

# 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<sup>1</sup>

張智安<sup>2</sup>

黃智遠<sup>1</sup>

Tsai, Fuan<sup>1</sup>

Teo, Tee-Ann<sup>2</sup>

Huang, Chih-Yuan<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 國立中央大學太空及遙測研究中心

<sup>2</sup> 國立交通大學土木工程學系

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

在推動與評估方面，本計畫工作成果包含：(1)精進三維地形圖測製及檢核作業技術文件指引；(2)提出三維地形圖資測製技術之成本分析、應用領域及成果效益；(3)探討三維地形圖資測製中遭遇之困難或三維地形圖資技術發展需克服之問題並提出可能之解決方案；(4)提出三維地形圖資測製成果物件化、三維空間資料結構與編碼之策略與建議。本計畫的執行與成果，不僅可以整合與強化國內三維地形圖資技術發展，落實科技紮根，對於三維地形圖資應用的推廣和人才培育等也有正面貢獻，進而提昇相關產業與國家整體的競爭力。

**關鍵詞：**三維模型、智慧城市、三維基本地形圖、物聯網

## Abstract

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

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

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

This project will help integrate and strengthen the technical development of 3D topographic map generation so as to further increase technology capacity. In addition, the execution and results of this 3D topographic map development project can also contribute to the long-term related education, application, industry development and economic growth.

**Keywords:** 3D model, Smart city, 3D Topomap, 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與其他單位相關計畫的研發成果，已達到推動直接測繪並保存三維物件的適當時機，亦是本計畫提出三維數值基本地形圖的初衷。

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

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。

## 二、研究方法與成果

### 2.1 試辦區

「研發三維數值基本地形圖房屋模型及道路標線自動化產製技術」試辦區涵蓋範圍北以忠孝東路、南以信義路、東以基隆路、西以敦化南路為界，此區域面積約為120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房屋模型(圖1)。「三維室內圖資與物聯網之整合方案及應用試辦」選定國立中央大學研究中心大樓二期館作為試辦地點，以室內平面圖呈現方式，供物聯網應用試辦。



圖1、LOD1房屋模型

### 2.2 研發三維數值基本地形圖房屋模型及道路標線自動化產製技術

三維數值基本地形圖的製圖觀測資料為影像或光達點雲，可導入深度學習的視

覺自動化辨識技術，在二維的影像辨識中，卷積神經網路(Convolutional Neural Network, CNN) (Krizhevsky et al, 2012)廣泛的應用在影像識別，CNN演算法對影像的局部區域進行卷積運算，提升類神經網路運算效能，並使用多個核函數(Kernel)從局部單窗獲取影像特徵，以不同尺度的特徵進行辨識。

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

### 2.2.1 建立三維房屋模型自動化辨識及重建流程

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

深度學習需要大量的訓練資料得到更佳的分類度，房屋區域偵測的訓練資料使用1/1000地形圖進行產製，訓練資料的分類類別包含房屋及其他(道路、植物及地面)(如圖2所示)，本項工作僅著重在房屋區域的偵測，增加其他類別之目的是要降低誤判，分類主體仍是房屋區域。

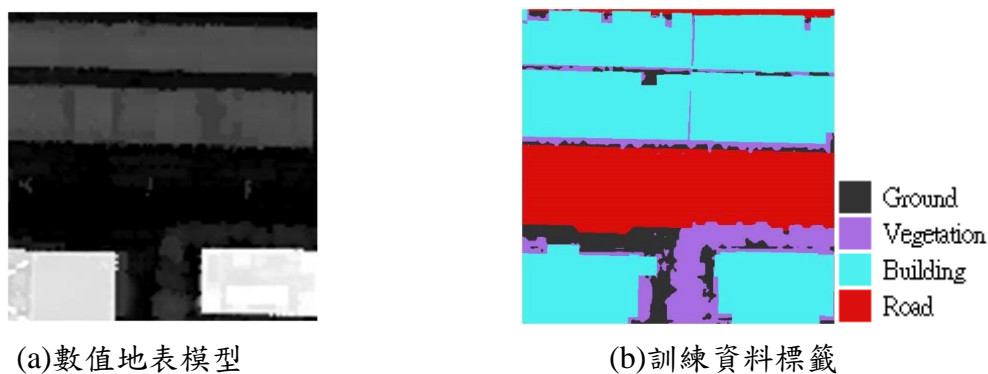
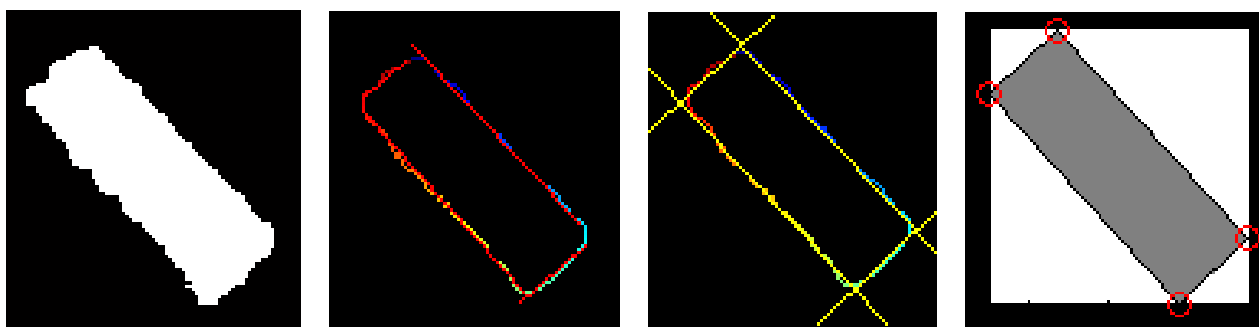


圖2、房屋訓練資料示意圖

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



(a) 房屋區域

(b) 房屋主軸

(c) 邊界正規化

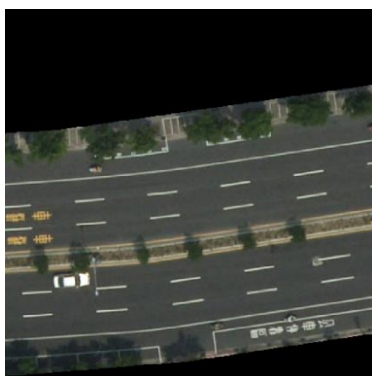
(d) 房屋邊界節點

圖3、二維房屋多邊形正規化示意圖

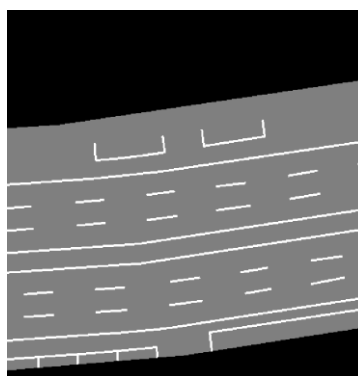
### 2.2.2 建立道路標線自動化辨識及重建流程

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

道路區域與非道路區域可直接從LOD1三維彩帶式道路模型獲得，以提升辨識的效能及降低錯誤，其中三維彩帶式道路模型是指只有路面區域的道路模型，此模型沒有車道線或道路設施等細部資訊。本項工作僅針對道路區域進行自動化辨識，以道路遮罩排除非路面區域。訓練資料是指影像中道路標線的確切位置，必須有良好的品質方能達成自動化偵測之目的，訓練區示意如圖4所示。



(a) 訓練影像



(b) 訓練影像對應之標線

圖4、道路標線訓練資料示意圖

本項工作的分類目標為道路區域中的道路標線，道路標線是指雙實線、單實線、虛線、停等區、停車格、停止線、指向線、近障礙物線、枕木紋行人穿越道線、自行車道線、網狀線、菱形標線，分類類別數量較少；雖然道路標線的複雜度低，但會受到道路上不同交通工具的遮蔽影響，仍需要考量實際道路標線在真實影像上的外觀。

### 2.2.3 二維房屋區域自動化辨識

為了能達到三維屋頂面自動化形塑，本研究採用隨機抽樣一致演算法(RANdom

Sample Consensus, RANSAC), 擬合主平面給予二維房屋輪廓所需之高度, 以建立三維房屋模型, 圖5為原始三維點雲與形塑三維房屋模型的套疊成果。

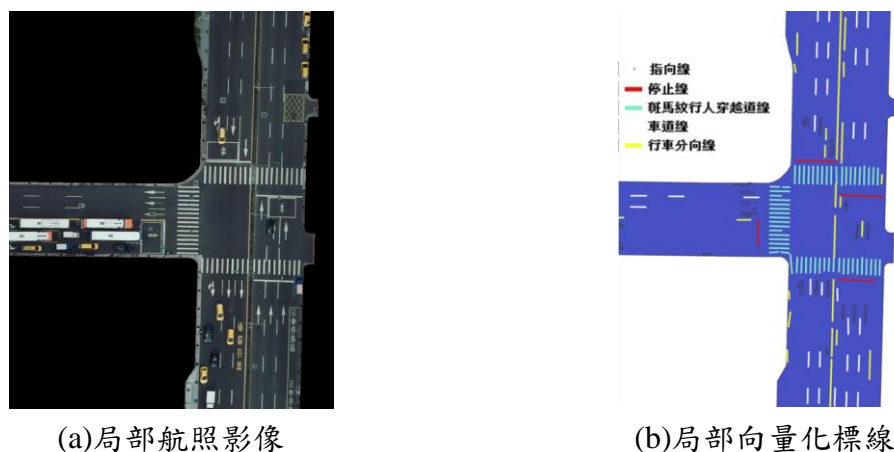


(a)三維點雲 (b)以 1/1000 數值地形圖房屋輪廓形塑之三維模型 (c)1/1000數值地形圖之三維模型與三維點雲套疊

圖5、三維形塑成果與點雲模型之套疊比較

## 2.2.4 道路標線自動化辨識

將道路分成3個類別(非道路、道路及道路標線), 本研究採用FCN深度學習方法進行道路標線識別, 根據分類成果進行精化處理, 接著針對道路標線區域進行向量化, 將網格式(Raster)的道路區域向量化(Vectorlization)為中心線特徵, 並進一步使用數值地形模型內插中心線兩端所對應的高程, 圖6為向量化成果。



(a)局部航照影像

(b)局部向量化標線

圖6、向量化成果

## 2.3 提升三維數值基本地形圖紋理品質及建築尺度細緻度

### 2.3.1 判別測繪車與三維數值地形圖模型牆面影像, 找出最接近真實之通用紋理

本項工作重點包含:(1)測繪車影像資訊分析、(2)房屋模型屬性分析,(3)匹配房屋模型與測繪車影像、(4)AOI擷取(5)影像分析、(6)紋理資料庫匹配、(7)模型成果產製。首先分析測繪車相機與模型牆面對應關係, 取得最適合之相機拍攝影像, 擷取感興趣區域(Area of Interest,AOI)影像, 將影像依樓層交界線切割, 取得模型牆面與騎樓影像的資料, 如圖7所示。分析牆面與騎樓影像之特性, 藉由色群分析取得影像的顏色分布, 找出主色群顏色, 並計算其色調、飽和度、亮度數值, 將最符合條件之通用紋理影像數貼於模型牆面, 如圖8所示。



圖7、影像分析與樓層切割

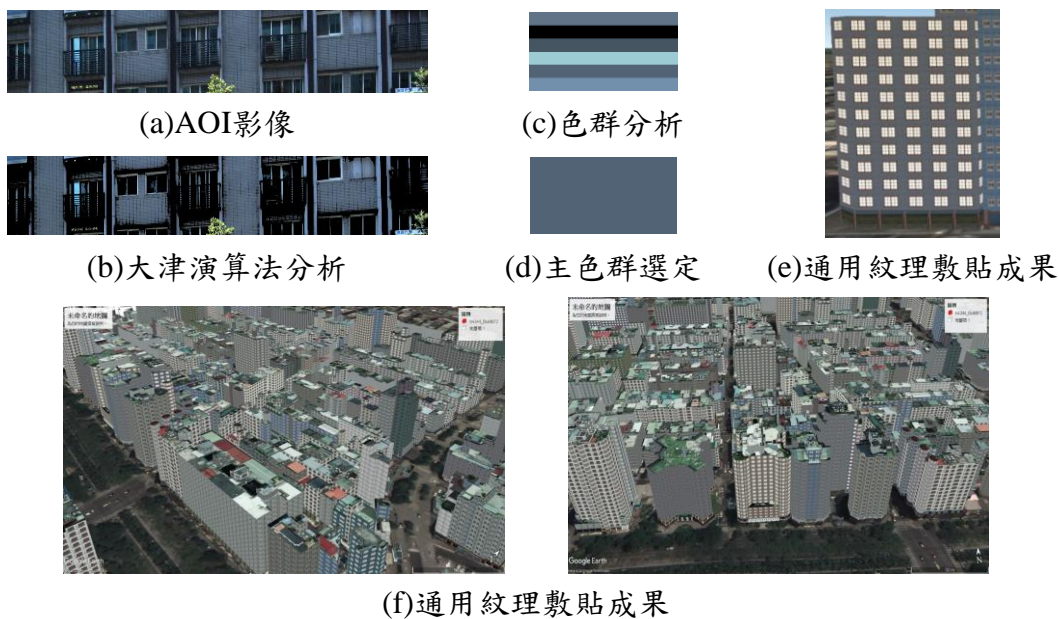


圖8、影像分析與成果

### 2.3.2 發展近景多視角影像提升三維房屋與道路模型

隨著密匹配技術與攝影系統發展，加上空載光達技術成熟，使得點雲導向的建模技術越發受到重視與使用。但點雲缺乏物件概念，沒有明確的屬性與實體資料，因此本項工作為透過千分之一地形圖或臺灣通用電子地圖等圖資，搭配近景多視角影像，發展三維房屋技術。首先分析點雲、房屋與道路模型資料，進行點雲與模型匹配，接著分析模型所屬之點雲高程資訊，計算眾數層區域內點雲高程之平均值(圖9)，將此值取代成為模型新的高程資訊，並產製新的高程模型成果(圖10、圖11)。

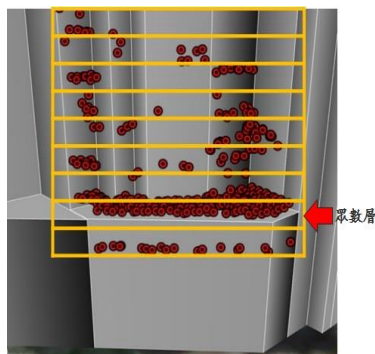
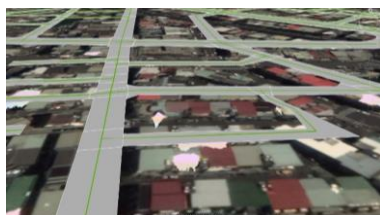


圖9、眾數層圖示說明



圖10、點雲與房屋模型成果套疊示意圖



(a)平面道路



(b)高架道路

圖11、道路模型成果

### 2.3.3 藉由影像或點雲資訊搭配既有資料發展重建三維室內模型技術

本項工作重點為藉由影像或點雲資訊的輔助，發展重建三維室內模型技術，並提出新的解決方案來改善既有影像式掃描的缺點，因此進一步探討室內空間的建模技術，包含攝影測量三維模型重建、模型破損缺漏修補、模型切割、物件建立、與繪製模型結合、三角面與四角面模型的差異等五項進行探討，並依處理流程產製試辦成果(圖12)。



(a)Mesh成果畫面



(b)編修、修補成果

圖12、Mesh模型與編修成果

## 2.4 精進三維地形圖資測製技術文件

### 2.4.1 精進三維地形圖測製及檢核作業技術文件指引

依據內政部國土測繪中心本年度三維建物模型建置方式及建置成果滾動修正本研究三維地形圖測製及檢核作業技術文件指引。依循往年以CityGML為基礎框架以及前一年度擬定之技術文件指引，配合國土測繪中心今年度三維模型建置之作業目



標、執行方式與作業成果調整並精進技術文件指引內容。

本項工作參考國內外地形圖之技術文件，針對不同細緻程度之應用需求，並考量OGC CityGML標準對建物模型產品之分級，撰寫測製方式、檢核內容方法以及檢核標準等內容，此外相關專有名詞以及章節架構也依據國土資訊系統資料標準共同規範進行調整。文件精進重點類別為房屋(Building)以及道路(Traffic Area)兩項核心類別，以及參考CityGML架構，加強屬性語義相關標準。此外，參考國內外三維地形圖資技術文件，針對不同細緻程度之應用需求，撰寫測製要求、檢核內容方式及檢核標準等內容，以精進三維地形圖資之技術文件。

#### 2.4.2 提出三維地形圖資測製技術之成本分析、應用領域及成果效益

依據106年所擬定之三維地形圖建置策略，採用以「與同質性工作同步執行」及「既有資料增值」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1)。表1評估方式均無納入地形圖測製及資料取得費用，且建模成本以地形圖測製成本(此處假設為6000元/公頃)換算。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2。

表 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
建模成本 (不含紋理貼圖)	635 元/公頃	127 元/公頃
總成本 (佔地形圖成本比例)	875 元/公頃 (14.5%)	367 元/公頃 (6.1%)
建議建置區域	都市計劃區 (有 1/1000 地形圖資)	非都市計畫區 (臺灣通用電子地圖)

表 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

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

目前歸納需克服之問題包含兩項，第一項為高程資料與平面向量資料因為更新頻率不同而產生兩種資料不一致的變遷差異問題。第二項為平面向量資料繪製時，相鄰建物係以建物區塊方式繪製，導致模型無法呈現不同建物之間的高程差異。然而，在高程資料處理時，建物區塊內較大的高程差異仍有機會被辨識。因此可以進一步以自動化方式提升建物模型細緻程度，增加整體成果價值。

第一項利用航照影像及高解析度衛星影像取得建物高度，補足光達DEM/DSM資料更新頻率的缺口，同時也利用新拍的高解析度衛星影像，找出可能新增建物的區塊，回饋電子地圖辦理圖資更新。第二項為臺灣通用電子地圖建物圖層繪製時，相鄰建物係以建物區塊方式建置，區塊內建物高度為單一固定值，區塊內無高度差異。但在樓高萃取計算時，建物區塊內較大的高度差異仍有機會透過計算過程粹取特徵，提升模型細緻度。因此利用1m解析度的光達DEM/DSM資料，透過自動化程序，提升建物細緻化程度。

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

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

## 2.5 三維室內圖資與物聯網之整合方案及應用試辦

本項工作以實際場域進行物聯網整合方案應用試辦，並以國立中央大學研究中心大樓二期館作為試辦地點。相較於先前年度之試辦地點(臺北市政府辦公室或東區地下街)能更有彈性地進行應用開發。考量試辦地點之可用資源，本年度以單棟建物之場域進行物聯網整合應用的雛形開發，應用主題為「室內即時火災逃生路徑規劃」。

本項工作規劃此應用之系統架構如圖12所示，其中包含的系統組件包含硬體端感測及致動裝置、硬體端閘道器、火災監測資料庫、伺服器端火災危險節點計算模組及火災即時資訊整合模組、客戶端逃生路線規劃模組及展示介面。成果可透過網

頁瀏覽器或行動裝置瀏覽器，以視覺化的方式展示，展示介面及圖例如圖X~圖X，圖14為客戶端視覺化展示介面，圖15為火災發生時建議之逃生路徑，圖16為為控制蜂鳴器響鳴指示。

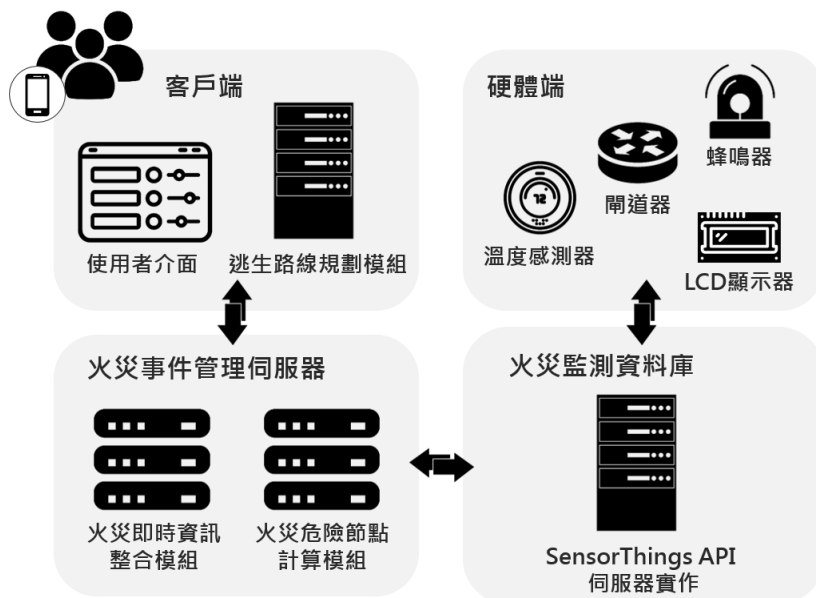


圖13、室內即時火災逃生路徑規劃系統之架構



圖14、客戶端視覺化展示介面

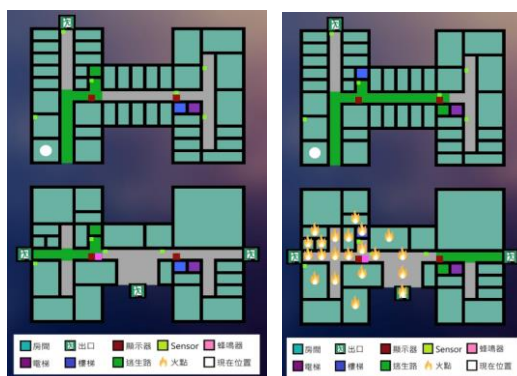


圖15、建議逃生路徑



圖16、控制蜂鳴器

## 2.6 研究成果發表、協助國際事務推動及技術交流

研究發表為1篇國際研討會與2篇國際期刊論文，共3篇論文文稿，分別為：(1) 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)，題目：Deep-Learning for LOD1 Building Reconstruction From Airborne Lidar Data. (2) Sensors，題目：An Open Internet of Thing Architecture Integrating oneM2M and OGC SensorThings API Standards. (3) ISPRS International Journal of Geo-Information，題目：Spatial Analysis with Detailed Indoor Building Models for Emergency Services。

配合內政部其他專案共同在臺辦理臺印尼年度測繪技術交流會議活動，並依本研究主題場次邀請印尼方產官學研人士(合計至少2位)。爰此，邀請印尼日惹大學

(Gajah Mada University, UGM)地理系(Faculty of Geography) Dr. Muh Aris Mafari教授以及泗水理工學院(Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)空間資訊學系的Dr. Hepi Hapsari Handayani教授來臺參加第一屆臺灣印尼測繪高峰論壇。

### 三、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. 深度學習技術可達成初始自動化偵測，但偵測區域需要精化，故建議經由形態學提升偵測成果之品質。為克服影像中房屋高差移位之問題，三維房屋模型建議可使用高程資料配合深度學習技術自動化產製；在道路標線偵測，細分道路類別可能造成過度分割，故建議道路標線偵測建議同時建立3種類別及14種類別的偵測模型。
2. 點雲資料前處理時，可以針對點雲做更完善的資料劃分，將圖幅內的點雲依坐標細分成更多檔案，之後polygon即能更有效率、快速的找到點雲資料，而不用將圖幅內的所有點雲資料都一一進行判斷與分析。
3. 道路高程處理時，為使道路兩側高度看起來一致，可以加入道路中心線資料進行輔助判斷。首先以道路中心線進行點雲資料的高度分析，為了視覺上的美觀，亦可在此進行中心線高程的平滑處理。最後，分析道路polygon與鄰近的道路中心線高程資料，產製更合理的道路高程模型。
4. 內政部國土測繪中心未來也將持續執行三維建物模型更新以及三維道路模型建置等專案，建議持續依據執行狀況精進技術文件指引，並且持續關注三維地形圖資測製技術，納入技術文件指引中。
5. 三維地形圖資已開始有全台範圍的項目進行建置，未來可以依據實際執行狀況評估建置成本。另外更重要的是三維地形圖資之應用以及成果效益，三維地形圖資仍處於起步發展階段，建議需多加推廣找出實際應用方向。
6. 由於本年度物聯網工作項目重點在於三維室內圖資與物聯網整合，室內定位不在本工作項目研究範圍。但室內定位對於「室內即時火災逃生路徑規劃」應用有極大的幫助，使用者自動取得自身所在位置能為使用者爭取逃生時間。建議未來將室內定位技術，例如物聯網無線通訊協定定位、5G室內定位，加入「室內即時火災逃生路徑規劃」應用中。

### 參考文獻

1. 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.
2. Teo, T.A., Chen, L.C., Liu, J.K., and Hsu, W.C., 2005. Building reconstruction from LIDAR data using iterative regularization approach, *Proceedings of Asian Conference on Remote Sensing*, Nov. 7-11, Hanoi, Vietnam, CD-ROM.