

機器學習進駐邊緣 Embedded Vision 亮起來

■文：任苙萍

今年以來，肺炎疫情重傷不少產業，卻意外讓某些科技應用成為受害者，機器視覺 (Machine Vision) 便是其一。研調機構 ReportLinker 日前大幅上修市場估值，推測今年全球機器視覺市值達 80 億美元，2027 年將增至 177 億美元，期間年複合成長率 (CAGR) 為 12%。與此同時，「3D」機器視覺系統之 CAGR 高於整體平均值、達 13.96%，2025 年達 26 億美元，硬體佔比最大、但軟體增長較快。分眾市場歸因「智能相機」帶動——集成感測器、處理器、相機到電腦的介面和鏡頭，以及可編程自動化控制器與人機介面。

意即：將攝影鏡頭、處理器到 I/O 設備的所有組件都嵌入在一個小盒子中。這些系統由帶有集成視覺軟體的嵌入式控制器組成，該控制器直接連接到一個或多個攝影機，這些攝像頭的圖像解析度、大小和成像速率可能有所不同，主要參與者是：歐姆龍 (OMRON)、恩基斯 (Keyence)、康耐視 (Cognex)、巴斯勒 (Basler AG)、美國國家儀器 (National Instruments)、ISRA Vision AG、TKH 集團、Stemmer Imaging、

圖 1：康耐視 In-Sight D900 智慧相機採用的 In-Sight ViDi 軟體，專為執行深度學習應用而設計



資料來源：<https://www.cognex.com/zh-tw/products/deep-learning/in-sight-d900>

MVTec Software GmbH 和 Tordivel AS。康耐視近日即推出首款 In-Sight D900 嵌入式視覺系統——在 In-Sight 工業級智能相機內嵌自有 ViDi 深度學習軟體。

恩智浦發表用於 MCU 的 Glow 神經網路編譯器

搶攻「邊緣 AI」有成的恩智浦半導體 (NXP) 援引 TIRIAS Research 研調數據表示，至 2025 年，約有 98% 的邊緣裝置將使用某種形式的機器學習 (ML) / AI；即使沒有專用的機器學習加速器，屆時也將有 180 ~ 250 億部裝置

具有機器學習功能。這意味著：消費型裝置製造商和嵌入式物聯網 (IoT) 開發者需將機器學習框架最佳化，以便在微控制器 (MCU) 實現低功耗的邊緣嵌入式應用。看準此一商機，恩智浦發表業界首款用於 MCU 的 Glow 神經網路編譯器 (Neural Network Compiler)，並已整合到自家 eIQ 機器學習軟體開發環境。

Glow 編譯器最初是由臉書 (Facebook) 所開發的開源社區專案，旨在與特定目標整合、省卻即時編譯程序、生成高度最佳化代碼，進而提升硬體平台的神經網路效能。GitHub 的標準版 Glow 可直接在任何裝置上運行，讓使用者可靈活針對安謀 Arm Cortex-A/Cortex-M 核心與 RISC-V 等架構編譯神經網路模型核心；而恩智浦是首家針對 MCU 提供高於 Glow 標準版 2 ~ 3 倍效能的半導體供應商，於 MCUXpresso 軟體開發套件 (SDK) 免費提供，適用於安謀 (Arm) Cortex-M 核心和益華電腦 (Cadence) Tensilica HiFi 4 DSP 的神經網路運算元庫。

eIQ 機器學習軟體，助陣邊緣 AI 高效推論

恩智浦將 Arm CMSIS-NN 軟體庫納入 eIQ 中，目的是盡可能提升效能並減少 Arm Cortex-M 核心上的神經網路記憶體佔用；Glow 整合到恩智浦 eIQ 後，可在 i.MX RT 跨界微控制器——RT685、RT1050 和 RT1060，以及 i.MX 8 應用處理器 (AP) 進行擴展和高效推論，用以開發語音應用、物體／臉部辨識等應用。恩智浦面向邊緣 AI 開發環境的策略是：提供全方位工具套件 (toolkit)，包括開發者迫切需要的建模。eIQ 目前可支援 Glow 和 TensorFlow Lite 推論，並且會定期執行基準測試以衡量其效能。

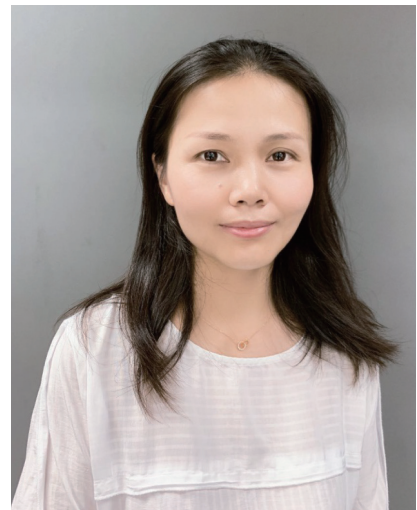
恩智浦還強調邊緣智能設備應重視「安全連結」，包括安全啟動信賴起點、晶片內建加密、安全佈建、相互裝置驗證、安全裝置管理、空中更新 (OTA) 或無線安全更新與生命週期管理。恩智浦旗下 i.MX 8M Plus 具備進階 EdgeLock 嵌入式安全 (含資源網域控制器、信任區、HAB、加密啟動、使用 RSA 的公開金鑰加密與橢圓曲線

演算法)，為邊緣 AI 再加一層防護；可擴充的 EdgeLock 組合涵蓋安全元件、安全驗證器、應用處理器嵌入式安全和 MCU，為邊緣節點提供完整性、驗證確實性和隱私，並保證邊緣到閘道 (Gateway)、雲端的安全性。

集成 IGP 的「智能視覺感測器」引發關注

除了智能相機，進一步內嵌整合圖像處理器 (Integrated Graphic Processor, IGP) 的「智能視覺感測器」正引起關注，讓晶片可即時在手機等「邊緣設備」進行分析、分類、判讀圖像，亦可即興創意編輯。好處是：可在數據進入主設備的儲存或處理管道前，將所有不必要或不需要的數據丟棄，減少處理負載且更有隱私、安全保障。對此，近來在嵌入式系統聲勢漸壯的安森美半導體 (ON) 認為，類畫素陣列晶片所獲取的訊號可利用感測器中的 AI 處理，無需高性能處理器或外部記憶體奧援，有助發展邊緣 AI 系統。

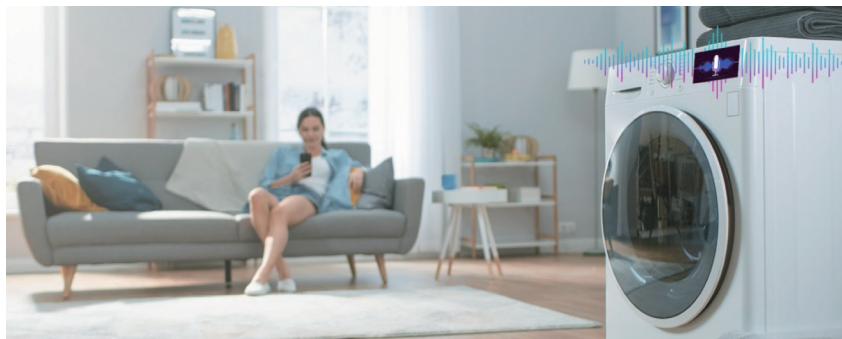
安森美工業影像感測器部大



照片人物：安森美半導體工業影像感測器部大中華區行銷經理陶志

中華區行銷經理陶志指出，AI 影像感測器是將分析和處理整合在 CMOS 影像感測器中，並在感測器集成用於影像識別的底層或輕算力的卷積神經網路層 (CNN)，以及帶有記憶體的數字矩陣乘法運算單元體系；如此一來，感測器輸出的是「元數據」(Metadata，又稱為：詮釋資料、中介資料、中繼資料、後設資料等)，屬於影像數據的語義資訊而非影像資訊，可減少數據量並避免隱私爭議。她提醒，畫素越高的智慧影像感測器，需要更大的數據量、更強的運算單元，功耗和儲存空間也會相應增加。

圖 2：恩智浦發表用於微控制器 (MCU) 的 Glow 神經網路編譯器，為邊緣視覺和語音之機器學習應用帶來諸多優勢



資料來源：恩智浦提供

AI 機器視覺，因時空制宜

因此，AI 機器視覺需加以綜合考量。另一方面，當使用傳統 CMOS 影像感測器拍攝視訊時，必須發送每個單獨數據幀予 AI 單元處理，導致數據傳輸量增加且難以即時處理。整合高速 AI 處理功能的感

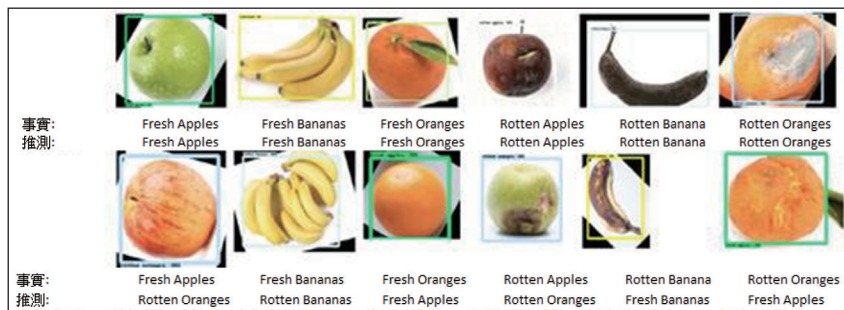
測器，能在單一視訊幀中完成整個過程，讓「在錄製影片的同時提供高精度、即時的目標跟蹤功能」成為可能。用戶能將自己選擇的 AI 模型寫入嵌入式記憶體中，並可根據用戶要求或系統使用位置等條件對其進行重寫和更新。例如，在零售商場安裝整合智慧視覺感測器的多個攝影鏡頭時，應用可橫跨不同的時間、地點（環境）或目的。

安裝在商場入口時，可統計訪客數量；在商店貨架，可用來檢測庫存短缺情況；在商場天花板，可用於繪製商店訪客熱圖（檢測客戶聚集的位置）等。陶志深入闡述，為滿足 AI 訓練和推論的快速、高效、精準能力，在提升影像感測器性能之餘，豐富的成像資訊整合也可增強 AI 性能，且逐漸成為系統做出明智決策的關鍵。隨著 AI 發展，演算力正面臨前所未有的挑戰，分類系統設計需要功能強大的 GPU 或 TPU 神經網路處理器。訓練過程因涉及海量大數據和複雜的深度神經網路結構，運算規模非常龐大，通常由 GPU 或雲端完成。

「影像感測 + AI 處理」 雙管齊下，安森美強勢登場

例如，由基於安森美半導體 AR1335 1300 畫素 CMOS 影像感測器的相機系統、NVIDIA Xavier Edge GPU、MobileNetV2 的 TensorRT 版本組成 AI 系統，在六個類別訓練 CNN 以辨別新鮮或腐爛的蘋果、柳丁、香蕉，推理精

圖 3：安森美 AR1335 採用 1.1µm 畫素背照式 (BSI) 技術以及領先的靈敏度、量子效率和線性阱 (linear trap)，提供出色的微光影像品質



資料來源：安森美提供

度達 97%。推理部署的運算量雖較訓練環節少，但仍涉及大量矩陣運算。面對深度學習之訓練和推斷的演算力需求，需要高功率 GPU/TPU 以實現低延遲。陶志總結，AI 要能「自動、有意識地」應對變化，系統須配備 VGA 規格、高性能鏡頭、高科技照明，自動調節光源亮度、自動對焦至適合穩定檢測的狀態，以清晰拍攝目標工件。

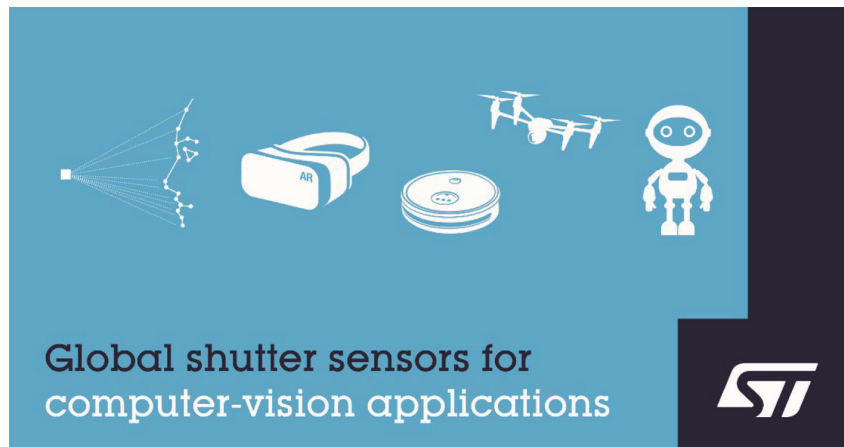
安森美透過投資多種感測器和 AI 處理技術，在產業佔有一席之地——從僅有 RGB 三元色組成的成像系統到添加詳細光譜特徵，協助辨識 RGB 力有未逮的部分，且使用 12 位元的影像數據提

高影像精度，從 X、Y 二維定位資訊進化到將深度像元技術或毫米波 (mmWave) / 光達 (LiDAR) 與影像融合後獲取深度資訊，以瞭解檢測對象的全部體積、大小、高度等資訊，實現深度學習。安森美的 Super Depth 像元技術、RGBIR 多光譜技術、基於單光子雪崩二極體 (SPAD) 和矽光電倍增管 (SiPM) 的感測器等，為工業、汽車、消費類應用提供優異解決方案。

ST「全域快門」高速影像感測器，攝影無失真

意法半導體 (ST) 則針對智能

圖 4：同時保存每格畫面所有畫素資料的「全域快門」是拍攝無失真影像的首選模式



資料來源：ST 提供

機器視覺推出「全域快門」(Global Shutter) 高速影像感測器——VD55G0(640 X 600) 和 VD56G3(1124 X 1364)，具備低寄生感光度(PLS)、高量子效率(QE) 和低串擾三大優勢；其中，VD56G3 的嵌入式光流處理器可計算動作向量，不需使用主處理器。ST 主張，當移動或需要近紅外線照明的場景時，相較於依序逐步擷取畫素數據、須經校正的「捲簾快門」(Rolling Shutter)，同時保存每格畫面所有畫素資料的全域快門是拍攝無失真影像的首選模式，適合擴增／虛擬實境(AR/VR)、同時定位和地圖建置(SLAM) 及 3D 掃描。

ST 結合創新 40nm 矽製程與第三代「完全深溝隔離」(DTI) 先進畫素架構，可在單層背照式(BSI) 晶片實現 2.61 μm X 2.61 μm 超小畫素，節省光學感測器和底部晶片之訊號處理電路的垂直堆疊空間——頂層感測器畫素陣列更小、底層可騰出更多矽面積以增加數位程式處理能力及功能，包括「全自主式低功率光流模組」——當速率為 60fps 時，能運算 2,000 個動作向量。「嵌入式向量資料」的輸出對 AR/VR 或機器人定位、引導十分有用，於處理能力有限的主機系統更是助益良多。上述影像感測器還支援「全照明控制」等多項感測環境設置。

雲端訓練「輕量版」ML 模型回饋至 MCU

雖然邊緣設備的就地處理能



照片人物：工研院機械所副組長張彥中

力日漸茁壯，但礙於有限運算和儲存資源，現階段仍以推論或類似「學前教育」的預處理為主；巨量資料的訓練，還是偏好在雲端進行。為此，Edge Impulse 公司另闢一種商業模式：導將收集到的感測器數據送到雲端 ML 模型訓練、予以簡化後，再回頭部署至 Arm Cortex-M 之感測器、智能插座／燈泡或穿戴裝置等嵌入式設備，將精簡過的「輕量版」模型導入各大 MCU 硬體平台，已與 Arduino、ST、Eta Compute 簽署協議，首批在列硬體平台如下：

- Arduino Nano 33 BLE Sense 和其他 32 位元 Arduino 開發板；
- ST B-L475E-IOT01A IoT 探索套件；
- Eta Compute ECM3532 AI 感測器板；
- 帶有 STM32H7 Cortex-M7 MCU 的 OpenMV Cam H7 Plus (尤適用 TinyML)；
- Seeed Studio 帶有 SAMD51 Cortex-M4 微控制器的 Wio 終端。

付費用戶還可使用雲端追蹤

和共享功能，進一步針對特定用例調整模型。至於邊緣設備的系統整合，工研院機械所副組長張彥中分享，有些工控系統商把瑕疵檢測演算法做在相機裡，買來即可用；定位和導引是移動機器人的關鍵技術

之一，英特爾 (Intel) 等廠商已嘗試將無人搬運車 (AGV) 的感測器結合深度攝影機和定位演算法，但要上線執行任務還須搭配導航功能。使用者在意的是穩定度、可靠性和強健性 (Robustness)，這其實難度很大，實驗室的樣本測試有其極限、不一定能發現；若餵入的數據有所偏頗，AI 訓練出來的結果可能存在偏見。

張彥中透露，工控對上線可靠度的要求高，取得大量資料訓練加上嘗試錯誤的強化學習 (reinforcement learning) 或有幫助。工研院新近展示的「AI 自動標註系統」即借助虛實整合系統 (CPS) 實現：以虛擬攝影機拍攝真實物件的形態並取得位置，產生各種擺放方式、很快產生測試資料，再餵給 AI 模型做訓練；因為電腦一秒鐘可傳送上萬筆經過標註的資料，比人工作業高效許多。對於工業應用的機器視覺而言，瑕疵檢測和物件辨識的正確率、姿態預測、位置誤差都是重要指標；而隨著技術成熟、元件成本下降，3D 感測應用將越見蓬勃。CTA