

## 拜耳濾鏡與交錯式掃描探討 On the Bayer Filter and Interlacing Scan for Mapping Cameras

史天元<sup>1</sup> 王蜀嘉<sup>2</sup> 林昌鑑<sup>3</sup> 李佩珊<sup>4</sup>

### 摘 要

大像幅相機在執行空照業務時，具有高效率之優點。在相同地元尺寸（地面解析力）時，其涵蓋面積與地面解析度之組合，較中、小像幅者為高。但是中、小像幅之製圖相機，相對上單價較低，操作與數據處理亦相對簡易。配合空載光達作業時，中像幅製圖相機是目前普遍之選擇。檢視目前市場上各種中像幅製圖相機，其彩色成像原理多運用拜耳濾鏡以獲取彩色影像，至於像元信號擷取方式則未見有使用交錯式掃描者。如以高速取像考量時，交錯式掃描當亦是一個可能選擇方式。本文謹回顧拜耳濾鏡與交錯式掃描基本原理，以及此兩項機制對影像品質之影響。並以實際現有型號之規格為例，探討應用於製圖時所需有之考量。

**關 鍵 字:** 拜耳濾鏡、交錯式掃描、影像解析度

### ABSTRACT

Large format camera has higher efficiency in the operation of aerial mapping. At the same ground resolution, when both the coverage and ground resolution are considered, the value of large format camera is significantly higher. However, the cost of equipment for medium format and small format cameras is relatively lower. The operation and data processing is less complicated as well. Medium format camera is the common choice for serving as the accompanying photographic device of airborne lidar. Reviewing the imaging scheme utilized in almost all current medium format cameras, Bayer's filter is a common feature. Interlaced scan is capable of doubling the sampling frequency at the cost of spatial resolution. It is not utilized in the medium format mapping camera, but has the potential for being applied. This article reviews the fundamental concept and implementation of Bayer's filter and interlacing. The effect of these two schemes to the image resolution is then explored. Examples are provided with the specification of several medium format cameras in market.

**Keywords:** Bayer's pattern, Interlacing, Image resolution

---

<sup>1</sup> 國立交通大學土木工程系 教授 ; tychih@mail.nctu.edu.tw

<sup>2</sup> 中華民國航空測量與遙感探測學會 常務理事

<sup>3</sup> 內政部國土測繪中心課長

<sup>4</sup> 內政部國土測繪中心課員

## 前 言

依據設計時主要市場之訴求，相機可區分為「專業相機」(Professional camera)，與「消費者型相機」(Consumer grade camera)兩大類。前者通常針對商業攝影所設計發展，具有較高之規格，後者則為大眾一般使用開發。在「專業相機」中，「製圖相機」是一個特殊的子類，為以製圖為目的之相機，除較高影像品質之要求外，尚需要穩定之內方位，且絕大多數經過嚴謹之率定作業(Calibration)，以符合製圖作業幾何上高規格之要求。在類比相機時代，「專業相機」多使用每一像幅 6 公分 x 6 公分之底片規格，如 120 型底片(Wikipedia, 2014a)。「消費者型相機」則底片片幅較小，135 型相機使用 2.4 公分 x 3.6 公分(Wikipedia, 2014b)。「製圖相機」使用之片幅更大，最常見是 23 公分 x 23 公分，其中稱之為「大像幅相機」(Large Format Camera)者更使用 23 公分 x 46 公分，原為太空梭所設計(Doyle, 1979; Derenyi and Newton, 1986)。需要注意的是，「大像幅相機」一詞有多種定義，如 Wikipedia (2014c) 稱 120 型底片為「大像幅」，此乃相對於 135 型底片而言。

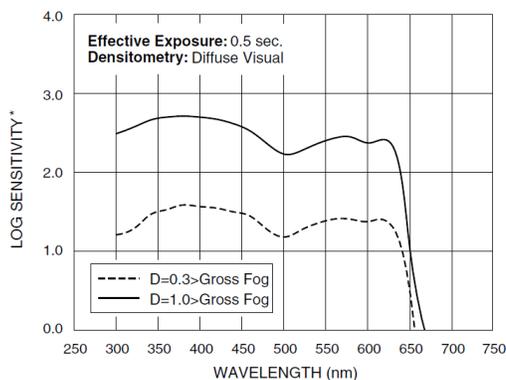
由類比進入數位，Petrie (2003) 根據像元數分類，「小像幅」(Small Format) 為 2,000x3,000 以下，相當為 6M 像元；「中像幅」(Medium Format) 約為 4,000x4,000，相當為 16M 像元；「大像幅」(Large Format) 約為 6,000x6,000，相當為 36M 像元。Luccio (2010) 則以像幅大小區分相機，根據 CCD 或其他種類感測器面積之大小分類，24x36 mm 者歸類為「小像幅」；介於小像幅與 60x90 mm 之間者為「中像幅」；大於此者為「大像幅」。Luccio (2010) 的分類方式，可能是目前較適合的(史等, 2013)。

除攝影所要求之清晰度等特性外，「製圖相機」對內方位之要求為區分「製圖相機」與「非製圖相機」之主要因素。因此，根據內方位之設計，相機又可區分為「量測型」(Metric) 與「非量測型」(Non-metric)。內方位穩定且經過率定者，為「量測型相機」。在類比式相機時代，「框標」為判斷是否為「量測型相機」之要件。沒有「框標」但是內方位穩定者，又稱為「準量測型相機」(Semi-metric Camera; Kraus, 2007)。

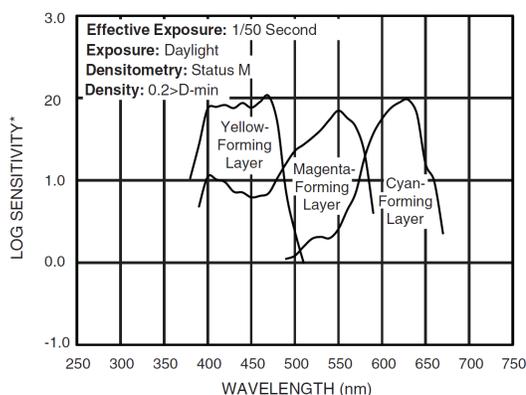
無論是「製圖相機」、「專業相機」、與「消費者型相機」之分類，或是「量測型相機」、「準量測型相機」、「非量測型相機」之區分，均未曾涉及其成像方式。雖然前述各項區分方式並非完整，例如，在類比相機時代，「製圖相機」多具有底片吸平裝置，以確保底片在成像時為平坦。在數位相機時代，承像面為一個固定平面，沒有吸平需求。可是，數位相機之成像過程可以更加多樣化。其中兩項重要相關成像技術是如何獲取彩色資訊以及如何快速紀錄所有像元的強度信號。前者多以拜耳濾鏡(Bayer's filter)解決，而後者則以交錯式(Interlacing)掃描為基本原理。拜耳濾鏡之主要功能是使用單一光電感應器(晶片)蒐集三原色所組成之彩色影像，交錯式掃描，則可減少曝光時間需求，加速攝影頻率，對移動狀況下清楚成像，有重要功能。這兩者對相機所構成的「攝影系統」之「空間解析度」，均形成影響。因為，兩者之取像時就空間而言並非完整，亦即並非全幅，所以在後續處理中，若須組成全幅，均使用到內插。本文謹就此兩項技術，分別描述其性質、作業方式，並探討其在製圖時「空間解析度」評估時之考量。

## 拜耳濾鏡

以底片成像時，影像之為彩色 (Color) 或全色態 (Panchromatic)，由所使用之底片決定，光學系統功能只限於曝光與聚焦等。如 Kodak Professional TRI-X 320 and 400 Films 是全色態底片，由圖一可見，該底片由波長 300 至 625nm 幾乎感應度一樣，所以底片感應時在此區間沒有差異性。同時，只有一層染料，故成像沒有彩色區分 (Kodak, 2007)。而 Kodak Professional PORTRA 160 Film 是彩色負片 (Color Negative)，圖二為該底片之光譜靈敏度曲線，此底片有三層染料，分別對應三個光譜區段 (Kodak, 2011)。由於感應區段適當的配合染料三原色：黃 (Yellow)、洋紅 (Magenta)、靛 (Cyan)，藍光感應區段對應黃色，綠光區段對應洋紅，紅光區段對應靛色，亦即染料色層為感應光譜區段之互補色，因此產生負片影像。亦即，藍色物件在底片上成像為黃色。圖二也顯示三個染料層所感應之光譜區間有重疊處，此乃受限於材料之化學性質。



圖一：Kodak Professional TRI-X 320 and 400 Films 光譜靈敏度曲線 (Kodak, 2007)

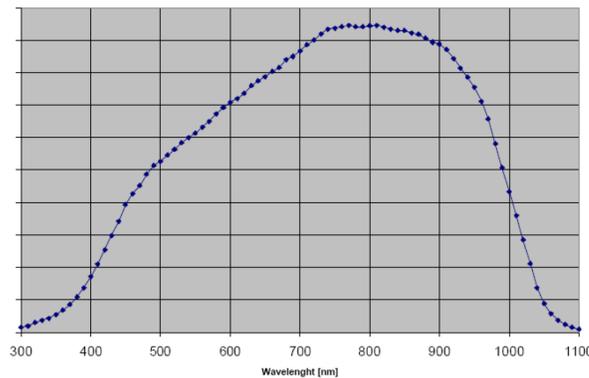


圖二：Kodak Professional PORTRA 160 Film 光譜靈敏度曲線 (Kodak, 2011)

在數位時代，底片由光電感應器如 CCD (Charge Coupled Device) 或 CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) 晶片取代。光電感應器所感應的是由光子所傳送之能量 ( $E_{ph}$ )，能量與光子波長有關，如式 (1)， $\lambda$  為波長， $h$  是普朗克常數 ( $6.626 \times 10^{-34}$  Js)， $c$  是光速。

$$E_{ph} = \frac{hc}{\lambda} \quad (1)$$

感應的光譜特性受到材料基本特性影響。CCD 與 CMOS 均為矽(Silicon)元素產製，圖三展示矽元素光譜量子效率(Quantum Efficiency)曲線的一個參考例。由矽元素所製作之光電感應器的光譜量子效率，尚受到許多其他因素的影響，所以各個 CMOS 或 CCD 感測元件的光譜量子效率曲線並不相同。但是一致的是，感應區間在波長 300 至 1100nm 之間。由圖三可以觀察到許多特性，例如，矽光電感應器所感應之總體能量在近紅外波段有相當大的部分。亦即，如果沒有經過紅外波段濾除的裝置，CMOS 或 CCD 感測到的全色態影像包含紅外光，與一般人眼所見者不同。

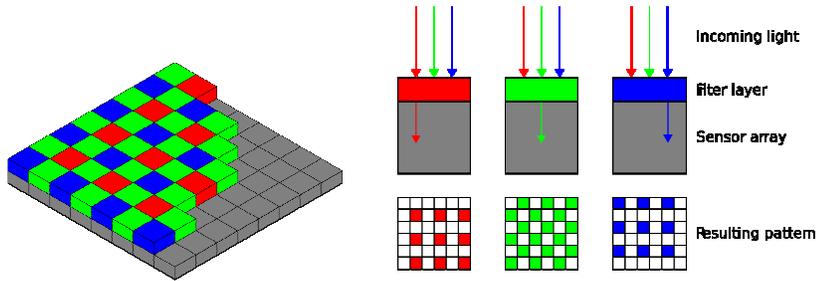


圖三：矽元素光譜量子效率曲線(Darmount, 2009)

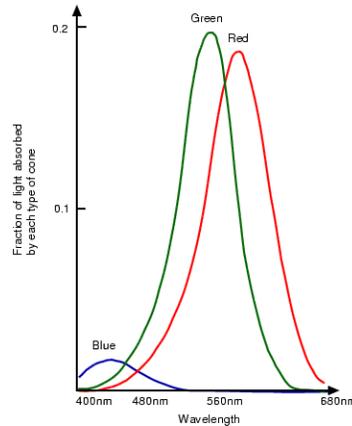
為能夠獲得自然彩色(Nature Color)影像，也就是能夠獲得紅、綠、藍(R、G、B)三個波段的影像，則需要使用不同的濾鏡。如此獲得彩色影像的方式，基本上有三種技術，第一種即是使用三個 CCD 或 CMOS 感應器，每一感應器分別對應一個顏色的濾鏡，而獲得該顏色之影像。如果是經過同一個光學系統，則需要分光組件，以達成分離光徑。此時，到達感應器之光能量明顯的會有衰減，對焦的難度增加，而且相機體積與線路複雜性均提升。所以，大像幅製圖相機採用三個相機，分別裝置紅、綠、藍濾鏡。但是，幾何上三幅影像對應之空間位置精確對位之難度，則依舊較高，多需經率定。

第二種方式是目前最為普遍的方式，在每一個光電感應單元(cell)前均有一片濾鏡。因此，在攝像時，只有一片 CCD 或 CMOS 感應器，但同時有三色的像元紀錄，可是在空間上，各個顏色的像元均只有一部分。通常是交錯的，比如第一個像元是紅色，右邊一個是綠色，左邊一個是藍色。如此獲得的影像，就單一色彩而言，該像幅均是殘缺的，因此採用內插方式補足。這個內插過程稱為逆馬賽克(Demosaic, 解馬賽克)。應用這種方式，可以使用不同的三色交錯圖形。其中，拜耳濾鏡是最常見的，概念示意如圖四，詳細內容與其他濾鏡圖案排列方式，可參考 Wikipedia (2013)。拜耳濾鏡圖形特色之一是綠色像元佔全數一半，亦即行列方向均隔一取樣。所餘空洞再規則地分別填入紅、藍。此一綠光居半數之安排，符合人眼光譜靈敏度對綠光波段為最高的現象，如圖五。在圖五中，藍、綠、紅三條曲線分別對應人眼圓錐細胞(Cone

Cells)之S、M、L三型。由於M、L兩型均對綠光波段(500-600nm)有高靈敏度，綠光對視覺之影響甚高。



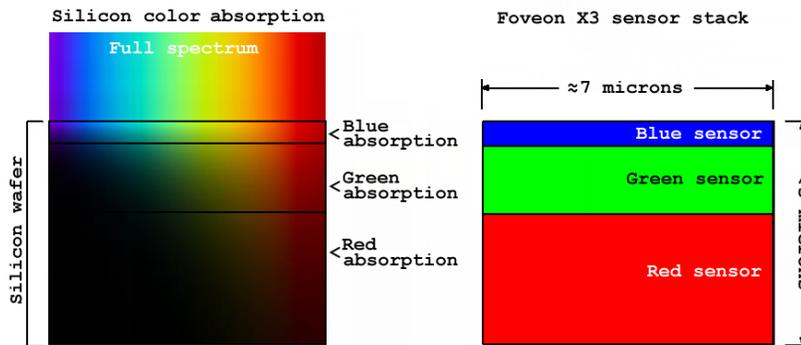
圖四：拜耳濾鏡圖形示意(Wikimedia Commons)



圖五：人眼光譜靈敏度

([http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL\\_COPIES/OWENS/LECT14/cones.gif](http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/OWENS/LECT14/cones.gif))

拜耳濾鏡是平面式分散取樣，第三種方式是垂直方向的排列，Foveon X3 感應器 (Wikipedia, 2014e) 應用矽元素對不同波長光源吸收深度的差異，在不同深度感測不同色彩 (圖六)。由於拜耳濾鏡相對上應用頻率極高，本文以拜耳濾鏡為討論對象。



圖六：Foveon X3 感應器光譜吸收深度差異示意(Wikimedia Commons)

比對大像幅製圖相機，如 Microsoft UltraCam、Z/I Imaging DMC-II，中像幅相機就所知全數使用拜耳濾鏡式的攝像感應器。除了獲得彩色影像過程的差別以外，另一個面向是 Microsoft UltraCam、Z/I Imaging DMC-II 使用「影像融合」(Image

Fusion, Pansharpening)之合成方式，以高空間解析度之全色態影像，配合較低高空間解析度之彩色影像，產製高空間解析度彩色影像。對中像幅相機而言，不須經影像融合。亦即，系統中沒有高空間解析度之全色態相機，由拜耳濾鏡式的攝像感應器所獲得之彩色影像即為其產品。

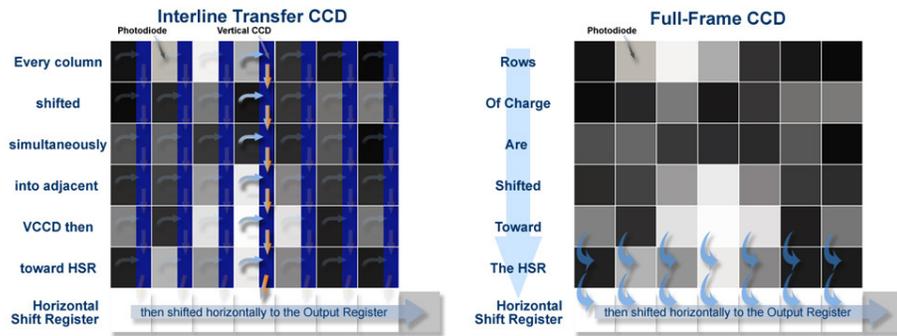
## 交錯式掃描

「交錯式」掃描或稱「隔行掃描」，是以空間解析度換取時間解析度的一種方式。在早期類比電視與電腦螢幕顯像上均有廣泛應用，如 NTSC 規範(Wikipedia, 2014f)。目前類比式監視錄像機(Security Video)與部份數位相機使用交錯式掃描，其優點在於價格較低。其主要精神即為在空間域，時間 1 時取樣單數行，時間 2 時取樣雙數行，因此每幅影像空間解析度降低一半。應用交錯式掃描的 CCD，可在像幅取樣頻率上加倍。採用去交錯(De-Interlacing)的內插作業，可以產出原空間解析度之像元數。交錯式掃描主要應用於類比式與 CCD，CMOS 則因成像原理不同，應用此方式的影像感測器成品上不多見。但是，文獻中亦有相關研究之報導，如 Xu(2009)、Xu et al. (2011)應用分享像元(Shared Pixel)機制，設計出交錯式掃描的 CMOS 影像晶片；Chang et al. (2012)亦應用交錯式掃描於 CMOS 晶片設計。但是，應用目的在以交錯式掃描配合超解析度處理，提升 CMOS 影像晶片的訊雜比，情況與 CCD 晶片似乎不同。

相對應於交錯式掃描，為連續掃描(Progressive Scan，全像式掃描、逐行掃描、漸進掃描)。在連續掃描作業方式下，每一幅影像為完整產出。

與掃描方式相關的另一個技術分類是攝像後光電感應成果由感應元件至儲存之傳輸方式，包含三類：行間傳輸(Interline transfer)，全幅傳輸(Frame transfer)及全幅 CCD(Frame CCD)。目前多數 CCD 感測器使用行間傳輸，採用行間傳輸者又可分為交錯式掃描行間傳輸(Interline transfer-Interlaced)與連續掃描行間傳輸(Interline transfer-Progressive scan)。全幅傳輸與全幅 CCD 則一定為連續掃描。由於名詞的接近與意涵的相關，謹此簡述光電成果傳輸安排方式，以為參考。

CCD 成像過程可分為幾個步驟，首先，CCD 上各個感光元件上的殘餘電流須歸零；第二，感光元件感光，此一感光的時間段稱為積分時間(Integration time)，在這段時間裡，由場景(Scene)所發出的光子累積電子於各個感光元件；第三，積分時間結束，光源不再進入，由光子所產生之電子從感光元件流出至紀錄器。由感應元件至儲存之傳輸，如圖七所示，在行間傳輸 CCD 中每一個光電感應元之旁邊(右側)均有一個儲存單元，此一儲存單元不受光，也就是其上有一遮罩，使其不會曝光。積分時間結束，感光單元上的電子流入其右邊的儲存單元，此一儲存單元與下一個形成縱向聯繫，再縱向匯流至水平紀錄器，再水平匯流至輸出紀錄器。全幅 CCD 則沒有儲存單元，所有光電感測元單元之電子均先縱向匯流至水平紀錄器，在橫向匯流至輸出紀錄器。全幅傳輸則在整片感光元件背後有一一對應之儲存單元，傳輸時如同全幅 CCD 匯流至輸出紀錄器。



圖七：行間傳輸及全幅 CCD

(<http://www.qsimaging.com/blog/wp-content/uploads/2012/03/CCD-interline1.jpg>;  
<http://www.qsimaging.com/blog/wp-content/uploads/2012/03/CCD-full-frame.jpg>)

「行間傳輸」與全幅傳輸之優點，在於一旦感光單元的電子流出清光，即可開始曝光，所以攝像頻率較高。如果匯流時間與曝光時間相等，頻率提升一倍。交錯式掃描行間傳輸在縱向儲存單元中，數目是感光單元的一半，每一個儲存單元對應到縱向排列的兩個感光單元。因此，匯流出的速度增加一倍。攝像時，單雙排感光單元交錯曝光。連續掃描行間傳輸則如圖七左圖所示，儲存單元與感光單元一一對應。

「行間傳輸」之特色在儲存單元與感光單元在同一個水平面上，感光單元接受曝光，儲存單元則否。因而，對同一大小之 CCD 面感測器而言，感光面積減小，由而在同一曝光時間區段中，進入之光子數降低，使得整體光電感應器靈敏度及訊雜比較差。因此，另一種設計是儲存單元置放於感光單元之後面，或稱「下層」。也就是像圖七中右圖全幅 CCD 一樣，但是有兩層。曝光積分時間結束後，電流匯入下層儲存單元匯出。這就是「全幅傳輸」的設計。「全幅傳輸」與「全幅 CCD」都只有「連續掃描」，沒有「交錯掃描」的選項。

相機成像中這一部分的性質，往往取決於光電感應器晶片之選擇。表一所列為 Teledyne DALSA 公司所產彩色面 CCD 感測器標準產品的部分規格，除了像元數目是一般所關切，與空間解析度有關者外，像元實際感光面積大小除與訊雜比相關外，與所需曝光時間亦有關，進而與攝像頻率相關。

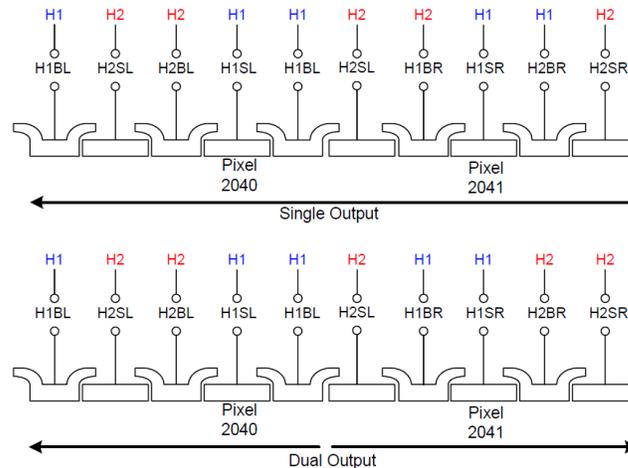
在中像幅製圖相機中，如 Optech CS-10000、CS-15000 採用「全幅 CCD」架構 Teledyne DALSA 80MP 晶片，其中 CS-15000 使用兩片。CS-6500、CS-MS1920 採用「行間傳輸」，均使用 Sony CCD 晶片，型號則因 Optech 公司基於智財權考量不予提供，故不明(Ko, 2014 個人聯絡)。而由 Sony 相關網站，目前未能發現相同影像解析度之晶片，故亦無法對應了解。其中，CS-MS1920 使用 3-CCD 彩色成像，其他則使用拜耳濾鏡。台灣地區操作中的一台 Optech DiMAC UltraLight 相機，使用 DALSA 晶片，規格與 FTF9168C - 60 MP 接近，像元數為 8984 (H) x 6732 (V)，採用全幅 CCD 架構，與拜耳濾鏡。

表一：Teledyne DALSA 所產三色 CCD 面感測器部分型號規格

型號	像元數	攝像頻率	像元大小	對角線長度
FTF3020C - 6 MP	3072x2048	20 fps	12x12 $\mu\text{m}$	44.3 mm
FTF4052C - 22 MP	5344x4008	3.6 fps	9x9 $\mu\text{m}$	60.1 mm
FTF6040C - 24 MP	6000x3988	3.6 fps	6x6 $\mu\text{m}$	43.2 mm
FTF5066C - 33 MP	6668x4992	2.7 fps	7.2x7.2 $\mu\text{m}$	60 mm
FTF6080C - 48 MP	8000x6000	1.6 fps	6x6 $\mu\text{m}$	60 mm
FTF9168C - 60 MP	8956x6708	1.4 fps	6x6 $\mu\text{m}$	67.1 mm

Leica RCD30 是另一個使用 Teledyne DALSA 晶片的相機，該相機有兩具 CCD 感測器，採用分光鏡，將可見光部分以 FTF9168C - 60 MP 經由拜耳濾鏡取樣，近紅外部分 (780-900nm) 則以 FTF9168M - 60 MP 取樣 (Wagner, 2011)。由 2014 年公布之 Leica (2014)，Leica RCD30 已可採用 Teledyne DALSA - 80 MP 晶片，像元數增加為 10320 x 7752，像元大小為 5.2x5.2 $\mu\text{m}$ 。該型晶片並非 Teledyne DALSA 供應一般市場者，故規格等目前均無法由網際獲得。使用該型晶片者亦包含 Phase One IQ180 數位機背 (Digital Back)。Trimble (Applanix) DSS 580 使用 Phase One 80 MP 數位機背，故亦為 Teledyne DALSA 晶片。Trimble DSS 500 系列的 DualCam 具有兩具攝影系統，在 DSS 580 之 DualCam 為採用兩具可見光相機，目的在擴大片幅。在 DSS 530 之 DualCam 則除可採用兩具可見光相機外，亦可為一具可見光一具為近紅外，以產出相同覆蓋的 RGBN 影像。此外，大像幅相機 Leica Z/I DMC IIe 250 亦採用 Teledyne DALSA 客製化的 250MP 晶片，具有 17200x14600 像元，處理後輸出影像像元數為 16768(垂直航向)x 14016(平行航向)。

在 CCD 規格中，另一項指標是輸出端數目 (Number of Output)，此乃指 CCD 水平紀錄器 (Horizontal Register) 的數目，單一輸出 (Single Output) 與雙輸出 (Dual Output) 之示意圖如圖八 (Kodak, 2006)。輸出速度與輸出數目成正比，但是耗電量亦會隨之增加。



圖八： CCD 水平紀錄器單一輸出與雙輸出

VisionMap 公司所產製的 A3 (2008 年發表)、A3 CIR (2010 年發表)、A3 Edge (2010 年發表)，分別採用 Kodak KAI-11002、KAI-11003、KAI-16070。這三型均採用

行間傳輸架構、連續取樣，KAI-11002 可以選擇單一輸出或雙輸出，KAI-16070 可以有單一、雙、四輸出之選擇，最高攝像頻率中之 8/4/2 fps 為對應 4/2/1 輸出。全幅 CCD 架構中，KAF-50100 像元數達 8176 x 6132，但是攝像頻率只有 1HZ。另一系列是 CMOS 晶片，KAC-06040 可達 160HZ，雖然像元數仍較 CCD 為低，但是有相當高之發展性。

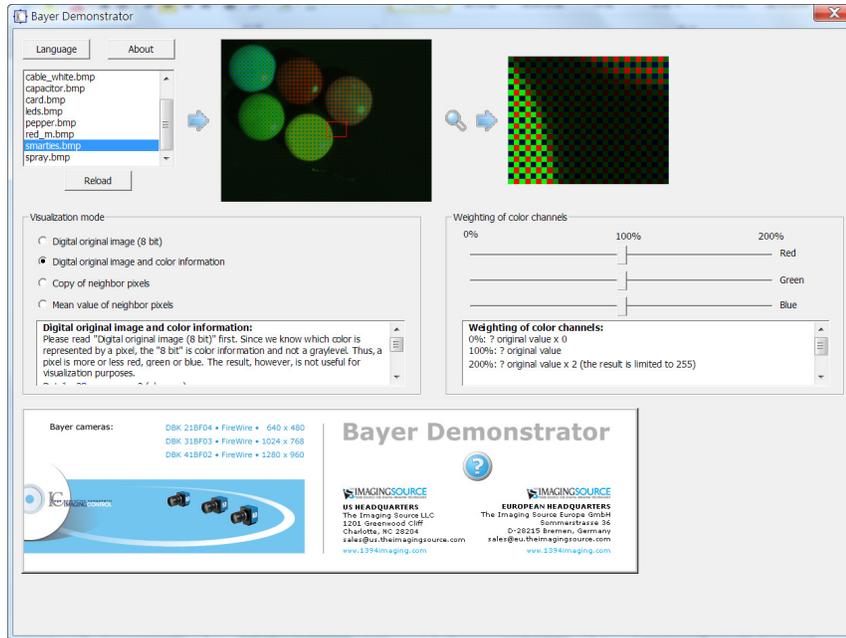
表二：Kodak 所產部份面感測器型號規格

型號	像元數	攝像頻率(fps)	像元大小(μm)	對角線長度(mm)	架構
KAI-11002	4008 x 2672	5	9x9	43.5	行間傳輸 CCD
KAI-16070	4864 x 3232	8/4/2	7.4x7.4	43.2	行間傳輸 CCD
KAI-29050	6576 x 4384	4	5.5x5.5	43.5	行間傳輸 CCD
KAF-16801	4096 x 4096	0.4	9.0x9.0	52.1	全幅 CCD
KAF-16803	4096 x 4096	0.2	9.0x9.0	52.1	全幅 CCD
KAF-31600	6496 x 4872	1.0	6.8x6.8	55.2	全幅 CCD
KAF-40000	7304 x 5478	1.3	6.0x6.0	54.8	全幅 CCD
KAF-50100	8176 x 6132	1.0	6.0x6.0	61.3	全幅 CCD
KAC-06040	2832 x 2128	160	4.7x4.7	16.7	CMOS
KAC-12040	4000 x 3000	70	4.7x4.7	23.5	CMOS

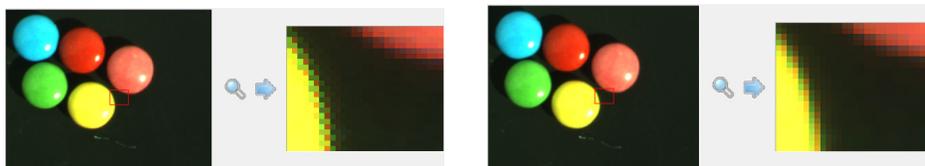
柯達(Kodak)公司之影像感測器解決方案部(Image Sensor Solution Division)於 2012 年二月七日獨立成立 TrueSense Imaging 公司，故上述 Kodak 晶片已由該公司供應。表二中資訊可由 <http://www.truesenseimaging.com/products/>查詢。

### 逆馬賽克處理

「拜耳濾鏡」為「色彩濾鏡陣列」(CFA, Color Filter Array)之一種，以拜耳濾鏡在三原色影像實際取樣的比率而言，紅、綠、藍分別為 0.25、0.5、0.25。由於是間隔取樣，所以就單一色層之原始影像呈現而言有馬賽克(Mosaic)現象。由馬賽克影像經內插得到全幅影像之過程，稱為 Demosaicing (逆馬賽克)。此一程序可以使用簡單的內插方法，達成內插成全幅。Bayer Demonstrator 1.0 為 ImagingSource (2005)提供的免費程式，針對拜耳濾鏡及逆馬賽克程序以實作解釋說明。如圖九所顯示者為一張經拜耳濾鏡所產生之測試影像，圖十為經內插後成果。



圖九：Bayer Demonstrator 之 smarties (巧克力豆)測試影像



圖十：經內插後成果(左：最近像元；右：雙線性)

圖十左為使用最近像元(Nearest Neighbor)之成果，與圖右使用雙線性內插(Bi-Linear Interpolation)成果相較，顯然較有色塊感覺。亦即內插成果不夠平滑。黃色為紅綠兩色組合而成，此由圖九黃色巧克力豆放大後之圖像清楚可展示。因此，在逆馬賽克處理後，視覺上越少紅綠色塊感覺，成果品質越好。圖十左右兩圖，在黃色邊緣均可見明顯紅綠色塊，表示內插均未臻理想，雖然兩者之間雙線性成果較佳。

雙線性內插也只是一個基本的方法。由內插計算是否全幅一致，逆馬賽克轉換演算法可大分為固定式與自調制式。由是否考量三幅異色子影像間之關聯，又可分為兩大類。「最近像元」與「雙線性內插」均為固定式且未考量像元間空間或光譜相關性。逆馬賽克轉換程序，並非只適用於拜耳圖形。從有拜耳濾鏡以來，相關研究便十分頻繁。Wikipedia (2014g)將相關演算法分為，簡單、考慮相關、超解析度(Super-resolution)演算法，三大類。在台灣地區碩士論文中，林宜賢(2008)應用小波轉換，陳亮光(2006)、王志文(2008)、阮任民(2010)，則均引用邊緣偵測導向觀念，設計不同的內插法。同時，Li 等(2008)回顧自 1999 年起的 70 餘篇學術論文後，以兩組數據比對十一套逆馬賽克轉換演算法，結論是對一般影像，現有演算法可以有相當滿意成果，但是對難度較高之影像，仍有許多待深入探討之處。但是，這些研究均以 PNSR (Peak Signal to Noise Ratio)為主要的評鑑指標。

## 去交錯處理

針對「交錯式取樣」的後續處理，亦屬於內插之一種，稱為「去交錯」(Deinterlacing, 解交錯、反交錯)。在單一曝光單元時段，所獲得者為半幅，若為奇數幅，則下一幅為偶數幅，一個奇數幅或一個偶數幅又稱為一「場」(Field)。Wikipedia (2014h)中文詞條根據解交錯時所考量之內涵，將演算法分為：單一場去交錯(Intra-field deinterlacing)、場間去交錯(Inter-field deinterlacing)、動態適應性去交錯(Motion adaptive deinterlacing)、動態補償去交錯(Motion compensated deinterlacing)，四大類。第一類為僅考量單一場的內插，其所注重者為空間內插；第二類則將奇數、偶數場合併成一幅，需要考量到時間差異所形成之影響。第三、四類則考量場景中物件運動情況，為較為複雜的處理方法。

如同逆馬賽克處理一樣，邊界是去交錯處理中一項增強內插功能的重點。但是，由於奇數場與偶數場曝光時間差之故，場景中的運動問題需要特殊考量。在台灣地區大學研究中，林家福(2006)由連續多「場」影像中萃取動態區塊，將影像內涵區分為前景與背景，分別處理；陳銘哲(2006)針對視訊解交錯，提出一套整合動態適應性去交錯與動作補償去交錯的方法。在處理過程中，統計運動像元數量以及運動區塊數量，判斷場景是否有變化，在場景變化與沒有場景變化時，分別採用前述兩種方法。去交錯處理演算法的選用，與應用時之需求有關。如是為及時性儲存、傳輸、或顯示，複雜之演算法並不適用。因此，執行的時間效率是一項重要的考量。陳澐如(2010)引用擬真動作向量，除動作補償外，亦配合空間內插的作業。前述研究，成果依然以PSNR 指標判斷。

## 空間解析度考量

「像元數」經常是「空間解析度」考量時的一個重點，因為對相同面積尺寸的晶片而言，如採用同樣焦距與航高，「像元數」越高者，各個像元對應之地面面積越小，「空間解析度」也就越高。但是，「空間解析度」是一個複雜的議題，並非單純地由「像元數」決定。也因此，在行動通訊裝置附設的相機規格發展上，除增加像元數目外，將增大 CCD 面積亦做為一項功能擴充。因為感光單元面積增大時，訊雜比提升，由 MTF (Modulation Transfer Function) 曲線所量度之「空間解析度」亦得以提升。在空載相機方面，亦是同樣狀況。

基於費用的考量，中像幅空載製圖相機多應用拜耳濾鏡，但是就作者所知，並無採用交錯式掃描者。但是如果應用錄像機(Video)於空載攝影時，交錯式掃描便極可能是採用的成像方式。

若就空間取樣頻率而言，對應之各像元地面解析度為該比例之倒數。亦即，若單一像元對應地面為 1m，則紅、綠、藍分別對應地面為 4、2、4 m。若由三色層綜合計算得全色態影像，是否等同原始解析度 1m，這一議題有待確認。但是在實際作業上，以拜耳濾鏡取樣者均各自搭配內插程序，所以產出者為原始解析度之 RGB 影像。就像元數目而言，與原始空間解析度相同。但是所產出影像之 MTF 比對值是否相同，亦有待確認。

相同之狀況存在於「交錯式取樣」，但是，其間隔方向在於單一軸向。在航拍作

業時，掃描方向應垂直飛行方向。因此，空間解析度的弱化應只限於平行航向。

## 結語

影像與其感測設備，是一個十分有趣的議題。其應用不僅僅是航空製圖，無論是藝術、商業攝影、消費者攝影等，均有十分廣大且深入的應用。本文所介紹的拜耳濾鏡與交錯式掃描，是攝影設備中可能應用的設計成像方式。經逆馬賽克處理後之影像空間解析度，雖然尚未有確切的結論，但是對地元  $1\text{m}\times 1\text{m}$  之來自拜耳濾鏡之影像而言，解析度上限為  $1\text{m}\times 1\text{m}$ 、下限為  $2\text{m}\times 2\text{m}$ ，應為合理推斷。交錯式掃描則在飛行方向空間解析度減半，亦即沿用前例，在垂直航向方向為  $1\text{m}\times 1\text{m}$ ，平行航線方向上限為  $1\text{m}\times 1\text{m}$ 、下限為  $2\text{m}\times 2\text{m}$ 。無論是逆馬賽克或去交錯，經查閱之現有文獻中，均以 PNSR 為評估指標，未有探討空間解析度影響者。最適當之釐清方式，或許應為在校正場航拍作業中，應用西門子之星或黑白象限標獲取影像，以 MTF 進行量測分析。

此外，相機規格中，「行間傳輸」(Interline transfer)與「交錯式取樣」(Interlaced scan)宜妥善區分。由於其英文名稱均有「Inter」字樣，而且採用「行間傳輸」架構之 CCD 有可能為「交錯式取樣」，故非常容易混淆。由於採用「行間傳輸」架構之 CCD 除有可能為「交錯式取樣」外，亦可能為「連續取樣」，所以不可僅由規格書中「行間傳輸」即判定為「交錯式取樣」。除此之外，「輸出端數目」是另一個須注意區分者。由於「交錯式取樣」單一時間所取影像又稱「半幅」，所以先後兩個半幅可組成一個全幅。可是「輸出端數目」為 2 者，雖然各輸出端均輸出半幅，但是此兩個半幅曝光瞬間相同，與「交錯式取樣」不一樣。「輸出端數目」為 2 或更高者仍極可能為「連續取樣」，不能僅由「輸出端數目」為 2 判定為「交錯式取樣」。

此外，由於以製圖為目的所進行之航拍，其飛航速度與方向均一，如果妥善配合掃描頻率設計航速，應用於航拍之去交錯演算法，可能可以有特化之設計考量，由而獲得更良好之效果。

## 致謝

本文進展中，承蒙國立交通大學資訊工程系莊仁輝教授提供意見，謹此敬表謝意。並蒙多位廠商人員提供資訊，包含 Optech 公司 Mr. Tyler Ko、Miss Sumona Datta，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、余翠雯小姐，中翰儀器有限公司莊棠森先生，Trimbe (Applanix)公司 Mr. Tahir Shafiq，亦謹此致謝。

## 參考文獻

- 1.王志文，2008。邊緣偵測的彩色濾鏡陣列內插法，南台科技大學，資訊工程研究所，碩士學位論文。
- 2.史天元、王蜀嘉、王怡舜、李姝儀、蔡季欣、李佩珊，2013。數位空載製圖相機：2013，地籍測量，32(3):1-17。
- 3.林宜賢，2008。應用於數位相機之以小波轉換為主的插補分類器設計，國立臺灣師範大學，應用電子科技研究所，碩士學位論文。
- 4.林家福，2006。利用連續有效場景資訊之動態適應性解交錯技術，私立東海大學，

- 資訊工程與科學研究所，碩士學位論文。
- 5.阮任民，2010。應用邊跡關於彩色影像解馬賽克之研究，國立勤益科技大學，電子工程系，碩士學位論文。
  - 6.陳亮光，2006。影像感測器的邊界導向式彩色像素內插法，中央大學，資訊工程研究所，碩士學位論文。
  - 7.陳銘哲，2006。考慮影片連續畫面之變化資訊的電影電視轉頻技術與整合式解交錯演算法，私立東海大學，資訊工程與科學研究所，碩士學位論文。
  - 8.陳澄如，2010。擬真動作補償的研究及其在視訊去交錯上的應用，國立成功大學，電機工程研究所，博士學位論文。
  - 9.Chang, Jui-Hsin, Kuo-Wei Cheng, Chih-Cheng Hsieh, Wen-Hsu Chang, Hann-Huei Tsai, Chin-Fong Chiu, 2012. Linear CMOS Image Sensor with Time-Delay Integration and Interlaced Super-Resolution Pixel, Sensors, 2012 IEEE, 10.1109/ICSENS.2012.6411292.
  - 10.Darmont, Arnaud, 2009. Spectral Response of Silicon Image Sensors, Aphesa (www.aphesa.com), White paper, <http://www.aphesa.com/downloads/download2.php?id=1>，前次查詢：2014-02-09。
  - 11.Derenyi, E.E., and L. Newton, 1986. Control Extension Utilizing Large Format Camera Photography, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 53(5):495-499.
  - 12.Doyle, F.J., 1979. Large Format Camera for Shuttle, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 45(1):73-78.
  - 13.GeoMatch, 2014. Digital Aerial Cameras, <http://www.geo-matching.com/category/id50-digital-aerial-cameras-.html>，前次查詢：2014-02-13。
  - 14.ImagingSource, 2005. Bayer Demonstrator, <http://bayer-demonstrator.software.informer.com/>，前次查詢：2014-02-22。
  - 15.Kodak, 2006. Kodak 11002 Image Sensor Device Performance Specification, <http://www.yankeerobotics.com/trifid/download/KAI-11002.pdf>，前次查詢：2014-02-18。
  - 16.Kodak, 2007. Kodak Professional TRI-X 320 and 400 Films, <http://www.kodak.com/global/en/professional/support/techPubs/f4017/f4017.pdf>，前次查詢：2014-02-09。
  - 17.Kodak, 2011. Kodak Professional PORTRA 160 Film, <http://www.kodak.com/global/en/professional/support/techPubs/e4051/e4051.pdf>，前次查詢：2014-02-09。
  - 18.Kraus, Karl, 2007. Photogrammetry: Geometry from Images and Laser Scans, Walter de Gruyter, 2007 - 459 pages.
  - 19.Leica, 2014. Leica RCD30 Series Multispectral. Metric. Modular., [http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/airborne/RCD30/Flyer/Leica\\_RCD30\\_FLY\\_en.pdf](http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/airborne/RCD30/Flyer/Leica_RCD30_FLY_en.pdf)，前次查詢：2014-02-18。
  - 20.Lemmens, Mathias, 2008. Aerial Perspective: Digital Aerial Cameras, <http://www.profsurv.com/magazine/article.aspx?i=2146>，前次查詢：2013-04-05。

- 21.Li, X., B. Gunturk and L. Zhang, 2008. Image demosaicing: a systematic survey, SPIE Conf. on Visual Comm. and Image Proc., invited paper. [http://www.csee.wvu.edu/~xinl/papers/demosaicing\\_survey.pdf](http://www.csee.wvu.edu/~xinl/papers/demosaicing_survey.pdf) , 前次查詢：2014-02-18。
- 22.Luccio, Matteo, 2010. Aerial Cameras, Focus Shifts to Productivity, Imaging Notes, 25(4), [http://www.imagingnotes.com/go/article\\_freeJ.php?mp\\_id=243](http://www.imagingnotes.com/go/article_freeJ.php?mp_id=243) , 前次查詢：2013-04-05。
- 23.Petrie, Gordon, 2003. Airborne Digital Frame Cameras, GeoInformatics, 2003(October/November):18-27.
- 24.Wagner, Ruedi, 2011. The Leica RCD30 Medium Format Camera: Imaging Revolution, Photogrammetric Week, Institute for Photogrammetry, University of Stuttgart, <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowol1/095Wagner.pdf> , 前次查詢：2014-02-18。
- 25.Wikipedia, 2013. Bayer Filter, [http://en.wikipedia.org/wiki/Bayer\\_filter](http://en.wikipedia.org/wiki/Bayer_filter) , 前次查詢：2014-02-12。
- 26.Wikipedia, 2014a. 120 Film, [http://en.wikipedia.org/wiki/120\\_film](http://en.wikipedia.org/wiki/120_film) , 前次查詢：2014-02-09。
- 27.Wikipedia, 2014b. 135 Film, [http://en.wikipedia.org/wiki/135\\_film](http://en.wikipedia.org/wiki/135_film) , 前次查詢：2014-02-09。
- 28.Wikipedia, 2014c. Large format, [http://en.wikipedia.org/wiki/Large\\_format\\_\(photography\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Large_format_(photography)) , 前次查詢：2014-02-09。
- 29.Wikipedia, 2014d. Image Sensor, [http://en.wikipedia.org/wiki/Image\\_sensor](http://en.wikipedia.org/wiki/Image_sensor) , 前次查詢：2014-02-12。
- 30.Wikipedia, 2014e. Foveon X3 Sensor, [http://en.wikipedia.org/wiki/Foveon\\_X3\\_sensor](http://en.wikipedia.org/wiki/Foveon_X3_sensor) , 前次查詢：2014-02-12。
- 31.Wikipedia, 2014f. NTSC, <http://en.wikipedia.org/wiki/NTSC> , 前次查詢：2014-02-12。
- 32.Wikipedia, 2014g. Demosaicing, <http://en.wikipedia.org/wiki/Demosaicing> , 前次查詢：2014-02-23。
- 33.Wikipedia, 2014h. Deinterlacing, <http://en.wikipedia.org/wiki/Deinterlacing> , 前次查詢：2014-02-23。
- 34.Xu, Yang, 2009. Charge Domain Interlacing CMOS Image Sensor Design, Thesis for Master of Science in Electrical Engineering, Delft University of Technology, Netherland, [http://repository.tudelft.nl/assets/uuid:80ea30e9-11c3-4e7e-b250-7de6015f4744/Master\\_thesis\\_Yang\\_Xu.pdf](http://repository.tudelft.nl/assets/uuid:80ea30e9-11c3-4e7e-b250-7de6015f4744/Master_thesis_Yang_Xu.pdf) , 前次查詢：2014-03-06。
- 35.Xu, Yang, Adri J. Mierop, and Albert J. P. Theuwissen, 2011. Charge Domain Interlace Scan Implementation in a CMOS Image Sensor, IEEE Sensors Journal, 11(11):2621-2627.