

## 戰場環境資訊測繪與應用－以城鎮戰為例

### Mapping and Application of Geo-spatial Information for Battlefield Environment in Township Scale

羅永昇\*  
Yung-Sheng Lo

王明志\*\*  
Ming-Chih Wang

#### 摘要

基於現代化戰爭中，隨著戰爭型態不斷的改變，戰場環境資訊獲取顯得日漸重要，未來台灣所面臨的作戰型態，將是以「防衛固守」為目標的城鎮防禦作戰，因此，國軍亦將城鎮作戰列為模擬演練之重點。然而為了有效在城鎮戰場取得地形、地物的空間資訊及其分析，本研究將利用三維(3D)GIS 技術，以航空數位影像及攝影測量為理論基礎，運用數值高程模型、紋理映射、圖層套疊及拓樸關係的電腦幾何建構模式，建構仿真的城鎮戰場平台。同時利用 GIS 可視域分析模式，結合城鎮作戰準則，進行戰場空間評估分析，可迅速提供指揮者利用模擬 3D 戰場環境，評估兵力或武器部署之作戰決策。

#### ABSTRACT

In modern war, with the war type changing constantly, it is important day by day to obtain environment information in battle fields. The operational challenges that Taiwan Military units are facing in the future will be fighting for urban defenses. Consequently Taiwan Department of Defense has classified urban operation simulation and drill as the focal point. But in order to obtain topographic information, surface features and analysis in the urban battle field effectively, this research utilized 3D GIS technology with the aerial digital images, photogrammetry as the theoretical foundation, and Digital Elevation Model, texture, layers of digital maps and topology of computer geometry to build the platform for urban battle fields. Using viewed analysis model in GIS and the urban operation rules for preceding the battle field assessment commanders can be provided rapidly the 3D battle field environment information to

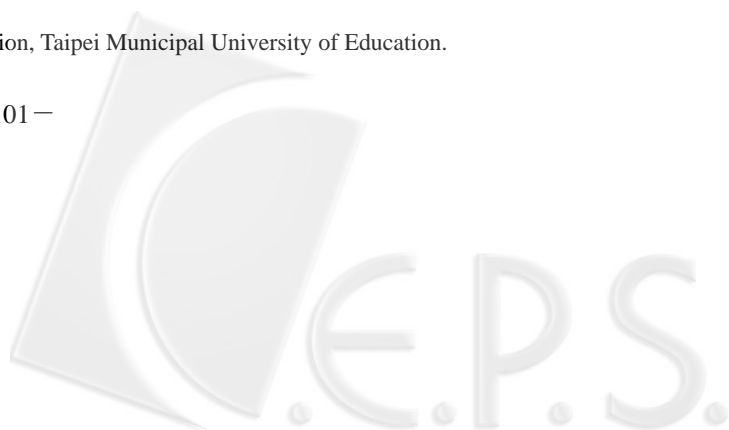
---

\*國防部軍備局生產製造中心第四〇二廠

402th plant, Armaments Bureau, M. N. D.

\*\*台北市立教育大學社會科教育學系助理教授

Assistant Professor, Department of Social Studies Education, Taipei Municipal University of Education.



make decision of armed deployment.

### 關鍵詞

### Key Words

數值高程模型	DEM
紋理映射	Texture reflection
視域分析	Viewed Analysis
三維地理資訊系統	3D GIS

## 一、前言

前國防部副部長林中斌先生曾預判未來台海作戰爆發，共軍登陸後將勢必陷入台灣綿延不斷之水泥叢林(即都市樓房)，城鎮戰將是未來台澎防衛作戰不可避免的作戰型態，而且在敵大我小的戰略形勢下，知己知彼乃是達成作戰致勝的先決條件。在作戰中，能夠掌握戰場資訊的一方就能掌握先機，戰場資訊的多寡與良窳往往比兵力的多寡和武器的優劣對戰爭過程的影響更大，因此建構數位化城鎮，整合地理資訊，已成為發展城鎮作戰之必要手段。若我軍能掌握城鎮作戰之空間資訊，利用地形熟悉與地勢複雜之優勢，必能進而牽制登陸敵軍，最終達成「有效嚇阻、防衛固守」的戰略目標。

近年來三維(3D)GIS 技術日趨成熟，加上航照及衛照影像的品質精進，尤其在 3D 模型的應用範圍也越來越廣，例如：校園景點導覽、淹水監控、災區救援等...。3D GIS 技術不同以往的二維(2D)資訊管理、顯示查詢的基本功能，所得到的是 2D GIS 在空間上無法表達的資訊。因此，3D GIS 在 3D 戰場環境的研究、建立與應用，要如何精確地建構仿真戰場，有效取得地形、地物的空間資訊及其分析，不僅為作戰方案及評估戰場環境提供嶄新技術，也為軍事訓練提供新思維。

基於上述動機，本研究期望能藉由 3D 建模技術結合數值航測影像的測繪，展現仿真的城鎮三維景觀，並以此場景作為城鎮作戰空間分析之基礎，提供指揮者作戰模擬、演訓決策之參考。再者，筆者為國防部軍備局生產製造中心第四〇二廠派職進修學員，第四〇二廠主要是生產觀測與射控相關之軍事裝備，包含：望遠鏡、夜視鏡、熱像儀、各類槍砲瞄準鏡等；城鎮作戰中，觀測及射擊為影響作戰因素之一，因此對於本研究將可提供觀測射擊方面的考量，以其有效的觀測射擊範圍結合作戰情蒐、監視之需求，掌握敵情，進而部署兵力，擬定作戰策略。綜合上述擬定研究目的如下：

1. 利用 3D 建模技術模擬城鎮戰場環境：將戰場環境中影像、地形、地物特徵等型態，藉由數值製圖技術，建構戰場環境資訊平台。



2. 城鎮作戰準則推演模擬：將建構完成的 3D 戰場模型，藉由 GIS 軟體分析及模擬空間資訊，並結合準則推演情境與驗證實效，俾提供指揮者掌握戰場資訊，下達作戰決策。

## 二、研究方法與流程

本研究是以航測數值影像及其相關理論為基礎，結合 3D 建模技術，運用數值高程模型、紋理映射、圖層套疊及拓撲關係的電腦幾何建構模式等，建構仿真城市，作為戰場環境之平台；利用航空攝影測量影像得到的高程資料、紋理資訊及拓撲關係能夠對建築物提供較高的三維重建精度，它是目前城市 3D 資訊獲取最主要的手段之一。建構完成之戰場模型再以 GIS 地形分析因子為條件，進行戰場空間的評估分析，將仿真情景進行作戰模擬與推演，以驗證 3D 戰場對國軍作戰演訓之適切性。本研究流程如下圖 1 所示。

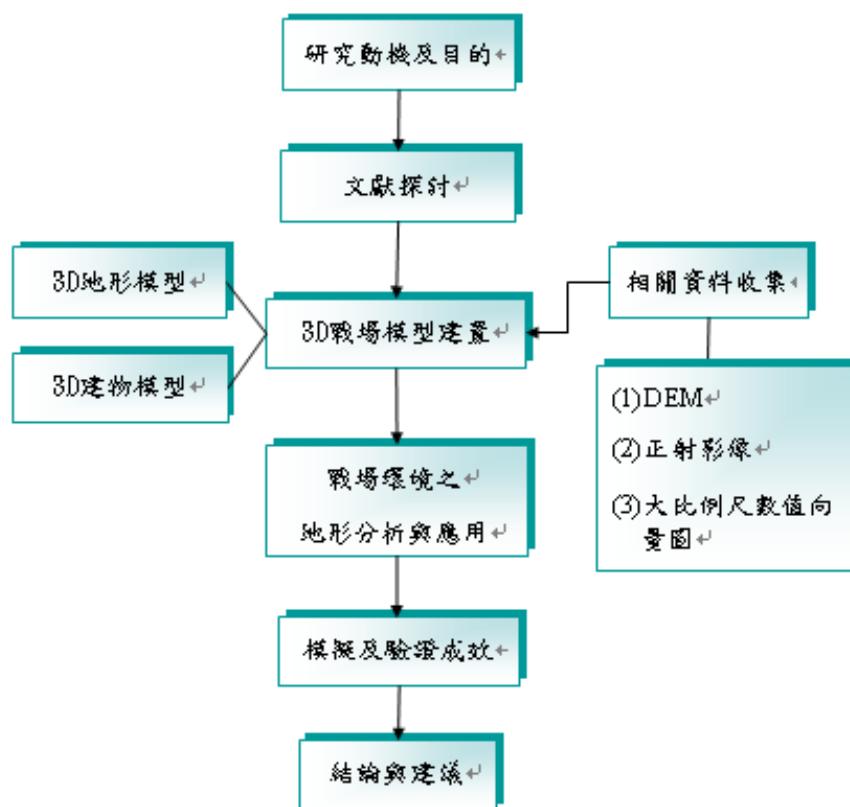


圖 1. 研究流程圖

### 三、研究區域與圖資處理

#### (一) 選定研究區域

從城鎮的發展形狀、行政劃分、規模大小等不同的結構性質，對於軍事防衛作戰上會有不同的推演模式，本研究以建築物分佈最密集的台北市作為研究區域，考量的因素包含圖資獲取、城鎮規模、實作的方便性、共軍可能犯台的模式等。然而對於大範圍城市的 3D 建模須花費較多的時間，也因此選擇以台北市信義區的興隆里、正和里、西村里為實作範圍，以縮減在牆面紋理拍攝所花費的時間，研究區域如圖 2 所示。



圖 2. 研究區域圖

#### (二) 圖資處理

從文獻探討對於 3D 建模所需的圖資包含：正射影像、DEM、大比例尺數值地形圖，本研究現有圖資主要項目如下：

- 全台 1/5000 正射航照影像 759 幅。
- 全台 40M 平面解析度規則網格 DEM。
- 台北市 1/1000 數值向量圖(dxg 檔)。

##### 1. 圖幅鑲嵌

在影像鑲嵌是利用 ESRI 公司所出版的 ArcGIS 軟體之 ArcMap 來處理，將本研究區域台北地區 1/5000 正射影像載入，經由軟體工具編修完成圖幅的鑲嵌(如圖 3)。

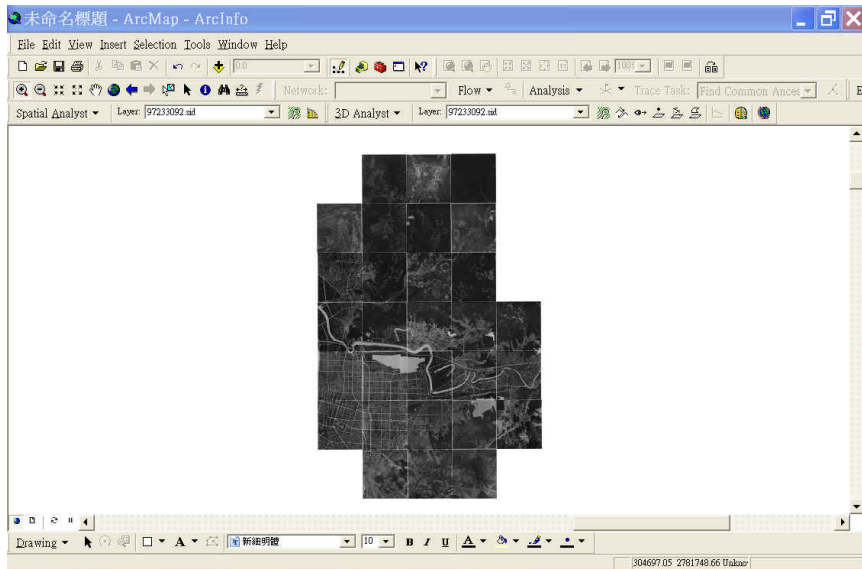


圖 3. 圖幅鑲嵌

## 2. DEM 資料格式處理

台灣地區數值地形模型資料」乃由行政院農業委員會委託林務局農林航空測量所測製，採用解析航測法在航照立體相對上數化高程點，以每 40x40 公尺等間距的規則網格取樣，產生之 DTM 資料以五千分之一基本圖幅分檔。

本研究現有的 DEM 資料格式為 IMG 格式，它是以一種 EARDAS 影像檔的格式儲存，包括 400 位元組的檔頭及隨後的高程值儲存，目前，國家數值高程模型也是以此種格式儲存。由於 DEM 的格式不同，必須符合軟體讀取格式，可以藉由程式執行格式轉換，而本研究使用的 Skyline TerraBuilder 可以讀取 IMG 格式，因此不必進行格式轉換，將 DEM 資料直接載入軟體即可與影像進行套疊。

## 3. 圖層套疊之坐標轉換

有關圖層的套疊最重要的就是坐標轉換問題，由於獲得的圖資坐標系統並不一致，須將其統一，方能使彼此的位置套疊。現有的圖資中正射航照影像為 TWD97 坐標系統，台北市 1/1000 數值向量圖為 TWD67 坐標系統，兩坐標系統的關係如表 1 所示。

表 1. TWD67 與 TWD97 坐標系統比較

項目 \ 坐標系統	TWD67 (虎子山坐標系統)	TWD97 (1997臺灣大地基準)
參考橢球體	GRS67	GRS80
長軸 a	6,378,160	6,378,137
扁率 f	1/298.247167427	1/298.257222101
測量觀測技術	三角三邊	GPS測量
坐標起始原點	虎子山	ITRF 框標站
起始點坐標來源	天文測量	太空大地測量技術
坐標系統型式	區域	全球
主要坐標分量	平面	三維
高程種類	正高	橢球高(幾何高)

TWD97 與 TWD67 坐標系統間的參考橢球體、大地基準不同，只要轉換參數可以確定，就可以在兩組坐標系統內進行適當之演算程序進行坐標轉換。本研究在建物模型的建置中，須對正射航照影像與台北市 1/1000 數值向量圖實施圖層套疊，而彼此坐標參數轉換方法則於第四章說明。

## 四、3D 戰場模型建置

### (一) 3D 地形模型製作

#### 1. 紋理映射原理

紋理可區分為 2D 紋理、3D 紋理和幾何紋理。其中，3D 紋理和幾何紋理是以過程定義的形式來儲存和管理，而 2D 紋理則是以數值或影像的形式來儲存和管理。GIS 可視化過程的地形影像及單一建物表面的紋理影像皆屬於 2D 紋理範疇。

地形影像紋理映射是 2D 的顏色矩陣( $u, v$ )與 3D 的幾何區域( $x, y, z$ )的對應。物像空間上某一幾何區域或景物的尺寸為  $h$ ，離視點的距離為  $d$ ，投影面離視點的距離為  $f$ 。則區域或景物投影到投影面上的尺寸  $\delta$  為：

$$\delta = \frac{f}{d} h \quad (4.1)$$





若投影面就是電腦的屏幕，且大小比例為 1:1，則  $\delta$  為區域或景物投影到屏幕上佔用的像素數目(等於  $\delta$  除以單位像素的寬度)。區域或景物的幾何外形在屏幕上成像之後，就需要將其紋理映射到屏幕上對應位置。不同解析度的紋理對應的區域進行映射時，紋理的單位像素所對應的實際尺寸是不一樣的。此時，由於紋理解析度的不同，以及屏幕解析度與紋理解析度的不同，屏幕上一個像素可能相當於紋理的一個或多個像素。

地形的幾何描述是基於 TIN 或 Grid，地面建物的輪廓描述也是基於 TIN 行成多面體。因此，紋理映射實質上是將紋理分別映射到由 TIN 或 Grid 組成的多邊形區域上。當多邊形區域邊界與紋理的圖案邊界不一一對應關係時，需要用多邊形區域邊界對紋理圖案進行裁剪。裁剪算法如下：

- a. 將多邊形的一個頂點平移到坐標原點。
- b. 將多邊形的某一條邊旋轉到與  $x$  軸重合。
- c. 將多邊形繞  $x$  軸旋轉，使其變換到  $z = 0$  的平面上。
- d. 計算變換後多邊形的矩形包圍框及其坐標  $(x_{\max}, x_{\min}, y_{\max}, y_{\min})$ 。
- e. 確定以矩形包圍框到紋理空間的映射函數：

$$s = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, \quad t = \frac{y - y_{\min}}{y_{\max} - y_{\min}} \quad (0 \leq s, t \leq 1) \quad (4.2)$$

- f. 將紋理空間變換為單位空間： $s' = 0 \sim 1, t' = 0 \sim 1$  ( $s'$  平行於  $x$  軸， $t'$  平行於  $y$  軸)。
- g. 根據映射函數，令  $(s, t)$  與  $(s', t')$  形成一一對應關係，對多邊形上的點逐個進行紋理採樣，完成多邊形對紋理的裁剪。

## 2. 研究區地形模型製作

從以上的原理及方法，我們以 TerraBuilder 軟體將研究地區台北市的正射影像與相對應的 DEM 作套疊如圖 4，融合成的地形檔(\*.MPT 檔)儲存於地形資料庫中，其製作流程如圖 5，製作完成的 3D 地形模型(如圖 6)具有高低起伏，讓地形景觀更具真實感。

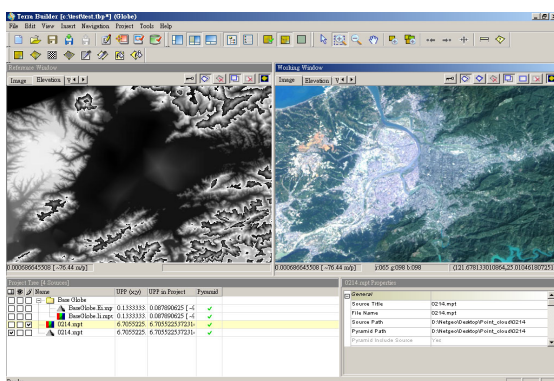


圖 4. 影像與 DEM 套疊處理

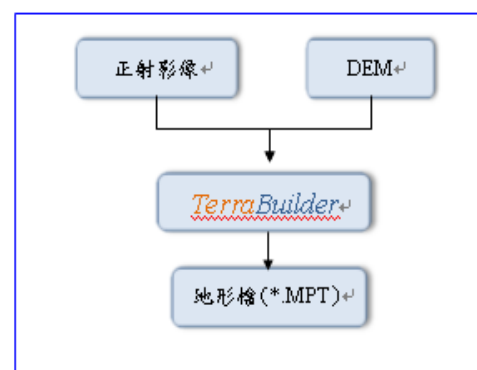


圖 5. 地形模型製作流程圖





圖 6. 研究區地形模型

## (二) 3D 建物模型製作

### 1. 製作方法流程

3D 城鎮的建模中最主要的地物就是建物，從陳良健、張智安、饒見有「運用空載數位影像及大比例尺數值地形圖產製三維房屋模型」了解在大範圍的建物塑模時較實際的做法都是配合航遙測影像資料或整合大比例尺建物數值地形圖，隨著資料的不同，採取的建物模型重建策略也有所不同。因此，本研究乃利用數值航照產生立體像對，以數值量測房屋結構線所得到的大比例尺數值建物圖包含高程資料，來重建房屋三維幾何模型，其製作之步驟流程如圖 7。

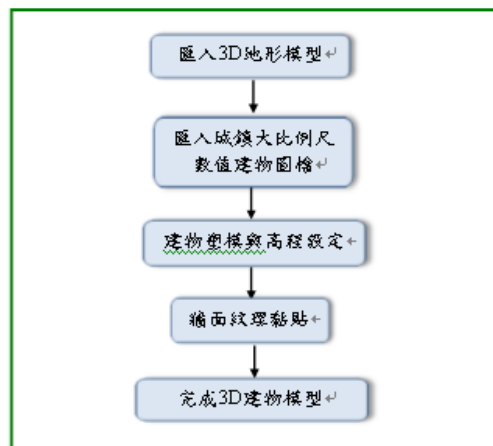


圖 7. 研究區建物模型製作步驟流程



## 2. 軟體平台

3D 場景的呈現須仰賴建構 3D 模型的平台，此平台須可採集建築物的 3D 空間坐標，並具有自動建立結構模型、自動提取建築物紋理及進行紋理黏貼等功能。因此，本實驗是採用 Skyline Terra Explorer Pro v5.0 版(STEP)來進行 3D 模型的建置。

## 3. 匯入地形模型與數值建物向量圖

因研究區域含有複雜且密集的建物，爲了節省人工量測建物結構線所花費的時間，本研究採用該地區實測完成之一千分之一數值地形圖之建物向量資料，作爲建物的三維結構線。

首先透過軟體匯入先前製作完成的三維地形模型，再匯入數值建物向量圖，在匯入的過程中，因三維地形模型的坐標系統爲 TWD97，而數值建物向量圖爲 TWD67 坐標系統，須注意到兩者坐標系統之轉換；然而本軟體在匯入圖層的過程中有坐標系統轉換之功能如圖 8，使得匯入之建物圖層經過坐標轉換後可以套疊到地形模型上，如圖 9 藍色線段所示。

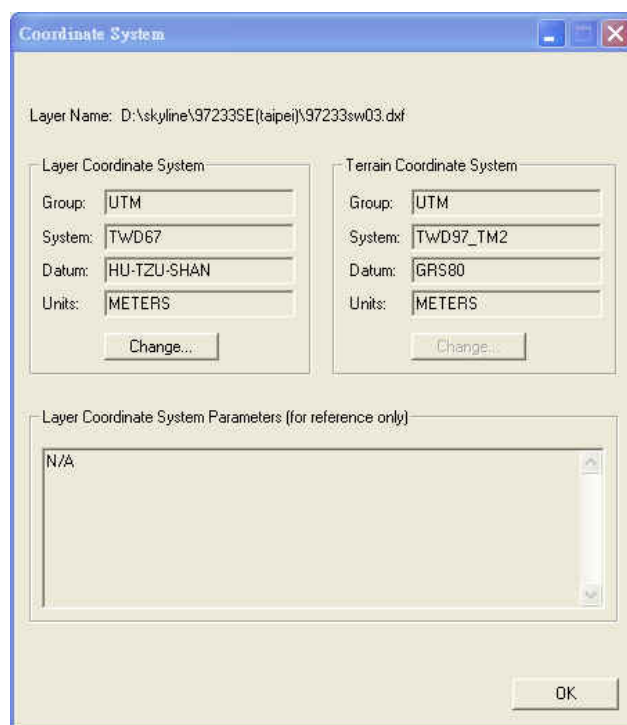


圖 8. 坐標系統轉換

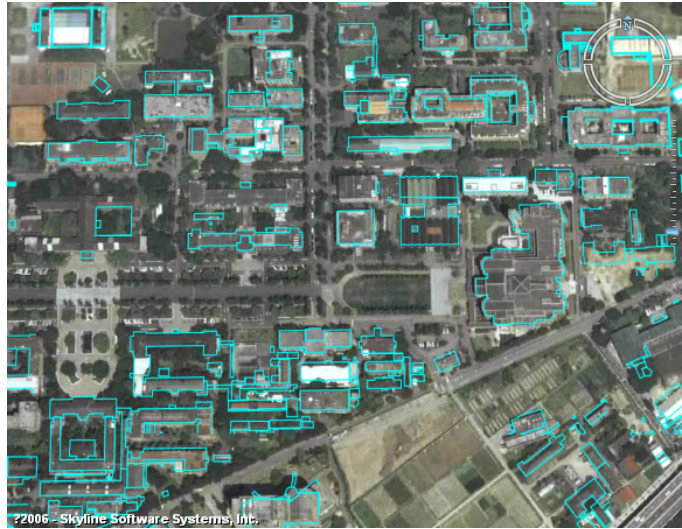


圖 9. 建物向量圖與地形模型套疊後之影像

然後我們可藉由地形影像位置來校正相對應的建物區塊，如果位置有偏離的建物區塊可單一或區域的作微調修正，使得房屋區塊的位置更精確地套合在影像上。

#### 4. 建物塑模與高程設定

經由建物圖層與影像位置的校正後，匯出校正後建物圖檔存成 shp 檔，再重新將建物圖檔匯入，此時我們可由建物數值向量資料中載入建物的高程資料，並由軟體對二維平面的結構線轉成三維結構體的功能，建置成沒有紋理貼面的 3D 建物模型如圖 10 所示。

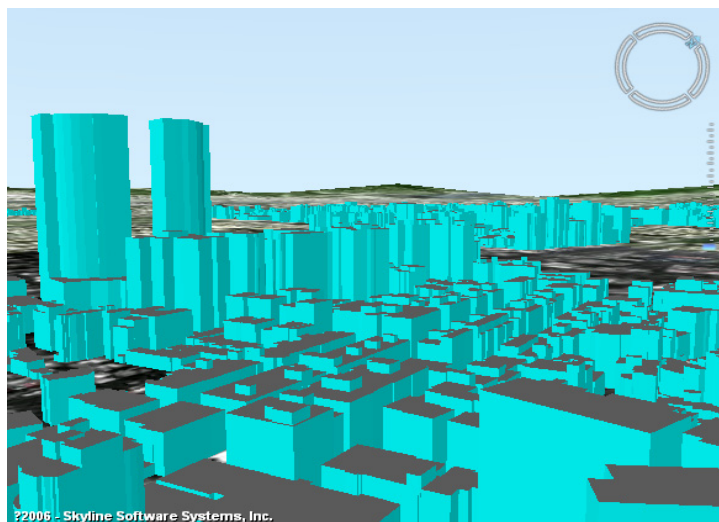


圖 10. 沒有紋理貼面的 3D 建物模型

## 5. 牆面紋理黏貼

製作建物牆面紋理貼圖的方法有兩種，第一種是以軟體內建的虛擬牆面圖案來黏貼，其製作過程容易，但效果不夠逼真；第二種方法是到現場拍攝實景影像，但所需花費的時間也較多。本研究為求得城鎮場景的逼真，減少花費太多的時間在紋理拍攝及處理，採取折衷的做法，對具特色外觀之建物或地標作紋理的拍攝黏貼，其餘像一般民宅則採用軟體內建之紋理來黏貼，完成建構之 3D 城鎮模型成果如圖 11。



圖 11. 3D 城鎮模型

## 五、分析與模擬

### (一) 城鎮地形分析運用

#### 1. 觀測與射擊

觀測與射擊乃是地形對作戰的主要考量因素之一，觀測及射擊包括運用目視及光學器材(例如：槍砲瞄準鏡、雷射測距儀等)的通視距離，地面觀測運用「水平通視距離」；空中觀測運用「垂直通視距離」或「傾斜通視距離」，其中傾斜通視距離分析有助於防砲武器部署、著陸區及空降場等位置的選擇，並可運用觀測盲點避開敵空中偵查。

城鎮作戰中，近在咫尺的建築物遮蔽了視線，致使視界和射界受限，存在大量觀察和射擊死角，不便實施偵察、觀測與發揚火力。本研究針對觀測與射擊在城鎮作戰的限制，藉由 GIS 視域分析功能，對於觀測與射擊可視範圍，提供決策者預判敵接近路線、主要接敵地區、火力支援等，作為偵查器材設置、兵(火)力部署之選擇。

## 2. 通視分析原理

地表某點的可視範圍在通信、軍事的應用有著重要的意義，通視分析也稱可視域分析，區分為兩點之間的通視性分析及某點的可視域分析兩類，其算法有剖面法和射線追蹤法。

### I. 剖面法

剖面法基本分為以下三步驟：

- a. 確定通過兩點並與 XY 平面垂直的剖面 S。
- b. 求出地形模型中與剖面 S 相交的所有 DEM 網格邊。
- c. 判斷相交的網格邊是否位於兩點連線之上，如果有至少一條邊在其上，則兩點不可通視；反之則通視。

### II. 射線追蹤法

射線追蹤法是以其中一個點開始，延兩點連線(射線)方向計算地形模型中與連線相交的第一個面元。如果該面元存在，則兩點不可通視；反之則通視。該法還可用於觀測點的水平可視範圍(射線為水平方向)計算和空間搜索範圍(射線為 $-90^{\circ} \sim +90^{\circ}$ )計算。

實際應用中，往往要求考慮各類地面建築物的高度及觀測儀器的高度(或人的身高)等因素對通視性的影響。此時，通視算法須作修正如圖 12 所示，樹冠遮擋距離計算公式為：

$$D_2 = \frac{A_3 - (A_1 + h_1)}{(A_2 + h_2) - (A_1 + h_1)} \times D_1 \quad (5.1)$$

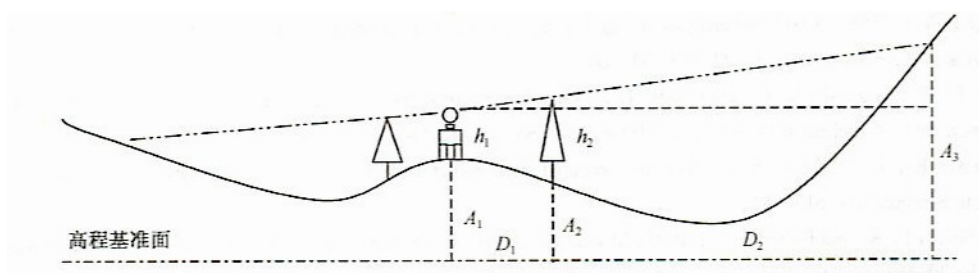


圖 12. 通視計算示意圖

## 3. 視域分析參數設定

視域分析(Viewshed)即為視線分析(Line of Sight)的 $360^{\circ}$ 面域分析，而射域分析即為視域分析之應用[16]。本研究以 STEP 軟體實施視域分析，其參數設定如圖 13，主要參數有 5 個如下：

(1)(X,Y)－位置



- (2)Altitude－觀測者(儀器)的高度
- (3)Field of view－視場
- (4)Direction－方位
- (5)Distance－距離

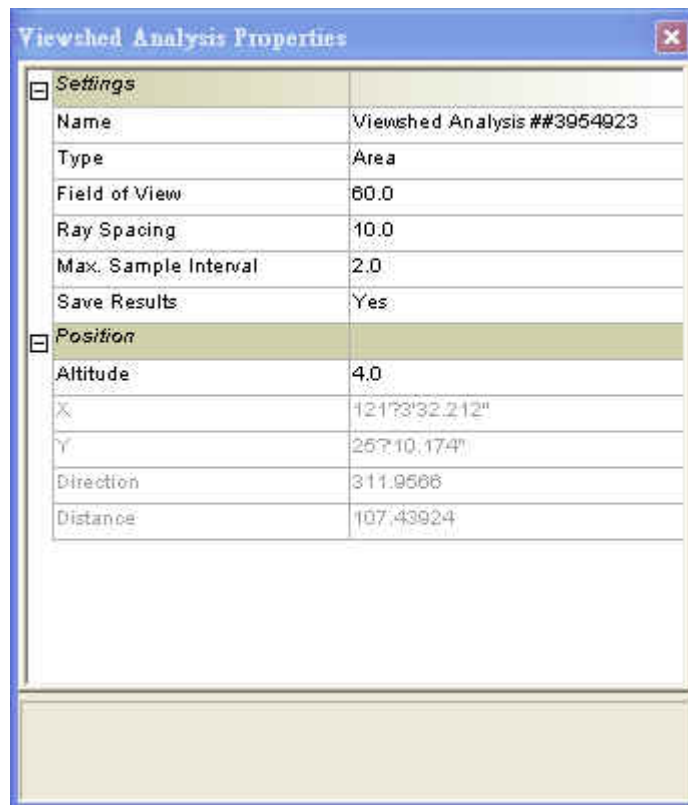


圖 13. 視域分析參數設定

## (二) 案例模擬


利用視域分析可應用於城鎮作戰偵查點或武器載台之位置部署，以了解此觀測(射擊)點可通視(攻擊)範圍，參數設定時，其操作模式步驟為：

1. 載入三維城鎮模型。
2. 決定偵查器材或火力部署之位置(X,Y)。
3. 輸入偵查器材或火力部署之高度(Altitude)。
4. 輸入偵查器材或槍砲瞄準鏡之視場(Field of view)。
5. 目標方位(Direction)確定。



6. 設定偵查器材或火力最大觀測(射擊)距離(Distance)。


依照上述操作模式及步驟，案例模擬設定為建築物上部署監偵設備，監視敵軍接近路線為例，所使用之裝備以軍備局生產製造中心第四〇二廠所生產的「手持熱像儀」(如圖 14)，以其觀測性能作為參數之設定。其中該裝備使用方式為手持或架設腳架等同於一般人高度；因此，參數之高度(Altitude)設定為 1.7 公尺，其餘參數均按照該裝備之性能設定，所獲得的分析成果如圖 15 所示。



**TS91 式手持熱像儀**

本設備是一種獨立完整的輕便型、全天候使用之觀測設備，可作為單兵手持，亦可架設於三腳架或載具上使用。利用偵測目標物所發出之熱輻射，即時成像，可於日間、夜間、全地或極端環境等(全天候)環境下進行遠距離之觀察，具有中文介面之全功能顯示器(OSD)，方便操作者使用。本設備可配合本廠T177A型夜視望遠鏡使用，成為全天候遠距離目標偵察系統。

諸元	
工作波段	中波紅外線(3-5 μm)
檢和器	320X256焦面陣列
物鏡組	f/4.0電動雙視角鏡頭
倍率	光學3倍數位2倍
視場	寬視角9X6度、窄視角3X2度
聚焦範圍	20公尺至無窮遠
目鏡組	雙目鏡內建LCD顯示器
開機所需時間	8分鐘@23°C
電源	12VDC充電電池或外接電源
觀測距離	辨視(人/車):1000/2500公尺 監視(人/車):2500/6000公尺
重量	3000公克
操作溫度	-10至50°C



國防部軍備局 第四〇二廠  
生產製造中心  
TEL:886-4-2212-1572 886-4-2211-2423 886-4-2211-2660

圖 14. 手持熱像儀及其規格

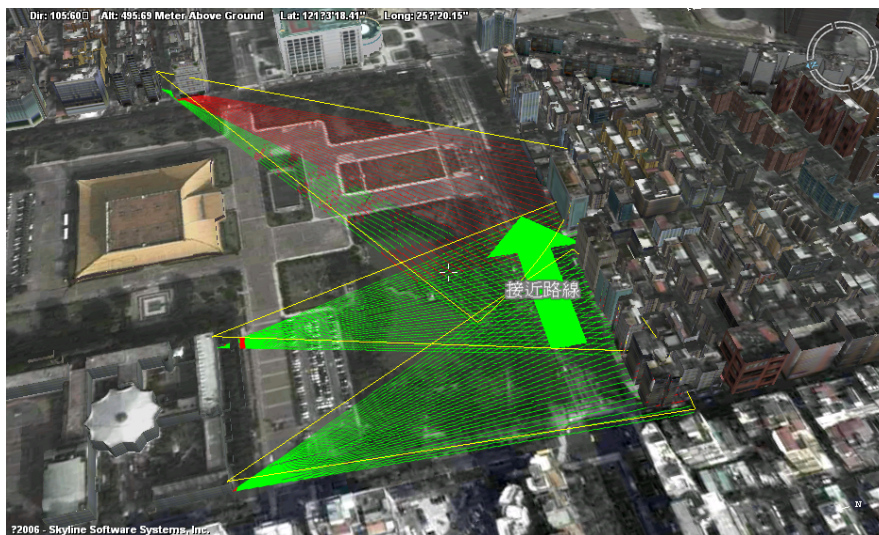


圖 15. 分析測試成果



從分析測試成果圖中可以得到，綠色斜線代表可視範圍，紅色斜線代表不可視範圍，當可視域區塊綠色所占的面積越大，代表該點的可視範圍越大；因此要選擇監偵器材部署的最佳位置，可進行多點對目標物的可視域分析，以求取最大可視面積區塊，指揮者只要透過分析結果，即可對部署位置作出最佳決策。

## 六、結論與建議

1. 透過通視分析成果，3D 模擬相對於 2D 的呈現，讓使用者具體的了解可視範圍的分佈，對軍事兵力載具部署而言，更能簡單的從分析結果，依照作戰需求作出決策。
2. 本研究所作的案例模擬為靜態展現，在仿真軍事演練環境中，若能加入動態物件，如移動的士兵、戰車、飛機等，展現軍事聯合作戰的空間環境模擬，將能使數位戰場更為真實化，達到軍事演練之成效。
3. 在模擬作戰環境上，以當前部隊的武器系統性能、陣地配置要求、作戰戰術原則為基礎；實施軍事戰術推演，可不受地域的限制，達到節省兵力及部署時間。

## 參考文獻

1. 吳奇勳(2005)：“ASTER 與 SRTM 產製之 DTM 資料融合之研究”，國防大學中正理工學院碩士論文，16 頁。
2. 許朝安、黎驥文、張本地(2005)：“作戰地形資訊系統架構分析與雛型系統開發”，國防大學中正理工學院碩士論文，第 68-75 頁。
3. 陳良健，張智安(2007)：饒見有，“運用空載數位影像及大比例尺數值地形圖產製三維房屋模型”，成功大學碩士論文，1 頁。
4. 陳祿保(2006)：“美軍城鎮戰戰術、戰法之研究—以步兵旅、營階層為例”，國防雜誌，第二十一卷，第六期，115 頁。
5. 陸軍總司令部(2004)：戰場情報準備結合指參作業程序。
6. 軍備局生產製造中心第四〇二廠：“TS91 式手持熱像儀型錄”。
7. 吳立新、史文中(2003)：地理信息系統原理與算法，科學出版社，北京，第 1-419 頁。
8. 湯福昌(2004)：“軍事測繪在城鎮作戰之運用—論數位化城鎮之建構”，碩士論文，第 1-10 頁。
9. 饒見有(2007)：“地理資訊新紀元數碼城市”，科學發展，第 416 期，25 頁。
10. <http://www.csrnr.ncu.edu.tw/chin.ver/c5query/dtm.php>。

收件日期：97.07.25

修正日期：97.08.11

接受日期：97.08.22

