

三維地形圖資技術發展工作案

Development of 3D Topographic Mapping Technology

主管單位：內政部

蔡富安¹

張智安²

黃智遠¹

Tsai, Fuan¹

Teo, Tee-Ann²

Huang, Chih-Yuan¹

¹ 國立中央大學太空及遙測研究中心

² 國立交通大學土木工程學系

摘要

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。

關鍵詞：三維基本地形圖、三維模型、智慧城市、物聯網

Abstract

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 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.

Keywords: 3D Topomap, 3D model, Smart city, Internet of Things

一、前言

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。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。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。

二、研究方法與成果

2.1 試辦區

「發展三維地形基礎圖資測製技術」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，此區域面積約為110公頃。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。針對試辦區內房屋模型，產製LOD1及LOD2房屋模型(圖1)。「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。

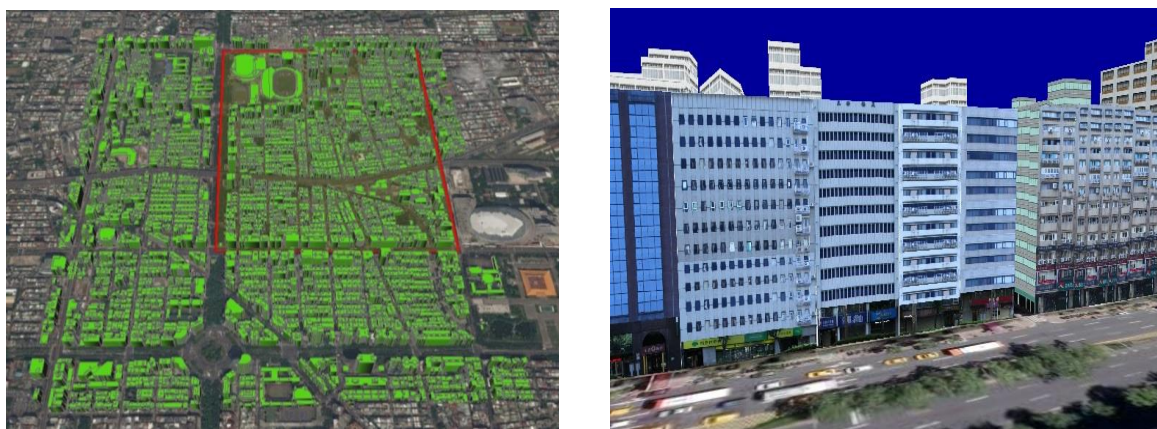


圖1、LOD1及LOD2房屋模型

2.2 研擬並精進三維地形圖資測製技術

2.2.1 三維地形圖資測製文獻蒐集與分析

蒐集國內外三維地形圖資測製之相關規範文獻，本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。

2.2.2 研擬三維地形圖資核心類別測製技術

本工作為：(1)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，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，建置試辦區之三維網格網模型如圖2，(2)介紹房屋立體化技術(LOD1房屋模型)、房屋立體化技術(LOD2房屋模型)與彩帶式三維道路模型建置技術三種核心類別之技術，(3)分析三維網格模型與三維實體模型優缺點、適用範疇與發展潛力，比較表如表1。



圖2、試辦區之三維網格網模型

表1、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	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	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	1. 無法進行圖層分類	1. 需要二維地形圖才能進行模型建置

	網格模型	實體模型
	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)	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	GEE、Cesium、Unity3D 等
適用範疇與發展潛力	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	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

2.2.3 提升三維地形圖資核心類別測製效率或品質

本工作為：(1)建置一個可提升房屋紋理品質之程序，以提升通用紋理品質，流程圖如圖3。改良版通用紋理分析成果如圖4，主要為分析房屋屬性與街景測站分析、下載街景影像、影像分析、產製改良版通用紋理。(2)透過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，比較來自「千分之一地形圖」及「臺灣通用電子地圖」的成果，重建成果如圖5。

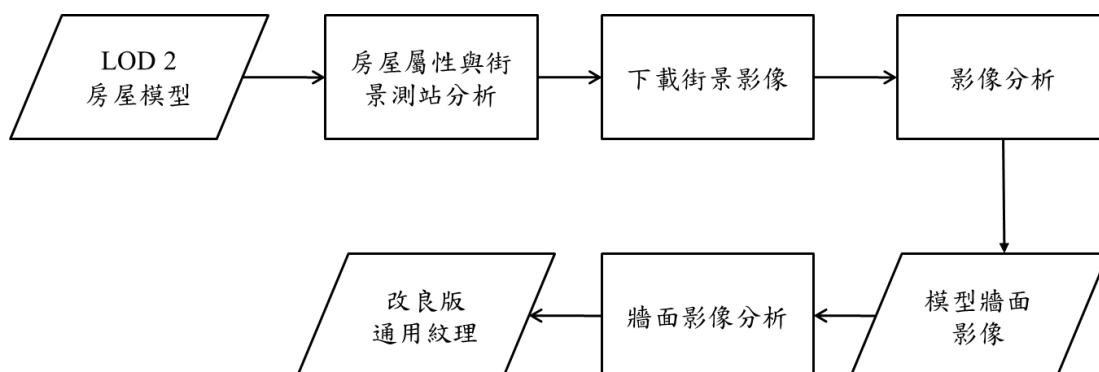


圖3、改良版通用紋理流程圖

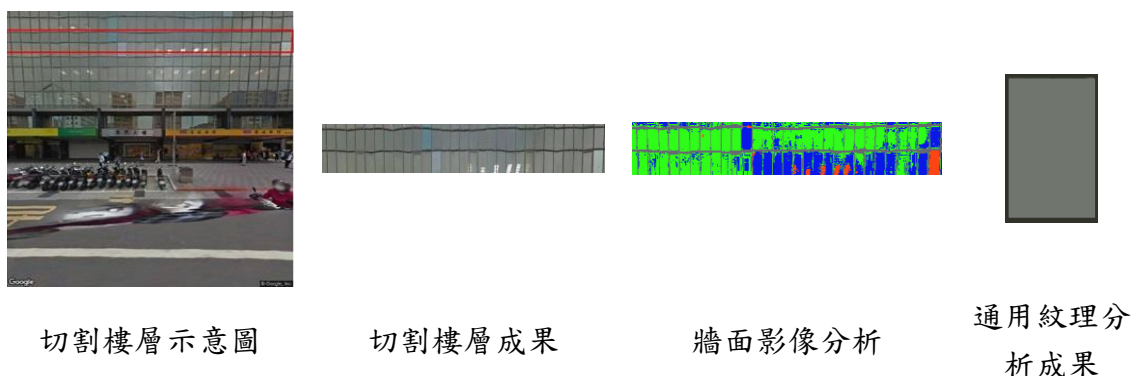


圖4、通用紋理分析成果示意圖

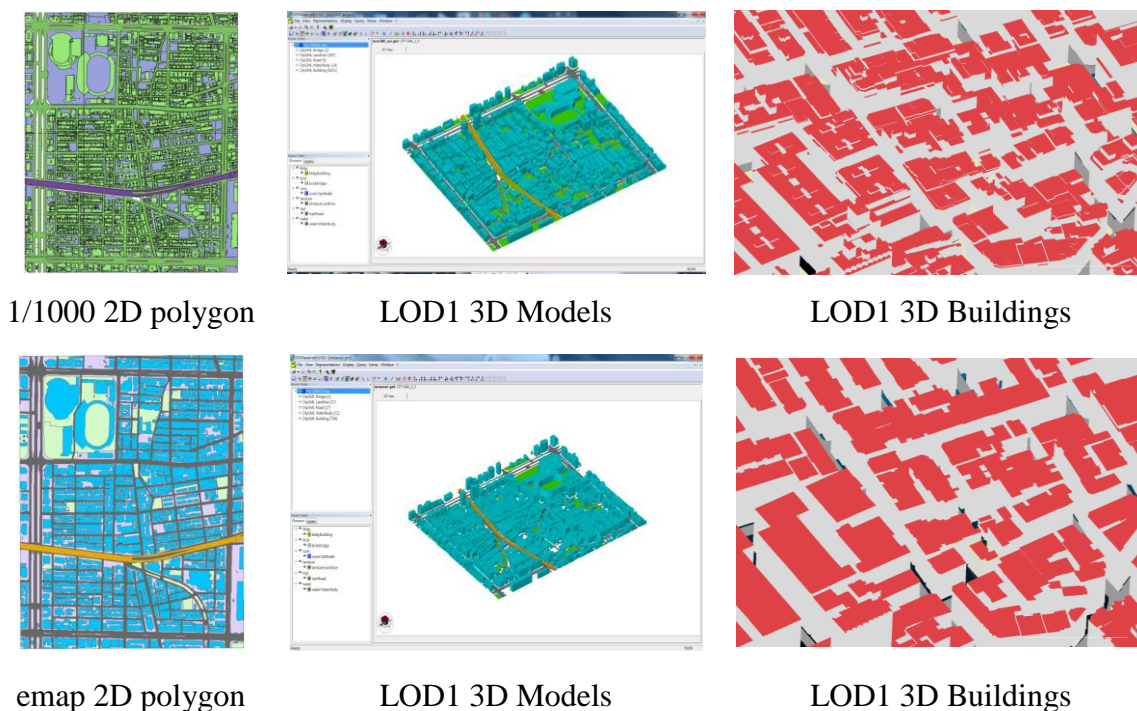


圖5、LOD1重建成果比較

2.2.4 增加三維地形圖資尺度資訊

本工作為：(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，提升LOD1房屋模型騎樓建置程度，增加房屋模型細節，模型高度調整對照如圖6。(2) 透過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偵測道路標記，以道路標記提升道路模型之細緻度路面標線深度學習於提升三維彩帶式道路模型之細緻程度，成果分析如圖7。

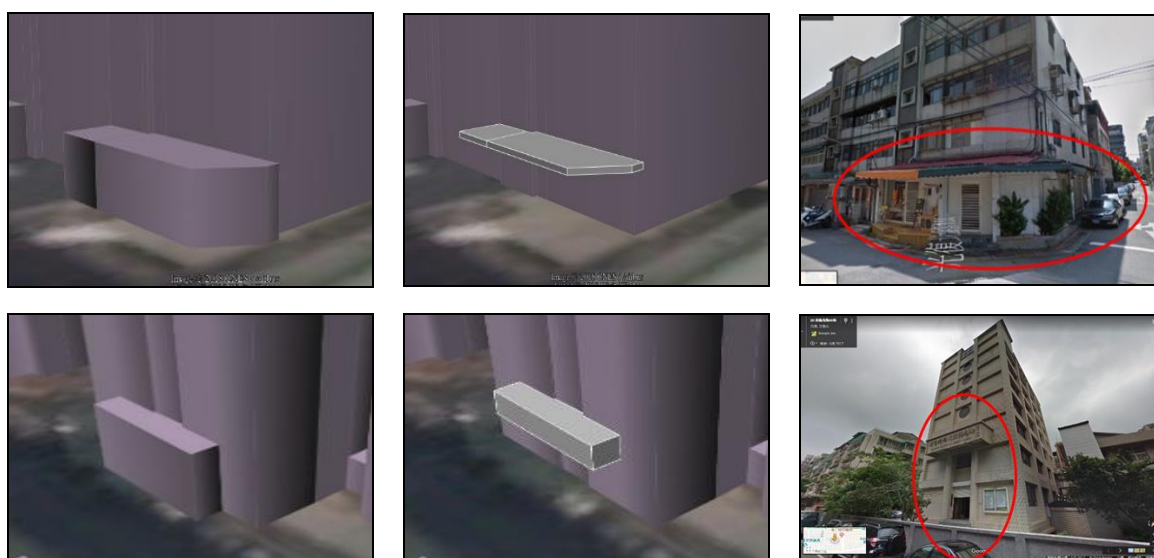
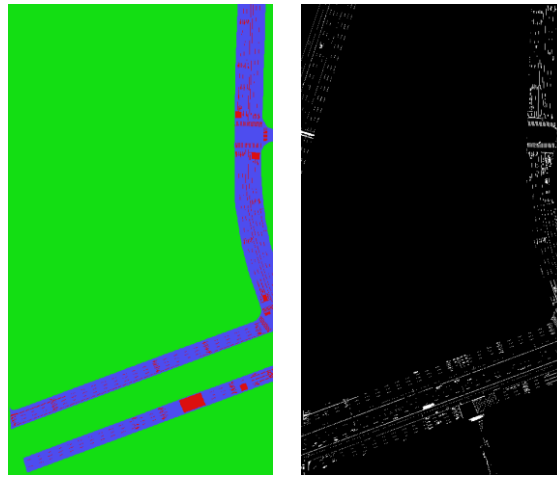


圖6、模型高度調整前後與街景影像之對照



人工數化參考資料 精化道路標記

圖7、成果分析示意圖

2.3 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

2.3.1 研擬三維地形圖測製及檢核作業技術文件指引

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。

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，其中，針對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。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，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。

2.3.2 規劃三維地形資料庫發展策略

將三維地形資料庫發展策略從三個方面進行探討，為：(1)三維地形圖資之空間資料庫，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8所示。(2)三維地形圖資測製成果之資料結構，各種三維物件皆以GML資料格式編碼，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。(3)三維地形圖資測製成果之編碼，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。房屋類別屬性代碼如表2、房屋屋頂型態屬性代碼如表3、房屋裝置類別屬性代碼如表4、交通類別如表5、交通功能及用途屬性代碼如表6。

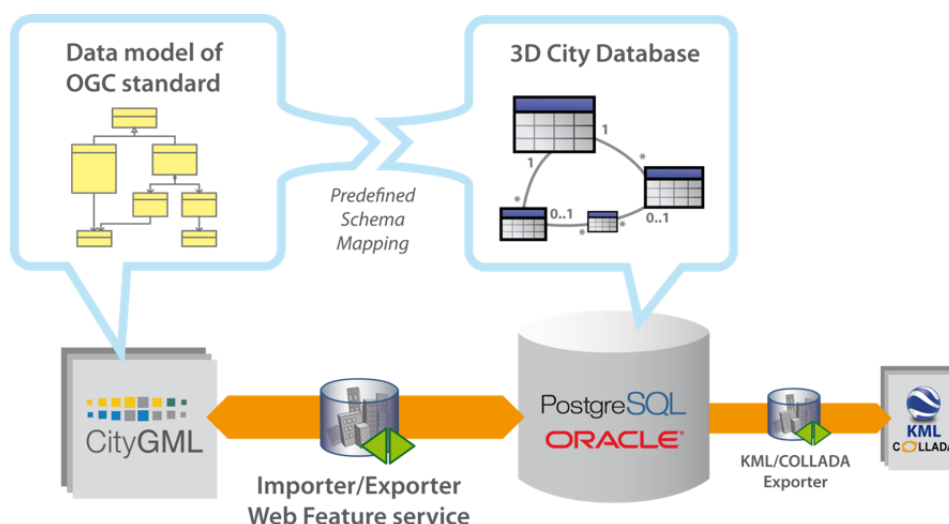


圖8、3D CityDB之主要流程

表2、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3、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

表4、房屋裝置類別屬性代碼

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

表5、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6、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

2.3.3 三維地形圖資測製技術成本與分析

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(表 7)。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。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，表 8 為三維道路建置成本比較表。

表 7、三維房屋成本分析比較表

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

表 8、三維道路建置成本分析比較表

	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

2.3.4 三維地形圖資測製待克服之問題討論

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。如(1)非封閉多邊形圖層問題，擬解決方式為進行多邊形化中心線圖層。(2)屬性對應問題，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。(4)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：資料量大且影像相關性高，計算時需人工介入除錯與缺乏傾斜角度影像資訊。

2.4 研發三維地形圖資與物聯網之整合及應用

2.4.1 物聯網標準之開發與介接技術

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，依據第二版標準擴充物聯網裝置控制能力介面，開發 OGC SensorThings API 網路服務第二版實作之雛形。第二版 OGC SensorThings API 資料模型如圖 9 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。

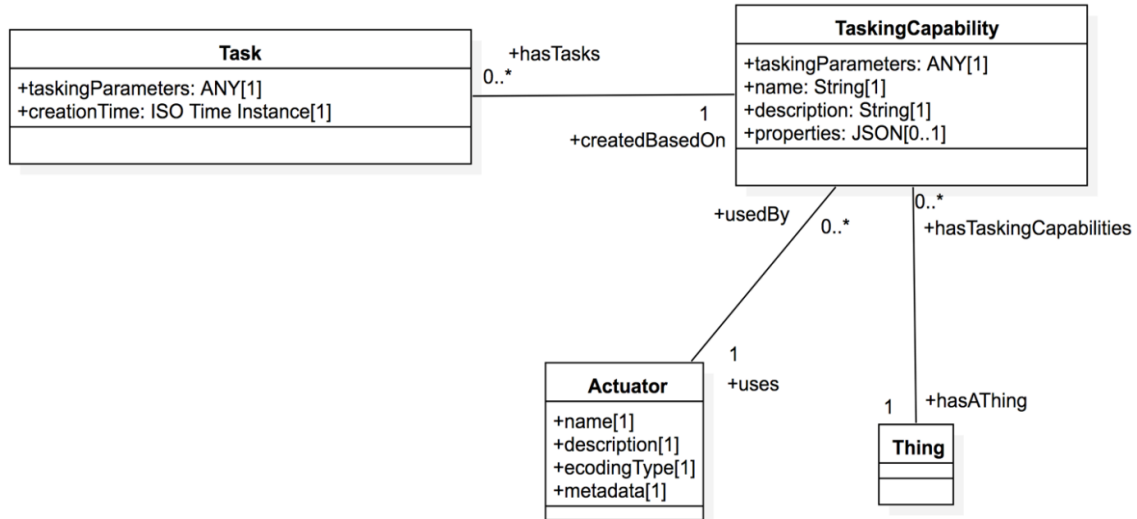


圖 9、第二版 OGC SensorThings API 資料模型

2.4.2 開放式物聯網基礎建設之技術發展

本工作為探討 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，物聯網架構如圖 10。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。

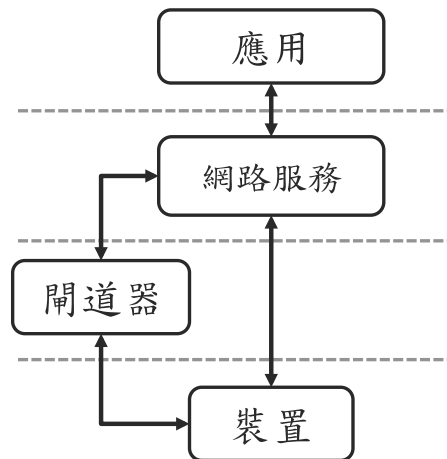


圖 10、物聯網架構

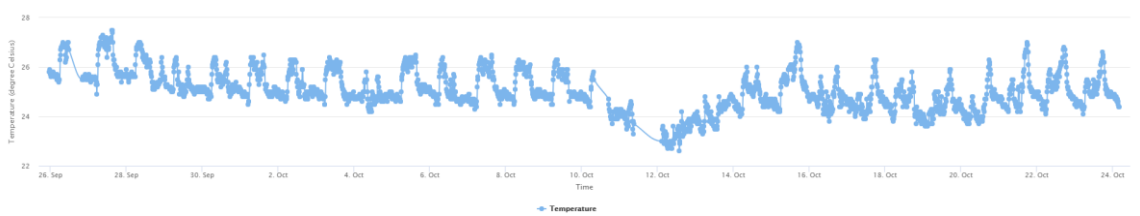
2.4.3 發展三維室內外模型與物聯網標準之整合平台

本工作為：(1)探討三維室內外模型與物聯網標準整合之策略，分析「嵌入式整合」、「索引參照」、及「外部連結」其特色及優缺點。(2)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。地點為東區地下街，所架設之物聯網物件網路利用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，再透過網際網路上傳至 SensorThings API 服務。設計之物聯網物件網路佈設位置如 11 所示，裝置之取樣頻率為 15 分鐘 1 筆溫濕度資料，圖 12 為其中

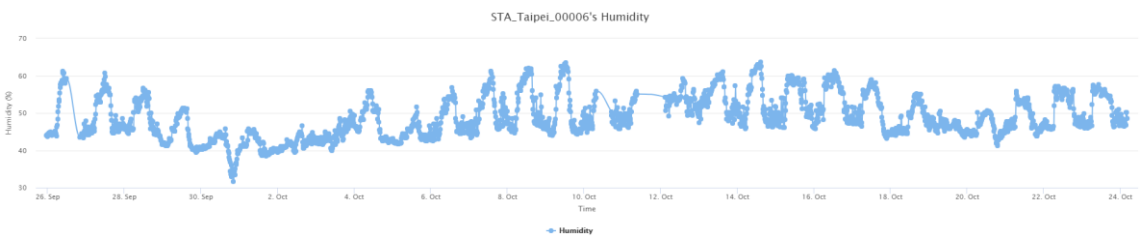
一個裝置之時序資料，圖 13 為透過前述外部連結策略進行三維室內模型與感測資料整合之系統介面。



圖 11、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) 溫度資料



(b) 濕度資料

圖 12、物聯網裝置之時序感測資料

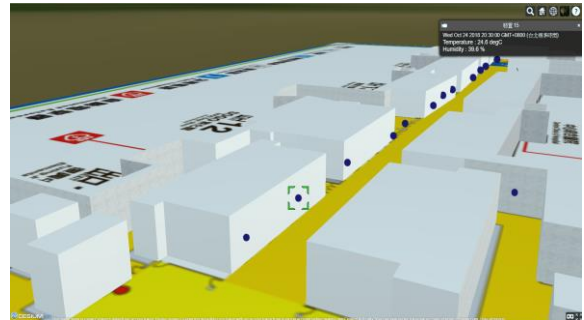


圖 13、三維模型與物聯網物件之整合平台

2.5 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，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。

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。

四、結論與建議

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。
2. 可利用現有二維圖資，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度。

參考文獻

1. 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
2. Hong Kong Land Department, 2012. Information Sheet on 3D Spatial Data, Version 1.1.
3. Schmassmann, E. R. Bovier. 2010. Topografisches Landschaftsmodell TLM: swissTLM3D. Geomatik Schweiz Vol. 9, pp. 407-409.
4. Singapore Land Authority, 2013. Standard and Specifications for 3D Topographic Surveying (Mapping) in Singapore, Version 1.0.