

Scania 公司利用 MATLAB 開發先進緊急煞車系統

文/ Jonny Andersson, Scania 譯/鈦思科技

後端碰撞是貨運卡車及其他重型車輛最常見的事故類型。為了減少後端碰撞的風險，歐盟在 2015 年對所有的新車輛施行先進緊急煞車系統(advanced emergency braking systems, AEBS)命令。

如同其他先進駕駛輔助系統(advanced driver assistance system, ADAS)一般，AEBS 使用由感測器輸入的資料來篩選環境。當碰撞即將發生時，系統便會自動透過警示音來警告駕駛。如果駕駛未回應，系統則採取警告性質的煞車。若駕駛繼續沒有回應，系統將採取完全地煞車以避免碰撞(圖 1)。AEBS 也提供了”煞車協助(brake assist)”：當駕駛煞車的力道並不足以阻止碰撞時，系統會計算並接著施加必要的額外煞車力道。



圖 1. 上：AEBS 概況。下：典型的 AEBS 情境，其中裝有 AEBS 的卡車正在接近緩慢移動的車輛。

AEBS 使用嵌入在車輛內部的雷達及攝影機感測器來掃描前方區域的物件。這個系統利用每一個感測器的特長來獲得更精確的環境模型。雷達感測器善於判斷物件的範圍、相對速度、及硬度，但卻較不擅長於判斷物體的形狀或橫向位置。一個單靠雷達的系統對於辨識一輛車是停靠在路邊或是在車道上會有困難。另一方面，攝影機可以很精確的指

出物件大小及橫向位置，但卻無法準確偵測範圍及評估密度(例如有可能會把較厚的雲層認定為固體物件)。

我和我的同事一起建立了一個可以將從兩種感測器取得的資料匹配、合併為一個單一物件的感測器融合系統。這個系統使用了四個加權屬性 – 縱向速度與位置以及橫向速度與位置 – 來計算兩種感測器偵測到相同物件的機率。當感測器融合系統辨識到一條主要車輛道路時，便會傳送物件的位置及車輛的投射路徑至 AEBS 來決定何時要警告駕駛或何時執行煞車。

我們的團隊先前雖然利用模型化基礎設計(Model-Based Design)來開發使用雷達技術的適性巡航控制系統，但在這之前卻從未開發過感測器融合系統。對於一項新的設計，我們知道一個可讀、可理解的架構來將訊號流視覺化的必要性。我們也預料到許多設計疊代，所以想要一個簡單的方法將結果視覺化及對設計進行除錯。除此之外，我們想要透過產生程式碼來節省時間，但程式碼又必須有效率，因為當我們開始感測器融合計畫，電子控制單元(electronics control unit, ECU)的 CPU 負載已經達到了 60%。最後，我們需要全面地驗證我們的設計 – 我們的計畫是要以相當於超過 150 萬公里的感測器資料來進行模擬。模型化基礎設計完全符合上述這些要求。

感測器融合系統的建立

我們一開始先將系統設計劃分為像是物件匹配與投射路線放置的功能性單元，並為每一個單元各自建立獨立的 Simulink®模塊組。這為我們帶來一個清楚的軟體架構，且其介面也已被明確地定義(圖 2)。我們編寫了軌跡關聯性的 MATLAB®程式碼來計算變異數、計算加權概率、以及執行其他以指令碼執行易於以模塊執行的任務，再將這些程式碼併入帶有 MATLAB 函式模塊的 Simulink 模型。這些演算法模塊讓團隊成員更容易地合併演算法，以及將演算法與控制系統整合。

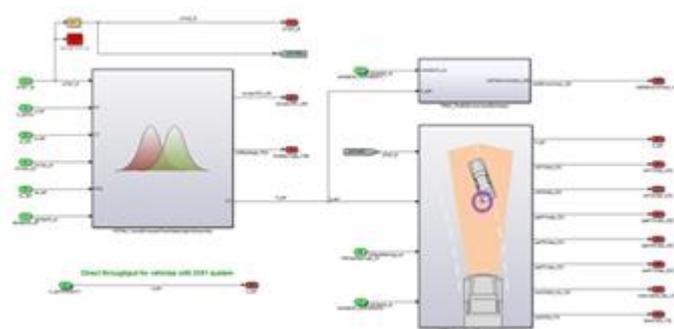


圖 2. 感測器融合系統的 Simulink 模型顯示出獨立的功能模塊。

為了要除錯並精煉我們原始的設計，我們利用之前記錄的感測器數據、對應的攝影機影像、其他車輛感測數據來執行模擬。在除錯的過程中，我們發現將感測器數據視覺化之後與車輛前端攝影機拍下的畫面擺在一起對照相當有用。我們在 **MATLAB** 建立了一個視覺化工具，可以顯示與網路攝影機拍下的周圍交通畫面同步的感測器融合數據(圖 3)。利用 **MATLAB** 物件導向(object-oriented)編程的能力，這項工具使用 **MATLAB** 階層來代表每一個感測器偵測到的物件、以及感測器融合系統所認定的統一物件。這些 **MATLAB** 物件幫助我們在視覺化資料時可以快速、及時地跳到前一個或下一個步驟。

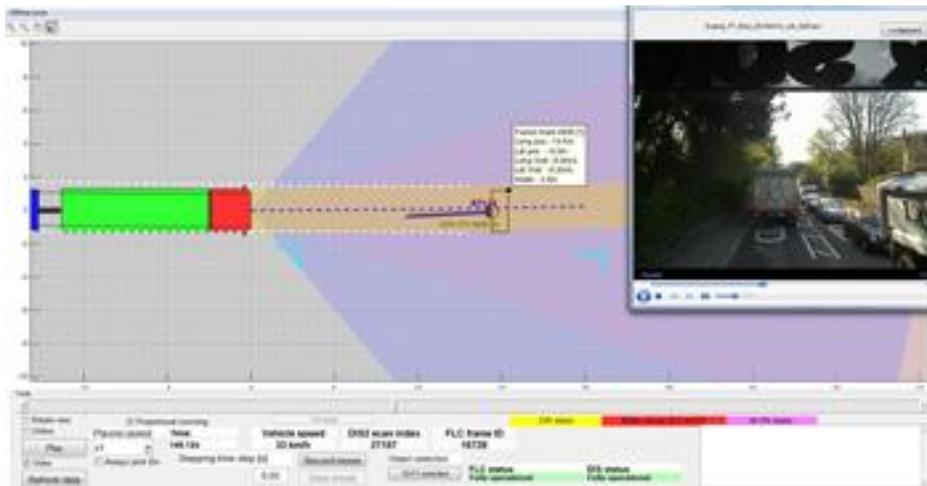


圖 3. 在 **MATLAB** 開發的感測器視覺化工具。

我們在道路測試時也使用相同的工具來視覺化從車輛網路而來的現場即時的資料(圖 4)。



圖 4. **AEBS** 軟體的控制道路測試。兩輛車之間的梯形物件為一個設計作為類似一輛車的”軟目標”，用來”欺騙”雷達以及攝影機。

執行系統以及優化性能

為了將感測器融合系統佈署至 ECU，我們利用嵌入式程式碼產生器(Embedded Coder®)從 Simulink 模型產生 C 程式碼。程式碼產生了以後，我們可以快速開始執行，也可以避免程式碼編寫錯誤。大部分 ECU 處理器的資源是被分配來維持功能 – 像是監控儀表板警示、物理估計、資料闡道、適性巡航控制等等。因此，我們還需要優化內部設計來提升效率。

為了要讓產生的程式碼達到最好的性能，我們與 MathWorks 的領航團隊合作，幫助我們優化從 MATLAB-C 轉碼器(MATLAB Coder)產生的程式碼。為了更進一步地降低處理負載，我們將模型分割為幾個部分，以交替循環的方式執行。舉例來說，與其在每一個循環執行固定或移動物體的計算，我們改為在交替循環執行。我們經由系統呼叫三角函式的發現處理器陷入動彈不得的情形。為了緩解這個問題，我們以 C 語言編寫了三角近似函式，再從 MATLAB 函式模塊呼叫。這些改變不只提升了感測器融合程式碼的效率，也讓 AEBS 軟體能夠更快速地反應，這在車輛以高速行駛、每毫秒都很關鍵的時候相當重要。

驗證及精煉設計

我們在一條封閉的路線上進行實車測試，但我們需要知道系統對真實世界的駕駛情節會如何反應，例如不同的天氣狀況、交通型態、以及駕駛行為。如果要在這些條件下直接測試 AEBS 不但不實際，也不安全。因此，我們使用以模擬為基礎的工作流程。我們一開始先從一個卡車車隊收集數據，並決定收集所有 ECU 上的數據，包含從另外的參考攝影機取得的影像，而不只是從雷達或攝影機取得、用於感測器融合的數據。

利用卡車隊的測試數據，我們執行模擬來辨識有趣的駕駛情節 – AEBS 會進行干預，警告駕駛或採取煞車的情節，以及系統可以干預卻未干預的情節 – 舉例來說，當駕駛按下喇叭的同時踩了煞車、急轉彎、或急煞。聚焦於這些情節，我們接著分析 AEBS 的表現來辨識設計上應該要有所改善的地方。

我們也需要在 AEBS 軟體每次更新的時候再次模擬。然而，裝載了超過 150 萬公里駕駛的真實交通數據量超過了 80 萬億位元組(terabytes)，執行單一一項模擬就要花上數天的時間。

為了要加快模擬的速度，我們利用以嵌入式程式碼轉碼器從 Simulink 模型產生的程式碼建立一個模擬器。這個模擬器能夠讀取、編寫與我們的 Simulink 模型相同的 MAT-files，並以 150 倍快的速度執行模擬。我們還編寫了可以在多台電腦及專門的多重處理器伺服器進行執行的 MATLAB 指令碼來平行執行高達 300 個模擬，以更進一步地增加

模擬速度。藉由這些設置，模擬 150 萬公里路程所需要的時間被縮短為 12 小時。當我們在模擬器中發現新的值得關注的情節，我們則在 Simulink 重新執行模擬來進行深度分析。

要從數個億萬位元組的數據當中進行可能值得關注之情節的鑑定及分類是很讓人疲倦且耗時的任務，所以我們開發了一個以 MATLAB 為基礎的工具 - Situation Classification Assistant Module，來自動地執行這些步驟(圖 5)。這項工具列舉模擬當中的事件，像是碰撞警示、警示性煞車、系統發動的全面煞車、以及駕駛發動的緊急煞車與急轉彎。我們接著可以將列舉的結果與軟體的版本兩兩進行比較。



圖 5. 以 MATLAB 為基礎的工具 – Situation Classification Assistant Module，用來處理裝載的 ECU 資料，並自動辨識與緊急煞車相關的情況。

執行大範圍模擬的能力讓 AEBS 功能以及 ECU 生產程式碼執行更加健全及安全，同時也讓我們可以更快速地應變。我們對於這些改變相當有信心，因為我們使用的是所有模擬的資料來測試上千種的情境。

佈署生成的程式碼於 ADAS 生產

大部分的 Scania 卡車及巴士現在都裝配有 AEBS，執行從 Simulink 模型產生、且經過大規模模擬驗證的程式碼。我們在 Scania 的適性巡航控制系統重複使用我們的感測器融合系統設計，目前已有超過 10 萬台車輛上路。