

運用三維地理資訊系統整合空載傾斜攝影影像 Integrating Aerial Oblique Photography with 3D GIS

廖玄銘*

饒見有**

任念志***

楊素容****

Hsiung-Ming Liao Jiann-Yeou Rau Nien-Chih Jen Su-Jung Yang

摘要

傳統的地理資訊系統，主要使用二維地圖作為介面，以抽象的符號來展示空間資訊，且大部分的圖像都經過正射處理，使用者觀看的視角是在空中向下俯視，因此僅能獲得單一面向的資訊。近年來隨著科技的進步、Google Earth 與 Virtual Earth 的問世，讓三維地理資訊系統的應用大幅提升，越來越多系統建置在三維空間的基礎下，地理資訊系統也逐步朝向三維立體的架構發展。

而空載設備與定位系統(GPS、INS)的進步，使得空載傾斜攝影逐漸被應用於救災應用、大範圍房屋牆面紋理的獲得、軍事情報的蒐集、土地利用調查及變遷監測等領域。然而運用傳統航空攝影測量技術，直接將單幅式空載傾斜攝影影像投影到地面，影像將受到嚴重的扭曲變形。為了避免影像的扭曲變形，本研究利用共線條件式，結合影像的外方位參數，解算出每張空載傾斜攝影的在空間中的位置，過程中無須經過費時的影像處理步驟，便能直接在三維平台中呈現傾斜攝影影像。

在此平台中，使用者的視角將不只侷限於向下俯視，利用可操控的傾斜視角，使用者可以在三維平台中觀看不同方位的影像，進而從四面八方觀察單一地標，獲得最完整的資訊。藉由三維地理資訊系統整合傾斜攝影影像，將提供使用者更直覺化、視覺化的 GIS 介面，而其中免去影像正射化的過程，並保持影像的完整性，更可以增進救災與防災規劃等應用的效率，以最快的速度獲取所需之影像資訊。

關鍵字：三維地理資訊系統、空載傾斜攝影、直接定位系統

Abstract

Traditional GIS interfaces comprise of two-dimensional maps and use abstract symbols to display spatial information. To compound, the majority of the images have been orthorectified, presupposing the viewer's perspective to be aerial, thus are only able to obtain information of buildings. As information technology advances, Google Earth and Virtual Earth were developed, and the use of three-dimensional geographic

*中央研究院人文社會科學研究中心地理資訊科學研究專題中心研究助技師

**國立成功大學測量及空間資訊學系助理教授

***藏識科技有限公司總經理

****中央研究院人文社會科學研究中心地理資訊科學研究專題中心專案管理師

system applications has dramatically accelerated. Gradually, more systems are built on the basis of a three-dimensional space. Thus, GIS is progressing towards the development of a 3D structure.

In terms of the development of GPS and INS equipment, airborne digital cameras are now widely used, not only for land coverage and change detection, but also in disaster prevention. However, if the aerial photo is projected directly towards the ground, there will be serious distortions. In this study, the exterior orientation parameters are introduced into the collinearity equations, in order to transform the point form the image system to the ground system, which in turn allows direct display of the aerial photo on the 3D GIS platform, without having to go through image correction processes.

In this 3D GIS platform, users are able to control the tilt angle, thus the perspective will not be limited to only looking straight down, but also in different directions, then from a single landmark, observe from various directions to obtain more complete and wholesome information. The results of this study show that aerial photos have been successfully integrated onto the 3D GIS platform. The entire plan can allow users to more efficiently apply aerial photos in a variety of situations, such as disaster prevention and relief, and also compare them with historical images.

Keywords : 3D GIS, airborne digital camera, direct georeferencing system

前 言

傳統的地理資訊系統，主要使用二維地圖作為介面，以抽象的符號來展示空間資訊，且大部分的圖像都經過正射處理，使用者觀看的視角是在空中向下俯視，因此僅能獲得單一面向的資訊。近年來隨著科技的進步、Google Earth 與 Virtual Earth 的問世，讓三維地理資訊系統的應用大幅提升，越來越多系統建置在三維空間的基礎下，而如何獲取三維空間資料也逐漸被大眾所關注(溫宗翰,2003;Eugster and Nebikerm,2008; Hyung etal,2010)，地理資訊系統逐步朝向三維立體的架構發展。

空載影像具有能快速獲取大範圍地區的影像及高空間解析度等優點，故被廣泛的應用於各大領域，如防災規劃、都市設計與規劃、都市建模、軍事情報蒐集、土地利用調查及變遷監測等。近年來 Google maps 與 Bing maps 也推出了空載傾斜影像的地圖服務，提供使用者更多元的視角觀察世界，而 Pictometry 公司也運用傾斜影像建立具有量測功能的三維環境，顯示出空載傾斜攝影技術正逐漸受到各界重視。

以往當空載設備完成校正後(Bäumker and Heimes,2001; Cramer,2002;饒見有 et al,2010)，在使用空載傾斜攝影影像進行應用前，需要先將空載傾斜攝影影像與地圖或地面資訊進行套合，傳統上使用人工點選控制點方式的進行校正、套合，由於空載傾斜攝影為透視投影，因此校正的過程中，往往需要經過學習後才能快速又精準的點選控制點，不僅需要大量人力，且作業時間較長。而隨著全球定位系統(GPS) 和慣性導航系統(INS)設備的進步與普及，空載傾斜攝影影像的外方位參數不必經由控制點資訊求解，可直接透過 GPS 與 INS 得到，Eugster 和 Nebikerm(2009)即在小型 UAV 配備上搭載 IMU 和 GPS，藉此獲得飛行的姿態和位置。為了能快速的展示空載傾斜攝影的拍照成果與範圍，以利空載影像的後續應用，本研究針對附有 GPS 和 INS 的空載設備所拍攝出的空載傾斜攝影影像，討論

如何直接在三維平台中呈現傾斜攝影影像，而過程中無須經過費時的影像處理步驟。

研究內容

本研究針對空載傾斜攝影影像於三維平台上之自動套合分為三部分討論，第一部分將討論如何計算空載傾斜攝影影像拍攝時所涵蓋的地面範圍。第二部分則是將空載傾斜攝影影像透過方位參數的計算，不需經由傳統校正程序而直接套疊於三維平台上。最後為了能在三維系統中快速的搜尋、管理空載傾斜攝影影像，進行相關的演算法功能開發。

(一)、 空載傾斜攝影影像拍攝時所涵蓋的地面範圍計算

首先界定空載傾斜攝影類型，若依照設備拍攝方式，可以分成兩大類

1. 連續性空載傾斜攝影(Continuous Oblique)

以推掃式拍攝(Push Brooming)空載傾斜攝影，例如 Leica ADS 40 航測系統中前傾影像及後傾影像(如圖 1、圖 2)。

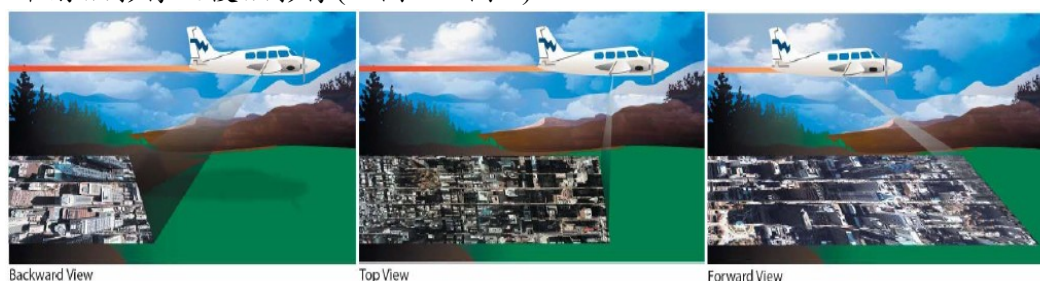


圖 1 Leica ADS 40 航測系統不同視角拍攝方式，圖片來源: ESRI,2006。

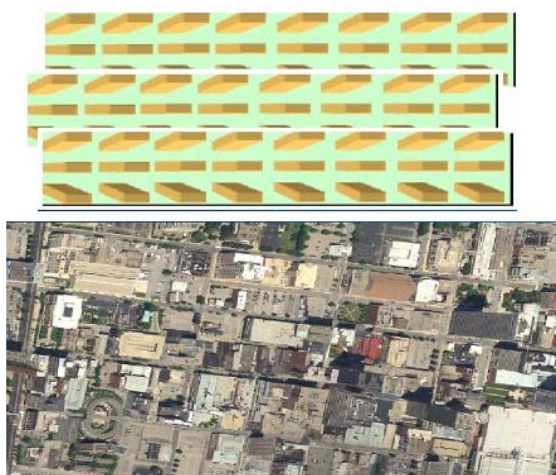


圖 2 連續性空載傾斜攝影成像是條狀影像，圖片來源: ESRI,2006。

2. 單幅式空載傾斜攝影(frame captured oblique)

以數位相機單幅式拍攝之空載傾斜攝影(如圖 3)，本文研究的對象是單幅式空載傾斜攝影影像，且影像相對於地面的傾角大，若運用傳統航空攝影測量技術，直接將單幅式空載傾斜攝影影像投影到地面，會造成很大的影像扭曲變形。

單幅式空載傾斜攝影影像本身縮放與影像之間轉換，存在很多技術上的限制，解決方式是在 3D GIS 環境下，利用共線條件式(collinearity equations，圖 4)進行解算求解影像空間與物空間相互關聯性，但需要針對單幅式空載傾斜攝影影像發展特殊的演算法與軟體功能。

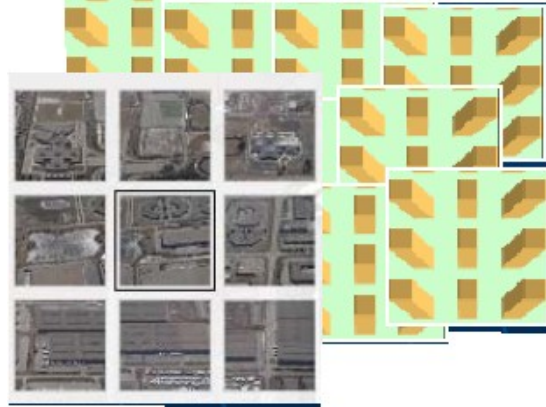


圖 3 單幅式空載傾斜攝影成像是中心投影影像，圖片來源: ESRI,2006。

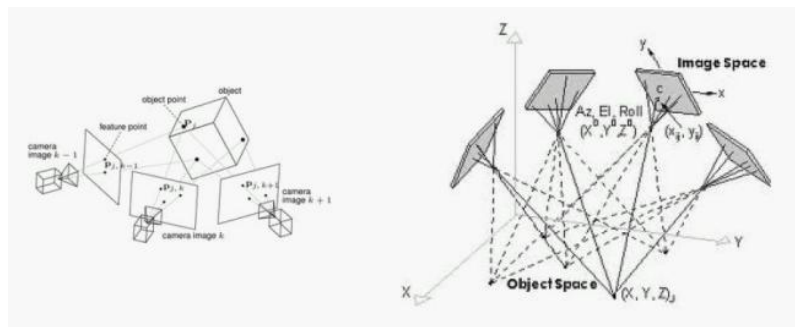


圖 4 空載傾斜攝影影像進行影像空間與物空間轉換

當空載傾斜攝影影像經過率定後，獲得內方位參數與拍照瞬間的外方位參數時，即可利用共線條件式來建立拍照當時的物像空間轉換，藉此獲得空載傾斜影像上每一特徵點在 3D GIS 系統上的坐標，如圖 5 所示。

$$\begin{aligned}
 x_a - x_p + \delta_x &= -f \frac{m_{11}(X_A - X_C) + m_{12}(Y_A - Y_C) + m_{13}(Z_A - Z_C)}{m_{31}(X_A - X_C) + m_{32}(Y_A - Y_C) + m_{33}(Z_A - Z_C)} \\
 y_a - y_p + \delta_y &= -f \frac{m_{21}(X_A - X_C) + m_{22}(Y_A - Y_C) + m_{23}(Z_A - Z_C)}{m_{31}(X_A - X_C) + m_{32}(Y_A - Y_C) + m_{33}(Z_A - Z_C)}
 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{cases}
 \delta_x = x_a(k_1 r^2 + k_2 r^4) \\
 \delta_y = y_a(k_1 r^2 + k_2 r^4)
 \end{cases} \quad (2)$$

$$r = \sqrt{(x_a - x_p)^2 + (y_a - y_p)^2}$$

$$\begin{aligned}
 m_{11} &= \cos(\varphi) \cos(\kappa) \\
 m_{12} &= \sin(\omega) \sin(\varphi) \cos(\kappa) + \cos(\omega) \sin(\kappa) \\
 m_{13} &= -\cos(\omega) \sin(\varphi) \cos(\kappa) + \sin(\omega) \sin(\kappa) \\
 m_{21} &= -\cos(\varphi) \sin(\kappa) \\
 m_{22} &= -\sin(\omega) \sin(\varphi) \sin(\kappa) + \cos(\omega) \cos(\kappa) \\
 m_{23} &= \cos(\omega) \sin(\varphi) \sin(\kappa) + \sin(\omega) \cos(\kappa) \\
 m_{31} &= \sin(\varphi) \\
 m_{32} &= -\sin(\omega) \cos(\varphi) \\
 m_{33} &= \cos(\omega) \cos(\varphi)
 \end{aligned} \quad (3)$$

上式中 x_a 、 y_a 表示空載傾斜影像上的像坐標， δx 、 δy 表示相機所率訂出的在 x 方向與 y 方向的透鏡畸變差分量， k_1 、 k_2 為透鏡畸變差參數， f 為成像時的焦距， x_p 、 y_p 為相機的像主點坐標，在理想情況下，像主點坐標被定義為視準軸與像平面之交點坐標。 X_A 、 Y_A 、 Z_A 為對應的 3D GIS 上物坐標， X_c 、 Y_c 、 Z_c 為透視中心之三維坐標， $m_{11} \sim m_{33}$ 為相機姿態角 ω 、 φ 、 κ 所組成之旋轉矩陣元素， ω 為對 X 坐標軸之旋轉角， φ 為對 Y 坐標軸之旋轉角， κ 為對 Z 坐標軸之旋轉角， X_c 、 Y_c 、 Z_c 、 ω 、 φ 、 κ 也稱為遠端操控攝影機之外方位參數。 X_A 、 Y_A 、 Z_A 即為本階段欲求之 3D GIS 系統上的坐標。

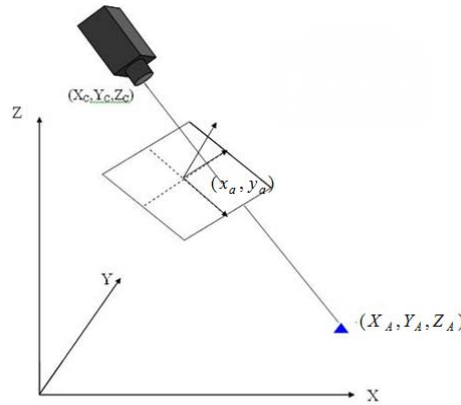


圖 5 傾斜影像與物空間轉換示意圖

(二)、 傾斜攝影影像於 3D GIS 平台之套疊

為了讓傾斜攝影影像能快速應用於各種領域中，本研究以 3D GIS 平台為底圖，經由重建傾斜攝影影像拍攝當時的空間資訊後，直接將傾斜影像展示於 3D GIS 平台上，過程中不需要經過正射化。

將傾斜攝影影像展示於 3D GIS 平台上時，除了要設定拍攝當時的空間資訊，即相機的位置參數(X 、 Y 、 Z)與旋轉角參數(Heading、Tilt、Roll)，還需要定義像機在場景中所看到的區域，即指定視野大小(Field of View, FOV)，小視野就像長焦鏡頭，專注於一小部分的場景。

本研究中利用第一步驟所算出的航照涵蓋範圍的四角坐標來計算 FOV 的角度，如圖 6。

$$\begin{aligned}
 \text{A 點坐標：} & X_A = \frac{x_1 + x_2}{2}, Y_A = \frac{y_1 + y_2}{2} \\
 \text{B 點坐標：} & X_B = \frac{x_3 + x_4}{2}, Y_B = \frac{y_3 + y_4}{2} \\
 \overline{AB} &= \sqrt{(X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2} \\
 \overline{AC} &= \sqrt{(X_A - X_C)^2 + (Y_A - Y_C)^2 + Z_C^2} \\
 \overline{BC} &= \sqrt{(X_B - X_C)^2 + (Y_B - Y_C)^2 + Z_C^2} \\
 \theta_f &= \left(\overline{AC}^2 + \overline{BC}^2 - \overline{AB}^2 \right) / \left(2 \times \overline{AC} \times \overline{BC} \right)
 \end{aligned} \tag{4}$$

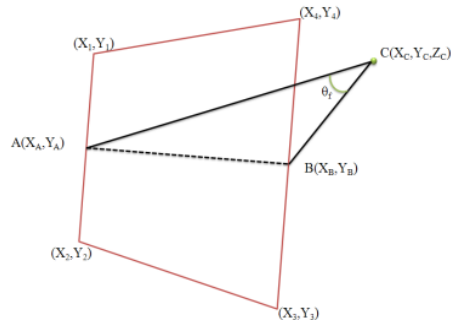


圖 6 利用涵蓋範圍計算 FOV 角度示意圖

藉由上述算法即可以獲得四個視野的角度，在加上相機的位置參數與旋轉角參數即可重建拍攝當時的空間位置，利用此資訊將傾斜攝影影像展示於 3D GIS 平台上。

(三)、 相關演算發之研發

為了達成空載傾斜攝影影像快速搜尋、管理、展示系統，本研究發展出相關的演算法：

1. 影像分析運算

- (1). 影像分組：將此次飛行的影像作分出垂直影像及傾斜影像組，並分析出此次飛行的主要四個拍攝角度。
- (2). 關聯性分析：將垂直影像及傾斜影像分析出影像之間的前後左右關聯影像。

2. 影像自動偵測

系統會自動偵測當前的使用者攝影機位置，並找出此圖組離攝影機較近的影像，系統會自動旋轉且還原影像拍攝時的位置並繪出影像和套疊路網向量。

3. 影像自動偵測設定

系統可設定是否自動偵測，讓使用者可自由於圖台中瀏覽。

4. 垂直影像及傾斜影像選擇

使用者可選擇觀看垂直影像或是傾斜影像，如於觀測模式中，系統會自動切換當前最佳影像。

5. 旋轉及平移

系統使用當前的觀看方向，向前、後、左、右及左方和右方觀看方向搜尋是否有位置符合的影像拍攝點且與此觀測方向相同的影像，有的話便漸層式繪出影像，如沒有則回到原本的 3D 場景中，不顯示相片。

6. 影像比對

提供使用者比對當前影像及背景影像對應功能(透明度選擇)。

7. 回到初始點

系統提供使用者回到初始觀測點。

研究成果

(一)、 實驗設備與資料

本研究之傾斜攝影影像為國立成功大學測量及學空間資訊學系饒見有老師所提供的資料，其所使用的相機為 Sony DSLR-A850(圖 7)，其影像解析度為 2400 萬畫素，垂直鏡頭之焦距可為 20mm 或 50mm，傾斜鏡頭之焦距為 50mm 或 85mm，

傾角為 45 度。該研究團隊將五顆鏡頭組合於飛機上，搭載 GPS 與 INS 設備，因此可以同時拍攝到前後左右傾斜的影像與正下方的影像，如圖 8 所示。



圖 7. Sony DSLR-A850

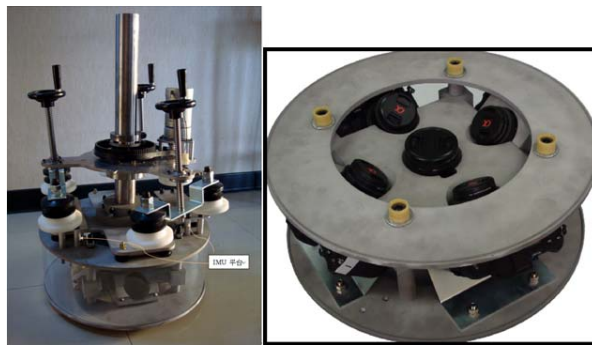


圖 8 成功大學團隊設計之五鏡頭攝影系統及相機機架外觀

(二)、 傾斜攝影影像套疊於三維平台之成果

在執行 3D GIS 平台時，會先讀取傾斜攝影影像參數檔，進行影像分析計算，篩選並分組出四個主要拍攝方向的影像並計算影像在地表的涵蓋範圍、影像中心距離等相關的向量運算。當計算完成進入系統後，主畫面會顯示攝影機拍攝的點位，並顯示圖組的影像涵蓋範圍框線。當視角靠近紅點時，則會自動顯示出該組傾斜影像(圖 9)。

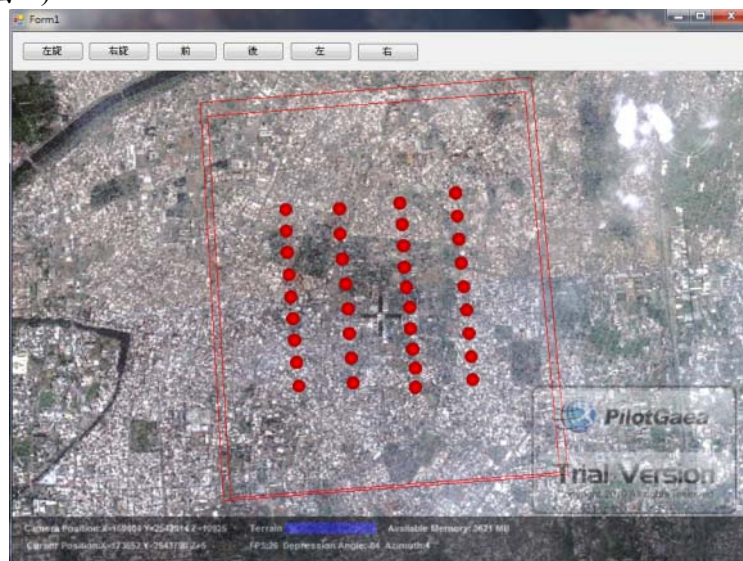


圖 9 3D GIS 系統內顯示傾斜攝影影像的涵蓋範圍

在此系統中，利用傾斜影像的像與物空間轉換關係，在展示傾斜影像時，可以同時套疊 GIS 向量圖層，藉由向量圖層之套疊，使用者觀看影像時便能清楚了解影像的位置，如圖 10。

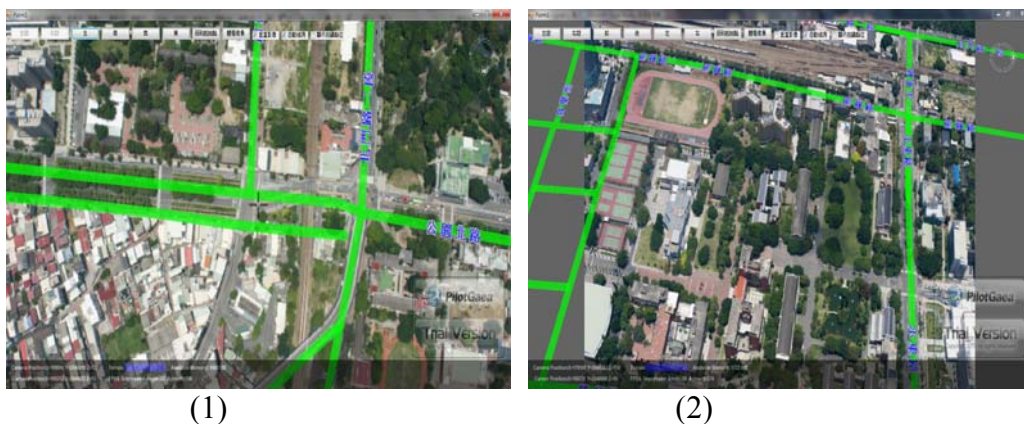


圖 10 三維地理資訊系統中，(1)垂直影像、(2)傾斜影像套疊向量圖層

於當前的使用者觀看影像中，於圖組中搜尋出有跟此觀看影像投影相交的影像且此影像為正在觀看影像的向左(右)方觀看方向，如果有此影像的話便漸層式繪出影像(淡入效果)，如沒有則回到原本的 3D 場景中，不顯示相片，如圖 11 所示。



圖 11 三維地理資訊系統中，(1)左旋轉，(2)右旋轉功能

於當前的使用者觀看方向，向前(後/左/右)方向搜尋是否有位置符合得影像拍攝點且與此觀測方向相同的影像，有的話就顯並判斷系統移動後的視域是否有影像且有相同正向，有的話便漸層式繪出影像(Fade In 效果)，如沒有則回到原本的 3D 場景中，不顯示相片，如圖 12 所示。

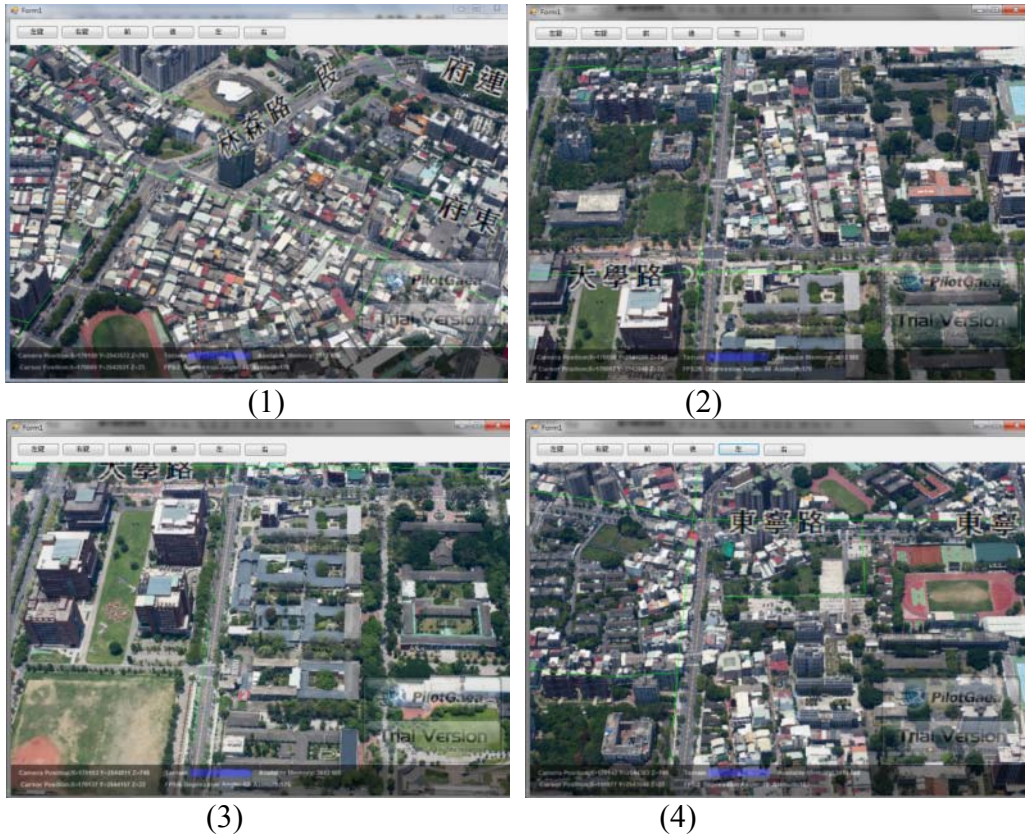


圖 12 三維地理資訊系統中，(1)前移動，(2)後移動，(3)左移動，(4)後移動功能

綜合以上之功能，顯示此三維地理資訊系統對於傾斜攝影影像具有可自動判斷最佳觀測影像及偵測選擇、提供垂直影像及傾斜影像觀測的選擇、提供背景影像比對功能(透明度設定)、可對觀測影像平移及旋轉的操作、可套疊 GIS 各式向量圖層至影像上等的特點。

結論

傳統航空測量以繪製各種地圖及正射影像為主，但隨著科技的進步，地理資訊系統軟體應用日益普及，加上 Google Earth 和 Bing Maps 3D 廣泛運用於各大領域，使空間資訊技術逐漸融入日常生活中，三維地理資訊系統重要性也隨之上升。

本研究成功的將空載傾斜攝影成果整合於自行開發的三維地理資訊系統中，成果中提供了平面的傾斜攝影影像涵蓋範圍的框線資料，讓使用者可以藉由框線來得知影像有涵蓋的區域，並藉由系統之功能讓使用者能夠快速搜尋、管理、展示空載傾斜攝影影像。

整體的規畫可讓使用者能夠快速的應用傾斜攝影影像（無須進行精密的幾何校正）於與歷史影像的比對、建立三維數值模型、救災防災等應用。如在颱風期間，若遇到嚴重淹水災情時，將會遺失地面控制點或參考定位的資訊，傳統的空拍，只能呈現淹水很嚴重的畫面，卻無法了解詳細狀況，這時直接定位系統與 3D GIS 套圖就顯得相當重要，藉由此系統可以清楚呈現哪些路段、設施被淹掉，更快的掌握細緻情形。未來，期望此系統可以整合其他的 3D 資料，如空載 UAV 影片、車載街景影像以及個人攜行攝影照片等等，逐步形成嶄新的全 3D 化空間資訊整合展示平台。

致謝

本文部分內容為內政部地政司補助「100 年度發展與應用多平台遙測製圖技術工作案」研究計畫之成果，作者在此感謝內政部經費補助。

參考文獻

- 溫宗翰 (2003) 應用圖像投影技術還原 3D 空間場景之研究，碩士論文，中央大學機械工程研究所。
- 劉軍、王冬紅、張永生 (2006) GPS/INS 系統 HPR 與 OPK 角元素的剖析與轉換，測繪科學 Science of Surveying and Mapping，第 31 卷第 5 期，54-56。
- 饒見有、盧清治、徐明鎰、黃鼎名、江凱偉 (2010) 空載多鏡頭傾斜攝影系統之設計與應用，第二十九屆測量及空間資訊研討會。
- 饒見有、林明旻、葉柏嘉、詹鈞評、陳智揚、徐明鎰 (2010) 空載傾斜攝影空三平差之精度分析，第二十九屆測量及空間資訊研討會。
- Bäumker M., F. J. Heimes (2001). New Calibration and Computing Method for Direct Georeferencing of Image and Scanner Data Using the Position and Angular Data of an Hybrid Inertial Navigation System. OEEPE Workshop, Integrated Sensor Orientation, Sep. 17-18.
- Cramer M. (2002). Experiences on Operational GPS/Inertial System Calibration in Airborne Photogrammetry, Journal GIS. Geo-Information-Systeme, 6/2002, Wichmann Verlag, Germany, pp. 37-42.
- ESRI Homeland Security GIS Summit October 23-26, (2006) Oblique Aerial View (OAV) Imagery Evolves; Integrating OAV Data with GIS, Adams Mark Hotel Denver, Colorado Brandon McKenzie Operational Phase Manager Photogrammetry Woolpert, Inc. Oblique Aerial .
- Eugster H. and S. Nebikerm (2009). Real-time georegistration of video streams from mini or micro uas using digital 3d city models. In 6th International Symposium on Mobile Mapping Technology.
- Eugster, H., and S. Nebiker, (2008). UAV-Based Augmented Monitoring – Real-Time Georeferencing and Integration of Video Imagery with Virtual Globes. *IAPRSSIS*, 37(B1): 1229-1235.
- Hyung Tae Kim, Sang Bong Kim, Jong Sik Go, Yang Dam Eo and Byoung Kil Lee, (2010) Building 3D Geospatial Information using Airborne Multi-Looking Digital Camera System, *JCIT: Journal of Convergence Information Technology*, Vol. 5, No. 1, pp. 15-22.