

使用模型化基礎設計(Model-Based Design)建構 Tesla 電動跑車

作者：Tesla 汽車公司 Chris Gadda 博士及 Andrew Simpson 博士

有許多大型的汽車製造商投資數十億美元在設計和開發新車輛上。我們在 2008 年研發了 Tesla 跑車，這是世界上第一個百分之百電力生產的跑車，僅耗費 145 億美元的預算。由於相對於傳統的汽車公司來說，我們預算較少，因此我們必須要將我們的工程資源最佳化，以作出最明智的決策。

爲了實現這些目標，我們使用了 MathWorks® 的工具，利用模型化基礎設計(Model-based Design) 去模擬整個車輛及其主要的子系統，進行極詳細的模擬、分析其效能，且評估設計的權衡輕重。



圖 1. Tesla 跑車

最佳化能源及燃料效能

在一個標準的內燃引擎中，需要更大的馬力即代表著需要耗費更多燃料，且在引擎中有三分之二產生的能量會如同熱能一樣地耗散揮發。因此，設計人員不得不耗損能源以獲得燃料效能。

若有了 Tesla 跑車，我們就無需做這樣的取捨。有超過 85% 的電池能源被用來驅動車輛，且當我們讓車輛功能更強大，我們也能讓其更有效率。我們的設計目標主要是讓一個車子跑得更快、更安全且更節能。Tesla 跑車從靜止加速到時速 60 英里，僅需四秒，但卻十分環保；Tesla 根據 EPA 複合循環每一收取可行駛 244 英里，而重新充電後之電力消耗，每行駛 100 英里僅消耗 28 千瓦的電力。

發展系統模型

Tesla 工程師大約在三年前開始使用 MATLAB[®] 來進行各種工作任務，包括了測試資料分析以及開發早期的電池動態熱流模型，隨著時間的更迭，我們透過 MATLAB 的模型研發車子裡每個主要的系統，包含了電力傳輸、馬達、電力電子、剎車、車輛及控制系統等。我們也開發了相關其他的模型，像是電池動力之空氣動力因素模型、冷卻、電纜功率耗損等。

我們結合了這些模型，組合成為一個完整的車輛系統模型，可以讓我們用來模擬整個車輛的效能，包含其潛在的速度與涵蓋範圍，了解有多少的熱能會從單一的零件中產生，及多少的能源透過輪胎、風阻及其他因子消耗掉。透過比較模擬的結果及原型車輛的道路測試結果，我們可以驗證模型並加以提高其精確度。

透過 Simulink 建立規格文件且修正模型

隨著 MATLAB 模型數量逐漸增長，工程師很難完全了解每個零件與其他零件的交互反應。當我們採用模型化基礎設計(Model-Based Design)後，我們能夠建立一個更高層級的 Simulink 車輛模型，採用我們已經驗證過的單一 MATLAB 子系統模型。這樣的階層結構可幫助我們將車輛結構的模擬視覺化，且提供生動的模型內容文件(如圖 2)。

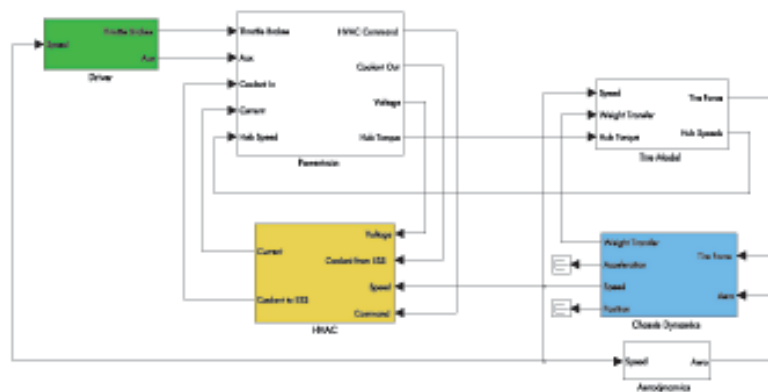


圖 2. 高階層的車輛效能，Simulink 模型

我們用 MATLAB 的子系統模型取代了同階層的 Simulink 模型。同時，我們試著修正模擬架構，所以能讓我們更容易區別設計跟研發。高階層的 Simulink 模型採用每一個零件來作為獨立的 Simulink 模型文件，讓我們在每個零件上進行版本控制。工程師能夠在不同的零件上平行運作，舉例來說，一個工程師能編輯電池模型，而同時另外一個工程師能進行電流傳輸。

整車模擬

我們在 Simulink 上建構車輛的模型，讓它能在零件的層次時變得相當活用，也讓我們能在不同層次的細節上，支援多種零件模型。而透過仔細劃分每個零件層級的界線，讓我們能少用到較細微的零件模型，以加速整個車子的模擬工作。例如，在具有 Tesla 跑車詳細的電子電力及馬達的 Simulink 模型狀態下，我們可以透過模擬去描述兩個零件的效能，而這兩個零件都是使用 50 微秒來運作。

我們把結果從細節的模擬整合入一個可查詢的表格中，這樣可讓我們嵌入更高層級的模型，進行更長時間的車輛階層模擬。一個設計逆變器的工程師便可以操作一台車輛全部的動態模擬細節；同時另一個工程師使用較少的逆變器模型，來預測汽車的最大效能。這個方法可以幫助我們掌握所需的資訊，更快做出設計的決策。

在車輛即將投入生產或甚至是未來的設計前，我們使用我們的車輛參數模型去模擬車輛的生產。我們透過一再地模擬得到標準化的範例，並掌握車子的所有特徵，來進行車輛生產模擬。這個方法對零件的大小特別有效率。舉例來說，我們簡單定義必要的參數當作輸入的向量，來進行模擬電力傳輸配置，而非採用傳輸模塊來替代或是改變 Simulink 模型。然後，我們使用 MATLAB 進行多種模擬，其包含多種設計選項。

最近，Tesla 開始進行一項活動，以改善每作一次改變時跑車的總體狀態。我們已經有一些可改善系統的想法，但是仍舊缺乏確實的證據來證明我們的想法是否可行。我們已經有一個良好的校對 Simulink 車輛模型，而且我們相信其產出的模擬結果，可以透過實際的數據，量化設計變更的效果。

增強動力系統

在道路上進行 Tesla 跑車原型的測試時，我們收集了足夠的實際資料，可改善且驗證我們的模型。利用驗證原始 Tesla 跑車的模型，我們可確定 Tesla 跑車 1.5 動力系統的整個設計空間。且擁有不同動力系統配置的大型矩陣，包含了多種車輛大小、變速器的配置、電池化學反應及逆變器的尺寸等。我們使用 MATLAB 在不斷模擬的過程中，掃過數百個組合而讓細節更為完善。總合來說，若沒有建模與模擬，恐怕將花上數年的精力和龐大的花費才能完成。每個實體原型需要花費 6 個月到一年的時間才能產出，且我們無法負擔重複驗證硬體上數百個齒輪比例的時間與金錢。目前，這個增強的動力系統已經可在原型車中運行，結果就如同設計模擬的一樣。

橫跨多領域

有了 Simulink，我們可以處理需要昂貴且特殊的分析工具才能解決的問題。舉例來說，過去有許多雛型的電池模型需要透過理想的電壓及固定的抗阻以驗證，現在我們已能使用更先進的首要模型，且從中了解到電池可作為電化學裝置的寶貴知識。我們使用 Simulink 去建構先進的等效電路模型，且可預測不同充電的階段狀況、放電律、溫度及老化的程度。

我們使用類似的方式去處理電池中，以安全為重的冷卻效能預測模擬，來確保電池不會過熱。要掌握電池中所有多領域物理、化學及熱傳遞效應，通常需要一個有限元素分析工具及相當大的時間心力才能產生。透過 MathWorks 的工具，我們能夠進行分析且獲得顯著的結論，讓電池技術更加進步。所以 Tesla 跑車與其他電動車相較之下，才能具有超過兩倍的能量儲存密度。



未來的 Tesla 跑車

當我們產出更多的道路測試資料時，我們能利用 MATLAB 進行處理、視覺化且將資料的結果併入已十分精確的 Tesla 跑車模型中，讓其模型更加精準。若沒有 MathWorks 的工具，我們將無法建構此跑車。開發過程中所要花費的龐大資源，是我們這個剛起步的汽車公司所沒有的，因此，我們將持續的使用 MATLAB 及 Simulink，來幫助我們為下一代的 Tesla 汽車做出最明智的決策。