

Technical Article

利用單晶片、8 x 8 串級收發器實現 4D 雷達成像



Rogério Almeida, Gerold Joseph Dhanabalan

總結

本文探討 AWR2188 等單晶片 8 x 8 雷達收發器如何為自動駕駛車輛實現進階 4D 成像雷達。4D 雷達新增垂直角度量測以偵測物體高度，進而提升 ADAS 的準確度。這些裝置也支援衛星雷達架構，其中分散式感測器會將原始資料串流至中央處理器，進而簡化系統設計，並提供更全面的車輛雷達涵蓋範圍。

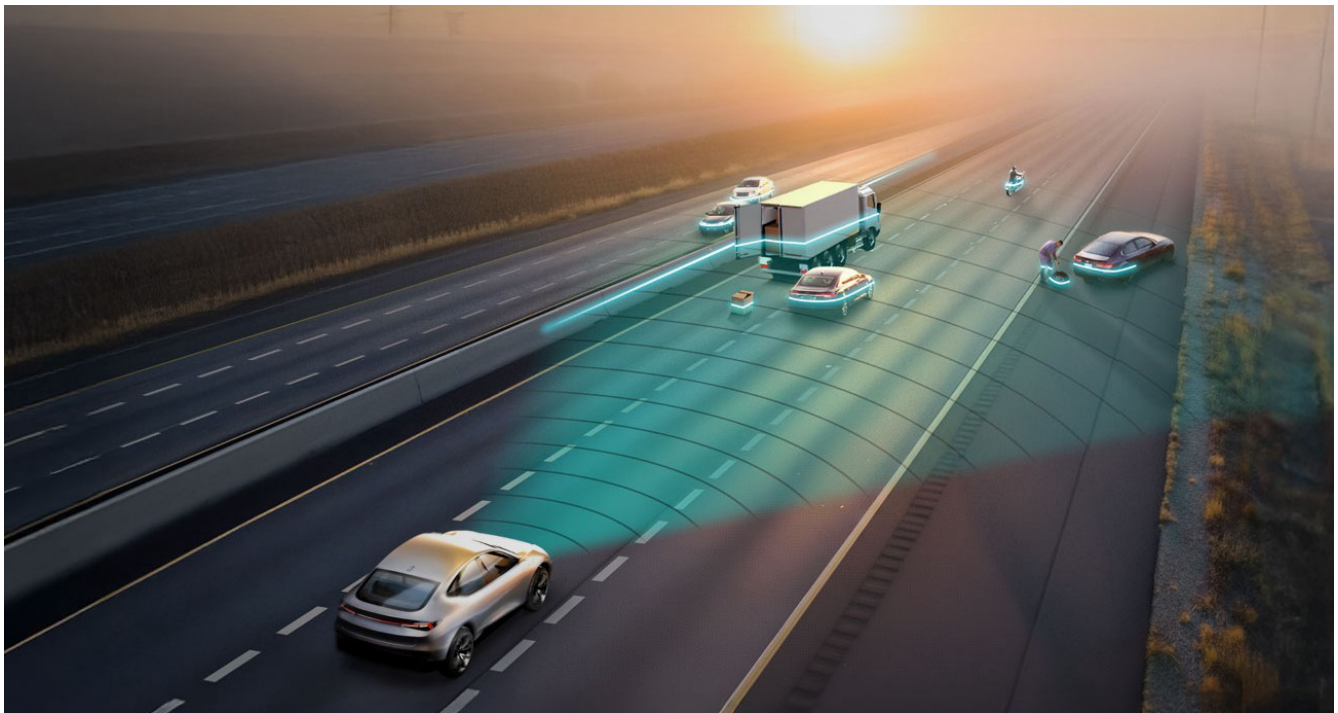


圖 1. 4D 成像雷達提供可高解析度資料，包括道路上物體的高度資訊

簡介

釋放自動駕駛功能的潛能，需要先進駕駛輔助系統（ADAS）能可靠地收集高度細緻且即時串流的環境資料，包括與其他物體的距離、車輛周圍與前方的物體類型（其他車輛、人員、障礙物），以及車輛的行駛速度。

雷達仍然是一種基礎技術，可讓 ADAS 更好地感知車輛周圍環境並做出反應，尤其是在會限制駕駛視覺敏銳度和視覺型感測器準確度的不利天氣條件下。

4D 成像雷達等雷達技術的創新，可實現高解析度感測，並新增垂直角度量測功能；搭配衛星式雷達配置，正加速產業朝向汽車工程師協會所定義的更高車輛自主等級邁進。

這些創新，以及支援其運作的單晶片雷達收發器，可簡化全方位高解析度雷達感測的實作，並在追蹤與分辨附近或接近的物體時，提升準確度。

什麼是 4D 雷達？它對車輛自主性有何影響？

汽車雷達系統通常會在車輛的前後角使用短程和中程雷達感測器，用於盲點偵測、車道維持輔助及前後橫向兩側來車警示。車輛前部的長程雷達感測器可處理自動緊急煞車和智慧主動車距控制巡航系統。4D 成像雷達透過增加垂直角度量測來擴展 3D 雷達的功能（如表 1），使車輛能夠偵測橋梁與隧道等結構的高度。

表 1. 傳統汽車雷達系統的核心功能

功能	說明
距離測量	透過範圍測量實現安全的追蹤距離
速度偵測	使用都卜勒位移追蹤移動物體的相對速度
角解析度	判定對象的相對位置
多對象追蹤	支援同時追蹤車輛、行人和騎自行車者

結合距離、水平位置與速度資料後，ADAS 功能可以偵測物體，並分辨道路碎片、障礙物、車輛、路面、行人，甚至是在車輛旁蹲下更換輪胎的人員。這些感測功能可建立車輛周圍物體的高解析度視覺化 (圖 1)。

4D 成像雷達除了擴大物體偵測範圍外，也可提升準確度。與光達或攝影機不同，4D 成像雷達仰賴回波定位，利用無線電波來判斷物體的位置、速度與形狀，以監控環境和車輛狀況。由於無線電波的波長較長，可穿透雨、霧和灰塵等微粒，因此在能見度不佳的不利條件下，4D 成像雷達的性能優於光達或攝影機。

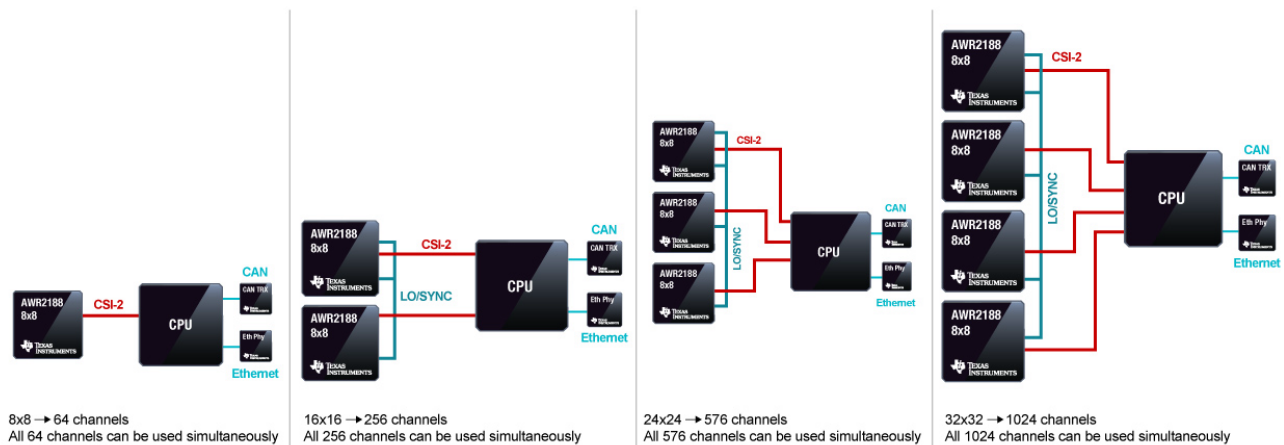
4D 成像雷達可從多輸入多輸出天線陣列取得資料，以協助實現高解析度映射。由於許多天線將訊號傳輸至周圍環境內的目標，並接收這些目標反射的訊號，因此天線陣列會產生點雲資料，進而改善環境建模及物件分類。

單晶片 8 x 8 雷達晶片如何簡化 4D 雷達設計？

實作 4D 成像雷達可為汽車原始設備製造商 (OEM) 帶來重大挑戰。傳統雷達系統通常需要串接多個晶片，以取得高解析度成像所需的天線陣列尺寸和通道數量，進而增加系統複雜度、功耗和成本。這種整合也需要更多散熱管理和更大的印刷電路板體積，使車輛設計與製造變得複雜。

舉例來說，若要使用 4 x 4 收發器實作 8 x 8 組態時，就需要兩個串接的 4 x 4 收發器，以及 PMIC、其他週邊設備和更大的電路板和更大的電路板來導引這兩個 IC。如此會提高整體系統複雜性、功耗及系統成本。單晶片 AWR2188 收發器可自行實現此組態，同時僅需四個串接的 8 x 8 裝置，即可擴充至 32 x 32，大幅降低系統複雜度。

圖 2 說明了如何將 AWR2188 收發器從 8 x 8 組態串接至 16 x 16、24 x 24 和 32 x 32 組態。這種高階的可擴充性讓一級汽車供應商和 OEM 能夠滿足消費者對更優化功能與更高自動化程度的需求。


圖 2. 使用 AWR2188 4D 雷達收發器可實現從 8 x 8 到 32 x 32 的串接組態

串接這些裝置有助於設計人員在 >350m 的情況下實現更高的性能和更準確的遠距離物體偵測（如 圖 3 中所示），同時提供可擴充的開發路徑，從具成本效益的獨立實作到高階雷達系統皆涵蓋其中。

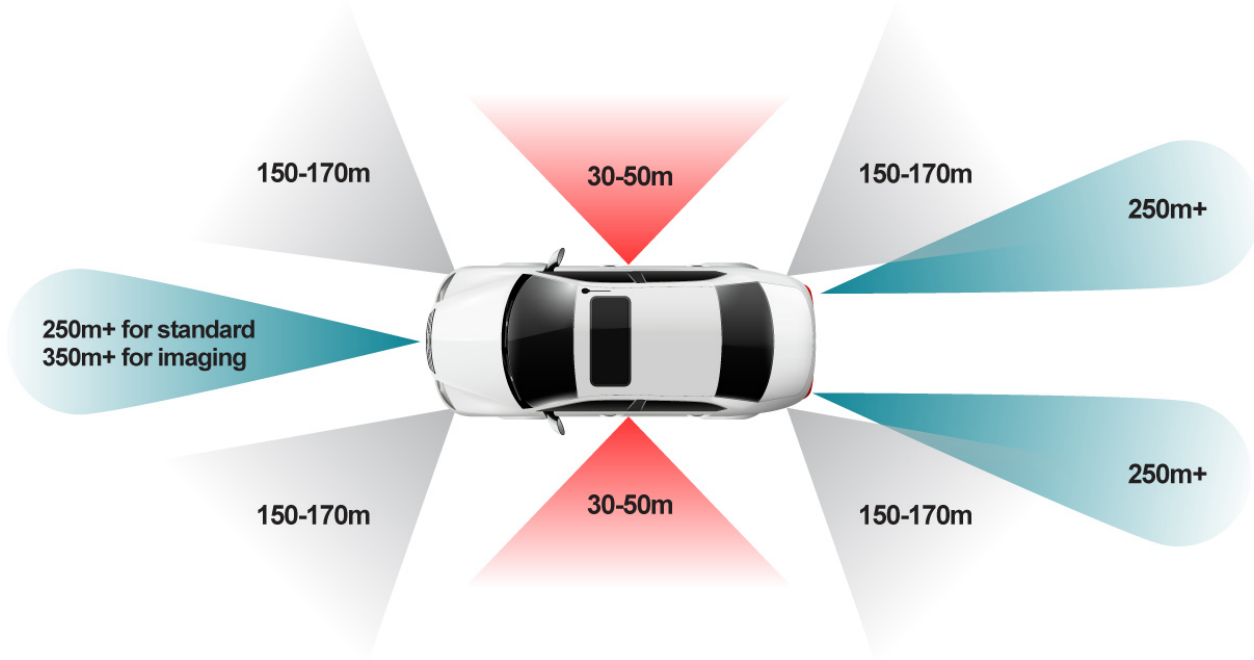


圖 3. 4D 成像雷達改善了覆蓋範圍

單晶片 8 x 8 雷達收發器如何支援衛星雷達架構

為了支援精密的 ADAS 功能，汽車雷達正逐漸從在每個感測器端處理資料的傳統邊緣雷達架構，演進為衛星雷達架構，由車輛周圍的雷達收發器提供原始資料，交由中央電子控制單元（ECU）處理。

透過衛星架構的分散式配置，中央 ECU 可以更輕鬆地建立全面的環境視野，將覆蓋距離降到最小，而不是在邊緣處理資料，就像在傳統邊緣雷達組態中一樣。

在衛星架構中，中央 ECU 透過其大量運算資源將延遲降到最低，讓車輛能更快速回應感測器資料。

現代感測器整合越來越多地使用人工智慧和機器學習架構，結合影像系統與雷達感測器等多個輸入來源的資料，以透過最少處理或原始感測器輸入來強化系統性能。將未篩選的資料串流傳輸至 CPU，可為車輛車隊的軟體型產品差異化，以及傳統架構無法實現的營運適應性創造機會。

AWR2188 支援這兩種架構，並設計可與業界領先的處理器生態系統整合，協助設計人員在開發更高自動化等級時更容易採用衛星雷達。圖 4 是使用 AWR2188 感測器的衛星架構原理圖。

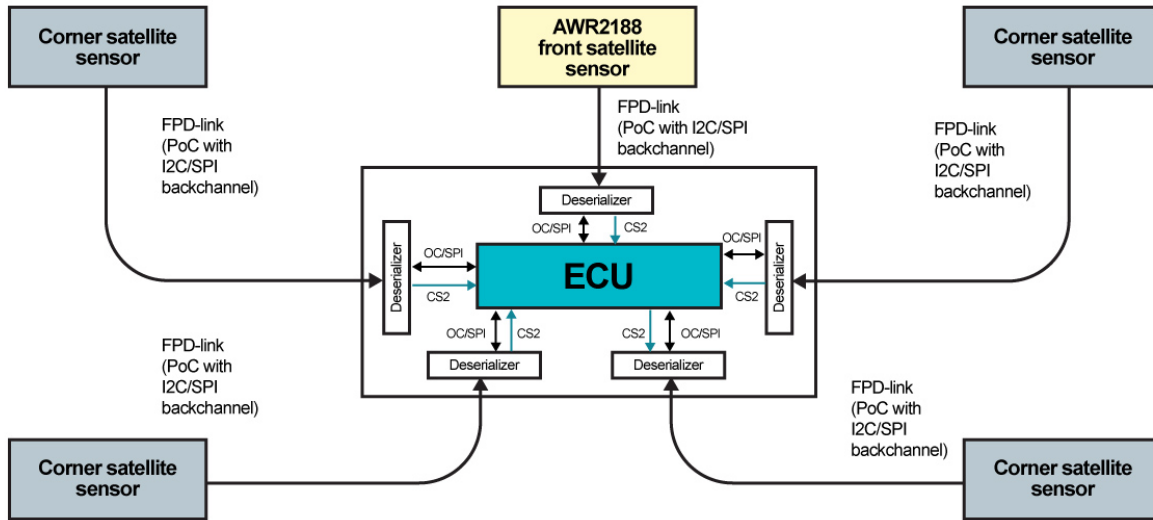


图 4. 衛星雷達架構方塊圖

結論

透過增強周遭世界的視野，我們可以朝反應更靈敏、更安全且自動駕駛體驗的未來邁出另一步驟。為了更深入了解周圍環境，現代車輛結合使用感測方式來強化 ADAS 功能。

AWR2188 等 4D 成像雷達收發器可提供支援雷達應用從邊緣到衛星演進所需的 RF 效能、通道數與串接能力。

其他資源

- 開始使用設計指南「[適用於汽車前雷達的單晶片 mmWave 串流雷達參考設計](#)」。
- 透過技術文章「[您準備好迎接新興的汽車雷達衛星架構了嗎？](#)」以了解衛星架構

註冊商標

所有商標皆屬於其各自所有者之財產。

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