

未來的感測器： 回饋更多關鍵資料

■文：編輯部

感測器技術促進了物聯網的發展和普及，而人工智慧為機器注入了學習和思考的能力，使得人類社會真正開始跨越自動化技術，進入新的廣泛使用人工智慧時代。而人工智慧技術需要機器設備具有更為強大的資訊感知和搜集處理能力，因此感測器技術就需要不斷創新以適應未來發展的需求。

人們借助感測器架設起真實世界和數位世界間的橋樑，隨著感測器技術的進步，數位世界被勾勒得愈發真實。現在這個日益龐大得人工數位世界也在給予我們越來越多的回饋，從個人的衣食住行，到工業、醫療，城市運轉，透過感測器搜集到的大量關鍵資料，我們享受到了更多更好的服務，生活變得更加舒適便捷，自然環境得到改善，安全感不斷增強。

技術發展趨勢

經過多年的發展，如今世界上的感測器種類成千上萬，

根據人們資料獲取的要求，源源不斷提供各種不同類型資料。在綠能、效率以及智慧化的要求下，感測器的進化也向著小型、全面和更強大功能和性能的方向演進。歸納起來有如下一些技術發展趨勢

1. 更加微型：

電子產品向小型化、便攜化發展，設備內部空間不斷縮小，更小的微型感測器成為技術方向之一。

例如越來越小的 MEMS 感測器，通過 MEMS 技術和先進的製造工藝，製造商已經可以將感測器的機械部件和電子電路集成在一塊晶片上，大大減小感測器的體積和重量。例如，MEMS 加速度計、MEMS 陀螺儀等已經廣泛應用於消費電子、汽車電子等領域。

示例產品：全新混合型 ToF 解決方案

英飛凌科技與設備製造

圖說：全新混合型 ToF 解決方案



商歐邁斯微電子 (OMS) 和 ToF (飛時測距) 湃安德科技 (pmdtechnologies) 合作，開發出一種新型小尺寸高解析度攝影機解決方案，可為新一代智慧消費型機器人提供更強大的深度感應和 3D 場景理解能力。這一全新混合型 ToF 解決方案結合了兩種深度感測概念，有助於大幅降低智慧型機器人的維護工作量和成本。

REAL3 柔性 ToF 成像器技術可將既有的高解析度 iToF 泛光照明和 dToF 遠距離點光源照明整合到單個混合 ToF 攝影機中。多年來，這種高解析度技

術一直被用於「看見」機器人運動路徑上的小型物體並且繞開。現在，透過添加精確的遠距離光斑資料，還可以創建周圍區域的精確 3D 地圖，實現智慧路徑規劃體驗，賦能新一代機器人吸塵器。

這一全新解決方案取代了安裝在頂部的雷射測距儀 (LDS)，從而將機器人吸塵器的高度降低了 20%-30%，使得機器人得以進到離地面間隙較小的傢俱下方進行清潔。混合型 ToF 攝影機的尺寸僅為 31x16x8 mm，所需的空間更小，可優化測繪和避障功能。混合型 ToF 取代了多個感測器且無需安裝會逐漸磨損的活動元件，從而降低系統成本和運作成本。

該解決方案易於部署，能夠為客戶提供友善的使用體驗。此一體積精簡的混合型 ToF 解決方案用途廣泛且堅固耐用，能夠很好地滿足機器人吸塵器、商用機器人、空氣淨化器、尺寸測量等各行各業對移動消費型機器人設備不斷增長的需求。

2. 更加智慧：

智慧感測器的發展速度遠超其他類型的感測器，因為這類感測器不僅具有傳統的感知能力，還有資料處理、自行

校準、調節等功能，在系統層面降低了開發和使用的門檻。如智慧溫度感測器可以根據環境溫度的變化自動調整測量參數，提高精度；在工業應用中，智慧壓力感測器可以對測量資料進行即時分析，及時發出警報，避免嚴重事故。在智慧家居系統中，智慧感測器可以收集室內環境資料，人工智慧演算法根據這些資料自動調整家電的運行狀態，實現智慧化的家居控制。

示例產品：6 軸慣性測量單元 (IMU)

意法半導體 (ST) 6 軸慣性測量單元 (IMU) ISM330BX 整合邊緣 AI 處理器、感測器擴充類比集線器和 Qvar 電荷變化偵測器，並提供長期產品生命週期，適用於設計高效能工業感測器和運動追蹤器。

新款 IMU 內建一個 3 軸陀螺儀和一個 3 軸加速度計，

採用低雜訊架構，頻寬高達 2kHz，適用於機床工況監測中的振動感測。ISM330BX 亦整合了意法半導體的邊緣處理引擎，其包含機器學習核心 (MLC)、人工智慧 (AI) 演算法和有限狀態機 (FSM)，可減輕主處理器的運算量並降低系統功耗。該 IMU 還嵌入了意法半導體的 3D 方向追蹤感測器融合低功耗 (Sensor Fusion Low-Power, SFLP) 演算法，可提升機器人和智慧安全帽等應用的效能。透過自我調整自配置 (ASC) 功能，該感測器還可自動即時優化裝置，以取得最佳性能和功耗。

ISM330BX 的自主功能可以降低 IMU 單元和主機系統之間的資料傳輸量，並減輕主處理器的運算工作量，確保低延遲和低功耗。整合的類比集線器可將外部類比感測器直連到邊緣處理引擎，進行資料過濾和 AI 推理，為高效能的系統整

圖說：意法半導體 (ST) 6 軸慣性測量單元 (IMU) ISM330BX



New smart industrial IMU for vibration sensing and motion tracking



合提供了更多機會。ISM330BX 的諸多節能功能可幫助工程師打造創新的工業感測器等電池供電的智慧設備，升級現有的工業資產，使其變得更智慧，並準備迎接工業 5.0 的來臨。

3. 高度集成

當今感測器的許多應用場景中，需要同時測量多種資料。因此，設計製造高集成度的多項功能感測器將會成為研發人員努力的方向之一。比如在智慧家居應用中，溫度、壓力、濕度、氣體濃度等多個參數的同時測量的設備正在進入更多家庭。此外，在工業自動化、環境監測、醫療健康等領域具備多種傳感能力的高集成度感測器也有廣泛需求。例如，在目前工業應用比較熱門的設備預測性維護中，多功能感測器可以同時監測設備的溫度、振動和壓力等參數，為設備的故障診斷提供快速準確的資訊。

示例產品：電化學感測器解決方案

CEM 102 模擬前端 (AFE) 為生物化學、空氣品質、氣體和多種有害化學物質的測量提供超高精度和超低功耗

CEM102，能以超低的電流實現超高精度的電化學感測。CEM102 外形小巧，且具

圖說：安森美面向工業、環境和醫療應用的下一代電化學感測器解決方案



備業內超低功耗，工程師採用它能夠為工業、環境和醫療應用如空氣和氣體檢測、食品加工和農業監測以及醫療可穿戴設備如連續血糖監測儀等創建小巧的多用途解決方案。

從生命和環境科學到工業材料和食品加工，測量化學物質可以為提高安全性、效率和認知提供更有價值的參考資訊。在實驗室、採礦作業和材料製造中，電化學感測器如電位計或腐蝕感測器是提供生產系統回饋和管理危險物質的重要工具，不僅確保了流程的正常運行，還保障了員工和操作

的安全。

CEM102 支持創建極小且超低功耗的解決方案，是依賴電池供電的電化學感測器應用的理想之選。可攜式氣體檢測等工業安全設備，可在工人身處偏遠環境或需要移動時提醒他們注意潛在危險。

CEM102 被設計用以與 RSL15 Bluetooth 5.2 微控制器配合使用，RSL15 提供行業功耗最低的藍牙低功耗技術。作為一個完整的電子解決方案，它使生物感測器和環境感測器能精確測量化學電流，同時以超低系統功耗和寬電源電壓範

圍運行。這兩個元件的無縫整合、緊湊的尺寸和業界領先的能效，在使設備更小和確保其持久運行方面發揮著至關重要的作用 - 而這正是電池供電解決方案的關鍵因素。

4. 生物相容能力：

在醫療健康領域，生物相容性感測器在醫療健康領域的應用越來越廣泛。如，貼合人體組織的感測器可為運動人士提供準確詳實的運動過程資料；可植入性感測器可以長時間監測人體的關鍵生理參數，如心臟活動、血壓、血糖等，觀測、預測身體突發狀況，為及時救治提供寶貴時間。

示例產品：體溫監測技術

艾邁斯歐司朗宣佈，與 greenteg 攜手推出的 CORE 感測器為耐力運動領域帶來新變

革：其體溫監測技術已成為全球鐵人三項運動項目的關鍵支援技術。

這項創新的核心在於 greenteg 經過認證的 CALERA 熱通量感測器和演算法。這些感測器可以輕鬆整合到智慧可穿戴設備中，具有廣泛的應用前景。而 CALERA 感測器技術與艾邁斯歐司朗先進的 AS6221 數位溫度感測器在 CORE 設備中完美結合，為耐力運動員提供了可靠的數據和洞察能力。憑借其創新設計，這款輕巧緊湊的可穿戴設備能夠幫助運動員調節體溫，有效降低體溫過熱風險，協助他們發揮最佳運動表現。

Gustav Iden 是 2022 年夏威夷科納鐵人三項世錦賽冠軍，同時也是 2019 年和 2021 年鐵人三項 70.3 世錦賽冠軍得主：他在 2022 年鐵人三項世錦

賽上身上佩戴著配備艾邁斯歐司朗溫度感測器的 CORE 可穿戴設備。

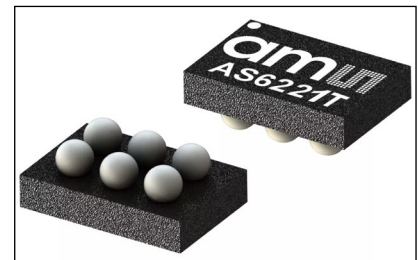
經過多年深入的實驗室測試，CORE 的熱疲勞指數公式得到進一步優化，可以更準確地反映身體的熱疲勞情況，並為此引入更易於理解的熱區概念。這些熱區是利用艾邁斯歐司朗溫度感測器測量的溫度數據，由皮膚溫度和核心溫度之間的关系確定的

CORE 中嵌入的艾邁斯歐司朗 AS6221 數位溫度感測器是全球精確度極高的皮膚溫度感測器，以超高的精確度著稱，最大誤差僅為 $\pm 0.09^{\circ}\text{C}$ 。該感測器採用小型晶圓級晶片封裝 (WLCSP)，尺寸僅為 $1.5\text{mm} \times 1.0\text{mm}$ ，同時功耗極低，成為 CORE 等可穿戴設備的理想選擇，保證佩戴的舒適性和靈活性。它由小型輕便電池供電，以每秒 4 個採樣點的速度測量時，工作電流僅為 $6\mu\text{A}$ ，續航時間長，可以輕鬆滿足頂級運動員的需求。

圖說：採用 core 感測器的方案的 Gustav Iden 奪冠照片



圖說：AS6221 產品圖片



圖片：艾邁斯歐司朗

5. 可靠性與高性能兼顧

提高感測器的精度是研究人員和使用者一致的目標，在一些對測量精度要求極高的領域，通過採用先進材料，優化結構設計和信號處理演算法，可以提高感測器的測量精度，滿足這些領域對高精度測量的需求。比如在醫療健康領域，對於人體關鍵參數的搜集精度就在不斷提高，可穿戴設備對於心率、血壓的非接觸測量準確度在這幾年中得到大幅度提供，研發人員甚至已經在優化非接觸血糖測試的精度問題。同時，高精度意味著高價格，這也是研發設計人員正在努力的方向之一，性能與成本的平衡。

可靠性問題主要是那些在惡劣的工作環境下工作的感測器，如高溫、高壓、強腐蝕等環境中，感測器都要具有高可靠性和穩定性，以保證長期正常工作。

示例產品：多通道遠端溫度感測器

Microchip MCP998x 系列是單一供應商提供的最大車規等級遠端溫度感測器產品組合之一。

熱管理是汽車設計的重要課題，但與許多其他元件相比，多通道遠端溫度感測器的選擇

圖說：Microchip 多通道遠端溫度感測器 MCP998x



明顯不足。為填補這一空白，Microchip Technology Inc. 推出 MCP998x 系列 10 款車規等級遠端溫度感測器。MCP998x 系列是業內最大的車規等級多通道溫度感測器產品組合之一，可在較寬的工作溫度範圍內實現 1°C 的精度。該元件系列中有五款感測器具備無法被軟體覆蓋或惡意禁用的關機溫度設定點。

該產品系列擁有多達五個監控通道以及多個警報和關機選項，可支援監控一個以上熱敏元件的系統。遠端感測器還整合了電阻誤差校正和貝塔 (beta) 補償功能，無需額外配置即可提高精度。使用單個整合溫度感測器監控多個位置的溫度，降低了電路板的複雜性和尺寸，簡化了設計，進而降低物料成本 (BOM)。

MCP998x 系列元件精度更高，且兼具高度可靠性，在最高 125°C 時仍具備 2.5°C 的精度，可在傳統溫度範圍的高端使用。這種耐高溫效能使其非常適合汽車應用，因為電子元件工作溫度是汽車需要考慮的主要因素。MCP998x 感測器專為支援 HID 燈、先進駕駛輔助系統 (ADAS)、汽車伺服器、視訊處理、資訊娛樂系統、引擎控制、遠端資訊處理和車身電子設備 (如座椅控制、照明系統、後視鏡控制和電動車窗) 等汽車功能而設計。

6. 功耗更低

大量感測器已經工作在鈕扣電池或者乾脆沒有電池的環境下，因此感測器系統的功耗敏感性日益增加。降低感測器的功耗可以延長電池的使用壽

智慧工廠：執行器和感測器搶 C 位

作者：Michael Jackson、Brian Condell、Konrad Scheuer

在宣揚工業 4.0 新成果和未來可能性中，智慧感測器常能成為大家關注的焦點。感測器是工廠車間的“耳目”，讓程式設計邏輯控制器 (PLC) 洞察一切，而執行器 (Actuator Sensor) (圖 1) 就像幕後的無名英雄，賦予指令以“筋肉”，說明完成所有任務。對感測器的過分關注可能是因為，許多人沒有意識到，讓執行器實現“智慧化”可以為工廠管理人員帶來豐厚回報。這篇文章首先探討智慧執行器的一些優勢，然後介紹一個參考設計，演示利用 IO-Link 實現實用智慧工廠執行器與 PLC 通信的優勢。

圖 1: 工廠車間的無名英雄——執行器，正在變得更加智慧



從機械控制到電氣控制再到微電子控制

傳統上，執行器通過機械原理（氣動、液壓）來打開和關閉閥門，但在許多應用中，電控電機已取代這些機械裝置。儘管如此，執行器總會有活動部件。這些活動部件會產生摩擦，需要持續監控和維護，以防止發生可能導致生產意外停止的故障。加入低壓電子元件可以讓工廠操作員更加巧妙地完成任務。微電子技術為執行器帶來的一些優勢包括：

- 低功耗開關：以前，電動執行器依賴於能效低且不可靠的繼電器，但如今，板載電子器件實現了 H 橋式開關，使執行器更易於使用低電平電源信號進行控制，同時還能降低觸電風險，提高安全性。板載電子器件還支援使用額定功率更低的控制元件，有助於簡化設計。此外，使用板載電子

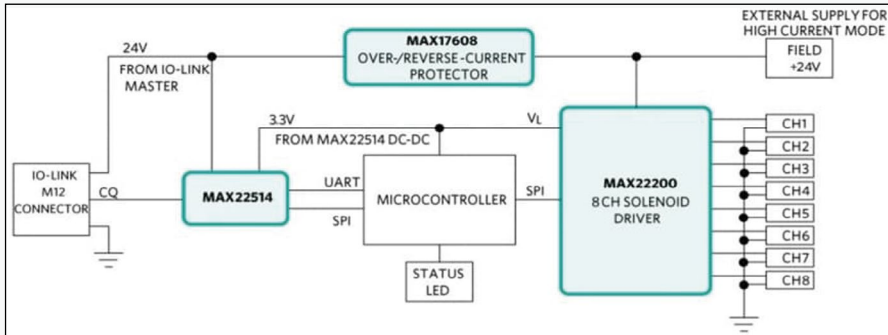
器件來管理電源可以減少開關或觸點上的電流，從而實現效率更高、成本更低的系統設計。

- 位置回饋：集成電子器件的一大優勢在於，可以準確瞭解執行器在工作週期中每一時間點的位置。使用編碼器的高級位置控制可實現各種運動曲線。如果需要，其中的任何變化都可能觸發調整和警報，或觸發系統自動關閉，防止造成不可挽回的損害。
- 狀態監控：通過監控自身狀態（狀況），智慧執行器為操作員提供了一張額外的安全防護網，防止造成代價昂貴的損壞以及相關的更換或維修。例如，執行器可以監控溫度（對於活動部件至關重要的指標）、電壓和電流水準，並採取相應措施來消除隱患，或者在必要時採取保護措施。執行器還收集有關已執行工作週期數的資料，並在需要維護時發送自動提醒。越來越多的執行器集成了智慧演算法來監測振動和雜訊，這些是判斷機械部件是否過度磨損的潛在指標。
- 即時通信：位置回饋、狀態監控和其他診斷提供的資訊只有轉化為可執行的方案，才能真正發揮作用。此類資訊必須通過工業網路與 PLC 共用。現場匯流排協定和工業乙太網版本眾多，智慧執行器設計人員必須要慎重決定使用哪種協議和版本。

借助經過驗證的智慧執行器參考設計快速上手

ADI 公司和 TMG TE 合作設計了 MAXREFDES278# 8 通道電磁閥執行器參考設計 (圖 2)，該設計基於 MAX22200 1A 八通道集成串列控制電磁閥驅動器 IC (集成了 FET) 和 MAX22514 IO-Link 收發器 (集成了保護功能)。MAXREFDES278# 採用工業 85mm x 42mm 外形尺寸設計，每個電磁閥通道都包含一個專用雙向端子塊，並使用行業標準 M12 連接器，支援使用 4

圖 2: MAXREFDES278# IO-Link 8 通道電磁閥執行器參考設計



計使用 MAX17608 限流器，具有過壓 (OV)、欠壓 (UV) 和反向保護功能，確保 IO-Link 部分始終通電，從而避免電流回流至 IO-Link 主站。使用 IO-Link 進行資料通信的優勢在於，它支持四種不同類型的傳輸——過程資料、診斷、配置和事件，這些資訊可以指示

線 IO-Link 電纜將其連接到 IO-Link 主站收發器 (如 MAX14819)。

該參考設計可以通過兩種方式供電。例如直接通過 IO-Link 主站供電 (支持高達 800mA 的總負載)，或使用外部電源提供更高的電流。參考設

計使用 MAX17608 限流器，具有過壓 (OV)、欠壓 (UV) 和反向保護功能，確保 IO-Link 部分始終通電，從而避免電流回流至 IO-Link 主站。使用 IO-Link 進行資料通信的優勢在於，它支持四種不同類型的傳輸——過程資料、診斷、配置和事件，這些資訊可以指示

執行器是否故障，以便快速執行相關操作。IO-Link 的另一個優勢在於可使執行器“與網路無關”，也就是執行器可以在任何工業網路上工作，工程師無需擔心執行器設計選擇哪種協議。

命，提升感測器系統的生命週期。這點對於未來部署海量感測器尤為重要，例如在邊遠地區，山區和海洋，地下等場景，人們可以更加瞭解地球的“脾氣”，在全球變暖的環境下，降低自然災害帶來的損失。

示例產品：智慧感測器

意法半導體 (ST) 新推出之 LSM6DSV32X 6 軸慣性模組 (IMU)，採用 2.5mm x 3mm x 0.83mm 的 14 腳位 LGA 封裝，整合一個最大量程 32g 的加速度計和一個最大量程每秒 4000 度 (dps) 的陀螺儀，可測量高強度的動作和撞擊，包括預估自由落體的高度。新感測器模組目標未來新一代邊緣人工智慧應用，讓開發者能夠在穿戴式裝置、資產追蹤器以及工人碰

撞和跌倒警報器上開發更多新功能，同時延長電池續航時間。

意法半導體以 LSM6DSV32X 擴充其智慧感測器系列，該系列產品內建機器學習核心 (MLC) 和具備決策樹的人工智慧演算法。在模組內部，機器學習核心執行情境感知演算法，有限狀態機 (FSM) 則負責處理動動追蹤演算法，讓產品開發人員可以利用這些

功能開發更多新應用，並最大限度減少回應延遲，節省電力。利用 LSM6DSV32X 晶片嵌入功能，可將健身活動辨識等功能的功耗預算降至 6 μ A 以下。LSM6DSV32X 亦內嵌意法半導體低功耗感測器融合 (Sensor Fusion Low-Power, SFLP) 演算法，在執行 3D 方位追蹤演算法時功耗僅 30 μ A。透過支援自我調整配置 (ASC)，該模組



6-axis IMU for intensive movement analysis with accelerometer full-scale range of 32g



還可以即時自主重新配置感測器設定，以持續優化感測器的性能和功耗。

除了加速計和陀螺儀之外，LSM6DSV32X 整合了意法半導體 Qvar 靜電電荷變化感測功能，可處理觸摸、滑動和點擊等進階使用者介面的手勢控制功能。該模組還包含一個類比訊號集線器，用於採集和處理外部類比訊號。

小結：先進國家爭相佈局感測器技術

感測器技術的改變和進步也帶來了大量的就業和商機，使得各國政府都將感測器技術列為資源優先分配的重點領域。

早在 2010 年，美國國家科學基金會每年就將大量財政預算用於發展包括感測器相關的基礎研究專案，這使得美國再感測器市場佔據了主導地位。美國國防部將感測器技術視為保持國家安全的關鍵技術之一，明確將感測器硬體、量子傳感列為優先發展的技術領域進行投資。

2024 年美國最新版《關鍵和新興技術清單》，感測器技術首次進入關鍵技術前十位。具體細節包括感測器領域方面，包括感測器處理和資料融合、地球物理傳感、交通領域

傳感、安全領域傳感、健康領域傳感、能源領域傳感、製造業傳感、建築領域傳感、環境領域傳感等。在【半導體和微電子】類目中，CMOS 技術、微機電系統 (MEMS) 和納機電系統 (NEMS) 等感測器晶片製造技術也被列入關鍵技術清單。

歐盟委員會批准了一個名為“IPCEI ME/CT”的專案，將提供高達 81 億歐元的公共資金，預計吸引多達 137 億歐元私人投資，總資金池有望達到 218 億歐元。這些龐大資金將投向 56 家關鍵公司，其中含 20 家感測器公司，將開展 68 個主要項目。

德國作為先進的歐洲工業化國家，很早就提出了“工業 4.0”戰略，這一戰略強調通過資訊物理系統 (CPS) 實現製造業的智慧化，以提升德國製造業的競爭力，是較早推動感測器技術研發和創新的國家之一。德國政府通過資助相關科研專案和促進企業間、企業與科研機構間的合作，推動感測器技術的發展。

日本是機器人技術起步較早的國家，在早期的機器人研發中積累了很多感測器方面的技術，在“工業 4.0”浪潮的推動之下，日本政府制定了一系列的產業規劃和政策，《新機

器人戰略》中，明確了感測器技術是實現機器人智慧化的關鍵技術，日本建立了多個感測器技術研發基地和產業園區，聚集了大量的企業、科研機構和人才，為感測器技術的研發和產業化提供了良好的平臺和環境。

中國在 COVID-19 疫情爆發前，就已經著手佈局追趕發達地區感測器技術。在 2019 年新增感測器公司 6000 多家，但是隨著疫情的爆發，市場遇冷，大量感測器技術公司失去了成長起來的機會，這一狀況直到疫情結束才慢慢恢復。在最新發佈的中國《產業結構調整指導目錄 (2024 年本)》中，中國政府承諾將引導社會投資方向、政府管理投資項目，鼓勵發展多種感測器產品，如微納位移感測器、柔性觸覺感測器、高解析度視覺感測器、可加密感測器等具有無線通訊功能的低功耗智慧感測器，同時也明確了對不同類型感測器產業的投資和發展政策。在智慧感測器國家重點研發計畫中，中國將重點支持感測器的關鍵技術研發、產業化應用等方面的工作。CTA