

Technical Article

乙太網路如何加速移至軟體定義車輛



Madison Ecklund, systems manager, Body Electronics & Lighting

區域架構和乙太網路代表車輛網路的未來。車輛中的新功能，以及在區域模組中彙總感測器與致動器的轉變，都需要高頻寬及低延遲的車載通訊網路。實作乙太網路的區域架構可促進軟體定義汽車的趨勢成長。

現今大多數車輛都是使用一種稱為網域架構的佈線和電子控制單元 (ECU) 架構來製造。網域架構會根據特定功能將 ECU 分類至各網域，無論其車輛實體位置在何處。

ゾーン與域架構相反，區域架構是按位置而不是按功能來組織通訊、電源分配和負載控制的，如圖所示。區域模組可做為車輛運算系統與智慧感測器和 ECU 等本地邊緣節點之間的網路資料橋接器。為了減少車輛中的佈線，區域模組也會向不同的邊緣節點分配電力（透過實作半導體智慧保險絲功能），處理低階運算並驅動馬達和照明等本地負載。

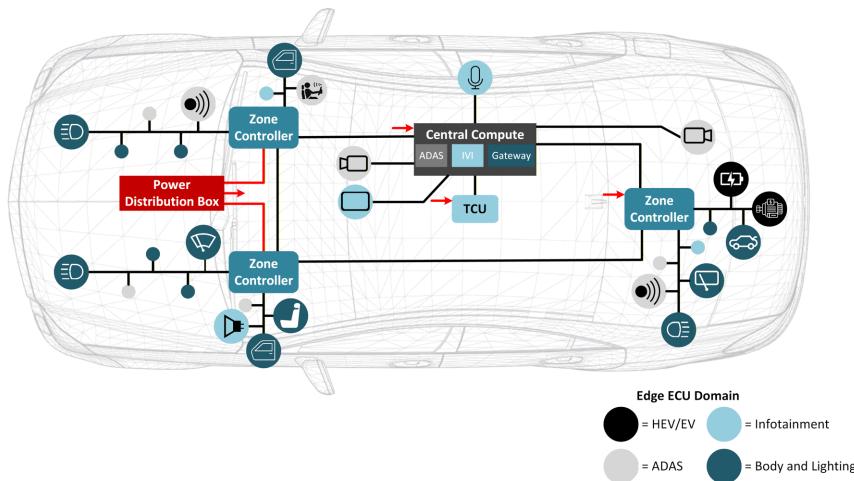


圖 1. 區域架構的範例

區域模組透過邊緣節點通訊網路傳輸來自各種感測器和 ECU 的資料，並透過骨幹通訊將組合的感測器資料轉傳到中央運算系統。同樣地，區域模組再次透過骨幹通訊、再次透過邊緣節點通訊網路，將從中央運算系統接收到的資料傳輸到各個致動器。這個在中央運算系統和區域模組之間的雙向通訊，需要高頻寬和低延遲的通訊骨幹來處理像多個先進駕駛輔助系統 (ADAS)、攝影機、車輛運動控制和主動調整頭燈系統來產生的大量資料。

區域架構中的頻寬要求

為瞭解在車輛中使用乙太網路的價值，讓我們按應用來細分乙太網路的使用情況。新定義的單對乙太網路支援 10Mbps 至 10Gbps 的速度，透過電機電子工程師學會 (IEEE) 802.3cg (10Mbps)，IEEE 802.3bw (100 Mbps)，IEEE 802.bu (1Gbps) 和 IEEE 802.3ch (10Gbps) 進行定義。所有這些新的乙太網路技術都透過單對電纜運作，通訊距離最遠可達 15 公尺，足以覆蓋車輛中最長的連結。乙太網路也可以使用 IEEE 802.1AS 時間戳記來啟用感測器資料的時間同步功能，進而實現低延遲。

雖然乙太網路具有極快的速度，但並非在每一種環境下都需要這些速度。例如，與車門控制模組或暖氣、通風和空調系統的通訊不需要 100Mbps 的資料傳輸速率。對於速度較低、頻寬要求不高的用例，10Mbps 乙太網路 PHYDP83TD555J-Q1 或替代網路協定（例如控制器區域網路 (CAN)）更為合適，同時可以將更高的速度用於將聚合的攝影機和自動駕駛感測器資料從區域控制模組傳送到中央運算系統。[圖 2](#) 展示了在區域架構中何時使用不同速度的乙太網路。

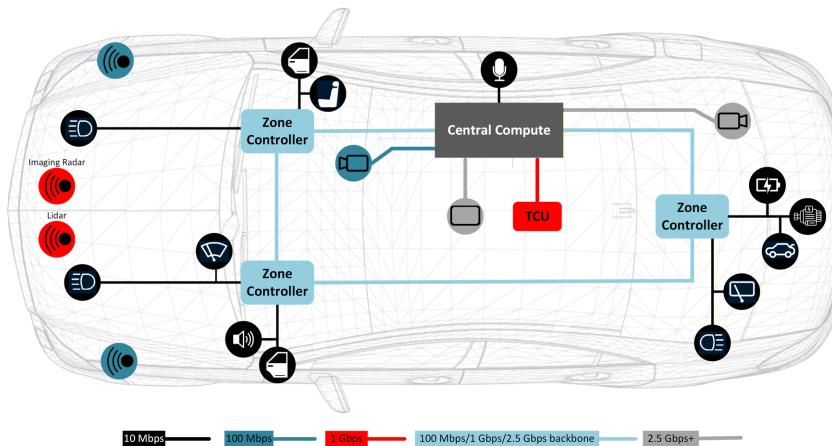


图 2. 區域架構中的乙太網路

接下來，讓我們仔細看看雷達、光達、攝影機和人體應用所使用的通訊速度。當雷達或光達系統單晶片 (SoC) 處理資料時，通常是 CAN，10Mbps 乙太網路或 100Mbps 乙太網路會在僅發生第一級或第二級資料處理作業時，將光達或雷達資料傳達到區域控制模組，100Mbps 至 1Gbps 乙太網路會將雷達和光達資料傳達到區域模組或中央電腦。將原始光達或雷達數據發送到中央計算系統進行處理，將透過各種感測器的感測器融合提取更多資訊。傳輸如此大量的原始資料需要更高的頻寬，通常是序列/解串器 (SerDes) 協定或 2.5Gbps 加乙太網路。

對於相機而言，當 ADAS 資料量增加，需要使用前置相機的所有原始資料進行後處理時，SerDes (例如 Flat Panel Display (FPD)-Link) 是最合適的協定。

如果可以壓縮前置鏡頭的數據，並且您不需要如此高水準的 ADAS 數據，那麼 100Mbps 乙太網路就是一個替代方案。

車身域模組，例如門把手感測器、車窗升降控制模組和側視鏡控制模組，傳統上使用 CAN 和本地互連網路 (LIN) 協定進行通信，因為這兩種協定都不需要高頻寬。雖然設計人員仍將繼續使用 CAN 和 LIN，但乙太網路在車輛中的日益普及也為 10Mbps 10BASE-T1S 多點乙太網路創造了空間。傳統上，乙太網路是點對點拓撲結構，但 10BASE-T1S 乙太網路是第一個支援匯流排拓撲結構的乙太網路標準。

區域架構中的多千兆乙太網路

區域架構的潛在演進方向是什麼？它從聚合身體領域數據、整合權力分配和集中計算開始。隨著時間的推移，區域架構將開始聚合來自其他領域（例如 ADAS 和資訊娛樂系統）的資料。最終目標是將所有域納入區域架構。無論資料屬於哪個域，區域控制模組和中央運算系統仍將使用相同的骨幹通訊網路來傳輸資料。音訊是轉移至區域控制模組的主要目標，因為可以透過音訊視訊橋接標準透過乙太網路傳輸音訊資料。

車身網域功能通常需要 10Mbps 以下。但隨著 ADAS 或車內資訊娛樂功能（如雷達，光達，音訊和攝影機）被整合至區域架構中，速度和頻寬需求必須增加及/或乙太網路骨幹拓撲可能會從星狀變更為環狀，以容納關鍵安全和時效性感測器資料量。

音訊每通道產生約 1.5Mbps；雷達感測器通常產生 0.1Mbps 至 15Mbps。光達產生 20Mbps 至 100Mbps。攝影機產生的速率最高為 500Mbps 至 3.5Gbps。現今的車輛通常配備四到六個雷達感測器，一到五個光達感測器，12 到 20 個音訊喇叭，12 到 16 個音訊麥克風和六到 12 個攝影機。[表 1](#) 顯示每種類型生成的數據範圍。

表 1. 區域架構中產生的數據

類型	產生的數據	傳感器數量	低的	中階	高的
音訊揚聲器	1.5Mbps	12 至 20	3.2Mbps	24Mbps	30Mbps
音訊麥克風	1.5Mbps	12 至 16	3.2Mbps	21Mbps	24Mbps
雷達	0.1 – 15Mbps	4 至 6	0.4Mbps	35Mbps	90Mbps
光達	20 – 100Mbps	1 至 5	20Mbps	100Mbps	500Mbps
攝影機	500Mbps - 3.5Gbps	6 至 12	3Gbps	9Gbps	42Gbps

正是由於產生的數據總量不斷增長，促使原始設備製造商 (OEM) 大力推廣 2.5Gbps、5Gbps 和 10Gbps 乙太網路。區域架構需要一個骨幹通訊網絡，能夠將 ADAS 感測器產生的大量資料傳輸到中央運算系統。未壓縮的相機資料已經超出了目前乙太網路的處理能力，而且相機的解析度和像素數量還在不斷提高。隨著車輛不斷向自動駕駛方向發展，感測器的數量將會增加。因此，支援更高相機解析度和感光元件所需的頻寬也將相應增長。

由於將不同功能整合到區域控制模組中的過渡計畫不同，OEM 廠商要求的乙太網路速度很可能會有所不同。內部揚聲器上的音訊播放是首批用於以太網主幹的跨域數據類型之一。這可能是由於數據生成較低導致的，因為 20 個音訊揚聲器通道產生大約 30 Mbps。現有的 100Mbps 或 1Gbps 以太網主幹可以輕鬆適應音訊播放數據的增加。整體而言，區域控制模組中的進階資料功能越多，頻寬需求就越高。

使用乙太網路作為區域架構的骨幹網，可以讓車輛在連接到互聯網或遠端 OEM 伺服器時，透過車載網路傳輸更多資料。這使得可以透過遠端執行韌體空中升級 (FOTA) 更新來實現基於訂閱的服務和車輛診斷。FOTA 更新允許不同的硬體和軟體更新周期，由於感測器和執行器與中央運算節點的獨立性，這些更新週期可以是非同步的。

FOTA 更新還可以推動額外的功能和提升安全性，而不必等待新模型，也不需將車輛送去維修。OEM 和客戶都受益，因為 OEM 可以控制在啟動後更新車輛的附加功能，消費者也不會因為前往經銷商處更新韌體而感到不便。

區域架構中的 PHY

乙太網路需要使用 PHY 傳輸和接收高速資料。汽車乙太網路 PHY 消除許多對乙太網路做為車輛佈線骨幹的疑慮，例如在如此不穩定的環境中訊號品質不佳。德州儀器 (TI) 的乙太網路 PHY 能夠在 -40°C 至 125°C 的溫度範圍內工作，符合汽車電子委員會-Q100 1 級標準。

乙太網路 PHY 也必須通過乙太網路合規性標準，確保符合電磁相容性和電磁干擾的特定互通性和可靠性標準，以及開放行動聯盟 TC1 和 TC12 標準指定的 IEEE 一致性，以便於在車輛環境中運作。PHY 具備訊號品質指示、時域反射測量和靜電放電感測器等先進的診斷功能，能夠偵測錯誤發生的時間，識別這些故障，並使主機系統能夠主動做出回應。例如，在發生 ESD 時，PHY 會向 SoC/媒體存取控制傳送中斷訊號，以向其發出該事件的警報，然後檢查系統中的其他部分。

乙太網路 PHY 也可以使用開放行動聯盟 TC10 規範的喚醒和睡眠技術，透過 SPE 電纜喚醒遠端 ECU，無需使用單獨的電線將 ECU 從睡眠狀態喚醒。IEEE 802.1AE 媒體存取控制安全 (MACsec) 也可能是一項重要的技術，用於實現聯網 ECU 的身份驗證以及加密/解密資料以避免網路攻擊，因為網路攻擊是汽車網路面臨的最大威脅。

其他乙太網路 PHY 包括：

- DP83TC812-Q1DP83TC815-Q1DP83TC814-QDP83TC813-Q1 德州儀器 (TI) 的 [DP83TC812-Q1](#)、[DP83TC815-Q1](#) 和 [DP83TC814-Q1](#) 100BASE-T1 PHY 具有適用於豪華汽車的下一代功能，而尺寸更小的 [DP83TC813-Q1](#) 100BASE-T1HY 在印刷電路板空間的情況下可能很有吸引力。[DP83TG720-Q1](#) 和 [DP83TG721-Q1](#) 可將區域模組連接到中央運算系統和遠端資訊處理控制單元等資料密集型功能，從而為在後續型號中添加其他功能留出空間，而無需對線束進行大量更改。這些 PHY 結合後，為道路上更先進、功能更強大的車輛開啟大門。
- TI 的單對乙太網路 PHY 產品組合專為元件封裝或與 TI 的 100BASE-T1 和 1000BASE-T1 PHY 針腳對針腳相容而設計。單板設計可在未來開發中升級功能集或頻寬，且無需變更硬體。此方法有助於加速開發週期，滿足不同 OEM 的要求，並縮短上市時間，從而節省 R 和 D 成本。
- [DP83TD555J-Q1](#) 10BASE-T1S 序列週邊設備介面 MAC PHY 無縫整合至現有乙太網路骨幹網路，在連接傳統 CAN/LIN 邊緣節點時，免除了協定轉換閘道及其相關延遲與處理負擔。此裝置支援資料線供電，透過單一雙絞纜線傳輸電力和 10Mbps 資料，進而降低纜線重量和系統成本。內建 PHY 衝突避免功能可為每個網路節點提供確定性排程，並保證發送機會，以確保可預測的通訊時序。較大的乙太網路訊框酬載可從車輛邊緣的 ECU 摷取更多資料量和更多樣化的資料類型，促進進階診斷與無線更新，同時維持即時性能。

結論

汽車乙太網路技術的進步將讓汽車製造商能夠為新車輛提供更多功能與功能。實作乙太網路的區域架構，可透過提供支援下一波自動功能的資料容量，幫助加快轉換至軟體定義車輛的速度，在路上打造更安全且更智慧的車輛。

其他資源

- 閱讀白皮書["汽車區域架構中的 TSN：實現乙太網路環狀架構和 AVB 分散式音訊"](#)，以了解時效性網路如何提升車輛網路的可靠性。
- 有關區域架構的更多概述，請參閱白皮書[區域架構如何為完全軟體定義的車輛鋪路](#)。
- 有關 Open Alliance TC10 規範的更多信息，請參閱應用筆記[“DP83TC812-Q1 TC10 系統時序測量”](#)。

重要聲明與免責聲明

TI 以「現狀」及所含一切錯誤提供技術與可靠數據 (包含產品規格書)、設計資源 (包含參考設計)、應用或其他設計建議、網頁工具、安全資訊和其他資源，且不承擔所有明示或默示保證，包括但不限於適銷性或用於特定用途之適用性的任何默示保證，或不侵害第三方智慧財產的任何默示保證。

所述資源可供專業開發人員應用 TI 產品進行設計使用。您應自行負責 (1) 選擇適合您應用的 TI 產品，(2) 設計、驗證與測試您的應用，與 (3) 確保應用符合適用標準，以及任何其他安全、安保、法規或其他要求。

這些資源得進行修改且無需通知。TI 對您使用所述資源的授權僅限於開發資源所涉及 TI 產品的相關應用。除此之外不得複製或展示所述資源，也不提供其它 TI 或任何第三方的智慧財產權授權許可。如因使用所述資源而產生任何索賠、賠償、成本、損失及債務等，TI 對此概不負責，並且您須賠償由此對 TI 及其代表造成的損害。

TI 的產品均受 [TI 的銷售條款](#)、[TI 的通用品質指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他適用條款，或連同這類 TI 產品提供之適用條款所約束。TI 提供此等資源並不會擴大或以其他方式改變 TI 對於 TI 產品的適用保證或保證免責聲明。除非 TI 明確將某產品指定為自訂或客戶指定型號，否則 TI 產品均為標準、類比、通用裝置。

TI 反對並拒絕您可能提出的任何附加或不同條款。

Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

上次更新 10/2025

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATASHEETS), 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 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](#), [TI's General Quality Guidelines](#), or other applicable terms available either on [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. Unless TI explicitly designates a product as custom or customer-specified, TI products are standard, catalog, general purpose devices.

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

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

Last updated 10/2025