技術乾貨

簡介

當人形機器人從實驗室走向工廠、醫院和家庭，當AI伺服器承載著越來越龐大的模型推理任務，一個根本性問題浮出水面：智慧的落地，最終要依靠硬體的可靠性來承擔。一台人形機器人要穩穩地行走、靈巧地抓取、安全地與人類協作，背後是無數電子零組件在毫秒級時間尺度上的精密配合。AI伺服器要持續輸出算力，同樣離不開穩定供電與熱管理的保障。本文將為您介紹Murata（村田製作所）的慣性測量單元（IMU）、毫米波雷達、軟端子多層陶瓷電容器（MLCC）、熱敏電阻與同軸電纜供電（PoC）電感的產品特性，梳理這些產品在AI與人形機器人中的功用與特色，試圖呈現一幅“從感知到執行、從訊號到電源”的硬體支撐圖象。

IMU幫助機器人在複雜環境中保持穩定並實現自主導航

在人形機器人領域，Murata的IMU（慣性測量單元）主要扮演著平衡感知的核心角色，它透過精準測量機器人的姿態、運動和方位，幫助機器人在複雜環境中保持穩定並實現自主導航。

IMU是人形機器人實現高精度運動控制的基礎感測器，其功用覆蓋了從局部穩定到全域導航的多個層面，像是應用在頭部可感知融合與視覺防抖，與攝影機、光學雷達等配合，在視覺感測器受干擾或失效時（如快速移動、光線差），提供穩定的姿態和定位基準，確保SLAM（即時定位與地圖建構）的連續性。當應用在髖部／軀幹時，則可即時姿態與步態控制，以高幀率即時監測身體傾斜角度和重心變化，為雙足行走的平衡控制提供關鍵回饋，確保機器人能應對不平整地面或外力干擾。

此外，IMU也可應用於手臂／手部進行精細運動追蹤，可捕捉手臂和手指的微小姿態變化，輔助力控系統實現更精確的抓取、放置等操作。應用在人形機器人整體時，則可進行自主導航與定位，在無GPS的室內環境中，透過慣性導航演算法推算位置，支援機器人在複雜地形中自主移動。

以SCH1633-D05為代表的Murata IMU，其設計精準回應了人形機器人對感測器高精度、高穩固性、小尺寸和易整合的嚴苛要求。感測器經過出廠校準，實現高精度與整合簡化，由於人形機器人的安裝空間極其有限，導致安裝後的現場校準非常困難。SCH1633-

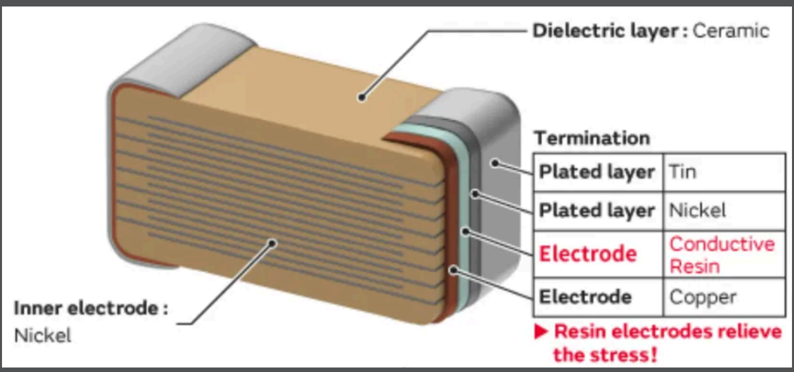
D05採用擴展工廠校準技術，在出廠前就對全工作溫度範圍（-40至110°C）內的感測器行為進行了表徵和補償，這意味著客戶無需再進行繁瑣且昂貴的二次溫度校準。同時，它在出廠時就完成了各軸正交性校正，簡化了系統集成商的開發流程，其陀螺儀總偏移性能低於0.15∘/s，保證了長期穩定性。

此外，Murata IMU還具備高穩固性與功能安全設計，面對工業及戶外場景的振動、衝擊和溫度劇變要求感測器極其可靠。SCH1633-D05基於成熟的3D MEMS製程技術，具備高抗震性。更關鍵的是，它內置了超過200個內部監控訊號，支援ISO 26262功能安全標準，能實現強大的故障檢測，這對於安全至上的機器人應用至關重要。

Murata IMU還擁有小型化與整合友好的特性，為了適應機器人關節內部極度受限的空間，SCH1633-D05採用了帶整合EMC遮罩的低矮塑膠SOIC封裝，既節省空間，又能有效抵禦來自處理器和通訊模組的電磁干擾，這在處理多感測器融合的機器人系統中非常關鍵，並支援多感測器融合與同步，機器人需要融合視覺、IMU和力矩等多種感測器資料。SCH1633-D05支援SafeSPI v2.0介面，內置SYNC輸入、資料就緒輸出和時間戳記功能，能輕鬆實現與攝影機、主控晶片的時鐘域同步，顯著降低了多感測器融合系統的開發難度。

軟端子MLCC確保了供電的穩定與系統的安全

在AI與人形機器人領域，Murata的軟端子MLCC（以GCJ系列為代表）主要扮演著高可靠性電源與訊號鏈路保障者的角色。它的核心價值在於，當機器人關節進行劇烈、高頻的運動時，普通電容可能會因電路板彎曲而開裂失效，而軟端子MLCC透過其獨特的結構設計，確保了供電的穩定與系統的安全。



Murata軟端子MLCC的結構範例

在人形機器人和AI伺服器的工作環境對電子零組件的機械應力提出了極高要求。軟端子MLCC的功用正是為了解決這些痛點，像是用於抵禦機械應力防止斷裂，因為人形機器人的關節在運動時，電路板會承受持續的彎曲、振動和衝擊。傳統的MLCC陶瓷體是脆性的，容易因此產生裂紋，導致短路或開路。軟端子MLCC在外部電極中加入了導電樹脂層，它能有效吸收和釋放電路板形變產生的應力，從而大幅降低陶瓷體開裂的風險。這對於關節伺服驅動板等關鍵部位至關重要。

此外，軟端子MLCC還可穩定AI運算與電源供給，AI晶片（如GPU/NPU）在運算時功率消耗波動巨大，需要電容緊貼晶片進行暫態供電（去耦），以穩定電壓。軟端子MLCC在提供高容值的同時，其高可靠性確保了在機器人運動過程中，電源濾波和穩壓功能不會因機械應力而失效，從而保障AI推理和動作控制的即時性與穩定性。

以Murata GCJ系列為例，其產品特色體現了Murata在材料、設計和製程技術上的綜合實力，其核心創新在於樹脂電極可吸收應力，GCJ系列最顯著的特徵就是其“軟端子”結構。它並非在陶瓷體上直接鍍金屬，而是在外部電極中引入了樹脂層。當PCB板發生彎曲時，樹脂層會優先發生形變，將應力從脆弱的陶瓷體上轉移開，從而“抑制因板彎曲導致的裂紋”。這項技術在不犧牲電容性能的前提下，極大地提升了機械可靠性。

Murata GCJ系列還具有小型化與高容量特性，為了適應機器人內部緊湊的空間，Murata持續在更小的封裝內實現更高的容值。例如，其GCJ系列推出了世界首款在0805英寸（2.0 x 1.25mm）封裝下實現2.2μF/100Vdc的軟端子MLCC，相比之前只能使用更大1206英寸的產品，其表面黏著面積減少了約51%，為設計者節省了寶貴的板級空間。此外，Murata GCJ系列還支援完整的應用覆蓋，提供了豐富的產品線，覆蓋多種封裝尺寸，低電壓產品包括0603至1210規格，高電壓產品則涵蓋0805至2220規格，以及25V、50V、100V等不同額定電壓，並提供X7R、X7T、X7S等多種溫度特性，以滿足從AI運算模組到關節驅動板等不同位置的需求。

熱敏電阻負責精密的溫度監測與主動的過電流／過熱保護

在AI伺服器與人形機器人領域，Murata的熱敏電阻（NTC與PTC）扮演著“熱管理安全衛士”的角色。它們分別負責精密的溫度監測與主動的過電流／過熱保護，確保高算力晶片和精密馬達在安全溫度範圍內運行。

Murata的熱敏電阻產品線

NTC（負溫度係數）熱敏電阻主要用於高精度溫度監測，NTC熱敏電阻的電阻值隨溫度升高而下降，主要用於溫度檢測與補償。NTC熱敏電阻可用於AI伺服器，緊貼GPU、CPU等發熱大戶，即時監測溫度，為風扇調速和系統降頻提供關鍵資料，防止過熱宕機。在人形機器人應用中，則可監測馬達繞組、驅動板及電池的溫度，防止關節馬達因過熱燒毀，保障運動安全。

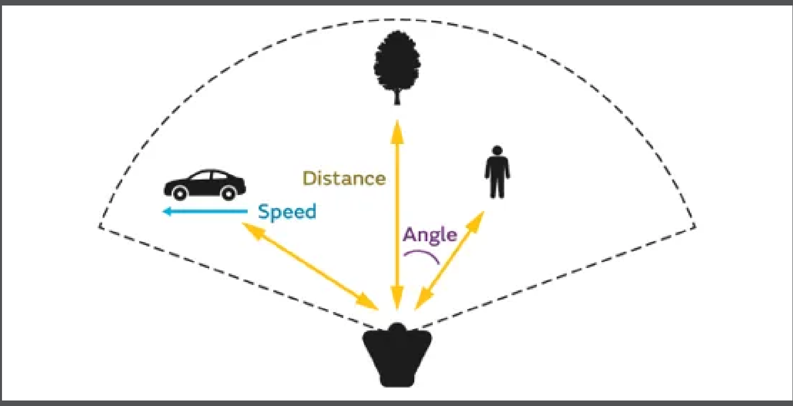
Murata的NTC熱敏電阻具備高精度與高可靠性，阻值公差低至±0.5%，B值公差可達±0.5%，確保測溫準確，並具有優異的熱回應，採用小型化SMD封裝（如0402、0603），能快速感知溫度變化，及時回饋，且產品線豐富，可提供從消費級到車規級（如NCU系列）的多種選擇，工作溫度最高可達150°C，適應嚴苛環境。

PTC（正溫度係數）熱敏電阻（POSISTOR）可支援主動式過電流與過熱保護，PTC熱敏電阻的阻值在超過特定溫度（居禮點）後會急劇增大，主要用於過電流保護與過熱檢測，其核心功用在於電路保護，可串聯在電源或馬達驅動迴路中，當電流異常增大導致自身發熱超過居禮點時，電阻值驟增，過電流保護的適用性將取決於特定的產品額定值和應用條件。此外，PTC熱敏電阻還支持過熱檢測，黏貼在功率電晶體（FET）、功率IC等發熱源附近，當溫度超過設定值，電阻值急劇變化，觸發保護電路。

Murata的PTC熱敏電阻具有快速回應與精確保護的特性，憑藉電阻值的急劇變化，抗雜訊能力強，可使用簡單電路實現精確的過熱探測，減少對MCU埠的佔用，並具備高可靠性，基於陶瓷元件，具備固態結構，耐機械振動和衝擊，適合機器人關節等振動環境，還擁有靈活的閾值設定，提供多種居禮點選擇（如50°C至130°C），可根據不同馬達或功率元件的耐受溫度靈活匹配。

60 GHz毫米波雷達透過提供可靠的存在偵測、障礙物感知來增強機器人的感知能力

在AI與人形機器人領域，Murata的60 GHz毫米波雷達模組主要扮演著“全天候環境感知的安全冗餘”角色。毫米波具有不受光照變化影響、且在惡劣天氣條件下比視覺感知更穩健的特性，因此能夠在嚴苛的運作環境中與攝影機及光學雷達形成互補，為機器人提供可靠的存在檢測、避障和安全防護能力。



利用毫米波雷達進行目標檢測的示意圖

毫米波雷達在人形機器人中的價值，集中體現在它能為系統提供一種獨立於視覺的感知維度，像是彌補視覺盲區，實現全天候避障，在低光源強眩光或高對比環境下，攝影機的性能可能會顯著下降，面對玻璃、鏡子等透明或高反射表面時，深度感知也容易出錯；這種情況下，引入額外的感測方式能夠提升系統的可靠性。與僅依賴視覺的系統相比，60 GHz雷達往往能更可靠地偵測到玻璃門或反射表面等障礙物，從而為安全導航提供互補的環境資訊。

此外，毫米波雷達還可進行人體存在檢測，且毫米波能穿透衣物和織物，檢測呼吸、心跳等微動，可執行粗略的運動或活動感知。這使得它非常適合用於存在檢測，即使人靜止不動也能感知到。對於人形機器人，這意味著它能更可靠地判定人員的存在、位置及移動特徵，已有研究展示了僅用單個毫米波雷達實現人形機器人手臂的即時遙控操作。另一方面，毫米波雷達還可做為安全冗餘，滿足功能安全要求，在功能安全設計中，不同原理的感測器互為冗餘至關重要。

以Murata的Type1VN與Type2LP 60 GHz雷達模組為例，是高度整合的系統級封裝方案，其特色在於整

合了TI的晶片組、天線和週邊電路，降低了客戶的設計門檻。

Type1VN的尺寸非常緊湊，適合對空間要求苛刻的機器人關節或頭部區域。其整合的DSP和MCU可以直接在模組內部處理雷達訊號，輸出經過初步處理的目標資訊（如距離、速度、角度），減輕機器人主控制器的運算負擔。

當前的主流方向並非用雷達替代攝影機，而是進行融合。TI與NVIDIA的合作就是一個例證，將毫米波雷達資料與攝影機資料融合，接入NVIDIA Jetson Thor等機器人運算平臺，可以顯著提升目標檢測和追蹤的準確性，同時減少誤報，實現更可靠的即時決策。Murata的模組做為高性能的雷達前端，可以輕鬆整合到這類融合感知架構中。

PoC電感可簡化佈線、減輕重量並提升可靠性

在AI與人形機器人領域，Murata的PoC（同軸電纜供電）電感主要扮演著“訊號與電力高速公路的智慧分隔器”角色。它的核心價值在於，當機器人的視覺感測器透過一條同軸電纜同時傳輸高畫質影像訊號和直流電源時，確保兩者互不干擾，從而簡化佈線、減輕重量並提升可靠性。

Murata的PoC電感產品線

PoC技術的原理是在一條同軸電纜上，疊加高頻率資料訊號與直流電源。PoC電感（也稱Bias-T電感）在電路中構成了一個“Bias-T電路”，其作用是阻斷高頻訊號流入電源線，同時讓直流電順暢通過。

在人形機器人中，這項技術直接解決了幾個關鍵痛點，像是可簡化關節與頭部佈線，機器人的視覺感測器（如攝影機、光學雷達）通常安裝在頭部或軀幹，而主控板在身體中心。傳統方案需要一條訊號線加一條電源線，PoC技術只需一條同軸電纜即可完成供電與通訊，大幅減少了穿過關節的線束數量，使佈線更簡潔、輕量化。

此外，PoC技術可保障高畫質影像訊號的完整性，機器人需要即時處理高畫質影像串流以進行AI推理和導航。PoC電感必須在很寬的頻帶內保持高阻抗，防止高速訊號（如GMSL2可達6 Gbps）洩漏到電源線，從而避免訊號衰減或波形失真，確保AI視覺系統獲得清晰、無干擾的影像資料。

另一方面，PoC技術還可提升系統可靠性，更少的電纜和連接器數量，可降低互連故障點的數量。PoC簡化了系統架構，減少了潛在的機械故障點，對於需要頻繁運動的人形機器人而言，這一點至關重要。

Murata的PoC電感，特別是其LQW32FT系列，是專為應對上述嚴苛需求而設計的，其產品特色直接回應了機器人設計中的挑戰，像是支持寬頻率、高阻抗，單顆替代多顆，傳統的Bias-T電路為了在寬頻帶內維持高阻抗，往往需要串聯多個不同感值的電感。Murata的LQW32FT系列透過自研的陶瓷材料和繞線結構，實現了在寬頻範圍內的高阻抗特性，使得單個電感就能替代過去需要的多個元件，這不僅節省了寶貴的PCB空間，也降低了總直流電阻（DCR）。

Murata的PoC電感還支援大電流，適應緊湊空間，人形機器人的視覺模組功率消耗不低，且空間極其有限。該系列中的LQW32FT_8H型號在1210英寸（3.2 x 2.5mm）的小尺寸下，實現了高達1.6A的額定電流（如LQW32FT1R6M8H型號），滿足了高功率消耗攝影機在狹小空間內的供電需求。此外，Murata的PoC電感具備-40°C至+125°C的寬工作溫度範圍，支援在廣泛的熱環境範圍內運行。

結語

本文中所討論的Murata零組件在AI與人形機器人中的價值，可以歸結為三個關鍵字：感知、供電、守護。這些零組件的共同特點是：它們並不直接構成AI演算法或機器人運動控制的核心，卻是這些核心功能得以穩定運行的前提。在人形機器人追求更高自由度、更緊湊結構、更長續航的趨勢下，零組件的可靠性、整合度與能源效率將越發成為系統設計的瓶頸與突破口。Murata透過材料、製程與封裝技術的持續反覆運算，正在為AI與機器人產業提供一條可依賴的硬體底座。

成為艾睿電子LINE好友

LINE

Five Years Out

艾睿電子致力於讓科技的價值惠及更多的人