

技術報告

數位空載製圖相機：2013
Digital Aerial Mapping Camera: 2013

史天元¹ 王蜀嘉² 蔡季欣³ 李佩珊³

摘要

以大面積地形圖測製之目的而言，「空載製圖相機」是一種重要工具。無論是以航空攝影測量為製圖方法，或是運用空載光達獲得地形資料，在實際作業中，影像總是因能提供豐富資訊，而常常列入合約交付項目。近代攝影已脫離底片，大量使用光電感測器，因而完全進入數位時代。此外，隨同科技之演進與製圖標的內涵的逐步擴展，傾斜攝影亦逐步成為一種例行性之航空攝影作業方式。這些現象，均反映在「空載製圖相機」之發展。本文回顧目前市場上已發行而且目前可購置之「空載製圖相機」，計十家廠牌，二十四種機型，比較其主要指標如像元數、像移補償等，並分別描述其設計理念。

關鍵字：像元數、傾斜攝影、像移補償

ABSTRACT

Aerial mapping camera is an important mapping tool. For large area topographic mapping, ortho-image is frequently included as one of the contract item, no matter whether the surveying is conducted with photogrammetry or airborne lidar. The reason of this is evident from the rich content of image. After the application of film for several decades, digital sensors based on photoelectric effect have replaced film. Besides, due to the expansion of mapping content, photograph with oblique view is gradually becoming popular. All these are reflected in the development of aerial mapping camera. This paper reviews aerial mapping cameras currently in the market, including 24 models from 10 manufacturers. The characteristic items such as pixel numbers, motion compensation, etc., are summarized, and also the design principle of the camera.

Keywords: Pixel number, Oblique image, Motion compensation

¹ 國立交通大學土木工程系教授; email: tyshih@mail.nctu.edu.tw

² 中華民國航空測量與遙感探測學會常務理事

³ 內政部國土測繪中心課長

⁴ 內政部國土測繪中心課員

前言

「空載製圖相機」乃指以飛行器為載具、以製圖為目的之相機。有別於消費者型相機(Consumer grade camera)，「製圖相機」具有穩定之內方位，且絕大多數經過嚴謹之率定作業(Calibration)，可以符合幾何上之要求。第一代之「數位空載製圖相機」(Digital Aerial Mapping Camera)，首次於 2000 年在 ISPRS 大會(the 2000 ISPRS congress in Amsterdam)中展示。在這十三年間，已經歷多項有趣之演化。以應用方式而言，「空載製圖相機」主要是作為「航空攝影測量」使用，但是隨同空載光達之成熟與普及，「相機」成為空載光達作業的「伴隨相機」，與光達同步作業。所攝取之影像，或作為生產正射影像使用，或用於光達資料編修參考。在此一目的之作業型態中，「中像幅相機」是最常見之採用機型。

傳統底片時代之「空載製圖相機」，在數位化之過程中，為提升單一像幅中像元之數目，因應出多種設計。而今，由於建置數位城市之發展與三維圖資呈現之需求，攝影過程除垂直攝影外，傾斜攝影亦逐漸頻繁。因此，當代「數位空載製圖相機」之演進，亦反映了這兩個現象，而在部分機型中展現。有關近年「數位空載製圖相機」之整理性回顧文獻，Lemmens (2008)描述各型相機之設計與精神重點，GIM (2008)則就各項元件指標列表，Luccio (2010)以訪問各相機生產者方式，除現況之描述、改進計畫、及面臨之挑戰外，亦列出針對「製圖相機」未來發展期許之「願望」(Wish)。

「製圖相機」之製造商，經由多年間持續性之商業併購、產權移轉等過程，目前根據 GeoMatch (2013)，有下列十家：

Icaros Geosystems 公司(<http://www.icaros.us/index.asp?page=Products&pid=24>)

該公司位於以色列(Herzliya Pituach Israel)；

IGI mbH 公司(<http://www.igi.eu/digicam.html>)

該公司位於德國(Kreuztal Germany)；

Leica Geosystems AG 公司(<http://digital-imaging.leica-geosystems.com/en/index.htm>)

該公司主要部分位於瑞士(Heerbrugg, Switzerland)，目前為瑞典 Hexgon 集團之一部分，具有傳統底片式航空製圖相機製作歷史；

MicroSoft 公司(<http://www.microsoft.com/ultracam/en-us/default.aspx>)

該公司之製圖相機為 2006 年併購自 Vexcel Imaging GmbH，該公司位於奧地利(Graz, Austria)；

Optech 公司(<http://www.optech.ca/cameras.htm>)

其相機生產線主要為併購自 DiMAC 公司 DiMAC (Digital Modular Aerial Camera)系列 (Lidar News, 2010)，Optech 公司位於加拿大，DiMAC 公司位於比利時(Belgium)；

Track'Air, BV 公司(<http://trackair.com/index.php/products/>)

公司位於荷蘭(the Netherlands)；

Trimble 公司(<http://www.trimble.com/imaging/Trimble-DSS-500.aspx?dtID=applications>)

該相機生產線為 Applanix 公司 (<http://www.applanix.com/solutions.html#.UV61CJNr8qI>)，該公司已為 Trimble 公司併購，目前相機已經掛 Trimble 商標，但是原公司名

稱仍在使用中，該公司位於加拿大(Ontario, Canada)；除 DSS 系列外，Trimble 公司另有一系列之製圖相機 (<http://www.trimble.com/imaging/Trimble-Aerial-Camera.aspx?dtID=overview&>)，為延續原 RolleiMetric 公司之產品，該公司位於德國(Braunschweig, Germany)，已於 2008 年併入 Trimble 公司，並已經不再以 RolleiMetric 名義運作。

VisionMap 公司(<http://www.visionmap.com/>)

該公司位於以色列(Ramat-Gan, Isral)；

Wehrli & Associates 公司(<http://www.wehrliassoc.com/>)

該公司位於美國(New York, USA)；

Z/I Imaging 公司(http://www.ziimaging.com/en/zi-dmc-ii-camera-series_20.htm)

該公司位於德國(Aalen, Germany)，Z/I Imaging 公司之相機製作承襲蔡司(Zeiss)公司，在傳統底片式航空製圖相機製作歷史中，蔡司公司具有不可忽略的地位。蔡司公司與 Intergraph 公司組成之 Z/I Imaging 公司，與 Leica Geosystems AG 公司一樣，目前為瑞典 Hexagon 集團之一部分。

Lemmens (2008)與 GIM (2008)所述之相機，有未包含於上述之十家公司者，其中以出產 AIC 系統著名之 RolleiMetric 公司業已併入 Trimble 公司，而 Trimble 公司目前有原 RolleiMetric 公司與 Applanix 公司之兩條相機生產線。位於德國(Jena, Germany)之 Jenoptik 公司，為於 1991 由 Jenoptik Carl Zeiss Jena GmbH 獨立出來成立，根據該公司網頁 (http://www.jenoptik.com/en_generic/productpage?open&reopen=prodnav&pid=467&ccm=050)

在國防與民生系統(Defense and Civil Systems)類，仍有 JAS-150s，該儀器為一種線掃式相機，基本原理與 Leica ADS 系列相近。但是不在 GeoMatch (2013)資料庫中。另一個藉由併購而成為航空製圖相機製造商者為 Optech 公司，該公司於 2010 年六月併購設於比利時之 DiMAC 公司，同年十二月併購設於美國之 GSI 公司。

相機設計概念

由類比進入數位，「空載製圖相機」設計之首要課題為滿足單一像幅像元數目。以像幅區分相機，Luccio (2010)描述根據 CCD 或其他種類感測器面積之大小分類，24x36 mm 者歸類為「小像幅」；介於小像幅與 60x90 mm 之間者為「中像幅」(Medium Format)；大於此者為「大像幅」(Large Format)。但是採用合成影像技術之相機，則突破此一定義方式。Petrie (2003)則根據像元數分類，「小像幅」為 2,000x3,000 以下，相當為 6M 像元；「中像幅」約為 4,000x4,000，相當為 16M 像元；「大像幅」約為 6,000x6,000，相當為 36M 像元。但是十年來，此一分類所根據的數值明顯的亦已有所改變。以目前相機影像感測器之規格舉例，由表一可見，數位單眼相機具有「全像幅」規格者，感測器面積為或接近 24x36 mm，此一數字為類比相機中 135 型相機之底片大小，但是像元數目則有較大變異。因此，依照感測器面積分類如 Luccio (2010)中所引用者，可能較為確定。但是，感測器面積與某一航高與焦距組合時，對應之地元大小並無關聯。所以，感測器面積與像元數目一併評估，較為適當。

表一：相機像元數與感測器尺寸

| 相機 | 橫向像元數 | 縱向像元數 | 感測器尺寸(mm) | 像元大小(um) |
|------------------|-------|-------|-----------|----------|
| Cannon EOS IDX | 5184 | 3456 | 36x24 | 6.94 |
| Nikon D800/D800E | 7360 | 4912 | 35.9x24 | 4.89 |
| Leica S2 | 7512 | 4992 | 45x30 | 6 |
| Phase One iXA180 | 10320 | 7752 | 53.7x40.4 | 5.2 |

由於單一片 CCD(Charge Coupled Device)或 CMOS(Complementary Metal - Oxide -Semiconductor)感測器之像元數目有限，單一像幅如使用單一感測器無法達到如類比式製圖相機所可提供之像元數目，影響到數位相機作業之經濟效益。因此，類比式「製圖相機」之傳統製照商中，Zeiss 使用交會式多鏡頭之設計，應用四個光軸傾斜相交會之較小像幅影像，拚接成大像幅影像，代表性機型為 DMC。Leica Geosystems 則採用線掃式設計，代表性機型為 ADS 系列。Vexcel Imaging GmbH 則發展了一個分時順序曝光機制，由多幅較小像幅影像，應用 syntopic 原理拚接成大像幅影像，代表性機型為 UltraCam 系列。

現代「製圖相機」之主要標的產品，為高解析度彩色影像。此一標的在 DMC 與 UltraCam 之設計中分成兩階段達成。第一階段為合成高空間解析度全色影像，亦即灰階影像，此一階段之合成採用的是「拼接」。兩像機所使用的「較小像幅」相機，實際上符合中像幅之規格。而原始「較小像幅」影像，其對應之地元與「拼接」後者及最終產品影像十分接近。DMC 使用四幅「較小像幅」影像拼接，UltraCam 使用九幅。第二階段為合成高空間解析度彩色影像，此時使用之合成方式為「影像融合」(Image Fusion, Pansharpening)。在第二階段，低空間解析度彩色影像經由融合高解析度全色影像過程，產製出高解析度彩色影像。

依據設計上之特殊性，謹介紹下列五個系列之設計理念：

1. Z/I Imaging DMC
2. Z/I Imaging DMC-II
3. Leica ADS
4. MicroSoft UltraCam
5. VisionMap A3

Z/I Imaging DMC

DMC 使用交會攝影合成之概念，全色態部分由四個獨立之相機組成，其光軸彼此交會，由四幅影像之重疊處為控制，合成一幅，其相機中透鏡組關係與影像合成方式如圖 1。此相機設計因有四個光軸，實際上為四個中心投影，合成後幾何投影並不與單一投影相同。因此，高差移位特性有異，尤其在邊界處。組合全色影像後，高解析度彩色影像依靠影像融合方式產出。

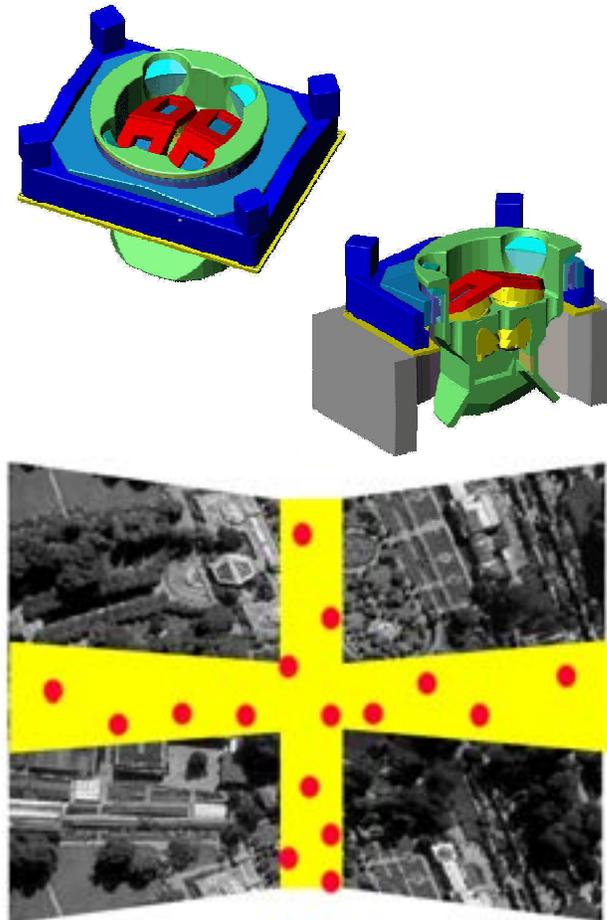


圖 1：Z/I Imaging DMC 交會攝影合成設計(Leica 公司提供)

Z/I Imaging DMC-II

由於科技進展，DMC-II 揚棄由多幅小像幅合成為大像幅全色態影像之概念，採用單一感測器、單一透鏡組，以求取高精度與高穩定性幾何特質。但是彩色影像部分仍然依靠影像融合。

Leica ADS

突破像幅式相機(Frame camera)之概念，ADS 系列運用線掃式成像原理。該相機具有多個線性感測器，分別感測不同波段，包含全色態(465-680nm)、紅光(608-662nm)、綠光(533-587nm)、藍光(428-492nm)、近紅外光(833-887nm)。每一條之空間解析度均相同。因此，ADS 系列所獲得之彩色影像，不須經由影像合成以提升空間解析度。由於航空攝影時之狀態為飛行之動態，各條影像之外方位均有所不同，在整合成像時，需依賴直接地理對位(Direct Geo-referencing) 之外方位成果。亦因此，其幾何精度受到直接地理對位成果之影響。

ADS 獲取立體影像之方法為三線式掃描，亦即在同一時間點，有三條全色態成像，一條垂直、一條向前、一條向後，如此組合成三個不同角度之影像，對每一地面點，有三個光束，由而達成空間定位(圖 2 左)。成像時所有感測器均位於同一平面，均經過同一透鏡系統。

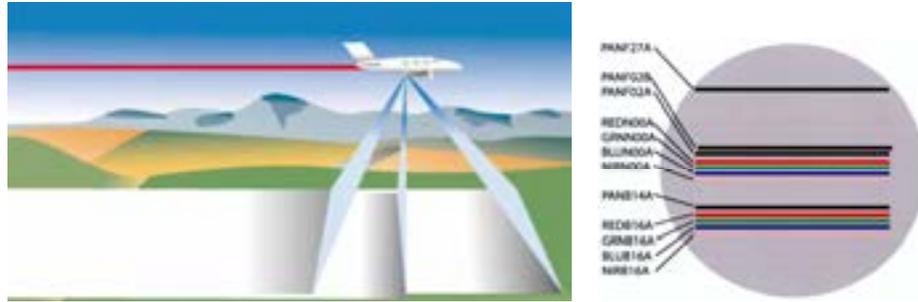


圖 2：Leica ADS 設計原理(Leica 公司提供)

由於線性感測器之解析度較陣列式高，Leica ADS 設計方式得以應用較高解析度之感測器，達成「大像幅」之目的。除使用線性感測器外，Leica ADS 還應用交錯式 (Staggered) 排列，如圖 2 中右圖 PANF02B 與 PANF02A，排列時錯開半個像元。兩者合併，可再提高解析度，亦即由 12,000 提升到 24,000 像元。由於 24,000 像元解析度只限於垂直攝影，故啟用此一模式時對立體製圖之解析度並無影響，但在生產正射影像時可提升空間解析度。圖 2 右之設計為 ADS 40，不同機型之排列方式有差異。Leica ADS 系列由 ADS40 而發展至 ADS80，此刻 Leica 官網上已有 ADS100 之資訊。基本設計理念雖然一致，感測器之數目與排列卻有所不同。ADS100 有十三個線性感測器，分成垂直、前傾、後傾三組。前傾、後傾各有 R、G、B、NIR，計四個。垂直部分有交錯式排列之兩個綠光波段的感測器，而各個線性感測器之像元數為 20,000。垂直方向之綠光感測器如應用交錯式排列模態，則可提升至 40,000 像元。如圖 2 右所示，ADS40 只有垂直與後傾為全彩，ADS100 則三個方向均為全彩。另一個顯著不同為 ADS100 沒有全色態感測器，如何以高空間解析度之綠光波段提升彩色正射影像之空間解析度，Leica 公司將在未來提供解決方案。

MicroSoft UltraCam

採用分時順序曝光機制，由四個相機組成，在航行方向線性排列，先後曝光。另一個特殊處在各相機中光電感測器之位置與數目均不同，如圖所示。如此組合，採用九幅較小像幅影像，應用 syntopic 原理合成大像幅影像。由於此一設計實際上使用四組透鏡，各組畸變差特性不同，有賴事先率定，由軟體處理達成最佳化成果。圖 3 中由左圖至右圖依序曝光，曝光時投影中心因飛行之故，均近乎同一地點，故而同一幅合成影像中沒有高差移位不同之問題。當然，由於涉及飛行動態之問題，在同一地點(位置)先後曝光，需要飛行速度與載台穩定性之配合。就嚴謹性而言，理論上似乎較單一感測器單一透鏡系統有較多之影響因素。



圖 3：MicroSoft UltraCam 分時順序曝光機制設計(MicroSoft 公司提供)

VisionMap A3

Z/I Imaging DMC 與 MicroSoft UltraCam 設計，均採用像幅式「大像幅」之概念，以「合成」方式構建等同「大像幅」之影像產品。VisionMap A3 則反思「中像幅」之缺點為何？答案是中像幅單一像幅之像元數較少，刈幅 (Swath) 窄，航向上影響不大，但是窄刈幅產生較多飛行航次之需求，因此使用時相對不經濟。那麼如果在飛行時大量側向攝影如何？若使用較長焦距之透鏡組，提高飛行高度，飛行攝影時採取掃描方式傾斜光軸，增加涵蓋，可同時達成大涵蓋與高空間解析度之需求。為增加掃描時可以應用之時間，VisionMap A3 使用兩部獨立相機，並列於航向上，同步同向由右至左掃描。兩部相機之像元數為 4,006x2,666，由於航向兩相機有疊置，如果由影像涵蓋則其面積等同像元數為 7,812 x2,666；而垂直航向，由航帶最右至最左，最大視場角為 109°，有 33 個像幅，由影像涵蓋面積概算，包含等同 62,384 個像元。因此，處理過程分為兩階段，第一階段為空中三角，完全由原始影像為單位處理，不經過任何影像拼接過程，因此這一階段沒有合成或拼接所可能帶來之幾何不穩定或誤差。第二階段處理時每一個掃描帶中所有 2x33 張影像，經過合成，形成 SLF (Super Large Frame)，提供立體編修使用。圖 4 左為兩個透鏡組排列情況，右為垂直航向掃描攝影之示意。

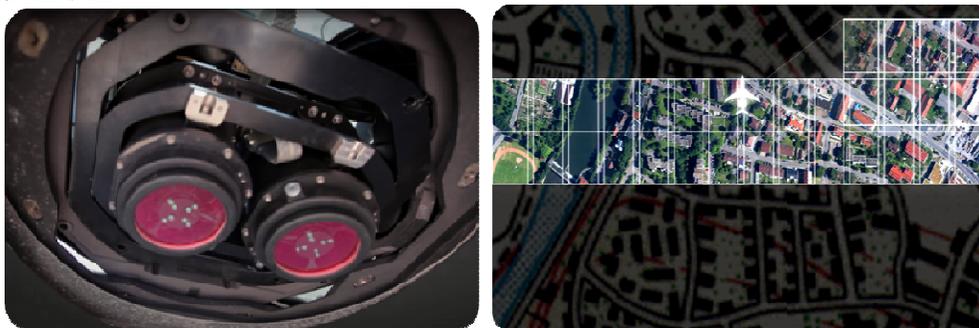


圖 4：VisionMap A3 兩部獨立相機組成之掃描系統(VisionMap 公司提供)

如此設計，每張影像保持其內方位之穩定，各個影像幾何條件獨立，可以確保測量所需之空間交會品質。在以立體製圖為目的時，可縮小視場角，減少每一次掃描攝影張數，或只是選用傾角較小之影像，而避免使用高傾角之影像。同時，航帶數因每一個航帶掃描時刈幅大，無須增加。但是此種作業方式產生之問題是影像數目大大增加，後續處理時增加影像單元，往往超過一般數位攝影測量軟體之設計上限。但是，軟體之能力是可以突破的。具體的方式之一便是使用 GPU 與平行計算。VisionMap A3 一方面在垂直航行方向上以掃描方式多次曝光，得到最多 33 張獨立影像。而另一方面採用拼接方式，在平行航行方向由兩個相機固定重疊涵蓋，以減少對作業時航速的限制。此一設計之思維模式，充分展示對「作業實況」充分考量之精神。由於攝影時，相機之掃描速度固定，而航高航速均為變速，欲維持至少 55%之前後重疊，需視情況調整掃描之 FOV。因此，每一掃描最多有 33 次曝光，兩個平行相機，最多 66 片。

這一種設計方式，由於兩個相機彼此獨立，故亦具有隨相機發展更新之便利性。

A3 Edge 相機即為與 A3 相同設計，但是使用新一代較高解析度之相機。表二中，A3 Core 使用與 A3 相同之影像感測器，但是不用高傾斜影像，與 A3 Edge 106°之掃描角相較，A3 Core 只有 70°。A3 Edge stabilized 乃指使用具有慣性穩定功能之平台。

表二：VisionMap 相機 SLF 規格

| 相機 | A3 | A3 CORE | A3 EDGE stabilized | A3 EDGE non-stabilized |
|-------------------|--------|---------|--------------------|------------------------|
| 最大橫向像幅數 | 33 | 22 | 29 | 34 |
| 最大 SLF 寬 (pix) | 62,384 | 41,856 | 80,145 | 82,543 |
| 最大 SLF 高 (pix) | 7,932 | 7,932 | 10,172 | 10,172 |
| 最大 SLF 像元數 (Mpix) | 472 | 317 | 777 | 801 |

第二個設計課題為像移補償(Image motion compensation)。像移補償的需求包含平行航向與垂直航向兩個方向之補償，對一般光電感測器而言，採用 TDI (Time Delay and Integration) 為一種標準作業方式。TDI 原理乃累積多次系列曝光之電負荷，具有提高感應靈敏度之功能。其設計多利用在運動方向上疊置之感測器，若對每一列感測器而言，曝光時間為 t ，則累計 n 列感測器之曝光時間為 nt 。由於多列感測器是在沿運動方向逐次依序曝光，因此可相對對應消除影像前移所產生之模糊，如圖 5 所示。TDI 之執行難處在需要曝光時間配合移動速度。

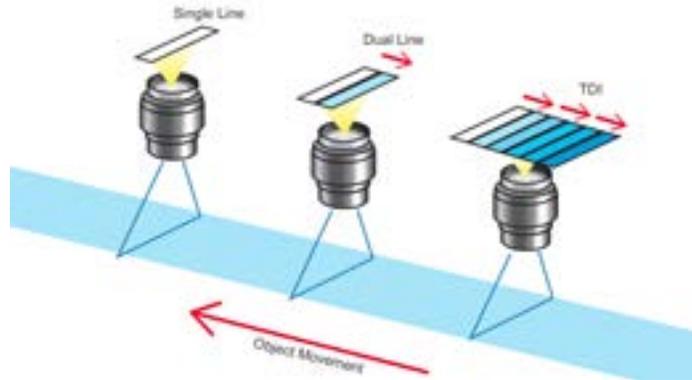


圖 5：TDI 原理(He and O, 2012)

以像移補償之設計而言，採用具有 TDI 功能之感測器，僅作用於前移補償(FMC, Forward Motion Compensation)。其中，Optech 系列宣稱使用專利科技。而 VisionMap A3 宣稱同時具有前移補償、側移補償(RMC, Roll Motion Compensation)、震動補償(VC, Vibration Compensation)之能力。其機制為使用反射鏡(Mirror)系統(Pechatnikov 等，2008、2009)，如圖 6 所示，由輔助鏡(Secondary Mirror)達成。

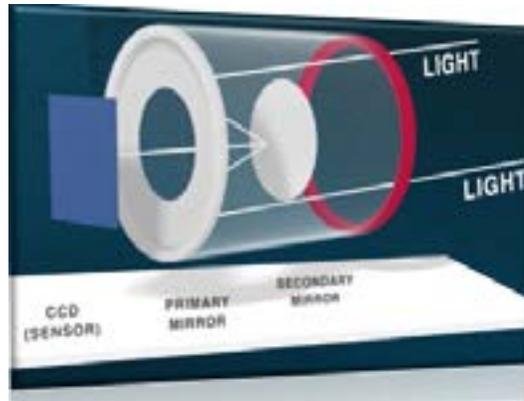


圖 6：VisionMap A3 前移、側移、震動補償(VisionMap 公司提供)

由於飛行時，除向前有固定航速，亦可能有側向位移之發生，當使用前移補償機制如 TDI，增加側向位移影響之機會。所以就航照實務上，在台灣地區作業時常常需要關閉前移補償，否則影像反而模糊。如此考量，同時具有前移、側移、震動補償能力，便具有優勢。但是，反射鏡系統之操作應有賴於飛行時相關感測機制提供資訊，這些感測機制之精度與即時性，顯然的將影響其效果。而計算迴路之即時性與精確性，亦將有所影響。此一限制，尚有待深入了解。

第三項設計標的則為「傾斜攝影」(Oblique Photography)。「傾斜攝影」雖然在近十年受到廣泛注意，並且有多種機型上市，但是「傾斜攝影」的概念與系統，實際上有相當早遠的歷史，並非伴隨數位相機而誕生。根據 NGS(2006) 記載，於 1919-1928 年間 US Army Air Service 製作的 Bagley 相機，為一個三透鏡組，一個垂直，兩個傾斜交會。1928-1930 年間使用的，Fairchild P-2A 為四透鏡組，一個垂直，三個傾斜交會。外觀相同相機在 Smithsonian National Air and Space Museum 中註記為 Fairchild T-2A，如圖 7 所示。1930-1936 年間使用的，Fairchild T-3A 為五透鏡組，一個垂直，四個傾斜交會。目前數位相機中，IGI Penta DigiCAM 與 Fairchild T-3A 影像架構上便很接近。



圖 7：Camera, Aerial, Mapping, Fairchild T-2A

(<http://airandspace.si.edu/collections/artifact.cfm?id=A19711004000>)

同一個相機系統，除垂直攝影外亦須能進行傾斜攝影，以 MicroSoft UltraCam 系列而言，針對傾斜攝影的市場，其因應方式為推出另一型相機 MicroSoft UltraCam Osprey，該機型之設計仍然採用多透鏡組與多感測器之合成影像概念，在航向方向，前傾、垂直、後傾，均採用兩個感測器拼接設計。左傾與右傾則為較少像素感測器，同時獲取垂直與傾斜影像。屬於線掃式設計的 Wehrli & Associates 產品，則加大三線式掃描線角度，使前斜、後斜與垂直間角度達 45°。除固定角度之多相機設計沿襲如 Fairchild T-3A 者外，目前亦有採用不同思維者。VisionMap A3 之設計相對上最為單純，增大兩側掃描角度，便產製傾斜攝影。不過，Wehrli & Associates 3-0C Digital Oblique Camera 之傾斜攝影方向是在航行方向，而 VisionMap A3 是在垂直航行方向。兩者均未達成全方向傾斜攝影之條件。

相機諸元比較

如前節所列舉之相機製造商，目前其官網上提供資訊之型號，與 GeoMatch (2013) 資料庫中所包含者，整理描述如下：

Icaros Geosystems 公司：

官網上有 IDM200、IDM600 兩型，IDM200 為單一子相機，使用 Phase-One 感測器，有 R、G、B。而 IDM600 除此之外還有 NIR 與熱紅外，為三個子相機系統，如圖 8 所示。以空間解析度而言，均定位為中像幅相機。IDM 裝置設計為由機艙門伸出，故無需專屬之航空測量用飛行器，亦即不需要空照窗，如圖 9 所示。



圖 8：Icaros IDM600

(<http://www.icaros.us/index.asp?page=Products&pid=24>)



圖 9：IDM 裝置設計為由機艙門伸出

(<http://www.icaros.us/index.asp?page=Products&pid=24>)

IGI mbH 公司：

DigiCAM 是一個模組化系統，該系列中包含單相機系統、雙相機系統 (Dual DigiCAM)、三相機系統 (Triple DigiCAM)、四相機系統 (Quattro DigiCAM)、五相機系統 (Penta DigiCAM)。而在雙相機以上，均可選擇垂直攝影或傾斜攝影。傾斜攝影定位為光軸與重力軸成 45° ，而多相機垂直攝影系統便構成大像幅系統，但是 Penta DigiCAM 為典型傾斜攝影安排，與 Track'Air Midas 系統接近，影像涵蓋示意如圖 10。

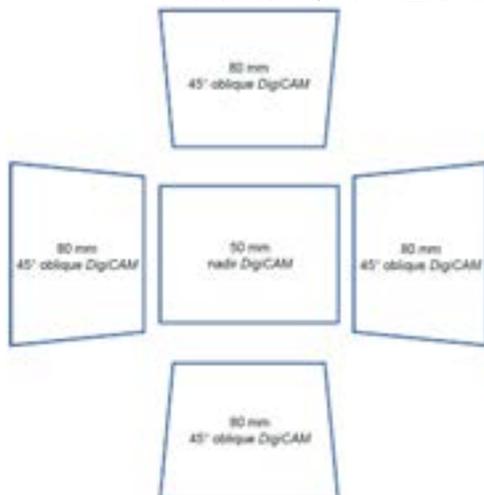


圖 10：Penta DigiCAM 影像涵蓋示意
(<http://www.igi.eu/digicam.html>)

Leica Geosystems AG 公司：

ADS 系列最新機型為 ADS100，與 ADS80 同為線掃式設計，由於有垂直、前傾、後傾，故又稱三線式掃描器 (Three Line Scanner)。此外，RCD30 是像幅式相機，由 RCD30 為基礎，Leica 有 RCD30 Oblique 與 RCD30 for UAV，分別提供傾斜攝影與配合無人飛行系統 (UAS, Unmanned Aviation System) 需求。最新型之底片式航空製圖類比式相機為 RC30。RCD30 Oblique 包含三鏡之 RCD30 Oblique - Trio 與五鏡的 RCD30 Oblique - Penta，兩者地面涵蓋如圖 11。

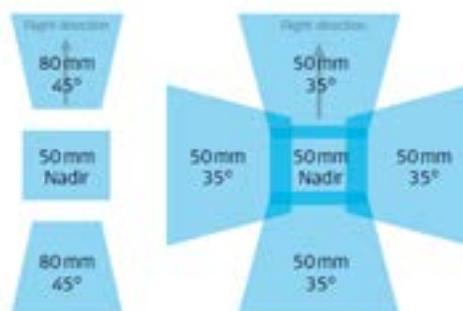


圖 11：RCD30 Oblique Trio 與 Penta 地面覆蓋、焦距與傾角
(Leica 公司提供)

MicroSoft 公司：

官網上有 UltraCam Eagle (鷹)、UltraCam Falcon(隼，或稱作獵鷹)、UltraCam Osprey (鶚，或稱作魚鷹)、UltraCam Lp，有趣的是新一代 UltraCam 均以不同之鷹類命名，有別於原先之 D、X、L。各型相機中，UltraCam Eagle 之產品像元數最高，UltraCam Osprey 則為傾斜攝影相機。圖 12 為 UltraCam Falcon 鏡頭組，中央一排為全色，兩旁分別為 R、G、B、NIR。

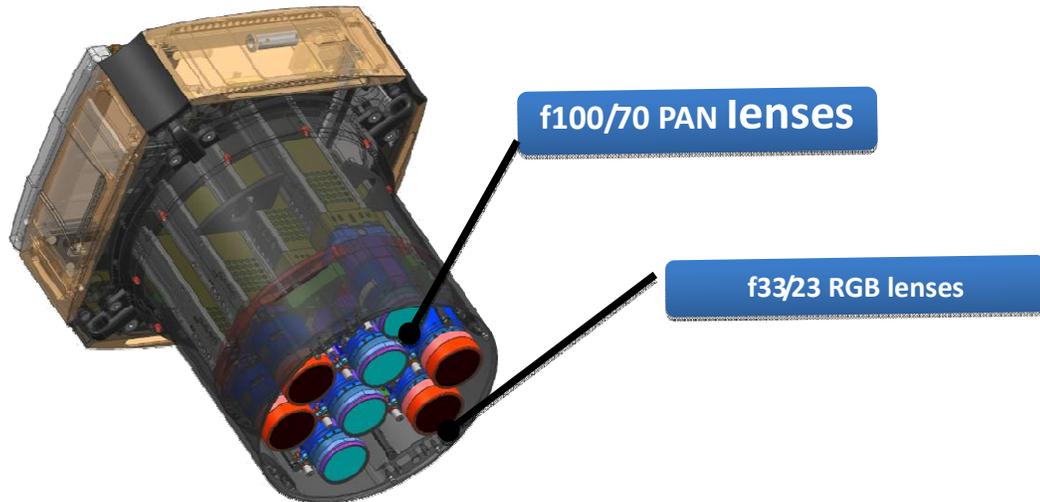


圖 12：UltraCam Falcon 相機鏡頭組(MicroSoft 公司提供)

Optech 公司：

官網上有 CS-6500、CS-10000、CS-15000、CS-MS1920 四型，其中以 CS-15000 像元數最多。如圖十三所示，CS-15000 使用兩具彼此平行之相機，經由影像拼接而增大像幅。



圖 13：Optech CS-15000 相機(Optech 公司提供)

Track'Air, BV 公司：

有 Midas 與 Midas-2 兩型。Midas 相機主要設計標的為傾斜攝影，為一個五相機

組成之系統，而各子相機採用市場上現有之相機(圖 14)，此為與其他製圖相機最不一樣者，應為所使用者為消費者型相機，故其製圖幾何可靠度較低。目前 Midas 支援之相機包含 Canon 1DX、Nikon D800/D800E、Leica S2、Phase One IXA、Trimble (Applanix) DSS-60mp，前四型相機之像元數等規格如表一所列。Midas-2 則只有一具垂直攝影的相機。

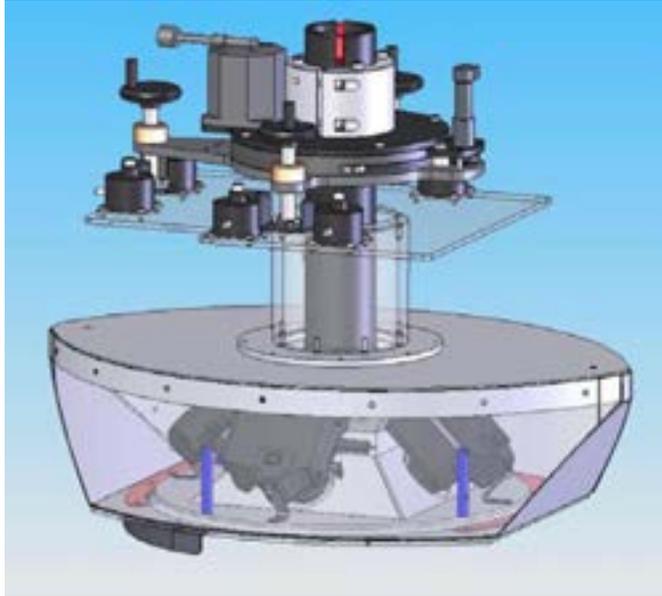


圖 14：Track'Air Midas 系統(Track'Air 公司提供)

Trimble 公司：

官網上主要是 Trimble DSS 500 系列(圖 15)，但是在 GeoMatch (2013)中尚有較舊機型 Trimble DSS WideAngle 60 與 Trimble DSS 39 MP。



圖 15：Trimble DSS 500 相機

(<http://www.applanix.com/solutions.html#.UV6ICJNr8qI>)

VisionMap 公司：

目前有 A3 與 A3 CIR 兩型。A3 為彩色相機(圖 16)，在航行方向上有兩具相機並

列，A3 CIR 亦有兩具相機，其中一具為 RGB，另一具為 NIR 波段。最近發表之 A3 Edge 相機，設計方式與 A3 相同，但是使用較高解析度之相機，相關簡要資訊如表一所列。



圖 16：VisionMap A3 相機(VisionMap 公司提供)

Wehrli & Associates 公司：

目前官網上提供四型相機資訊，分別為 4-DAS-1 Digital Aerial Camera、1-DAS-1 Digital Aerial Camera、3-OC Digital Oblique Camera、3-DAS-1 Digital Aerial Camera (圖 17)。Wehrli & Associates 之相機亦使用線掃式設計，但是與 Leica ADS 不同者，其成像面不在同一個平面上，並分別經過個別之透鏡系統(Jung and Bethel, 2007)。



圖 17：Wehrli & Associates 公司相機
(<http://www.wehriassoc.com/>)

Z/I Imaging 公司：

目前有 RMK-D、DMC-II 140、230、250 四型，外觀與設計方式相同，如圖所示，但感測器解析度不同。圖 18 為 DMC-II 140 外觀，圖 19 為 Z/I 相機同一地面解析度，亦即地元大小相同，時之涵蓋範圍。



圖 18：Z/I Imaging DMC-II 140 (Leica 公司提供)

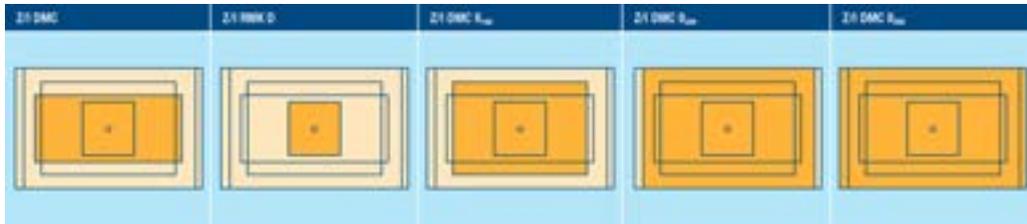


圖 19：Z/I 相機同一地面解析度時之涵蓋範圍(Leica 公司提供)

「空載製圖相機」為以製圖為目的，單一像幅像元數目具有指標性之意義，堪稱相機諸元中極為重要之一元。除此之外，相機之大小與重量、是否具有像移補償、光學系統控制等，均屬於了解一個相機之必要資訊。GeoMatch (2013)分成：概況、數據儲存、硬體、軟體、感測器特性、操作特性，六大單元。本文參考個機型文件，整理列表如下。

表三：線掃式

| 相機型號 | 像元數目(垂直航向) | 像元大小 (um) | 量化解析度 (Dynamic Range) (bits) |
|-----------------------------|----------------|-----------|------------------------------|
| Leica ADS100 | 20,000(40,000) | 5 | 14 |
| Leica ADS80 | 12,000(24,000) | 6.5 | 12(16) |
| Wehrli & Associates 3-OC | 8,000 | 9 | 14 |
| Wehrli & Associates 1-DAS-1 | 8,000 | 9 | 14 |
| Wehrli & Associates 3-DAS-1 | 8,000 | 9 | 14 |
| Wehrli & Associates 4-DAS-1 | 8,000 | 9 | 14 |

表四：拼接合成式

| 相機型號 | 像元數目(航向 x 垂直) | 像元大小 (um) | 量化解析度 (Dynamic Range) (bits) |
|---------------------------|---------------|-----------|------------------------------|
| MicroSoft UltraCamXp | 11,310x17,310 | 6 | 14 (12.9) |
| MicroSoft UltraCamXp WA | 11,310x17,310 | 6 | 14 (12.9) |
| MicroSoft UltraCamLp | 7,920x11,704 | 6 | 14 (12.9) |
| MicroSoft UltraCam Eagle | 13,080x20,010 | 5.2 | 14 |
| MicroSoft UltraCam Falcon | 9,420x14,430 | 7.2 | 14 |

表五：全色態為單一感測器非拼接

| 相機型號 | 像元數目(航向 x 垂直) | 像元大小 (um) | 量化解析度 (Dynamic Range) (bits) |
|---------------------------|--------------------------------|-----------|------------------------------|
| Icaros IDM 600 | 8,984 x 6,732 | 6 | 16 |
| Icaros IDM 200 | 8,984 x 6,732 | 6 | 16 |
| IGI Quattro DigiCAM | 12,750x18,500 | 6 | 16 |
| IGI Penta DigiCAM | 6,708x8,956 | 6 | 16 |
| IGI DigiCAM-60 | 6,708x8,956 | 6 | 16 |
| Leica RCD30 | 6,708x8,956 | 6 | 14 |
| MicroSoft UltraCam Osprey | 1,1674x7,514 | 6 | 14 |
| Optech CS-MS1920 | 1,080x1,920 | 7.4 | 10 |
| Optech CS-10000 | 7,760x10,320 | 5.2 | 16 |
| Optech CS-6500 | 4,384x6,576 | 5.5 | 16 |
| Optech CS-15000 | 15,000x10,000 | 5.2 | 16 |
| Optech T-7200 (將停產) | 5,412x7,216 | 6.8 | 16 |
| Trimble DSS 539 | 5,412 x 7,216 | 6.0 | 16 |
| Trimble DSS 580 | 7,752 x 10,320 | 6.0 | 16 |
| VisionMap A3 | 4,006x2,666 (7,812x62,384) | 9.0 | 12 |
| VisionMap A3 CIR | 4006x2666 | 9.0 | 12 |
| VisionMap A3 Core | 4,006x2,666 (8,000x40,000) | 9.0 | 12 |
| VisionMap A3 Edge | 6576 x 4384 (10,000x80,000) | 7.0(5.5) | 12 |
| Z/I DMC II-140 | 11,200x12,096 | 7.2 | 14 |
| Z/I DMC II-230 | 14,144x15,552 | 5.6 | 14 |
| Z/I DMC II-250 | 14,016x16,768 | 5.6 | 14 |

結語

在十三年間，「數位空載製圖相機」設計需求與理念均有一些相當有趣之發展。而同時，載台之多樣化亦在引導相機之設計。隨同無人飛行系統(UAS, Unmanned Aviation Systems)之發展，已有中像幅相機安裝於 UAS 上之案例。由 MicroSoft UltraCam 與 VisionMap A3 之設計精神，可見如何使用相對較低廉之元件，採用簡單可靠之硬體設計與軟體處理流程，達成高精度高解析度之需求，始終維持為設計之標的。但是，無論發展何如，為確保測量所需之成果品質，對內方位之穩定性與精確性的需求，一直保持不變。而由 Z/I Imaging DMC-II 放棄其原始設計中由較小像幅拼接大像幅影像概念，及 VisionMap 保持各影像單幅處理之理念，觀察，可見對影像幾

何嚴謹性之要求仍然維持為「空載製圖相機」之首要要求。此外，傾斜攝影可以為數碼城市蒐集牆面紋理資訊，似乎亦逐步成為相機設計功能之一。空載製圖相機之考量因子甚多，並非僅僅為像元數目、感測器面積等。就製圖作業而言，流程之流暢性與可靠度、經濟效益等，更是重要一環。本文僅為以管窺豹，並無法完整評估各型製圖相機。本文之目的在回顧現有之機型，與設計理念，以為應用之參考。

致謝

本文進展中，承蒙多位廠商人員提供資訊，包含 Optech 公司 Mr. Tyler Ko、Miss Sumona Datta，Leica-Geosystems 公司余翠紋高級產品專員，VisionMap 公司 Dr. Yuri Raizman，Lead Air Inc 公司 Mr. Ed Berdum，群力公司徐金煌總經理，訊聯光電公司陳立邦先生，中翰儀器有限公司莊棠森先生，Microsoft 公司 Mr. Alexander Wiechert，Applanix 公司 Mr. Tahir Shafiq，謹此致謝。

參考文獻

1. GeoMatch, 2013. Digital Aerial Cameras, <http://www.geo-matching.com/category/id50-digital-aerial-cameras-.html>，前次查詢：2013-04-05。
2. He, Xing-Fei and Nixon O., 2012. Time Delay Integration Speeds up Imaging, Photonics Spectra, 2012(May), http://www.teledynedalsa.com/public/mv/appnotes/TDI_Speeds_Up_Imaging-Photonics_Spectra_May2012.pdf，前次查詢：2013-04-16。
3. Jung, Won-Jo and James S. Bethel, 2007. A Study on Sensor Modeling and Triangulation, Proceedings of ASPRS 2007 Annual Conference, Tampa, Florida, May 7-11, 2007
4. Lemmens, Mathias, 2008. Aerial Perspective: Digital Aerial Cameras, <http://www.profsurv.com/magazine/article.aspx?i=2146>，前次查詢：2013-04-05。
5. Lidar News, 2010. Optech Extends Support to Include DiMAC Camera, <http://www.lidarnews.com/content/view/6872/2/>，前次查詢：2013-04-05。
6. Luccio, Matteo, 2010. Aerial Cameras, Focus Shifts to Productivity, Imaging Notes, 25(4), http://www.imagingnotes.com/go/article_freeJ.php?mp_id=243，前次查詢：2013-04-05。
7. NGS, undated. Surveys from Above, A Brief History of Aerial Survey Photography in the C&GS, 1919-2006, http://www.ngs.noaa.gov/web/about_ngo/history/camera_timeline_web.pdf，前次查詢：2013-04-07。
8. Pechatnikov, Michael, Erez Shor, Yuri Raizman, 2008. VisionMap A3 - Super Wide Angle Mapping System Basic Principles and Workflow, the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B4. Beijing 2008
9. Pechatnikov, Michael, Erez Shor, Yuri Raizman, 2009. The New Vision Map A3 Airborne Camera System, Photogrammetrische Woche 2009, 前次查詢：2013-04-05。
<http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo09/120Raizman.pdf>
10. Petrie, Gordon, 2003. Airborne Digital Frame Cameras, GeoInformatics, 2003(October/November):18-27.