

# 現代 ADAS 架構中的通訊協定

**Chanakya Mehta**

Systems and applications manager  
FPD-Link™ SerDes

**Shannon Lippincott**

Product marketing engineer  
Transceivers

**Connie Lu**

Product marketing engineer  
PCIe products

# 現代車輛仰賴高速汽車通訊技術，將資料傳送地更快更遠，以加速車輛安全與自主。

## 摘要

本白皮書將檢視四種汽車通訊協定，以及各協定如何共存，以提升車輛安全與自主性。

- 1 乙太網路**  
乙太網路可透過整個車輛進行高速資料傳輸
- 2 FPD-Link 技術**  
平板顯示器 (FPD)-Link 可透過即時且未壓縮的資料，簡化攝影機輸入的資料。
- 3 CAN 匯流排**  
控制器區域網路 (CAN) 會優先處理來自各種電子控制單元 (ECU) 的資料。
- 4 PCIe 技術**  
快捷外設互聯標準 (PCIe) 符合高頻寬、超低延遲的效能需求。

## 簡介

車輛電氣元件在 1915 年首次問世，當時由福特汽車在其 Model T 車輛上引進電氣照明與電氣喇叭。自此之後，汽車對電力與電子系統的依賴程度便持續增加。初始系統通常採用本機和獨立設計：由開關控制直接連接至電池的車頭燈，或是由繼電器控制單音調喇叭。

隨著架構持續演進，車輛中各子系統進行通訊的機制也隨之演變。例如當汽車偵測到車外環境光線降低，可能會自動啟用車頭燈，但不只這樣。可能會調整所有顯示器的亮度、調整所有攝影機的白平衡、增加與前方車輛維持的距離，並對煞車模組更加強調，以創造更安全的駕駛體驗。

在不斷追求自動駕駛車輛的同時，我們也肩負更多責任，讓通訊盡可能安全、安心且即時。這項挑戰因傳輸與接收的資料量不再是每秒數百 kb，而是每秒數十 GB 而變得更加艱鉅。

本白皮書共探討四種汽車通訊協定：乙太網路、FPD-Link™ 技術 (汽車串聯器/解串器 (SerDes) 專用通訊協定)、CAN 匯流排與 PCIe 匯流排，其中強調各種技術的核心細節，並提供這些技術支援現代汽車駕駛輔助系統 (ADAS) 架構的範例與功能，如下所示 [圖 1](#)。



圖 1. 在車輛中強調顯示通訊協定技術。

## 乙太網路

乙太網路是居家與辦公室中最常見的高速介面之一，同時也是車輛主流通訊協定。部分車輛使用乙太網路來傳輸各種高速資料；雷達和光達模組等汽車應用則採用單對乙太網路技術。單對乙太網路採用乙太網路標準，但資料會透過單一雙絞線傳輸，以降低車內纜線重量和成本。

乙太網路是一種封包系統，由網路不同部分節點間的封包傳送資訊。乙太網路跟 CAN 匯流排一樣為雙向，任何個別鏈路上的速度都會隨着系統上節點數量增加而降低。就單對乙太網路來說，任何個別鏈路上的速度都會受限於某特定速度 (10 Mbps、100 Mbps、1 Gbps)，且鏈路上不會發生動態速度變化。但單對乙太網路仍可透過鏈路以比 CAN 匯流排快 1,000 倍的速度傳輸資料。改為單對乙太網路可得到比 CAN 匯流排更佳的資料傳輸速度，但由於乙太網路每個節點的成本較高，因此可能無法取代 (且反而增加) CAN 匯流排的使用。

部分汽車目前使用單對乙太網路來滿足資料密集的需求，如倒車攝影機和雷達。舉例來說，德州儀器 (TI) 的 **DP83TC812S-Q1** 和 **DP83TG720S-Q1** 為單對乙太網路實

體層 (PHY)，被歸類為汽車電子協會 Q100 第 1 級和第 2 級，且含回送測試模式以協助符合電機電子工程師學會 (IEEE) 802.3bw 和 802.3bp 汽車標準的系統診斷。若要透過乙太網路傳送視訊，即使只傳送一個視訊頻道，視訊也必須在來源處壓縮和在目的地解壓縮，以避免超出乙太網路頻寬限制。這與允許未壓縮視訊資料傳輸的 FPD-Link™ 技術不同。就倒車攝影機等應用而言，攝影機中必須有功率相對較高的處理器將圖像充分壓縮，以使其進入乙太網路。

但對高功率處理器的需求也代表攝影機的實際尺寸必須更大，價格也更加昂貴。攝影機的功耗會比不需進行大量影像處理的方式來得高。此解決方案的另一個缺點，是視訊壓縮和解壓縮會增加鏈路的延遲。如果數個攝影機或其他視訊來源共同相同乙太網路，則需在壓縮量 (和對應的視訊品質) 與支援視訊通道數間取得平衡。您可在車內以階層式配置設定多個網路，以解決此限制。例如一個網路只負責引擎控制和診斷，另一個網路負責後座娛樂與音訊系統，再由另一個網路負責駕駛輔助功能 (如視覺增強攝影機)。總結來說，若犧牲較佳複雜性，單對乙太網路可提供比 CAN 匯流排更高的容量來傳送雷達和光達等資料，但在處理視訊等最高頻寬應用上仍需努力。

## FPD-Link 技術

FPD-Link 是為即時、未壓縮傳輸高頻寬資料而發展的專屬汽車 SerDes 技術。FPD-Link 專為車內傳輸視訊資料而開發，可在駕駛輔助應用中強化資料分析與處理。舉例來說，此技術可在後通道將資訊從朝外的攝影機送至處理器時，將未壓縮的視訊傳送到顯示器，並使用影像處理和演算法將指令訊號送回車輛或駕駛，例如自動煞車。FPD-Link 的實體層為雙絞線或同軸電纜。其採用專用接線，因

此在倒車攝影機使用 FPD-Link 時，將有一條纜線從攝影機接至處理器，另一條纜線則從處理器接至車艙內的顯示器。在本應用中使用 FPD-Link 的最大優點，是攝影機及顯示器電路皆可變得更簡單，因為不需要進行壓縮及解壓縮。

此外，由於為專用鏈路，因此單一視訊系統的影像品質不受車輛其他系統情況影響。FPD-Link 的前向通道頻寬為 25 Gbps+，並配備低速後通道。後通道可用來以 400 kbps 的速度傳輸 I2C 匯流排，也可以最高 1 Mbps 的速率控制 GPIO 線路。您可在前向通道上視訊流不中斷的情況下，使用後通道配置攝影機、操作變焦鏡頭或將觸控螢幕資訊送回控制器。對自動駕駛車輛而言，另一個重要因素為鏈路中的延遲時間量。壓縮和解壓縮影像所需的處理會造成此延遲增加。對後座娛樂等應用來說，DVD 讀取資料和螢幕顯示間的延遲沒有那麼重要。但如果傳輸的影像是攝影機在車輛路徑中尋找是否有行人，這樣的延遲情況就可能造成嚴重後果。FPD-Link 非常適合以高頻寬與低延遲為重點要素的鏈路。此外，透過單一雙絞線或同軸連接支援後通道與電源的能力，可簡化佈線並有助於降低整體系統設計的複雜性。

**圖 1** 說明連接到兩個不同攝影機的 OMAP™ 視訊處理器，以及以單一雙絞纜線連接至各周邊設備的顯示器。此雙絞纜線支援攝影機視訊資料和觸控螢幕或攝影機設定資料。纜線也可為顯示器或攝影機提供電源。由於每個鏈路都為一個周邊設備專用，因此可消除兩部攝影機訊號干擾的風險，進而提升處理與分析的資料完整性，並使 ADAS 功能更加可靠且準確。由多個攝影機傳送資料的能力對自動停車等環景應用特別有幫助，360 度的車輛周遭視野可提供駕駛重要資訊，以進行更安全的駕駛體驗。若要進一步了解 FPD-Link 的基本知識，請觀賞 [什麼是 FPD-Link?](#)。

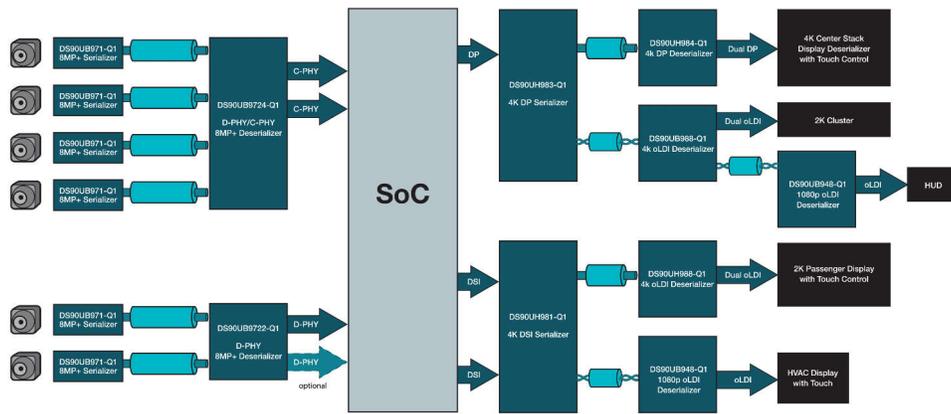


圖 2. 配備 FPD-Link 的多攝影機系統。

## CAN 匯流排

CAN 通訊在 80 年代由 Robert Bosch GmbH 開發，自此之後已有大幅度演進。多點網路通訊協定大幅減少車輛所需的纜線配線，同時也能實現將匯流排存取權限授予匯流排上最高優先順序節點的仲裁通訊系統。CAN 通訊協定和實體層在 90 年代初期原本針對最高 1 Mbps 資料傳輸速率進行標準化。現在 CAN 通訊已進化至最高 10 Mbps 速度，以縮小 90 年代經典 CAN 與低速汽車乙太網路 (如 10Base-T) 間的差距。

CAN 為多指令序列匯流排，意即單一指令節點無法控制個別節點何時可讀取和寫入 CAN 匯流排。每個訊框都含有一個識別符，以建立 CAN 訊息的優先順序。如果多個節點同時嘗試傳送至 CAN 匯流排，優先順序最高 (或仲裁 ID 最低) 的節點將會取得匯流排控制權。CAN 通訊在嚴苛環境下十分可靠，讓 ECU 只需透過一對纜線即可進行通訊。

80 年代 CAN 剛開發時，車輛內的 ECU 數量相對較少。現在客車可容納 100 個以上 ECU，控制功能涵蓋基本動力轉向到座椅按摩器與方向盤加熱器等豪華功能。隨著 ECU 增加及客車對更先進安全功能的需求，CAN 通訊也有所發展。

表 1 列出更多 CAN 通訊網路相關資訊，其中包括 CAN FD Light、CAN 訊號改善功能 (SIC) 與 CAN Extra Long

(XL) 等新標準。如需進一步了解 CAN，請參閱 [控制器區域網路 \(CAN\) 簡介](#)。

協定	位元率	標準	說明
CAN XL	10 Mbps +	CiA 610-1	CAN XL 可將最大酬載增加至 2 kB 以實現更高位元率，進而縮小 CAN 與低速乙太網路間的差距
CAN FD SIC	< 8 Mbps	CiA 601-4	訊號改善功能可減少顯性轉隱性邊緣的振鈴，以實現更複雜的拓撲
CAN FD Light	≤ 5 Mbps	CiA 604-1	雙線指令回應器架構，且具 CAN FD 實體層的強固性
CAN FD	< 5 Mbps	ISO 11898	靈活的資料速率將最大酬載自 64 位元組增加，以實現更高位元率
控制器區域網路	≤ 1 Mbps	ISO 11898	雙線多指令序列匯流排，最大有效酬載為 8 位元組
區域互連網路 (LIN)	1 - 20 kbps	ISO 17987	單線指令回應器架構

表 1. CAN 演進過程。

## PCIe 技術

PCIe 是雙向高速序列匯流排的通訊標準，可滿足高頻寬、超低延遲的效能需求。PCIe 較常運用在工業應用中，隨著製造商開始重新思考資料骨幹架構，PCIe 現在也在汽車應用中嶄露頭角，以支援高頻寬與低延遲系統，因應需要即時處理的感測器資料與使用者資訊指數增加。

為解決此挑戰，集中式運算節點支援許多不同類型的網域 (ADAS、車載資訊娛樂系統、動力傳動系統)。此集中式運算箱通常包含許多支援車輛不同功能的模組，讓車輛製造商無需重新設計整個網域控制器，即可靈活地進行車輛擴充、縮減和自訂功能。由於 PCIe 支援單一根聯合體或中央處理器 (CPU) 至許多端點或接收器，因此採用 PCIe 集中式與模組化設計，可大幅減少車輛所需的整體 ECU 和纜線。

當汽車產業開始需要跨資料骨幹進行共同處理與備援時，PCIe 也變得越來越具吸引力，因為許多 CPU 內建原生 PCIe 介面，不需在背板上進行其他介面轉換。PCIe 擁有龐大的生態系統與開放式軟體資源，並隨著各世代持續讓頻寬加倍且可充分擴充。正因如此，PCIe 通訊協定才能跟上汽車資料處理指數形成長所需的頻寬。

設計高速資料訊號路徑時，訊號衰減可能會成為一大挑戰。可能會需要轉接驅動器或重定時器等訊號調節器，以復原和補償印刷電路板材質、導孔、連接器或纜線的插入損耗及雜訊。轉接驅動器與重定時器在 PCIe 生態系統中擁有可靠且悠久的歷史，可改善透過 PCIe 通訊協定傳輸資料的整體訊號完整性。[表 2](#) 列出轉接驅動器與重定時器間的差異。請觀賞影片 [解決 PCIe 訊號完整性挑戰](#)，進一步了解構成 PCIe 訊號路徑的要素。

PCIe 線性轉接驅動器	PCIe 重定時器
低功耗 (無需散熱器)	高功耗 (大多數情況下需要散熱器)
超低延遲 (100 ps)	中延遲 (根據 PCIe 4.0 規格要求 ≤64 ns)
不參與鏈路訓練，但對根聯合體 (CPU) 和端點 (EP) 間的交涉透明 (與協定無關)。	完全參與有根聯合體 (CPU) 和端點 (EP) 的鏈路訓練 (協定知覺)
不需 100-MHz 參考時脈	需要 100-MHz 參考時脈
有助於插入損耗	有助於插入損耗、抖動、串音、反射和線路對線路偏斜
CTLE 是使用的典型等化電路	CTLE、DFE 和發射器 FIR 是使用的典型等化電路
解決方案總成本約為 1 倍	解決方案總成本約為 1.3-1.5 倍

**表 2.** PCIe 轉接驅動器與重定時器的比較。

## 結論

哪種介面最適合汽車通訊？每種介面都是最佳介面，但各有其目的。當頻寬需求上升 (例如雷達和光達資料傳輸)，乙太網路可支援所需頻寬需求。當需要最高頻寬與最低延遲連結時 (例如為自動駕駛車輛提供輸入的環景攝影機系統)，FPD-Link 即可滿足挑戰。CAN 匯流排可持續在成本為驅動因素的情況下 (例如資料優先順序、氣囊展開等)，為低速控制應用提供 ADAS 支援。PCIe 可滿足需要即時處理且不斷增加的感測器資料與使用者資訊移動需求。這四種重要的汽車通訊協定結合建立了整合式連線車輛，除可即時支援駕駛安全，並可滿足 ADAS 架構不斷增加的需求。請參閱 [感測器融合](#)，進一步了解我們的先進通訊技術如何提升重要安全駕駛輔助應用可靠性。

## 參考

1. [什麼是 FPD-Link？](#)
2. 德州儀器：[控制器區域網路 \(CAN\) 簡介](#)
3. [解決 PCIe 訊號完整性挑戰](#)

**重要聲明：**本文所述德州儀器及其子公司相關產品與服務經根據 TI 標準銷售條款及條件。建議客戶在開出訂單前取得 TI 產品及服務的最新完整資訊。TI 不負責應用協助、客戶的應用或產品設計、軟體效能或侵害專利等問題。其他任何公司產品或服務的相關發佈資訊不構成 TI 認可、保證或同意等表示。

FPD-Link™ and OMAP™ are trademarks of Texas Instruments.  
所有商標均為其各自所有者的財產。

## IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATA SHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#) or other applicable terms available either on [ti.com](https://www.ti.com) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may have proposed.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2024, Texas Instruments Incorporated