

LIN Bus 在車用匯流排中以低成本、省資源為其特點，妥善運用將可提高汽車附加價值。本文將介紹 LIN Bus 技術現況、運作架構、系統最佳化技術、與 CAN Bus 的區隔，並以門控建置開發實例提供進一步的說明。

今日汽車的設計在安全、舒適、便利和環保等訴求下，對電子技術的仰賴日益加深。目前在汽車架構中的車體（Car body）、傳動系統（Power train）、安全系統（Safety）和車載資通娛樂系統（Telematics/Infotainment）等各個部分中，都可以看到愈來愈多的電子控制元件（ECU），它們賦與汽車更具智慧性的操控能力，例如會自動檢查門窗、車燈是否關閉，在駕駛人進入車內前自動接通電源，離開時則會檢查是否切斷電源等等。

目前汽車內電子元件的連結愈來愈複雜，一台車中平均存在著 80 個左右的電子元件或模組系統。過去採用傳統的電纜方式來連結車燈、電動機、電磁閥、加熱器、空調等設備，若以此方式來連結電子元件，龐大的纜線數量將造成車體重量的沈重負擔。因此，有必要導入標準化的匯流排技術，此舉除了降低建置的困難度及配線重量外，也能提升控制的精確性，而且比較不會有線路老化、磨損的問題。

在此趨勢下，已有各種匯流排技術出現在車載網路（In-Vehicle Network）當中，它們各有其技術特色，適合不同的應用領域。大致上可以分為五類：第一類是傳輸速度最低的 LIN、TTP/A，適用於車體控制；第二類包括低速 CAN、SAE J1850、VAN（Vehicle Area Network）等中速網路匯流排，適用於對即時性要求不高的通信應用；第三類包括高速 CAN、TTP/C 等，適用於高速、即時閉環控制的多路傳輸網；第四類包括 IDB-C、IDB-M（D2B、MOST、IDB1394）、IDB-Wireless（藍芽）等，專門用在車載資通娛樂網路之中；第五類則包括 FlexRay 和 Byteflight，用在最具關鍵性、即時性最高的人身安全系統（請參考表一）。

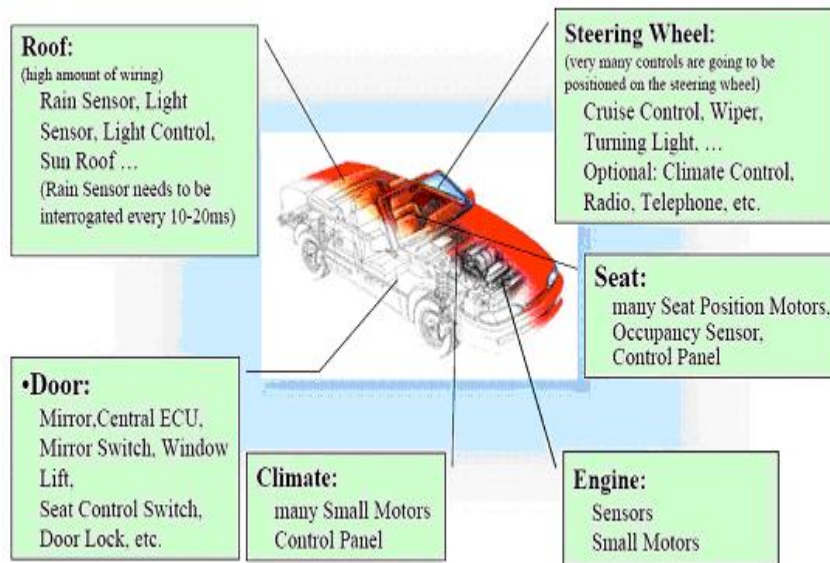
本文將探討 LIN 的技術規格現況及在門控系統中的建置實例。

表一 車載網路匯流排標準

等級	標準	傳輸速度 (bps)	應用
Class A	LIN、TTP/A	20K 以下	車燈、照明、電動車窗、門鎖、座椅調節等等
Class B	低速 CAN、SAE J1850、VAN	20K~125K	車輛資訊中心、故障診斷、儀錶顯示等系統
Class C	高速 CAN、TTP/C	125K~1M	電子式指示器、驅動資訊、自動化溫控、偵錯診斷等狀態資訊應用
Class D	IDB-C、IDB-M (D2B、MOST、IDB1394)、IDB-Wireless (藍芽)	10M 以上	汽車導航系統、影音系統等多媒體資通應用
Class E	FlexRay、Byteflight	1M~10M	引擎控制、ABS、傳輸控制、剎車控制等車輛安全的即時控制

LIN Bus 技術現況

區域互連網路 (Local Interconnect Network, LIN) 是基於序列通訊協定的車載匯流排的子集系統 (sub-bus system)。為了支援多個智慧性節點的分散式系統設計，LIN 提供標準化的 API 以及軟體設計流程。它的傳輸速度雖然不高，但其低成本的特性，能為不需要用到 CAN 的裝置提供較為完善的網路功能，包括空調控制 (Climate Control)、後照鏡 (Mirrors)、車門模組 (Door Modules)、座椅 (Seats)、智慧性交換器 (Smart Switches)、低成本感測器 (Low-cost Sensors) 等，請參考圖一。



圖一 LIN 的應用領域

在重要規格的演進上，自 1999 年推出 LIN 1.0 版、2002 年 12 月修訂 LIN 1.3 版，並在 2003 年 9 月再次發佈 LIN 2.0 版規範，持續改進了 LIN 匯流排的性能與適用性。此外，美國汽車工程師協會（SAE）下屬的車輛架構任務組（Task Force）也基於 LIN 2.0 提出 J2602 規範，進一步降低了 LIN 2.0 中軟體單元的複雜性，此舉讓 LIN 從節點所需要的軟體代碼長度縮短，在建置上會更有效率。此外，市場上的領導業者也會針對 LIN 的效能提出改善技術，例如 ST 的 LINSICI。一般來說，LIN 的主要特色及優勢包括：

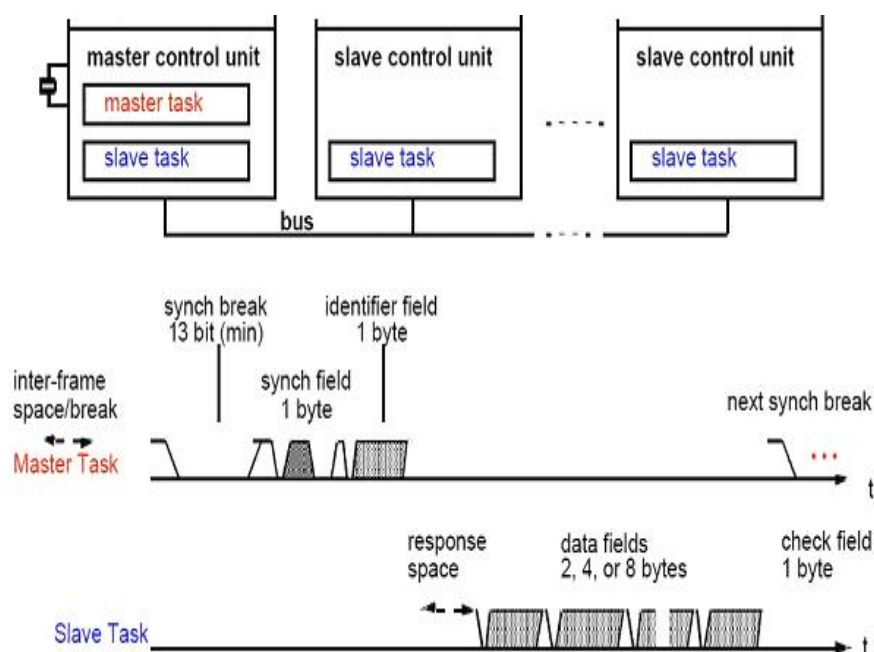
- 採用一個主節點、多個從節點的概念（最多支援 16 個節點）；
- 由於基於普通 UART/SCI 介面協定，其軟硬體成本極低；
- 在從節點(slave node)中不用晶體振盪器(crystal oscillator)或陶瓷諧振器(ceramic resonator) 時鐘，也能做到自同步性，這能進一步降低成本；
- 訊號傳播時間可預先計算，以滿足訊號傳輸的確定性；
- 基於應用交互作用的信號；
- 可達 20 kbps 資料傳輸率；
- 匯流排電纜的長度最多可以擴展到 40 公尺；

LIN Bus 運作架構

LIN 網路是基於「一主多從」的主從原則（master/slave principle）而形成的拓樸結構，因此需要由主節點週期性地對從節點發出詢問動作。週期的設定必須根據事件偵測的即時性要求，並將從節點的偵測結果傳送到到主控制器。

在 LIN 上傳輸的訊號，其訊框結構上是由一個由主任務提供的標頭（header）和由從任務處理的回應部分（Response）所構成。標頭包含一個 13 位元的同步間隔欄位（synch break field）；一個由主任務產生的同步欄位（synch field）；以及一個辨識欄位（identifier field）。其中每一個位元組欄位都以串列位元元組方式發送，起始位元元組的第一位編碼為“0”，而終止位元編碼為“1”。

在回應部分則包含二、四或八個位元組的資料欄位（data field），以及一個位元組的驗證欄位（checksum field）。由主任務執行的訊框標頭會依整個 LIN 叢集的進度表決定每個訊框的傳輸時間，以確保網路不會超載，並能確保資料傳輸的確定性。在 LIN 網路中只有主節點採用晶體振盪器來為系統提供精確的基本時鐘，此時鐘會嵌入上述的同步欄位中，讓從任務能與主節點時序同步。請參考圖二。



圖二 LIN 訊框結構示意圖

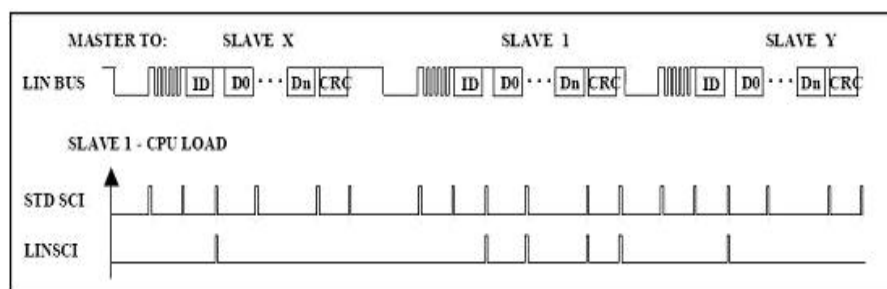
LINSCI 最佳化 LIN 系統

以標準 SCI 所建置的 LIN 網路雖已具備極佳的建置優勢，但讓想讓系統等級獲得最佳化，仍存在一些限制。若想得到最佳化的 LIN 系統，必須考慮以下因素：

- LIN 傳輸所需要的 CPU 負荷；
- 應用上所需要的時脈準確性；
- LIN 傳輸的頻寬；
- LIN 介面的穩定性/有效性；

因此，為了達到最佳化的需求，有必要在硬體技術上進行強化。ST 的 LINSCI 即是經過強化的硬體 SCI 埠，可透過減少 CPU 負載來提升系統效能；另外，其內部的 1MHz 震盪器、帶有運算放大器的快速 10 位元 ADC，以及低電壓檢測器的可修整重啓電路—可透過消除對這些功能所需之外部電路的需求來簡化系統設計並降低製造成本。8Kbyte 的擴充快閃記憶體能在單一供給電壓下操作，以降低電路板複雜度並提供更快速的編程能力。

LINSCI 可以被嵌入在一顆很小的 8-bit MCU 中，它的目的就是要讓從設備的 LIN 功能完全發揮，其功能包括標頭偵測（Header Detection）、指示器（Identifier）和非相關位元組過濾（Irrelevant Byte Filtering）、延伸性錯誤偵測（Extended Error Detection）和再同步化（Resynchronisation）等。LINSCI 的訊框架構請參考圖三。



圖三 LINSCI 的訊框架構

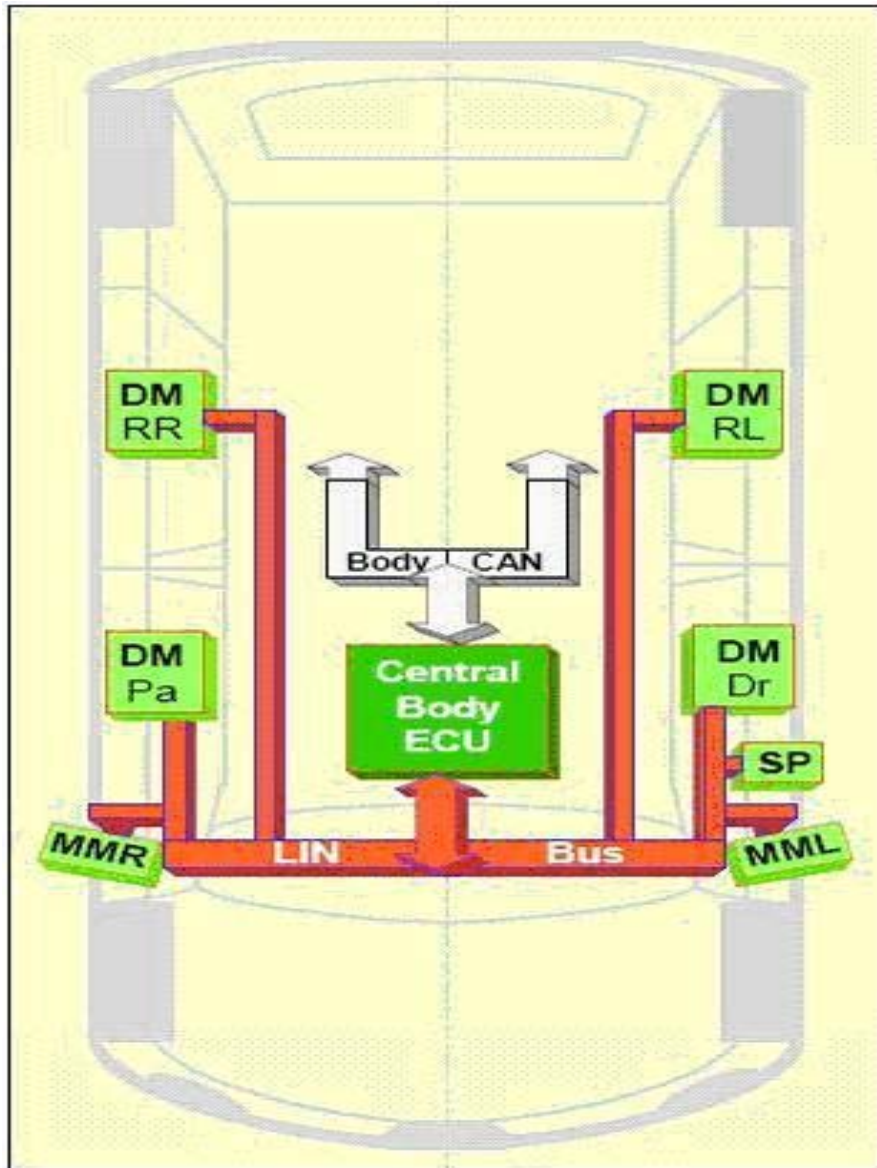
進一步來看，LIN 的鮑率（Baud rate）是 10kbps 和 20kbps，這很難達成標準 SCI 位元時間取樣原則所需要的 2% 準確性。這是因為鮑率預定標器（prescaler）的有限解析度所造成的。假設 CPU 的頻率是 8MHz，LIN 的鮑率是 20kbps，由於 LIN 的時脈容忍度是 15%，這造成 2.33% 的量化錯誤。在 LINSCI 中則以 12 位元 unsigned 定點值（即 LDIV）來取代 8 位元整數值的鮑率預定標器，能讓上述的量化誤差下降到 0.15%。

門控系統建置案例

以下將以門控模組系統的建置，進一步說明 LIN 匯流排的應用及設計要求。在今日中階及高階車款中的門控系統，往往需要這些功能：

- 門鎖（lock）和防盜門鎖（dead lock latch）；
- 動力車窗（Power Window）升降；
- 踏腳燈（Footstep light）；
- 切換面板照明（Switch panel illumination）；

圖四顯示以 LIN 網路組成的門控系統，它的主控節點是由一個中央車體控制單元（Central Body ECU），它和車體 CAN 網路相連結。每個車門都由一個車門模組（DM-Driver, DM-Passenger, DM-RearRight, DM-RearLeft）所組成，能夠提供動力車窗及門鎖功能。此外，兩個前門都有後視鏡控制（MMR, MML）的從節點。在此系統中，還會有一個嵌在駕駛端的中央切換面板（Central Switch panel, SP），它是一個獨立的從節點，由它來控制所有的動力車窗、手動門鎖及後視鏡調整等功能。



圖四 LIN 網路門控系統示意圖

此系統會對 LIN 網路形成下述要求：

- 當主控器收到從遙控鑰匙發出的有效訊號時，必須要啟動門控系統，從節點通常是通過 CAN 匯流排來接收；
- 當正確的鑰匙打開前門時，也同時啟動門控系統；從節點會直接反應而不需經由與主控器的通訊；
- 對切換面板的詢問動作（Polling），以確保回應對各個驅動裝置控制（動力車窗、後視鏡調整、門鎖）的主動式切換；
- 對所有從節點的詢問動作，以得到車窗升降的位置狀態，以及車門的開關情況；
- 對所有從節點的睡眠模式控制（即電池供應操作模式）；

在清楚了 LIN 網路的要求後，我們必須選擇功能相符的微控制器（MCU）來達成。這些 MCU 必須針對車窗的升降提供防夾（Anti pinch）、馬達的 PWM 控制及車窗位置的監控功能；能以 SPI 介面來控制門鎖馬達；對於車鑰匙的拔出及開門的動作，能夠提供電源供應模式的接觸式監控，以及對後視鏡及切換面板的操控功能。（圖五）是門控模組的功能方塊圖架構。

在系統的規劃上，要一些注意的要領，這包括時序的準確性，也就是為了正確的運作，車門模組需要一個容忍度小於 3% 的時間參考，車窗防夾（anti-pinch）功能的複雜演算法就需要這種準確性。此外，針對安全性（如防夾）和便利性（如門鎖偵測）等功能，都會有實時性的要求。

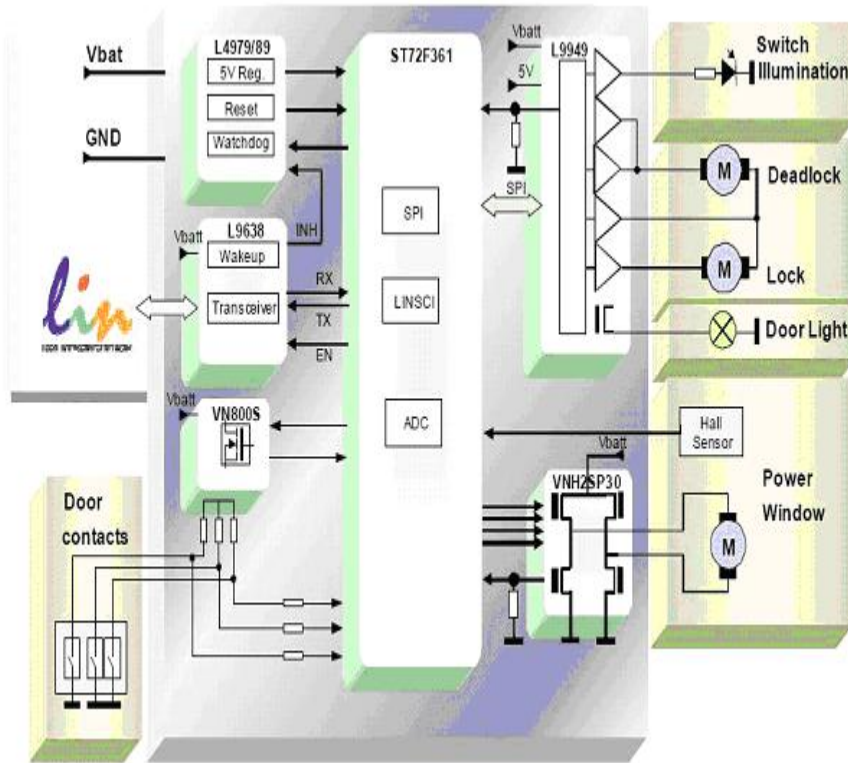
以手動打開汽車門鎖的動作為例，從鑰匙插入門鎖到打開，可接受的延遲時間必須小於 200ms，這表示反應時間很短。傳動馬達需要約 100ms 去打開門鎖，這只留 100ms 給 MCU 來完成從低功率模式啟動、偵測到鑰匙，並觸發傳動裝置等動作。因此這個網路必須採用 LIN 最快的傳輸速率，也就是 20kbps。而在 20kbps 的傳輸率下，CPU 的反應時間必須要小於 1ms，否則資料會漏失，LIN 的傳輸會失敗。

另一個設計議題則是功耗，這對於多數的 ECU 來說都是很關鍵的。以門控系統來說，即使車子熄火了，系統仍需進行間隔性的監控詢問動作，這就會造成車子電力的持續消耗。監控的延遲間隔設定是蠻矛盾的事，因時間間隔太長，則會造成反應動作上的遲鈍現象，但太短，又會增加系統的功耗。

故障安全設計

相較於車體 CAN 匯流排系統，LIN 匯流排並不具有錯誤容忍性（fault tolerant），因此必須考慮短路時匯流排線路的故障安全（fail-safe）機制，也就是每個節點必須有能力分辨出短路的匯流排線路。反應動作必須遵循特定的程式（例如讓門鎖維持在打開的狀態，而每個節點的功耗應盡可能降低）。

以 ST 的 L9638 LIN 收發器為例，它能提供額外的故障安全裝置（fail-safe）功能，例如對短路狀態的處理。當 MCU 辨識出短路的 LIN 匯流排線路，電子控制器（ECU）可以把自己關掉，當收發器在消除短路狀況後還能夠重新啟動。



圖五 門控模組功能方塊圖架構

LIN Bus 與 CAN Bus 有所區隔

目前電子控制元件已散佈整台車子，它們讓傳動及感測功能變得更有智慧性。在本文介紹的 LIN 網路是屬於低傳輸速率的匯流排規格，但它的低成本及傳輸的正確性，仍然相當受到車廠的歡迎。據估計在歐洲新出廠的車子中，LIN 的應用佔了相當大的比例。

當然，LIN 不會有和 CAN 匯流排控制網路相同的效能，因此，在某一特定的車載系統中，LIN 匯流排是否能提供滿意的效能，就得看應用本身的需求而定。此外，透過專屬的設計，能夠讓 LIN 的功能得到全面性的發揮，例如將 LIN 協定以硬體方式建置（如 LINSICI），可以讓 LIN 的驅動程式碼更為簡化，也能增加系統的可靠性。MCU 的設計也是一大關鍵，以 ST72F361 為例，它在標準 MCU 上提供先進的 SCI 介面，並支援 LIN 功能，除了能降低 CPU 的負荷外，也能省卻較高成本的精準時序資源。

LIN 匯流排本來就是為了與 CAN 形成區隔而設計的，以門控系統來說，它能大大降低從主控器連結到每個車門的線路數量，而成本也會比採用 CAN 匯流排控制的解決方案來得低。不過，如果是更關鍵性的應用，就得考量成本更高的 CAN，以兩線匯流排來提供容錯能力及更高的效能。（本文作者為意法半導體 STMicroelectronics 大中華區事業部經理）