

智能邊緣引領 「嵌入式系統」騰飛

■文：任苙萍

什麼是嵌入式系統？業界曾如此定義：基於電子和處理器、被設計用來執行單一任務的運算系統，通常具有即時運算能力和專用功能的控制器，例如，在行動設備執行複雜的圖形用戶介面 (GUI)，早期更多是直接以「微處理器系統」來稱呼它；然而，感測器及輸入／輸出 (I/O) 等類比元件在嵌入式系統亦不容忽視。值得注意的是，通用器件及現場可編程邏輯閘陣列 (FPGA) 廠商多認同：軟體可能成為創造差異化的關鍵！正如本刊上期【產業特輯】所提及——相較於硬體，演算法對改善運算效能的幫助更大，甚至出現軟體定義晶片 (SDX) 一詞。

圖 1：插卡之嵌入式系統，具有處理器、記憶體、電源和外部接口



資料來源：https://en.wikipedia.org/wiki/Embedded_system

市調機構 Insight Partners 列示嵌入式系統包括：微處理器 (MPU)、微控制器 (MCU)、專用晶片 (ASIC)、數位訊號處理器 (DSP)、FPGA、記憶體和軟體等，應用涵蓋從低端到高端的消費電子產品、醫療設備、工業設備、武器控制系統、娛樂設備、航空航天系統、學術設備等；預估 2018 年全球嵌入式運算市場達到 320.9 億美元，且在 2018 ~ 2027 年的預測期內，將以 8.7% 的年複合成長率 (CAGR) 增長，最終達到 672.9 億美元。消費電子產品的增長、以及對更高性能和更多功能的需求，正在推動 MCU 市場。

「智能邊緣設備」促使嵌入式增長，汽車將成主力

放眼未來，汽車行業將成為嵌入式運算市場的主要動能。現代車輛具備 25 ~ 100 個電子控制單元 (ECU)，通常每個 ECU 都集成一個單核／多核處理器、記憶體、加密或圖像處理引擎等專用加速器、電源元件、感測器接口、執行器和網路。無獨有偶，美國顧問公司 ARC Advisory Group 亦贊同汽車應用最具潛力——混合動力電動汽車 (HEV) 和純電動汽車 (EV) 興起，帶領智能系統控制不斷擴張，全自動駕駛尤需運行多個複雜的人工智慧 (AI) 軟體和系統。隨著物聯網 (IoT) 和工業物聯網 (IIoT) 出現，嵌入式技術已成智能生態迅速拓展的推動者。

ARC 指出，嵌入式系統的硬體組件包括晶片、印刷電路板 (PCB)、韌體和目標設備等；軟件元素包括開發平台、即時作業系統 (RTOS) 和測試等。嵌入式設備通常由系統單晶片 (SoC) 與 FPGA 等「與硬體集成的軟體」提供動力，以便開發人員針對特定功能

進行編程積體電路 (IC) 和其他韌體版本，意謂軟體和硬體已然密不可分。簡單、大批量消費市場的嵌入式系統多由 99% 硬體 + 1% 軟體所組成，但飛機、汽車或高度可靠的工控應用，則以高度專業化、小批量為主；若測試及應用程式繁複，軟體所佔嵌入式系統成本的比例甚或可高達 95%！

ARC 認為，嵌入式系統雖是非常成熟的技術，但新一代功能強大的處理器不斷發展，使嵌入式系統幾與「智能互聯」畫上等號，而「智能邊緣設備」(Edge AI) 將促使整個嵌入式系統顯著增長。在分眾市場分面，數十年來，消費電子一直是嵌入式系統的主要市場，但物聯網的出現將賦予它們全新意義——新型感測器和軟體等嵌入式智能已成為主要元素。醫療保健則是嵌入式系統開發最快的應用之一，例如，手持式／可攜式治療設

備及用於監測生命體徵的設備；另拜監視心率或識別動脈阻塞的小型嵌入式系統之賜，嵌入式技術亦參與複雜的手術過程。

前三大 Edge AI：智慧手機、智慧音箱與抬頭顯示設備

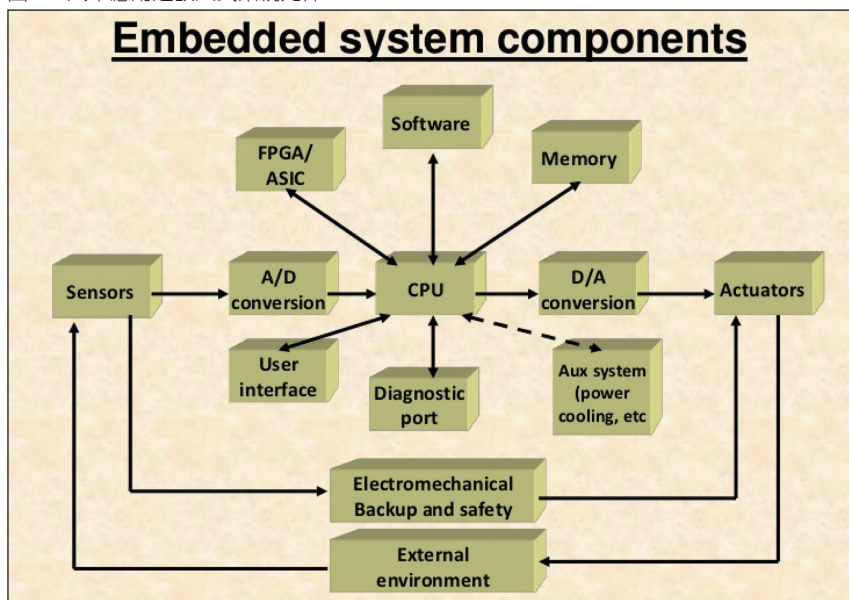
此外，智能建築和智慧城市的來臨，將使嵌入式系統擴展預測性和規範性，基於 AI 和機器學習 (ML) 實現完全自主和自我修復。工研院產科國際所在日前「眺望 2020 產業發展趨勢研討會」亦指出，連網設備為解決網路頻寬有限、通訊延遲、缺乏網路覆蓋、資料隱私與機密等需求，終端 AI 運算能力需求將大於雲端運算，綜合預測邊緣端與裝置端 AI 晶片市場規模將從 2017 年的 7.93 億美元、成長至 2025 的 516.23 億美元，

CAGR 高達 68.5%；估計 2025 年，前三大 Edge AI 產品分別為：智慧手機、智慧音箱與 AR/VR/MR 等抬頭顯示設備 (HUD)。

其中，成長最快速的產品是消費型與企業用機器人及安全監控攝影機。技術挑戰在於：發展低能耗、高準確率的認知計算，包括新型運算架構電路設計、演算法等。未來人工智慧晶片是特定的演算法加速器，來加速卷積神經網路 (CNN)、遞迴神經網路 (RNN) 等各種神經網路演算法，專用晶片的最大優勢在於其成本和功耗降低，大幅提升人工智慧演算法運行效率。工研院產科國際所分析師范哲豪觀察，記憶體是裝置端 AI 晶片設計的關鍵，台灣具完整的記憶體產業鏈，及豐富的生產製造經驗。若發展 AI 晶片時能密切整合，將具強大的優勢。

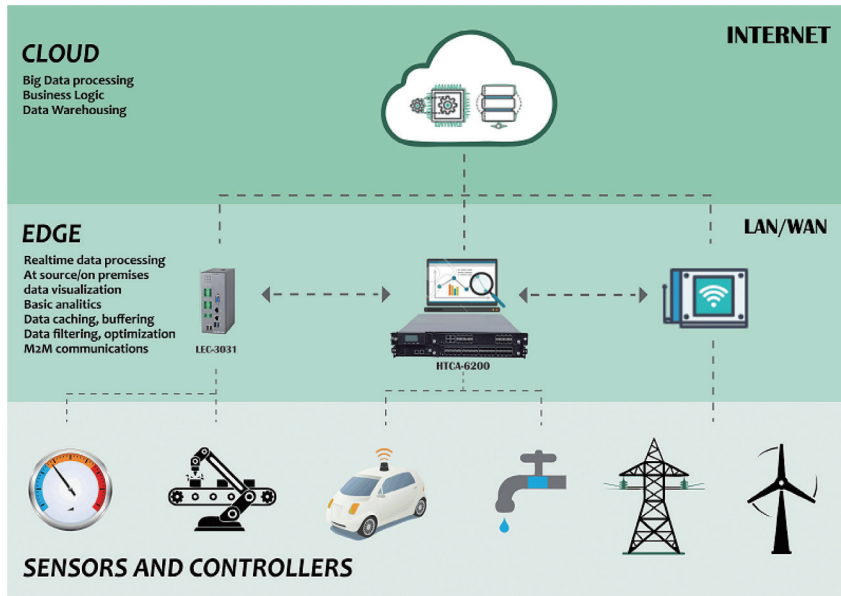
台灣 AI 晶片聯盟 (AITA) 已於今年七月成立，預期產生 1+1>2 之效果。預期未來 IoT 裝置所使用的控制晶片，皆將內含 AI 加速晶片。AI 創新能量蓬勃，演算法每幾個月就有大躍進，如何讓電子器件的開發環境與其無縫接軌，成為影響採用意願的要素之一。於是，各家處理器供應商無不絞盡腦汁在整合開發環境 (IDE)、打包軟體套件、創造韌體差異、各式開發板，乃至與雲端服務供應商 (CSP) 的合作上，目標是為各有專長的工程師形塑「工具鏈」、鋪設一條康莊大道，讓底層基本核心、韌體、中介軟體 (Middleware) 和最上層的應用軟體毫無隔閡。

圖 2：汽車應用之嵌入式系統元件



資料來源：https://commons.wikimedia.org/wiki/File:AUI1617G11_Embedded-systems-in-automobile-5-728.jpg

圖 3：傳統雲端運算 vs. 邊緣識別模型



資料來源：聯發科技：<https://www.mediatek.com/blog/how-edge-ai-is-widely-changing-smart-devices>

Microchip 新推統一軟體開發平台 & IoT 快速開發板

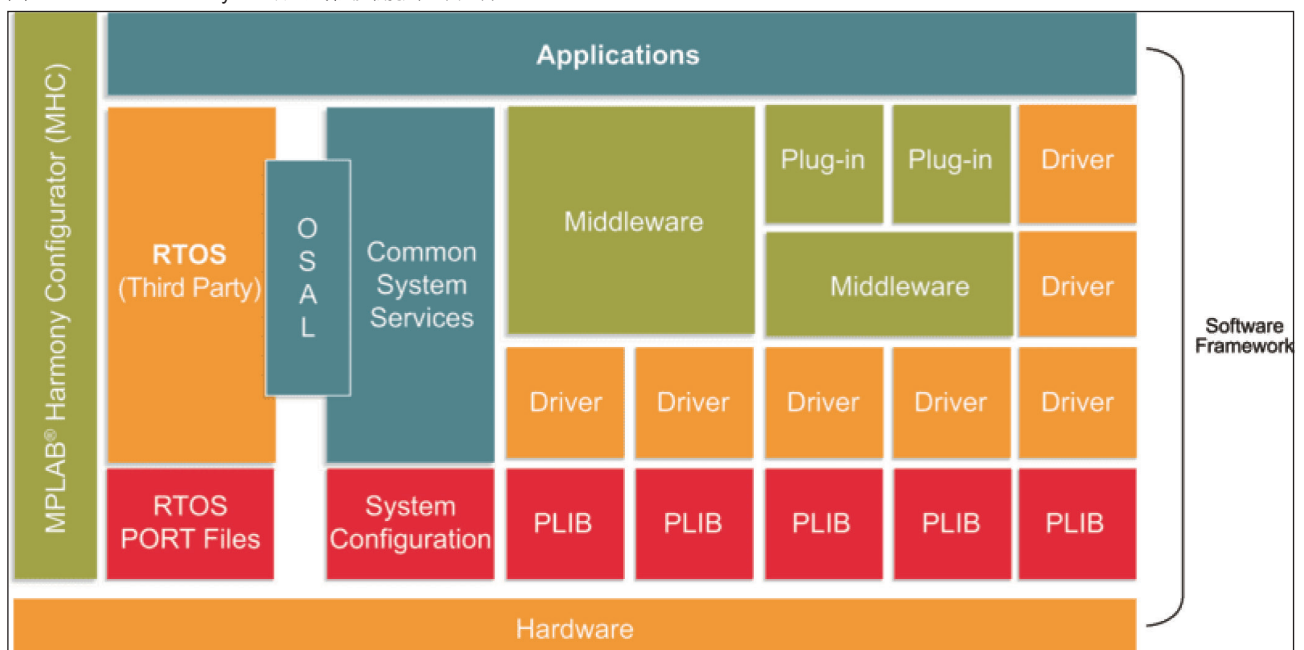
常被學界視為培訓範本的

微芯科技 (Microchip) 今年新推 MPLAB Harmony 3.0，為所有 32 位元 PIC / SAM MCU 提供統一軟體開發平台，主打增強的工具鏈允許「模組化軟體下載」並簡化驅動

程式。若只需使用部分程式庫或元件驅動——例如，欲下載基本的晶片驅動程式或可重用的 TCP / IP 軟體協定堆疊，不必耗時下載整個軟體套件，可節省下載時間和硬碟空間。Microchip 表示，從基礎驅動程式配置到 RTOS 設計，32 位元 MCU 應用的複雜性和開發模型差異甚大，故首次為 SAM 系列 Arm-based MCU 提供支援，協助工程師簡化、調整設計。

新版本還增加簡化設計的功能，例如，透過與 wolfSSL 合作的免版權費安全套件軟體及模組化軟體下載，方便開發者各取所需。該軟體提供簡化的驅動程式、優化的周邊程式庫 (PLIB) 和泛用中介軟體支援，可進一步縮短開發流程，減少開發者花費在低階驅動程式的時間和精力，轉而專注於應用程式的多樣性。MPLAB

圖 4：MPLAB Harmony v3 嵌入式軟體開發框架元件



資料來源：Microchip：<https://www.microchip.com/mplab/mplab-harmony>

Harmony v3 可從 Microchip 官網免費下載，現支援用於 SAM MCU 的 Xplained Pro 和 Ultra 實驗板，與 MPLAB X IDE 緊密結合，可適用於 Microchip 整個 MCU 產品線，為客戶提供統一的軟體發展框架。

Microchip 闡述，從咖啡機到恆溫器、再到灌溉系統，MCU 是數百萬嵌入式應用的心臟；因應 MCU 應用遷移到雲端，開發者必須克服由通訊協定、安全性和硬體相容性所形成的複雜性難題。為此，Microchip 專為 Google Cloud IoT Core 推出全新 PIC-IoT WG 快速開發板，結合低功耗 PIC MCU、CryptoAuthentication 安全元件 IC 和完全認證的 Wi-Fi 網路控制器，避免大型軟體框架和 RTOS 所造成的額外時間、成本和安全漏洞。一旦連接雲端，Google Cloud IoT Core 即可提供強大的數據和分析功能，幫助設計人員製作更好、更聰明的產品。

機器視覺上位，FPGA 星勢力來襲

PIC-IoT WG 開發板由完整的電路板原理圖和展示程式碼——MPLAB X IDE 和程式產生器 (MCC) 快速原型開發工具提供支援，可協助用戶快速開發差異化物聯網終端產品。它還與超過 450 個 MikroElektronika Click 板相容，可擴展感測器和執行器選項；開發者可存取線上網站，立即將發佈的感測器數據視覺化。PIC-IoT WG 開發板已加入新近發佈的 AVR-IoT WG

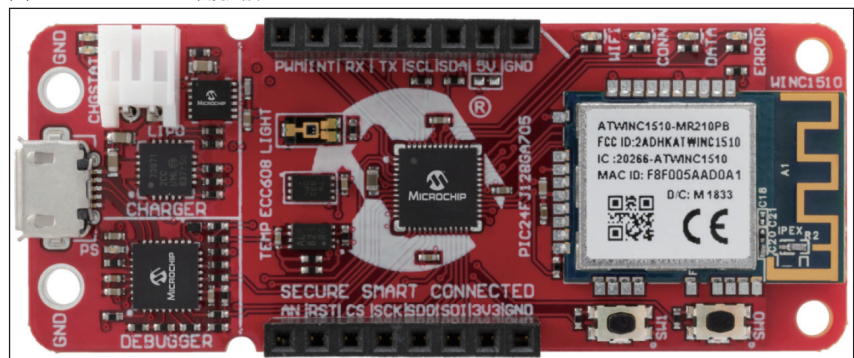
開發板行列，開發者可靈活使用屬意的 MCU 架構創建雲端連接應用，PIC MCU 用戶可借助 www.PIC-IoT.com 免費入口網站資源使用開發板。PIC-IoT WG 關鍵元件包括：

1. 具有整合核心獨立周邊 (CIP) 的 eXtreme 低功耗 PIC MCU：PIC24FJ128GA705 MCU 適用於電池供電的即時感測和控制，PIC 架構簡單、增加儲存器並整合先進類比元件，能以更少的程式碼、更低的功耗處理複雜應用，兼顧效能和功耗；
2. 安全元件以保護硬體中的信任根：ATECC608A CryptoAuthentication 設備為每個可以安全認證的設備提供受信任且受保護的識別，ATECC608A 設備已在 Google Cloud IoT Core 預先註冊，可隨時使用零接觸配置；
3. 與 Google Cloud 的 Wi-Fi 連接：ATWINC1510 是一款工業級、經全面認證的 IEEE 802.11 b/g/n IoT 網路控制器，可透過靈活的 SPI 接口連接到所選 MCU。該模組使設計人員無需具備網路協議專業知識亦可輕鬆駕馭。

連接後，可使用 Microchip 的 MPLAB 程式產生器 (MCC) 的開發工具達到快速設計、調整和客製化。結合 Google Cloud Platform 的網路基礎設施和 Google 的物聯網服務，任何人都能輕鬆將強大的分析工具和獨特的機器學習功能納入產品。PIC-IoT WG 開發板 (AC164164) 現已批量生產，每片售價 29 美元。另一方面，由於視覺運算密集型系統在網路邊緣的整合度越來越高，FPGA 正迅速成為下世代設計的優選靈活平台。除需要高頻寬處理能力之外，這些智慧系統還裝設在對散熱和功率都有嚴格限制的小尺寸環境中。

為提升開發速度，Microchip 宣佈旗下子公司 Microsemi (美高森美) 基於 Microchip 低功耗 PolarFire FPGA 推出智慧型嵌入式視覺專案——新增加強型高速成像介面、MIPI-CSI-2 等用於機器學習影像處理的智財 (IP) 套件，並藉此擴大合作夥伴生態系統，例如，提供核心深度學習 (CDL) 框架的 AI 夥伴——ASIC Design Services，為嵌入式和邊緣運算提供高效 CNN 成像和視訊平台，進

圖 5：AVR-IoT WG 開發板



資料來源：Microchip 提供

圖 6：Microchip PolarFire FPGA 應用



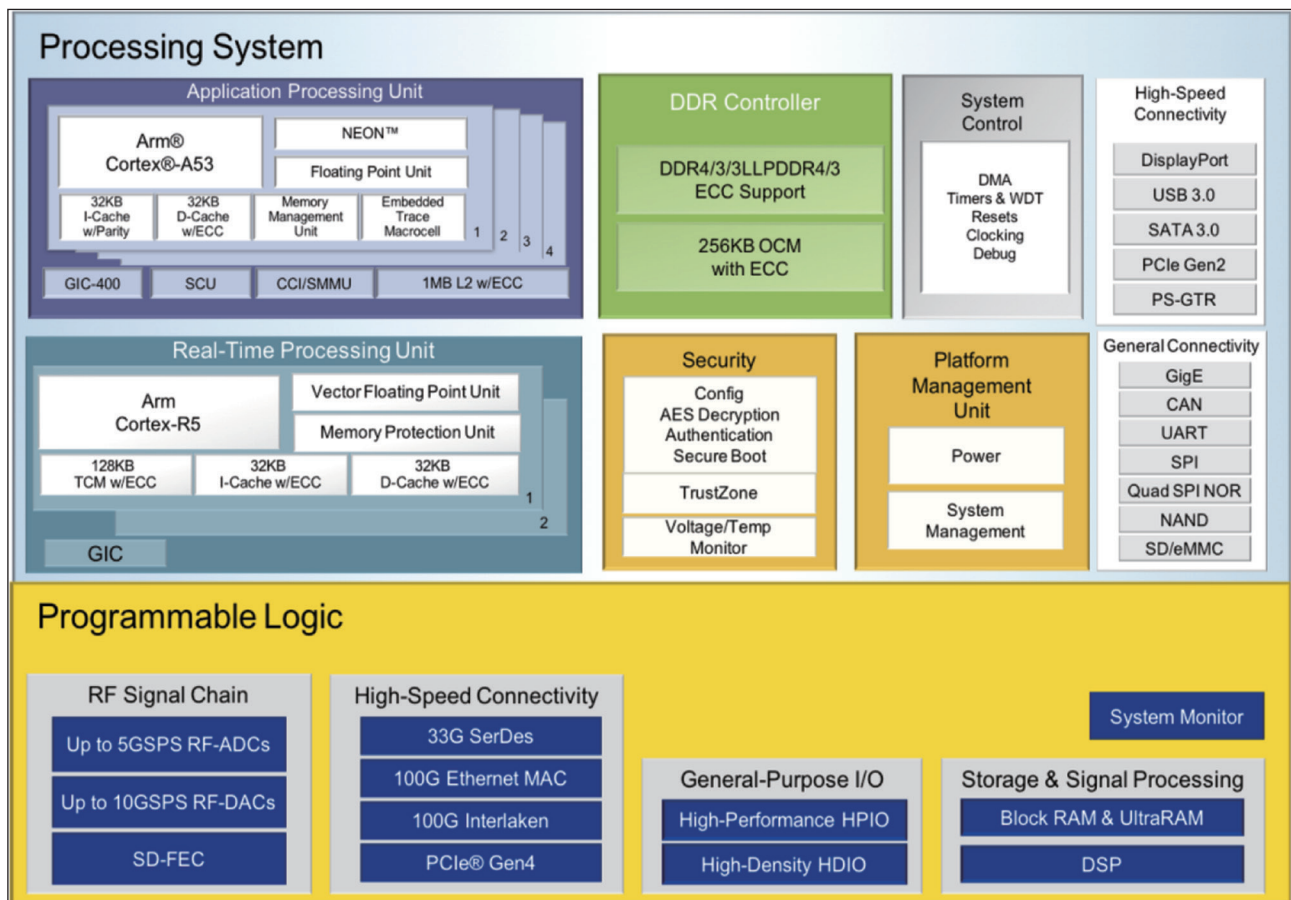
資料來源：Microchip 提供

而豐富 Microchip 高解析度智慧嵌入式視覺 FPGA 產品組合，以用於工業、醫療、廣播電視、汽車、航太和國防等行業的低功耗小型機器視覺設計。

FPGA 暴紅原因：設計彈性、可抵禦逆向工程、信任保護

事實上，FPGA 在嵌入式運算的發揮空間越來越大，ARC 解析緣由如下：除了設計彈性外，對於嵌入式安全亦貢獻卓著。其安全根 (RoS) 可抵禦逆向工程，且在某

圖 7：Zynq UltraScale +RFSoc 具有 Arm Cortex-A53 處理子系統和 UltraScale + 可編程邏輯，為類比、數位和嵌入式設計簡化訊號鏈的校準和同步



資料來源：Xilinx：<https://www.xilinx.com/products/silicon-devices/soc/rfsoc.html>

些設備中提供黑鍵儲存或抗側通道加密功能，可藉以建立增強的受信任啓動保護；它還允許用戶客製化其他保護措施，以滿足特定程式需求，同時讓 RoS 與安全的感測器和處理器介接，並在整個導入過程中保持系統安全性。這些增強的受信任啓動技術可確保將任何新代碼儲存到非揮發性記憶體 (NVM) 之前，對用戶進行身份驗證，並在啓動過程中提供其他受信任的運算檢查和緩解措施。

為擴大應用，近年 FPGA 在本質上也有了變化：一是整合應特定用途的處理器做異構運算，二是軟核（軟體為基礎的 IP 內核）崛起，三是完善開發環境，四是與雲端平台結盟。市佔過半的領導廠商賽靈思 (Xilinx) 即並駕特定應用標準產品 (ASSP) 或 ASIC，將 Arm-based IP 內核集成在 FPGA 器件

上，且著眼於靈活度與擴展性，偏好使用軟核；再者，為拉近與開發者的距離，原本特立獨行的開發工具也變得平易近人，且所屬不少 FPGA 已被亞馬遜 AWS、阿里巴巴、百度、騰訊和華為等一線 CSP 納入公有雲「軟體即服務」(SaaS) 一部分。

無線射頻 (RF) 是另一個競逐焦點。Xilinx 有 Zynq UltraScale+ RFSoc，通用晶片供應商芯科科技 (Silicon Labs)，亦傾力發展低功耗無線通訊的 IIoT 應用，例如：智能能源管理、商業和樓宇自動化、資產追蹤、商業、天井燈照明、製過程自動化和農業，提供無線 SoC / 模組、MCU 和感測器，支援 ZigBee、Thread、Bluetooth Mesh、藍牙低功耗 (BLE)、Wi-Fi 和專有規格等多種無線協定。與此同時，身為電動汽車數位隔離器

第一大廠的芯科，以廣泛、高度集成、基於 CMOS 的方案組合滿足先進駕駛輔助系統 (ADAS)、自動駕駛和無線電等安全性和地區要求。

除了 EV/HEV 的電池管理和充電系統的數位隔離器、感測器和 MCU 組合，以及經 AEC-Q100 認證、適用於座椅、門窗等觸控性能和價值驅動型 8 位元 MCU，其微型無線 MCU 使 OEM 供應商能為汽車市場設計並交付可靠、具成本效益的遙控無鑰匙進入 (RKE) 系統。芯科不僅提供開發工具，讓開發者便於創建連接 AWS 和 Google 雲端平台的 IoT 產品——其受歡迎的 Thunderboard Sense 2 評估套件是連接「無線感測器」終端節點到雲端創新的有力幫手。特別一提的是，他們還是 Microsoft Azure 認證的 IoT 計畫成員。CTA

Arm 推出嵌入式 CPU 客製化指令

Arm (安謀) 執行長 Simon Segars 日前在 Arm TechCon 2019 大會中宣布推出 Arm Custom Instructions，這是針對 Armv8-M 架構新增的功能。2020 年上半年開始，Arm Custom Instructions 初期將在 Arm Cortex-M33 CPU 上實施，並且不會對新的或既有授權廠商收取額外費用，同時讓 SoC 設計人員在沒有軟體碎裂風險下，得以針對特定嵌入式 IoT 應用加入自己的指令。

Arm 資深副總裁暨車用與物聯網事業部總經理 Dipti Vachani 表示：「一個擁有一兆個安全智慧裝置的世界，將建立在複雜使用案例的多元性上，同時需要增強硬體與軟體設計之間的協同綜效。」她指出：「我們已經開發出 Arm Custom Instructions 以帶動硬體與軟體更密切的共同設計努力，以便實現特定應用的加速，同時開啓更大的裝置差異化。」

Arm Custom Instructions 享有安全性的 Arm TrustZone 技術，是 Armv8-M 架構演化的一環，同時也是基於一個簡單的指導原則：CPU 是供 Arm 半導體夥伴進行創新的框架。這種方式讓晶片設計人員藉由把獨特的特定應用功能加入 Cortex-M33 CPU 中，有機會將效能與效率進一步向上推進。

Arm Custom Instructions 針對 CPU 進行修改產生功能，而這些 CPU 為設計人員保存編碼空間，以便他們能輕易增加客製化資料路徑延伸，同時保有既有軟體生態系統的完整性。這個功能加上既有的共處理器介面，可以讓 Cortex-M33 CPU 利用針對機器學習 (ML) 與人工智慧 (AI) 等邊緣運算使用案例優化的各類型加速器，進行延伸。

Arm Custom Instructions 結合最近推出的 Arm Flexible Access，強調 Arm 更加致力於增強晶片合作夥伴的靈活性和差異化，以支援 ML、AI、自駕車輛、5G 與 IoT 等全新邊緣運算的機會。為了進一步強化這個承諾，Custom Instructions 在未來的 Arm Cortex-M CPU 上，將變成標準功能。