

降低汽車雷達系統性能的變異

■作者：Andreas Reil, Steffen Heuel 博士
Rohde & Schwarz

汽車行業正在競相為車輛帶來更進階的駕駛輔助系統，例如主動巡航控制、緊急煞車和車道保持等。反過來，這些系統的日益複雜化推動了對車載雷達系統不斷提高的需求，以提供知曉周邊環境所需的資料。

如何能夠做到這一點？汽車雷達系統透過發射連續的高頻訊號，然後量測其反射的傳輸延遲和都卜勒 (Doppler) 頻移來運作，這樣可以運算出到其他物體和其他車輛的距離以及車輛本身的徑向速度。具有陣列天線的進階雷達系統還可以量測車輛的路徑與偵測到物體之間的方位角 (水平面中的角度)，以及一個車輛與其他物體之間的仰角 (垂直平面中的角度)。

重要的是，汽車雷達系統要準確可靠地運作，因為它們提供的資料被車輛控制系統用於瞭解其周邊環境，並做出如何操控的即時決策，糟糕的資料會導致錯誤的決定。例如，如果雷達系統在兩個車輛相距 100 米時錯誤地報告二者之間的角度誤差 1 度，當它們相會時路徑距離可能是 1.5 米，接近車輛的寬度，彼此間的距離比預期更接近。這個距離誤差或許使兩輛車在車道安全通過，並避免正面碰撞時產生差異。

美學影響功能

雷達感測器通常隱藏在車輛散熱器格柵徽標後面或其保險杠內部。這改進了車輛的美學性，代價是將衰減材料導入雷達訊號路徑。這些「雷達天線罩」或許成為雷達感測器射頻系統的一部分，可能改變發射訊號，影響偵測性能和精度。

這有哪些影響？平方反比定律告訴我們，雷達感測器接收的反射訊號功率將是其發射功率的 $1/r^4$ 。例如，如果 77 GHz 雷達具備 3 W 輸出功率和 25 dBi 天線增益，要偵測大小為 10 m² 的目標和 -90 dBm 的最小可偵測訊號，則其最大雷達運作範圍將為 109.4 m。如果增加天線罩導致雙向衰減再增加 3 dB，雷達的偵測範圍將減少 16%，達到 92.1 米。實際上，這已經是幾個車長的差異。

雷達罩也會帶來其他挑戰。基礎材料和雷達訊號之間可能存在 RF 不匹配問題。塑膠模壓製品通常具有不均勻的材料特性，這可能導致不可預知的訊號失真。金屬表面光潔度引起的射頻散射也是如此，由此產生的干擾降低了雷達接收機的偵測靈敏度。解決這個問題的一種方法是安裝天

線罩，使發射的雷達訊號不會直接反射回接收器。然而，這可能限制車輛設計者的選項，且不能克服寄生反射問題。

透過系統校正實現更高性能

雷達系統設計人員面臨的挑戰是，儘管系統固有許多不確定性，但他們需要達到一定的性能水準，任何能夠減少系統不確定性的因素都會讓實現性能變得更容易。

例如，雷達感測器製造商可以校正他們的產品。然而，射頻系統設計人員知道，製造商無法預知他們的感測器將安裝在哪種天線罩下，如何塗漆，材料的變異等等。因此，校正感測器只能是實現必要系統性能解決方案的一部分。

朝向更高確定性的另一個步驟是雷達系統製造商測試和驗證其產品的特性，以便雷達系統設計者知道如何使用產品。在車輛生產線上測試和調整每個雷達罩性能的替代方案成本過高。

因此，天線罩製造商需要進行詳細、可靠的生產級測試。迄今為止，這通常涉及在包括多個雷達反射器的靜態環境中測試參考雷達系

統。在距離發射源的不同距離和角度處進行量測以創建參考規格，之後以相同的方式量測每個天線罩。當實際量測值在參考量測值的指定容錯範圍內時，天線罩測試合格。

該測試的更詳細版本需要將雷達和天線罩安裝在轉盤上，面向單個反射器。然後在旋轉時以各種角度進行量測。這可以創建更詳細的參考量測，但如果用在生產測試則太慢。

一種更好的天線罩測試儀

鑒於雷達系統在汽車中的重要性日益增大，羅德史瓦茲 (Rohde & Schwarz) 開發了 R & S QAR 優質汽車雷達測試儀。該系統能夠針對生產環境以實用的成本和速度提供可靠的測試資料。

測試儀 (圖 1) 包括一個由數百個發射和接收天線組成的陣列，用於接收汽車雷達發射的訊號。測試儀使用該陣列以 mm 級解析度量測距離、方位角和仰角，從而可以看到天線罩對測試訊號的影響。還可以分析所得到的圖片以擷取品

圖 1：R & S QAR 優質汽車雷達測試儀提供了一種在複雜 RF 部件上運作正品 / 次品測試的快速方法。

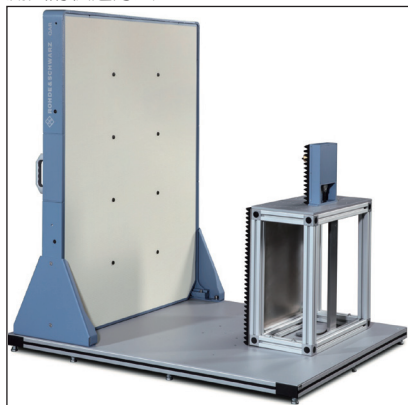
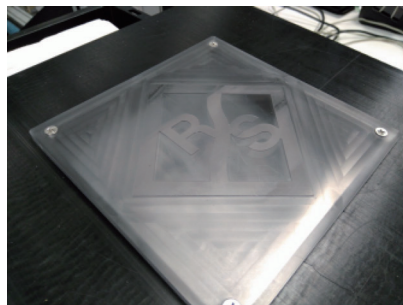


圖 2：在測試天線罩表面上方僅突出 0.5 mm 的徽標在 77 GHz 處產生錯配。



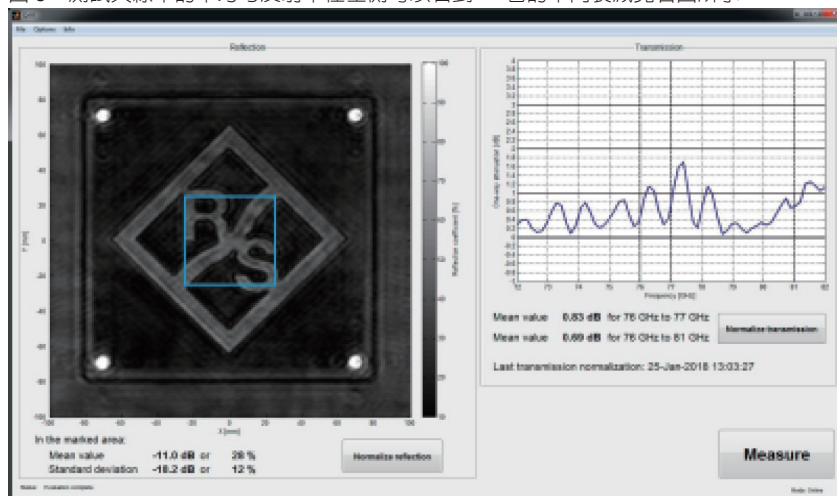
質參數，然後將其處理成簡單的正品 / 次品度量。使用多發射和接收天線意味著可以在幾秒鐘內完成對整個天線罩的詳細測試。

為了發掘測試儀的功能，羅德史瓦茲生產出一個測試天線罩，其標誌突出於表面 0.5mm，見圖 2。

圖 3 中的高解析度雷達圖片顯示了測試儀看到的內容，亮度水準越高表示反射率越高。角落中的螺釘等金屬物體顯示為白色，而徽標上的輪廓線顯示出高反射率和不均勻性。

測試儀還可以測試透射率 (transmissivity)，能夠揭示材料的頻率匹配和衰減特性，從而確定其在特定頻率下是否適用。被測設備

圖 3：測試天線罩的不均勻反射率在左側可以看到，它的單向衰減見右圖所示。



後面的校正傳輸器 (見圖 1) 掃描選定的頻率範圍，天線陣列接收訊號，從而精確評估天線罩的傳輸率回應。該回應還顯示了天線罩在預期運作頻率下與雷達訊號形成 RF 匹配的程度。

確保安全性關鍵資料之準確度和可靠性

自動駕駛輔助系統需要接收來自感知周邊環境的多個雷達系統擷取的高品質和可靠資料。在 RF 訊號路徑中導入具備變異特性的天線罩，可能損壞資料的品質和可靠性。由於在車輛生產線上檢查和調整天線罩太過複雜，且昂貴耗時，因此製造商必須測試和驗證其天線罩作為獨立元件的 RF 性能。R & S QAR 優質汽車雷達測試儀能夠提供客制化的方法來實現此類驗證。使用該測試儀，相較其他方法能夠以更少量時間收集更詳細的結果，因而可滿足空間解析 RF 反射率和透射量測要求。CTA