



簡介

機器人系統越來越依賴視覺進行感知並與環境互動，因而對高速、低延遲資料連結的需求日益增長。千兆多媒體序列鏈路（GMSL™）透過單條纜線即可實現視訊、控制訊號和電力的傳輸，具備高可靠性，是一種極有潛力的解決方案。本文探討了攝影機在機器人中的應用，分析了攝影機所面臨的連接挑戰，並闡述了ADI的GMSL序列器方案將如何助力實現可擴展、穩健、高性能的機器人平臺。

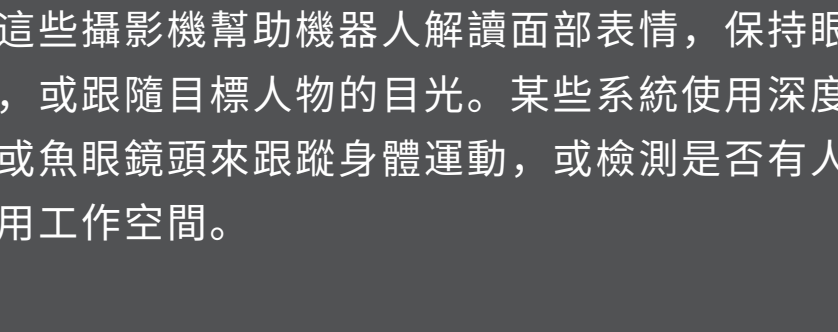
GMSL助力機器人系統的機器視覺能力

機器人系統越來越依賴先進的機器視覺來感知、導航和與環境互動。隨著攝影機數量的增加和解析度的提升，業界對能夠傳輸和聚合處理即時視訊資料的高速、低延遲鏈路的需求變得空前強烈。

最初為汽車應用開發的千兆多媒體序列鏈路（GMSL™），正成為適合機器人系統的強大而高效率的解決方案。GMSL透過單條纜線同時傳輸高速視訊資料、雙向控制訊號和電力，具備長距離傳輸能力、確定性的微秒級延遲和極低的誤碼率（BER）等優勢。它簡化了線束，縮小了整體解決方案尺寸，非常適合應用於在動態且通常惡劣的環境中運行的視覺主導型機器人。

做為現代機器人感知系統的核心零部件，攝影機賦予機器即時認知和回應周圍環境的能力。無論是穿梭於倉庫通道的搬運機器人、分揀包裹的機械臂，還是與人類互動的服務型機器人，視覺系統對於自主運行、自動化操作及人機互動都至關重要。攝影機不僅功能多樣，形式也各異。根據任務的不同，攝影機被安裝在機器人的不同部位，並需訂製以適配平臺的實體和操作約束。

在自主機器人中，攝影機充當機器人的“眼睛”，使機器人能夠感知周圍環境、避開障礙物，並確定自身在環境中的位置。對於移動機器人，例如送貨機器人、倉庫穿梭車或農業巡檢車，通常會在機器人的邊角或邊緣放置多個廣角攝影機。此類環景系統提供360°感知能力，幫助機器人在複雜空間中導航，避免碰撞。



採用GMSL技術的多模態機器人視覺系統範例

視覺系統幫助機器人實現高精度的任務自動化

在工業自動化中，視覺系統幫助機器人快速且穩定地執行重複性或高精度的任務。在這類應用中，攝影機可能安裝在機器臂上，靠近夾具或末端執行器，使系統得以精準地對物體進行視覺檢查、定位及操作。這對於元件表面黏著作業尤其重要，因為準確識別元件或封裝的位置與方向是確保操作成功的關鍵。

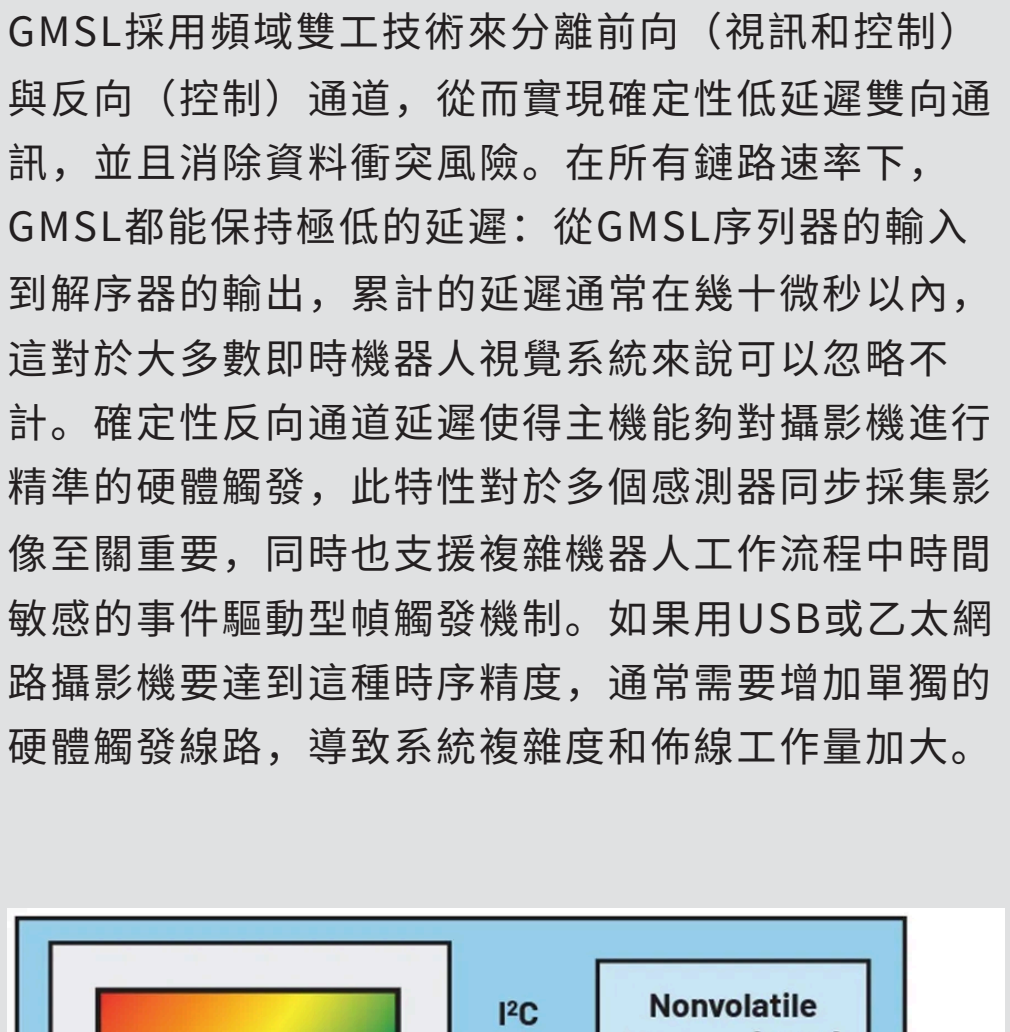
某些檢查機器人，特別是基礎設施、公用事業或重工業中使用的機器人，其伸縮杆或關節臂上會安裝變焦攝影機。透過這些攝影機，機器人能夠拍攝焊縫、纜線橋架或管道接頭的高畫質影像。這些任務若由人工手動完成，不僅危險，而且耗時。

另一方面，攝影機在機器人與人類的互動中也發揮著核心作用。在協作製造、醫療健康或服務行業中，機器人需要理解手勢、識別人臉，並保持一定的社交存在感，視覺系統使這一切成為可能。

人形機器人和服務機器人通常在其頭部或胸部嵌入攝影機，藉此模擬人類的視線，從而實現更自然的人機互動。這些攝影機幫助機器人解讀面部表情，保持眼神交流，或跟隨目標人物的目光。某些系統使用深度攝影機或魚眼鏡頭來跟蹤身體運動，或檢測是否有人進入共用工作空間。

在協作機器人（cobot）場景中，人類和機器並肩工作，機器視覺用於確保操作安全和提升回應速度。機器人能夠觀察到靠近的肢體或工具，透過調整自身行為來避免碰撞，或在有人靠得太近時暫停作業。

在視覺系統成為機器人智慧重要支柱的同時，機遇與複雜性也在增長。高性能攝影機解鎖了即時感知、精準操控和更安全人機互動等強大的能力，但也對系統架構提出了更高要求。問題不再只是如何高效率傳輸大量視訊資料。如今，許多機器人需要在極短時間內基於多模態感測器輸入做出決策。與此同時，它們必須在緊湊的機械空間內運行，合理管理功率消耗，避免電磁干擾（EMI），並在靠近人類的環境中嚴格確保功能安全。



感測器頻寬範圍和GMSL能力

利用GMSL解決機器人視覺系統的挑戰

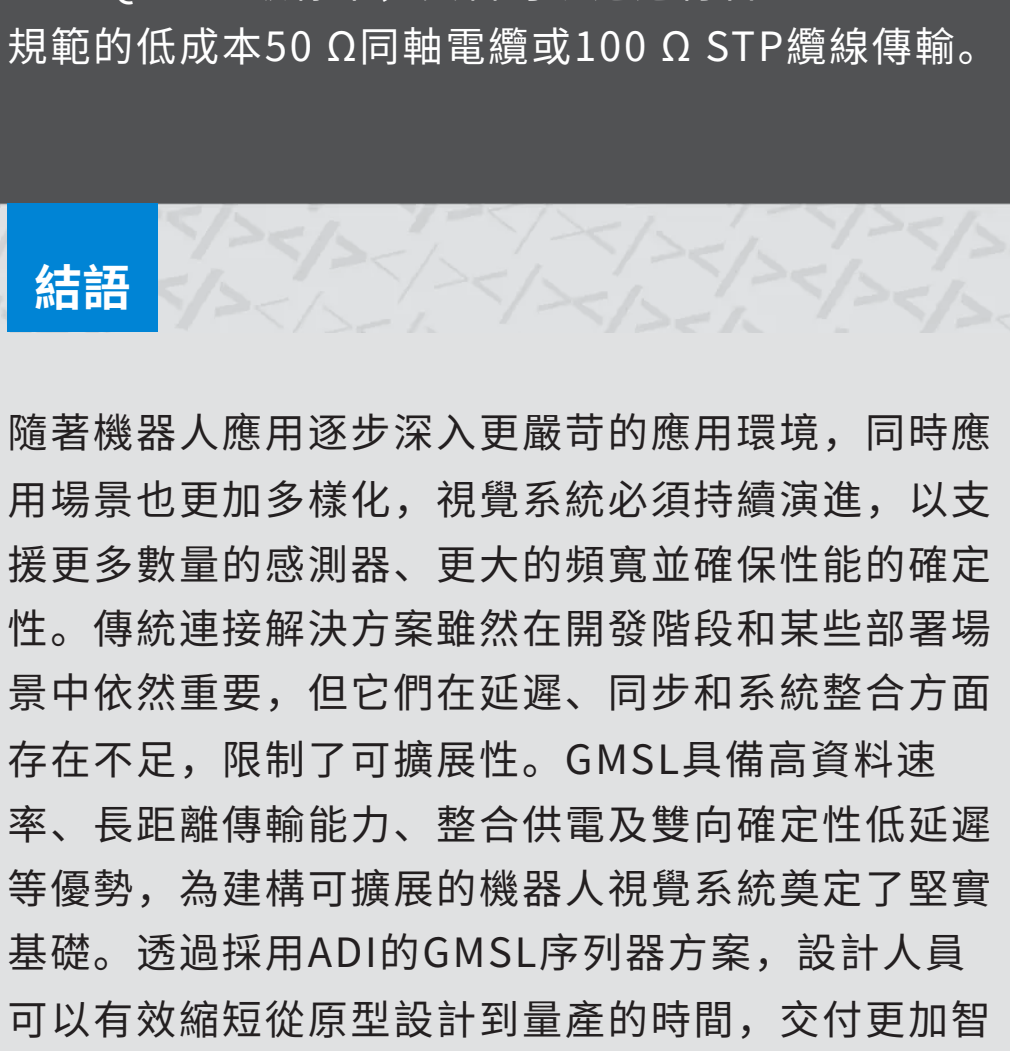
GMSL具備獨特的優勢，能夠滿足現代機器人系統的需求。憑藉高頻寬、穩健性和靈活的整合能力，GMSL非常適合動態、任務關鍵環境中運行的感測器密集型平臺。像是GMSL支援高資料速率和低延遲技術，GMSL2™和GMSL3™產品系列支援3 Gbps、6 Gbps和12 Gbps的前向通道（視訊路徑）資料速率，覆蓋了絕大部分機器人視覺的應用場景。靈活的鏈路速率使系統設計師能夠針對解析度、幀率、感測器類型和處理要求進行最佳化。

對於大多數採用200-300萬像素捲簾快門感測器並以60幀每秒（FPS）幀率運行的環景攝影機，3Gbps速率的GMSL鏈路足矣。3Gbps的GMSL鏈路也支援其他常見的檢測模式，比如ToF感測器，帶有點雲輸出的光學雷達（LiDAR）單元和傳輸檢測資料或壓縮影像式回傳的雷達感測器。

6 Gbps模式通常用於機器人的前向主攝影機，這類攝影機需配備更高解析度的感測器（通常為800萬像素或更高），以支援目標檢測、語義理解或標誌識別等任務。6 Gbps資料速率既支援提供原始輸出的ToF感測器，也支援立體視覺系統，後者從兩個像素感測器傳輸原始輸出串流，或從整合影像訊號處理器（ISP）輸出處理後的點雲串流，目前市場上的許多立體攝影機依賴於6 Gbps資料速率來實現高幀率性能。

在高階應用場景下，12 Gbps鏈路支援專業機器人使用的1200萬像素或更高解析度的攝影機，滿足高精度目標分類、複雜場景分割及遠距離感知等先進功能需求。值得注意的是，某些低解析度的全域快門感測器也需要更高速度的鏈路，以減少讀出時間，並避免在快速拍攝週期中出現運動偽影，這在動態或高速環境中尤為重要。

GMSL採用頻域雙工技術來分離前向（視訊和控制）與反向（控制）通道，從而實現確定性低延遲雙向通訊，並且消除資料衝突風險。在所有鏈路速率下，GMSL都能保持極低的延遲：從GMSL序列器的輸入到解序器的輸出，累計的延遲通常在幾十微秒以內，這對於大多數即時機器人視覺系統來說可以忽略不計。確定性反向通道延遲使得主機能夠對攝影機進行精準的硬體觸發，此特性對於多個感測器同步採集影像至關重要，同時也支援複雜機器人工作流程中時間敏感的事件驅動型幀觸發機制。如果用USB或乙太網路攝影機要達到這種時序精度，通常需要增加單獨的硬體觸發線路，導致系統複雜度和佈線工作量加大。



採用MAX96717的典型GMSL攝影機架構

高度整合的GMSL序列器能夠簡化

纜線和連接器基座的佈線工作

GMSL的核心價值之一在於能夠簡化纜線和連接器基座。GMSL本身是一種全雙工鏈路，大多數GMSL攝影機會利用同軸纜線供電（PoC）特性，透過一條細的同軸纜線同時傳輸視訊資料、雙向控制訊號和電力。因此，佈線工作大幅簡化，線纜線束的整體重量顯著減輕，體積更小，緊湊或關節式機器人平臺中的機械走線也更便捷。

此外，GMSL序列器是一種高度整合的元件，它將視訊介面（如MIPI-CSI）和GMSL PHY整合到單一晶片。GMSL序列器在6 Gbps模式下的功率消耗通常在260 mW左右，明顯低於其他技術在類似資料速率下的功率消耗。所有這些特性帶來的益處包括：電路板面積縮小，熱管理要求降低（通常可省去龐大的散熱器），系統整體效率提升，對於電池供電的機器人而言意義尤為重大。

GMSL解序器有多種配置可選，支援一個、兩個或四個輸入鏈路，便於建構靈活的感測器聚合架構。設計人員可將多個攝影機或感測器模組連接到單個處理器，而無需額外的開關或外部複用，這在多攝影機的機器人系統中特別有用。

除了多路輸入外，GMSL SERDES還支援一些高階特性，能夠在整個系統中智慧地管理和路由資料。具體包括支持I²C和GPIO廣播，用於同步配置多個感測器和實現幀同步，以及I²C位址別名，避免直通模式下I²C位址衝突。此外，GMSL SERDES還支持虛擬通道重分配，允許將多個視訊串流純淨地映射到單晶片系統（SoC）內部的框架緩衝區，並具有視訊串流複製和虛擬通道濾波功能，允許將選定的視訊資料傳送到多個SoC。例如，讓同一個攝影機資料流程同時驅動自動化和互動處理流程，或支援冗餘處理路徑以增強功能安全性。

由ADI推出的MAX96717是一款CSI-2到GMSL2序列器，MAX96717可在MIPI CSI-2介面上接收視訊，並在GMSL2序列鏈路收發器上輸出視訊。同時，它透過該GMSL2鏈路發送和接收雙向控制通道資料。GMSL2資料可以透過同軸或遮罩雙絞線（STP）纜線傳輸，它的正向運行速率為3 Gbps或6 Gbps（固定），反向運行速率為187.5 Mbps。該元件透過本地I²C/UART介面或透過來自匹配解序器的鏈路進行程式化設定。MAX96717包括兩個I²C/UART直通通道、靈活的GPIO、SPI通道、一個內置ADC、溫度感測器和一組廣泛的功能安全診斷。該元件的額定工作溫度範圍為-40°C至+105°C汽車級溫度範圍，符合AEC-Q100 2級標準，資料可以透過符合GMSL2通道規範的低成本50 Ω同軸電纜或100 Ω STP纜線傳輸。

結語

隨著機器人應用逐步深入更嚴苛的應用環境，同時應用場景也更加多樣化，視覺系統必須持續演進，以支援更多數量的感測器、更大的頻寬並確保性能的確定性。傳統連接解決方案雖然在開發階段和某些部署場景中依然重要，但它們在延遲、同步和系統整合方面存在不足，限制了可擴展性。GMSL具備高資料速率、長距離傳輸能力、整合供電及雙向確定性低延遲等優勢，為建構可擴展的機器人視覺系統奠定了堅實基礎。透過採用ADI的GMSL序列器方案，設計人員可以有效縮短從原型設計到量產的時間，交付更加智慧和可靠的機器人，從容應對各種實際應用的挑戰。

成為艾睿電子LINE好友

LINE