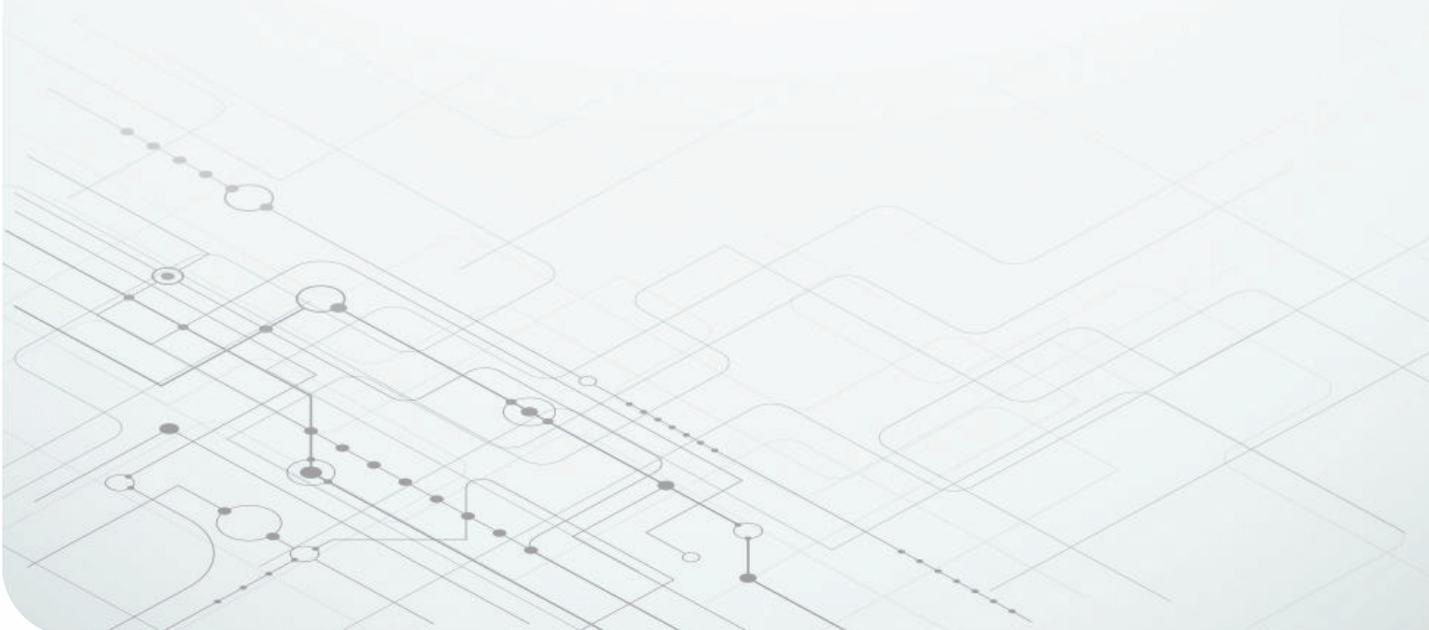


汽車光達簡介



Anthony Vaughan
High-Speed Amplifiers

Samir Cherian
High-Speed Amplifiers



光達，全名為光偵測與測距，有時也稱為飛時測距 (ToF)、雷射掃描或雷射雷達。光達是一種感測方法，用於偵測物體並繪製其距離。此技術的運作方式為：以光學脈衝照射目標物，並測量反射回傳訊號的特性。光脈衝的寬度範圍可從數奈秒到數微秒。

圖 1 顯示光達的基本原理，光線以特定模式照射，並根據接收端收集到的反射擷取資訊。脈衝功率、往返時間、相移與脈衝寬度是用於從光訊號擷取資訊的常用參數。

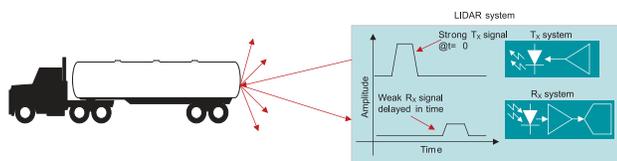


圖 1. 脈衝 ToF 型光達系統。

為何選擇光？光達相較於雷達、超音波感測器或攝影機等現有技術，其差異為何？是什麼推動了對光達的炒作？本白皮書將在長距離光達的背景下探討這些問題，而長距離光達將成為自動駕駛的重要感測器。除了自駕車之外，光達還應用於 3D 航空和地理測繪、工廠安全系統、智慧彈藥和氣體分析。

自駕車的偵測與成像

製造商正在為現代汽車安裝各種先進控制與感測功能。碰撞警示與避撞系統、盲點偵測器、車道維持輔助、車道偏離警示和主動式巡航控制，都是已建立的輔助功能，這些輔助功能能協助駕駛並自動化某些駕駛任務，使駕駛體驗更安全、更輕鬆。

光達、雷達、超音波感應器和攝影機各有其優缺點。高度或全自動駕駛車輛通常會使用多個感測器技術，在各種天氣和照明條件下，針對車輛周圍建立準確的長距離與短距離地圖。除了技術互補之外，還必須有足夠的重疊，以增加備援並提高安全性。感測器融合是使用多種感測器技術產生準確可靠車輛周圍環境圖的概念。

超音波在空氣中超過幾公尺後會產生強烈衰減；因此，超音波感測器主要用於短距離物體偵測。

攝影機是一種成本效益高且容易取得的感測器；然而，攝影機需要大量處理才能擷取有用資訊，並且強烈依賴環境光線條件。攝影機的獨特之處在於，它們是唯一能夠「看

見顏色」的技術。具有車道維持輔助功能的汽車，使用攝影機來實現此功能。

光達和成像雷達具有廣泛的共通和互補特性，可以繪製周圍環境，並測量物體速度。我們將這兩種技術分成幾個類別來比較：

- **範圍：**光達和成像雷達系統都可以偵測從數公尺到 200 公尺以上的物體。然而，成像光達在近距離偵測物體方面有其限制。雷達可以偵測從不到一公尺到超過 200 公尺的物體；然而，其偵測範圍取決於系統類型：短距離、中距離或長距離雷達。
- **空間解析度：**這正是光達真正發揮優勢的地方。由於光達能夠準直雷射光，且其短波長（905 至 1,550 奈米），因此可以達到約 0.1 度的紅外線 (IR) 光空間解析度。這種解析度能夠對場景中的物體進行高解析度的 3D 特徵化，而無需大量的後端處理。另一方面，雷達的波長（77GHz 時為 4 毫米）難以在遠距離解析小物體特徵。
- **視場角 (FOV)：**固態光達和雷達都具有優異的水平 FOV（方位角），而旋轉 360 度的機械光達系統則擁有所有先進駕駛輔助系統 (ADAS) 技術中最寬的 FOV。就過去績效而言，光達的垂直 FOV（仰角）優於雷達。光達提供角解析度（方位角和仰角），而角解析度是提升物體分類效能的主要關鍵要素之一。
- **天氣條件：**雷達系統最大的優點之一，是其在雨、霧和雲中的可靠性。在這種天氣條件下，光達的性能通常會下滑。使用 1,550nm 的 IR 波長可協助光達在不利天氣條件下實現更佳性能。
- **環境光：**光達和攝影機都容易受到周圍光線條件的影響。但在夜間，光達和成像雷達系統可提供非常高的性能，因為它們提供自己的照明。雷達和調變光達技術可抵抗其他感測器的干擾。
- **成本與尺寸：**雷達系統近年來已成為主流，因此高度精巧且價格實惠。隨著光達日益普及，其成本已大幅下降，價格從約 50,000 美元降至 10,000 美元以下。現代車輛廣泛採用雷達，得益於更高的整合度，進而縮小系統尺寸並降低成本。幾年前常見於各種自駕駛計程車上的機械掃描光達系統體積龐大，但隨著技術進步，光達

的體積已逐年縮小。產業轉向固態光達將進一步縮減系統尺寸並降低成本。

光達類型

在各種可用的光達系統中，本文主要著重於窄脈衝飛時測距 (ToF) 方法。光達系統中的光束轉向有兩種主要類型：

- **機械光達**使用高階光學元件和旋轉組件來產生寬廣（通常為 360 度）的 FOV。機械結構在寬廣的 FOV 上提供高訊號雜訊比 (SNR)，但導致體積龐大（儘管尺寸也在縮小）。
- **固態光達**沒有旋轉機械元件，且 FOV 較小，因此成本較低。透過在車輛的前方、後方和側面使用多個通道並融合其資料，可產生與機械光達相媲美的 FOV。

固態光達有多種實作方法，包括：

- **微機電系統 (MEMS) 光達**：MEMS 光達系統使用微小透鏡，其傾斜角度會在施加電壓等刺激時改變。實際上，MEMS 使用機電等效元件取代了機械掃描硬體。對於 MEMS 而言，決定接收訊號雜訊比的接收光收集孔徑通常非常小（幾公釐）。要在多個維度中移動雷射光束，需要級聯多個透鏡。這種對準過程並非易事，且一旦安裝，它很容易受到移動車輛中常見的衝擊和振動影響。MEMS 型系統的另一個潛在缺點是汽車規格從 -40°C 開始，這對於 MEMS 裝置來說可能是挑戰。
- **閃光燈光達**：閃光燈光達操作與使用光學閃光燈的標準數位相機非常相似。在閃光燈光達中，單一大面積雷射脈衝可照亮前面的環境，而位於雷射附近的焦點平面光電偵測器陣列則可擷取背向散射的光線。偵測器擷取影像距離、位置和反射強度。由於與機械雷射掃描方法相比，此方法在單個影像中擷取整個場景，因此資料擷取速率要快得多。此外，由於整個影像是在單一閃光燈中擷取，因此此方法較免受可能造成影像失真的震動效應影響的影響。此方法的缺點是真實環境中存在反射器。逆向反射器會反射大部分光線，而回散射光線很少，實際上會使整個感測器失明並使其失效。此方法的另一個缺點是需要非常高的峰值雷射功率才能照亮整個場景並看得足夠遠。為了符合眼睛安全要求，閃光光達主要用於短距離到中距離偵測系統。
- **光學相位陣列 (OPA)**：OPA 原理與相位陣列雷達相似。在 OPA 系統中，光學相位調變器控制穿過透鏡的光

速。控制光速可以控制光波前形狀，如 圖 2 中所示。頂部光束未延遲，而中部和底部光束則以遞增的量延遲。這種現象有效地「引導」雷射光束指向不同的方向。類似的方法也可以引導回散射光朝向感測器，從而消除機械運動部件。

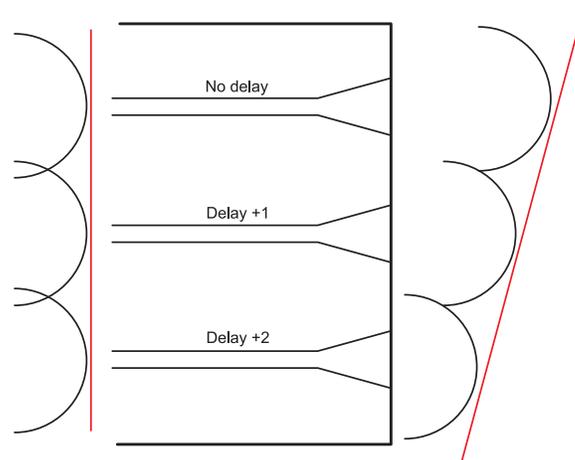


圖 2. OPA：

- **頻率調變連續波 (FMCW) 光達**：到目前為止列出的方法都是基於使用窄光脈衝的飛時測距 (ToF) 原理，而 FMCW 光達則使用相干方法，產生短暫的頻率調變雷射光頻擾。測量回傳頻擾的相位和頻率，讓系統能利用都卜勒原理同時測量距離和速度。儘管頻擾產生增加了複雜性，但 FMCW 方法的運算負載和光學元件更簡單。FMCW 系統所需的雷射功率遠低於脈衝飛時測距 (ToF) 系統所需的雷射功率，因此 FMCW 適用於超長距離感測應用。這類系統在霧、雨和雪等惡劣天氣條件下也表現良好。

光達子系統

圖 3 顯示整個功能性光達模組子系統，包括訊號鏈、電源、介面、時脈和監控或診斷子系統。光達訊號鏈的主要子系統包含傳輸系統 (Tx)、接收系統 (Rx) 和自訂數位處理系統，以擷取點雲資訊。TI 提供藍綠色功能區塊的裝置選項。

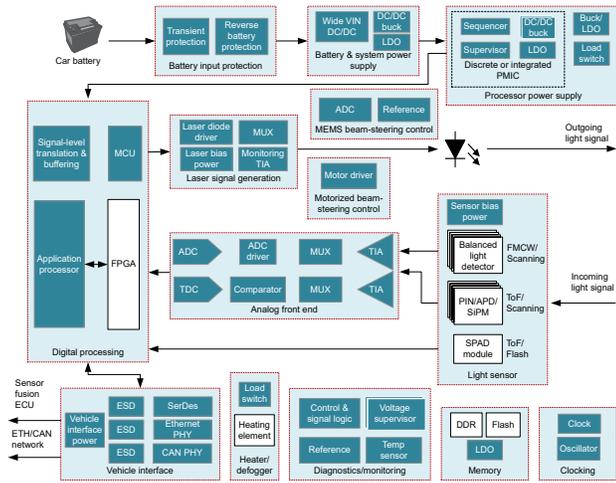


圖 3. 顯示訊號鏈、電源、介面、時脈和監視器或診斷子系統的光達模組。

光達系統整合

針對需要更高整合密度的系統，TI 提供用於 Tx 路徑的光達雷射驅動器，以及用於 Rx 路徑的放大器，其可處理從光電偵測器直接到類比數位轉換器 (ADC) 或時間至數位轉換器 (TDC) 的連接。LMG1025 是一款離散式雷射驅動器，可驅動能產生 1.25nS 脈衝的外部氮化鎵場效電晶體 (FET)。TI 整合式 LMH13000 雷射驅動器不需要外部 FET，並且可透過 50mA 高達 5A 的可調整電流驅動雷射，產生 <1nS 的脈衝。LMH13000 也比離散式雷射驅動器解決方案小了大約四倍。並聯使用多部 LMH13000 裝置可增加進入雷射的電流量。

TI 的接收路徑放大器包括適用於 ADC 系統的 LMH32401 和 LMH32404，以及適用於 TDC 系統的 LMH34400。這些裝置整合高速跨阻抗放大器 (TIA) 補償網路，並包含環境光線消除、輸入過電流箝位保護和多工器模式等功能，因此對光達應用非常有利。

環境光抵銷電路可移除 DC 環境光訊號，以更佳偵測輸入電流，並因您可使用此電路而非光二極體與放大器之間的 AC 耦合，節省電路板空間。輸入過電流保護箝位會在放大器偵測到其節點時，吸收過多電流並將其轉移至正極供應，進入飽和狀態，讓放大器更快返回線性狀態，並將脈衝延伸限制在數奈秒內。整合式光達 TIA 具備整合式輸出

開關，可將多個光二極體和放大器通道連接至更少的 ADC 和 TDC 通道，因此無需離散式多工器。這樣一來，就能夠使用多個感測器，同時節省原本會被多個 ADC 和 TDC 通道佔用的電路板空間。

結論

全球正邁向令人興奮的自駕車商業化遊程，而驅動此領域發展的相關技術與系統架構，也正持續快速地演進。光達 是此領域的新興技術，但其優勢正推動快速創新，且能以比現有成熟的感測器系統更高的性能、更小的尺寸和相當的成本來達成目標。

其他資源

- 一覽 [TI ADAS 應用](#) 及 [TI 參考設計](#)。
- 探索 TI 符合車用資格的高速運算放大器、高速類比轉數位轉換器和溫度感測器代表產品。
- 閱讀這些相關的白皮書：
 - [透過技術創新讓車輛更安全](#)。
 - [可擴充電子駕駛自主車輛技術](#)。
 - [利用先進駕駛輔助系統為自駕車鋪路](#)。

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。

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 © 2025, Texas Instruments Incorporated