

Technical Article

透過 79GHz mmWave 雷達技術提升腳踢感測器手勢辨識能力



電容式腳踢感測器於 2011 年推出，只需在後保險槓下方透過簡單的腳部動作，即可[免手動開啟後車廂](#)，提升了車輛的便利性。Huf 率先採用此技術，並持續提升腳踢感測器偵測的準確性和可靠度，同時擴展到電容式感測器以外的技術；相較於德州儀器的 79GHz 毫米波 (mmWave) 技術，電容式感測器在車輛中需要安裝在不同位置，於製造和裝設方面都更加複雜。

電容式技術方法

有項工程挑戰是提升腳踢感測器的準確度，方法是區分使用者的刻意手勢（有效的使用案例）以及非刻意手勢或無關的動作（誤觸案例），例如行人經過、兒童玩耍，或是下雨或下雪等天氣條件。雖然偵測腳踢動作的技術門檻不高，但防止後車廂意外開啟至關重要。

Huf 解決這項挑戰的方法是，在車輛保險槓上使用帶有兩個電極的電容式感測器技術（請參閱 [圖 1](#)）來偵測車輛後方和下方的動作。兩個電極會定義偵測區域的寬度。此系統使用測得的訊號和 Huf 的智慧演算法來評估手勢，判斷動作是有效的使用案例或誤觸案例。

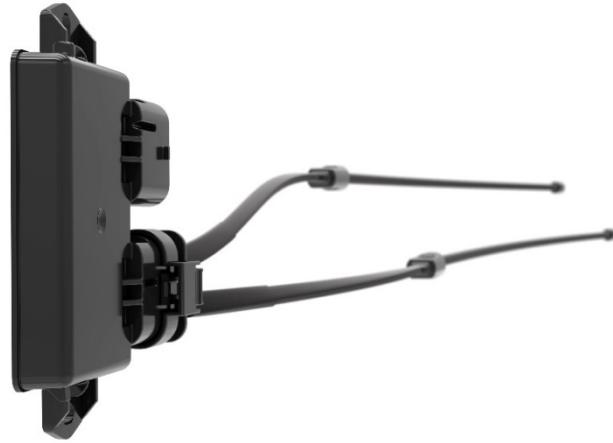


图 1. 帶有兩個電極的電容式感測器

Huf 和 TI 如何重新定義手勢辨識

準確地辨識手勢，以及可靠地區分有效使用案例和誤觸案例，是截然不同的挑戰。這兩者都取決於感測器整合至車輛的方式。例如，感測器在後保險槓內的實際安裝位置可能會限制偵測視野；當車輛緊鄰其他車輛停放或靠近路緣時，使用者只能在特定區域內腳踢。

因此，Huf 以 TI 的 mmWave 雷達系統單晶片為基礎開發出全新設計。Huf 腳踢感測器（請參閱图 2）採用 TI 的 79GHz mmWave 雷達技術，以更精確可靠的手勢辨識功能打造寬廣視野，同時簡化車輛整合。相較於頻寬較短的雷達替代方案，79GHz 頻寬可提供更寬廣的範圍和速度解析度。

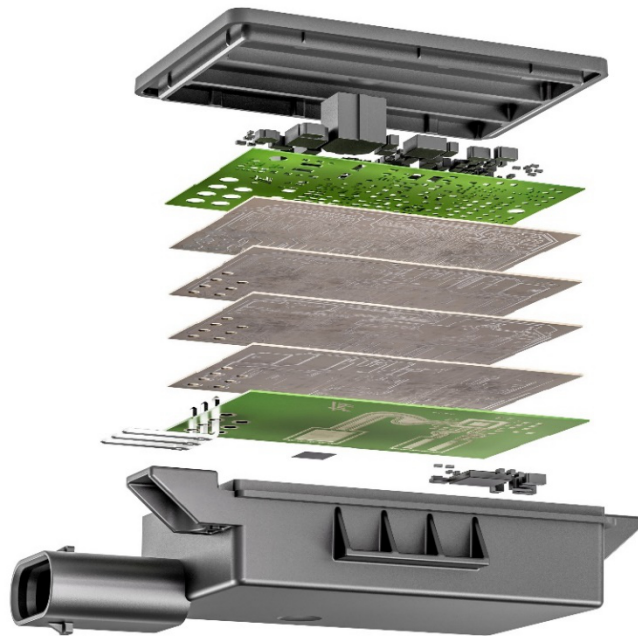


图 2. 採用 TI mmWave 雷達系統單晶片的 Huf 腳踢感測器模組元件層級

Huf 的系統採用調整式腳踢範圍參數；這是一項新穎功能，即使在距離保險槓較遠的地方也能感測到手勢。mmWave 雷達架構方法也可在車輛幾乎任一處提供無縫的隨插即用實作，讓汽車製造商能夠設計更多透過手勢啟用的存取功能，例如開啟側車門（如 圖 3 所示），或是揮動手/腳開啟後車廂。

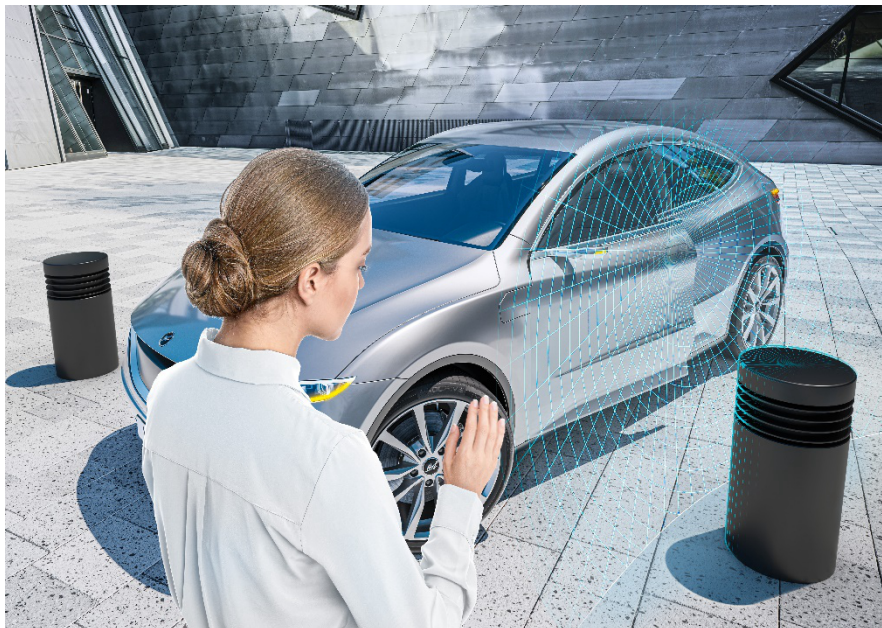


圖 3. 揮手開啟側車門

MIMO 天線陣列如何提升性能

擴充的車輛存取系統採用已針對腳踢感測器應用最佳化的虛擬多輸入多輸出 (MIMO) 天線陣列，來提升角度解析度；這對於精確定位和手勢辨識至關重要。

MIMO 系統透過空間多樣性接收和處理來自不同方向的訊號，可以充分減少干擾和多路徑影響，同時隔離預期的動作來進行偵測。即使拖車鉤導致感測器無法設置在車輛後方的中央位置，感測器的視野也能使其在更寬的保險槓寬度上自然操作。此演算法採用 mmWave 雷達系統單晶片提供的資訊，區分有效使用案例和誤觸案例。

開發專業知識和先進硬體的結合

Huf 的硬體和軟體開發專業知識結合了 TI 的高性能 mmWave 雷達 IC，可因應特定的誤觸案例挑戰。有效的腳踢姿勢需要朝向車輛連續踢動，不受使用者在腳踢區域位置的影響。系統必須區分這些手勢和其他移動情況（例如有貓經過），防止後車廂意外開啟或關閉。

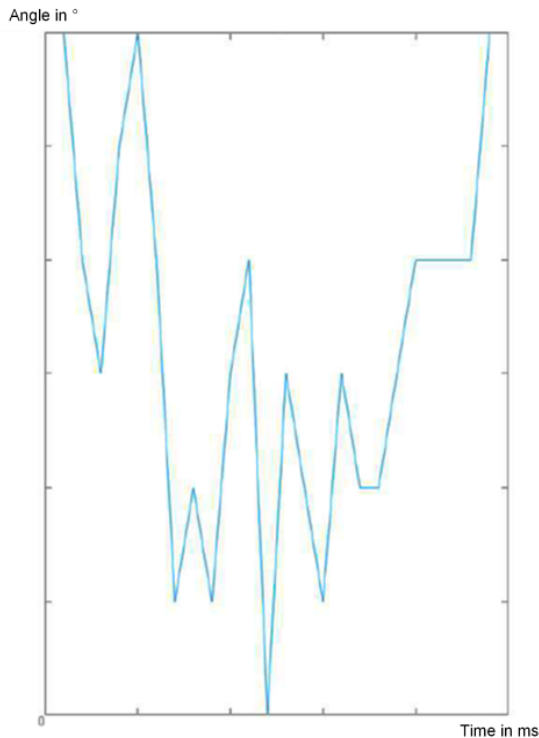
TI 的 mmWave 雷達系統單晶片採用頻率調變連續波 (FMCW) 訊號，並擷取高解析度距離都卜勒圖進行全方位分析。Huf 的演算法會分析這些資料來最佳化使用者體驗，確保能夠在各類型的車輛上可靠地運作，無論是跑車、轎車或休旅車，或是保險槓幾何形狀各異的車款，以及在大雨等嚴苛的外在條件下均適用。

進階訊號處理和分析

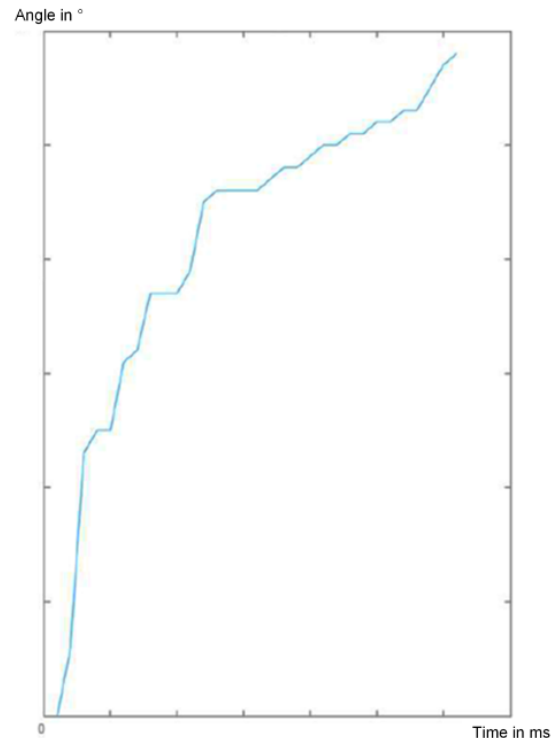
Huf 的軟體使用距離都卜勒資訊來辨識個別手勢。腳踢姿勢必須在特定時間範圍內發生，而且距離感測器不得超過指定的最大範圍。特定的最小訊號強度有助於準確分析。

但是，只有距離都卜勒熱圖無法區分有效的使用案例和誤觸案例。Huf 的軟體會使用其他變數，例如計算到所選目標（如雷達感測器偵測到的人員）的到達角度 (AoA)。

顯示的使用案例 AoA 訊號曲線（請參閱 圖 4 和 圖 5）在不同情況下會有所差異。在有效的使用案例中，AoA 測量在完成腳踢姿勢時一律會回到起點（請參閱 圖 4），而例如有人走過車輛時（圖 5），起點和終點則會不同。這是因為使用者在做出預期的手勢時不會沿著車輛移動。此外，做出腳踢動作時，使用者的腳會一直維持在同一位置。



**图 4. 到達角度：腳踢姿勢
(有效使用案例)**



**图 5. 到達角度：路過
(誤觸案例，例如有貓經過或有球滾過)**

AoA 計算可採用兩種方法為基礎：三角學的飛時測距程序，或是鄰近兩個天線之間的頻率偏移評估。

多訊號分類 (MUSIC) 或 Capon 方法等演算法 (也稱為最小方差無失真響應 (MVDR)) 通常可計算角度。這些方法確實需要相對較高的運算負荷。

TI 的 mmWave 雷達系統單晶片可提供快速傅立葉轉換 (FFT) 的硬體加速器以及 Cortex-M4F 應用處理器來支援 AoA 計算。此方法可快速又有效率地計算角度。

硬體加速器和主要處理器各自獨立運作，主處理器可分析測得和處理過的資料、計算距離都卜勒熱圖，並透過演算法計算來評估手勢。

結論

從電容式轉變到 79GHz mmWave 雷達感測器技術，不僅提升腳踢感測器的準確度，更有機會在車輛周圍更多位置擴展手勢控制功能。未來的應用包括溫度控制系統、資訊娛樂系統及音訊控制。

汽車製造商開始意識到創新的真正潛力 (例如 Huf 與 TI 共同開發的產品)，能突破精密度的極限，最終為駕駛和乘客提供更便利的體驗。

註冊商標

所有商標均為其各自所有者的財產。

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 © 2026, 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