人工將 LOD1 房屋模型提升為 LOD2 房屋模型。實體模型為針對屋角點等輪廓進行建置，幾何敘述部分較單純，即檔案較小。由於在繪製二維地形圖之各物件時，可針對各物件進行圖層式的分類，故建置模型時，可針對不同圖層進行三維實體模型之建置，甚至重複性高之物體可用物件化的方式直接產製；加上各物件具有豐富的屬性資訊，在建置的過程中能保留屬性資訊，或透過 ArcGIS 等軟體進行屬性加值分析，最後將模型與屬性進行連結。

缺點部分，由於資料來源為二維地形圖，在現有的技術下，若無地形之圖資則無法自動產製模型；若圖資過舊，則需進行重測、變遷偵測等處理。必須明確規範定義從二維數值地形圖建置三維數值地形圖標準，在建置、展示三維實體模型才能有所依據。若無地形圖資或參考圖資，則需重新測製以建置實體模型。目前只支援 LOD1 模型自動化建置，LOD2 模型以上之層級仍需人工介入處理。

適用範疇與發展潛力部分，由於 OGC CityGML 已定義出模型之標準、架構等規範，在建置模型時參考規範作為建置依據，也可根據模型外觀之細緻度分層級(LOD 概念)建置模型。由於 OGC CityGML 主要為定義三維向量式模型，並以 GML 為基礎，具有豐富且詳盡的標籤資訊，適用於資料交換，因此模型標準可參考 OGC CityGML 規範。使

用實體模型之時機，建議以都市區為主，再根據使用需求依層級建置對應之模型。由於建置之模型有規範可供參照，因此不同細緻度之模型間之轉換展示則不會太顯突兀，對於室內外模型之應用也較適合。目前可透過 Google Earth Enterprise(GEE)、Cesium 等平台進行線上展示實體模型。綜合以上論述，將兩種模型以列表方式進行比較，如表 4-2-2 所示。

表 4-2-2-2、網格模型與實體模型比較表

	網格模型	實體模型
來源資料	空載、地面影像或點雲資訊等	二維地形圖
優點	<ol style="list-style-type: none"> 1.資料取得便利 2.適用於複雜的幾何形態 3.具有高細緻的呈現效果 4.多套軟體支援影像建模，大幅降低建模門檻 	<ol style="list-style-type: none"> 1.可自動化快速建置 LOD1 房屋模型 2.模型輪廓精度準確 3.模型幾何敘述較單純(檔案 size 小) 4.具有模型細緻度分級規範
缺點	<ol style="list-style-type: none"> 1.無法進行圖層分類 2.無物件化概念 3.缺乏屬性資訊 4.若影像資訊不全，模型品質會較差 5.需調整來源影像之色調、亮度等，模型外觀才有一致性 6.模型由網格組成(檔案 size 大) 	<ol style="list-style-type: none"> 1.需要二維地形圖才能進行模型建置 2.LOD2 以上之模型無快速建模技術 3.必須明確規範定義從二維數值地形圖建置三維數值地形圖標準
線上展示平台	Sketchfab	Google Earth Enterprise、Cesium、Unity3D 等
適用範疇與發展潛力	<ol style="list-style-type: none"> 1.適合非都市區建置模型 2.地形地貌較特殊區域 3.模型可參照 OGC i3s 規範，以提升展示效能 	<ol style="list-style-type: none"> 1.適合都市區建置模型 2.室內外應用較連貫 3.模型可參照 OGC CityGML 規範，以利資料交換

4.2.3 提升三維地形圖資核心類別測製效率或品質

本項工作為針對 4.2.2 節中提出之核心圖資(包括房屋及道路模型)測製技術進行精進，精進的方向為：(1)提升房屋紋理細節、及(2)三維道路模型重建的精進。

一、提升房屋紋理細節(通用紋理品質)

本項工作主要任務為建置一個可提升房屋紋理品質之程序圖 4-2-3-1 為改良版通用紋理流程圖。詳細步驟如下：

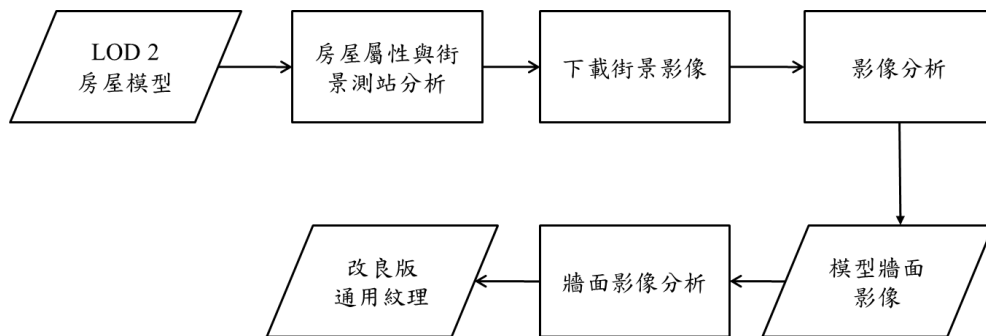
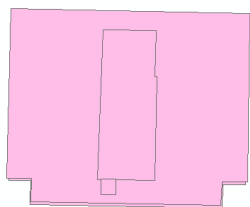


圖 4-2-3-1、改良版通用紋理流程圖

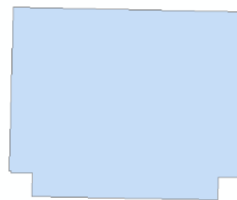
- i. LOD2 房屋模型：圖資來源為 4.1 節產製之試辦區房屋模型。
- ii. 房屋屬性與街景測站分析：本步驟主要是藉由(1)將房屋內部的多邊形做溶解處理(如圖 4-2-3-2)，濾除雜點降低測站搜尋的資料量；(2)分析 LOD2 房屋模型的房屋屬性資料，計算房屋屋角點坐標(圖 4-2-3-3)；(3)計算試辦區域內各方位牆面中心點坐標(如圖 4-2-3-4)等三個部分的前處理，取得位置參數，最後使用 Google Street View Image API 的

中繼資料功能(輸入位置參數)，查詢特定位置附近是否有測站資訊，

圖 4-2-3-5 為查詢後的測試區測站分布。



(a)內部的多邊形溶解前之示意圖



(b)內部的多邊形溶解後之示意圖

圖 4-2-3-2、房屋內部的多邊形之溶解處理



圖 4-2-3-3、房屋牆面臨界值分布圖



圖 4-2-3-4、房屋牆面中心點示意圖



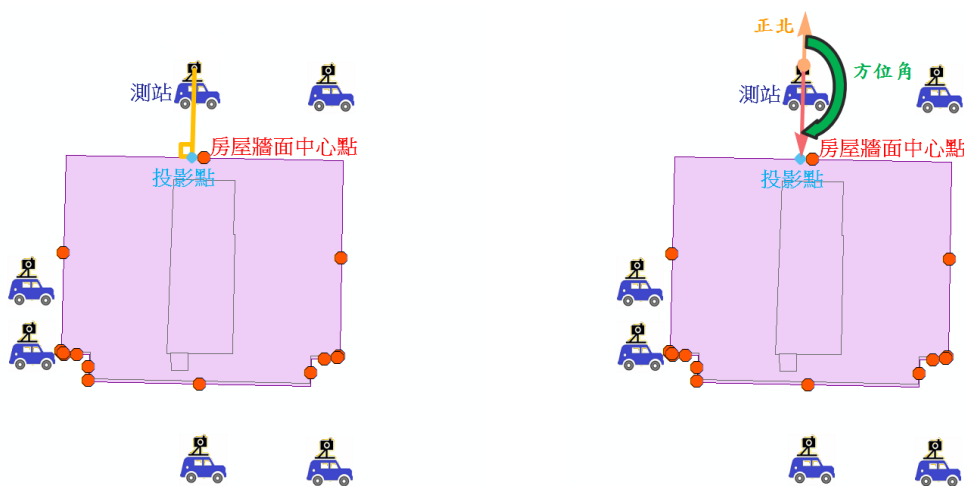
圖 4-2-3-5、試辦區測站搜尋成果

iii. 下載街景影像：本步驟流程包含下列二個部分：

(1) 在 Google Street View Image API 透過輸入 HTTP 要求的 URL 參數，查看 Google 街景車與第三者在街道提供的街景影像。

(2) 取得測站與牆面之方位角(Heading):利用測站到牆面中心點位置與正北方向取得的影像都為傾斜影像，為了盡可能從測站取得建物正面影像，首先計算測站到房屋牆面的投影點，再計算測站到投影點與正北的角度為方位角，如圖 4-2-3-6 所示。另外假設影像傾角(Pitch)與視角(Field Of View, FOV) 分別為 0° 和 120° ，使用 Google Street View Image API 取得街景影像。

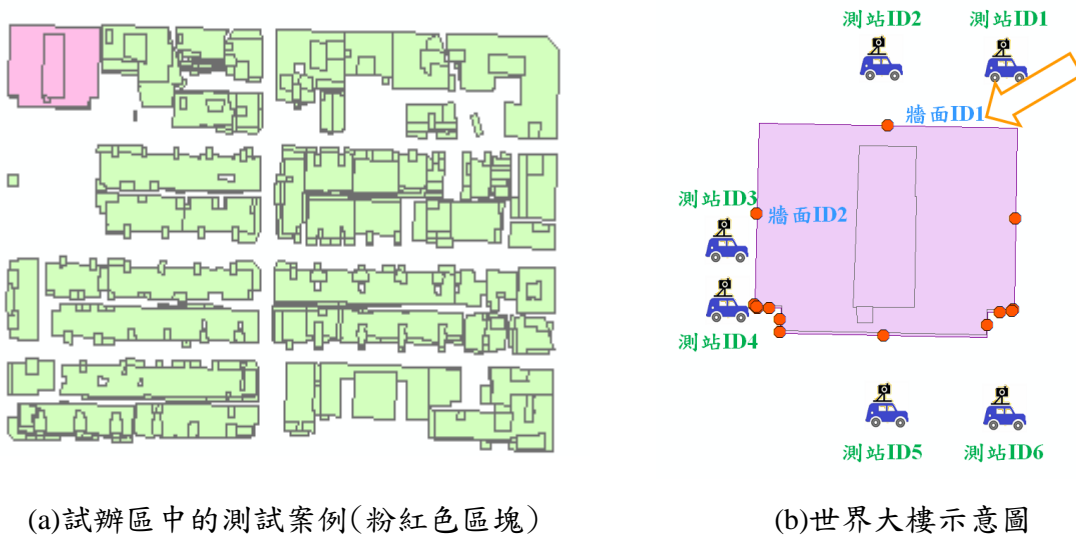
以測試案例而言，牆面 ID1 可找到最近的測站為測站 ID2，經由 Google Street View Image API 輸入 HTTP 要求的 URL 參數，取得街景影像，如圖 4-2-3-7(d) 所示。



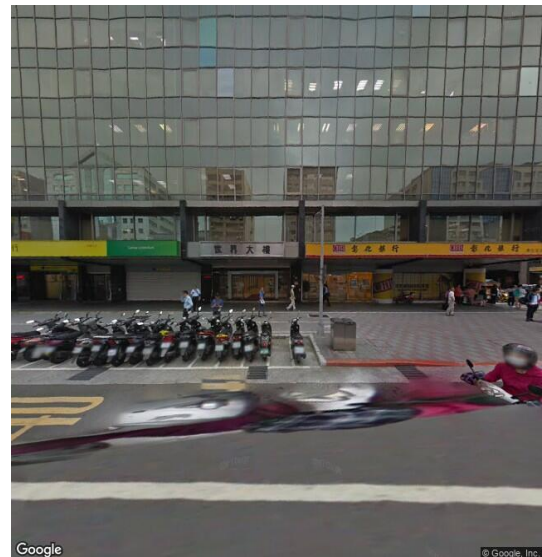
(a)測站到牆面投影點

(b)計算正北與測站到牆面投影點的方位角

圖 4-2-3-6、取得測站與牆面之方位角示意圖



(c) 世界大樓原始影像



(d) 街景影像下載的成果

圖 4-2-3-7、街景影像下載之測試案例

iv. 影像分析：本步驟主要流程為(1)計算房屋角點在街景影像之坐標；(2)感興趣區域。步驟流程說明如下：

(1)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 4-2-3-8 為三點共線示意圖。共線條件方程式起初推導源自式(4.2.3.1)，利用已知測站(Station)坐

標，對目標建物(Building)三維坐標求解房屋在影像(Image)上之坐標。但 Google Street View Image API 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 Google Street View API 所提供的參數 FOV 和測站 S 投影到 $\overline{BB'}$ 之投影點 S_p 與測站 S 的距離 D，可取代焦距並改良式(4.2.3.1)成式(4.2.3.2)與式(4.2.3.3)，透過比例解算在影像上之坐標。最後，經由式(4.2.3.2)、式(4.2.3.3)可求得在建物在影像上之投影坐標。

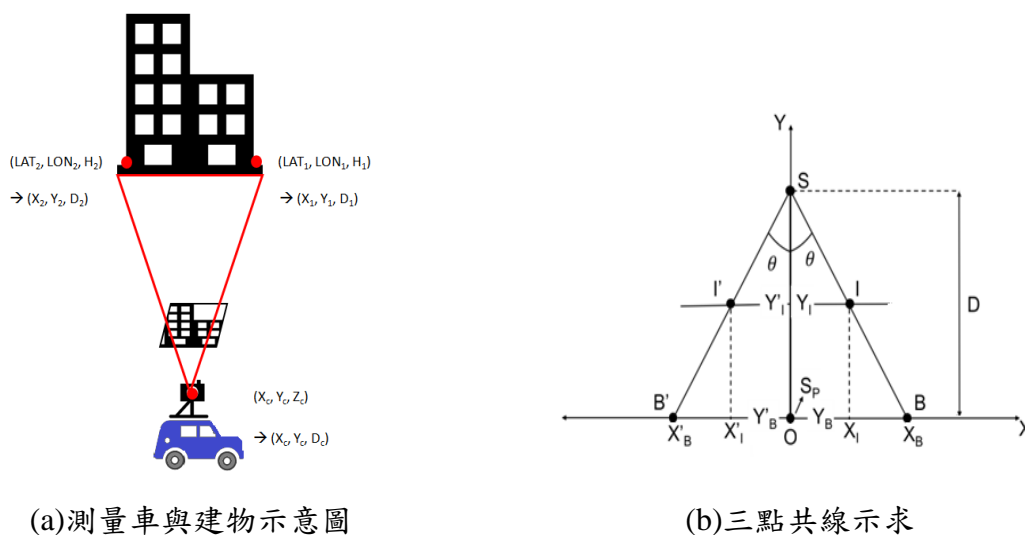


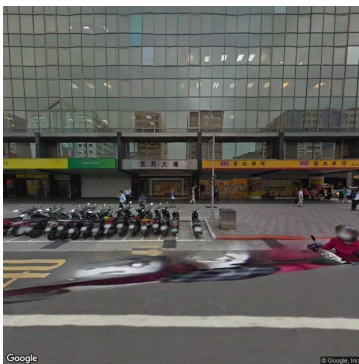
圖 4-2-3-8、三點共線條件示意圖

$$\frac{X_S - X_I}{X_S - X_B} = \frac{Y_S - Y_I}{Y_S - Y_B} = \frac{-f}{Z_S - Z_B} \quad \text{式(4.2.3.1)}$$

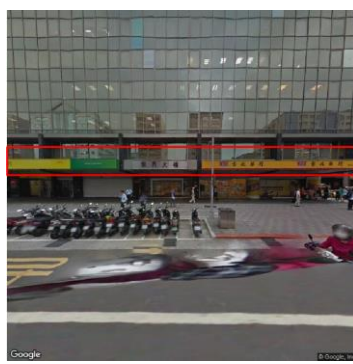
$$I = \frac{\sqrt{(S_{Px} - X_B)^2 - (S_{Py} - Y_B)^2 + (S_{Pz} - Z_B)^2}}{D \tan \theta} \quad \text{式(4.2.3.2)}$$

$$I' = \frac{\sqrt{(S_{Px} - X'_B)^2 - (S_{Py} - Y'_B)^2 + (S_{Pz} - Z'_B)^2}}{D \tan \theta} \quad \text{式(4.2.3.3)}$$

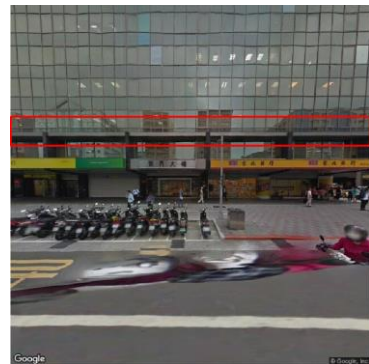
(2)擷取感興趣區域(Area of Interest,AOI): 為將建物的各樓層交界線切割,以取得模型牆面影像的資料。使用房屋樓層屬性和步驟(1)的計算方法,可取得每個樓層區塊的 AOI,如圖 4-2-3-9 所示。因為街景影像有遮避問題,例如行道樹、路燈、招牌等,最後會取最高樓層的 AOI 切割結果(即圖 4-2-3-9(f)中紅色區塊)為模型牆面影像之成果,如圖 4-2-3-10 所示。



(a) 原始街景影像



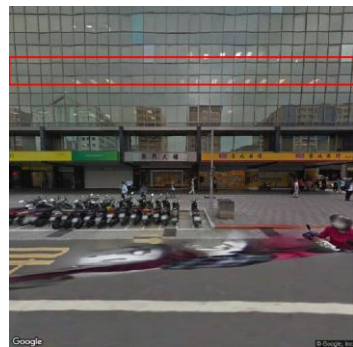
(b) AOI 切割 2 樓



(c) AOI 切割 3 樓



(d) AOI 切割 4 樓



(e) AOI 切割 5 樓



(f) AOI 切割 6 樓

圖 4-2-3-9、AOI 切割樓層示意圖

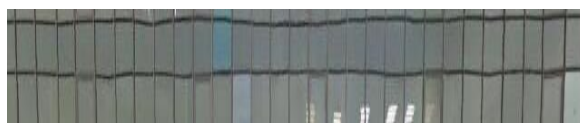
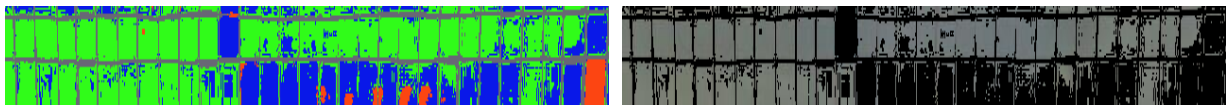


圖 4-2-3-10、AOI 切割樓層-最高樓層成果

v. 牆面影像分析：為了分析圖 4-2-3-10 之影像成果，使用 ArcGIS 產品 ISODATA 功能來分析影像的色群分布，可以得到主色群區域的結果，如圖 4-2-3-11(a)所示(綠色為主色群區域)。接著比對主色群區域與牆面影像的差異，產製僅包含主色群區域之牆面影像，成果如圖 4-2-3-11(b)所示。



(a)影像色群分布

(b)分析主色群後之牆面影像

圖 4-2-3-11、牆面影像分析

vi. 改良版通用紋理：為分析圖 4-2-3-11(b)影像中主色群涵蓋區域之 RGB 平均值，並與紋理資料庫中所有紋理進行比對，挑選出 RGB 差值最小的紋理影像，即為該牆面的通用紋理影像。圖 4-2-3-12 為紋理資料庫之部分影像，圖 4-2-3-13 為牆面影像與對應之改良版通用紋理成果。



圖 4-2-3-12、紋理資料庫影像

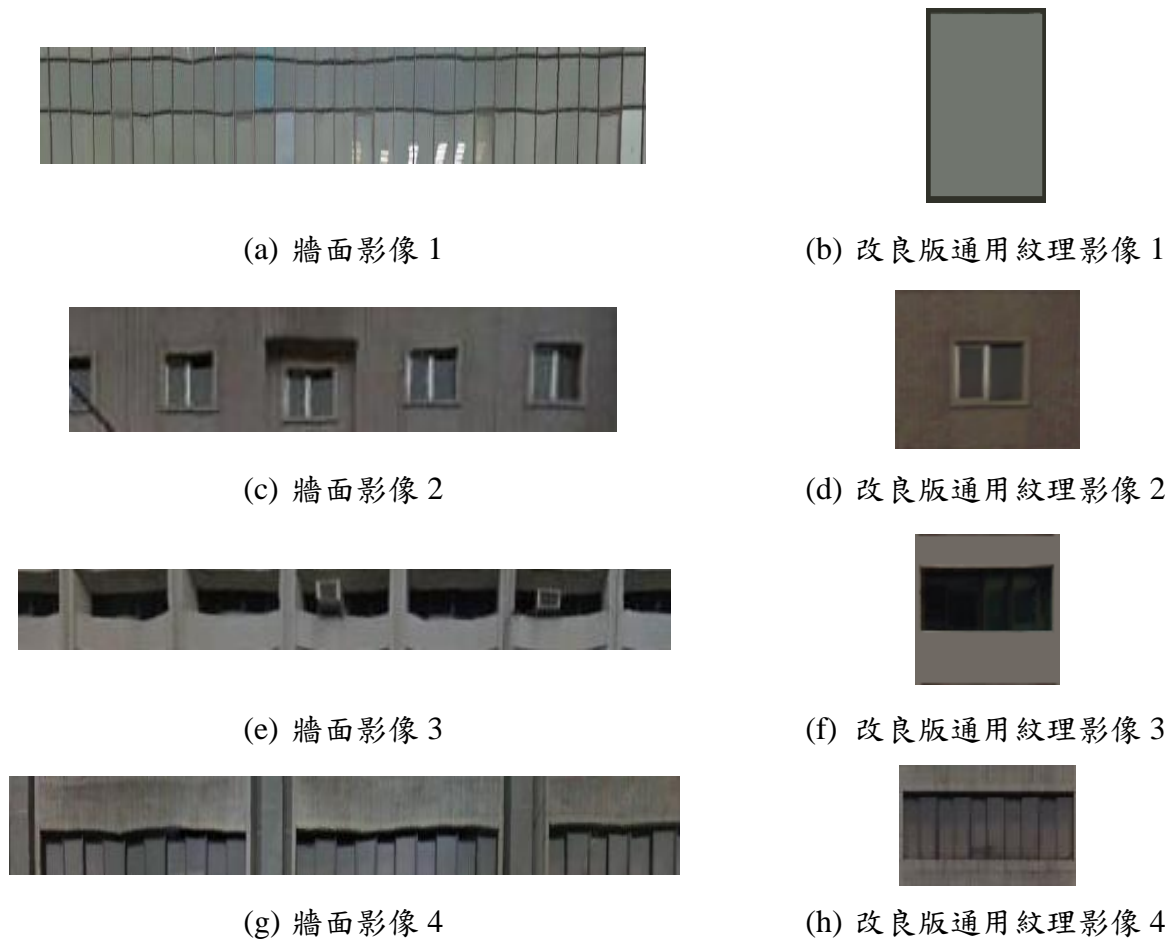


圖 4-2-3-13、牆面影像與對應之改良版通用紋理分析成果

二、三維道路模型重建的精進

在三維道路模型重建的精進方面，考量道路模型重建的自動化程度及細緻度的提升，工作重點為：三維點雲自動形塑於三維彩帶式道路模型重建之自動化程度提升(Elberink et al., 2013)。

本計畫採用大比例尺二維數值地形圖加值後的 GIS 產品作為輸入資料，使用圖資包含人工編修後之二維道路多邊形向量圖，而三維道路的幾何則來自三維點雲，道路多邊形向量圖提供道路區域，並由點雲提供路面幾何

形狀。圖 4-2-3-14 為三維彩帶式道路模型重建流程圖，道路重建先將道路區分為平面及非平面道路，以區別道路立體交會區域。首先以道路多邊形節點分解為二維平面三角網；最後，以三維點雲之數值地形模型及數值地表模型進行路面擬合，以建立三維彩帶式道路模型。

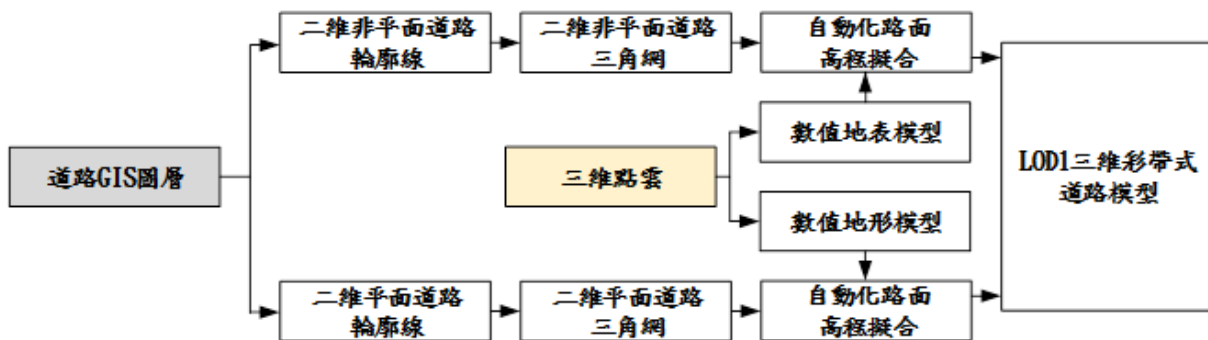


圖 4-2-3-14、道路模型重建流程圖

本計畫使用試辦區域內的 GIS 道路向量圖、數值地形模型及數值地表模型形塑平面及高架道路，三維道路模型重建所使用的點雲的來源為空載光達網格化之數值地形模型及數值地表模型。形塑採用隨機抽樣一致演算法(Random Sample Consensus, RANSAC)過濾非路面點雲及擬合路面。圖 4-2-3-15 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 LOD1 模型形塑中。

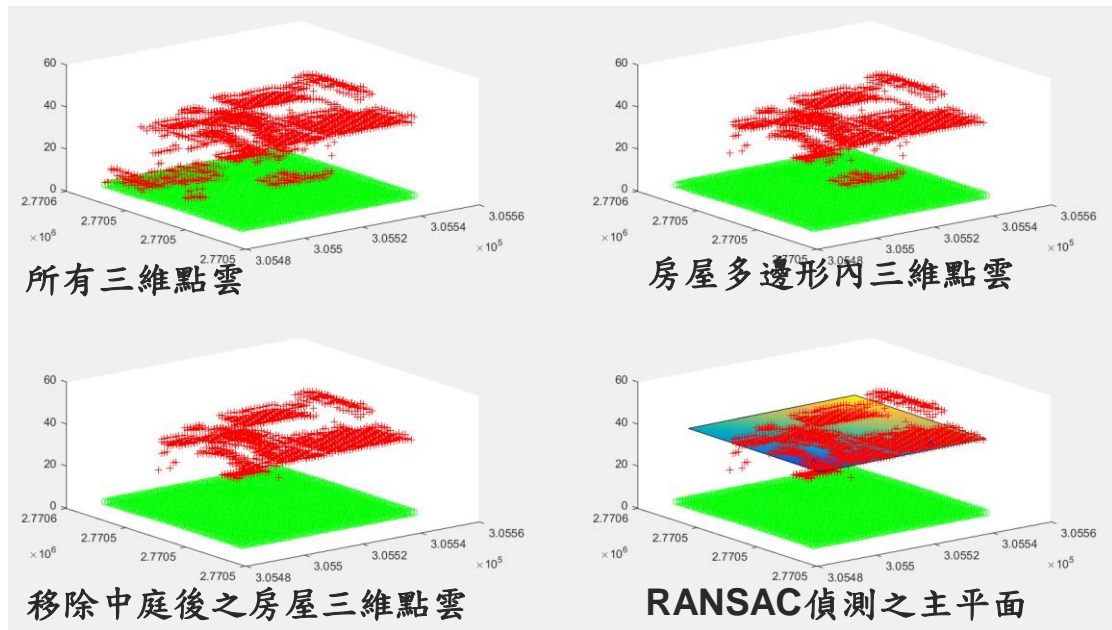
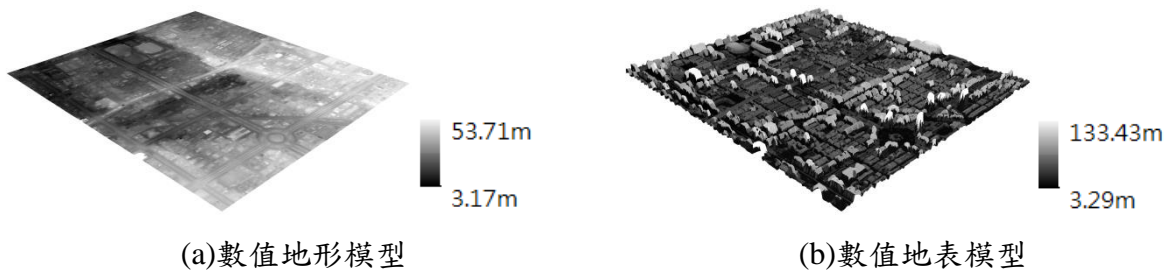
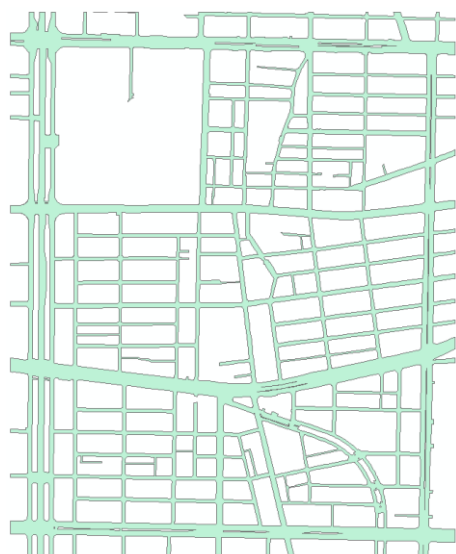


圖 4-2-3-15、三維點雲形塑平面之示意圖

本計畫試辦區三維道路模型自動化重建成果如圖 4-2-3-16 所示，平面與高架分離為兩組道路模型，統計所有道路模型的節點數，共有 8194 個節點。採用本計畫提出之方法，可自動將輸入的 GIS shapefile 轉換為 OGC CityGML cityObjectMember:Tran:Road，有效提升三維地形圖資核心類別測製效率，此外，輸出成果可直接在 FZKViewer 中展示，表示本計畫輸出的三維道路模型為正確的 CityGML 檔案。

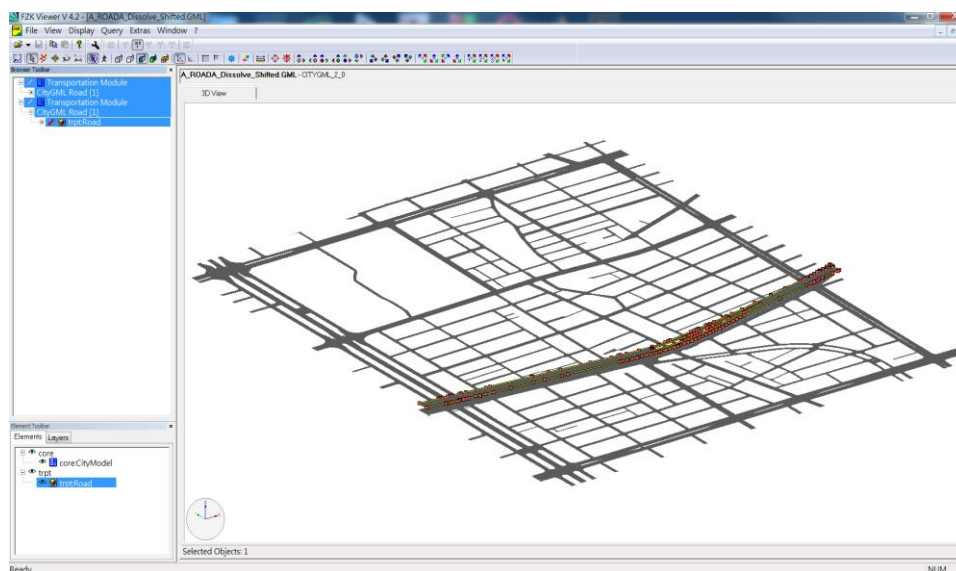




(c)平面道路



(d)高架道路



(e) CityGML LOD1 道路模型

圖 4-2-3-16、道路模型重建成果

三、 LOD1 模型重建的精進

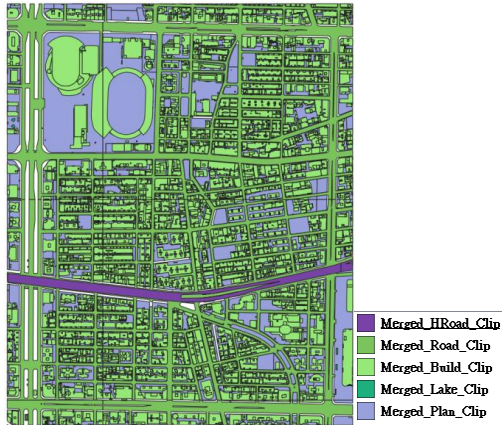
本計畫整理 LOD1 三維地形圖模組所對應的二維多邊形圖層，以二維多邊形向量圖、數值地形模型及數值地表模型重建不同模組之 LOD1 模型，此處的「精進」是指自動化程度的提升，提升自動化程度的方法是，採用

RANSAC 萃取房屋多邊形內數值地表模型之最佳三維平面。表 4-2-2-3 總整試辦區「千分之一地形圖」、「臺灣通用電子地圖」對應三維地形圖模組，其中 CityFurniture 為都市設施，無對應圖層，故未進行重建。重建方法為前述之形塑方法，利用高程模型配合 RANSAC 萃取最佳三維平面，並依照 CityGML 的定義建立不同模組三維資料。

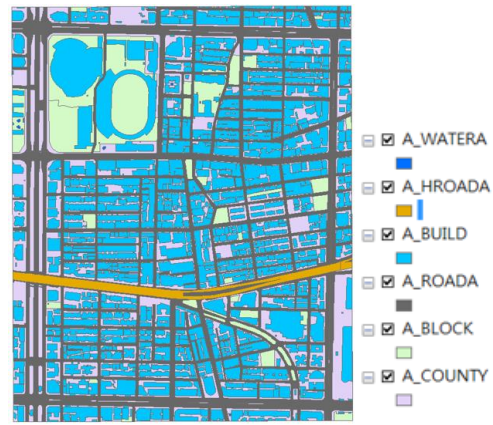
表 4-2-2-3、LOD1 三維地形圖模組之對應圖層

三維地形圖 模組	千分之一地形圖 圖層	臺灣通用電子地圖 電子地圖圖層	備註
Relief	_Plan	_Block	
Building	_Build	_Build	
Transportation	_Road	_RoadA	
Vegetation	_Plan	_Block	屬性標示為公園之多邊形
Waterbody	_Lake	_WaterA _RiverA	
Bridge	_HRoad	_HroadA	
Tunnel		_TunnelA	
CityFurniture			無對應圖層

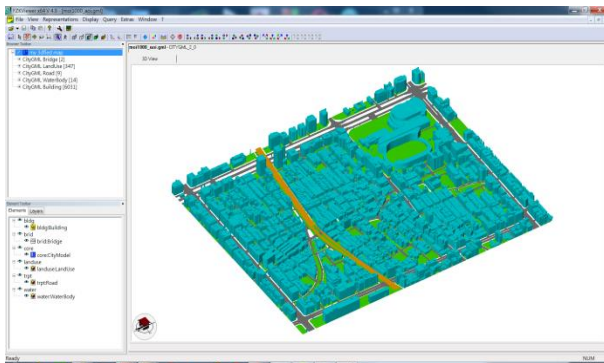
LOD1 三維地形圖重建成果如圖 4-2-3-17 所示，試辦成果顯示，採用本計畫的形塑策略，可成功對現有二維圖資進行加值，並建立滿足 CityGMLLOD1 規範之產品。比較來自「千分之一地形圖」及「臺灣通用電子地圖」的成果，從房屋多邊形數量進行比較，千分之一地形圖及臺灣通用電子地圖的數量分別是 6013 及 758 個多邊形，來自千分之一地形圖的房屋屋頂細節較為豐富。



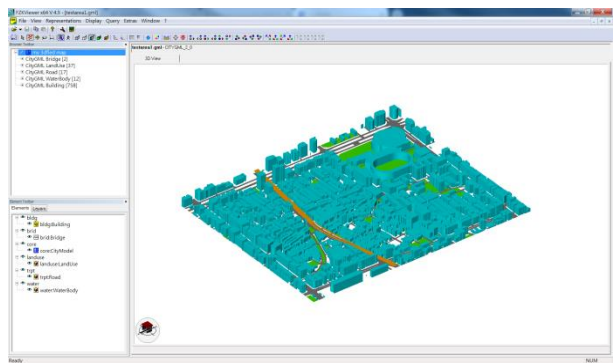
(a)1/1000 2D polygon



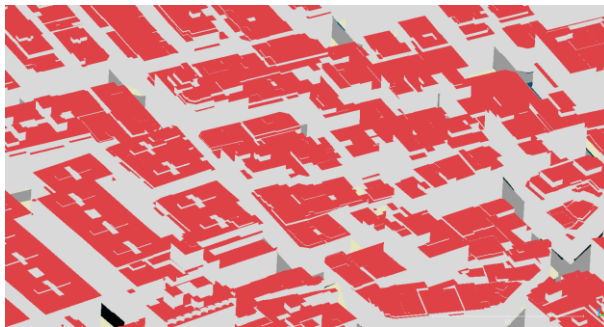
(b)emap 2D polygon



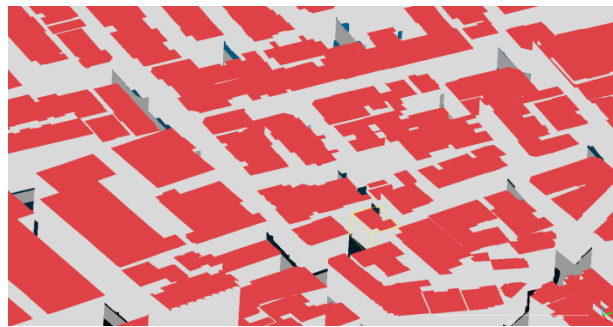
(c) LOD1 3D Models (from 1/1000)



(d) LOD1 3D Models (from emap)



(e) LOD1 3D Buildings (from 1/1000)



(f) LOD1 3D Buildings (from emap)

圖 4-2-3-17、LOD1 重建成果之比較

就道路細緻度而言，由於製圖比例尺不同，比較兩者之道路邊界節點 (Vertex)數量，本測區各別為 7265 點(臺灣通用電子地圖)及 8194 點(1/1000)，細緻度差異為臺灣通用電子地圖的節點數約少 11%(=8194-7295/8194)，主

要差異為道路兩側的局部區域之細緻度差別。就三維道路模型而言，千分之一地圖與臺灣通用電子地圖路面區域有高的重疊率，因三維形塑均使用相同的數值高程模型，故形塑之路面形狀有高的一致性。本案僅能以臺北市為案例比較 1/1000 數值地形圖與通用版電子地圖之三維建模成果，因無法取得其他各縣市的資料，故未能進行其他縣市的比較。若 1/1000 數值地形圖與通用版電子地圖之間存在製圖時間差等因素，兩者的形變差異會更嚴重，此一因素必須納入考量。

4.2.4 增加三維地形圖資尺度資訊

近年來，影像密匹配(dense matching)技術與攝影系統蓬勃發展，能以多視角影像萃取大量的影像點雲，加上空載光達技術成熟，使得點雲成為廣泛使用的空間資料。然而，點雲仍算是前端的空間資料，在高點雲密度下能提供不錯的視覺展示效果，其缺乏物件概念，沒有明確的屬性與實體資料，亦難以進行進階的空間分析及查詢。

為了實體化點雲資料，網格(raster)與網格模型(mesh)是常用的建模形式。網格資料結構簡單、容易套疊其他空間資料進行分析，但儲存資料量大且呈現複雜特徵時仍顯粗糙；此外，網格數值是取樣(resample)後的結果，其品質容易受網格大小和原始點空間分布的影響。網格模型的資料結構為向量(vector)形式故儲存量較小，且保留原始高程資料不須重新取樣，對於細

緻特徵亦擁有較佳的視覺效果，但需要額外處理才能與其他空間資料一同分析。即便如此，仍可能因影像的特徵點萃取不足或不佳、匹配失敗或錯誤、拍攝幾何條件薄弱、遮蔽等等原因，使得方位解算成果不佳並進一步造成局部區域的三維定位失敗(即模型扭曲變形)。此外，由於這些產製成果無物件化的概念與相關規範，因此與現行三維空間資訊平台常用之物件模型資料格式(CityGML)的相容性仍有發展空間。

本項工作考量由航空攝影俯視角度取得空間資料延續至由地面視角取得街景之影像資料(如車載影像、Google 街景影像、現地拍攝等)及點雲資訊等資料輔助，結合三維地形圖資核心類別資訊(包括房屋及道路模型)，進而增加模型之尺度資訊，或提升建置模型之效能。本項工作重點為：(1)提升房屋騎樓之半自動化建置作業、及(2)路面標線深度學習(Azimi et al., 2018)於提升三維彩帶式道路模型之細緻程度。

一、 房屋騎樓之半自動化建置作業：

本項工作為接續前一年度之研究(結合 LOD1 房屋模型與地面視角取得之街景影像，提升模型騎樓細節)，提升 LOD1 房屋模型騎樓建置程度，增加房屋模型細節。建置流程如圖 4-2-4-1，主要為透過 LOD1 房屋模型與航照影像產製之點雲資料輔助，以半自動或手動的方式調整房屋高度，最後產出 LOD1 房屋模型。

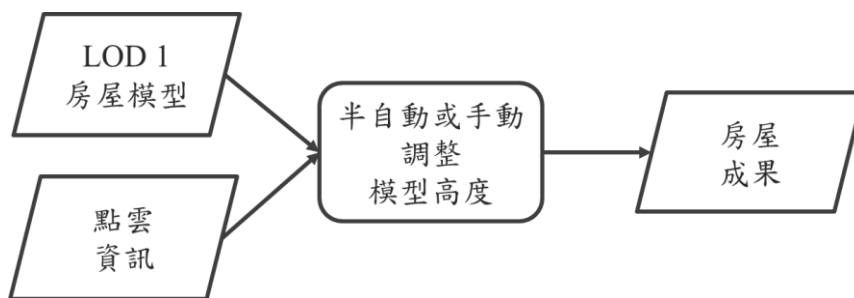


圖 4-2-4-1、房屋騎樓建置流程圖

系統介面如圖 4-2-4-2，可分成半自動與手動調整高度兩個部分。半自動部分，透過系統載入 LOD1 房屋模型與點雲資料，人工輸入欲調整高度之房屋編號(LOD1 房屋模型提供之 ID)，分析出該模型包含之點雲資訊與系統推薦高度資訊，再由人工選擇模型合理高度；手動部分，若對於半自動化分析出之高度不滿意或已知房屋高度，則可透過手動直接輸入高度，進而調整房屋模型。當模型高度確認之後，則產出新的 KML 房屋模型，成果如圖 4-2-4-3 所示，以 LOD1 房屋模型、調整高度後之房屋模型與街景影像進行對照。

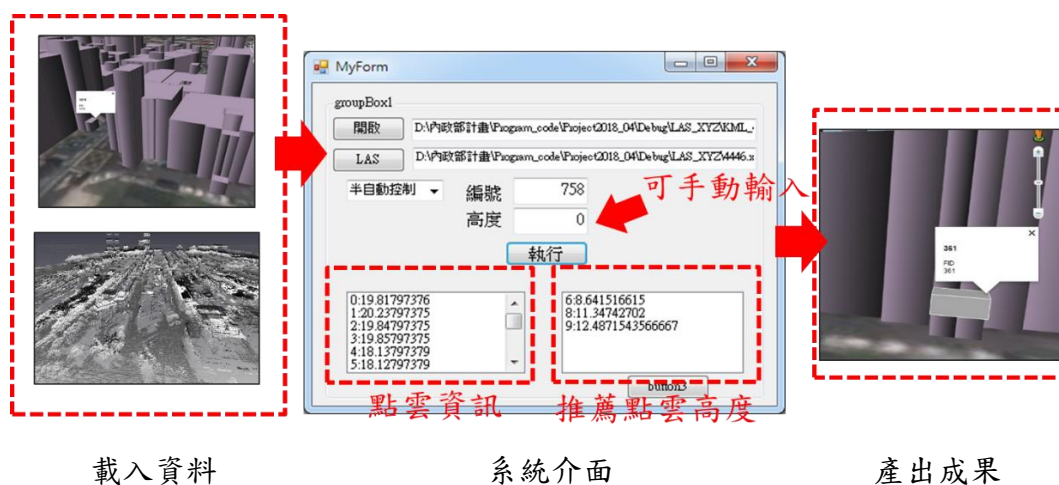


圖 4-2-4-2、半自動化系統介面



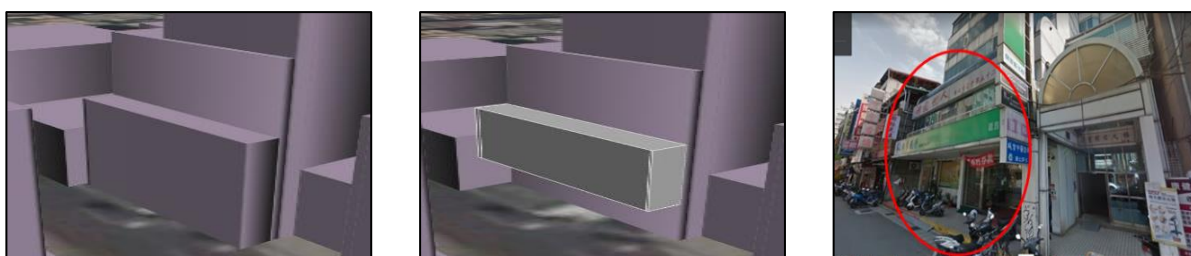
(a) 臺北市松山區南京東路四段 120 巷 22 號



(b) 臺北市松山區南京東路四段 36 號



(c) 臺北市松山區光復北路 60 巷 20-1 號



(d) 臺北市松山區延吉街 9-5 號



(e) 臺北市松山區光復北路 100 巷 26 號

圖 4-2-4-3、模型高度調整前後與街景影像之對照

二、 路面標線深度學習：

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，可獲得良好的辨識精度。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。

配合深度學習的發展，本計畫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記的辨識，辨識之目標包含分割線、指向線及斑馬線三大類，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)偵測道路標記，以道路標記提升道路模型之細緻度。

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，提升判識的效能及降低錯誤，研究中僅針對道路區域進行自動化判識，以道路遮罩排除非路面區域，成果示意如圖 4-2-4-4，研究中使用 10 公分空間解析度之道路正射影像進行道路標線偵測。

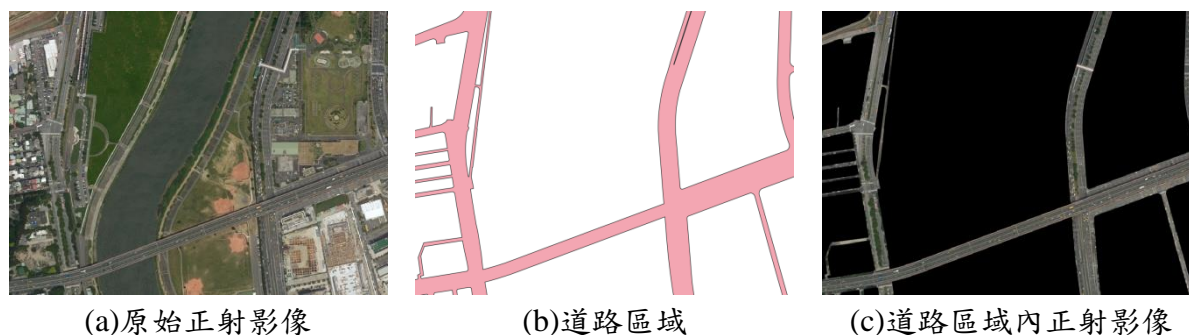


圖 4-2-4-4、道路區域示意圖

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。考量地面影像有更佳的空間解析度於人工判識，研究中使用測量車觀測資料進行道路標線的人工數化，以 50m x 50m 為一子區域，共建置 75 個子區域行進訓練，訓練區如圖 4-2-4-5。為避免車載及空載正射影像在高架道路高差移位的問題，人工數化時排除高架道路的訓練資料。由於高架和平面有相同的道路標線，以平面道路建立的分類模型仍可適用於高架道路。



圖 4-2-4-5、道路標線訓練資料示意圖

本研究以使用 FCN 深度學習方法對 75 個子區域進行訓練，並建立分類模型。將 FCN 模型套用到另一組千分之一地形圖的正射影像進行獨立檢測，可成功使用 FCN 自動化偵測道路標記區域。然而道路標記區域的邊界有明

顯外廓的現象，研究中進一步對道路標記進行優化，鎖定各個道路標記區域，針對區域內的影像灰度值進行二元化、形態學分析、刪除小區域處理，最後對網格式資料行向量化，產生道路標記模型，成果示意如圖 4-2-4-6。

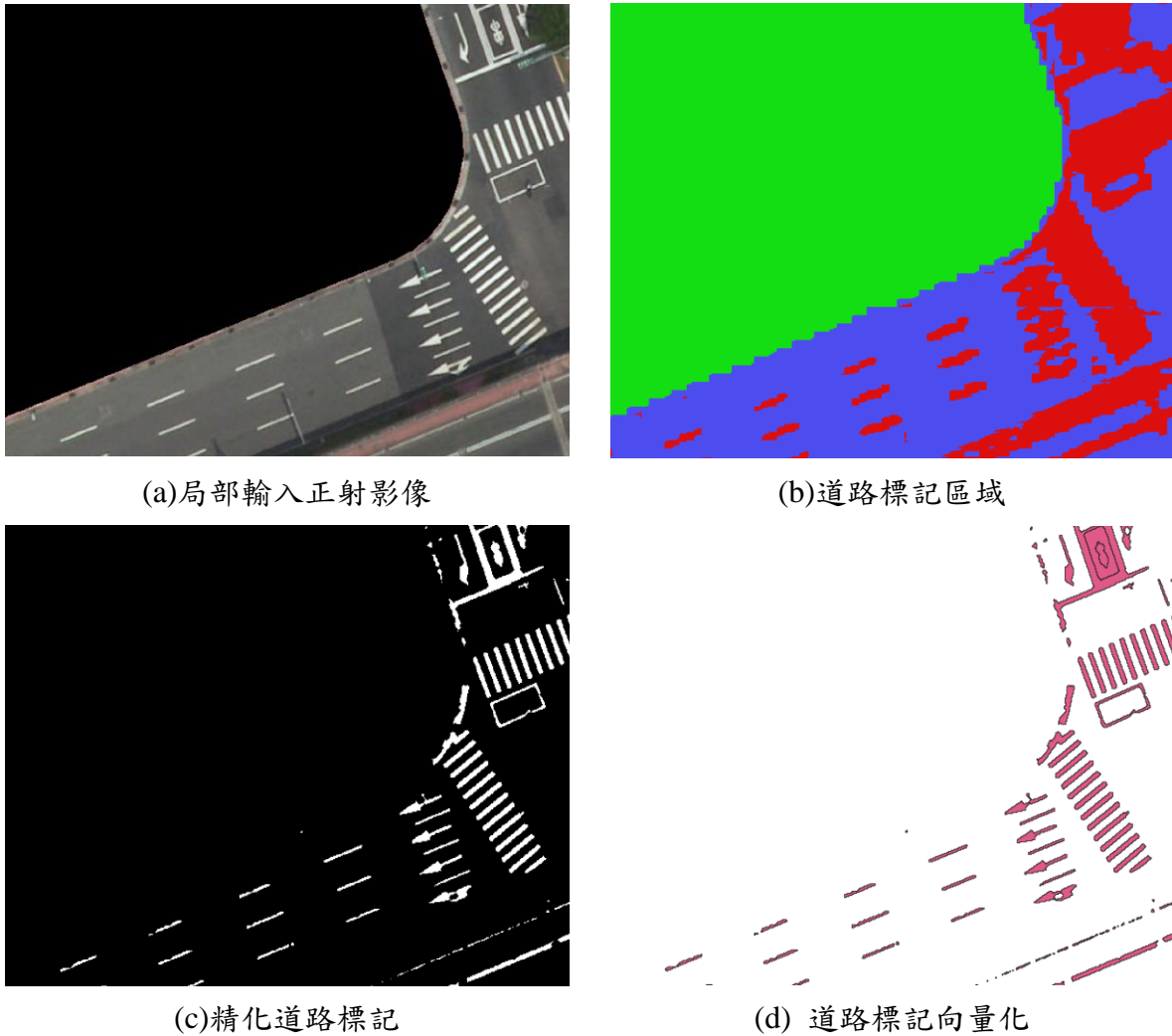


圖 4-2-4-6、道路標線成果示意圖

圖 4-2-4-7 套疊人工數化及自動化道路標線成果，同一物件，自動化成果之面積較人工數化成果小，多數物件都有偵測成功。

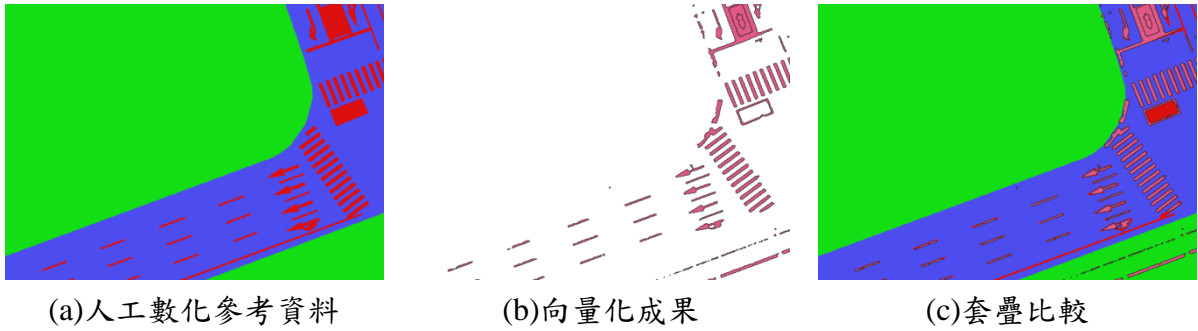


圖 4-2-4-7、成果套疊比較圖

精度分析分別採用像元(Pixel)及物件(Object)為單元進行量化評估，在以像元為單元的分析中，參考資料(圖 4-2-4-8a)中正確被偵測的道路標記共 75799pixels，正確率為 $75799/144398=52.49\%$ ；在以物件為單元的分析中，自動化成果與人工成果重疊率達 50%的物件視為成功，共有 332 個物件被成功偵測，正確率為 $332/371=89.49\%$ 。

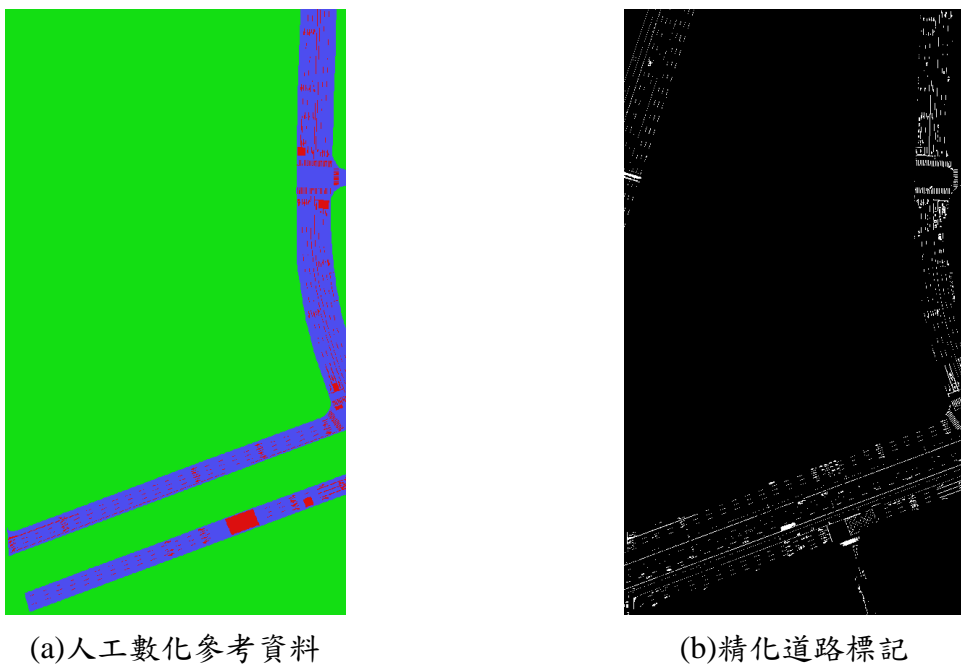


圖 4-2-4-8、成果分析示意圖

4.3 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

4.3.1 研擬三維地形圖測製及檢核作業技術文件指引

為使三維地形圖測製作業落實於未來國內三維測圖專案，同時兼顧國際間資料流通標準，本計畫依循往年以 CityGML 為基礎框架，針對三維地形圖核心類別，訂定幾何模型測製規則及品質分級標準。依據本計畫去(106)年試辦結果，直接立體測製之三維地形圖建置策略，尚存在目前市售的三維編輯軟體尚不成熟、自動化程度低及成本偏高等特性，考量現階段需符合實際作業所用，本年度研擬三維地形圖測製技術文件以資料加值策略為主要撰寫對象。

本年度撰寫之三維地形圖測製技術指引，不限定圖資來源及測製方法，其類別包含道路(Traffic Area)、房屋(Building)、土地利用(Land Use)、植被(Plant Cover)、水體(Water Body)，針對上述類別定義其幾何特性，先定義各類別之 LOD0 為 2.5D 之連續表面，再分別說明每種類別不同細緻度的幾何定義及其屬性分類，來(108)年則持續建立模型紋理及屬性語意等標準。

本項工作參考國內外三維地形圖之技術文件，並依本計畫試辦結果研擬三維地形圖測製及檢核作業技術文件指引，技術文件內容包括: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，其中，針對兩種

核心類別(即房屋及道路模型)，依據三維模型之實作經驗，訂定完整的配套標準，其他類別僅定義其幾何及屬性分類，提供後續參考與實作。本年度工作為分析及參考國外三維地形圖資之技術文件(如荷蘭 IMGeo (Information Model Geography))，針對不同細緻程度之應用需求，並參酌 OGC CityGML 標準對房屋與道路等二類核心類別模型產品適度分級，撰寫測製要求、檢核內容方式、及檢核標準等內容，以研擬本計畫三維地形圖資之技術文件，初步技術指引文件請參考附件 E。

4.3.2 規劃三維地形資料庫發展策略

本項工作將三維地形資料庫發展策略從三個方面進行探討，分別為三維地形圖資之空間資料庫、三維地形圖資測製成果之資料結構、三維地形圖資測製成果之編碼。

一、三維地形圖資之空間資料庫：為有效的管理三維地形圖資的幾何、屬性及位相關係，用空間資料庫方式儲存三維地形圖資是可能的發展方向，以資料庫管理三維城市模型可提升資料分析的效能，因此本項工作將探討三維地形資料庫之發展。目前國際間三維地形圖資以 OGC CityGML 為主要發展，因此本項工作針對適用 CityGML 的空間資料庫進行分析。確切而言，本項工作以開放三維城市資料庫(Open 3D City Database，<http://www.3dcitydb.org>)為主要分析對象，此資料庫為針對

CityGML 所設計的空間資料庫。3D CityDB 之流程如圖 4-3-2-1 所示，使用者可匯入 CityGML 檔案至以 PostgreSQL 或 Oracle 所架設之空間資料庫，再以 CityGML、KML、glTF 等格式匯出。

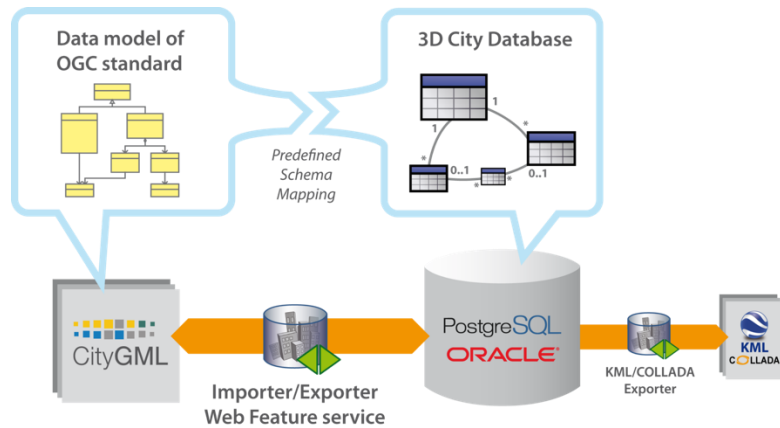


圖 4-3-2-1、3D CityDB 之主要流程

整體而言，本項工作以研擬三維地形圖資資料庫發展之需求作為發展策略之思考方向，主要分為(1)資料匯入需求、(2)空間資料庫需求、及(3)資料匯出需求。其對應之 3D CityDB 使用者介面如圖 4-3-2-2 所示。

以下逐項需求列點說明。

(1) 資料匯入需求：

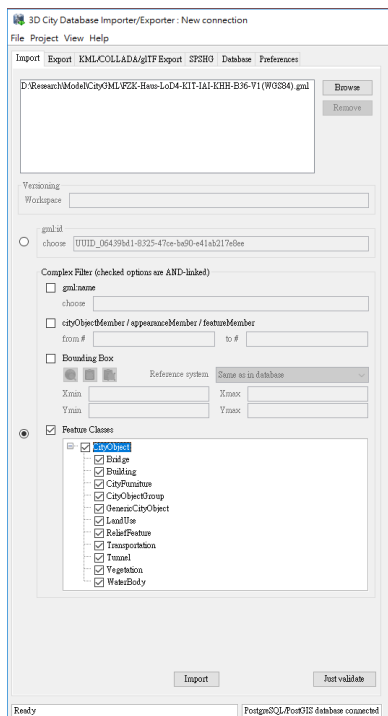
- 須能匯入 CityGML 格式之模型資料。
- 須能選擇與指定欲匯入資料庫的物件，例如根據 gml:id、gml:name、物件編號、空間範圍、特徵類型等進行指定，或以手動勾選物件。
- 若具資料匯入使用者介面，須展示所選取或匯入之物件編號與數量。

(2) 空間資料庫需求：

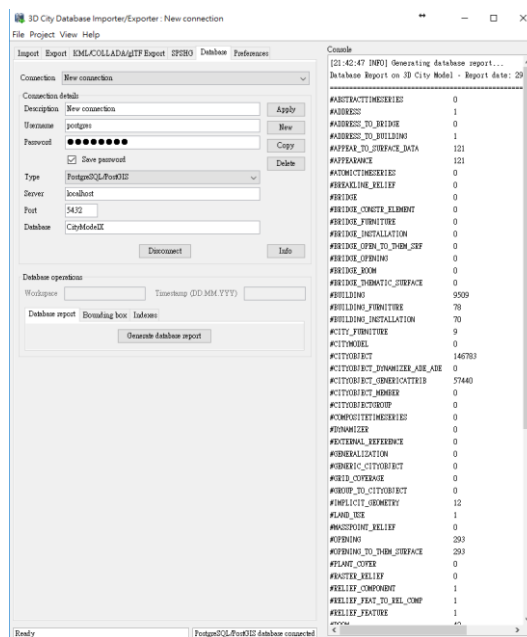
- 須基於常見的空間資料庫管理系統，如 PostGIS、MySQL、Oracle 等。
- 資料庫架構(schema)須能保存三維地型資料標準制定之屬性及物件間之拓樸關係，以利空間拓樸關係查詢。
- 可透過使用者介面連結資料庫，列出資料庫內儲存的物件內容。
- 須支援根據三維地型資料標準制定之屬性及拓樸關係提供物件查詢功能，例如根據 gml:id、gml:name、物件編號、空間範圍、特徵類型等內容進行查詢。

(3) 資料匯出需求：

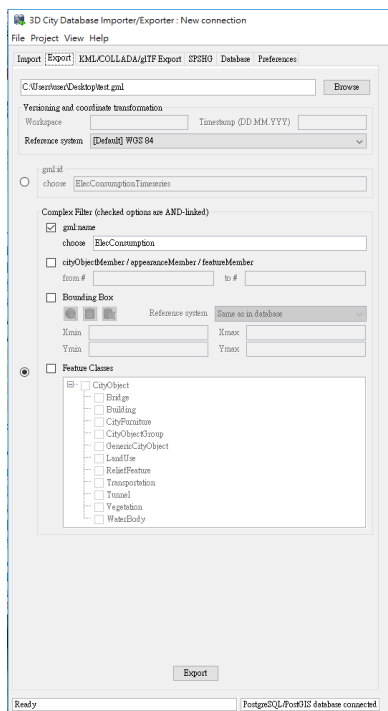
- 須能匯出 CityGML 資料格式。
- 可匯出其他常見之資料格式，如 KML、COLLADA、gITF 等。
- 須能選擇與指定欲匯出的物件，例如根據 gml:id、gml:name、物件編號、空間範圍、特徵類型等進行指定，或以手動勾選物件。
- 須能指定坐標系統並匯出坐標轉換後之資料。
- 須能指定匯出物件之 Level of Detail (LoD) 並匯出對應之 LoD 資料。
- 若具資料匯出使用者介面，須展示所選取或匯出之物件編號與數量。



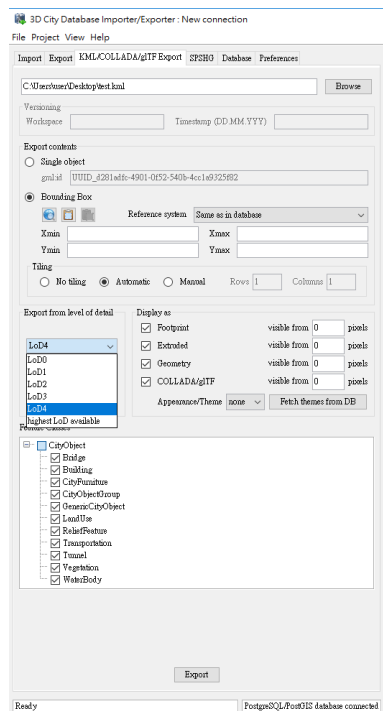
(a) 資料匯入介面



(b) 資料庫連結介面



(c) 資料匯出介面 1



(d) 資料匯出介面 2

圖 4-3-2-2、3D CityDB 之主要流程

二、三維地形圖資測製成果之資料結構：CityGML 以 GML 為架構記錄三

維地形圖資的地物，為描述物件間的關係，依階層式的架構及規則記錄資料，以 LOD1 房屋模型為例，其階層式架構基本包含底面(GroundSurface)、牆面(WallSurface)、及房屋頂面(RoofSurface)，如圖 4-3-2-3 所呈現，各獨立面狀物件皆詳細記錄其組成資訊及確切坐標(如圖 4-3-2-4)。實際上，各種三維物件皆以 GML 資料格式編碼(如圖 4-3-2-5)，於資料分層結構中，對應 CityGML 所定義之幾何及屬性內容，以精確描述各種物件於三維空間中需呈現的樣態。

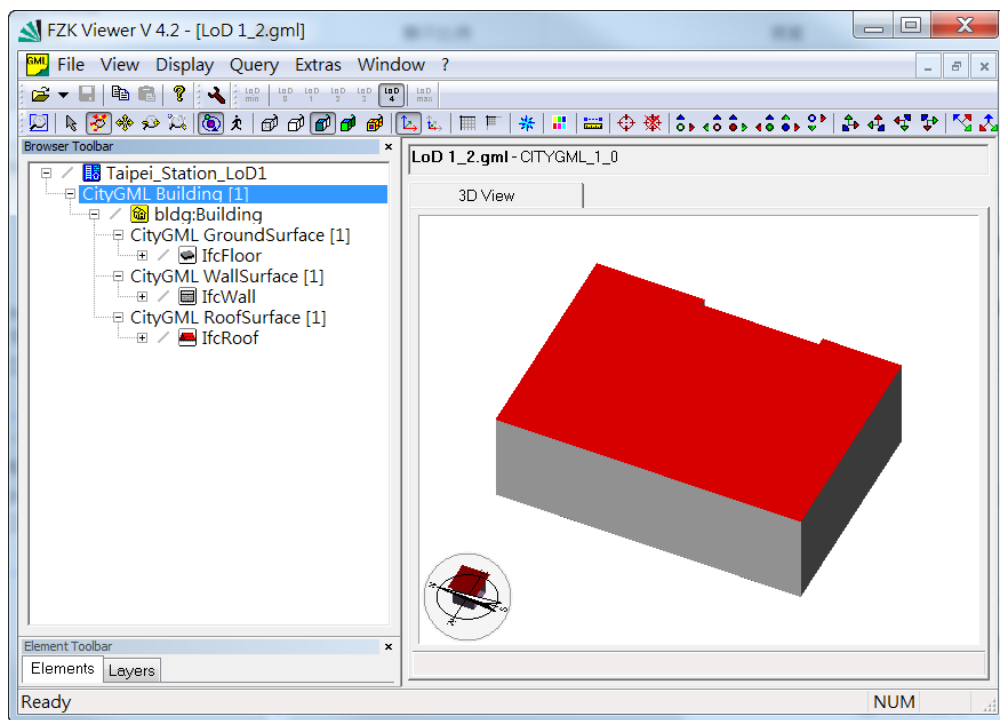


圖 4-3-2-3、房屋模型之階層式架構

Name	Value	Description
Entity Information		
Type	bldg:WallSurface	
Internal Type	CityGML WallSurface	
GUID	3t1HilcnEV8qLyZY4AzBW	
GUID (readable)	f7def46c-4a6c-4e7c-bd15-f23884...	
Name	bldg:WallSurface	
Description		
Object Type		
Layer Name		
Color	---	No Color
gml:id	b_wall	
gml:description		
Contained in Building		
Building Name	bldg:Building (#245578)	
Geometry		
lod2	bldg:lod2MultiSurface	
MultiSurface	1 Surfaces	
Face		
Face Normal	0.999620, -0.027576, 0.000000	
OuterLoop	4 Points	
Point	306406.060000, 2770301.800000, ...	
Point	306405.700000, 2770288.750000, ...	
Point	306405.700000, 2770288.750000, ...	
Point	306406.060000, 2770301.800000, ...	
Calculated Values (lod2 - bldg...)		
BoundingBoxLengthX		0.36 [m]
BoundingBoxLengthY		13.05 [m]
BoundingBoxLengthZ		14.87 [m]
SurfaceArea		194.127
Centroid		5.94818e+07, 5.3779e+08, 4257.02

圖 4-3-2-4、房屋模型之幾何資訊

```

<gml:name>Simple 3D city model LOD1 without Appearance</gml:name>
<gml:boundedBy>
  <gml:Envelope srsDimension="3" srsName="urn:ogc:def:crs:EPSG::25832,crs:EPSG::5783">
    <gml:lowerCorner>458868.0 5438343.0 112.0</gml:lowerCorner>
    <gml:upperCorner>458892.0 5438362.0 117.0</gml:upperCorner>
  </gml:Envelope>
</gml:boundedBy>
<cityObjectMember>
  <bldg:Building gml:id="GML_7b1a5a6f-ddad-4c3d-a507-3eb9ee0a8e68">
    <gml:name>Example Building LOD1 </gml:name>
    <bldg:function
      codeSpace="http://www.sig3d.org/codelists/standard/building/2.0/_AbstractBuilding_function.xml">1000</bldg:function>
    <bldg:yearOfConstruction>1985</bldg:yearOfConstruction>
    <bldg:roofType
      codeSpace="http://www.sig3d.org/codelists/standard/building/2.0/_AbstractBuilding_roofType.xml">1030</bldg:roofType>
    <bldg:measuredHeight uom="#m">5.0</bldg:measuredHeight>
    <bldg:storeysAboveGround>1</bldg:storeysAboveGround>
    <bldg:storeyHeightsAboveGround uom="#m">3.0</bldg:storeyHeightsAboveGround>
    <bldg:lod1Solid>
      <gml:Solid>
        <gml:exterior>
          <gml:CompositeSurface >
            <!-- Face Side 1 -->
            <gml:surfaceMember>
              <gml:Polygon>
                <gml:exterior>
                  <gml:LinearRing>
                    <gml:posList>458875.0 5438350.0 112.0 458885.0 5438350.0 112.0 458885.0 5438350.0 116.0 458875.0
                    5438350.0 116.0 458875.0 5438350.0 112.0</gml:posList>
                  </gml:LinearRing>
                </gml:exterior>
              </gml:Polygon>
            </gml:surfaceMember>
            <!-- Face Side 2 -->
          </gml:CompositeSurface >
        </gml:exterior>
      </gml:Solid>
    </bldg:lod1Solid>
  </bldg:Building >
</cityObjectMember>

```

資料範圍坐標

房屋功能屬性

屋頂形態屬性代碼

房屋幾何資訊

圖 4-3-2-5、GML 資料結構編碼

三、三維地形圖資測製成果之編碼：現有二維地形圖對不同地物，以不同編碼儲存在不同圖層，例如編碼 9310100 代表的是房屋(永久性)的圖層。經過三維化的三維地形圖，三維地物的幾何外觀會更為複雜，因此必須對三維地形圖中的地物建立不同的屬性代碼，本計畫針對房屋及道路模型，篩選 CityGML 中可適用於三維地形圖資之屬性類別，並與可對應地形分類架構編碼者建立對照表格。CityGML 標準之屬性代碼為參考 SIG 3D 所提出之建議編碼，我國之屬性編碼未來將考量國土資訊系統之基本地形分組內涵及應用目的研擬，未來三維地形圖資若有跨領域之應用需求，可利用 CityGML Application Domain Extension (ADE) 擴充。

i. 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 4-3-2-1，房屋屋頂型態屬性代碼如表 4-3-2-2。

表 4-3-2-1、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 4-3-2-2、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

編號	代碼	定義
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 4-3-2-3。

表 4-3-2-3、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

ii. 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 4-3-2-4。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 4-3-2-5。

表 4-3-2-4、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.	1040	道路交通	9420000
5.	1050	空中交通	9450000
6.	1060	鐵路交通	9410000
7.	1070	水路	9460000
8.	1080	地鐵/大眾捷運	9430000

表 4-3-2-5、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/人行道路	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

編號	代碼	定義	地形分類架構編碼
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

4.3.3 三維地形圖資測製技術成本與分析

本計畫依據去(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「既有資料增值」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 4-3-3-1)。

表 4-3-3-1、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)	既有資料增值 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)
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(全國性圖資)

*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。

以本計畫「三維地形圖測製技術指引」建議之 LOD1 精細程度之房屋模型為例，相關所需資料皆由同性質專案取得，且高度超過 2 m 或平面面積超過 16 m² 的房屋分部都需塑模(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%。

針對三維道路部分，可分為彩帶式道路模型(LOD1)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光達點雲擬合，如未使用空載光達資料，其作業成本將大幅增加。此外，本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 4-3-3-2。

表 4-3-3-2、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。

著眼於全國性 LOD1 三維地形圖建置目標，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，其中已包含建物範圍之測繪，由於採用立測方式進行測繪，成果驗收中誤差均小於 1.25 公尺，雖未符合 LOD1 平面精度之要求，仍為現階段建置全國性圖資最適方案，建議可於屬性欄位加註說明資料來源品質，日後以分區辦理的方式逐步提高產品品質；唯高程資訊來源不若大比例尺地形圖可採用樓高計算，需借助光達產製數值表面模型(DSM)或航照影像密匹配點雲取得。

現有之全國性光達產製數值表面模型，其更新頻率與臺灣通用電子地圖有所差異，是故二維圖資與高程資訊來源存在時間差異，是為未來必須

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，本案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 4-3-3-3，計算所需時間如表 4-3-3-4。

表 4-3-3-3、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 4-3-3-4、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

4.3.4 三維地形圖資測製待克服之問題討論

本項工作就計畫試辦作業，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，並研究可能之解決方案。問題討論包方向包含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，研發三維地形圖資與物聯網之整合及應用等。

1. 非封閉多邊形圖層問題：針對 LOD1 以上之 Transportation Module，

三維形塑需使用二維封閉多邊形，但是有部分圖層在大比例尺地形圖中採用中心線描繪（如鐵路）。擬解決方式為進行多邊形化（如

Buffer) 中心線圖層。

2. 屬性對應問題：道路名稱記錄在中心線，而三維形塑是採用道路多邊形。擬解決方式為整合中心線與多邊形模型。
3. 缺乏三維化對應圖層問題：針對 LOD1 以上之 Vegetation Module，植物分為有體積的樹林及沒有體積的草地，圖層中僅採用點圖徵描繪（如獨立樹）或以多邊形圖徵標示公園，無法對樹林及草地做分離。此外，缺乏 Bridge 及 CityFurniture 之對應圖層。
4. 本計畫所產製之三維網格模型，是利用臺北市千分之一地形圖修測使用的專業航空製圖影像，在進行三維網格模型計算時，存在兩個實務上的問題待克服：(1)資料量大且影像相關性高，計算時需人工介入除錯，(2)缺乏傾斜角度影像資訊。
 - (1) 資料量大且影像相關性高，計算時需人工介入除錯：於城市級的影像資料量進行高密度影像點雲匹配及空三計算時，經常產生匹配錯誤以致於點雲座落在錯誤的高度位置(如圖 4-3-4-1)，經常需要人工介入除錯，尚需進一步改善作業流程以提高三維網格模型產置自動化程度。
 - (2) 缺乏傾斜角度影像資訊：本計畫所採用之試辦區航照影像，皆為標準航空攝影之垂直攝影影像，故建物側面常因資訊不足導致破面的情形(如圖 4-3-4-2)，未來可考慮加入傾斜攝影資料，以提升三維網

格模型整體品質。

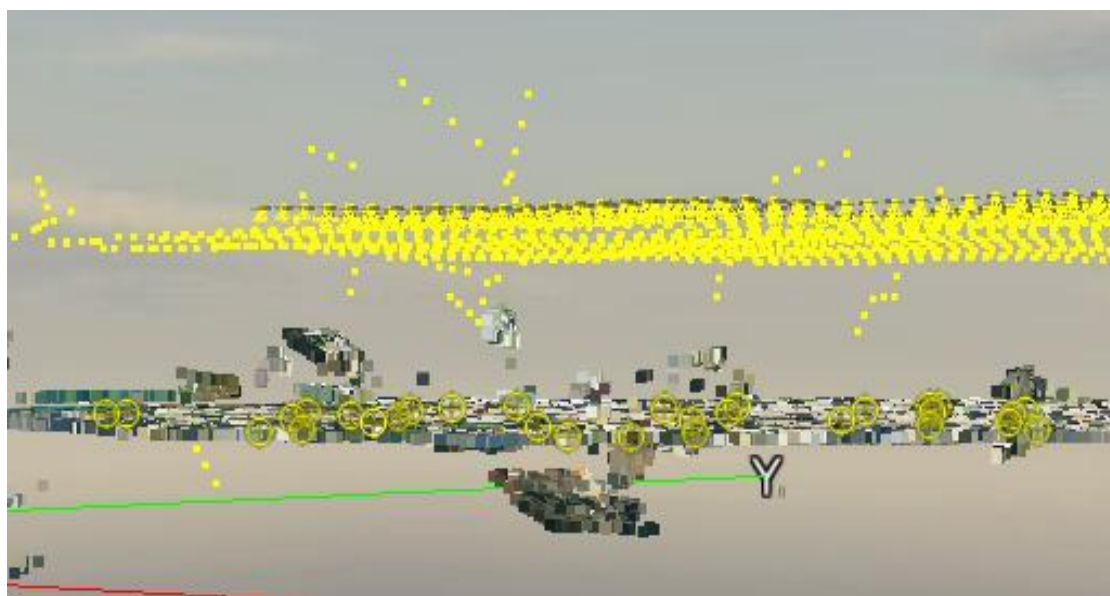


圖 4-3-4-1、大規模影像匹配需以人工除錯提高正確率



圖 4-3-4-2、三維網格模型側面資訊不足

4.4 研發三維地形圖資與物聯網之整合及應用

4.4.1 物聯網標準之開發與介接技術

在發展三維地形圖與物聯網資源整合技術時，由於物聯網資源具有大量異質性(heterogeneity)，須以國際開放式標準統一物聯網資源的通訊協定，進而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。根據本計畫前一年度針對開放式物聯網標準之分析結果，建議以 Open Geospatial Consortium (OGC) SensorThings API 標準進行技術開發與實作。OGC SensorThings API 主要基於 OGC Observation and Measurement (O&M)及 Sensor Model Language (SensorML) 標準制定物聯網資料模型，及基於 Organization for the Advancement of Structured Information Standards (OASIS) Open Data Protocol (OData)標準制定其物聯網網路服務協定。因此，相較於其他開放式物聯網網路服務標準，OGC SensorThings API 使用之資料模型完整且通用，且其網路服務協定介面提供極為彈性的資料查詢功能。此外，隨著近年國內感測網相關標準之推動，國內前瞻計畫數位建設之民生公共物聯網亦已決定以 OGC SensorThings API 作為主要物聯網感測資料供應之標準介面，故此標準之發展及與三維地形圖之整合為必要的探討方向。

延續前一年度之技術發展成果，本年度將根據 OGC SensorThings API

第二版標準進行物聯網網路服務實作與介接技術之擴增。第一版 OGC SensorThings API 標準主要以感測資料供應為主，去年度已完成第一版標準之網路服務實作與 Java 及 JavaScript 介接技術。而第二版標準以物聯網裝置之遠端致動功能為主，在基於相同之網路服務下，擴充使用者或前端應用控制物聯網裝置之服務介面，其目標為以統一協定控制物聯網裝置，例如遠端開關燈泡、設定感測任務、調整攝影機拍攝位置等。第二版標準目前已有草案並經大眾審查，預期將於下年度正式公告為正式標準。因此，本年度依據第二版標準擴充此物聯網裝置控制能力介面，以期直接從三維地形圖資展示平台遠端控制物聯網裝置。

本年度為開發 OGC SensorThings API 網路服務第二版實作之雛形。開發之策略為利用已獲 OGC 認證之德國 Fraunhofer IOSB 第一版 OGC SensorThings API 網路服務實作¹，根據第二版標準草稿進行擴充。開發時主要須考量(1)資料模型之擴充、(2)網路服務介面之延伸、及(3)物聯網裝置控制協定之連接。第二版 SensorThings API 標準草稿基於第一版標準之資料模型增加致動能力所需之類別，如圖 4-4-1-1 所示，由 Thing 連結至 TaskingCapability，而 TaskingCapability 連接至實際執行致動功能之 Actuator，客戶端則可透過創建 TaskingCapability 之 Task 進行裝置之控制。

¹<https://github.com/FraunhoferIOSB/SensorThingsServer>

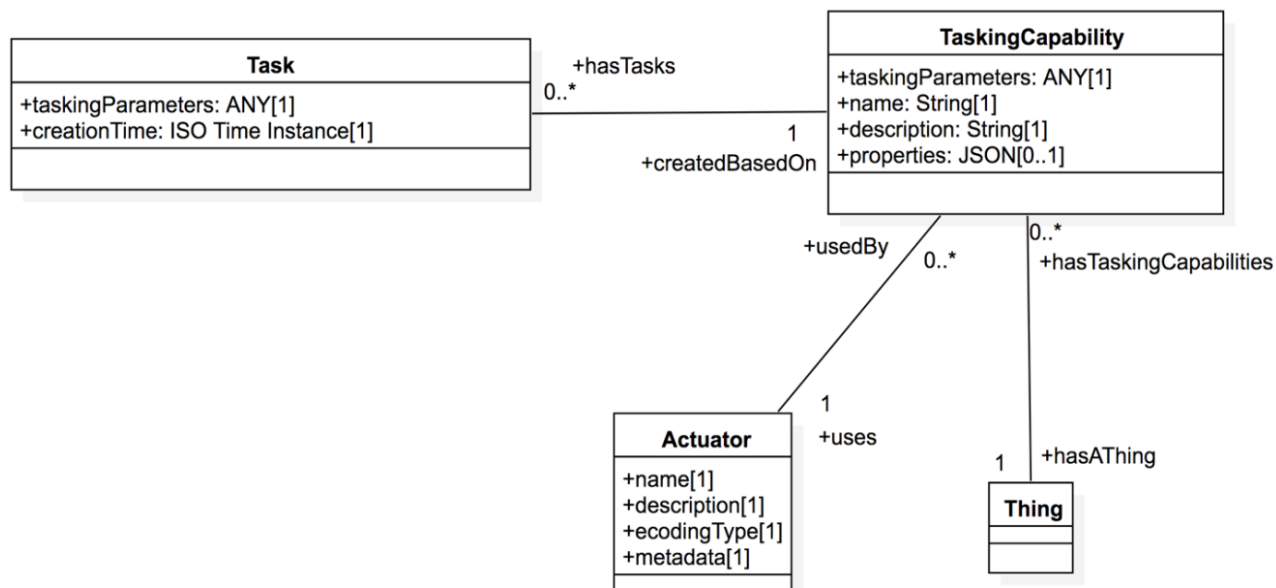


圖 4-4-1-1、第二版 OGC SensorThings API 資料模型

在進行資料模型的擴充同時，亦需要延伸 SensorThings API 支援的 RESTful 網路服務介面，例如資源之 CRUD (Create, Read, Update, Delete) 等功能，才可符合完整的標準介面。此外，致動功能與第一版支援之感測功能最大的不同之處在於 SensorThings API 服務需能自動化將客戶端所創建之 Task 實體轉換為該 TaskingCapability 之物聯網裝置請求，並進行傳送。雖然標準並未規定此裝置協定的自動轉換機制在網路服務中應如何進行，但本計畫在開發實作時將確保其通用性，以便未來擴充支援不同物聯網裝置之通訊協定。

目前已開發 OGC SensorThings API 第二版之雛形，並可透過創建 Task 進行物聯網裝置之控制。目前已測試三種物聯網裝置之致動能力，包含 Philips Hue 智慧燈泡、Belkin WeMo Switch 智慧插座、及 Panasonic IP Camera

網路攝影機，如圖 4-4-1-2 所示。雖然此三種裝置所支援的通訊協定皆不相同，例如 Philips Hue 支援 HTTP PUT 與 JSON、Belkin WeMo Switch 支援 HTTP POST 與 XML、而 Panasonic IP Camera 支援 HTTP GET 及查詢選項，所開發的實作可以相同的客戶端服務介面控制此三種裝置。

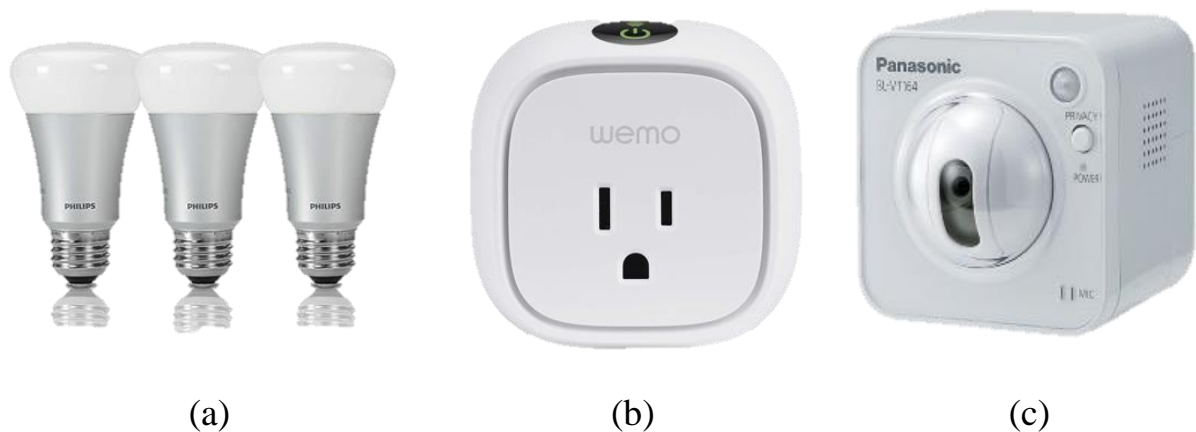


圖 4-4-1-2、所測試之三種物聯網裝置

整體而言，本工作項目已開發第二版 OGC SensorThings API 網路服務實作之雛形。隨著 OGC 仍在調整第二版 SensorThings API 之介面，未來本團隊將持續修正，以期符合標準之需求。

4.4.2 開放式物聯網基礎建設之技術發展

除前述 OGC SensorThings API 標準之物聯網網路服務層標準外，物聯網之基礎建設架構亦須考量裝置層、閘道器層、及各層級間之通訊標準，如圖 4-4-2-1 所示。裝置層主要為物聯網裝置之所在，包含裝置之感測器及

致動器。閘道器層主要以在地通訊網路與物聯網裝置連結，輔助裝置與網路服務溝通。其在地通訊網路協定包含舊有的 ZigBee、Bluetooth 與發展中之 NB-IoT、LoRaWAN、SigFox 等。而網路服務層則作為物聯網資源與前端應用層之主要接口，提供物聯網感測資料之倉儲管理及物聯網裝置控制任務之轉傳功能。因此，為使本計畫之三維地形圖與物聯網技術整合完整，本項工作進行物聯網開放式基礎建設方案之探討與技術發展。

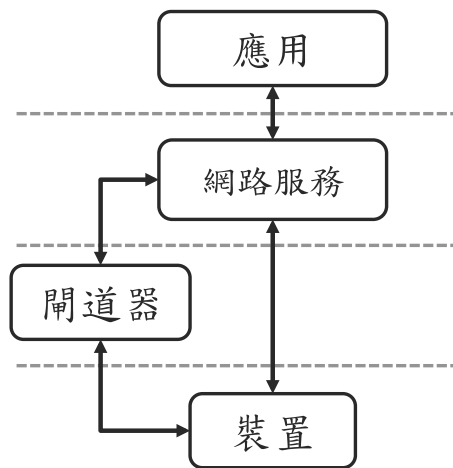


圖 4-4-2-1、物聯網架構

本工作項目為探討 OGC SensorThings API 標準與閘道器層及裝置層之通訊協定，進而有效串接組合完整的物聯網基礎建設。使用兩種方案進行測試，第一種方法為基於 OGC SensorThings API，提出相同標準生態系統之閘道器層與裝置層通訊協定，以達物聯網資訊之自動連結與流通。第二種方法為為結合 OGC SensorThings API 標準與其他階層之開放式標準，例如經濟部資策會推動之 oneM2M 閘道器層標準。透過此項工作之執行，預

期可提出未來物聯網開放式基礎建設架構之有效方案。

第一種方法為使物聯網裝置與網路服務自動連結，本工作項目設計(1)裝置描述文檔，以說明裝置之詮釋資料及能力、(2)裝置與閘道器之預設通訊協定，以自動化建立連結、及(3)自動註冊與資料傳輸程序。由於此方法為基於 OGC SensorThings API 標準之通訊協定，裝置描述文檔直接使用 SensorThings API 之資料模型及 JSON 編碼最為直接，其資料模型如圖 4-4-2-2 所示。

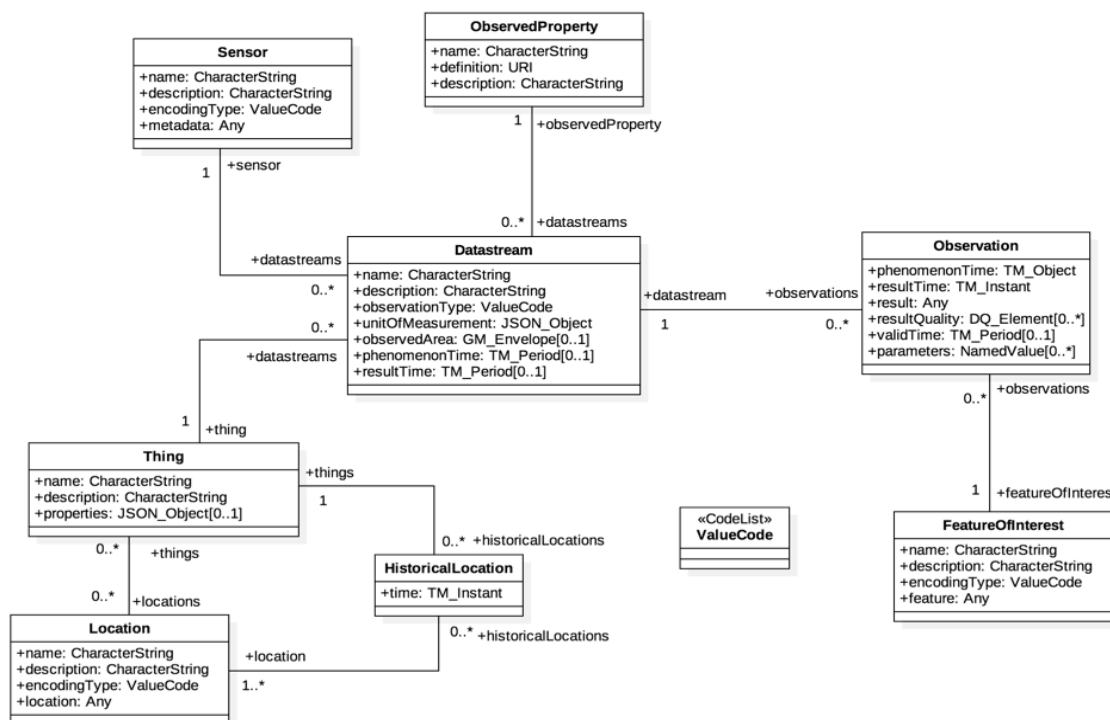


圖 4-4-2-2、 OGC SensorThings API 第一版資料模型

而本次測試之閘道器與裝置無線通訊協定為 ZigBee。ZigBee 為低功耗、低速率且低成本之無線通訊協定，為感測器網路常見之通訊協定。為使裝

置與閘道器可自動化建立連結，本工作項目制定 ZigBee 需要的預設設定，包含 64-bit PAN ID 及 64-bit 位址。針對自動註冊與資料傳輸程序，我們設計裝置及閘道器溝通之自動化程序，如圖 4-4-2-3 所示。以上設計已透過 Arduino UNO、DHT22 溫濕度感測器、及 ZigBee 通訊模組實作驗證。所建造之物聯網裝置可自動與附近的閘道器建立連結，並進行註冊及資料傳輸，使用者可直接透過 OGC SensorThings API 網路服務取得感測資訊。

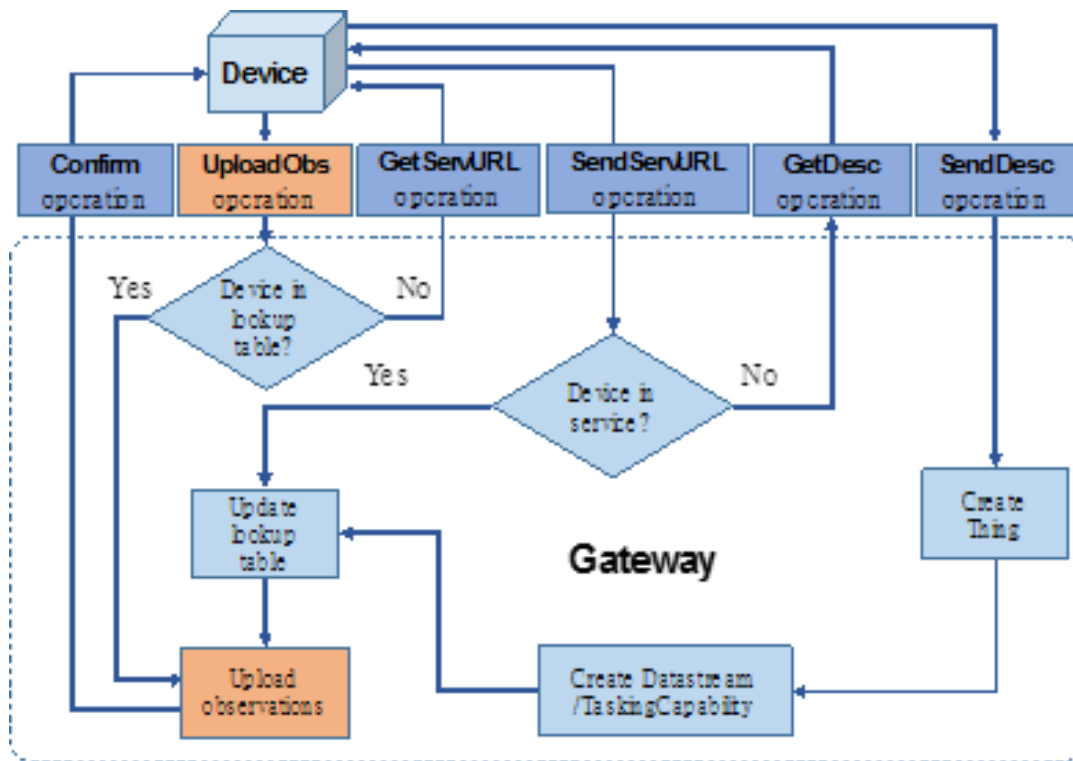


圖 4-4-2-3、物聯網裝置自動註冊與資料傳輸程序

第二種方法連接 OGC SensorThings API 與 oneM2M 標準。欲達成不同層級標準之串接，主要需考量之因素包含資料模型之對應與包裝方式、資料模型的自動轉換機制。oneM2M 所制定之資料模型如圖 4-4-2-4 所示，以

CSEBase 為服務的根目錄，內含多個 Application Entity (AE)用以代表物聯網裝置，而一個 AE 可包含多個 container 用以儲存該裝置之不同資訊。一個 container 可含多個 contentInstance 以提供確切的資料內容於 contentInfo 內。此外，各項資源皆含 resourceName 作為唯一辨識符。由於 oneM2M 制定此資源樹架構時並無規定各項 container 與 contentInstance 所儲存資料之語意，oneM2M 之資料模型可視為具有彈性，開發者可自行設定所儲存之資料及其儲存方式。

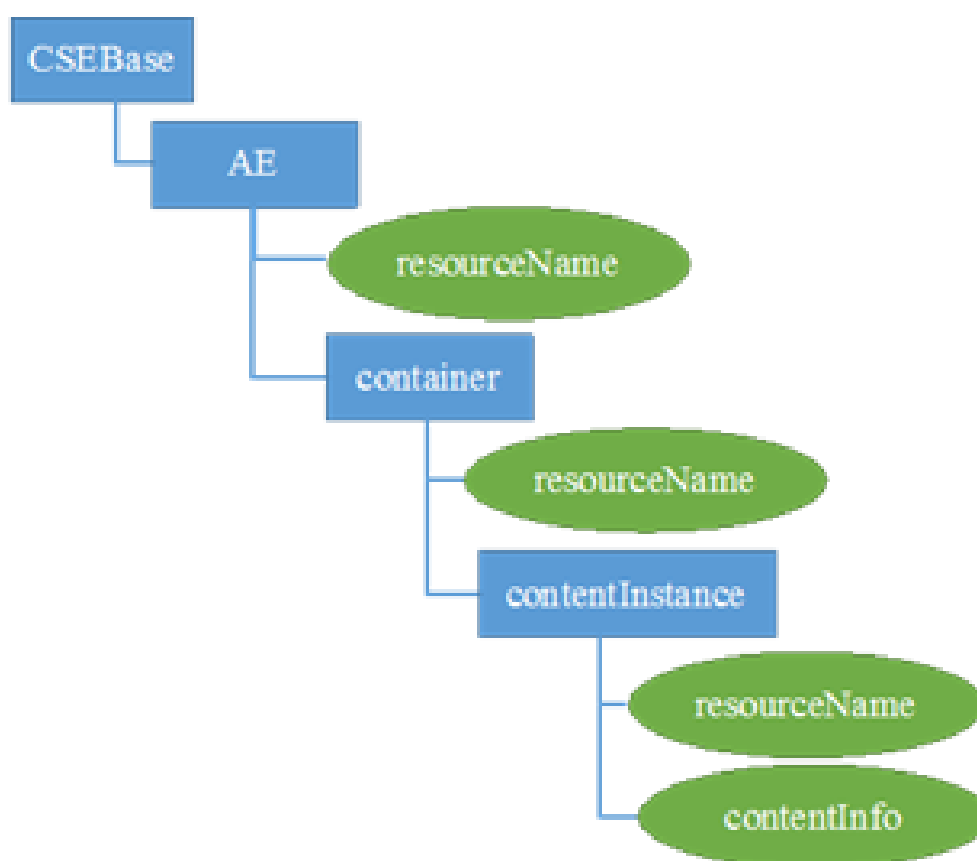


圖 4-4-2-4、oneM2M 資料模型

由於 oneM2M 資料模型具有彈性，本項工作的標準整合策略為制定

SensorThings API 於 oneM2M 之子資料模型(data model profile)，進而在 oneM2M 儲存可對應至 SensorThings API 資料模型之內容，再透過轉換程式自動化將 oneM2M 資料匯入至 SensorThings API 網路服務。因此，本項工作的重點在於制定此子資料模型，如圖 4-4-2-5 所示。首先，AE 設定為物聯網物件，對應至 SensorThings API 之 Thing，CSEBase 可存有多個 AE 代表不同的物聯網物件。各個 AE 使用五類 container 儲存該物件之不同屬性，個別逐點敘述如下：

- 「Thing Metadata」container：儲存 SensorThings API 中 Thing 實體之屬性。
- 「Datastream Metadata」container：此 container 存有多個 contentInstance 對應至各個 SensorThings API 之 Datastream，且以個別 Datastream 之唯一識別符作為 resourceName，如「Datastream1」、「Datastream2」。contentInstance 內將儲存 SensorThings API 中 Datastream、Sensor、ObservedProperty 此三類別之屬性。
- 「Location」container：此 container 存有多個 contentInstance 描述該 Thing 在各個時間點之 Location，因此所儲存之內容包含 Location 之屬性以及 time 時間屬性。此 container 之資訊對應至 SensorThings API 之 Location 及 HistoricalLocation。
- 「FeatureOfInterest」container：此 container 存有多個 contentInstance

描述所觀測之特徵物(Feature of Interest)屬性，提供後續 Observation 參照整合。

以 Datastream 唯一識別符為名稱之 container：此類 container 之多個 contentInstance 儲存該 Datastream 之觀測事件(Observation)內容。除了 SensorThings API 之 Observation 屬性外，此 contentInstance 亦含有該 Observation 所觀測之特徵物(FeatureOfInterest)位址，以描述 Observation 與 FeatureOfInterest 之關係。並且，透過使用 Datastream 唯一識別符作為 container 名稱，亦可建立 Observation 與 Datastream 間之歸屬關係。

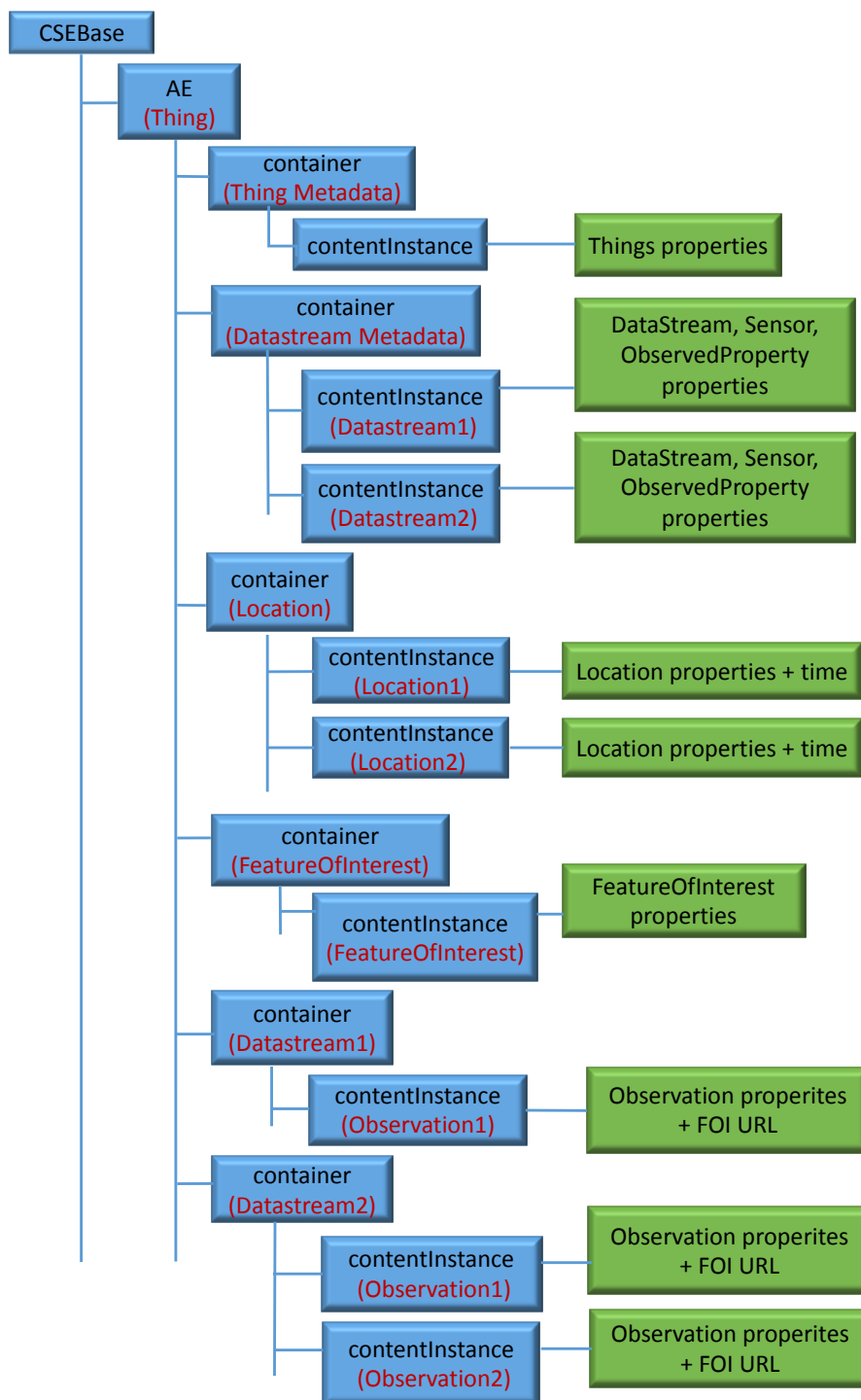


圖 4-4-2-5、oneM2M 之 SensorThings API 子資料模型

本項工作之實作測試以開源 oneM2M 實作 Eclipse OM2M 進行，並開

發自動化轉換程式將 oneM2M 內根據所提子資料模型儲存之資料轉換至 SensorThings API 網路服務。圖 4-4-2-6(a)為於 oneM2M 平台創建 AE/Thing 之 HTTP POST 請求範例，圖 4-4-2-6 (b)為於 OM2M 平台所創建的一個空氣品質測站範例，其中所選取之 Thing_Metadata 之「con」(contentInstance) 描述該 Thing 之屬性。圖 4-4-2-6 (c)為透過所開發之自動轉換程式將圖 4-4-2-6 (b)空氣品質測站案例轉換至 SensorThings API 服務之成果。

整體而言，本工作項目探討兩種開放式物聯網基礎建設之建立策略，一種為延伸 SensorThings API 至閘道器層及裝置層，一種為整合 SensorThings API 與 oneM2M 標準。此兩種策略皆可達成開放式物聯網基礎建設之願景，然而此兩種策略在實務上皆仍須經標準或規範制定流程進行研討與確認，才可建立開放式物聯網基礎建設參與者之共識。

Create an AE (Thing)

POST http://127.0.0.1:8080/~~/in-cse
 X-M2M-Origin: admin:admin
 Content-Type: application/json;ty=2

```
{
  "m2m":{
    "api":"Thing1",
    "rr": "false",
    "rn": "Thing1"
  }
}
```



Attribute	Value
rn	Thing_Metadata
ty	4
ri	/in-cse/cin-204479585
pi	/in-cse/cnt-125844192
ct	20180831T145430
lt	20180831T145430
st	0
cnf	AirQuality_Metadata
cs	313
con	{ "name": "二林", "description": "環保署空氣品質測站-二林", "properties": { "AreaName": "中部空品區", "SiteEngName": "Erlin", "SiteName": "二林", "Address": "彰化縣二林鎮江山巷1號", "Township": "二林鎮", "TWD97Lat": "23.925175", "SiteType": "一般測站", "City": "彰化縣", "TWD97Lon": "120.409653" } }

(a) oneM2M 創建 AE 之請求範例

(b) OM2M 平台檢視所創建之空氣品質測站資訊

```

{
  "name": "二林",
  "description": "環保署空氣品質測站-二林",
  "properties": {
    "AreaName": "中部空品區",
    "SiteEngName": "ErLin",
    "SiteName": "二林",
    "Address": "彰化縣二林鎮江山巷1號",
    "Township": "二林鎮",
    "TWD97Lat": "23.925175",
    "SiteType": "一般測站",
    "City": "彰化縣",
    "TWD97Lon": "120.409653"
  },
  "Locations@iot.navigationLink": "http://140.115.111.128:8080/NCUSTA/v1.0/Things(13)/Locations",
  "HistoricalLocations@iot.navigationLink": "http://140.115.111.128:8080/NCUSTA/v1.0/Things(13)/HistoricalLocations",
  "Datastreams@iot.navigationLink": "http://140.115.111.128:8080/NCUSTA/v1.0/Things(13)/Datastreams",
  "MultiDatastreams@iot.navigationLink": "http://140.115.111.128:8080/NCUSTA/v1.0/Things(13)/MultiDatastreams",
  "TaskingCapabilities@iot.navigationLink": "http://140.115.111.128:8080/NCUSTA/v1.0/Things(13)/TaskingCapabilities",
  "@iot.id": 13,
  "@iot.selfLink": "http://140.115.111.128:8080/NCUSTA/v1.0/Things(13)"
}

```

(c) 自動轉換至 SensorThings API 服務之 Thing 實體

圖 4-4-2-6、SensorThings API 與 oneM2M 整合範例

4.4.3 發展三維室內外模型與物聯網標準之整合平台

本項工作主要包含兩項內容。首先將探討三維室內外模型與物聯網標準整合之策略及其優缺點分析。本項工作之第二項內容為進行三維模型與物聯網標準整合之試辦。

根據初步文獻蒐集及分析，位於應用層端之客製化整合方法，大多沒有遵循開放式標準的架構，而僅有少數研究基於開放式標準進行整合，但整合方式也不具組織性，以下舉數篇相關研究為例。

Dynamizers 採用了嵌入式的方式，將 OGC Sensor Observation Service (SOS) 加入 CityGML 的資料模型架構中 (Chaturvedi & Kolbe, 2016)。透過與 SOS 之連結，此 CityGML 格式之三維模型中之物件，不僅可以取得對應的

感測資料及歷史觀測數據資訊，也保留了 CityGML 的語義特性，作者也提到加入 OGC SensorThings API 為其未來工作之一。

在整合室內外三維城市模型的開放資料之案例中，CityGML 之城市模型並無具備描述空間與空間中連接關係特性的能力，而 IndoorGML 利用節點與邊的架構來組成空間中之對應關係，也定義了描述不同特性的多階層型態。透過定義明確的資料模型對應關係，可以用來連接兩種開放標準，達到標準之間整合的效果(Kim et al., 2014)，同時具備 CityGML 之空間描述以及語義以及具備導航能力之多階層式室內網路。

近年來，許多研究已經解決了將 IFC 模型與 CityGML 互相轉換的方法(Deng et al., 2016; El-Mekawy et al., 2011)，但是並沒有辦法在完全沒有遺漏的情況下將兩個資料模型進行對應，此問題是由於兩個標準所定義之語意描述不同所致。因此，使用外部描述關聯資訊的方式，可以同時對兩種數據進行查詢(Vilgertshofer et al., 2017)，進而達到兩種標準整合的效果。

透過以上之文獻蒐集，將開放式標準間的整合策略分為三類，包含「嵌入式整合」、「索引參照」、及「外部連結」，此三類策略各具其特色及優缺點，本項工作將據此三類進行分析。

- (1) 嵌入式整合：將資料直接嵌入於其中一方，例如將感測資料嵌入模型，或將模型資料嵌入於感測資料。整合過後，資料將以某一方之標準格式記錄所有資訊。此策略之優點為僅以其中一種開放標準格

式來描述兩方資訊，在資料交換與使用上較為便利。而其缺點為資料所占空間龐大，且難以更新動態資訊。

(2) 索引參照：在其中一方的資料中加入所對應資訊之網路位址，在欲取得該資料時，透過位址取得資訊。例如於模型物件之屬性加註該物件之感測資料連結，或於感測資料嵌入模型之獲取連結。此策略之優點為個別資料大小較為輕量化，且被連結之資料可獨立建置並保留原始資訊，被連結資料亦可支援動態更新。而其缺點為索引方資料本身並非單一獨立資料，於建置時須考量被索引方資料之設計以確保其對應關係，並需透過連結取得資訊。

(3) 外部連結：保留模型與感測資料之原始資料，透過額外建置之表單描述資料間的連結與對應關係。此方法如同於資料庫創建額外表格，以各自主鍵連結另外兩個獨立資料表格。此策略之優點為各方資料可獨立建置且保留原始資訊。連結的方式較索引參照策略更具彈性，亦可支援資料的動態更新。而其缺點為若資料分別獨立建置時，模型與感測資料之對應關係可能較為複雜，甚至可能無法找到相對應的資料進行描述。

整體而言，本項工作透過文獻蒐集及討論，開放式標準間的整合不僅可以達成跨資料領域之應用外，也可結合各標準之特性，達到資訊整合的目標。而各種開放式標準整合的策略分析，可供系統建構時參照，選擇合

適的整合策略。

本項工作之第二項內容為進行三維模型與物聯網標準整合之試辦，建立三維地形圖資與物聯網資源整合之應用案例。本項工作選定之試辦區範圍為東區地下街，考量試辦地點之可用資源，所設計之物聯網物件網路如圖 4-4-2-7 所示，其中共 34 個黑點為裝置位置、1 個紅星符號代表閘道器位置。裝置位置根據現場可用之市電插座位置決定，閘道器位於東區地下街管理處辦公室。

裝置使用 Arduino Uno 微控制器、DHT22 溫濕度感測器、及 ZigBee 之 XBee 通訊模組建立。閘道器則以筆記型電腦連接 XBee 通訊模組建立。此外，本年度所架設之物聯網物件網路利用前述 4.4.2 小節所提之第一種開放式物聯網架構建立，物件間以 ZigBee 通訊，傳遞資訊至閘道器，再透過實際網路上傳至 SensorThings API 服務。圖 4-4-2-8 為所架設之感測器照片。

裝置之取樣頻率為 15 分鐘 1 筆溫濕度資料，統計至 2018 年 11 月 2 日止已儲存 224695 筆溫濕度感測資料。圖 4-4-2-9 為其中一個裝置之時序資料。其中溫濕度之變化規律，在夜晚無空調時之溫濕度皆上升，而早晨空調開啟時溫濕度下降。圖 4-4-2-10 為透過前述外部連結策略進行三維室內模型與感測資料整合之系統介面，使用者可於 Cesium 三維展示系統瀏覽三維模型及物聯網裝置位置。點擊至物聯網裝置後，此系統將動態至 SensorThings API 服務取得最新的溫濕度資料，並展示於此三維系統介面之

右上角。

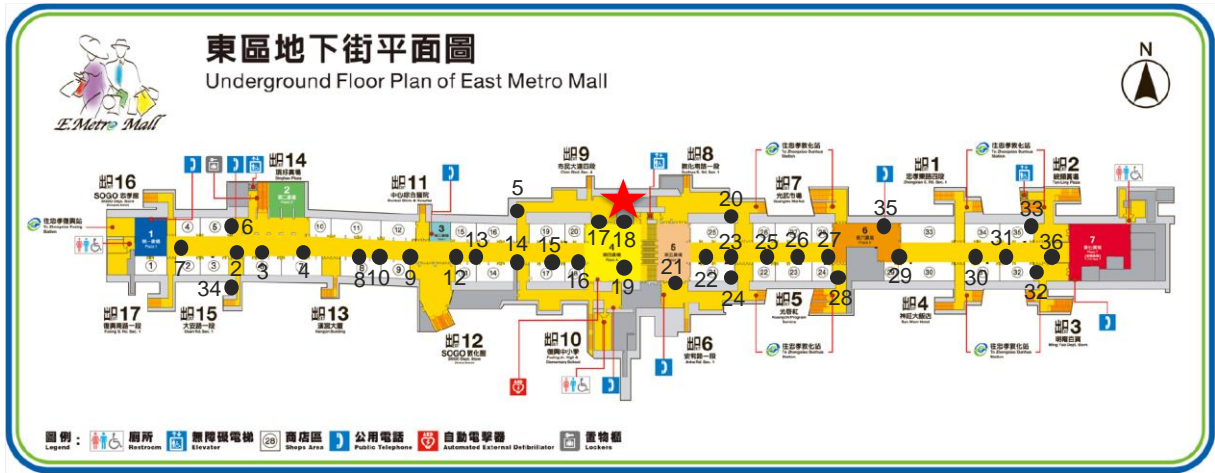


圖 4-4-2-7、物聯網試辦之裝置佈設位置，黑點為裝置、紅星符號為閘道器



(a)



(b)

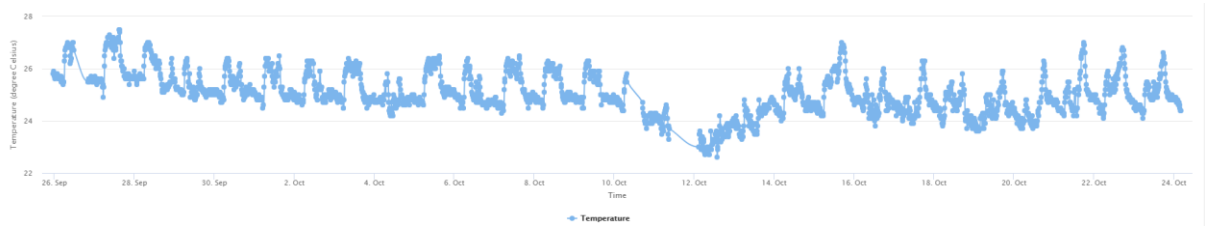


(c)

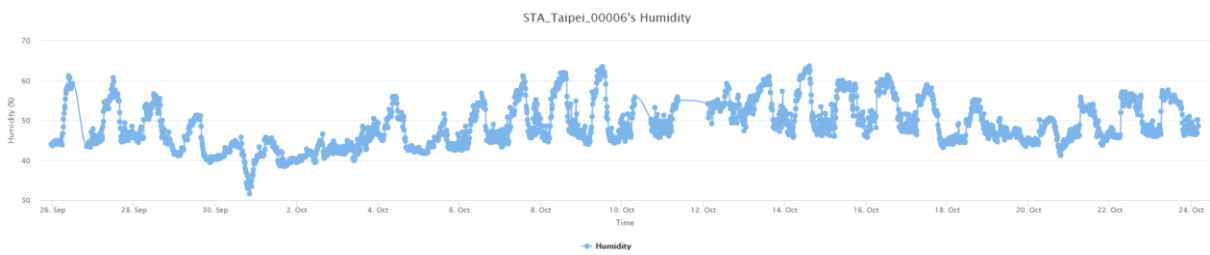


(d)

圖 4-4-2-8、物聯網裝置佈設照片

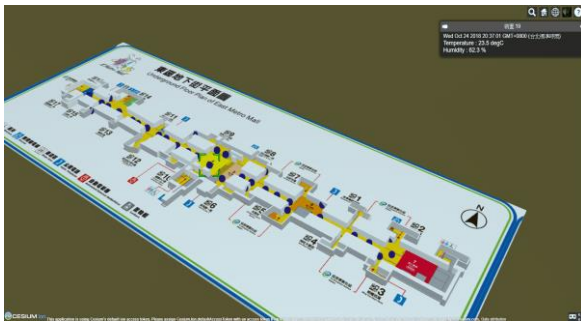


(a) 溫度資料

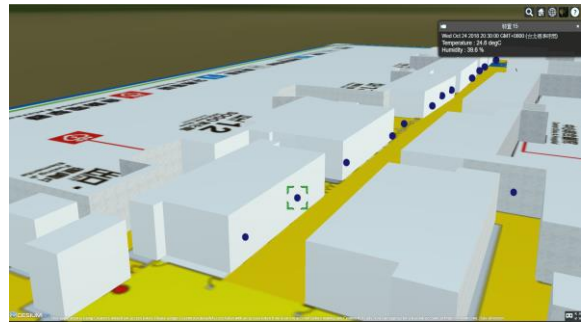


(b) 濕度資料

圖 4-4-2-9、物聯網 6 號裝置之時序感測資料



(a) 整合平臺遠視角觀看



(b) 整合平臺近視角觀看

圖 4-4-2-10、三維模型與物聯網物件之整合平台

本計畫所探討之物聯網技術研發與這兩年所推動之前瞻基礎建設計畫民生公共物聯網有所關係。首先，民生公共物聯網所供應之感測資料將以 SensorThings API 網路服務協定提供，與本計畫所使用之標準相同。民生公

共物聯網在資料彙整上較無探討物聯網底層資訊的流通及與 SensorThings API 之結合，其主要原因為市場上無通用的解決方案，建置單位常各自提出不同專有方法，造成底層架構之異質性。而本計畫所探討之開放式物聯網架構則可作為統一架構之參考方向。此外，物聯網資訊皆具有位置資訊，與二維及三維模型的整合亦是民生公共物聯網目前正在開發及探討的方向，本計畫所分析之整合策略及試作或可作為後續資訊整合之參考。

4.5 研究成果發表、協助國際事務推動及技術交流

研究成果發表部分，本團隊投稿證明請見附件 B，成果如下：

1. MDPI Sensors，題目：An Automatic Embedded Device Registration Procedure based on the OGC SensorThings API.
2. ISRS 2018，題目：Integrating parametric and mesh models for complicated building structures.
3. IGRSM 2018，題目：The extraction of urban road inventory from mobile lidar.
4. 航測與遙測學刊，題目：以線散函數衍生特徵評估影像模糊度-應用於 UAV。

協助國際事務推動及技術交流部分，(1)本團隊 8 月 15-16 日赴澳門進行推廣與交流，與澳門智慧城市聯盟協會主要幹部等人，就智慧城市建置與應用，以及智慧城市物聯網建置等相關議題與經驗進行經驗交換與討論，

如圖 4-5-1 所示；(2)本團隊於 9/20、9/21 與 9/27 赴桃園市永豐高中進行建模技術教學，提供三個班級學習、操作模型建置之課程，每班約 20 人，共計 6 小時。

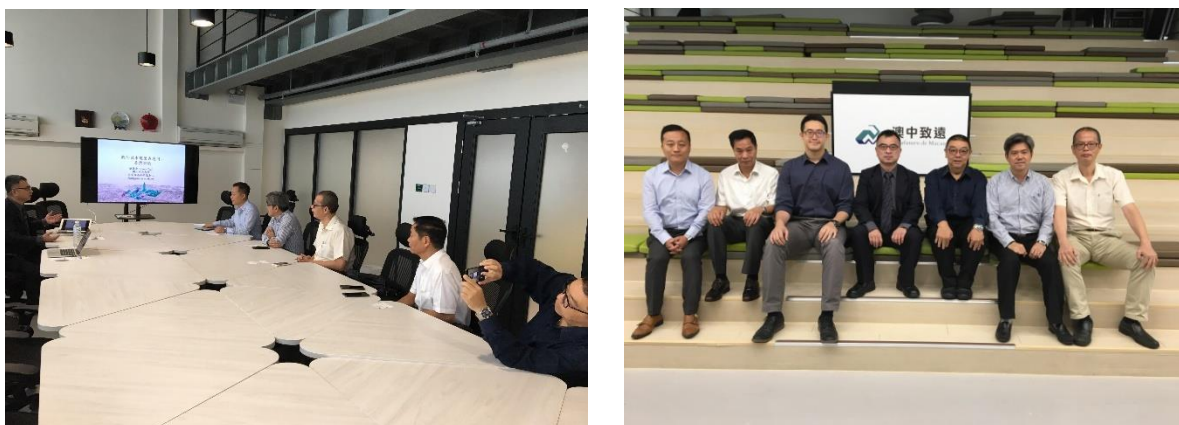


圖 4-5-1、國際事務推動及技術交流-澳門

4.6 工作會議

本團隊於執行計畫期間，每個月定期召開工作會議，並適時接受諮詢。並於 5/3、9/28 與 10/26 工作會議中邀請內政部相關人員參與會議討論、意見交換，並作為後續應用方向或執行參考，本計畫召開之工作會議紀錄與簽到證明請見附件 C。

第五章 結論與建議

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。本計畫目前執行成果總結如下：

一、 試辦區選定

經內政部同意，「發展三維地形基礎圖資測製技術」試辦區選定臺北市小巨蛋與其附近區域為試辦區域，總面積約為 110 公頃，完成 LOD1 與 LOD2 房屋模型建置；「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。

二、 研擬並精進三維地形圖資測製技術

1. 三維地形圖資測製文獻蒐集與分析，完成蒐集之各國三維地形圖技術文件與分析，核心分析項目為三維地形圖之測製方法、三維地形圖之測製成果物件化、三維地形圖之資料結構、三維地形圖之編碼、三維地形圖之資料庫等。
2. 研擬三維地形圖資核心類別測製技術，完成建置試辦區之三維網格模型(3D Mesh model)，並以三維地形圖的核心類別(包括房屋及道路模型)為模型建置考量，提出以三維實體模型(3D Solid

Model)建置三維地形圖資核心類別之技術，分析此兩種模型之優缺點、適用範疇與發展潛力。

3. 提升三維地形圖資核心類別測製效率或品質，本項團隊針對上述提出之核心圖資(包括房屋及道路模型)測製技術進行精進，精進的方向為提升房屋紋理細節及三維道路模型重建。提升房屋紋理細節部分，完成改良版通用紋理之流程作業；三維道路模型重建部分，完成以三維點雲自動形塑於三維彩帶式道路模型重建之自動化程度提升。
4. 增加三維地形圖資尺度資訊，精進的方向為提升房屋騎樓之半自動化建置程度與路面標線深度。提升房屋騎樓之半自動化建置程度部分，完成透過 LOD1 房屋模型與點雲資料輔助，以半自動或手動的方式調整房屋高度，並產出 LOD1 房屋模型；路面標線深度學習部分，以使用 FCN 深度學習方法對 75 個子區域進行訓練，完成偵測道路標記、精化道路標記區域、精化道路標記區域、道路標記精度分析，最後產生道路標記模型。

三、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

1. 研擬三維地形圖測製及檢核作業技術文件指引，針對三維地形圖兩大核心類別(即房屋及道路模型)，訂定幾何模型測製規則及品質分級標準。以資料增值策略為主要撰寫對象，分析及參考國外

三維地形圖資之技術文件，針對不同細緻程度之應用需求等，以研擬本計畫三維地形圖資之技術文件(附件 G)。

2. **規劃三維地形資料庫發展策略**，完成以三維地形圖資之空間資料庫、三維地形圖資測製成果之資料結構、三維地形圖資測製成果之編碼等方面進行探討。
3. **三維地形圖資測製技術成本與分析**，完成房屋模型建置成本分析比較表、房屋建模成本計算表、三維道路建置成本比較表、及臺北市密匹配點雲計算及資料產出時間表。
4. **三維地形圖資測製待克服之問題討論**，提出本團隊於執行本計畫各工作項目時，遭遇之困難或需克服之問題，包含：非封閉多邊形圖層問題、屬性對應問題、缺乏三維化對應圖層問題、航空製圖影像產製三維網格模型計算之問題等。

四、研發三維地形圖資與物聯網之整合及應用

1. **物聯網標準之開發與介接技術**，延續前一年度之技術發展成果，並根據 OGC SensorThings API 第二版標準擴充物聯網裝置控制能力介面，開發出對應之介接技術。
2. **開放式物聯網基礎建設之技術發展**，完成探討兩種開放式物聯網基礎建設之建立策略，並進行實作測試。
3. **發展三維室內外模型與物聯網標準之整合平台**，依前兩項工作發

展之技術，完成建立三維地形圖資與物聯網資源整合之應用案例。

五、 研究成果發表

本團隊投稿證明請見附件 B，研究成果：(1) MDPI Sensors，題目：An Automatic Embedded Device Registration Procedure based on the OGC SensorThings API. (2) ISRS 2018，題目：Integrating parametric and mesh models for complicated building structures. (3) IGRSM 2018，題目：The extraction of urban road inventory from mobile lidar. (4)航測與遙測學刊，題目：以線散函數衍生特徵評估影像模糊度-應用於 UAV。

本團隊協助國際事務推動及技術交流：(1)於澳門智慧城市聯盟協會主要幹部等人，就智慧城市建置與應用，以及智慧城市物聯網建置等相關議題與經驗進行經驗交換與討論；(2)於桃園市永豐高中進行模型建置技術課程教學。

六、 建議

綜合本計畫執行過程經驗與成果，針對三維數值地形圖資之建置、推動、以及技術發展等提出以下幾點建議：

1. 三維地形圖資牽涉之面向非常廣泛，不同領域、單位、機構、產業、及不同應用等對於圖資的內涵與規格等也有不同之需求與考量，但可先建置“三維基本地形圖資”，做為後續增值精進與開發

的基礎。依此概念，並考量經費及現有技術等條件，可先行建置以 OGC CityGML LOD1 等級為標的的全臺三維數值基本地形圖資，並至少包含三維地形模型、積木式三維房屋模型及彩帶式三維道路模型。

2. 可利用現有二維圖資，例如通用版電子地圖及各都會區之千分之一地形圖，以本計畫所提出增值方式快速產製 LOD1 三維房屋模型，達到最短時間內完成三維基本地形圖資最大覆蓋率的目標。
3. 根據本計畫執行成果與經驗，現行（二維）地形圖測製作業只需增加約三分之一經費即可達成 LOD1 等級三維模型建置，未來地形圖修測或新測作業可考慮直接進行三維模型建置。
4. 有鑒於部分地區地形圖更新頻率較低，可考慮利用三維網格(3D Mesh)形式針對特定區域快速建立最新之三維數值地表模型，提供部分最新之三維地表特徵。
5. 三維數值地形圖資的資料格式可以 OGC CityGML 等開放式國際標準為基礎，以維持最大共通與互操作性。此外，三維數值地形圖資的資料儲存與管理等不宜綁定特定圖資系統或平臺，以維持未來增值擴充與應用的最大靈活性。
6. 後續相關技術研發可朝以下方向推動：
 - (1) 提升三維數值基本地形圖的紋理品質

(2) 以行動測繪提升三維數值基本地形圖房屋及街道模型尺度

細緻度

(3) 建立及精進三維地形圖測製建置作業規範

(4) 建立及精進三維地形圖測製驗收作業規範

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、蔡富安，2016。以攝影式行動測繪重建擬真三維房屋模型，科技部補助專題研究計畫成果報告。
- 10、Azimi, S. M., Fischer, P., Körner, M., & Reinartz, P. (2018). Aerial LaneNet: Lane Marking Semantic Segmentation in Aerial Imagery using Wavelet-Enhanced Cost-sensitive Symmetric Fully Convolutional Neural Networks. *arXiv preprint arXiv:1803.06904*.
- 11、Blaauboer, J., J. Goos, H. Ledoux, F. Penninga, M. Reuvers, J. Stoter, G. Vosselman, T. Commandeur, 2017. Technical Specifications for the Construction of 3D IMGeo-CityGML, version 2.1. URL: https://www.geonovum.nl/uploads/documents/20170102Guidetotender3DCityGMLIMGeo_v2.1_0.pdf
- 12、Chaturvedi, K., & Kolbe, T. H. (2016.) Integrating dynamic data and sensors with semantic 3D city models in the context of smart cities. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences IV-2 W, 1*, 31-38.
- 13、Deng, Y., Cheng, J.C.P., Anumba, C. (2016). Mapping between BIM and 3D GIS in different levels of detail using schema mediation and instance comparison. *Automation in Construction* 67, 1-21.
- 14、Elberink, S. O., Stoter, J., Ledoux, H., & Commandeur, T. (2013). Generation and dissemination of a national virtual 3D city and landscape model for the Netherlands. *Photogrammetric engineering & remote sensing*, 79(2), 147-158.
- 15、El-Mekawy, M., Östman, A., Shahzad, K. (2011). Towards interoperating CityGML and IFC building models: a unified model based approach. *Advances in 3D Geo-Information Sciences*, 73-93.
- 16、Geonovum, 2017. Technical Specifications for the Construction of 3D IMGeo-CityGML, version 2.1. URL:

https://www.geonovum.nl/uploads/documents/20170102Guidetotender3DCityGMLIMGeo_v2.1_0.pdf

- 17、Hong Kong Land Department, 2012. Information Sheet on 3D Spatial Data, Version 1.1.
- 18、L. van den Brink, J. Stoter, S. Zlatanova, 2013. Establishing a national standard for 3D topographic data compliant to CityGML, International Journal of Geographical Information Science, 27:1, 92-113, DOI: 10.1080/13658816.2012.667105
- 19、Kim, J. S., Yoo, S. J., & Li, K. J. (2014). Integrating IndoorGML and CityGML for indoor space. International Symposium on Web and Wireless Geographical Information Systems, 184-196.
- 20、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.
- 21、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: 18April 2018]
- 22、OGC, 2012. OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard, <http://www.opengeospatial.org/standards/citygml>. [last access: 18April 2018]
- 23、POB, 2015. Tracking the trends in 3D surveying, <http://www.pobonline.com/ext/resources/POB/2015/April/Trends-in-3D-Surveying-2015/3D-Surveying-Trends.pdf>. [last access: 18April 2018]
- 24、Prechtel, N., 2015. On strategies and automation in upgrading 2D to 3D landscape representations. Cartography and Geographic Information Science, 42(3):244-258.
- 25、Rau, J. Y., and Chen, L. C., 2003. Robust reconstruction of building models from three-dimensional line segments, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 69, No.2, PP. 181-188.
- 26、Schmassmann, E. R. Bovier. 2010. Topografisches Landschaftsmodell TLM: swissTLM3D. Geomatik Schweiz Vol. 9, pp. 407-409.
- 27、Singapore Land Authority, 2013. Standard and Specifications for 3D Topographic Surveying (Mapping) in Singapore, Version 1.0.
- 28、Smart City Expo, 2014. Smart City Expo 2014, <http://www.smartcityexpo.com/>. [last access: 18April 2018]
- 29、Soon, K. H., & Khoo, V. H. S. (2017). CITYGML MODELLING FOR SINGAPORE 3D NATIONAL MAPPING. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences, 42.
- 30、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.
- 31、Vilgertshofer, S., Amann, J., Willenborg, B., Borrmann, A., & Kolbe, T. H. (2017). Linking BIM and GIS Models in Infrastructure by Example of IFC and CityGML. Computing in Civil Engineering 2017, 133-140.

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：申請三維地形圖資測製所需之相關文件

附件 E：三維地形圖資測製技術指引(初稿)

附件 F：三維地形圖資之國際發展與探討

附件 A：各期成果審查意見與回覆

第一期成果審查意見與回覆

意見				意見回應
一、 有關 4.1 試辦區域選定於臺北市小巨蛋附近區域 1 節，請再補充欲試辦的內容和方法，如預計取得資料種類、測製內容、如何測製及產品等級等。(P. 19)				已依照審查意見補充試辦區相關資料與需求圖資於 4.1 節中。
二、 有關「4.3.1 研擬三維地形圖測製及檢核作業指引」，須考慮實務對建物及道路模型有不同細緻程度之應用需求，請參酌 OGC CityGML 標準對建物與道路等二類核心類別模型產品適度分級，依不同產品品質分級撰寫測製要求(含幾何測製定義、物件間關係及紋理品質等)、檢核內容與方式及檢核標準等內容。				已依照審查意見修訂 4.3.1 節內容。
三、 國家發展委員會正研議未來國家三維地理資訊發展策略，規劃以國際三維圖資及服務標準為框架並依國內需求調適訂定標準，逐步建置三維地理基礎圖資及 3D GIS 圖台，請在「4.3.2 規劃三維地形資料庫發展策略」等適當章節中，補充對應之技術發展規劃，例如是否能透過資料庫設計以提升管理、資料分析或圖台展示速度等效能。				本計畫已在 4.3.2 節規劃以國際標準 OGC CityGML 所對應之 Open 3D City Database 開放資料庫進行初步分析測試。
四、 表 3-2-1 預定工作進度表之時程規劃中有多項工作至 11 月底完成，但依本案規格要求於 107 年 11 月 16 日交付期末報告初稿，請配合期末報告初稿交付時程重新安排工作期程。				已修正表 3-2-1 工作進度時程。
五、 工作計畫書(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。
頁碼	原內容	建議修正	備註	

意見			意見回應
24	……以道路多邊形節點分解為二維平面三角網；○……	……以道路多邊形節點分解為二維平面三角網；……	
26	……路面標線深度學習 (Azimi et al., 2018)於三維彩帶式道路模型之細緻。	……路面標線深度學習 (Azimi et al., 2018)於提升三維彩帶式道路模型之細緻程度。	
27	……指向線及斑馬線三大類，……	……指向線及斑馬線三大類，……	
32	……根據本案前一年度針對開方式物聯網標準之分析結果，……	……根據本案前一年度針對開放式物聯網標準之分析結果，……	

第二期成果審查意見與回覆

意見	意見回應
曾委員詠宜	
<p>一、 本案建議執行過程能加強考量培植、深化國內技術研發及產學合作等前端技術研發之角度，對於未來潛在關係者及應用端，也能加以了解及評估。</p>	遵照辦理。
<p>二、 本案相關成果應能有助於支援行政院既定政策「國家底圖三維化」之工作，案內有關測製及檢核成果技術文件、資料結構與編碼建議等，均與 3D 國家底圖密切相關，建議加強合作。</p>	遵照辦理。
<p>三、 個別工項建議：</p> <p>(1) 提升三維地形圖和新類別測製效率或品質，應儘量採用可自主之影像，以回饋深化國內技術發展。</p> <p>(2) 資料庫發展策略，可評估善用國內已有優勢之產品及技術。</p> <p>(3) 物聯網整合及應用部份，建議選取應用案例時，應從裝置選擇、設置地點及模式發展均能考慮深化本土產學研合作發展的角度，俾發揮計畫綜效。</p>	本計畫個別工項之資料及試辦將評估並儘量採用國內可自主之產品及技術。物聯網整合及應用依委員建議，與臺北市政府及桃園市永豐高中進行試辦。
劉委員正倫	
<p>一、 報告 P.19 等多處，出現「千分之一基本地形圖」，建議修正為「千分之一地形圖」。</p>	已修正用字。

意見	意見回應
<p>二、 P. 30 自動化建置 LOD1 房屋模型，若是使用舊版的千分之一地形圖格式(dwg 格式)進行轉檔，則需將房屋與樓層數以外的圖層刪除；若是使用新版的千分之一地形圖格式(dgn 格式)進行轉檔，則需先行提供房屋圖層的名稱。在圖資無錯誤的情況下，透過線上自動轉檔系統，每幅圖幅轉檔約花費時間約 5 分鐘。請補充說明測試區 6 幅千分之一地形圖，檔案是舊版格式 DWG 或新版格式、轉檔含前置資料處理之作業時間為何、DWG 轉檔刪除非不要圖層之作業時間為何。</p>	<p>本計畫測試區使用之千分之一地形圖為新版格式，具有圖層式管理方式，將不必要之圖層刪除約花費 30 秒，之後透過線上轉檔系統進行轉檔，故將一幅圖轉檔成 KML 檔案約花費在 5 分鐘內。</p>
<p>三、 P. 33-34、P. 46-47 彩帶式三維道路模型建置技術，資料來源為千分之一地形圖，於審查會之簡報內有利用通用電子地圖道路圖層建模之評估結果，請納入期中報告內。另 2 種不同來源圖資產生之三維道路模型，其精度、細緻度是否一樣?請補充說明。</p>	<p>本次期中報告以千分之一數值地形圖產製的道路圖層進行三維道路模型之形塑。</p> <p>就細緻度而言，由於製圖比例尺不同，初步分析結果顯示，比較兩者之道路邊界節點(Vertex)數量，本測區各別為 7265 點(通用版電子地圖)及 8194 點(千分之一地圖)，細緻度差異為通用版電子地圖的節點數約少 11%(=8194-7295/8194)，主要差異為道路兩側的局部區域之細緻度差別。</p> <p>就三維道路模型而言，千分之一地圖與通用版電子地圖路面區域有高的重疊率，因三維形塑均使用相同的數值高程模型，故形塑之路面形狀有高的一致性。</p>

意見	意見回應
<p>四、 P. 39 在提升房屋紋理細節(通用紋理品質)，圖 4-2-3-1 透過下載 Google 街景以產製改良版通用紋理，請補充說明是否考慮到 Google 地圖服務條款的規範。</p>	<p>本計畫產製改良版通用紋理的流程中，使用 Google Street View Image API 取得影像。經參考 Google 服務規範，並詢問 Google 相關部門，Google 表示因申請者眾多而人力有限，故無法提供任何正式簽署的信函或合約，明確地為專案或使用方式授予使用許可。不過，只要遵守所列規範，並正確標示「內容」的來源資訊，即可在專案中自由運用「內容」。此外，本項工作使用之來源影像，未來可替換為測量車影像。Google 規範網址如下： https://www.google.com/intl/zh-TW/permissions/geoguidelines.html</p>
<p>五、 P. 46 本計畫試辦區三維道路模型自動化重建成果如圖 4-2-3-10 所示，平面與高架分離為兩組道路模型，統計所有道路模型的節點數，共有 8194 個節點。請補充說明道路模型長度、作業時間等資訊，以利後續規劃參考。</p>	<p>已補充如下： 本測區之道路中心線全長累積 40083.49 公尺，經人工編修各圖幅接合，因本測區地形平坦且起伏變化小，故所需運算時間較對少，以數值地形模型自動化形塑道路節點，所需時間約為 400 秒。</p>
<p>六、 P. 51 表 4-3-1-1 房屋類別各式加值方案，以二維房屋區塊來源區分 LOD，建議可考量參考 CityGML 以精度區分。另有關道路與與高程模型，也建議應該有不同品質要求的內容。</p>	<p>遵照辦理。</p>
<p>蔡委員榮得</p>	

意見	意見回應
<p>一、 期中報告內有名詞不一致之情形，例如三維三角網模型(3D Mesh Model)英文 Mesh Model 為以點、線、面構成之網線模型，與 TIN 同樣皆為 2.5D 表面模型(Surface Model)，而非三維物件，故與附錄 E 三維地形圖資測製技術指引(初稿)表 6.1-1(P80)中之 3D Model 之 Polyhedral(多面體)完全不同。</p>	<p>3D Mesh Model 為工作項目(研擬三維地形圖資核心類別測製技術)之建置產物，此 Mesh Model 並無定義、規範在三維地形圖資測製技術指引中，故與表 6.1-1 提及 3D Model 之 Polyhedral(多面體)有所不同。</p>
<p>二、 附錄表 6.1-1 中地形類別物件—數值高程模型(DEM)以 TIN(不規則三角網)建構，而道路及房屋以 CityGML 中之 LOD0.5 至 LOD2 之 Polyhedral 建構。另外由 DSM 建構之三維三角網模型，並無體積之概念。</p>	<p>感謝委員指正，將修正相關敘述，另依委員建議及會議結論，將刪除 LOD-0.5 之分類。</p>
<p>三、 道路採用彩帶式模型與 Polyhedral 模型(附錄 E 表 6.1-1)有何差異?由圖 4-2-2-2(e)可看出其在高架道路使用三角網模型之缺失。</p>	<p>本案透過原始航照影像建置三角網模型，在影像特徵不足區域(橋下、遮蔽等)建置之模型正確度較低，而實體模型具有物件的概念，透過輔助資料則能快速建置出高架道路。</p>
<p>洪委員榮宏</p>	
<p>一、 建議明確說明與區隔(或擴充)CityGML 與規範文件之關係，在技術指引文件加以說明，並評估納入文件內容。</p>	<p>將於期末報告補充說明於技術指引文件。</p>
<p>二、 專有名詞建議再予檢討。</p>	<p>遵照辦理。</p>
<p>三、 建議考量是否不要與現有圖資明確掛勾，而是由不同等級三維圖資之觀點切入，明訂需滿足之條件，使不同來源或方式之圖資均可納入，並能以符合規定之方式記錄。</p>	<p>在撰寫相關文件時，將以精度作為區分 CityGML LOD 之依據，以滿足不同圖資來源，或於產出之檔案提供圖資精度之說明。</p>

意見	意見回應
四、 可以現有圖資之規格作為設計之參考，勿引用其名稱避免因原資料規格改變而影響本文件之內容。	遵照辦理。
五、 測製指引對於不同 LOD 之「物件化」策略建議有較為明確之規定(例如單棟、立體、分部等)，並考量不同類別分別規定，以維持識別及關聯之可能性。	將於期末報告明確定義各 LOD 建置規定於技術指引文件。
六、 等高線目前幾乎均以展現為主，是否適合以等高線二分之一間距作為高程精度要求之參考。	將參考 CityGML 各式 LOD 精度要求，於期末報告調整高程精度標準。
七、 加入 LOD0.5 之描述，在綱要編碼部份是否有擴充現有 CityGML 規定之需求，不滿足 LOD1 之情形請予說明。	將參考委員建議，於期末報告中刪除 LOD0.5 之分類，改於 LOD1 類別中以詮釋資料欄位說明精度來源差異。
本部地政司	
一、 本案涵蓋三維地形圖資測製技術研發與三維地形圖資測製技術指引研擬等兩項主要工作，撰寫時需注意研發及試辦經驗固然為測製技術指引之參考，但不必然為應遵循條件，即三維地形圖資測製不限於以現有二維圖資或某比例尺圖資為必要資料，且現有二維圖資受限於測製年份、比例尺及幾何精度等差異亦難以一概而論，僅需就國際發展現況與國內需求探討三維地形圖資應具備之核心類別、各類別中至少應包含之內容、測製不同細緻度等級圖資間之精度要求、最小應建置物件尺寸之差異為何及測製後交付之資料格式等，就不同細緻等級提出測製方案或有助於測製之參考圖資。	遵照辦理。

意見	意見回應
<p>二、 P36 表 4-2-2-1、影像建模比較，其中後續處理工作分成「多」、「大」、「少」，請補充說明「多」和「大」之間差異。</p>	<p>已修正表 4-2-2-1 用詞。</p>
<p>三、 P37 第二段「缺點部分，由於資料來源為二維地形圖，因此若無資料則無法產製模型；……。」實體模型亦可重新測製而得，並未有需有參考圖資始能建置之情形，或此處所指為自動建置 LOD1 房屋實體模型必須有二維地形圖，請再詳述完整使語意清晰。</p>	<p>由於資料來源為二維地形圖，在現有的技術下，若無地形之圖資則無法自動產製模型；若圖資過舊，則需進行重測、變遷偵測等處理。必須明確規範定義從二維數值地形圖建置三維數值地形圖標準，在建置、展示三維實體模型才能有所依據。若無地形圖資或參考圖資，則需重新測製以建置實體模型。</p>
<p>四、 請修正 P51 之表 4-3-1-1，並未說明各 LOD 等級應滿足之幾何精度或要求，如未定義 DSM 之解析度及精度或光達點雲之點密度或幾何精度，難以比較不同細緻度等級圖資對所需資料品質要求之差異。</p>	<p>不同測製方式取得之精度標準皆有差異，待本案辦理相關測試後，於期末報告提出各類型產品明確標準。</p>
<p>五、 請於期末報告補充有關管理三維地形圖資之策略，如現行二維圖資多以圖號、圖層管理各類別圖資(圖徵)，而三維地形圖資以 3D 物件測製、展示，有關資料儲存或記錄方式與二維圖徵是否有差異，如何透過三維地形圖資資料庫管理、展示與儲存等。</p>	<p>將於期末報告補充有關管理三維地形圖資之策略。</p>

意見	意見回應
<p>六、 有關三維地形圖資測製技術指引(初稿)之內容，請修正如下：</p> <p>(1) 表 6-1-1 之物件圖層表請列出 CityGML 2.0 之所有類別，並再適當敘明本技術文件僅先就建物、道路、地形(數值高程模型)討論，其餘項目後續視需求再擴充等說明。</p> <p>(2) 原 106 年度成果已有的內容如無錯誤則應保留，如有關三維水體模型之定義、房屋表面材質及紋理描述等。</p> <p>(3) 第 7 節部份的作業準則的描述似對單一規格做描述，如道路、高程都只有一種品質要求，惟未說明屬於何等級，而於建物類別卻列出 3 種品質等級，建議先定義各類別作業準則欲描寫之模型品質範圍，再去釐清內容。</p>	<p>(1)CityGML2.0 圖層種類繁多，部分圖層(如 CityFurniture)與本國圖資並不相符，且過去研究並無涉略，建議目前僅列出核心類別圖層，待進一步討論後納入技術指引文件。</p> <p>(2)遵照辦理。</p> <p>(3)本案過去僅針對建物類別辦理 2 種(LOD1 及 LOD2)建置技術之研討，道路類別僅實作 LOD1 三維彩帶式道路，其餘類別尚無實作及精度依據，或可參考 CityGML 相關規定於期末階段選擇性導入。</p>
<p>七、 有關三維地形圖資測製技術指引(初稿)之內容，請於期末報告時補充下列內容：</p> <p>(1) 建物及道路(含高架道路、隧道、地下車行道等)類別之模型細緻度分級規劃。</p> <p>(2) 第 1 項類別各級之模型細緻度之測製規格及品質要求，如平面精度、高程精度、最小應建製之地物尺寸及紋理品質等。</p> <p>(3) 為符合 CityGML 格式於測製時所應注意及滿足之位相關係、測製規則等及主建物和其衍伸部份如何組成等規則。</p> <p>(4) 第 1 項類別模型之 CityGML 格式參考範例及建議檔案格式。</p> <p>(5) 有關 3 維網格模型(3D Mesh Model)之測製要求及品質等級，如影像解析度或可容忍之模型破碎程度等。</p>	<p>於期末報告時補充。</p>

第三期成果審查意見與回覆

意見	意見回應
王副司長成機	
<p>一、 本案為延續性之研究計畫，歷經自 100 年至 107 年計有 8 年之研究與試辦，且與國外相關研究發展同步，有關測製規範、測製方法、資料編碼、資料庫及成果展示方式等皆已提及，建議本案之研究方向及文件撰擬等工作應逐步收斂以落實應用，進而提供為國家推動三維底圖參考。</p>	<p>遵照辦理。</p>
<p>二、 本報告以現有二維圖資出發建置三維地形圖資，是否應思考從根本由測製方式調整，如對千分之一地形圖測製規範做修正，使未來修測千分之一地形圖時即以三維圖資之概念辦理。</p>	<p>遵照辦理。</p>
<p>三、 本案之試辦區有關東區地下街之物聯網測試，與三維地形圖之整合連貫性不強，應思考如何增強兩者間的關聯。</p>	<p>感謝委員指導，未來將補強兩者之關聯性，以提升三維地形圖發展。此外，基於這兩年試辦的經驗，由於完整應用所需之三維地形圖資與物聯網裝置難以實際建置，建議後續先以模擬方式探討三維地形圖與物聯網之整合應用，發掘未來可供推動的應用方向。</p>
<p>四、 本報告之結論一節，僅條列本案所完成之相關工作，是否能增加有關建議章節，補充測製心得、章節，補充測製心得、發展策略及實務作業建議等，使研究成果能與實務執行接軌。</p>	<p>已增加「建議」之內容於報告書第五章結論與建議中。</p>
陳委員杰宗	
<p>一、 本案累積多年研究，內容非常豐碩，由虛擬數位城市到三維地形圖，內容從抽象到具體十分完整，肯定團隊努力。</p>	<p>感謝委員指導與肯定。</p>

意見	意見回應
<p>二、 於期中報告時團隊曾整理各國發展三維地形圖資之經驗與策略，在期末報告受限篇幅未能完整交代稍嫌可惜，考量各國發展之經驗與策略可為政策推動之借鏡，建議將相關內容整理於附錄供各界參考。</p>	<p>已增加三維地形圖資之國際發展與探討於附錄 F。</p>
<p>三、 本報告中將三維地形圖視為二維地形圖延伸，但卻僅列出 5 項三維地形圖之類別，與目前二維地形圖分類架構有一定落差，是否更進一步說明三維地形圖是否僅需建置此 5 項內容即可或是有其他因素影響，應更進一步說明有關三維地形圖之定義及核心內容為何。</p>	<p>三維地形圖核心類別之選定，主要參考國外既有作法及 CityGML 所訂定之格式類別，同時也考量過去實作技術可行性及視覺美觀性，針對最重要也最具需求的類別訂定規範，其他圖層類別可於未來持續擴充。</p>
<p>四、 請團隊於報告中增加有關與未來三維地形圖資建置或發展之建議章節。</p>	<p>已增加「建議」之內容於報告書第五章結論與建議中。</p>
<p><u>曾委員詠宜</u></p>	
<p>一、 本案辦理期間適逢推動三維國家底圖政策，並已累積多年研究成果可視為推行政策的前驅研究，且報告結論與目前政策方向相符，可為將來推行政策之重要文件。</p>	<p>感謝委員指導與肯定。</p>
<p>二、 本報告書內容有讓人目不暇給之感，內容鋪陳安排上需再潤飾，以提高報告易讀性，以利於各界吸收了解，作為支持三維國家底圖政策之推廣文件。</p>	<p>感謝委員指導與肯定，並針對內容文句再潤飾。</p>

意見	意見回應
<p>三、 本報告書針對三維城市模型，以實體模型和三角網模型兩種類型比較，但兩者比較之立基點不同。實體模型以現有地形圖為基礎建置，而三角網模型則是由無到有產製；實體模型後續擴充應用性強、利於分析，而三角網模型視覺展示性佳且適合快速救災應變，顯見此兩種模型各有其適用場合及應用，請團隊進一步補充比較說明。</p>	<p>網格模型建置迅速，但沒有物件、屬性等概念，適用於模型展示、救災場景模擬、古蹟保存等。實體模型則有 LOD 層級概念，可依據需求建置對應層級之模型，適用於模型展示、物聯網應用、城市管理應用等。</p>
<p>四、 本案試辦作業結論為：以千分之一地形圖或臺灣通用電子地圖為基礎資料，兩者所建置之三維地形圖資品質差異不大。因本案以臺北市為試辦區域，該市千分之一地形圖資定期更新且品質良好，請團隊考量納入各縣市間千分之一地形圖之時間落差及品質等因素，進一步說明可能之影響。</p>	<p>已補充說明：本案僅能以臺北市為案例比較 1/1000 數值地形圖與通用版電子地圖之三維建模成果，因無法取得其他各縣市的資料，故未能進行其他縣市的比較。若 1/1000 數值地形圖與通用版電子地圖之間存在製圖時間差等因素，兩者的形變差異會更嚴重，此一因素必須納入考量。</p>
<p>五、 GML 為智慧城市之數據模型，其內涵以應用功能性為主，由 P71 所列之屬性表為例，相關屬性內容之範疇已超出傳統測繪內容，涵蓋土地利用、房屋功能性等跨領域屬性內容，未來應思考各領域屬性內容如何進一步整合。</p>	<p>感謝委員指導，未來將思考跨領域整合之問題。</p>
<p>劉委員正倫</p>	
<p>一、 P31，有關 Polyhedral 模型為本報告中第一次出現，請補充說明何 Polyhedral 模型；另外此段落提及針對影像特徵不足區域，透過輔助資料能快速建置出高架道路，請補充說明輔助資料為何。</p>	<p>更正 Polyhedral 為三維實體模型。本計畫所採用之試辦區航照影像，皆為標準航空攝影之垂直攝影影像，未來可考慮加入傾斜攝影資料等，以提升三維網格模型整體品質與建置效率。</p>

意見	意見回應
<p>二、 P50，請補充說明有關三維道路模型重建所使用的點雲的來源為何？於本報告所使用輔助重建模型之資料有：航照影像密匹配產生的點雲、空載光達點雲或移動式車載光達之點雲資料等，應敘明各類模型所需資料來源。</p>	<p>已補充說明：三維道路模型重建所使用的點雲的來源為空載光達網格化之數值地形模型及數值地表模型。</p>
<p>三、 P46，有關「影像分析」之步驟流程為：(1)計算房屋角點坐標及(2)感興趣區域，其中「感興趣區域」應為名詞，而非動作步驟，請再修正為動作步驟之敘述。</p>	<p>已修正。</p>
<p>四、 P54，有關「LOD1 模型重建的精進」，文中提及之「精進」是指提高自動化程度或是指利用高程模型配合 RANSAC 萃取最佳三維平面？應再進一步說明。</p>	<p>已補充說明：此處的「精進」是指自動化程度的提升，提升自動化程度的方法是，採用 RANSAC 萃取房屋多邊形內數值地表模型之最佳三維平面。</p>
<p>五、 P63，4.2.5 節及 4.2.6 節因與報告內容較無關，請再檢視是否有必要保留。</p>	<p>已刪除，並將申請圖資資訊於 4.1 節說明。</p>
<p>六、 P75，表 4-3-3-1 之建置成本分析比較表之既有資料加值中有關資料成本說明提到，需獨立航拍(或光達掃描)，既已從既有資料加值應無獨立航拍之需求，是否有其他因素，如時間落差、原有資料缺乏高程資訊等考量，應再詳加敘明。</p>	<p>該說明文字引用於 100 年度研發計畫內容，當時撰寫方式係考量同步辦理地形圖修測之方案，表格已依照委員意見，調整與簡報資料一致。</p>
<p>七、 有關 P75 及 P76 有關成本分析表請參考簡報的表示方式製表，以利閱讀。</p>	<p>感謝委員指導，遵照辦理。</p>
<p>八、 P77 中第一次提到「高精緻度道路模型」，請補充何謂「高精緻度道路模型」，需要何資料。</p>	<p>「高精緻度道路模型」為本研究計畫於 100 年度利用光達點雲搭配影像測量車，針對小區域試辦之細致道路模型，相關使用資料及數化內容詳如 P76 內文。</p>

意見	意見回應
蔡委員榮得	
<p>一、 期末報告中有關名詞定義部分請再斟酌，例如 3D Mesh Model 譯為「三維三角網模型」是否以三維網格模型為宜，Mesh Model 為以點、線、面構成之網線模型，不限為不規則三角網 (TIN) 形式，請再檢視相關內容將名詞統一。</p>	<p>已統一名稱，將「三維三角網模型」更正為「三維網格模型」。</p>
<p>二、 P78-P81 提及以臺北市數位航照資料產製全市三角網模型及密匹配點雲資料，因影像間相關性高且為垂直攝影航照影像，造成密匹配所產生的點雲易有匹配錯誤之情形，並因側邊資訊不足有破面情形，是否能補充說明可如何補充破面或改善空洞之情況。</p>	<p>現行技術而言，於高空拍攝之方案，可利用飛機裝載傾斜攝影像機系統進行大範圍拍攝，補足側面資訊及紋理，低空拍攝可使用無人機進行特定範圍小規模攝影。</p>
<p>三、 P145 中所列引用標準之項次 2 缺少該文件發布或撰寫單位之說明。</p>	<p>感謝委員指導，配合修正。</p>
<p>四、 本案之試辦區域亦有產製 3D Mesh Model，是否需於「附件 E、三維地形圖資測製技術指引(初稿)」補充有關 3D Mesh Model 之產製說明。</p>	<p>本案技術指引文件是基於 CityGML 定義之物件化模型，尚無包含 3D Mesh Model 之相關定義，目前 Esri 已逐漸發展 i3s 格式與 CityGML 互操作之格式轉換機制，未來或可持續探討。</p>
<p>五、 P166，請再檢視第 6.6 節提到之 MultiSurface 與 MultiSolid 此 2 名詞之翻譯是否適宜。</p>	<p>multi-surface 定義為三維曲面，為三維空間中一連續曲面；multi-solid 定義為三維實體模型，為具有實際體積之三維物件。</p>
本部國土測繪中心	

意見	意見回應
<p>一、 P. 31 提及「Polyhedral 模型因具有物件的概念，透過輔助資料則能快速建置出高架道路…」，是否可補充說明是採用何種輔助資料。</p>	<p>更正 Polyhedral 為三維實體模型。可參考 4.2.3 節三維道路模型重建的精進內容，主要以三維點雲之數值地形模型及數值地表模型進行路面擬合，快速建立出三維彩帶式道路模型。</p>
<p>二、 P. 35-36 說明「透過千分之一地形圖之道路輪廓線產生道路中心線幾何線形，建立各路段間之位相關係，完成道路模型，……，位相關係連接部分，將各路段道路中心線相互連接，並建立彼此間之位相關係，經數學模式平滑化保持高程、坡度與坡度差之連續性，完成路網建立，以描述道路位相關係。……」有關路網建立道路模型過程，未說明採用的高程資料及路面高程擬合流程，建議補充。</p>	<p>使用光達點雲之數值地形模型與數值地表模型進行路面擬合，建置 LOD1 三維彩帶式道路模型。在路面高程融合的部分，平面道路使用數值地表模型獲取高程建置道路模型，非平面道路則是使用數值地形模型。由於在立體交叉區域，平面道路及非平面道路(如高架道路)有不同的高程，分別使用 DTM 及 DSM 可避免道路高程錯誤的狀況。</p>
<p>三、 P. 49 第 2 段內容描述，改良版通用紋理，透過影像色群分析，以主色群涵蓋區域之 RGB，與紋理資料庫中所有紋理進行比對，挑選出 RGB 差值最小的紋理影像，作為通用紋理。其中有牆面結構物之區域，如圖 4-2 -3-13(g)，僅利用 RGB 比對，如何挑選(h)影像？有無其他輔助條件(如邊緣偵測比對)？若有輔助條件，請補充；如無輔助條件，請補充分析數據案例，以強化說明內容。</p>	<p>無其他輔助條件。現階段主要是每個牆面紋理資料，盡可能納入到紋理資料庫中供 RGB 比對。若紋理資料不足，只會根據現有的紋理資料庫進行匹配並選取 RGB 數值最接近的紋理圖。</p>

意見	意見回應
<p>四、 P. 50-51 提及三維道路模型重建的精進，利用道路 GIS 圖層、DSM、DEM，自動化產製 LOD1 三維彩帶式道路模型，有關道路模型重建的精進流程，相較於 P. 35-36 三維道路產製作業，差異為何？請補充說明「精進」作業之內容為何。</p>	<p>P. 35-36 及 P. 50-51 三維道路重建之差異為輸入的道路圖層格式差異，P. 35-36 使用 CAD 資料，故需要對道路邊界線進行多邊形封閉處理；而 P. 50-51 採用 GIS 的多邊形資料，不需要重複進行多邊形封閉處理。此處的「精進」是指自動化程度的提升。</p>
<p>五、 P. 51「道路重建先將道路區分為平面及非平面道路…並以三維點雲之數值地形模型及數值地表模型進行路面擬合…」，是否可說明一下此流程中還須人工介入之項目及程度為何。</p>	<p>此流程人工介入項目為程式的參數設定，需要人工指定平面(如圖層 Road)及非平面道路(如圖層 HRoad)圖層名稱；需要人工指定輸入資料數值地形模型及數值地表模型名稱。因製圖時，已要求平面、高架要分離，則只要指定檔名即可，若平面與非平面道路混在同一個圖層中，則必需要人工檢視及分離。</p>

意見	意見回應
<p>六、 P. 53-54</p> <p>(1) 圖 4-2-3-16(d)高架道路，道路路面之白色區域屬資料缺漏還是有特殊意義？</p> <p>(2)P. 53 最後一句「表 3-1 總整試辦區 1/1000 地形圖及通用版電子地圖對應三維地形圖模組」，表 3-1 應為表 4-2-2-3。</p> <p>(3) 有關「三、LOD1 模型重建的精進」此節報告內容主要為採用千分之一地形圖及通用電子地圖，產製建物及道路模型的比較，此分析比較如何輔助「模型重建的精進」，建議增加說明。</p> <p>(4)P. 54 表 4-2-2-3，三維地形圖模組如源於 CityGML，Relief 則為地形，waterbody 則包含湖泊、河流等，transportation 包含道路、鐵路、軌道等項。有關三維地形圖模組、1/1000 圖層與通用電子地圖之圖層，對應關係建議再確認。</p>	<p>(1)已確認，此白色區域是高架道路通連結平面道路之區域（如下圖所示），因未分類為高架道路，故為白色區域。</p>   <p>(2)已更正為表 4-2-2-3。</p> <p>(3)依原工作計畫之規劃及要求，「4.2.3 提升三維地形圖資核心類別測製效率或品質」工作之精進為自動化程序之提升。</p> <p>(4)有關三維地形圖模組、1/1000 圖層與通用電子地圖之對應關係是以實際獲取的資料進行對應。</p>
<p>七、 P. 75 表 4-3-3-1 房屋模型建置成本分析比較表，既有資料加值之資料成本說明：需獨立航拍(或光達掃描)、控制、空三平差(光達航帶平差)及建物異動修訂。如採用既有資料產製建物模型，為何需要再進行航拍及空三？</p>	<p>該說明文字引用於 100 年度研發計畫內容，當時撰寫方式係考量同步辦理地形圖修測之方案，表格已依照劉委員正倫意見，調整與簡報資料一致。</p>
<p>本部地政司</p>	

意見	意見回應
<p>一、 本案涵蓋精進三維地形圖資測製技術與研擬三維地形圖資測製技術指引等兩項主要工作，除達到減少人工介入並提高模型細緻程度外，亦進一步規畫三維地形資料庫策略，由三維空間資料收集之測製技術研發出發，初步整備未來 3D GIS 環境所需之後端資料儲存環境。</p>	<p>感謝提供寶貴意見與建議。</p>
<p>二、 本案所研發之三維地形圖資測製技術為由現有二維圖資擴充，如由臺灣通用電子地圖或一千分之一地形圖等圖資為基礎，額外補充高程資訊加值製成三維地形圖資，應可加速資料產製且為成本適宜之務實方案。</p>	<p>感謝提供寶貴意見與建議，本團隊未來將思考加快資料產製之方案。</p>
<p>三、 三維地形圖資之格式採用國際標準組織 OGC 訂定之 CityGML 格式，優點為國際共通開放，降低商業軟體授權限制，但較為缺乏成熟之系統平台，後續需開發或研擬後續資料格式之驗證、三維圖資存取及網路應用介面等相關 GIS 環境建立。</p>	<p>感謝提供寶貴意見與建議，本團隊未來將格式、平臺環境等問題納入考量。</p>
<p>四、 P35，建置 LOD2 房屋模型之工時引用 100 年度相關研究成果，每幅圖需花費 266.3 小時/人，經歷年研發提升自動化測製技術且已有試辦案例，請補充說明所研發之自動化測製技術能有效降低多少工時或簡化測製程序等成效。</p>	<p>本計畫工作項目以 LOD1 房屋模型為基礎進行調整與精進。前一年度提出之方法，則需相關單位討論與解決女兒牆高度差異。在維持精度的正確性與符合 LOD2 房屋模型等級之規範情況下，現階段仍以人工量測為主。</p>
<p>五、 P40，表 4-2-2-2，請補充說明該表列實體模型之來源資料是否僅有二維地形圖資，高程資訊該如何取得？</p>	<p>高程資訊依模型等級需求有所不同，LOD1 模型高程資訊來源為二維地形圖資中房屋樓層數（樓層數*3.3 公尺）；LOD2 模型高程資訊則以 LOD1 模型高程為基礎，配合多張空載航照影像，透過人工進行屋頂細部高度調整。</p>

意見	意見回應
<p>六、 P60，有關透過深度學習技術偵測路面標記提升道路模型之細緻程度，請補充說明偵測路面標記之程度為何？例如偵測幾何位置外，是否能進一步對路面標記分類。</p>	<p>深度學習演算法具備對路面標記分類之特性，但是在訓練時必須輸入路面標記的分類標籤，因本研究訓練區只有路面及路面標記兩類標籤，故未能對進一步對路面標記分類。另一方面，現有的路面標記分類標籤都是近景測量車影像，也無法應用在本研究的空載影像中。</p>
<p>七、 有關房屋屬性描述項目、表 4-3-2-1、表 4-3-2-2、表 4-3-2-3 及測製技術指引(初稿)等內各核心類別之屬性代碼為引用 OGC 之 CityGML 標準之附錄 C，此附錄為參考資訊，內容為 SIG3D 所提出之各類別屬性編碼，故建議在文中或表格抬頭敘明為相關國際組織所提出建議編碼；而國內目前於屬性內容或編碼等尚未討論定案，後續將考量國土資訊系統之基本地形分組內涵及應用目的研擬。並請補充倘三維地形圖資有跨領域應用需求是否以 CityGML Application Domain Extension (ADE) 擴充為宜？</p>	<p>已於文中補充說明。</p>
<p>八、 請檢視三維地形圖資測製技術指引(初稿)內之相關圖片是否為引用，如是請標註來源。</p>	<p>遵照辦理。</p>
<p>九、 P151 請於「6.2 房屋模型定義」一節補充說明高程的定義為何，是樓地板高、屋頂上最高點之高程或以樓層數對應轉換高程等。</p>	<p>補充說明於房屋屬性描述項目。</p>
<p>十、 「CityFurniture」翻譯成「城市家具」是否適宜？有關技術指引中的專有名詞翻譯請再檢視是否適宜？</p>	<p>CityFurniture 是指城市中的設備，中文名詞可再諮詢專家之建議。</p>

意見			意見回應
十一、P174 的檢核部分，請再清楚敘明抽樣計畫將採「單次抽樣」或是「雙次抽樣」，是否有參考之抽樣計畫表？抽樣計畫需於抽樣前即確定，使各抽樣批次皆以相同的 OC 曲線為依據？			檢核作業皆採「雙次抽樣」，允收水準百分比參考 ISO 抽樣計畫表擬定為 6.5，請參考 8.2。
十二、P145「四、引用標準」之項次 2 內容有誤，請修正為：Geonovum，2017，Version 2.1，A Technical Specifications Document for the Construction of 3D IMGeo-CityGML			遵照辦理。
十三、P175 有關 9.1 參考文獻之項次 9 至 10 請補充年份，並請修正排版的錯誤			遵照辦理。
十四、本報告中有關錯別漏字等，整理建議修正如下表，請再詳校：			已修正內容。
頁碼	原內容	建議修正	
P17-P18	每月「將」定期舉行工作會議，……，工作進度會議「記」錄，……。	1. 本報告為期末報告，應將 3.3 節內容敘述語氣修正為完成式。 2. 作為名詞時以「紀錄」為佳。	
P21	第一行，LOD2 房屋模型部「份」，……。	以部「分」為佳，請一併檢視全文修正。	
P49	使用 ArcGIS 產品 ISODATA 功能來分析影像色群分「佈」，……。	以分「布」為佳，請一併檢視全文修正。	
P53	「表 3-1」「總整」試辦區「1/1000 地形圖」及「通用版電子地圖」……。	應分別為「表 4-2-2-3」、「千分之一地形圖」、「臺灣通用電子地圖」，請檢視全文圖、表編號及名詞寫法是否一致正確。	

意見			意見回應
P65	本項工作將三維地形資料庫發展策略從四個方面進行探討，……。	P65-P75 僅有三個項次討論，是否修正為 3 個方面?或有遺漏未敘明之內容。	
P94-P95	本項工作將據此三類進行分析。(3)嵌入整合……。	序號誤為 3 至 5，請檢視修正為 1 至 3。	
P100	本團隊「將」定期召開工作會議「檢」，……。	1. 本報告為期末報告，應將 4.6 節內容敘述語氣修正為完成式。 2. 贅字。	

附件 B：期刊或研討會投稿全文或證明

MDPI Sensors

題目：An Automatic Embedded Device Registration Procedure based on the OGC SensorThings API.

11/7/2018

Gmail - [Sensors] Manuscript ID: sensors-394166 - Submission Received



Chih-Yuan Huang <alechuang192@gmail.com>

[Sensors] Manuscript ID: sensors-394166 - Submission Received

1 message

Editorial Office <sensors@mdpi.com>

Reply-To: sensors@mdpi.com

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

Cc: Chih-Yuan Huang <cyhuang@csrsr.ncu.edu.tw>, Hsin-Hsien Chen <s83527@g.ncu.edu.tw>

Wed, Nov 7, 2018 at 11:00 AM

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-394166
Type of manuscript: Article
Title: An Automatic Embedded Device Registration Procedure based on the OGC SensorThings API
Authors: Chih-Yuan Huang *, Hsin-Hsien Chen
Received: 7 November 2018
E-mails: cyhuang@csrsr.ncu.edu.tw, s83527@g.ncu.edu.tw
Submitted to section: Internet of Things,
http://www.mdpi.com/journal/sensors/sections/internet_of_things

You can follow progress of your manuscript at the following link (login required):
http://susy.mdpi.com/user/manuscripts/review_info/04af3ff0e7b126ab4a02969f8a77f0b2

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 <http://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 (<http://www.mdpi.com/journal/sensors/apc>). See <http://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 <http://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: <http://www.mdpi.com/authorsrights>).

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.

If you have any questions, please do not hesitate to contact the Sensors editorial office at sensors@mdpi.com

Kind regards,

Sensors Editorial Office
St. Alban-Anlage 66, 4052 Basel, Switzerland
E-Mail: sensors@mdpi.com
Tel. +41 61 683 77 34
Fax: +41 61 302 89 18

*** This is an automatically generated email ***

<https://mail.google.com/mail/u/0/?ik=743bb57c90&view=pt&search=all&permthid=thread-f%3A1616446244101460406&siml=msg-f%3A1616446244101460...> 1/1

ISRS 2018

題目：Integrating parametric and mesh models for complicated building structures

INTEGRATING PARAMETRIC AND MESH MODELS FOR COMPLICATED BUILDING STRUCTURES

Yu-Wei Lin¹ Fuan Tsai^{1,2}

¹ Department of Civil Engineering, National Central University, Taiwan,
No.300, Zhongda Rd., Zhongli Dist., Taoyuan City 320, Taiwan, mary04270827@gmail.com

² Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University, Taiwan,
No.300, Zhongda Rd., Zhongli Dist., Taoyuan City 320, Taiwan, ftai@csrnr.ncu.edu.tw

ABSTRACT ... There are several representations commonly used for building models such as wire frame, parametric, mesh models, and so on. This research proposes a two-step, coarse-to-fine strategy to create three-dimensional models of complicated architectural structures or archeological sites based on point clouds data. The proposed approach creates a sparse model first and then the fine geometric details will be added gradually. In this study, digital single-lens reflex (DSLR) camera is used to collect the original image data of targets. Then, 3D point clouds are generated from these images using Structure from Motion (SfM) algorithms. Parameters for constructing parametric models are identified from the point clouds. Moreover, Poisson surface reconstruction is carried out to generate mesh models. The integration of parametric and mesh models is the major subsequent task in this research, which includes three steps. Firstly, detect boundary points for connecting parameter models and mesh models. Next, generate a new junction on the pre-integrated surfaces of the parametric models. Finally, a new mesh model is generated in the pre-integrated space. The result demonstrates a hybrid model of complicated buildings with different Levels of Details (LOD).

KEY WORDS: Model Reconstruction, Parametric Model, Mesh Model, Level of Detail

1. INTRODUCTION

1.1 Background

Nowadays, many cultural heritage applications require 3D reconstruction of real-world objects. Over the past few years, it has become increasingly popular to use 3D digitization and modeling for this purpose. Boundary representation, Constructive Solid Geometry (CSG) and spatial enumeration (Brenner, 2005) all described the geometry of a reconstructed 3D model. The visualization of boundary representation model works faster than spatial enumeration model. Moreover, CSG model is difficult to present complex buildings because of the fewer requirements of parameters than boundary representation model (Pu et al., 2009).

Parametric and mesh models are two different but common boundary representations of structure reconstruction. Parametric model is usually used to describe the simple building types, such as plane, sphere, cylinder, and so on. Mesh model is composed by triangles that are performed to recover complex objects from parts in detail. By increasing point clouds density, complicated surfaces can be modelled as well. Thus, mesh model is often used for cultural heritage sites preservation, such as the Etruscan necropolis of Tarquinia in Italy (Remondino et al., 2010). Nevertheless, it may lead to a large amount of data storage when reconstructing the entire structure with mesh models and are also challenging to establish the properties for each structure. The comparison of the two models is summarized in Table 1.

Table 1. Characteristics of parametric model and mesh model.

	Parametric model	Mesh model
Pros	<ul style="list-style-type: none"> • Lower data storage because of representing the simple geometric features • Object-based model 	<ul style="list-style-type: none"> • Representing the complex surface well
Cons	<ul style="list-style-type: none"> • Can not represent the complex surface very well 	<ul style="list-style-type: none"> • Larger data storage • Non-object-based model

1.2 Objectives

This research proposes a two-step, coarse-to-fine strategy to create 3D models of complicated buildings with point clouds data. Firstly, a basic model based on the object's parameters or elements will be constructed and presented as a bare-bones model. Secondly, fine geometric details that presented as mesh models will be added gradually. Therefore, the main objective is to consider the approximate skeleton of the building objects as well as retaining the detailed characteristics to increase the levels of detail.

This paper is structured as follow: Section 2 explains the geometric feature extraction as well as a new standard of LODs for hybrid model which is developed by discrete degree complexity. Most important of all, coarse-to-fine model integration are elaborated. Our approach has been

IGRSM 2018

題目：The extraction of urban road inventory from mobile lidar

IGRSM 2018 IOP Publishing
IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 169 (2018) 012022 doi:10.1088/1755-1315/169/1/012022

The extraction of urban road inventory from mobile lidar system

Tee-Ann Teo

Department of Civil Engineering, National Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan 30010

tateo@mail.nctu.edu.tw


Abstract. Road inventory is an important infrastructure for the intelligent transportation system. The mobile mapping system is an advanced technology to collect high-quality road data efficiently. The objective of this research is to present a procedure to extract the road inventory using the mobile mapping system. The major works of this study include data preprocessing and feature extraction. Data preprocessing is used to improve the accuracy of trajectory using co-registration and 3D similarity transformation. Feature extraction comprises road point selection, road mark extraction, and object measurement. The test data was acquired by Optech Lynx system. The experimental results show the potential for using a lidar-based mobile mapping system in road inventory extraction. The experimental results indicate that the registration error can be reduced to 5cm after co-registration. The automatic filtering is able to select ground point efficiently. Moreover, the mobile lidar system is capable of creating a 3D road inventor wherein the root-mean-square-error of road mark is greater than 20cm. The digitized road marks and road objects can be integrated with geospatial data for analysis and 3D visualization.

1. Introduction

The three-dimensional road model is one of the important infrastructures for Intelligent Transportation Systems (ITSs) and Geospatial Information Systems (GISs). The applications of this road model include transportation management, maintenance, planning, analysis, navigation, etc. Traditionally, collecting road inventory is a labor-intensive process, as it requires on-site surveying, e.g. traverse surveying and leveling surveying. Hence, the development of highly efficient road inventory collection is important for transportation management [1].

Road inventory [2, 3] includes geometric properties and attributes. Geometric property depicts the length, width, lane, direction, surface, road objects (e.g. traffic light, light pole), etc. It requires precise measurements to obtain reliable measurement data. Attribute property is the description of the road; for example, the road name, the road material, the road type, and the road status (e.g., public or privately-owned road). This type of property usually needs field work to obtain the semantic information.

Remote sensing is a useful technology to acquire land cover data efficiently. The platforms of remote sensing can be a space-borne, air-borne, or terrestrial sensor. The increase of platform altitude will reduce the spatial resolution. Therefore, airborne and terrestrial sensors are often applied in road network data acquisition. The active Light Detection and Ranging (LIDAR) and passive optical sensor are the two common sensors in road network data acquisition. The lidar system provides 3D point

 Content from this work may be used under the terms of the Creative Commons Attribution 3.0 licence. Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal citation and DOI.
Published under licence by IOP Publishing Ltd

以線散函數衍生特徵評估影像模糊度—應用於 UAV 影像篩選

張智安^{1*} 溫張雲晟²

摘要

無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)影像具備高解析及高重疊率等優勢,但輕巧的 UAV 載具容易受強風與紊流影響,載具的不穩定可能導致模糊影像的問題。傳統上影像品質指標可使用大型地面人工標計算點散函數(Point Spread Function, PSF)而得,本技術短文透過影像中人工構造物的線型特徵自動化評估線散函數(Line Spread Function, LSF),首先使用直線段偵測(Line Segment Detector, LSD)演算法偵測影像中所有的直線段,其中階梯線(Step Edge)存在影像品質退化的趨勢,可應用於線散函數之評估。研究中以灰度值差條件篩選合格線,利用其邊緣散函數(Edge Spread Function, ESF)求得線散函數。最後藉由線散函數衍生特徵,由合格段之線散函數特徵擬合特徵橢圓,其特徵橢圓大小及長短軸比例可反映影像品質。研究資料為 UAV 影像及手持式 GoPro Hero4 序列影像,使用線散函數衍生特徵進行模糊影像分類實驗。本研究提出自動化評估影像品質的方法,並可進一步分類模糊影像,UAV 影像及手持式影像之整體分類精度分別達 88.9%及 90%,驗證由線型特徵評估影像品質之可行性。

關鍵詞：無人飛行載具、線散函數、線型特徵

1. 前言

1.1 研究背景

無人飛行載具具有高機動性、低成本、資料獲取快速及提升高空間解析度影像等特性,隨著電腦視覺應用領域的發展,空拍 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)影像可使用自動化匹配方法提升資料處理效率,從 UAV 影像產製密集三維點雲。相較於傳統航空攝影測量,通常 UAV 所搭載的相機多為小像幅相機,故 UAV 作業需要拍攝大量的影像以涵蓋地面範圍,因此,從大量 UAV 影像中自動化評估影像品質為一重要的研究工作。

在攝影測量中,影像品質是影響產品精度的原因之一。比較 UAV 及傳統航空攝影測量,傳統的航空攝影測量由於載具穩定度高,且在拍攝影像時常配有前移補償(Forward Motion Compensation,

FMC)裝置,該裝置補償快門開啟及飛機移動所造成的移動模糊(Motion Blur)。UAV 由於載具輕巧,容易受側風、亂流等外部環境因素影響,導致載具穩定度低,並造成影像動態模糊,且因為載具酬載限制,無法安裝前移補償裝置,旋翼型 UAV 通常以穩定器(Stabilizer)或雲台(Gimbal)等輔助工具,或相機內建的防手震功能,降低震動造成的模糊效應,但在實務作仍有機會造成模糊影像的問題,Sieberth *et al.*, (2014)指出 UAV 影像品質為攝影測量作業的重要因子,若採用模糊影像作為攝影測量的輸入影像,其產品精度將會降低,因此偵測及排除影像品質不佳的 UAV 影像,有助提升 UAV 攝影測量之產品精度。

1.2 研究動機

調制轉換函數(Modulation Transfer Function, MTF)為目前泛用的影像解析力評估指標,常用於

¹國立交通大學土木工程學系 教授
²國立交通大學土木工程學系 碩士
 *通訊作者, E-mail: tateo@mail.nctu.edu.tw

收到日期: 民國 107 年 06 月 04 日
 修改日期: 民國 107 年 06 月 13 日
 接受日期: 民國 107 年 06 月 15 日

附件 C：工作會議紀錄與簽到單

107 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：107 年 04 月 02 日 10:00
- 地點：國立中央大學太空及遙測研究中心 R2-221
- 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、賴哲儂、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
- 議題：
 - 一、 試辦區選定
 - 二、 工作項目內容確認與工作分配
 - 三、 第一期成果繳交項目與時程
- 結論：
 - 一、 試辦區選定：

考量到資料獲取與圖資更新程度，以臺北市為試辦區為首選。暫定臺北市小巨蛋與松山文創園區附近區域為試辦地點，之後將與相關單位確認圖資取得流程與可行性。
 - 二、 工作項目內容確認與工作分配：
 1. 研擬並精進三維地形圖資測製技術
 - (1) 三維地形圖資測製文獻蒐集與分析(張智安老師團隊)
 - (2) 研擬三維地形圖資核心類別測製技術(蔡富安老師團隊)
 - (3) 提升三維地形圖資核心類別測製效率或品質(蔡富安老師團隊)

- (4) 增加三維地形圖資尺度資訊(蔡富安老師團隊)
 - (5) 整合前三項技術試辦三維地形圖資測製(蔡富安老師團隊)
 - (6) 配合內政部辦理 106 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(全體團隊)
2. 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
 - (1) 研擬三維地形圖測製及檢核作業技術文件指引(張智安老師團隊與台灣世曦團隊)
 - (2) 規劃三維地形資料庫發展策略(張智安老師團隊與黃智遠老師團隊)
 - (3) 三維地形圖資測製技術成本與分析(台灣世曦團隊)
 - (4) 三維地形圖資測製待克服之問題討論(張智安老師團隊)
 3. 研發三維地形圖資與物聯網之整合及應用
 - (1) 物聯網標準之開發與介接技術(黃智遠老師團隊)
 - (2) 開放式物聯網基礎建設之技術發展(黃智遠老師團隊)
 - (3) 發展三維室內外模型與物聯網標準之整合平台(黃智遠老師團隊與蔡富安老師團隊)

三、 第一期成果繳交項目與時程：

1. 於 4/20(五)前完成工作計畫書初稿彙整及提供個人同意書與合作同意書。
2. 須於 4/27(五)前將工作計畫書送至內政部。

● 散會 (12:00)

內政部 「107 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		107 年 04 月 02 日 上午 10:00	
會議地點		中央大學太遙中心 GCL 實驗室	
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	賴哲儂	賴哲儂
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

107 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：107 年 05 月 03 日 13:00
- 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

李姝儀

國立中央大學太空及遙測研究中心

蔡富安、黃智遠、賴哲儂、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

- 議題：

- 一、 試辦區選定
- 二、 期中預期進度確認
- 三、 其他議題

- 結論：

- 一、 試辦區選定：

確定試辦區域位為小巨蛋至忠孝敦化站之間，面積約 110 公頃。並與相關單位申請圖資以利後續作業

- 二、 期中預期進度確認：

1. 研擬並精進三維地形圖資測製技術

(1) 研擬三維地形圖資核心類別測製技術，並分析此兩種模型之優缺點、適用範疇與發展潛力

(2) 蒐集國內外三維地形圖資測製文獻

- (3) 三維彩帶式道路模型形塑
 - (4) 改良牆面通用紋理產製
 - 2. 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
 - (1) 蒐集三維地形圖測製及檢核作業技術文件資料
 - 3. 研發三維地形圖資與物聯網之整合及應用
 - (1) 開發 OGC SensorThings API 網路服務第二版實作雛形
 - (2) 提出基於 OGC SensorThings API 標準之閘道器層與裝置層通訊協定
 - 4. 成果發表
 - (1) 投稿國內外期刊或研討會論文文稿 1 篇
- 三、 其他議題：
- 1. 加強三維地形圖資測製技術指引的部分，針對地形圖資內容、CITYGML 規範等，進行檢視與討論
- 散會 (15:00)

內政部 「107 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		107 年 05 月 03 日 下午 1:00	
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	李姝儀	李姝儀
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	賴哲儂	賴哲儂
05	國立中央大學	劉育青	劉育青
06	國立中央大學	楊清松	楊清松
07	國立交通大學	張智安	張智安
08	台灣世曦	仝宜中	仝宜中

107 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：107 年 06 月 14 日 13:00

● 地點：國立中央大學太空及遙測研究中心 R2-221

● 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、賴哲儂、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

● 議題：

一、 期中進度確認

二、 其他議題

● 結論：

一、 試辦區進度：

圖資申請完成、試辦區 LOD1 房屋模型建置完成、近景影像拍攝中、
LOD2 房屋模型建置中。

二、 期中進度確認：

1. 研擬並精進三維地形圖資測製技術

1. 蒐集各國三維地形圖技術文件，包含新加坡 3D National Map、
香港 3D Spatial Data、瑞士的 swissTLM3D、荷蘭的 IMGeo 技術
文件

2. 建置試辦區三維三角網模型

3. 以三維實體模型建置三維地形圖資核心類別之技術，包含 LOD1
房屋模型、LOD2 房屋模型、彩帶式三維道路模型

4. 分析三角網模型與實體模型優缺點、適用範疇與發展潛力
5. 提升模型之建置成果品質，提出改良版通用紋理流程圖，期中之前部分研究成果
6. 三維道路模型重建之自動化程度提升，將道路多邊形節點分解為二維平面三角網，以三維點雲之數值地形模型及數值地表模型進行路面擬合，以建立三維彩帶式道路模型

2. 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

提出房屋類別各式加值方案，蒐集三維地形圖測製及檢核作業技術文件資料

3. 研發三維地形圖資與物聯網之整合及應用

1. 開發 OGC SensorThings API 網路服務第二版實作之雛形
2. 已測試三種物聯網裝置之致動能力，包含智慧燈泡、智慧插座、及網路攝影機
3. 探討 OGC SensorThings API 標準與閘道器層及裝置層之通訊協定，有效串接組合完整的物聯網基礎建設

4. 成果發表

1. 投稿 ISRS2018 研討會一篇

三、 其他議題：

無

- 散會 (15:00)

內政部 「107 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		107 年 06 月 14 日 下午 1:00	
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	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	賴哲儂	賴哲儂
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

107 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：107 年 07 月 30 日 09:00

● 地點：臺大醫院國際會議中心

● 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

國立交通大學土木工程學系 張智安

台灣世曦 全宜中

● 議題：

主題簡報

● 結論：

一、 主題簡報

簡報時間為 09:30~12:40，共分成兩場次，四個議題進行簡報。

主題：三維地形圖資技術發展與物聯網整合應用

場次一：鑑於三維數位城市及物聯網的推動已是各國產業政策目標以及主要科技發展趨勢。

1. 從地形到三維數位城市-蔡富安主任

2. 三維地形圖與物聯網技術之整合架構及應用案-黃智遠助理教授

場次二：各國對三維的發展，基於國家的需求不同，國際間有不同的切入點，雖然切入點不同，但從二維空間資料(及分析)到三維空間資料(及分析)的擴充(或發展)是一致。本次主題為針對國際發展三維地形圖進行探討，並分享三維地形圖產製經驗。

3. 三維地形圖資之國際發展與探討-張智安教授

4. 三維地形圖試辦產製經驗分享-全宜中工程師

● 散會 (15:00)

內政部 「107 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		107 年 07 月 30 日 上午 9:00	
會議地點		臺大醫院國際會議中心	
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	國立交通大學	張智安	張智安
06	台灣世曦	仝宜中	仝宜中

107 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：107 年 08 月 27 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：

國立中央大學太空及遙測研究中心 蔡富安、劉育青、楊清松、江曜新

國立交通大學土木工程學系 張智安

台灣世曦 仝宜中

● 議題：

一、 進度說明

二、 其他議題

● 結論：

一、 試辦區進度：

完成試辦區近景影像拍攝、LOD2 房屋模型建模，後續開始進行牆面紋理敷貼。

二、 進度說明：

1. 研擬並精進三維地形圖資測製技術

(1) 擴增三維地形圖資尺度資訊

a. 以道路標記提升道路模型之細緻度

b. 以深度學習自動化辨識道路區域(roadregion)及道路標記(road mark)

c. 展示各訓練資料成果與失敗案例分析

d. 提出改進策略與後處理方式

(2) 透過影像與點雲資訊等輔助資料，增加模型之尺度資訊

- a. 分析點雲或網格模型資訊
- b. 程式提升 LOD1 模型細緻度
- (3)提升房屋紋理細節
 - a. 處理模型牆面影像和牆面影像分析
- 2. 研發三維地形圖資與物聯網之整合及應用
 - (1)開放式物聯網基礎建設之技術發展
 - (2)OGC SensorThings API 與 oneM2M 標準整合
 - (3)試辦三維室內外模型與物聯網標準整合應用-感測器穩定度測試
 - (4)模擬整合應用-室內火災逃生路徑規劃應用
- 三、 其他議題：
 - 無
 - 散會（12:30）

內政部 「107 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		107 年 08 月 27 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	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	國立交通大學	張智安	張智安
05	台灣世曦	仝宜中	仝宜中

107 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：107 年 09 月 28 日 13:00
- 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	李姝儀
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

- 議題：

- 一、 進度說明
- 二、 其他議題

- 結論：

- 一、 試辦區進度：

LOD2 房屋模型牆面紋理敷貼進行中，目前約完成 50%。

- 二、 進度說明：

1. 研擬並精進三維地形圖資測製技術

- (1) 擴增三維地形圖資尺度資訊

- a. 三維地形圖的地物類別探討
- b. 三維化二維地形圖實作

- (2) 透過影像與點雲資訊等輔助資料，增加模型之尺度資訊

- a. 半自動與手動提升房屋突出物細緻度

- (3) 提升房屋紋理細節

a. 處理模型牆面影像和牆面影像分析

2. 研發三維地形圖資與物聯網之整合及應用

(1) 東區地下街感測器佈建

(2) 數據蒐集與資料觀測

3. 三維地形圖資工作之測製規範

(1) 房屋、道路相關規範報告

三、 其他議題：

無

● 散會 (14:30)

內政部 「107 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		107 年 09 月 28 日 下午 1:00	
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	李姝儀	李姝儀
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

107 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：107 年 10 月 26 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	李姝儀
國立中央大學太空及遙測研究中心	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

- 議題：

- 一、 進度說明
- 二、 其他議題

- 結論：

- 一、 試辦區進度：

LOD2 房屋模型牆面紋理敷貼進行中，目前約完成 95%。此外，真實正射影像轉檔處理中，約一周內完成。

- 二、 各工作進度說明

1. 研擬並精進三維地形圖資測製技術

- (1) 提升三維地形圖資核心類別測製效率或品質

- a. 提升房屋紋理細節：精進並增加紋理資料庫所需影像
- b. 三維道路模型重建的精進：實作案例-光達點雲三維(中、大比例地形圖)形塑與成果套疊與運算數據說明

- (2) 增加三維地形圖資尺度資訊

- a. 房屋騎樓之半自動化建置程度：建置成果案例說明

- b. 路面標線深度學習：實驗成果案例說明，包含偵測道路標記、精化道路標記區域、精化道路標記區域、道路標記精度分析
- 2. 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
 - (1) 研擬三維地形圖測製及檢核作業技術文件指引
 - a. 技術文件內容說明：道路、水體等
 - (2) 規劃三維地形資料庫發展策略
 - a. 分析三維地形資料庫之需求：資料匯入需求、空間資料庫需求、資料匯出需求
 - 3. 研發三維地形圖資與物聯網之整合及應用
 - (1) 東區地下街模型建置與展示平臺建置
 - (2) 數據蒐集與分析
- 三、 其他議題
- 無
- 散會（15:00）

內政部 「107 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		107 年 10 月 26 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	李姝儀	李姝儀
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	國立交通大學	張智安	張智安
06	台灣世曦	仝宜中	仝宜中

附件 D：申請三維地形圖資測製所需之相關文件

檔 號：
保存年限：

國立中央大學 函

地址：32001桃園市中壢區中大路300號
承辦人：劉育青
電話：(03)4227151分機57695
電子信箱：liuyuching0402@gmail.com

受文者：如正副本

發文日期：中華民國107年5月17日
發文字號：中大通室字第1076000153號
類別：普通件
密等及解密條件或保密期限：
附件：如文

主旨：本校太空及遙測研究中心蔡富安教授執行「107年度三維地形圖資技術發展工作案」（案號：107SU0217），其中需針對選定之試辦場域進行試辦作業，所需圖資依「臺北市地形圖數值圖檔申請使用及收費辦法」填具府外單位申請表如附件，請惠予提供相關資料，以利計畫執行為感。

說明：

- 一、旨案進行試辦作業所需資料、資源如下：
 - (一)試辦地點：臺北市小巨蛋與其附近區域為試辦區域，涵蓋範圍北以南京東路四段、南以忠孝東路四段、東以光復南路與光復北路、西以敦化北路與敦化南路為界。
 - (二)需求資料：數值地形圖(1/1000)、正射影像(TWD97坐標)、原始航照影像(TWD97坐標)、數值地形模型(包含數值高程模型與數值地表模型)，圖幅編號為N4344 ~ N4346、N4444 ~ N4446。
- 二、旨案之工作項目為「試辦區選定與建置」，工作內容為建置試辦區LOD 1房屋模型、面臨道路20公尺以上房屋建置LOD 2房屋模型並數貼紋理。
- 三、本案依據「臺北市地形圖數值圖檔申請使用及收費辦法」第六條針對第二類申請人之平等互惠原則規定，依使用圖資產製之相關成果無償回饋貴局使用。
- 四、本案產製成果：(1)試辦區LOD 1房屋模型(KMZ格式)，(2)試辦區內面臨道路20公尺以上房屋建置LOD 2房屋模型並數貼紋理，其餘房屋則維持LOD 1房屋模型(KMZ格式)。
- 五、旨案期程為107年 3 月 31 日至107年 11 月 16日，互惠之檔案於計畫期程結束前回饋於貴局。
- 六、本案聯絡人：劉育青先生，聯絡電話：03-422-7151轉57695(E-mail:liuyuching0402@gmail.com)。

臺北市政府都市發展局 數值圖檔 府外單位申請表

年 月 日

申請單位	國立中央大學		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	03-4227151 分機57695				
	地址	3 2 0 0 0 桃園市中壢區中大路300號太空及遙測研究中心				
	電子信箱	liuyuching0402@gmail.com				
用途(業務性質/研究計畫)	辦理內政部「107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 checked="" 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)： N4344-N4346、N4444-N4446 <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)： N4344-N4346、N4444-N4446 <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：三維地形圖資測製技術指引(初稿)

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，以及其坐標系統及單位
- 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。此外，隧道(Tunnel)及橋樑(Bridge)兩類模型在 CityGML 的定義中，有別於交通類別(Transportation)，各自為獨立的模型分類，本技術指引於道路模型定義中未包含在內。

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. Geonovum, 2017, Version2.1.0, Technical Specifications for the Construction of 3DIMGeo-CityGML.
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布特性之地理資料，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

英文名稱	中文名稱	定義	參考來源
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
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 是以多邊型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 的既有多邊型，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 三維地形圖內容分類

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分。在地表表面部分，每個多邊型都有自己的 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)的形式表現；地上或地下表面部分，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 中表現的核心類別表列如表 6.1-1。

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。

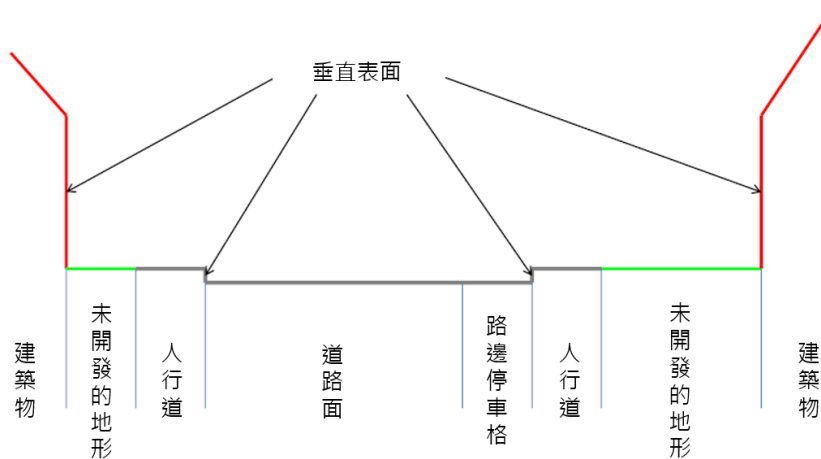


圖 6.1-1、各類型物件相鄰垂直表面示意圖(Geonovum, 2017)

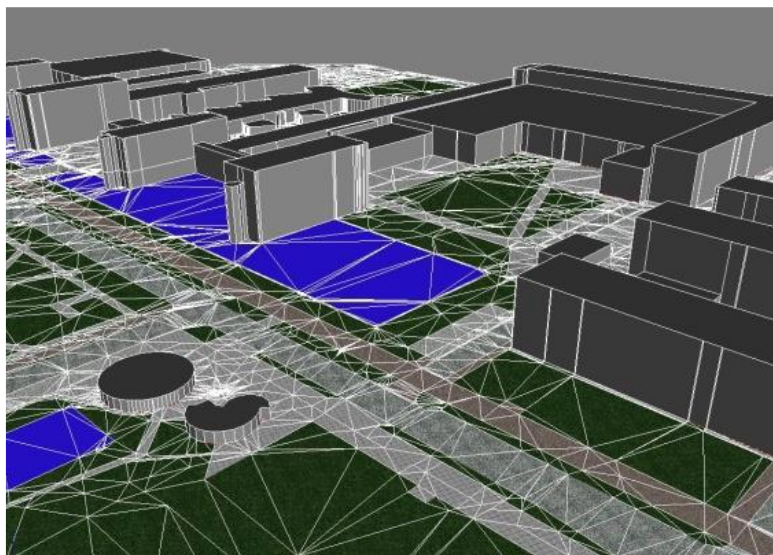


圖 6.1-2、三角網地形表面結合 LOD1 建物模型(Geonovum, 2017)

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，如圖 6.1-3(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，如圖 6.1-3(c)、圖 6.1-3(d)。

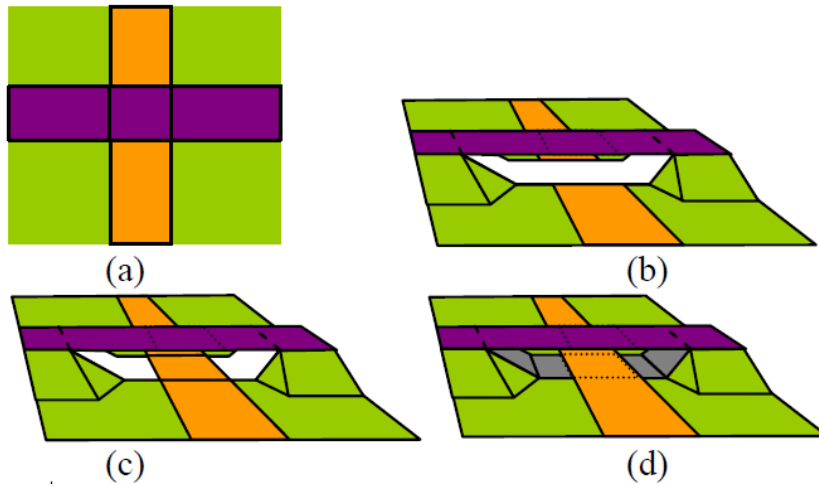


圖 6.1-3、地上或地下 LOD0 示意圖(Geonovum, 2017)

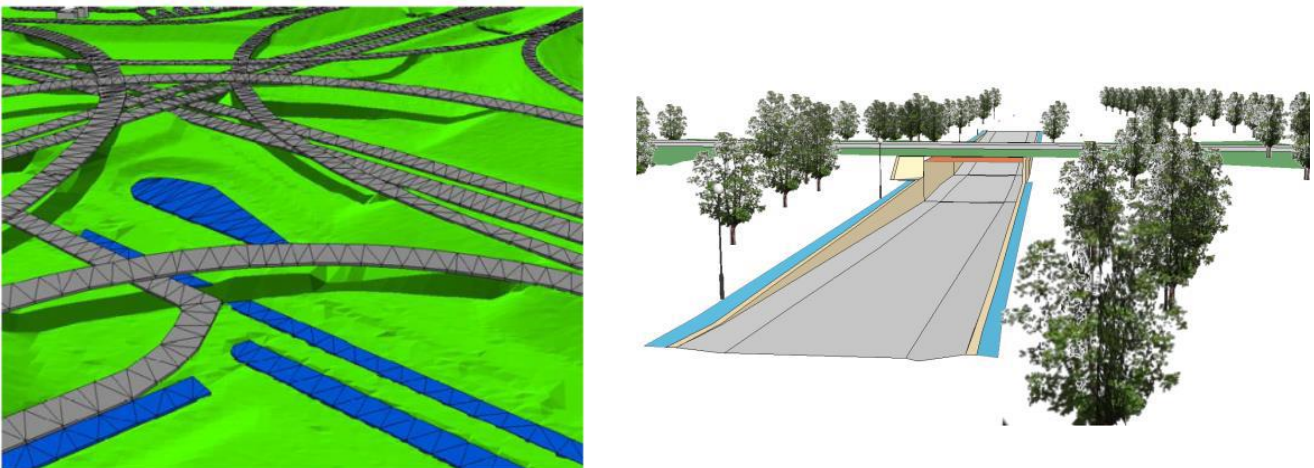


圖 6.1-4、LOD0 立體交叉示意圖(Geonovum, 2017)

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(台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(台灣常見的有電梯間、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(OGC, 2012)

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，空間資料則又分成幾何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三類：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分如圖 6.2-2，其垂直投影後之二維向量圖應與地形圖之房屋向量圖相同。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。屋頂具有女兒牆之房屋，可將牆面延伸至女兒牆頂。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。

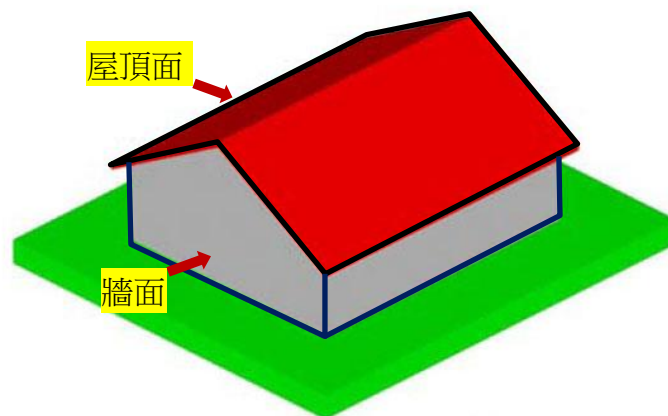


圖 6.2-2、房屋屋頂面及牆面特徵(OGC, 2012)

● 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，並敷貼仿真紋理影像、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，其他選項描述可參考 CityGML 標準。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（圖 6.2-3）。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（圖 6.2-4 及 6.2-5），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。

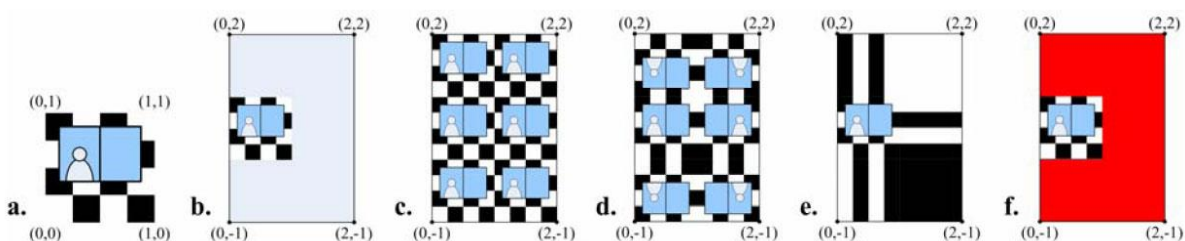


圖 6.2-3、小區塊影像或近似紋理影像敷貼方式(OGC, 2012)

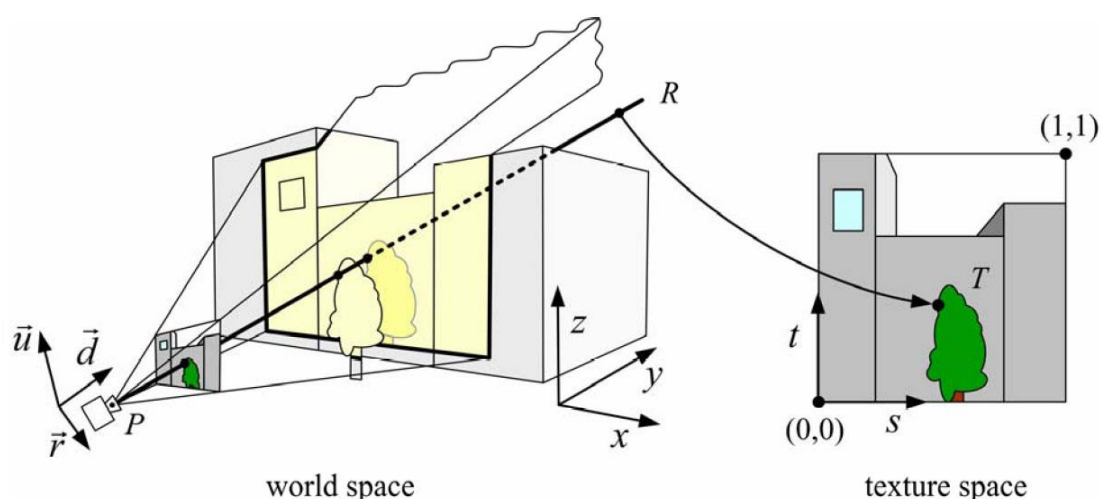


圖 6.2-4、以實景拍攝之牆面影像敷貼(OGC, 2012)



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 (OGC, 2012)

● 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，以便未來增值應用。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。其中，房屋高度係以樓層數對應轉換計算而得。

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

編號	代碼	定義
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。

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

編號	代碼	定義
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

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 及 LOD2 房屋模型等級，亦即應用本技術指引可選擇建置 LOD1 或 LOD2 房屋模型資料，或者同時建置 LOD1 及 LOD2 房屋模型資料。

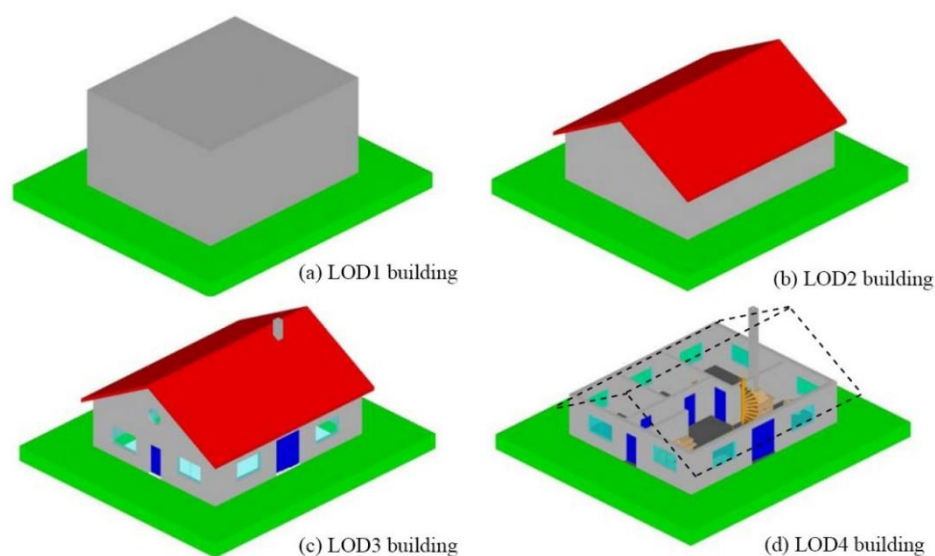


圖 6.2-6、LOD1、LOD2、LOD3 及 LOD4 四個房屋模型細緻度等級

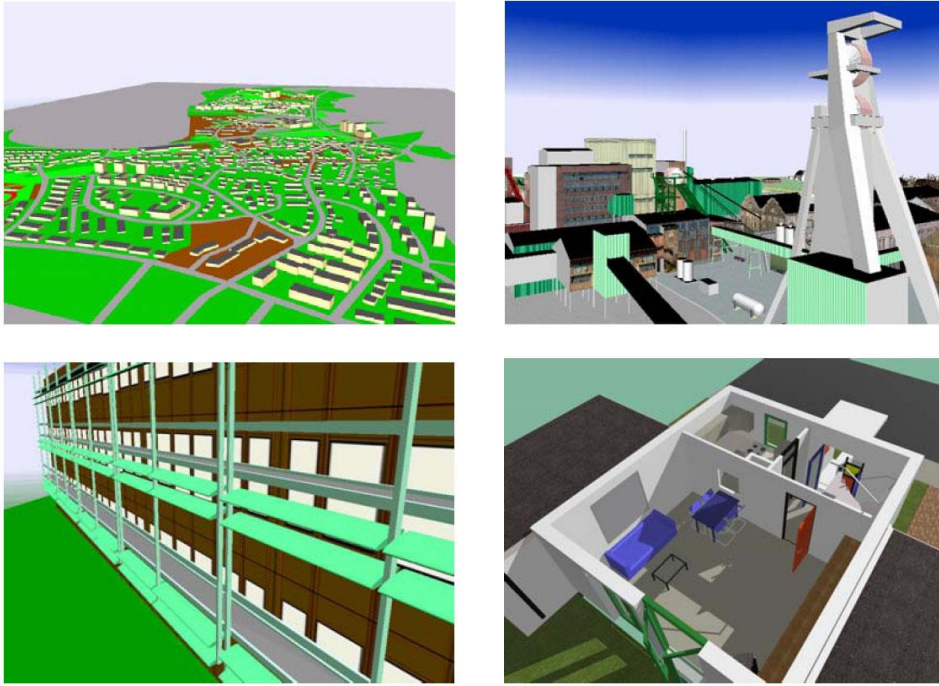


圖 6.2-7、LOD1、LOD2、LOD3 及 LOD4 四個等級房屋模型範例(OGC, 2012)

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依測製方式另行訂定。

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 LOD1 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(OGC, 2012)

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.	1040	道路交通	9420000

編號	代碼	定義	地形分類架構編碼
5.	1050	空中交通	9450000
6.	1060	鐵路交通	9410000
7.	1070	水路	9460000
8.	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，如圖 6.3-2。

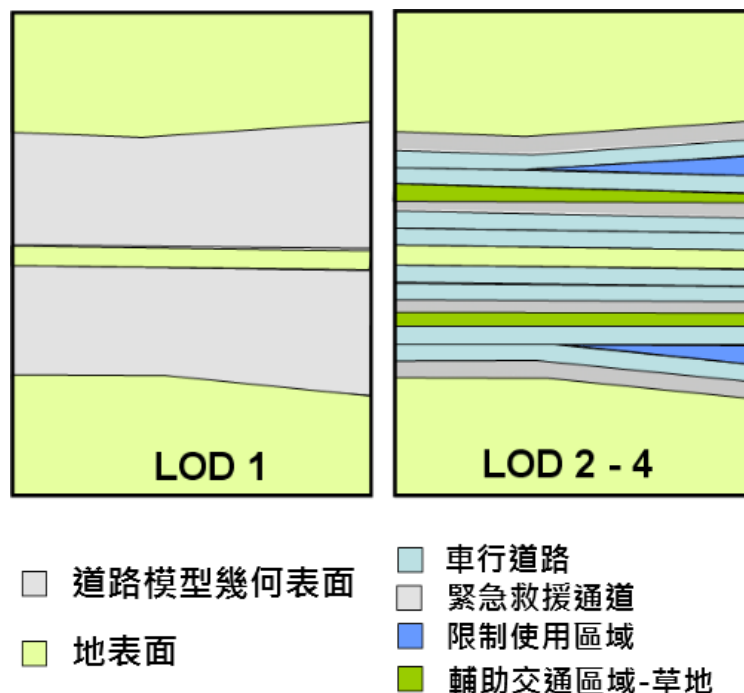


圖 6.3-2、CityGML 三維道路模型細緻度分級(OGC, 2012)

LOD1 三維彩帶式道路模型可整合 LOD0 三維道路中心線模型及各式觀測資料進行重建，其中 LOD0 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。

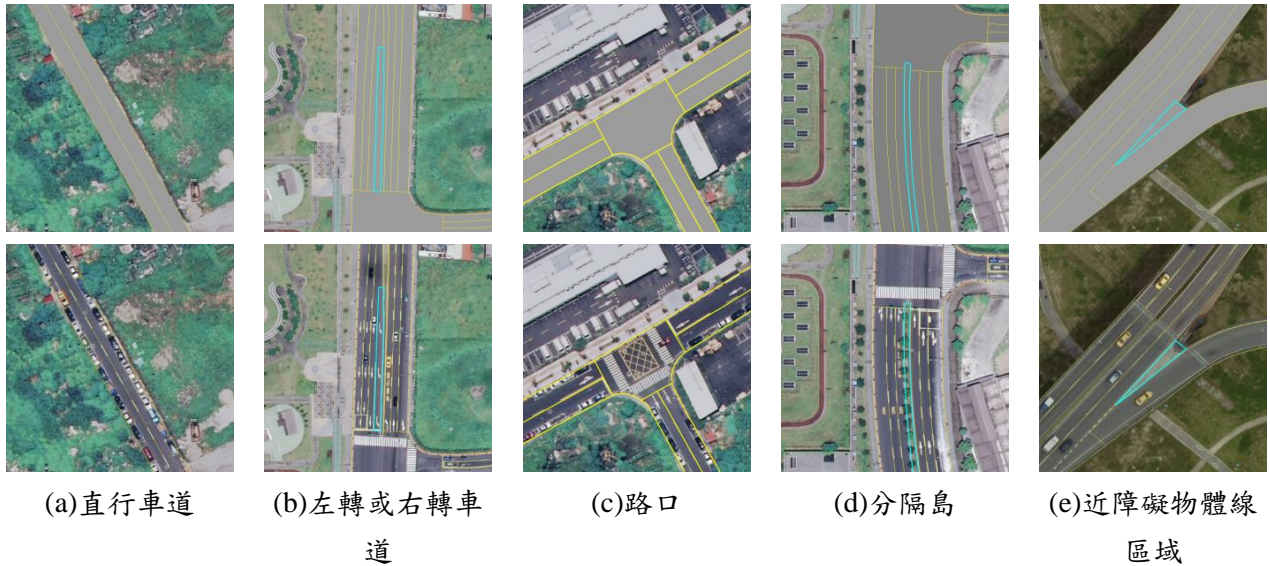


圖 6.3-3、交通區域類別



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 LOD2-4 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。

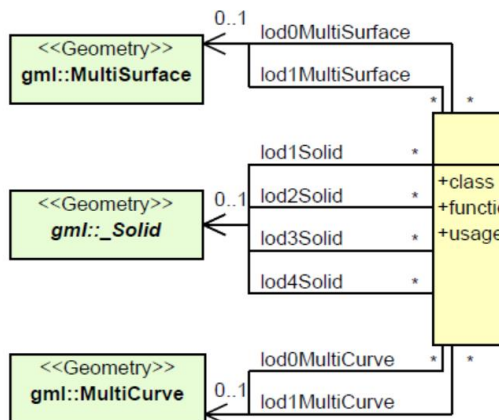


圖 6.4-1、CityGML 水體模型分類架構(OGC, 2012)

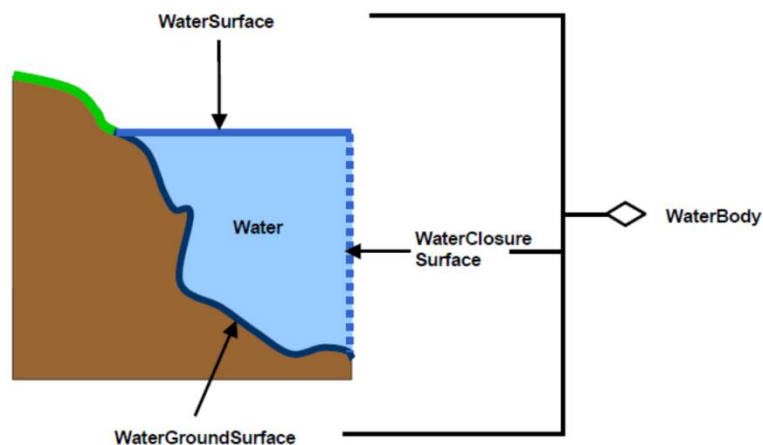


圖 6.4-2、高細緻度水體模型定義示意圖(OGC, 2012)

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
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，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，與我國國土利用調查分類編碼性質較為類似，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
9.	1120	公墓

編號	代碼	定義
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，可以得出其分布，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。

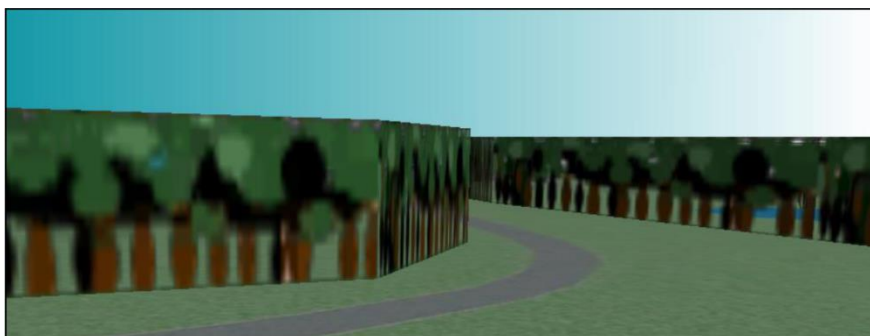


圖 6.6-1、以三維實體模型建構森林示意圖(OGC, 2012)

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之二維圖塊表現，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 台灣大地基準(TWD97)，高程坐標系統採用內政部 2001 台灣高程基準 (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蒐集的資料，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 2 m 或平面面積超過 16 m² 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 5m x 5m，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 2 m 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 2 m 或平面面積超過 16 m² 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 2 m 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 2 m 之造型變化可以忽略 ● 高於 1 m 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 m² 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 2 m 之造型變化可以忽略 ● 凸出牆面距離大於 2 m 且凸出面面積大於 10 m² 者皆須塑模

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

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 cm，其他所有角點坐標精度應優於中誤差 2 m。

二、 三維道路模型

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，而道路邊界之垂直平行投影即可形成二維道路圖層，因此道路邊

界之平面坐標精度需符合來源地形圖資之測量精度標準。高程精度標準則依據高程觀測資料來源分級訂定。

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，屋頂類型以編碼方式記錄，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，樣本區域應均勻分布於測區，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 m，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 m)，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確性，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。

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，2003，高精度及高解析度數值地型模型測製規範（草案）。
- 10、內政部，2009，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布，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 分布對下值檢定

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

(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 分布來檢定：

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

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。

附件 F：三維地形圖資之國際發展與探討

<p>內政部107年度DTM使用者論壇暨空間測繪計畫成果發表會</p> <p style="text-align: right;">內政部 Ministry of the Interior</p> <p style="text-align: center;">三維地形圖資之國際發展與探討</p> <p style="text-align: right;">簡報人：張智安 教授 國立交通大學土木工程學系 2018年07月30日</p> <p>國立中央大學空資及遙測研究中心 國立交通大學土木工程學系 GIS Engineering Consultants, Inc., Taiwan</p>	<p style="text-align: center;">大綱</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 三維製圖 <ul style="list-style-type: none"> ◆ 三維城市模型 ◆ 國家尺度的三維製圖 ■ 分析探討 ■ 發展策略 ■ 結語 <p>國立交通大學, 土木工程學系 National Chiao Tung University, Department of Civil Engineering</p>
<p style="text-align: center;">三維製圖 3D MAPPING</p> <p style="text-align: right;">P. 3</p> <p>國立交通大學, 土木工程學系 National Chiao Tung University, Department of Civil Engineering</p>	<p style="text-align: center;">二維地形圖的挑戰</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 更複雜的三維建物 ■ 一個位置對應複數個地物  <p>國立交通大學, 土木工程學系 National Chiao Tung University, Department of Civil Engineering</p>
<p style="text-align: center;">三維地形圖</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 數值地形圖之延伸 ■ 三維化(vs. 2.5D) ■ 物件化(vs. 圖層) ■ 屬性化(vs. 文字屬性) ■ 多尺度(vs. 單一尺度) ■ 多視角(vs. Top View) ■ Model-based  <p>國立交通大學, 土木工程學系 National Chiao Tung University, Department of Civil Engineering</p>	<p style="text-align: center;">2.5D</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 2.5D: 1個(X,Y)對應1個Z ■ 著重在地形(Terrain)的三維展現，以等高線或地形變化點在圖面呈現地形 ■ 只有房屋有注記樓層數做為地物高度 <p>國立交通大學, 土木工程學系 National Chiao Tung University, Department of Civil Engineering</p>
<p style="text-align: center;">3D</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 3D: 1個(X,Y)對應多個Z ■ 地物高程(Surface Height)取得的便利性 <ul style="list-style-type: none"> ◆ 立測環境:GXP,ERDAS.. ◆ 光達 ◆ 密匹配 ■ 3D City Model: CityGML <ul style="list-style-type: none"> ◆ 德國、丹麥... ■ 3D Cadastre Map: LADM <ul style="list-style-type: none"> ◆ 荷蘭、澳洲...  <p>國立交通大學, 土木工程學系 National Chiao Tung University, Department of Civil Engineering</p>	<p style="text-align: center;">Standard</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Cadastre(FIG):3D Cadastre <ul style="list-style-type: none"> ■ FIG joint commission 3 and 7 Working Group on 3D Cadastres ■ Land Administration Domain Model(LADM) ❖ GIS(OGC):3D Spatial Data Infrastructures (3D-SDI) <ul style="list-style-type: none"> ■ CityGML, I3S, IndoorGML ❖ CAD: BIM <ul style="list-style-type: none"> ■ buildingSmart:IFC <p>國立交通大學, 土木工程學系 National Chiao Tung University, Department of Civil Engineering</p>

Standard

- ❖ Cadastre(FIG):3D Cadastre
 - FIG joint commission 3 and 7 Working Group on 3D Cadastres
 - Land Administration Domain Model(LADM)
- ❖ GIS(OGC):3D Spatial Data Infrastructures (3D-SDI)
 - CityGML, I3S, IndoorGML
- ❖ CAD: BIM
 - buildingSmart:IFC

不同的發展方向

- ❖ 3D City
 - e.g. Virtual Singapore
- ❖ 3D Map
 - e.g. 3DMap Norway
- ❖ 3D GIS
 - e.g. 3DGIS China
- ❖ 3D Cadastre Mapping
 - e.g. 3D Cadastre in Slovenia
 - e.g. Multipurpose Cadastre in Malaysia

不同的應用方向

- ❖ Smart City
 - Energy and Resources
 - Real Estate
 - Urban Operating System
- ❖ Collaboration and Decision Making
- ❖ Communication and Visualization
- ❖ Improved Accessibility
- ❖ Urban Planning

商業公司的三維服務(3D Services)

- ❖ 三維軟體僅提供工具，由於城市規模的資料龐大，促進了商業公司提供三維服務的發展：三維建模服務、應用功能服務、雲端運算服務、及展示平台服務。
- ❖ Dassault Systèmes
 - GEOVIA <https://www.3ds.com/products-services/geovia/>
 - e.g. Virtual Singapore
- ❖ Airbus Defence & Space
 - 3DMosaic: Multi-sensor support
 - PixelFactory/StreetFactory <http://www.intelligence-airbusds.com/streetfactory/>
 - e.g. Saudi, Toulouse(France), China.

三維城市模型
3D CITY MODEL

國立交通大學, 土木工程學系
National Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

3D City Model (1/4)

Dataset	Country	Year	Building LOD	Other Classes	Textures	Acquisition	Formats
Adehaide	Australia	2015	LOD 1+ LOD 2		true		JDS v.6, FBG, KML, Shapefile, FBX
Austin	USA	2013	LOD 2		false		KMZ, Shapefile
Berlin	Germany	2013	LOD 2		true		CityGML 2.0
Boston	USA	2013	LOD 2		false		OBJ, UTM, MAX
Brussels	Belgium	2014	LOD 2	Vegetation	false		CityGML 1.0
Cambridge	UK		LOD 1		false		DAT, Shapefile, CityGML
Dresden	Germany	2009	LOD 1,LOD 2,LOD 3		partially		CityGML 1.0
Dutch cities	Netherlands	2016	LOD 1	Vegetation and water	false		CityGML 2.0
Fredericton	Canada	2016	LOD 2		true		KMZ
Greater Geelong	Australia	2016	LOD 1+ LOD 2		false		KMZ

3D City Model (2/4)

Dataset	Country	Year	Building LOD	Other Classes	Textures	Acquisition	Formats
Hamburg	Germany	2017	LOD 1 and LOD 2			Cadastre footprints + LiDAR	CityGML 2.0
Helsinki	Finland	2016	LOD 2		true		CityGML 2.0
Linz	Austria	2011	LOD 2		false		CityGML 1.0
Lyon	France	2012	LOD 2	Terrain, water			CityGML 2.0
Montréal	Canada	2009	LOD 2	terrain (JTB in CityGML format)	true	Photogrammetry	CityGML 1.0
New York City (by TUM)	United States	2015	LOD 1	Roads, lots, parks, water, terrain	false	Photogrammetry in combination with existing public 2D/3D datasets	CityGML 2.0
New York City by DoITT	United States	2016	LOD 2		false	Cadastre footprints + LiDAR	CityGML 2.0

3D City Model (3/4)

Dataset	Country	Year	Building LOD	Other Classes	Textures	Acquisition	Formats
New York City by DoITT	United States	2016	LOD 2		false	Cadastre footprints LiDAR	CityGML 2.0
North Rhine-Westphalia (state)	Germany	2016	LOD 1+ LOD 2		false	Cadastre footprints, LiDAR, aerial images. LOD1 is derived from LOD 2 models with average roof height (details here)	CityGML 1.0
Philadelphia	USA	2015	LOD 2		true		GTFS
Rotterdam	Netherlands	2010	LOD 2		true	Cadastre footprints LiDAR	CityGML 1.0
Sao Francisco	USA	2017	LOD 1		false		KML, KMZ, Shapefile, GeoJSON, CityGML 1.0
The Hague	Netherlands	2011	LOD 2	Terrain	false		

內政部 國立中央大學交通運輸研究中心 國立交通大學 土木工程學系 NCTU, Dept. of Civil Engineering 台灣地圖工程發展股份有限公司 台灣地圖工程發展股份有限公司

3D City Model (4/4)

Dataset	Country	Year	Building LOD	Other Classes	Textures	Acquisition	Formats
Thuringia (state)	Germany	2013 (cadastre footprint s) > 2016 and earlier (LiDAR)	LOD 1 (full) & LOD 2 (partly)		false	Cadastre footprints - LiDAR	CityGML 1.0
Toronto	Canada	2016	LOD 1				Shapefile, Geodatabase, AutoCAD, SketchUp
Vancouver	Canada	2009	LOD 1		false		Shapefile, DWG, KML

P. 17

內政部 國立中央大學交通運輸研究中心 國立交通大學 土木工程學系 NCTU, Dept. of Civil Engineering 台灣地圖工程發展股份有限公司 台灣地圖工程發展股份有限公司

小結

- ❖ 三維房屋及地形為主要物件
- ❖ 重建的細緻度以LOD 1及LOD 2為主
- ❖ 考量真實紋理貼圖的難度，多數紋理為仿真紋理
- ❖ 三維模型的標準格式主要為開放標準格式，如CityGML及KML等

P. 18

內政部 國立中央大學交通運輸研究中心 國立交通大學 土木工程學系 NCTU, Dept. of Civil Engineering 台灣地圖工程發展股份有限公司 台灣地圖工程發展股份有限公司

國家尺度的三維製圖 NATIONAL 3D MAPPING

國立交通大學 土木工程學系 National Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

內政部 國立中央大學交通運輸研究中心 國立交通大學 土木工程學系 NCTU, Dept. of Civil Engineering 台灣地圖工程發展股份有限公司 台灣地圖工程發展股份有限公司

加泰隆尼亞(Catalonia/Spain)

- ❖ National 3D Mapping Products: focus on 1:1000
 - 3D raster models: from oblique images
 - 3D vector models: LOD 2 derived from 2D vector map and lidar using Tridicon software (automatic modeling, manual editing is required); texture from oblique image
- ❖ Data formats
 - 3D SHP, KMZ, DGN, DXF, FGDB(Geodatabase).



P. 20

內政部 國立中央大學交通運輸研究中心 國立交通大學 土木工程學系 NCTU, Dept. of Civil Engineering 台灣地圖工程發展股份有限公司 台灣地圖工程發展股份有限公司

瑞士

- ❖ Since 2008, National 3D Mapping Products:
 - SwissTLM^{3D}: large-scale topographical landscape models
 - SwissALIT^{3D}: digital terrain model, 2m mesh from lidar
 - SwissROUTES^{3D}: transportation networks
 - SwissNAMES^{3D}: name datasets
 - SwissBOUNDARIES^{3D}: administrative boundaries
 - SwissBUILDINGS^{3D}: 3D vector from aerial images, 1 sigma=0.5m, LOD 2
- ❖ Data formats
 - CityGML, KML, 3D SHP, 3D PDF, DXF, FGDB(Geodatabase).
- ❖ 三維圖資分為不同三維產品
- ❖ 三維地形以光達產製，三維模型則以航測立體製圖為主要生產方式
- ❖ 不含紋理




P. 21

內政部 國立中央大學交通運輸研究中心 國立交通大學 土木工程學系 NCTU, Dept. of Civil Engineering 台灣地圖工程發展股份有限公司 台灣地圖工程發展股份有限公司

丹麥

- ❖ National 3D Building Models: 4,200,000 buildings
 - 1st generation (early 90's): 3d building without texture, based on number of floor
 - 2nd generation (2000): 3d building with artificial texture, based on number of floor
 - 3rd generation (2008): Building polygons from basemap; roof from lidar; texture from ortho photo and oblique facade image.
- ❖ Data formats
 - CityGML

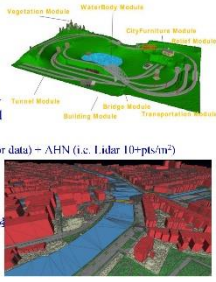


P. 22

內政部 國立中央大學交通運輸研究中心 國立交通大學 土木工程學系 NCTU, Dept. of Civil Engineering 台灣地圖工程發展股份有限公司 台灣地圖工程發展股份有限公司

荷蘭

- ❖ National Standard for 3D Topographic Data:
 - IMGeo (Information Model Geography): An Application Domain Extension of CityGML.
- ❖ National Virtual 3D City and Landscape Model
 - LOD 1
 - Automatic reconstruction: TOP10NL (2D vector data) - AHN (i.e. Lidar 10+pts/m²)
- ❖ Data format: CityGML
- ❖ 三維圖資概以CityGML基礎
- ❖ 三維地形及三維模型以高密度光達及二維向量圖資
- ❖ 不含紋理

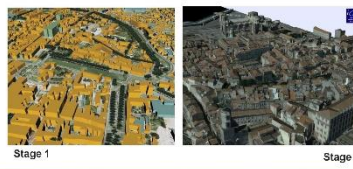


P. 23

內政部 國立中央大學交通運輸研究中心 國立交通大學 土木工程學系 NCTU, Dept. of Civil Engineering 台灣地圖工程發展股份有限公司 台灣地圖工程發展股份有限公司

法國

- ❖ National 3D Mapping Products:
 - Stage 1(1994-2007) a 2.5D geographic information framework: BD Topo+ BD Ortho+ Building(LOD 1)+ 3S synthetic vegetation
 - Stage 2(2007-): Bati3D, 3D City model (LOD 2) with texture
- ❖ Data formats
 - CityGML



P. 24

波蘭

- ❖ Since 2015, National 3D Building Models Database:
 - LOD 2 CityGML
 - 2D outlines(2D Topographic Object Database) - ALS (4-12pts/m²)
- ❖ Data formats
 - CityGML



3D building reconstruction project (2017-2018) 3D web viewer

P. 20

芬蘭

- ❖ Since 2015, National Topographic Database (NTDB)
 - 3D data follow the standard of CityGML, LOD
 - Class A: LOD 2 for city center
 - Class B: LOD 2 for densely populated or industrial area
 - Class C: LOD 1 or LOD 2 for other areas
- ❖ Data format
 - CityGML

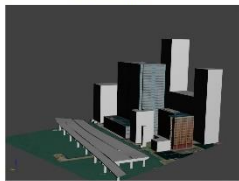


3D Helsinki 3D modeling Results in the City of Tampere

P. 20

香港

- ❖ Product: 3D Spatial Data
- ❖ Models: Building, Infrastructure, Terrain
- ❖ LOD: Level 1, Level 2, Level 3
- ❖ Format: 3DS, 3D Max, VRML



Primary Class	Secondary Class	Description	Example
Terrain	Digital Elevation Model (DEM)	A surface model that represents the elevation of the land surface with an irregular grid.	
	Vector Elevation Model (VEM)	A surface model that represents the surface of ground features.	
Building	Level 1 (LOD 1)	A building model that represents the overall footprint and height of the building.	
	Level 2 (LOD 2)	A building model that represents the overall footprint and height of the building, with some internal structure visible.	
	Level 3 (LOD 3)	A building model that represents the overall footprint and height of the building, with detailed internal structure and facade visible.	
Infrastructure	Level 1 (LOD 1)	A model that represents the overall footprint and height of the infrastructure, such as roads and bridges.	
	Level 2 (LOD 2)	A model that represents the overall footprint and height of the infrastructure, with some internal structure visible.	

P. 27

新加坡

- ❖ 3D National Map: 3D products
 - DTM/DSM: from airborne laser scanning data
 - Orthophoto: from airborne vertical/oblique images
 - 3D building models: from airborne vertical/oblique images
 - 3D road models: from mobile laser scanning data and 360 camera imagery
 - 3D tree models: from airborne vertical/oblique images
- ❖ Standard and database
 - CityGML, represents
 - Oracle spatial database



P. 28

探討與分析

國立交通大學, 土木工程學系
National Chiao Tung University, Department of Civil Engineering

各國三維地形圖技術文件

國家	三維地形圖發展	技術文件
新加坡	Virtual Singapore • https://www.virtua.sg/en/page/our-virtual-singapore • Budget: S\$12.8 billion (about N.T. 1.6 billion)	• Singapore Land Authority, 2013. Standard and Specifications for 3D Topographic Surveying (Mapping) in Singapore, Version 1.0.
香港	3D Spatial Data • https://www.lands.gov.hk/eng/infocentre/infocentre.aspx?newsID=201718.html • 1:10,000 ground features (buildings, infrastructure, and terrain surfaces)	• Hong Kong Land Department, 2012. Information Sheet on 3D Spatial Data, Version 1.1.
荷蘭	3D IMGeo-CityGML • https://www.geonovum.nl • https://3d.lka.bregma.nl/	• Geonovum, 2017. Technical Specifications for the Construction of 3D IMGeo-CityGML, Version 2.1.
瑞士	swissTLM3D • https://www.infrastructure.admin.ch/en/home.html	• Schmassmann, F., R. Bovier. 2010. Topografisches Landschaftsmodell TLM: swissTLM3D. Geomatik Schweiz Vol. 9, pp. 407-409.

P. 30

三維地形圖之測製方法

- ❖ 主要是使用二維地形圖延伸/擴充至三維地形圖，例如
 - 芬蘭對National Topographic Database (NTDB)擴充建立三維地形圖
 - 荷蘭對2D IMGEO擴充建立三維地形圖3D IMGEO
 - 瑞士對2D產品擴充建立swissTLM^{3D}, SwissALTI^{3D}, swissBUILDING^{3D}, swissBOUNDARIE^{3D}, swissNAMES^{3D}.
- ❖ 或是使用大比例尺圖幅分幅管理，例如
 - 香港的3D Spatial Data以1/1000分幅管理

P. 31

三維地形圖之測製方法

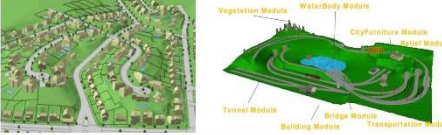
- ❖ 3D National Mapping是大區域的製圖，為提升自動化，多採用三維數值高程模型進行二維產品進行三維形塑，例如：
- ❖ Elberink, S. O., Stoter, J., Ledoux, H., & Commandeur, T. (2013). Generation and dissemination of a national virtual 3D city and landscape model for the Netherlands. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 79(2), 147-158.

P. 32

內政部 國土研究中心 國立交通大學 土木工學學系
Ministry of the Interior 國立中央大學地理資訊研究中心 NCTU, Dept. of Civil Engineering 國資研中心 國資研工程顧問有限公司 GIS Engineering Consultants, Inc., Taiwan

三維地形圖之測製成果物件化

- ❖ 測製成果物件化之分類方式
 - 方式 1.依模組分類: bridge, building, cityfurniture, relief, transportation, tunnel, vegetation, water modules.
 - 方式 2.依位置分類:地下物、地表物、地上物
 - 方式 3.依細緻度分類:LOD0, LOD1, LOD2... LOD5.



P. 33

內政部 國土研究中心 國立交通大學 土木工學學系
Ministry of the Interior 國立中央大學地理資訊研究中心 NCTU, Dept. of Civil Engineering 國資研中心 國資研工程顧問有限公司 GIS Engineering Consultants, Inc., Taiwan

三維地形圖之資料結構

- ❖ 主要資料結構採用OGC CityGML 2.0
 - 優點: OGC Open Standard, exchange format, application-independent information model
 - 語義: Based on XMI., rich semantics
 - 幾何: LOD細緻度, 三維地形圖是二維地形圖的延伸產品, 即高細緻度LOD是低細緻度LOD的延伸產品, 例如: 房屋LOD2是LOD1的延伸, 兩者有一致的房屋邊界, 但屋頂形狀不同。
 - 擴充: CityGML Application Domain Extension (ADE)

Stöckli, J., Voellmi, G., Coxo, J., Altmann, S., Wehr, P., Kissel, R. & Remmen, M. (2011). Towards a national 3D Spatial Data Infrastructure: case of the Netherlands. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 77(10), 825-829.

P. 34

內政部 國土研究中心 國立交通大學 土木工學學系
Ministry of the Interior 國立中央大學地理資訊研究中心 NCTU, Dept. of Civil Engineering 國資研中心 國資研工程顧問有限公司 GIS Engineering Consultants, Inc., Taiwan

三維地形圖之編碼

- ❖ CityGML 2.0使用<https://www.sig3d.org>的codelist, 例如:

編號	代碼	定義
L	1000	flat roof
L	1010	mansard roof
L	1030	dual pent roof
L	1040	gabled roof
L	1050	half-tipped roof
L	1060	mansard roof
L	1070	pavilion roof
L	1080	cone roof
L	1090	cupola roof
L	1100	sawtooth roof
L	1110	arch roof
L	1120	pyramidal broach roof
L	1130	combination of roof forms

https://www.sig3d.org/codellists/citygml/2.0/building/2.0/_AbstractBuilding_roofType.xml

P. 35

內政部 國土研究中心 國立交通大學 土木工學學系
Ministry of the Interior 國立中央大學地理資訊研究中心 NCTU, Dept. of Civil Engineering 國資研中心 國資研工程顧問有限公司 GIS Engineering Consultants, Inc., Taiwan

OGC Open Standard for 3D Products

- ❖ OGC CityGML 2.0: for 3D city vector model
- ❖ OGC i3s 1.0: Indexed 3d Scene Layer (I3S)
 - Scene layers are optimized for displaying a large amount of 3D data in a scene. A scene layer can be:
 - 3D Objects (e.g. Building Extenters, from GIS Data as well as 3D models in various formats)
 - Integrated Meshes (e.g. eg an integrated surface representing the skin of the earth, from satellite, aerial or drone imagery via dense matching photogrammetric software)
 - Point Features (e.g. Hospitals or Schools, trees, street furniture, signs, from GIS Data)



P. 36

內政部 國土研究中心 國立交通大學 土木工學學系
Ministry of the Interior 國立中央大學地理資訊研究中心 NCTU, Dept. of Civil Engineering 國資研中心 國資研工程顧問有限公司 GIS Engineering Consultants, Inc., Taiwan

OGC Open Standard for 3D Products

- ❖ OGC CityGML
 - Based on XML
 - Exchange Format
 - Rich semantics
 - Geometry type:
 - ◆ 3D vector objects
- ❖ OGC i3S
 - Based on Scene Layer Package
 - Transmission Format
 - Cloud, web, mobile friendly
 - Geometry types:
 - ◆ 3D objects, points, integrated meshes, point clouds.

P. 37

內政部 國土研究中心 國立交通大學 土木工學學系
Ministry of the Interior 國立中央大學地理資訊研究中心 NCTU, Dept. of Civil Engineering 國資研中心 國資研工程顧問有限公司 GIS Engineering Consultants, Inc., Taiwan

Open data for 3D City Model

- ❖ CityGML對應的資料庫 (<https://www.citygml.org/software>)
 - 3D City Database <http://www.3dcitydb.org>
 - ◆ Free geo database to store, represent, and manage virtual 3D city models on top of a standard spatial relational database (PostGIS and Oracle)
 - GeoRocket <https://georocket.io>
 - ◆ High-performance data store for geospatial files (ready for the cloud). Supports CityGML, GML, GeoJSON, and more.

P. 38

內政部 國土研究中心 國立交通大學 土木工學學系
Ministry of the Interior 國立中央大學地理資訊研究中心 NCTU, Dept. of Civil Engineering 國資研中心 國資研工程顧問有限公司 GIS Engineering Consultants, Inc., Taiwan

發展策略

P. 39

內政部 國土研究中心 國立交通大學 土木工學學系
Ministry of the Interior 國立中央大學地理資訊研究中心 NCTU, Dept. of Civil Engineering 國資研中心 國資研工程顧問有限公司 GIS Engineering Consultants, Inc., Taiwan

三維地形圖資測製發展策略



- ❖ Collect 3D Data 收集三維資料
- ❖ Create 3D Model 重建三維模型
- ❖ Establish 3D Standard 建立三維標準
- ❖ Support 3D Application 支援三維應用
- ❖ Update 3D Changes 更新三維內容

P. 40

內政部 國史館 國立中央大學地理資訊研究中心 國立交通大學 土木工學學系 NCTU Dept. of Civil Engineering 台灣地理資訊工程學會 台灣地理資訊工程學會

三維地形圖資測製發展策略

- ❖ 3D Data
 - 收集 空載影像及空載光達點雲
 - 收集 車載影像及車載光達點雲
- ❖ 3D Model
 - 以 資料加值策略 為主
 - 3D mesh model: 密匹配產生的DSM
 - 3D vector model: 以物件為單元向量模型
- ❖ 3D Standard
 - OGC CityGML schema
 - OGC i3s
 - Relational Database (e.g. open and free 3D City Database, <http://www.3dcitydb.org>)

P. 41

內政部 國史館 國立中央大學地理資訊研究中心 國立交通大學 土木工學學系 NCTU Dept. of Civil Engineering 台灣地理資訊工程學會 台灣地理資訊工程學會

三維地形圖資測製發展策略

- ❖ 3D Application
 - ❖ Collaboration and Decision Making
 - ❖ Communication and Visualization
 - ❖ Improved Accessibility
 - ❖ Urban Planning
 - ❖ Analysis on Potential for Solar Energy Production
- ❖ Example
 - ❖ Flooding, urban heat island, energy shadow, solar potential, noise.

P. 42

Biljeck, P., Štolar, J., Leacou, H., Z. Štarnov, S., Š. Čoltek, A. (2015). Applications of 3D city models: State of the art review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(3), 7847-7859.

內政部 國史館 國立中央大學地理資訊研究中心 國立交通大學 土木工學學系 NCTU Dept. of Civil Engineering 台灣地理資訊工程學會 台灣地理資訊工程學會

三維地形圖資測製發展策略

- ❖ 3D Map Updating
 - Very high resolution satellite imagery(e.g. Worldview-4 0.31m GSD):偵測變遷
 - Collaborative Mapping:行政程序
 - Ground-based Laser Scanning/ Topographic Survey
 - Building Information Model (BIM)

P. 43

內政部 國史館 國立中央大學地理資訊研究中心 國立交通大學 土木工學學系 NCTU Dept. of Civil Engineering 台灣地理資訊工程學會 台灣地理資訊工程學會

結語與展望

P. 44

內政部 國史館 國立中央大學地理資訊研究中心 國立交通大學 土木工學學系 NCTU Dept. of Civil Engineering 台灣地理資訊工程學會 台灣地理資訊工程學會

結語與展望

- ❖ 從 二維到三維的挑戰
 - 二維數值地形圖之延伸與加值
 - 品質與效率
- ❖ 從 室外到室內的發展
 - BIM
- ❖ 從 建模到應用(任務)的展望
 - Smart City

P. 45

內政部 國史館 國立中央大學地理資訊研究中心 國立交通大學 土木工學學系 NCTU Dept. of Civil Engineering 台灣地理資訊工程學會 台灣地理資訊工程學會

Thank you!

Corresponding
張智安 lateo@mail.nctu.edu.tw

P. 46