

專用工業條碼閱讀器應用的 低成本高效能影像感測器

■作者：Gareth Powell / Teledyne-e2v 公司資深行銷工程師

摘要：

伴隨著當今更低成本和更高性能的工業相機的趨勢，對 CMOS 圖像感測器也提出了更高的要求，需要通過設計系統級晶元 (SoC) 來實現這一目標。為實現該目標，需通過 3D 晶元堆疊和背照 (back side illuminated ,BSI) 技術，把多個圖像處理任務集成到單一元件中。在未來將會出現具有精密的機器學習和專有的智慧計算晶片結合圖像擷取功能的解決方案，創造出緊湊的高速運算視覺系統。

可是在實現嶄新的大型技術集成之前，必需掃除兩個主要發展障礙—晶元的熱量管理和功耗。

現在，先進的前照 (front side illuminated ,FSI) CMOS 感測器整合了類比和數位功能，實現了成本和效能兼具的解決方案。能夠達成這些目標，關鍵在於把有利於系統效能及嵌入到圖像感測器 SOC 等各種因素的巧妙分隔。在這裡，分隔圖像系統應用以及諸如 CPU、FPGA 和 DSP 等已有圖像處理器件的角色是核心因素，因功能重覆會導致成本上升。而開發一個能夠為目標應用市場提供可行方案，以達到大規模量產 (以實現最低生產成本) 的標準圖像 SOC 產品，事前需要兩方面的深入對話。

終端相機產品的主要市場開發者，包括硬體、軟體、系統建構者和光學工程師，以及一個多範疇的圖像感測器開發隊伍，都在貢獻著各自在半導體科技和終端相機產品技術和應用的知識，尋找創新的產品解決方案。

本文將介紹一款二維條碼讀碼器和其它嵌入式視覺應用的 CMOS 圖像感測器系列產品、它們的應

用實例，以及一些未來發展趨勢。

條碼 — 現今最流行的編碼系統以及相關閱讀技術概況

在以公休日及季節性消費零售和網上購物的行業中，物流運輸、製造和批發等行業每日掃描逾 50 億個條碼。隨著 1970 年代全球首個條碼在一包口香糖上出現，現在它顯然是最流行的可讀編碼系統，並且不斷發展新的應用範圍。一維條碼是首個出現的條碼 (並因印刷技術進步，面積不斷變小)，而它仍然是主流技術，可見於零售、運輸和物流及其它行業的 UPC (獨有產品碼) 應用。二維條形碼有多種不同的規格，提供相較一維碼更多的可程式設計數據：一維碼最大可載入 20-25 字元，且取決於條碼類型；二維碼最大可以載入超過 2000 個字元。除了一般的寫入產品資訊和明細功用外，二維條碼也寫入校驗和 (checksum) 以及其它校正技術，以確保對印刷錯誤或破損的條碼有更大的容錯能力。二維碼在一些特定行業已獲得大量應用，如自動化製造行業，零件的直接部件標示 (direct part marking : DPM) 等。

二維條碼閱讀技術升級大約在 15 年前開始，因為它能夠同時閱讀二維碼和一維碼，並成為當今

圖 1: 條形碼範例

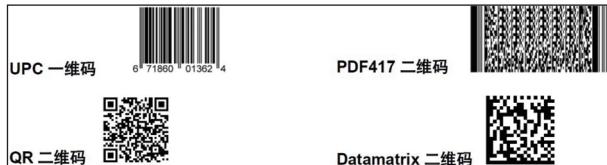


圖 2: 不是所有二維碼閱讀器都有同樣的功能



的市場主流。

不是所有二維碼閱讀器都有同樣的功能

條碼驗證和解碼系統正在快速發展並不斷改進，以提供更快、更緊湊、更低價格和更強大的閱讀功能。

雖然基於雷射的一維閱讀器仍然在產和使用，閱讀系統最顯著的技術進步卻是來自二維閱讀器。二維閱讀器通過圖像感測器，使得它能夠提供顯著的演算能力，帶來之前不可能出現的附加功能。這些功能包括拍攝照片和錄取視頻，以及加入更多先進功能，常見例子包括檔掃描、光學字元辨識 (OCR : orthogonal character recognition)、物件辨認、尺寸量度，以及更多其它功能。

Teledyne-e2v 的圖像感測器是一款面向這一市

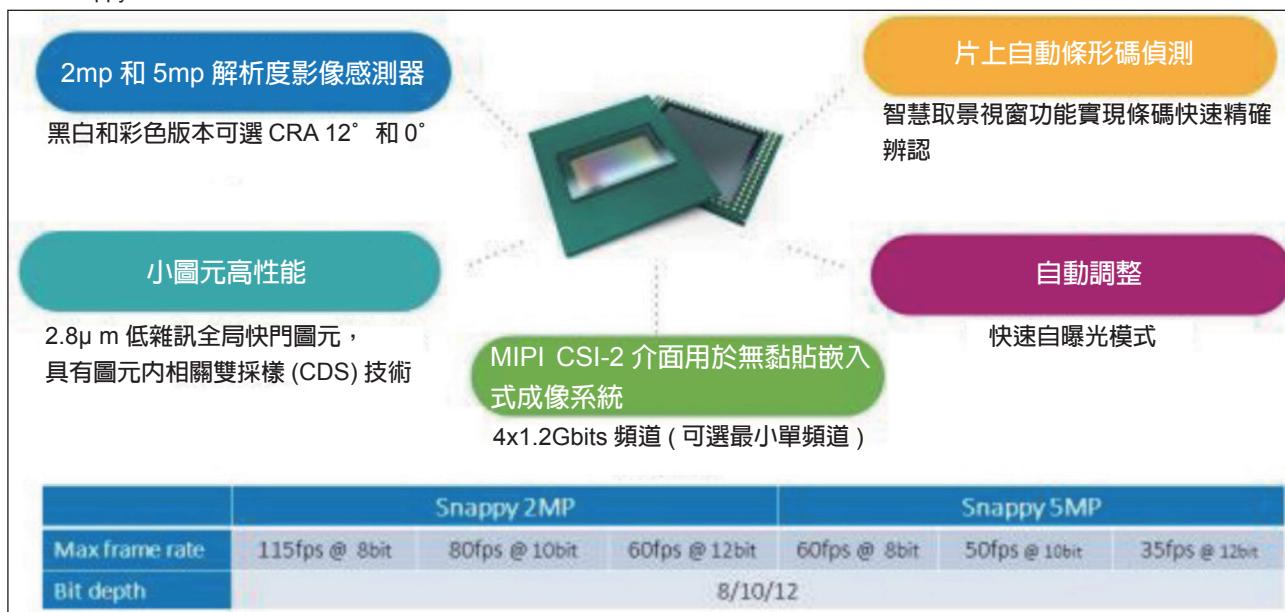
場上的獨特產品，提供了各種二維感測器選項以外的更多優勢。其中一個主要原因是它經設計專門用於條碼閱讀，而不是一般用途、消費性或車用市場的產品。這意味著一種精確強大的解決方案，能夠滿足領先市場的條碼閱讀器產品的一切要求。

Teledyne-e2v 近期開發出一小圖元低雜訊全局快門 CMOS 圖像感測器系列產品，擁有獨特功能，能夠為自動數據採集系統 (Automatic Data Collection System : ADCS) 和自動辨識 (Auto Identification : AI) 市場應用帶來顯著成本節省及 / 或性能提升的方案。在這一市場區間，雖然感測器單元成本是最重要的因素，但諸如照明 / 光學鏡頭的降成本方案也需要一併考慮。

二維碼閱讀系統要求非常快速的幀擷取圖像以避免拖影現象。這需要盡可能短的曝光時間。另一方面，要獲得最大景深 (depth of field : DOF) 或掃描範圍，往往會使用非常小的光圈 (一般時 F/8 或更小) 的鏡片。能夠進入圖像感測器圖元的非常小數目的光子結合很短的集成時間，意味著可以在低亮度應用中進行條碼閱讀 (見圖 5)。而全域快門也有利於閱讀移動的條碼。

影響終端閱讀器性能的主要感測器參數因而特別適用於條碼閱讀應用。圖 4 列出了一些主要的感測

圖 3: Snappy 是用於工業條形碼閱讀器的 CMOS 影像感測的一種創新面向應用方法



2mp 和 5mp 解析度影像感測器
黑白和彩色版本可選 CRA 12° 和 0°

小圖元高性能
2.8 μ m 低雜訊全局快門圖元，具有圖元內相關雙採樣 (CDS) 技術

MIPI CSI-2 介面用於無黏貼嵌入式成像系統
4x1.2Gbits 頻道 (可選最小單頻道)

片上自動條形碼偵測
智慧取景視窗功能實現條碼快速精確辨認

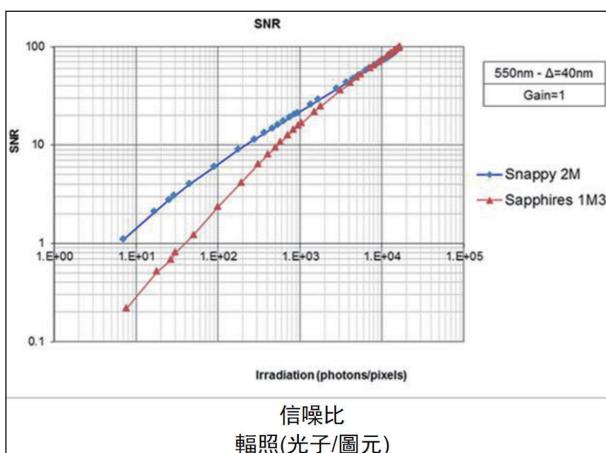
自動調整
快速自曝光模式

	Snappy 2MP	Snappy 5MP				
Max frame rate	115fps @ 8bit	80fps @ 10bit	60fps @ 12bit	60fps @ 8bit	50fps @ 10bit	35fps @ 12bit
Bit depth				8/10/12		

圖 4: Snappy 面向條碼掃描功能的主要規格

I/O performance	Snappy 2MP and 5MP	Application benefits
Pixel type	2.8u	提供最小的 GS 圖元，具有不妥協的 E/O 性能
	6T GS with CDS in -pixel	產品壽命 (最新技術)
GSE(OR PLS)	99.98%	增加了運動公差，掃描速度更快 (m/sec) 更高的輸送量，產品壽命，零售…
Peak QE(%)	56	更高的靈敏度 一流的掃描性能
DR (dB)	63	+ 專利的片上 HDR 改進了反光材料的閱讀
Total readout noise (e ⁻)	3e-	低光 SNR 性能 降低照明 / 功率 更大的景深 / 掃描範圍
DSNU (e ⁻ /s) @65C	<50	更好的高溫性能 減少固定模式雜訊 穩定的掃描性能與環境溫度

圖 5: Snappy 感測器的低亮度信噪比為減小系統照明光學能耗和成本提供優勢



器 / 條形碼閱讀性能要求，並展示出 Snappy 感測器系列作為專門應用 CMOS 圖像感測器範例的優勢。

溫升的影響

如果仔細一點觀察在 25°C 的溫度下，各種構成雜訊參數的元件之間的差異，以及這些元件在 >65°C 溫升時的狀況，某些元件的參數表現有局限性，在感測器選擇過程中應予以考慮溫升的影響。空間行列固定的讀出雜訊是條碼閱讀的其中一個特別重要參數。考慮到固定模式雜訊的形狀與直線和橫線相似，它們容易與條碼產生混淆，或會在圖像

中的條碼讀取時加入錯誤的資訊。

Snappy 系列
圖像感測器使用先進的半導體工藝，在 25°C 時只有少數暗信號光子，而即便在 65°C 也只測出每秒 77 個光子。這有助於行和列的內嵌固定模式雜訊消除演算法，即便在高工作溫度，也能實現只有幾個百分比的固定

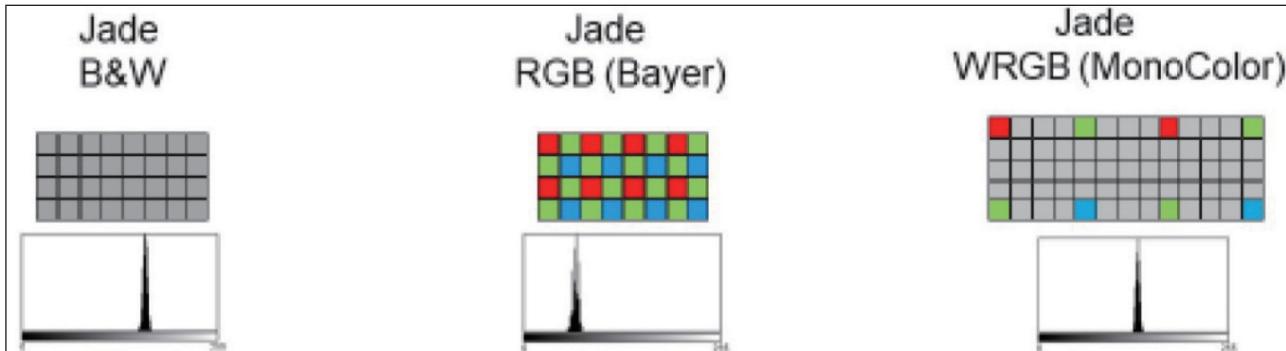
模式雜訊。

極低的讀出雜訊 (結合時間和空間元素) 典型數值為 3 個光子。即便在高溫環境下也不會惡化。如果感測器在高溫下性能下降，那意味著需要更多的照明，簡介提高了系統成本。

獨有的黑白 + 彩色像素濾鏡模式—結合黑白和彩色圖元的低亮高靈敏度數據的優勢

感測器可以使用有彩色圖元以便於加入附加的物件 / 標籤辨識功能，提供更多安全功能以避免假冒 (spoofing) 或條形碼本身不能閱讀的情況。不過，因為彩色感測器的有機彩色濾鏡的較低傳送特性，以及需要結合紅綠藍三色圖元來製造 "彩色" 圖元，這意味著相比於單色的圖像感測器，彩色禪觀棋有較低空間解析度和較低靈敏度。Teledyne-e2v 的 Jade 圖像感測器是一個有趣的創新，它使用單色圖元，但在每四個單色圖元加入一個彩色圖元。這樣就能保存閱讀條形碼至關重要的空間解析度和靈敏度，同時讓較低解析度的彩色圖像被同時擷取。

圖 6: 創新色彩感測應用無需對閱讀性能作出折衷



創新嵌入式應用專有功能

實現快速 (Snappy) 條碼閱讀不單是幀讀出率的結果。雖然固定雜訊是一個限制因素，但 Snappy 感測器未有為此作出妥協。該感測器提供 8 bit 位深接近每秒 120 幀的出色性能。獨有的啓動模式確保裝置在通電或候命狀態之後在第一張就擷取符合規格的信噪比圖像 (或快速自曝光亞圖像) 這並不是一般車用或其它應用的全域快門 CMOS 感測器的標準功能，因為這意味著在完全穩定和達到數據表標明的信噪比功能數值前，系統必需棄置多張全幀圖像。這一獨有的通電後首幀閱讀能力能夠為相機提供差異化因素，實現最高速條碼閱讀，向終端使用者提供 “快拍” 式掃描，為企業實現更高產能。以下將介紹在 Snappy 傳感器系列中，Teledyne-e2v 成像團隊發明的兩個最具創新的專利功能：它們經設計用於終端產品掃描的超高速條碼閱讀、辨認和解碼應用。

快速自曝光 (Fast Self Exposure : FSE) 模式 (用於 Snappy 2MP 和 5MP CMOS 感測器) :

快速自曝光模式允許在變化光線下優化曝光時間 (見圖 7)。相較於傳統的自動曝光模式，FSE 帶來更多融合時間和強大功能的優勢，包括完全消費者程式設計並向終端使用者提供穩定快速讀取優勢，自適應任何光源或動態光源環境，而且對幀率幾乎沒有影響。

專利的 FSE 模式使用了多個片上部件實現以下

圖 7: 用於條形碼閱讀和所有機器視覺應用的新型片上自動曝光方法



功能：

- (a) 獨有的縱向模數轉換器 (ADC) 允許在連續的行段設定 4 個不同的曝光時段，然後在整個陣列重複，產生 4 個具有不同曝光數值的低解析度圖像。這一功能也可以用作一種強大的高動態範圍影像擷取功能。
- (b) 橫向增量亞採樣，最大值 1/64 線
- (c) 內建統計資料包含飽和像素數值，並同時提供一個 16-bits 直方圖輸出，可以在影像注腳直接讀取開啓中的幀或區域的資料
- (d) 取景視窗 (ROI) 模式可支援 FSE 子幀，多區域，

以及區域中區域

(e) 精細控制可使用直方圖數值、平均值和二者的群組

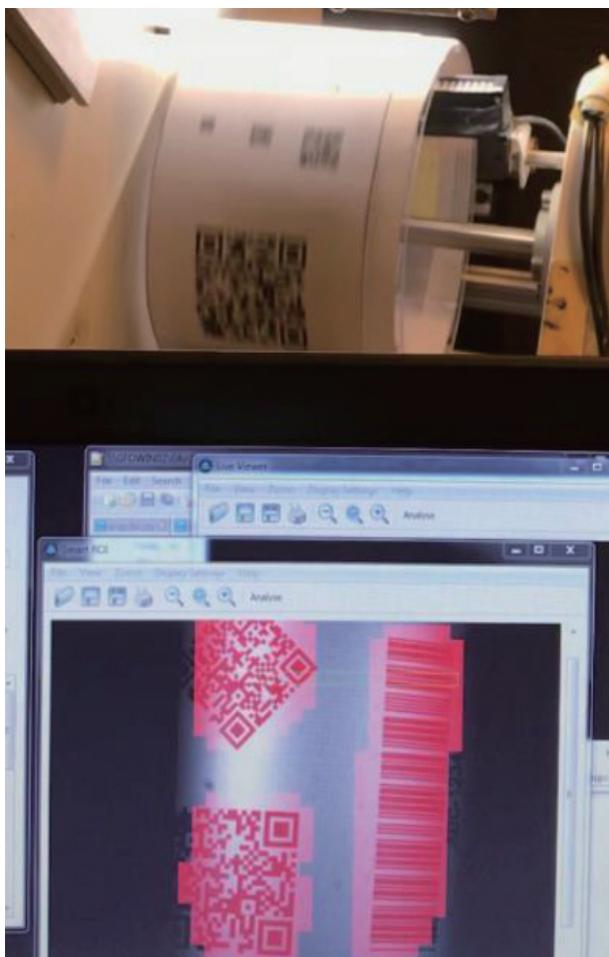
(f) 可程式設計緩衝器提供直觀的使用者控制和設定

這些功能為終端應用帶來掃描速度的優勢，因為 FSE 模式一般只使用小於 10% 的幀時段。其他 CMOS 感測器的傳統嵌入式自動曝光控制 (AEC) 使用漸近技術，避免閃爍 (flashing) 並提供目標圖像，使得圖像融合速度較慢。在整個過程會耗費大量幀幅，使得速度不能配合條碼閱讀應用的要求。

智慧取景視窗 (Smart ROI) 模式 (用於 Snappy 5MP 感應器) :

智慧取景視窗 (Smart ROI) 使用片上演演算

圖 8: 利用智慧取景視窗 (Smart_ROI) 功能檢測圖像感測器上多個移動中的條碼



法來偵側圖片上的一個或多個條碼。而條碼解碼圖像處理系統需要把載有條碼的範圍與其餘的部份分別出來，從而對有用的部分進行處理。這一工作一般是在 FPGA 或 CPU 上進行，因為這一任務需要大量的閘 / 即時時鐘 (RTC) 和處理能力，導致額外的高成本，以及選擇處理引擎時所遇到複雜技術限制。

把這一條碼偵測功能嵌入感測器中，能夠實現整體成本節省，這不單是因為處理方面的開銷顯著減小，還有是由於任務在感測器內完成，無需通過其它數位信號端加工處理，實現系統性能和穩定性優勢。在有效幀中偵測到的一維碼或二維碼在將會以區塊形式，並加上 X/Y 座標作為圖像注腳區域 (不可見) 的可讀資訊的一部分。感測器可同時偵測多個區域 (或條碼)，也可以偵測其它編碼，例如是在光學文字辨識應用 (OCR) 中閱讀印刷字元。即使是在條碼 / 物件 / 相機正在移動的應用中，這一功能仍然能夠有效工作。

顯著的成本節省和系統簡化是主要的優勢。5MP 感測器主要用於高端條碼應用，這是因為它需較大的鏡頭和更強的處理能力配合去進行 5MP 實時圖像處理 / 解碼工作，抵銷了更大掃描範圍或面積所提供的主要優勢。不過，Snappy 系列感測器的小圖元以及由片上智慧取景視窗帶來的處理開銷節省，能夠實現更小系統級成本。由於其低功耗和在單幀幅辨識多個條碼符號的能力，使得該產品正成為高解析度感測器的市場動力，在電商物流行業更是明顯的優勢。

快速自曝光和智慧取景視窗功能可以同時在 Snappy 5MP 感測器上工作，以確保在環境光線不斷變化的環境下，仍然能夠提供快速強大的操作能力。

Snappy 感測器系列經過設計優化，滿足低成本，低功耗的系統需求。前文也曾提及的感測器片上處理數據，工作性能可顯著提高。雖然不僅滿足條碼閱讀應用和市場，同時滿足其它類型的機器視覺 (MV) 應用，包括查驗、測量、光學字元辨識等等，也可以通過 Snappy 感測器的性能和嵌入式功能獲益。其它適用範圍包括嵌入式視覺系統、物聯網邊緣設備、無人機、增強現實、生物特徵系統等等。

圖 9:Snappy 感測器系列適用於其它機器視覺、智慧物聯網和其它工業計算視覺應用



Snappy 感測器整合鏡頭和先進採用 微電機的自動對焦提供附加價值

消費級相機光學模組並不適用於 B2B 工業應用的嚴苛長時間工作環境。另外，舉個例子，用於條碼閱讀的鏡頭一般有專門的性能和光學特性，需要最大的工作距離，而諸如光學調製轉換函數 (MTF) 等光學像差需要最小化，以便於有效地對特徵尺寸比奈奎斯特頻率還要小的條形碼進行解碼。集成了強大的 Snappy 圖像感測器和高性能鏡頭的 MIPI 光學模組 (MOM) 能夠提高系統的價值並節省開發時間

圖 10: 使用整合焦鏡頭和 Snappy 感測器的 MIPI 光學模組 (MOM)



和成本。

MIPI 光學模組是嵌入式視覺應用的理想解決方案，它允許某程度上使用訂製鏡頭，為 20mm x 20mm 的小型模組提供出色的性能和靈活性。Teledyne-e2v 現在向終端使用者提供首個 2MP MIPI 光學模組樣品，並且計劃推出 5MP 版本，以及強大而羽量、基於微電機技術的 2MP 自動對焦版本。自動對焦的最大優勢在於相較定焦光學系統，它允許使用更大光學孔徑來實現同級或更佳的掃描範圍或工作距離，但需要顯著地小的照明功耗。未來的 2MP MIPI 光學模組將為工業成像應用提供更多性能 / 或成本改進。新產品的詳細內容將於 2020 年中公佈。不過現在已有一個使用嶄新開環『多焦』功能的評估平臺，能夠提供最大工作範圍和最大幀率，並具有可用於現存 Snappy 2MP 示範套件的 MEMS 自動對焦元件。

電商的爆發性成長帶來的新趨勢和變革

電子商務的爆發性成長帶來的巨大雙位數年複合增長率 (CAGR) 目標 (每年大於 25%)，不單為物流中心運營帶來變革，也為傳統的實體零售點提供保障。零售市場正在面對巨大轉變，需要提供更好的客戶體驗並通過使用無人自動『自助掃描』系統

圖 11：電子商務的爆發性成長促成了對 CMOS 感測器要求和功能的新趨勢和變革



來縮短結賬時間。這些系統的成功關鍵不單在於可靠的條碼辨識和解碼能力，還有是需要更多使用彩色成像器件的更精細的物件辨識任務。

如要全面實現高成長潛力，首要條件是要實現更高速度或更高產能的掃描器和相機。具有寬畫面的更高解析度感測器將允許更快的閱讀速度並實現更大錶面積讀碼 (在同一圖像包含多個包裹和條碼)，以至在未來在單個感測器覆蓋整個倉庫區域。

關於圖像感測器，我們看到柔性感測器技術應用的優勢，它能夠減小外部光學元件的複雜性並減省諸如鏡片繞射極限等現有關於小圖元的一些限制。這一發展可提供兩個優勢，一是簡化並節省光學本，二是允許 2.5μ 以下的小圖元無需減小 MTF 仍然達到鏡片光學繞射極限。

在倉庫應用中，對於一個小包的以及掃描小包上的條碼的需求，往往源於不斷增長的電商分發中心的效率目標。每一平方釐米的存儲和運送空間都要實現最大化應用。要對貨件實現整個運送和供應鏈的三維尺寸監控，以至於通過二維碼閱讀相關編碼 / 文字標籤，現需要使用兩個單獨的相機，一個用於三維 (大部分使用結構光源或基於三維技術的立體化視覺)，而另一個則使用非互聯的二維相機。

現在的研究重點在於研發一個二維和三維兼具的 CMOS 感測器，可以同時提供傳統的二維影像和三維點雲 (point cloud)。Teledyne-e2v 致力為這些新市場範圍提供尖端領導技術，並已制訂能夠配合下世代相機和成像系統的未來產品路線圖和智慧財產權，使得相關技術夠聚焦應用專有需求，相信不用很久，便可預見到新的產品問世。 

COMPOTECHAsia 賦書

每週一、三、五與您分享精彩內容

<https://www.facebook.com/lookcompotech>