



autotronic

先進車輛電控概論

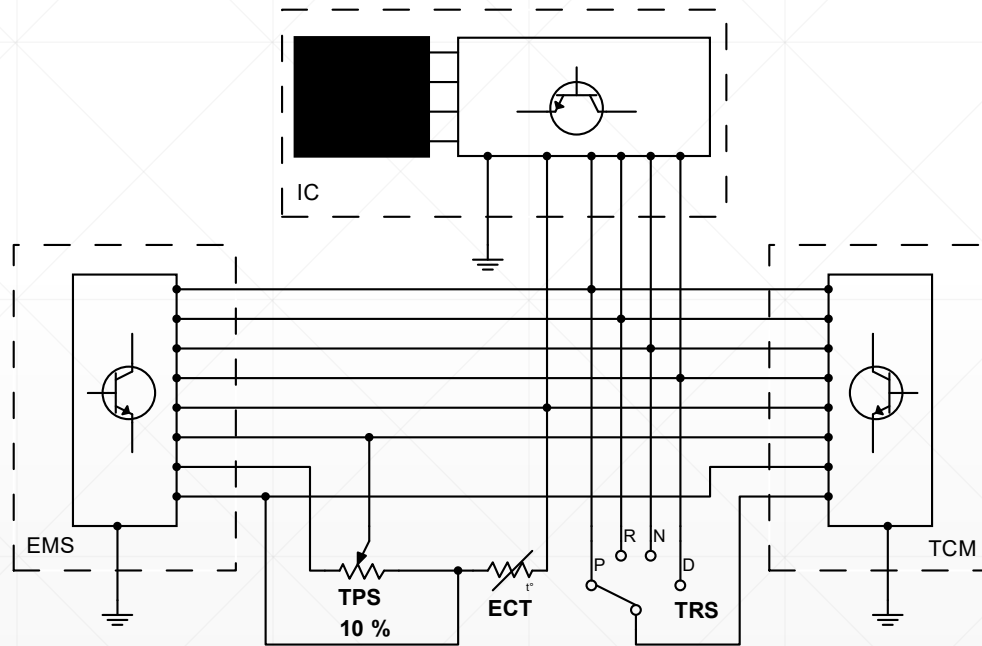
第 6 章 匯流排通訊

V 1.0

6-1 導論

■ 一線一用

傳統「一線一用」的訊號配線設計，大幅增加電線使用總長度及重量，將會佔據車輛許多空間和成本。



ECU

EMS (engine management system)

TCM (transmission control module)

IC (instrument cluster)

sensor / owner

TPS (throttle position sensor) / EMS

ECT (engine coolant temperature) / EMS

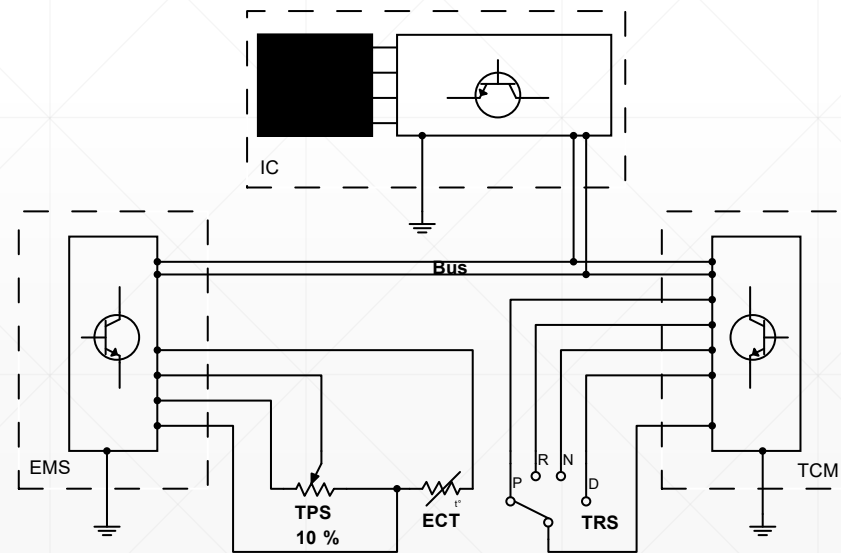
TRS (transmission range sensor) / TCM

6-1 導論

■ 一線多用

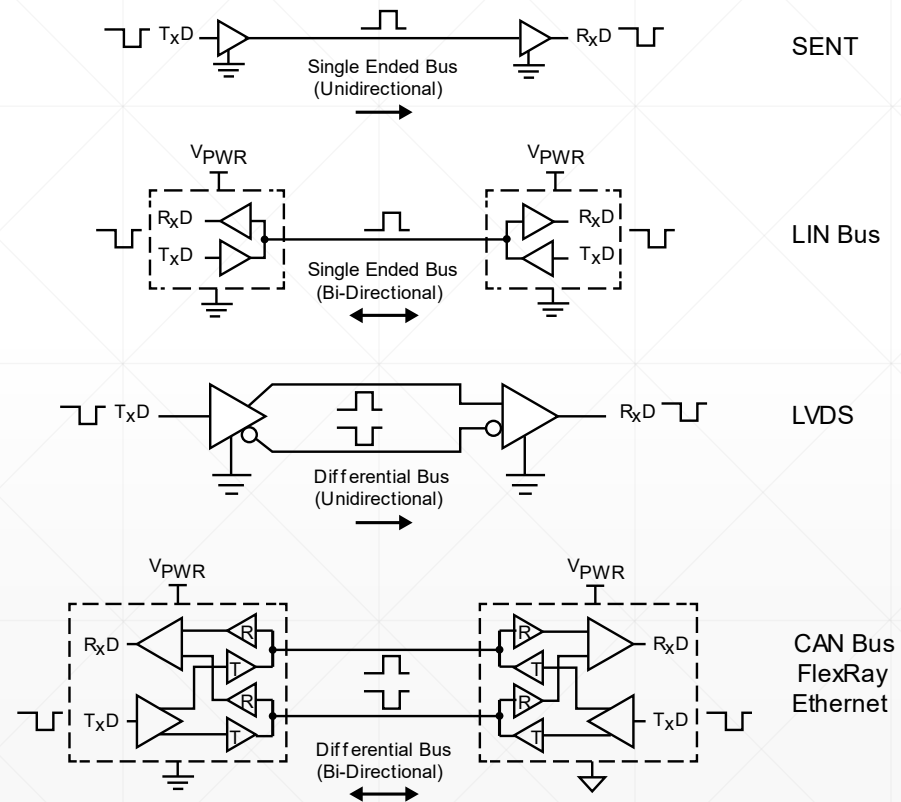
- 一. 透過「一線多用」方式，大幅減少電線的使用，提高可靠度與維護性
- 二. ECU 利用匯流排 (bus) 進行彼此間通訊，以數位資料取代類比電壓訊號，傳送相關感測器數值與致動器啟動訊號

譬如：EMS 傳送 TPS 與 ECT 感測器訊號以及 TCM 傳送 TRS 感測器訊號。而 TCM 除傳送 TRS 感測器訊號，還會傳送抑制起動馬達的致動器訊號給 EMS。各系統可依傳輸需求，選擇匯流排數量及適合的車輛網路通訊技術。



6-1-1 匯流排通訊型式

汽車匯流排主流通訊型式依電纜數區分為「單線通訊」或「雙線差動」通訊。通訊方向則區分為「單線單向或雙向通訊」以及「雙線差動單向或雙向通訊」。

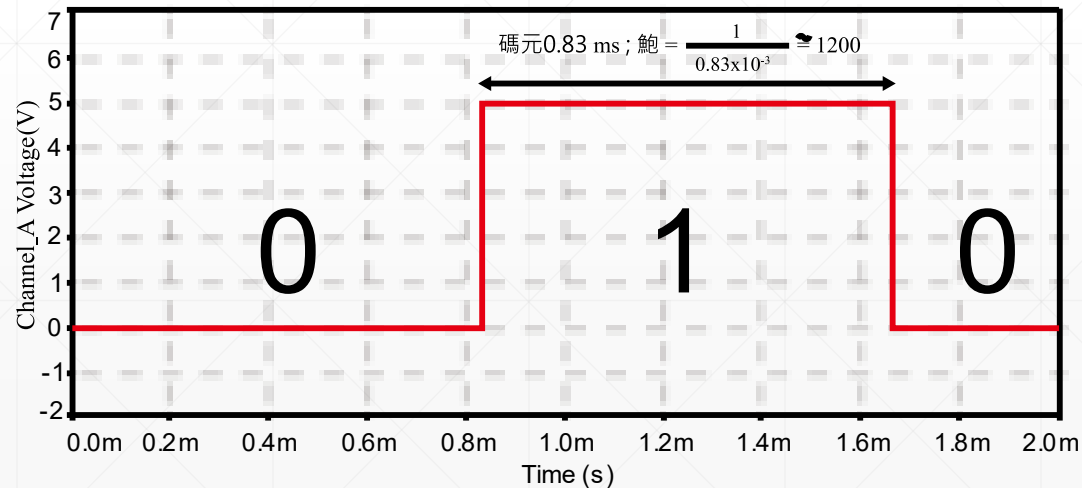


6-1-2 傳輸速率與通訊協定

1. 鮑速率 (baud rate)

- 一. 鮑速率簡稱鮑率，為每秒可傳送信號變化的次數。包括：頻率、相位、振幅及上述混合型態的變化
- 二. 可以用一個信號時距 (time space, T_s) 來代表一個碼元的傳輸時間，故鮑率是信號時間的倒數 ($1 / T_s$)
- 三. 碼元是數字系統中，用相同時間間隔符號來表示一個 N 進制的碼元

當碼元的離散狀態為 2 種狀態，碼元等於二進制碼元。若碼元離散狀態大於 2 時，此時碼元就為 N 進制碼元，例如，以太網路的三元對，其符號為 0, 1, -1 狀態所形成的三級脈衝振幅調變。



在車用通訊的離散狀態轉換過程，隨著鮑速率的提升，信號邊緣的上升時間與下降時間會愈來愈短，在 1M ~ 10M 速率下，其時間會在 100 ns ~ 10 ns 之間

6-1-2 傳輸速率與通訊協定

2. 資料速率 (data rate, DR)

- 一. 一個資料封包 (data packet) 是由 N 碼元所組成時，我們可以說這是一個 N 位元資料封包
- 二. 通訊電路每秒可傳輸多少位元數 (bits per second, bps)，可以用 bps 表示。例如：500 kbps (每秒五十萬個位元) 或 10 Mbps (每秒一千萬個位元)

由於車用通訊系統都採串列二進制，在一個信號的時距只傳出一個位元，故鮑速率會等於資料速率，雖然數值相同，但它們在並列通訊的意義完全不同。資料速率等於鮑速率與一次可傳出位元數的乘積。

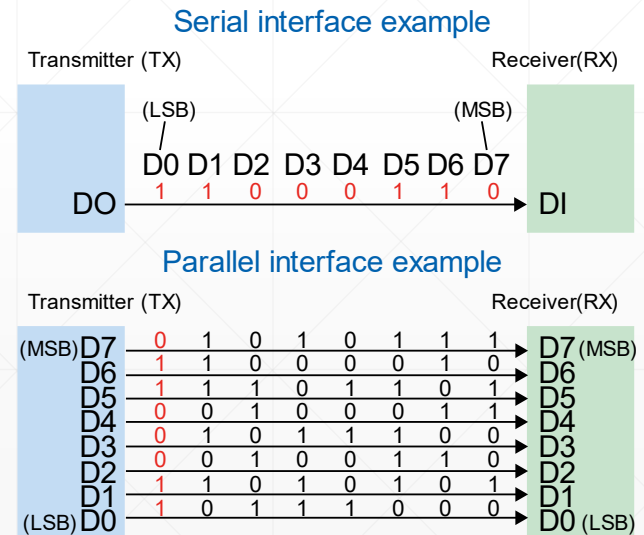
資料速率：

$$DR = \text{baud} \times \text{bits}$$

【範例6- 1】

某鮑速率為 1200 的並列通訊系統，匯流排為 8 位元 (8條資料線)，資料調變階層變化有 256 種，因此資料速率為：

$$DR = 1200 \times 8 = 9600 \text{ bps}$$



6-1-2 傳輸速率與通訊協定

3. 有效資料速率

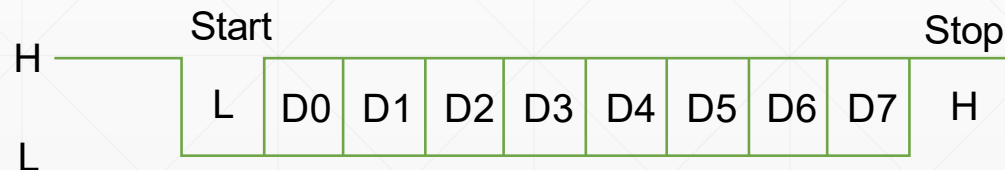
- 一. 資料傳輸時都會在訊框 (資料封包) 的前後加入一些其它訊息
- 二. 有效資料速率是指扣除這些額外訊息後，實際傳輸資料的速率
- 三. 其值是傳輸速率乘以資料位元數及訊框位元數之比

有效資料速率：

$$\text{EDR} = \text{DR} \times \text{資料位元數} / \text{訊框位元數}$$

【範例6- 2】

如下圖，一個串列資料速率 9600 bps 的 8 位元系統，資料前後start、stop 各為 1 位元。因此，有效資料速率會少於資料傳輸率，因為處理一個8位元資料實際上要花 10 位元 (start & stop)，其有效資料速率為：

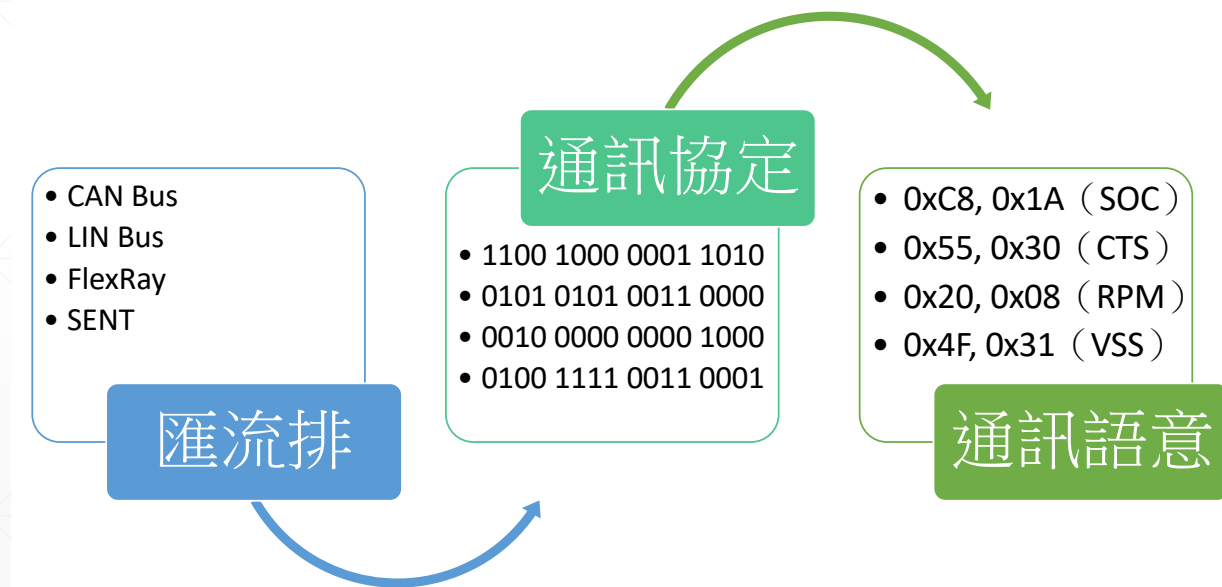


$$\text{EDR} = 9600 \times 8 / (1+8+1) = 7680 \text{ bps}$$

6-1-2 傳輸速率與通訊協定

4. 通訊協定與語意

- 一. 協定 (protocol) 是定義控制器間互相通訊且受共同認定之標準 (如同人與人之間所對話語言的發音及文法)
- 二. 語意則是通訊內容的含意 (meaning) (如同各種語言名詞及動詞的定義)
- 三. 目前各車廠車款的通訊語意內容並未統一



6-1-3 匯流排的規劃與應用

- 一. 並非所有控制器之間的網路都需要高傳輸速率
- 二. 愈高的速率代表會有愈高電磁干擾
- 三. 在匯流排的佈局規劃中，所考慮的因素還包括：成本、重量及可靠度
- 四. 以達到預期應用與整體效益為評估考量

匯流排通訊協定比較

通訊協定	製造成本	通訊型式	傳輸速率	應用
LIN bus	低	單線	低	車身電器控制
CAN bus	中	雙絞線	中	動力總成控制
FlexRay	高	雙絞線	高	x-by-wire, ADAS
SENT	低	單線	低	集成式感測器
LVDS	低	雙絞線	極高	攝影機、媒體資訊
MOST	高	光纖	高	媒體資訊
Ethernet	中	雙絞線	極高	車載診斷與維護、ADAS、媒體資訊、網域間資料傳輸

6-1-4 網路拓樸與配置

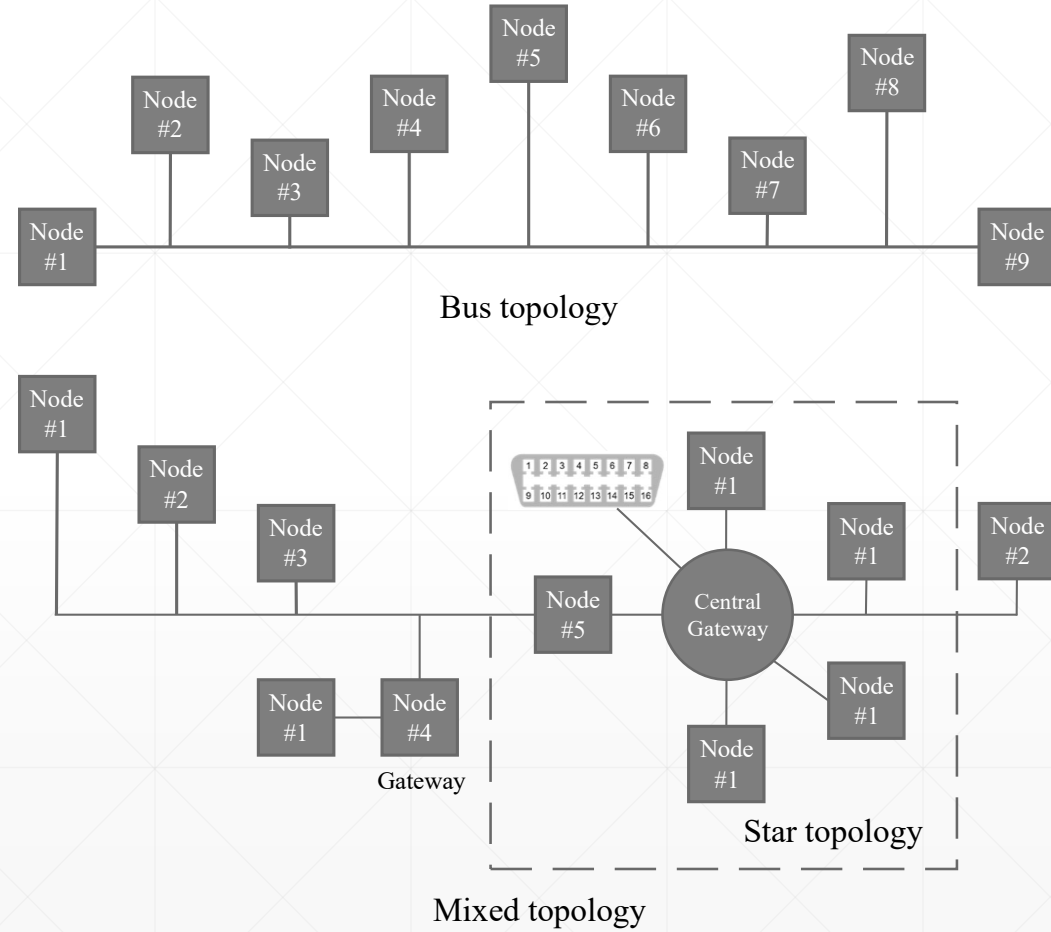
- 一. 在電子控制系統通訊中，ECU 彼此之間的網路連結，是利用電纜互相通訊交換資料
- 二. 因為連結的方式不同，就會產生不同的連接形狀與資料流通形式，就稱為網路拓樸（topology）
- 三. 拓樸是指網路節點（node）「實體」或「邏輯」的連接形式
- 四. 當 2 網路節點實體電纜並沒有確實連接在一起時，即 2 節點為不同網域之匯流排

1. 實體拓樸

- 一. 實體拓樸（physical topology）是 ECU 真正在網路中實際佈線或各節點分布的結構
- 二. 汽車 ECU 網路是以匯流排（bus）拓樸，以及星狀（star）拓樸所構成的混合拓樸（mixed）為主流
- 三. 當 ECU 同時連接 1 個以上不同網域匯流排時，此 ECU 可為一個閘道器（gateway）
- 四. 一台車可能會有 1 個以上的閘道器
- 五. 集結多網域而形成星狀結構以及具有車輛的診斷接口，則可視為一個中央閘道器

6-1-4 網路拓樸與配置

■ 汽車網路實體拓樸



6-1-4 網路拓樸與配置

2. 邏輯拓樸

邏輯拓樸 (logical topology) 是形容匯流排資料在閘道上流通的形式。譬如：電路交換 (circuit switching)、訊息交換 (message switching) 以及封包交換 (packet switching)。

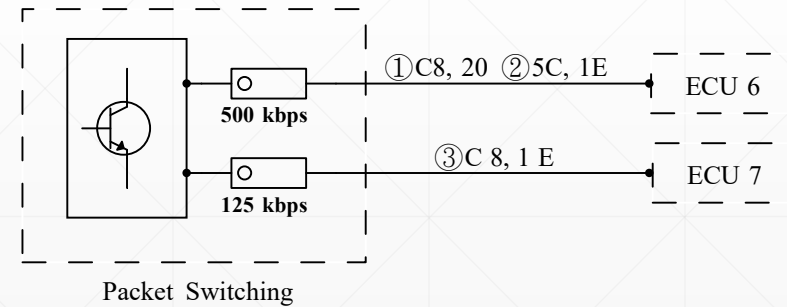
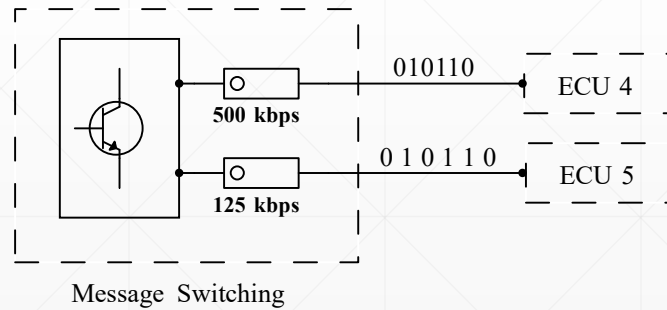
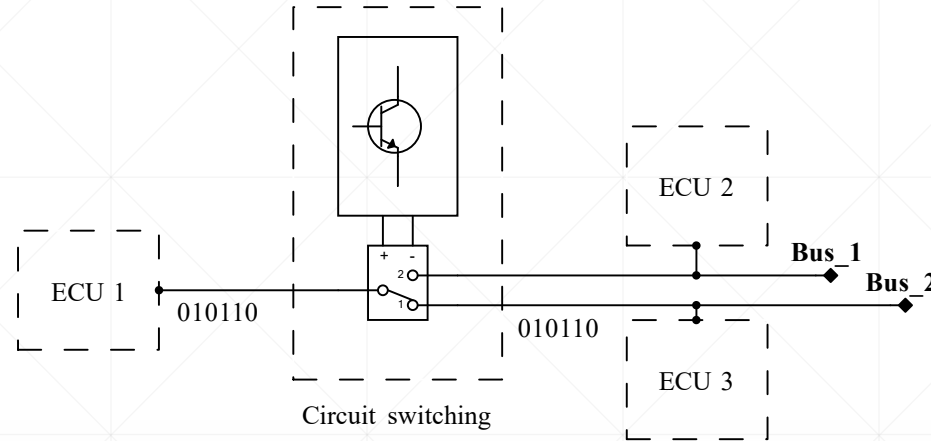
其中訊息與封包交換可在不同「傳輸速率」與不同「協定」的匯流排上進行。

流通形式定義

形式	定義
電路交換	在資料發送端與接收端建立 (切換) 一條實體的通訊路徑
訊息交換	並不在資料發送端與接收端建立一條實質的通訊路徑，而是透過閘道器重新轉發到其它匯流排。傳送訊息內容不變，但傳輸速率會因目標匯流排速率不同而改變
封包交換	交換方式與訊息交換相似，其差異是封包的內容會有所改變。譬如：將收到的一個或多個封包內容經過計算、排列、挑選後，再予以發送新的封包到匯流排上

6-1-4 網路拓樸與配置

■ 網路流通形式



6-1-4 網路拓樸與配置

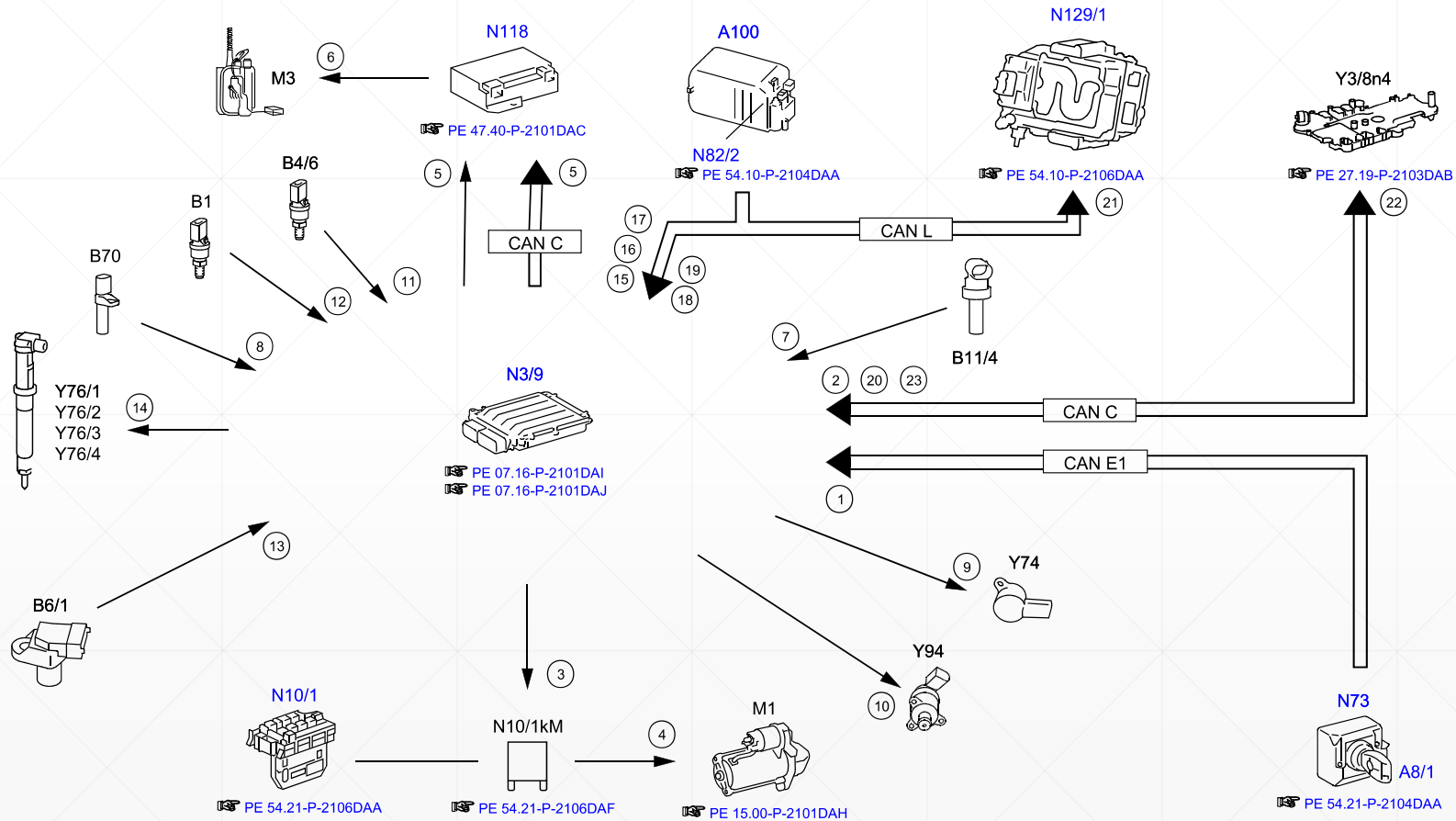
邏輯拓樸是很難從電路佈局看出資料在閘道器上流通的情形，尤其是「訊息交換」與「封包交換」。僅有原設計團隊才能有正確交換資訊及內容，只有少數車廠會在系統維護手冊上，加註部分敘述與拓樸圖。

拓樸代碼敘述

code	description	code	description
1	Circuit 50, status	13	Camshaft Hall sensor, signal
2	Gear range, status	14	Fuel injectors, actuation
3	Starter circuit 50 relay, actuation	15	Electric machine, status
4	Starter, actuation	16	High-voltage battery voltage, signal
5	Fuel pump, request ON	17	High-voltage battery temperature, signal
6	Fuel pump, actuation	18	Electric machine motor torque, signal
7	Coolant temperature sensor, signal	19	Electric machine rpm, signal
8	Engine speed, signal	20	Transmission oil temperature, signal
9	Pressure regulator valve, actuation	21	Electric machine motor torque, request
10	Quantity control valve, actuation	22	Wet clutch, request
11	Fuel pressure, status	23	Wet clutch, status
12	Oil temperature sensor, signal		

6-1-4 網路拓樸與配置

■ 資料流通拓樸 (Mercedes Bena E Class W212 啟動系統)



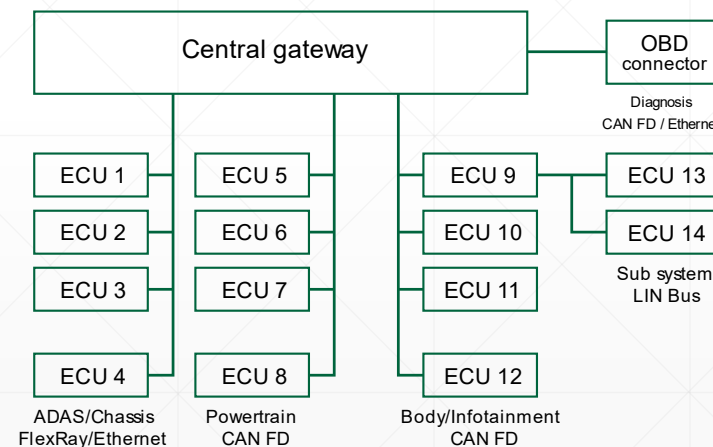
A100 High-voltage battery module, **A8/1** Transmitter key, **B1** Oil temperature sensor, **B11/4** Coolant temperature sensor, **B4/6** Rail pressure sensor, **B6/1** Camshaft Hall sensor, **B70** Crankshaft Hall sensor, **CAN C** Drivetrain CAN, **CAN E1** Chassis CAN 1, **CAN L** Hybrid CAN, **M1** Starter, **M3** Fuel pump, **N10/1** Front SAM control unit with fuse and relay module, **N10/1kM** Starter circuit 50 relay, **N118** Fuel pump control unit, **N129/1** Power electronics control unit, **N3/9** CDI control unit, **N73** Electronic ignition switch control unit, **N82/2** Battery management system control unit, **Y3/8n4** Fully integrated transmission control unit, **Y74** Pressure regulator valve **Y76/x** Cylinder 1~4 fuel injector, **Y94** Quantity control valve

6-1-5 中央閘道與網域喚醒

為確保 ECU 彼此之間的通訊順暢、安全和正確，除了一般做為資料獲取與交換的控制器外，還必須有一個主控單元來協調車輛網路系統內的數據傳輸，並抑制網域之間的喚醒。

1. 中央閘道

- 一. 中央閘道 (central gateway) 或稱中央網關 (CGW) ，是車輛網路系統通訊的致能器
- 二. CGW 可以充當數據路由器 (資料流通) 處理不同通訊協定以及車輛網域 (動力總成、車身以及資訊娛樂系統等) 資料
- 三. 不同網域電氣實體層訊號的隔離，避免因電路故障造成整車網路癱瘓
- 四. 新式網關還可支援 ECU 空中下載更新技術，即時過濾數據以保護其免受駭客攻擊



中央閘道架構

6-1-5 中央閘道與網域喚醒

2. 網路喚醒與休眠

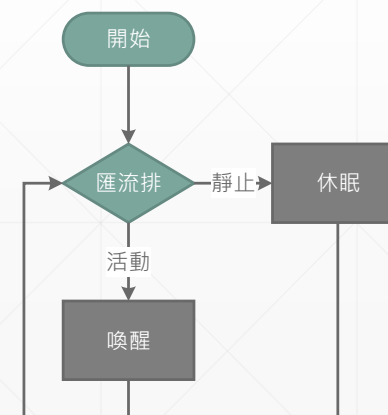
■ 系統喚醒

- 一. 匯流排始終處於兩種狀態之一，「活動」或「靜止」
- 二. 所謂活動是指匯流排實體層電氣訊號有準位變換；反之則為靜止
- 三. 處於活動狀態時，同一個匯流排上的所有節點均會喚醒，並觸發節點內部電源管理系統，使電源管理模式進入啟動與運行狀態以及開始篩選相關匯流排資訊

中央閘道可依系統功能，決定是否喚醒不同網域的匯流排。譬如：電源僅開啟到第一階段的附屬配件時，只有車身或資訊娛樂系統網路喚醒，並不喚醒動力總成、底盤系統及其它網域，如此可減少電瓶的電力消耗。

■ 系統休眠

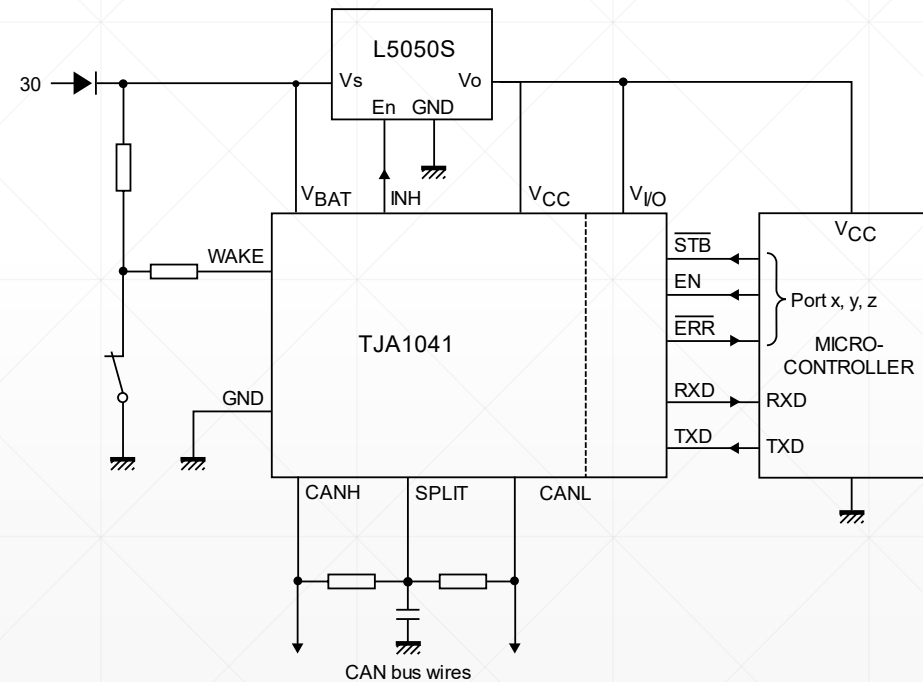
- 一. 當系統進入關閉狀態時，匯流排資訊發出休眠訊框或在匯流排長時間（超過預定時間）未活動後，各節點將會逐一進入靜止。
- 二. 直到節點上最後一個節點也靜止後，匯流排上所有節點便會進入休眠狀態。
- 三. 之後匯流排上的節點，可被任何節點請求喚醒，或於匯流排上發出間斷（準位變換）欄位喚醒。



6-1-5 中央閘道與網域喚醒

■ 低功耗狀態

休眠後的 ECU 內部 IC 元件 V_{CC} 已完全無電源，僅剩下 PMIC 與控制喚醒元件 (TJA1041) 電路上永久電源 30 的極低靜態電流，這個電流在設計上，依不同功能規模的 ECU，一般介於 $20 \sim 50\mu A$ 。



喚醒與休眠電路

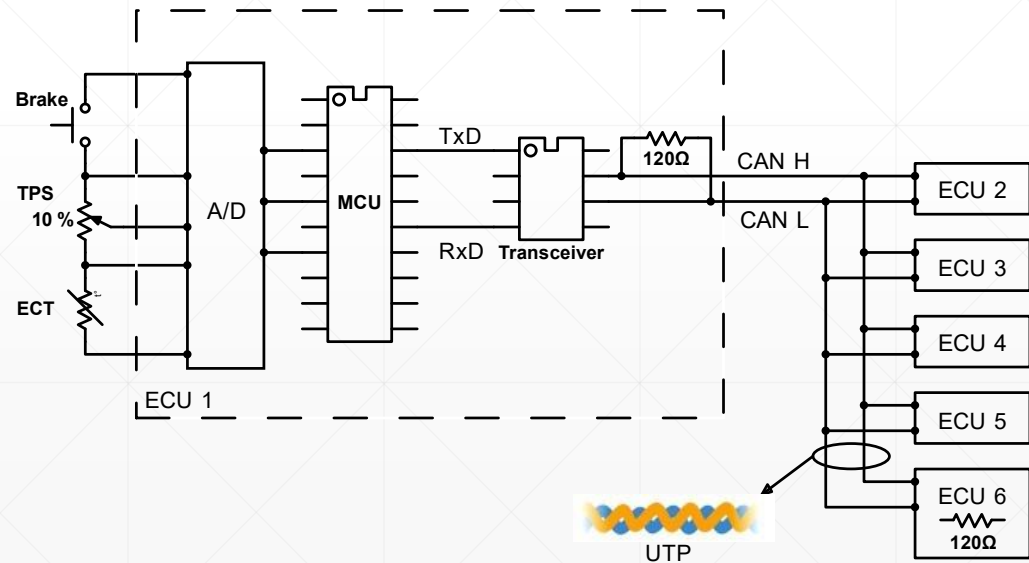
6-2 控制器區域網路

■ 概述

- 一. 控制器區域網路 (controller area network, CAN) , 可提供低價位且可靠的雙向通訊網路
- 二. 同時可溝通多組內部有配置 CAN 收發器 (transceiver) 的 ECU
- 三. 可將配置於 ECU 周圍的類比與數位輸入訊號, 按各週期時間傳輸於匯流排之間
- 四. 以 500 kbps 傳輸速率, 11 位元標準 ID, 有 8 個位元組資料的 CAN 計算, 一個訊框可在 256 μ s 內傳輸完畢

■ 6-2-1 實體層電路

- 一. CAN 在資料傳輸速率上分為高速與低速網路
- 二. 在實體層電路有雙線差動 (differential) 或單線通訊兩種

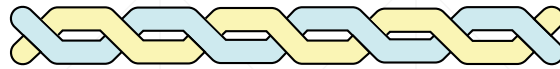


6-2-1 實體層電路

1. 雙線差動

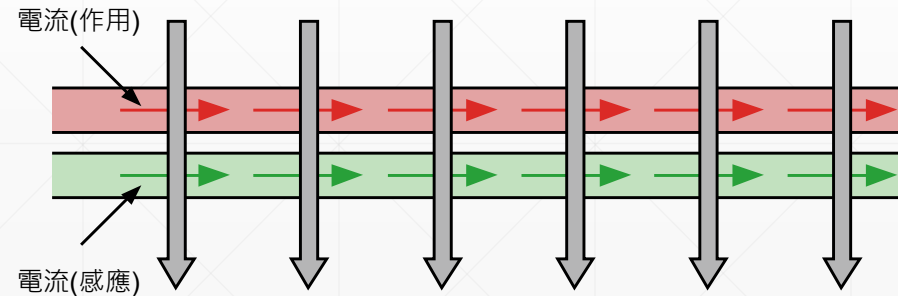
■ 無屏蔽雙絞線

- 一. 所有 ECU 均可經由 CAN H 及 CAN L 實體層的無屏蔽雙絞線 (unshielded twisted pair, UTP) 電纜傳送及接收相關訊息
- 二. 雙絞線是由一對相互絕緣的金屬導線絞合而成。採用這種方式，不僅可抵禦一部分來自外界環境的 EMI，亦可以降低自身對其它訊號線的干擾



■ 平行電纜線

在平行電纜中，電流「作用」過程中，會在纜線周圍產生磁力線，引起相鄰訊號線產生同向電流「感應」，進而使電壓變化而產生雜訊干擾。



6-2-1 實體層電路

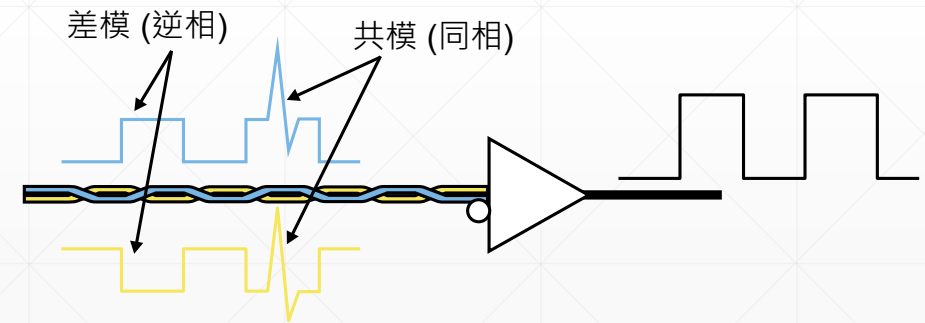
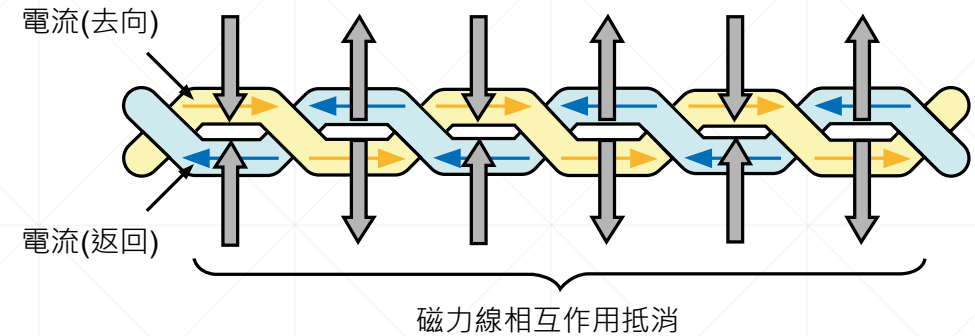
■ 雙絞電纜線

在差動訊號中，若將兩根絕緣銅導線按一定密度互相絞在一起，電流在「去向」與「返回」過程中，兩導線所產生的電磁波會相互抵消，有效降低訊號干擾程度。

■ 差模與共模訊號

當 EMI 作用在差動雙絞電纜線上時，絞合的愈緊密的時候，對訊號所產生的影響是一致的，此現象稱之為共模訊號。

在接收訊號的差動電路中，差模訊號會互相強化，而共模訊號則會彼此抵消，進而提取有效的差模訊號，使之產生正確的訊號輸出。



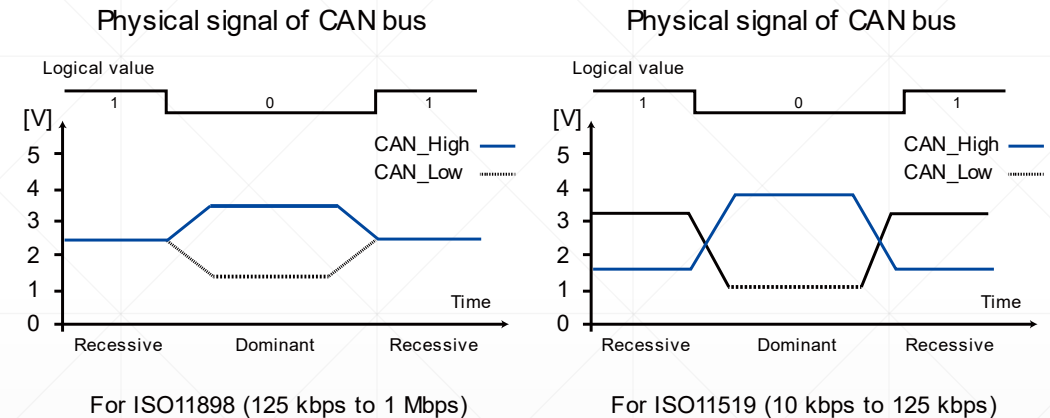
6-2-1 實體層電路

■ 終端電阻

- 一. 在「高速網路」傳送資料過程中，會產生一波波的電動勢
- 二. 當訊號傳送到終端時 (termination)，易產生反向電動勢，造成訊號干擾
- 三. 在 UTP 電纜的頭尾兩端 ECU 內，各配置一個約 120 歐姆的終端電阻，可有效吸收反向電動勢
- 四. 並聯後有效電阻約為 60 歐姆

■ 實體層電位

- 一. 雙線差動 CAN 實體層依資料傳輸速率區分為：
 - 1) 高速網路 (ISO-11898) 125 kbps ~ 1 Mbps
 - 2) 低速網路 (ISO-11519) 10 kbps ~ 125 kbps
- 二. 電壓波形準位兩協定有所不同，且低速網路並無終端電阻的存在
- 三. 當實體層訊號為顯性 (dominant) 時，收發器與 MCU 間的 RxD 邏輯值為 0，反之為隱性 (recessive) 時，邏輯值為 1

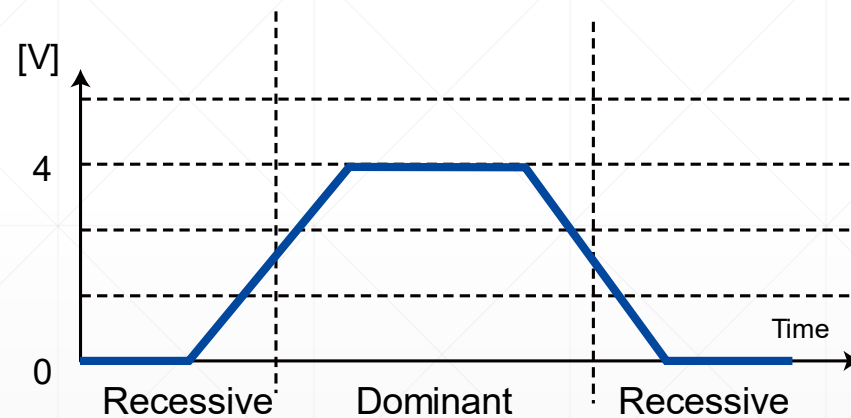


低速網路 (ISO-11519) 於2007年後，各車廠陸續停止使用，125 kbps速率都改採ISO-11898，讓整車CAN bus的實體層一致。

6-2-1 實體層電路

2. 單線通訊

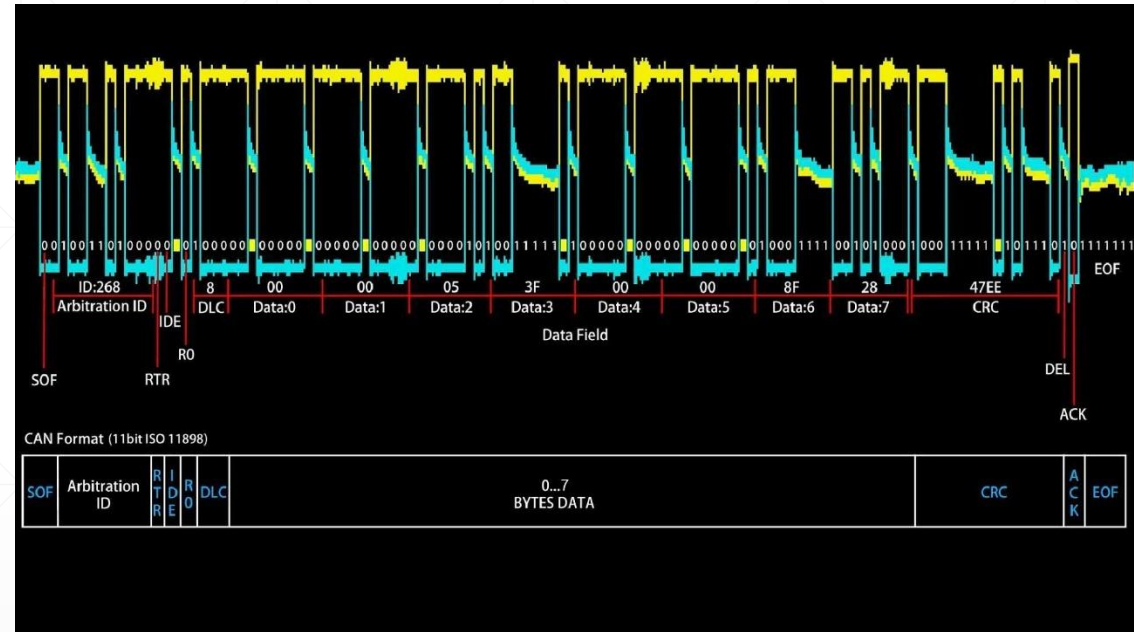
- 一. 單線通訊 (SAE J2411) 規範僅透過一條數據線就可進行雙向通訊
- 二. 適用於傳輸速率介於 33.3 kbps ~ 83.3 kbps 之間以及線路長度較短的 CAN 應用，諸如：不需要及時性資料傳輸的車身舒適便利控制或電動車供電設備與車輛接口間的通訊等



6-2-2 CAN訊框

- 一. 傳送資料和遠端 (請求資料) 訊框 (frame) ，在每個訊框的開始和結束處由起始 (SOF) 和停止 (EOF) 位元控制
- 二. 包括以下欄位：
 - 1) 仲裁
 - 2) 控制
 - 3) 資料
 - 4) CRC
 - 5) ACK
- 三. 當連續出現 5 個高或低位元，後面需補上 1 個位元的反相位填充
- 四. 訊框結束間隔 (INT) 3位元後，匯流排上的控制器可再發出新的訊框

ISO-11898量測波形



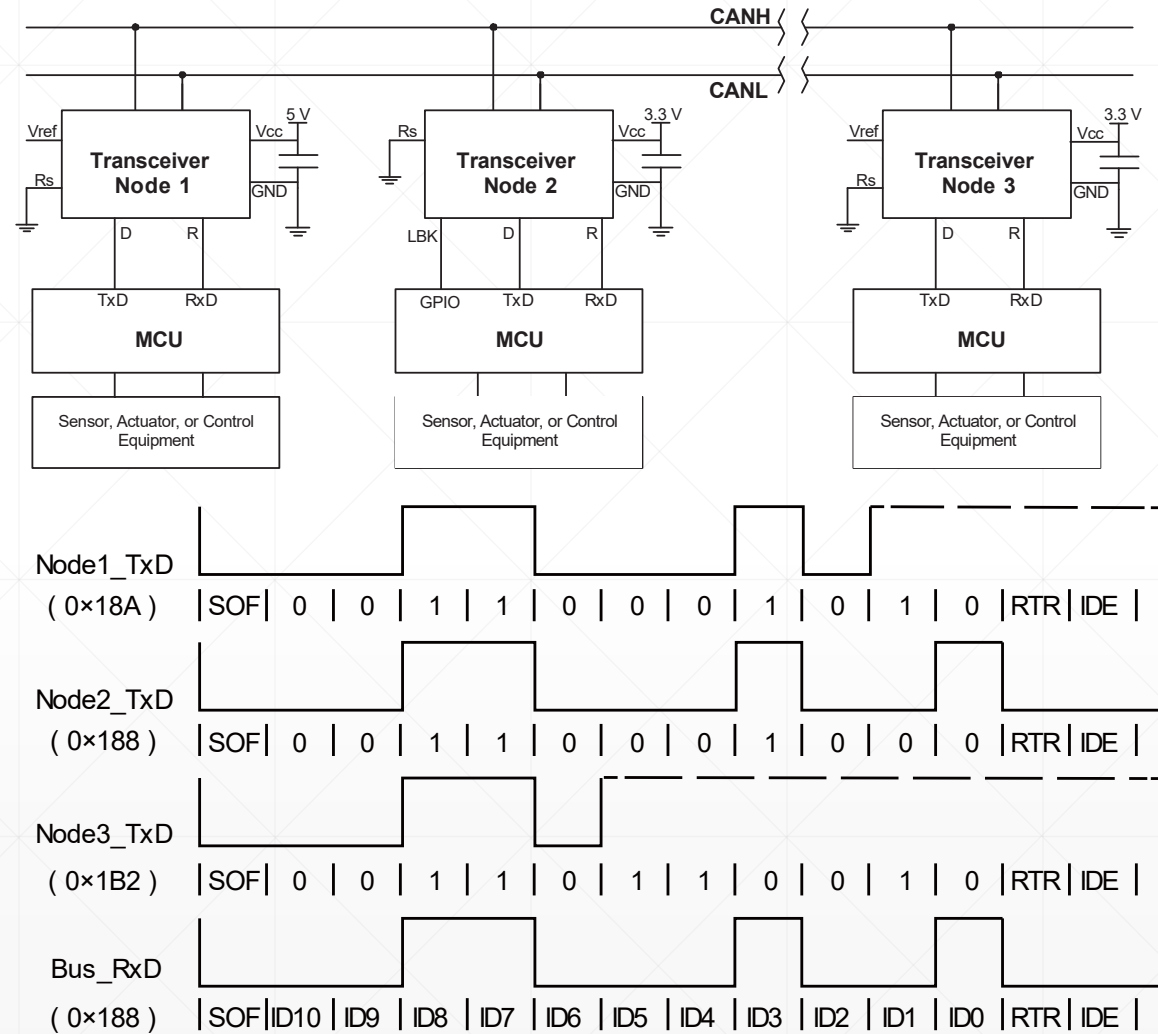
header			data	trailer			
SOF	仲裁	控制	資料	CRC	ACK	EOF	INT
1 bit	11 bits (標準ID) 29 bits (擴展ID)	6 bits	0~8 bytes	16 bits	2 bits	7 bits	3 bits

6-2-3 仲裁機制

- 一. 匯流排資料透過收發器將實體層電路轉換成邏輯數值，顯性為 0，隱性為 1 傳送至 MCU
- 二. MCU 將邏輯數值連接後進行訊息的格式化、仲裁及回應等
- 三. 通訊過程中，每筆訊息均具有其優先性，若有 2 個 ECU 同時嘗試傳送訊息，經仲裁 (arbitration) 結果，具有較高優先性 (ID 愈小者優先性愈高) 的訊息將先行發出，低優先性的訊號將延後傳送

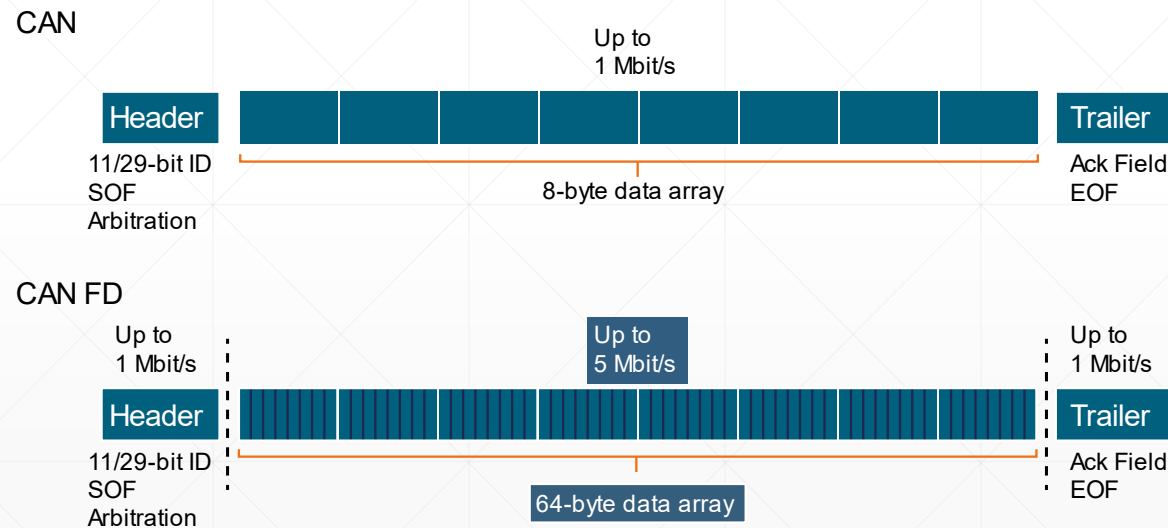
■ 進入仲裁

- 一. 3 個 Node 收發器的 TxD 同時發出 SOF
- 二. 當 bus 的 RxD 來到 ID5 時，Node 3 (ID_0x1B2) 經仲裁中斷
- 三. 當 bus 來到 ID1 時，Node 1 (ID_0x18A) 經仲裁中斷
- 四. 最後僅剩下 ID 最小的 Node 2 (ID_0x188) 完成後續的資料傳送



6-2-4 可變速率控制器區域網路

- 一. 可變速率控制器區域網路 (CAN flexible data rate, CAN FD) ， ISO-11898-1 。此協定是CAN的擴展版
- 二. 實體層與 CAN (ISO-11898) 相同
- 三. CAN FD 在資料區支持可變速率，傳輸速率擴展到 5 Mbps，也支持更長 64 bytes 的數據長度
- 四. 可藉由 MCU 硬體外設「數據加密」功能，避免資料被駭客竊取或竄改



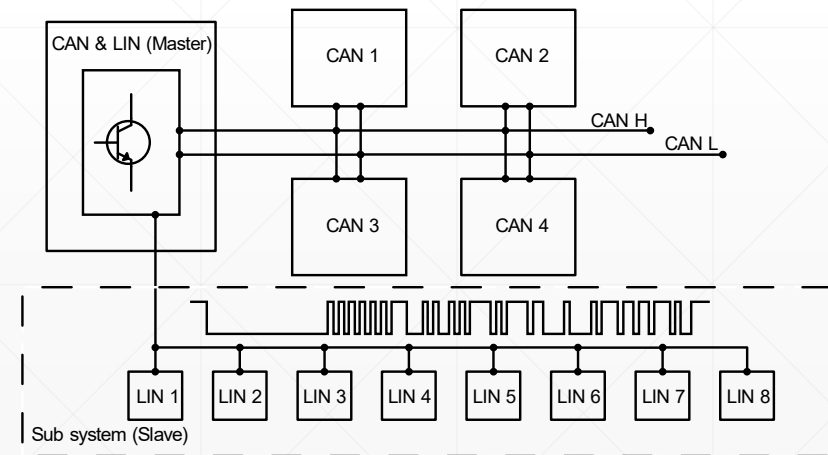
CAN & CAN FD訊框差異

6-3 本地互連網路

■ 概述

- 一. 本地互連網路 (local interconnect network, LIN) 匯流排，補充CAN擴展到應用中的「遠程分級子網路」
- 二. LIN 專為汽車網路建立的低價位初階多工通訊標準
- 三. 主要應用在感測與致動器以及車身便利等相關通訊與控制
- 四. 網路中所有節點均可經由實體層的單線電纜傳送及接收相關訊息
- 五. 其中包括 1 個主節點 (master) 和最多 15 個從節點 (slave)
- 六. 若以 19.2 kbps 傳輸速率，有 8 個位元組資料的 LIN 計算，一個訊框可在6.46 ms 內傳輸完畢

對電動車窗與座椅控制器等時效較低的裝置而言，高實作成本的 CAN 軟硬體反倒顯得大材小用。針對不需要 CAN 傳輸速率的應用而言，LIN 匯流排即可達到低速率高成本效益的通訊作業。



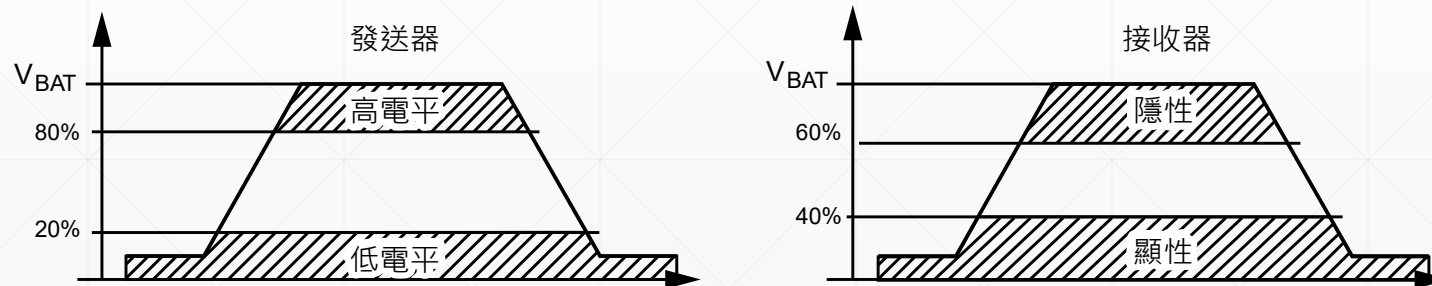
6-3-1 實體層電路

- 一. LIN實體層是根據增強的 ISO-9141 標準所實作的低成本單線雙向匯流排
- 二. 資料透過收發器將實體層電路轉換成邏輯數值
- 三. 傳輸速率從 1 kbps ~ 19.2 kbps。雖然這速率看起來很慢，但適用於預期應用，並可將 EMI 最小化

■ 實體層訊號

- 一. 實體層電氣準位電壓會隨著電瓶電壓 (V_{BAT}) 而改變
- 二. 門檻 (閾值) 電壓，由隱性 (高電平) 到顯性 (低電平) 或是由顯性到隱性是不相等的

假設 V_{BAT} 為 13 V 時，發送器低電平應低於 V_{BAT} 的 20%，高電平應達 V_{BAT} 的 80%，則低電平需 < 2.6 V 與高電平 > 10.4 V；而接收器低於 V_{BAT} 的 40% 時為顯性，達到 V_{BAT} 的 60% 則為隱性，則門檻電壓顯性需 < 5.2 V 與隱性 > 7.8 V。



6-3-2 LIN訊框

- 一. LIN 屬於一種廣播串行網路，常見是以週期性「輪詢廣播」為主要通訊方式
- 二. 所有標頭（header）訊息都是由主節點開始發出，包含識別碼（identifier, ID）
- 三. 只會有一個從節點回應主節點特定 ID 的訊息
- 四. 主節點也可以附帶訊息（命令），使從節點回應主節點要求及執行動作
- 五. 由於所有的通訊都是由主節點開始，故不需有仲裁機制
- 六. 傳送和回應資料訊框均在每個訊框的間斷欄位開始，並包括以下欄位：
 - 1) 同步
 - 2) 識別碼
 - 3) 資料
 - 4) 檢查總和

header			response / message	
break	sync	ID	data	checksum
14 bits	10 bits	10 bits	10 ~ 80 bits	10 bits

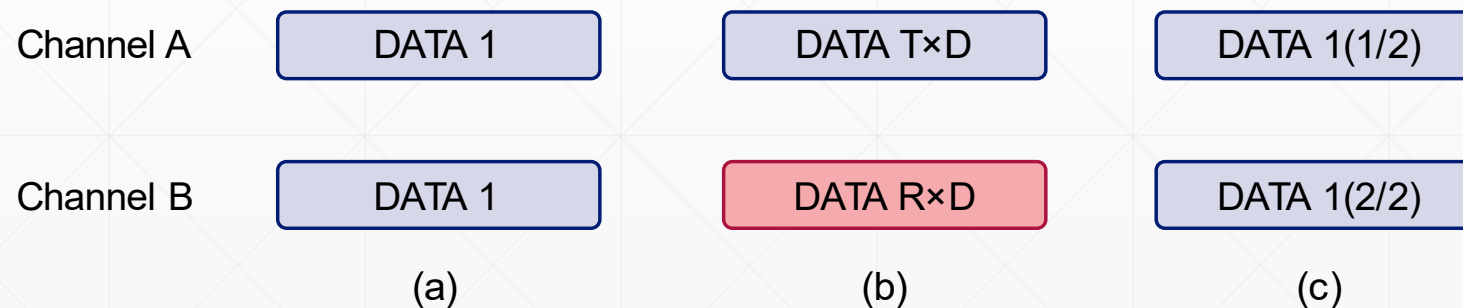
6-4 FlexRay

■ 概述

- 一. 專為滿足汽車 ECU 彼此之間的資料傳輸速率、資料量與穩定度，而發展的通訊技術
- 二. FlexRay 針對當今車輛電子線控 (x-by-wire) 系統，如煞車、轉向及主動式定速巡航等功能設計
- 三. 屬於精確、高容錯以及高速率的雙線差動雙向匯流排
- 四. ECU 內部的 FlexRay 收發器，可支援雙通道高速傳輸，單一通道介面所傳輸的資料速率高達 10 Mbps
- 五. 若以 10 Mbps 傳輸速率，有 32 個位元組資料的 FlexRay 計算，一個訊框最快可在 32 μ s 傳輸完畢

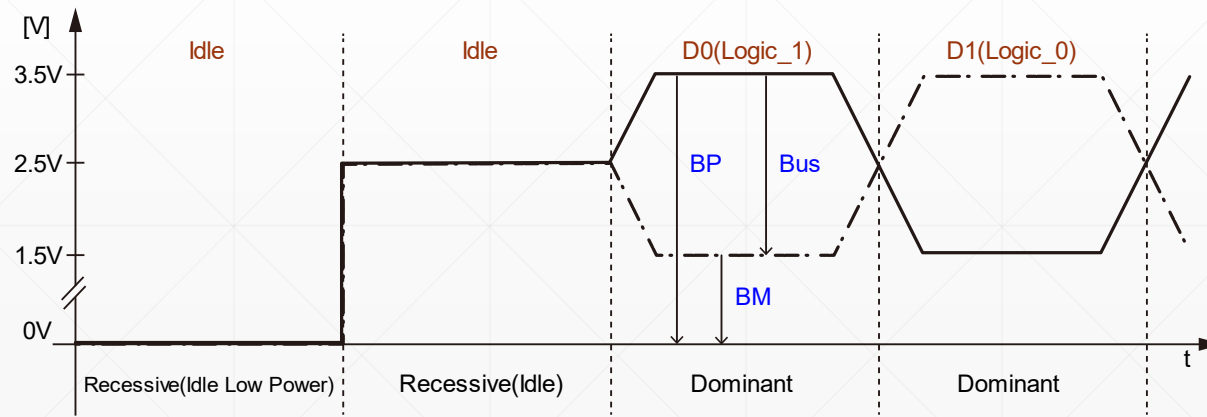
■ 6-4-1 通道模式

- 一. 當網路架構採用雙通道時，其中一通道發生錯誤，另一通道則視為備援通道或稱冗餘，擔起全部通訊責任
- 二. 一般通訊模式下傳輸速率則為單一通道的二倍，因此可達 20 Mbps



6-4-2 實體層電路

- 一. FlexRay 實體層遵循 ISO-17458 規範，傳輸速率 2.5 ~ 10 Mbps
- 二. ECU 均可經由 BP (bus line plus) 以及 BM (bus line minus) 的無屏蔽雙絞線 (UTP) 電纜傳送及接收相關訊息
- 三. 需配置終端電阻，但阻值視電路清況略有不同，在 UTP 電纜的頭尾二端 ECU 內，各配置一個約 80 ~ 110 Ω 的電阻，可有效吸收反向電動勢，並聯後有效電阻約為 40 ~ 55 Ω
- 四. 實體層總線有 4 個電位級別，分配給隱性與顯性狀態：
 - 1) 在 ECU 未傳送資料時為隱性，反之則為顯性
 - 2) BP 與 BM 在 idle 時呈現三態 (tri-state)，即電位不拉高也不拉低，約為 2.5 V
 - 3) 在低功率休眠時，偏壓 (biasing) 接近 0 V
 - 4) BP 與 BM 在顯性時，BP 電位在上與 BM 電位在下時，邏輯資料為 1，反之時資料為 0



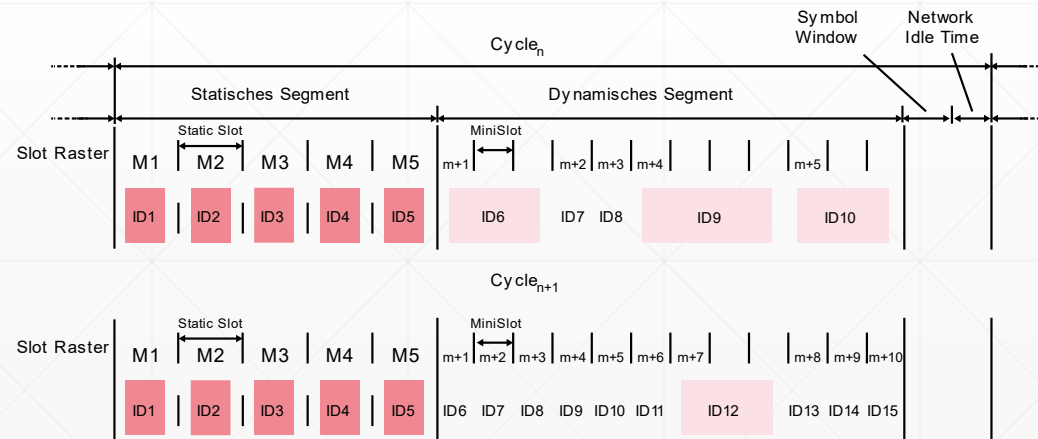
6-4-3 FlexRay 訊框

FlexRay 訊框由三大區段組成，架構包括：標頭區段、有效負載 (payload) 區段和訊框尾段。

header					payload	trailer
指示器	ID	有效負載長度	header CRC	cycle count	資料	CRC
5 bits	11 bits	7 bits	11 bits	6 bits	0~254 bytes	24 bits

6-4-4 靜態與動態訊框區

- 一. FlexRay 使用時間觸發和事件觸發通訊協定，並結合先前的 CAN 高速雙向多控制器溝通和LIN順序通訊協定優點
- 二. 在一個通訊週期 (communication cycle) 長度時間 (典型為 5 ms)，將其分割成包括靜態 (static) 和動態 (dynamic) 訊框區。



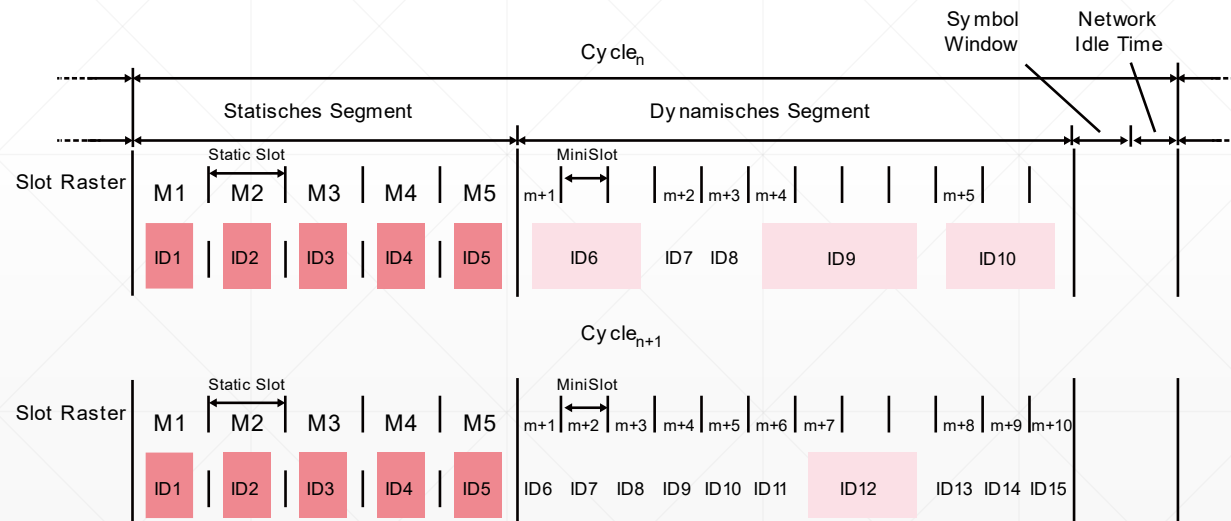
6-4-4 靜態與動態訊框區

1. 靜態訊框

每個 ECU 在區內所預定時間槽 (slot, M) 進行常態性資料或訊號通訊，從區內指定槽 ID1 訊框開始傳送訊息至每一個 Mn。

2. 動態訊框

- 一. 每個 ECU 有機會在每個通訊週期內，透過在週期內所分割的動態訊框區微小槽 (mini slot, m) 進行通訊
- 二. 微小槽 m 要比預定時間槽 M 要來的短許多，主要是做計數用



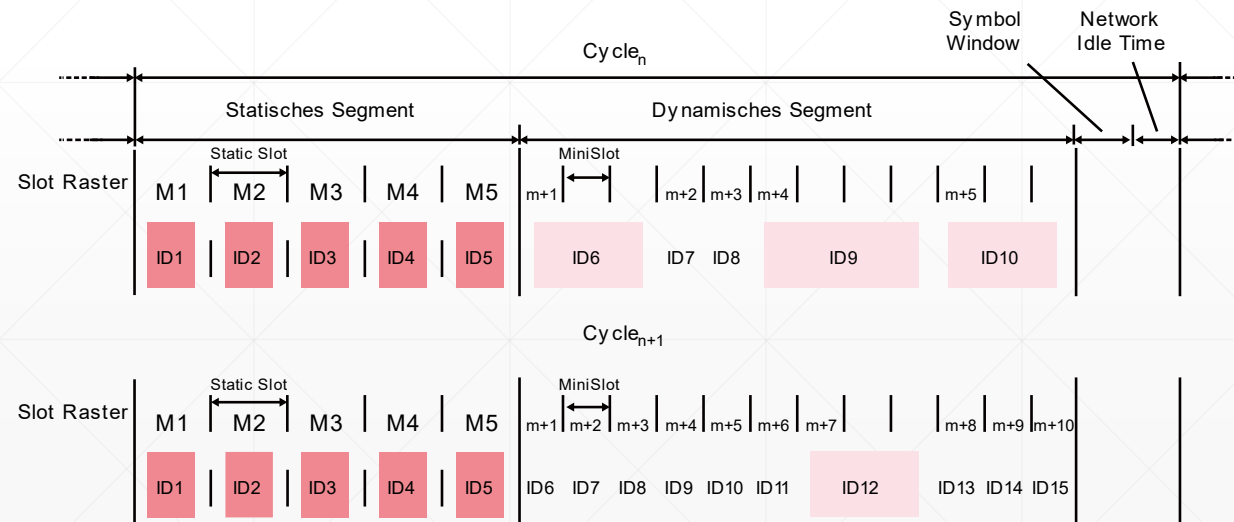
6-4-4 靜態與動態訊框區

■ 通用仲裁網格時序

若靜態區總共有 5 個預定時間槽 M ，那微小槽 m 就等於 5，在動態訊框區就以第一個微小槽 $m+1$ ($5 + 1$) 的時間槽可送出 ID6 訊框，但由於 ID6 結束後 ID7 沒有送出，因此跳過，直到 $m+4$ 的時間槽允許出現 ID9 訊框，後續以此類推。

倘若此週期動態 ID12 無足夠的時間槽可送出，則會排序到下一個週期 ($Cycle_{n+1}$)，直到對應的 ID 送出為止。

具有較小 ID 訊息將先行發出，較大 ID 訊息將延後傳送。動態區多為車輛診斷、下載或更新以及需時效性的資料或觸發。



6-4-4 靜態與動態訊框區

3. 同步時基性與多方存取

- 一. FlexRay 具有同步時基傳輸特性，各連接節點都依據相同的時序來運作
- 二. 每隔一段週期時間，就會自行確認時序的偏差性，自動對偏差進行修正
- 三. 可將時序偏差限制於一定限度內，使時序的精確度介於 $0.5 \sim 10 \mu\text{s}$ 之間（一般多為 $1 \sim 2 \mu\text{s}$ ）
- 四. 高精確的時脈傳輸特性，再搭配時間觸發（time triggered）以及分時多方存取（time division multiple access, TDMA）的協定作法，可使傳輸延遲時間限制在 $50 \mu\text{s}$ 之內

6-5 單邊節點傳送

■ 概述

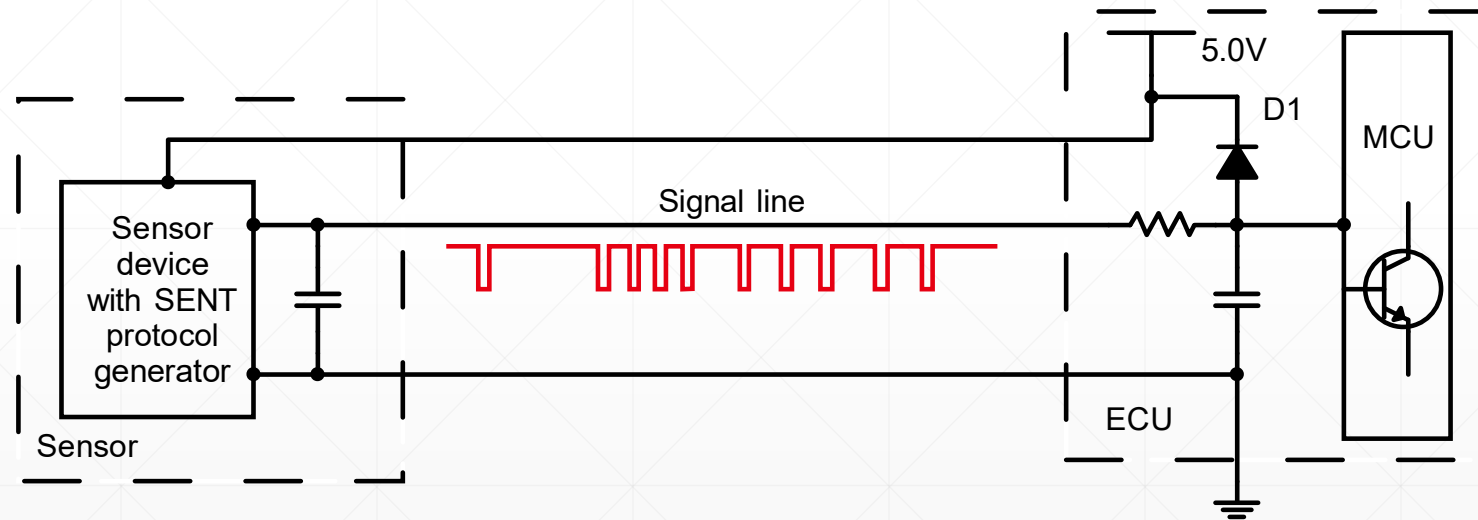
- 一. 單邊節點傳送 (single edge nibble transmission, SENT) 協定，是專為汽車智能感測器訊號值傳送到 ECU 建立的「點對點」 (point to point) 方案。譬如：檔位開關、節氣門位置、壓力訊號、空氣流量以及溫度等
- 二. 解決高精密度感測器類比訊號在導線上因溫度係數或連接器接點產生阻抗而改變的電壓誤差值，可同時傳輸多個感測器數值

■ 6-5-1 基本特色

- 一. SENT 採用低價位單工通訊 (單向通訊) 作業
- 二. 由不同時間寬度 (PWM) 所組成的半位元組 (nibble) 數據構成
- 三. 及時性的資料以高頻發送，主流傳輸寬度時間 $3 \mu\text{s}$ ，傳輸速率為 333 kbps
- 四. SENT 訊號較原本感測器的類比訊號相比，具有更好的電磁敏感度 (electromagnetic sensibility, EMS)
- 五. 有傳輸故障訊息的自我診斷能力

6-5-2 實體層電路

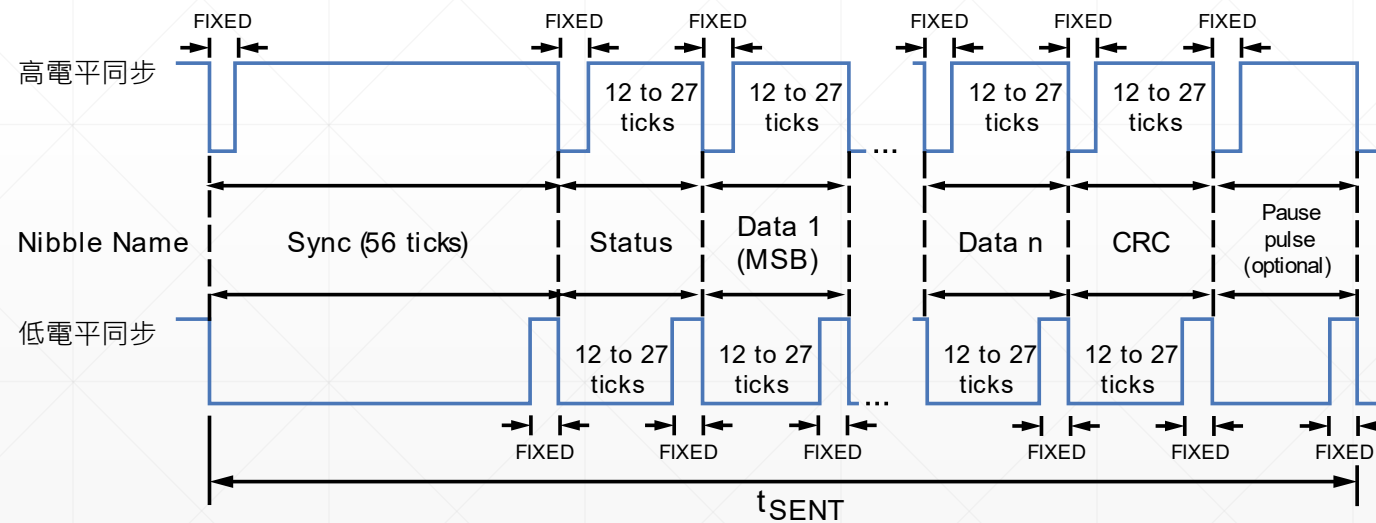
- 一. SENT 實體層遵循 SAE-J2716 規範，用於 ECU 與感測器之間的通訊
- 二. ECU 內無需專屬收發器，感測器採用三條電線，分別為 5 V 電壓、接地以及訊號線 (signal line)
- 三. 訊號線邏輯準位低電平最大應 $< 0.5 \text{ V}$ 與高電平最小應 $> 4.1 \text{ V}$



6-5-3 同步電平與時鐘刻點

- 一. SENT 區分為高電平同步或低電平同步
 - 二. 通常每個時鐘刻點 (tick) 約為 $3\ \mu\text{s}$, 典型容寬 (tolerance) 值為 20 %
 - 三. 每個 FIXED 有 5 個 ticks 時間 ($15\ \mu\text{s}$)
- 高電平同步為例

SENT 訊框同步 (sync) 是以 1 個低電平的 FIXED 再轉為高電平開始 (start) , 並持續共 56 ($168\ \mu\text{s}$) 刻點後回到 FIXED 。

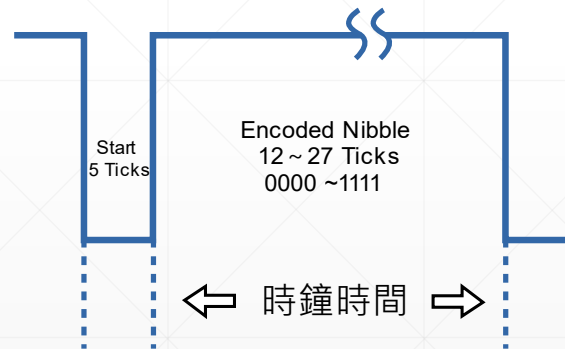


6-5-4 SENT的數據值

- 一. SENT 數據值由「時鐘時間」長度所決定
- 二. 連續 12 個 ticks 高電平時間 (36 μs) , 該數據為二進制 0000
- 三. 連續 13 個 ticks 高電平時間 (39 μs) , 數據為二進制 0001
- 四. 數據來到二進制 1111 , 則需連續 27 個 ticks 高電平時間 (81 μs) , 每個數據值長度為 4 位元 (半位元組 ; nibble)

SENT 數據 :

$$\text{Nibble}_{(2)} = (\text{時鐘時間} / \text{刻點時間}) - 12_{(10)}$$



SENT 的數據值 (高電平同步)

6-5-5 典型SENT傳輸訊框

- 一. SENT 訊框以 1 個 FIXED 開始
- 二. Sync 時間為 56 個 ticks 後來到 status nibble
- 三. 每個 nibble 都有間隔 1 個 FIXED 的 5 個 ticks 低電平時間
- 四. 共有 1 至 6 個 data nibble，每個 data 為 4 位元，若分拆二個感測器數據，仍有 12 位元的精準度。

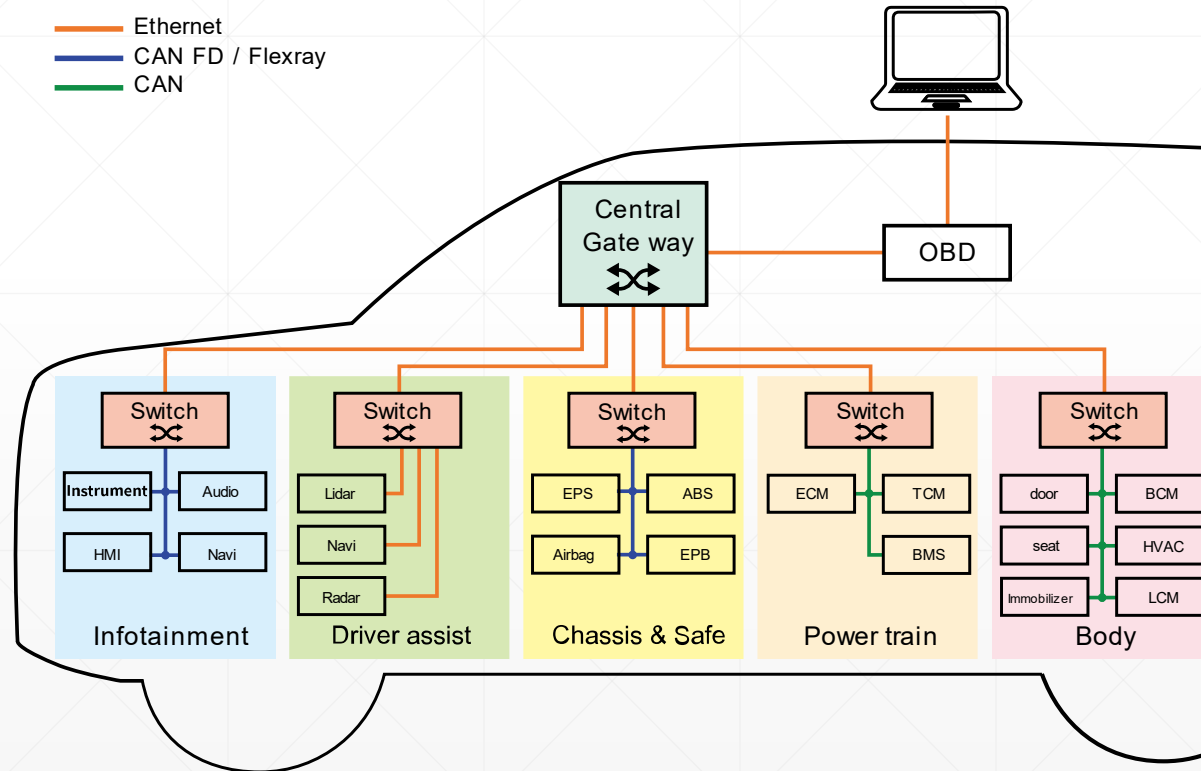
4 位元 Status 通訊信息內容，例如：故障指示和操作模式。亦可成為序列資料狀態列，位元 1~2 為保留位，位元 3 為序列資料，位元 4 為開始。

sync 56 ticks	status nibble 12~27 ticks	data nibble 1~6 12~27 ticks per data	CRC (data only) 12~27 ticks	pause (optional)
------------------	------------------------------	---	----------------------------------	---------------------

6-6 乙太網路

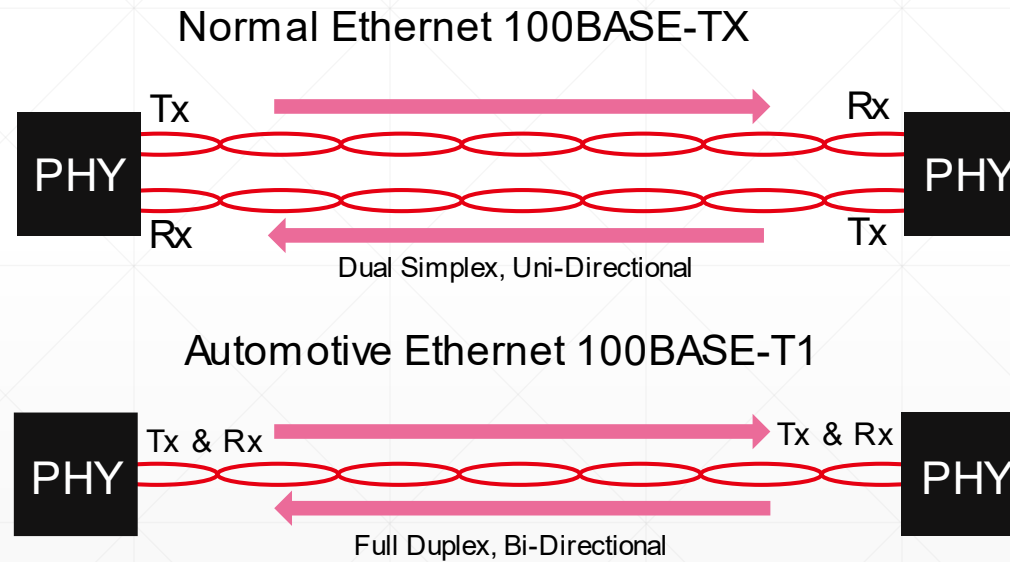
■ 概述

- 一. ADAS、主被動式電子控制及安全系統，以及不同網域彼此間的通訊，會需要大量資料在整車內進行傳輸
- 二. 不同於其它匯流排，車用乙太網路 (ethernet) 實體層和邏輯層是點對點的網路結構



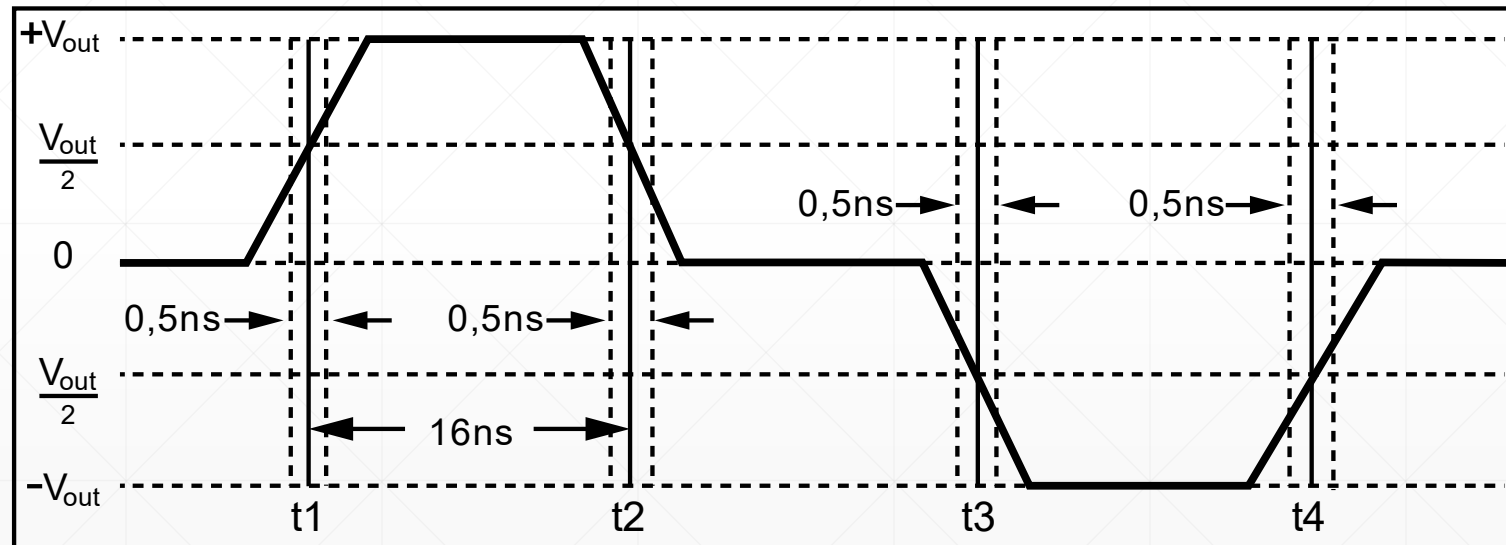
6-6-1 佈線方式

車用乙太網路發源於已經過成熟而穩定發展的資訊技術（ information technology, IT ），可以提供極高的通訊速度與頻寬。不同於消費性電子乙太網路，車用乙太網路實體層使用單一無屏蔽雙絞線佈線方式，可同時用於發射及接收資料，以降低重量和成本。



6-6-2 實體層訊號

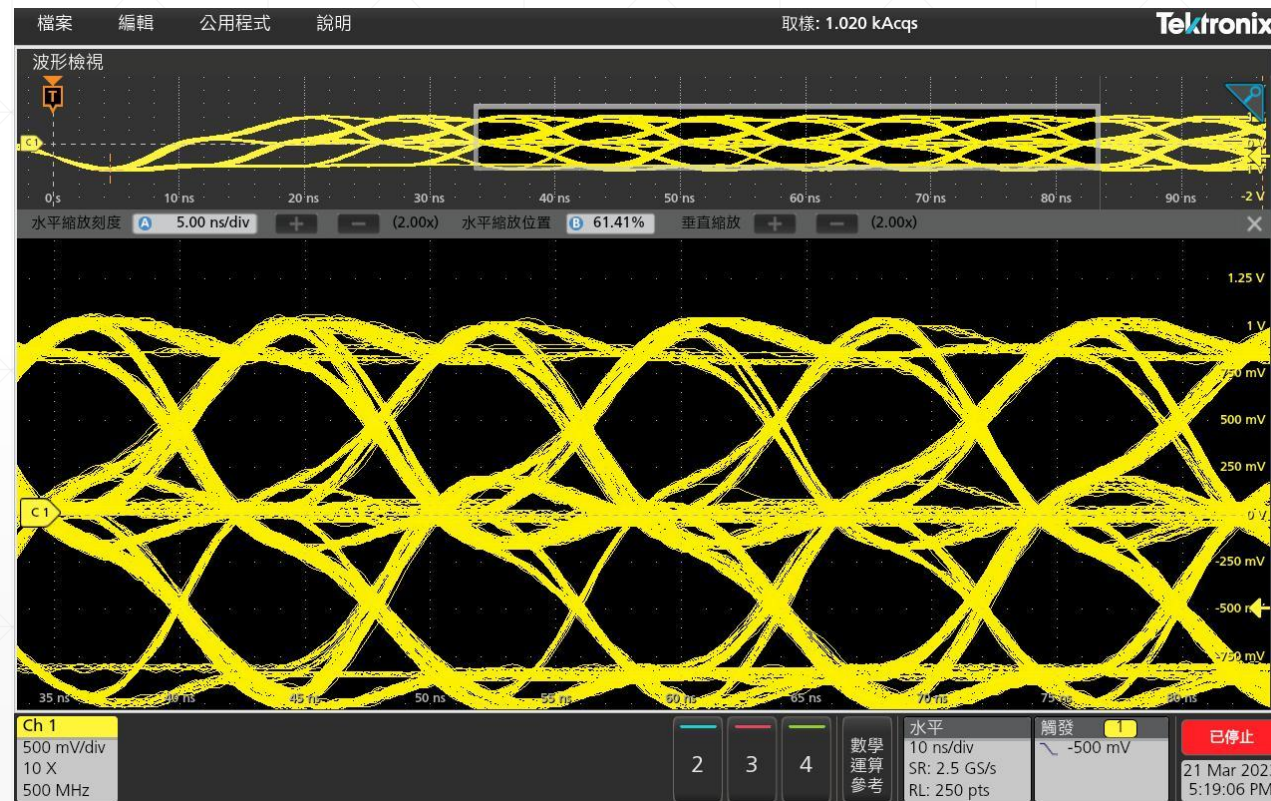
- 一. 電氣實體層使用三級脈衝振幅調變 (three level pulse amplitude modulation , PAM3) 訊號來達到高資料速率和可靠度
- 二. UTP 電纜其中一條是 data + , 另一條則是 data -
- 三. PAM 3 訊號由連續 4 個週期 $t_1 \sim t_4$ 的三態 0, 1, -1 狀態形成 , 相鄰位元不會有相同的狀態
- 四. 減掉上升及下降源時間 , 每個位元時間為 15 ns , 速率為 66.667 Mb/s , 故屬於 100 base



6-6-2 實體層訊號

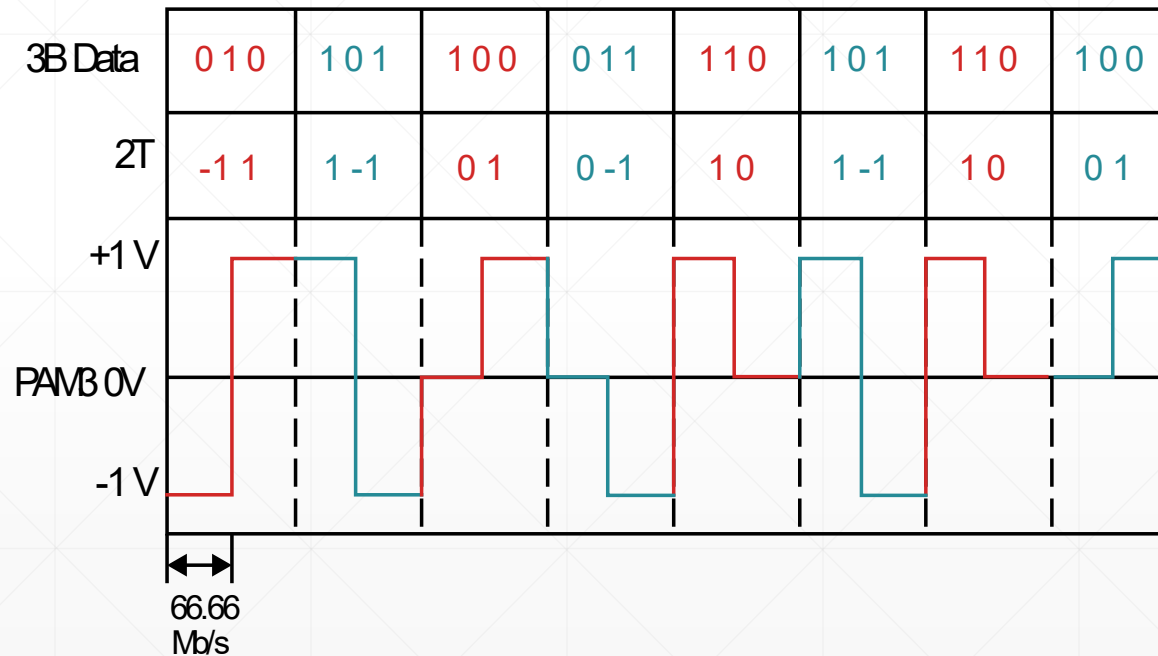
■ 網眼圖

100 base-T1 / 66.667 Mb/s 實務量測下，波形檢測選擇無限累積模式，所形成的網眼圖（eye diagram）。



6-6-3 邏輯層訊號

- 一. PAM3 為三態訊號，進行邏輯訊號轉換時，採用三元對 (ternary pair, T) 資料編碼 (3B data)
- 二. 訊號映射需要 2 個三態位元 (2T; TA, TB) 的組成，故亦稱為 3B2T 訊號映射



3B	TA	TB
000	-1	-1
001	-1	0
010	-1	1
011	0	-1
100	0	1
101	1	-1
110	1	0
111	1	1

6-6-3 邏輯層訊號

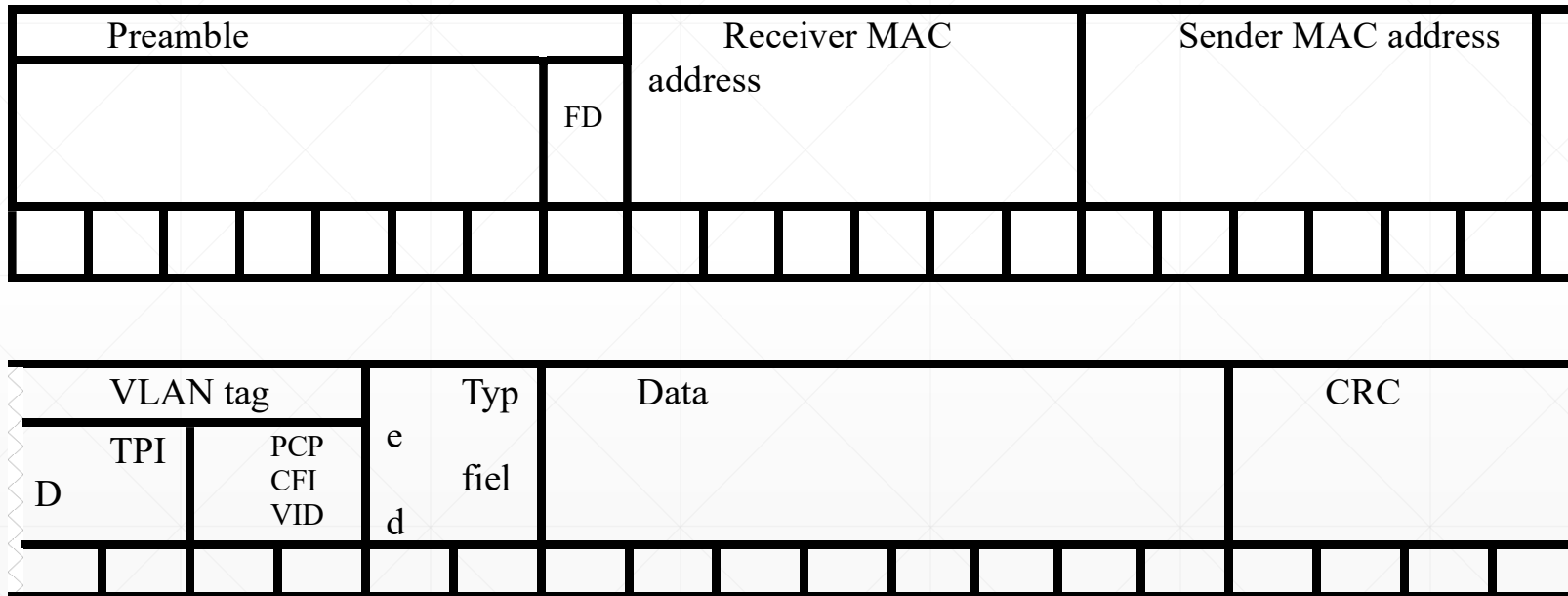
■ 邏輯層資料轉換

乙太網每 1 幀為 8 位元 (octets) ，因此 3B Data 還需轉換成 8 位元。

	Data							
3B	010	101	100	011	110	101	110	100
4B	0101	0110	0011	1101	0111	0100		
8B	01010110			00111101		01110100		
HEX	0x56			0x3D		0x74		

6-6-4 乙太網路訊框

Ethernet 每 1 幀為 8 位元，訊框以 1 個連續 7 個帶有 0x55 的前導碼開始，由於是點對點的通訊，在兩控制器訊框內有預設好的優先權代碼，彼此依照優先權進行順序發送並接收。



6-6-5 車用乙太網路規範

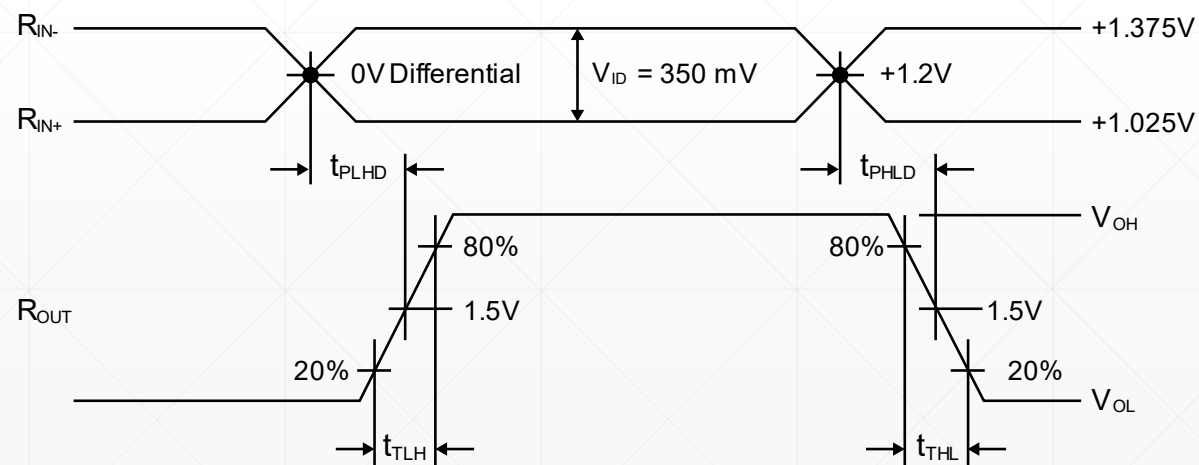
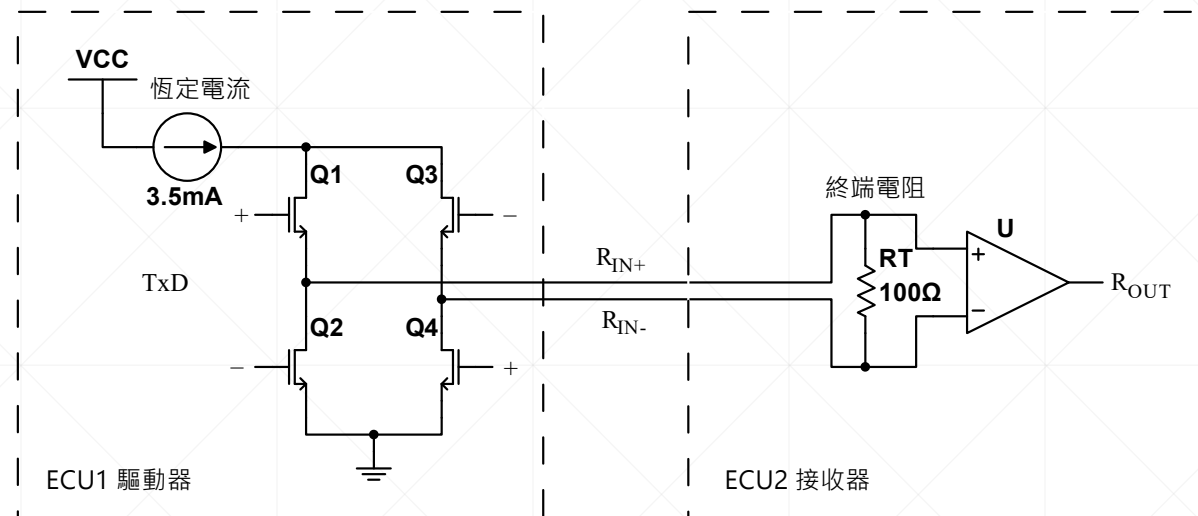
相較於一般的車載通訊技術，乙太網路與車聯網現有的基礎設施及網路技術有著更高相容性，這也意味著乙太網路將會是車輛對外通訊的主要骨幹。

	Ethernet 10 Base-T1S	Ethernet 100 Base-T1	Ethernet 1000 Base-T1	Ethernet 100 Base-TX
網路標準	IEEE 802.3cg	IEEE 802.3bw	IEEE 802.3bp	IEEE 802.3
資料速度	10 Mbps	100 Mbps	1000 Mbps	100 Mbps
訊號	PAM3	PAM3	PAM3	MLT3
速度	@ 12.5 Mb/s	@ 66.667 Mb/s	@ 750 Mb/s	@ 125 Mb/s
纜線長度	15 m / 25 m	15 m	15 m	100 m
電壓	1 Vpp	2.2 Vpp	1.3 Vpp	2.2 Vpp
佈線	單一雙絞芯	單一雙絞芯	單一雙絞芯	兩對雙絞芯
應用	非即時性需求資訊	資訊及ADAS	資訊及ADAS	車載診斷

6-7 低電壓差動信號

■ 概述

智慧座艙對於車載娛樂、攝影機、數位儀表板、抬頭顯示器及中控大螢幕彼此間的通訊需求大增。然而高清的影像資料需要極高的資料速率，但我們又不希望產生太大的 EMI 發散。點對點的單向低電壓差動信號 (low-voltage differential signaling, LVDS)，藉由低電壓振幅、恆定電流控制與差動架構，有效降低 EMI 發散。

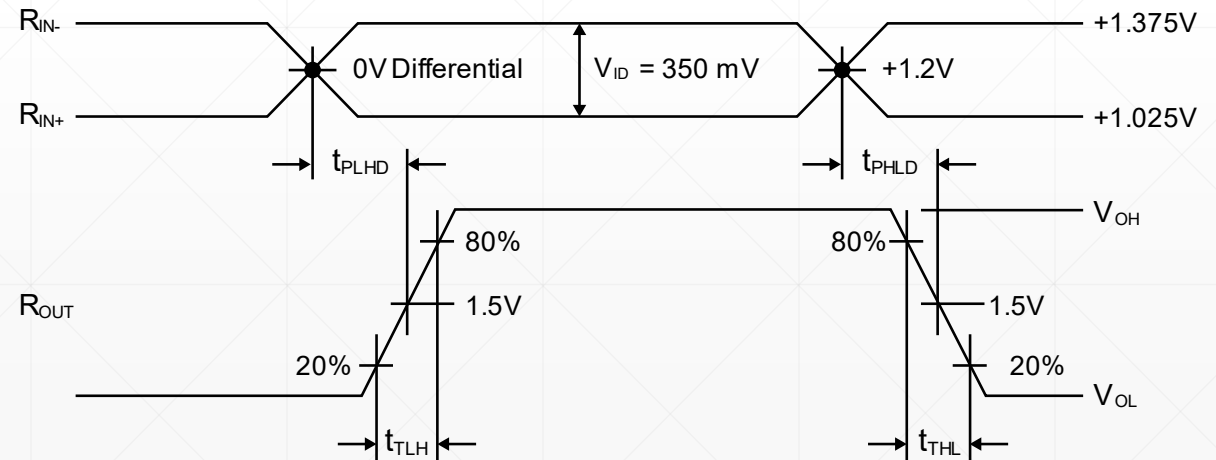
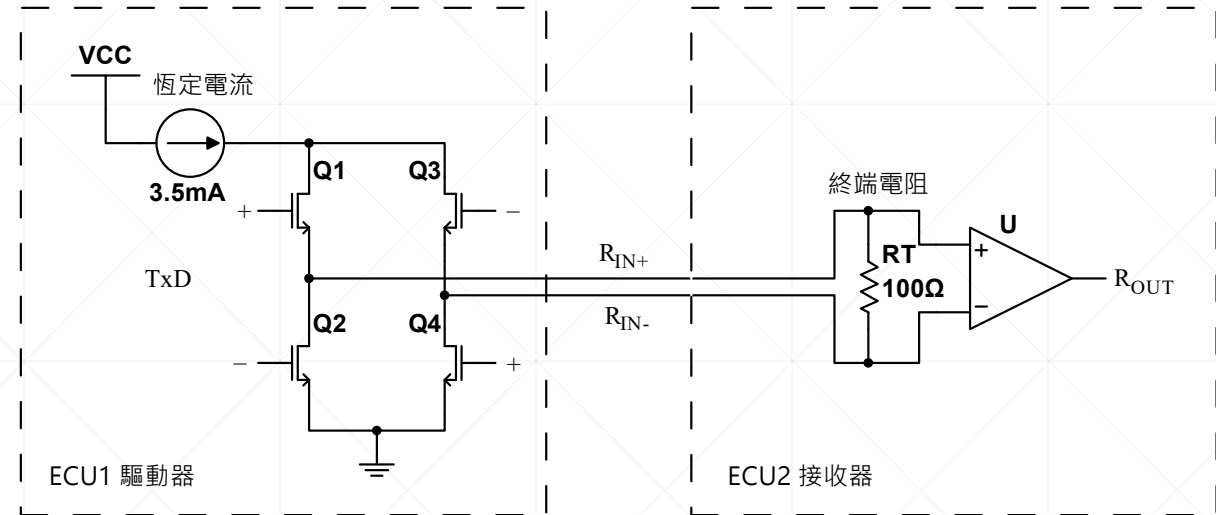


6-7-1 終端電阻與門檻電壓

- 一. LVDS 驅動器由一個定電流差動電路所構成，典型電流為3.5 mA
- 二. 接收器具有很高的輸入阻抗與一個緊鄰接收器介於 $90 \sim 130 \Omega$ 的終端電阻所構成
- 三. 差動門檻電壓最大約為 200 mV

6-7-2 實體層電位與傳輸速率

- 一. 驅動器輸出電流，幾乎都是流經終端電阻
- 二. 車用 LVDS 實體層電位在 Idle 時約為1.2V
- 三. 若恆定電流為 3.5 mA，終端電阻值為 100Ω ，根據歐姆定律得知，接收器兩端的電壓振幅大約為 350 mV，將會大於200 mV 的門檻電壓，藉此轉換為邏輯 1 或邏輯 0 的輸出訊號
- 四. LVDS 實體層電位設計在 250 ~ 450 mV 間
- 五. 傳輸速率在 100 Mbps ~ 1 Gbps 以上



6-8 空中下載與更新技術

■ 概述

空中 (over the air, OTA) 下載技術，不僅不用再使用電纜而是透過無線方式來執行 ECU 的韌體更新下載，而且還能提供語音和數據服務，這可應用蜂窩無線電和無線區域網路 (wireless LAN, WLAN) 在內的各種無線電標準來實現。

■ 6-8-1 汽車 OTA 生態鏈

1. 雲端伺服器

- 一. 雲端 (cloud) 伺服器需要儲存 ECU 的韌體映像和相關資訊
- 二. 一台車可能會有許多不同一階 (tier 1) 供應商的電控系統配置
- 三. 必須從許多不同供應商那裡收集所需要發佈更新的映像資料 (譬如：Bosch、Continental 或 Denso)，並將它們組合成一個統一的映像，並進一步發佈到車端系統
- 四. 大多數車廠都採用第三方支持架構雲端系統，不會自己去創建雲端

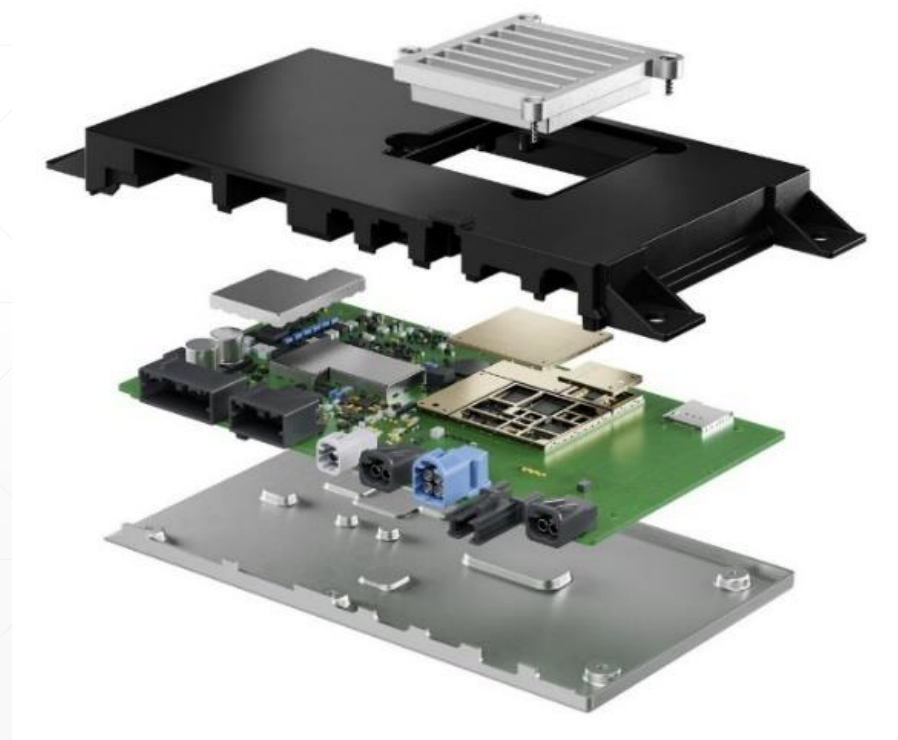
2. 通信渠道

- 一. 通信渠道的硬體主要是由電信商的基礎措施所支持
- 二. 通信渠道也需要安全的傳輸，否則可能會導致許多安全隱憂，因為信息可能會遭受駭客的攻擊或破壞
- 三. 車廠利用各種技術或採用第三方安全解決方案來保護通信渠道，確保這些更新能順利到車端系統

6-8-1 汽車 OTA 生態鏈

3. 車端系統

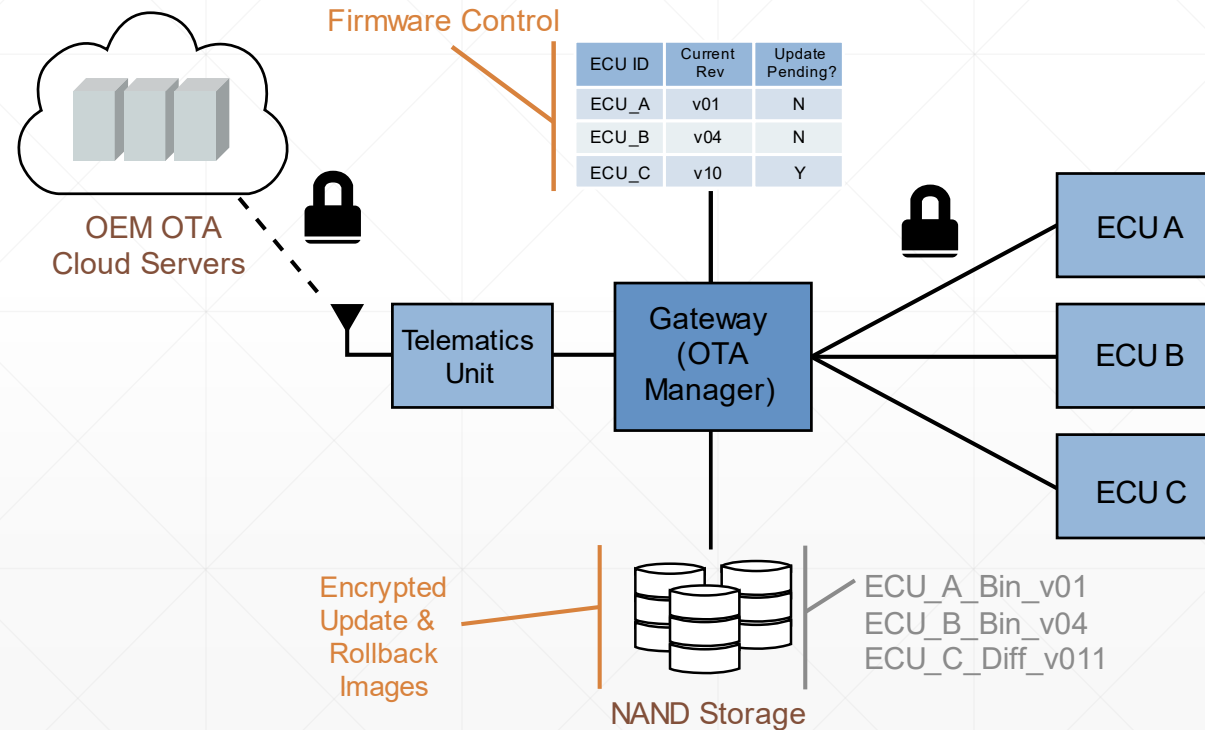
透過遠程資訊服務控制單元 (telematics control unit, TCU) 內的用戶身分模組 (subscriber identity module, SIM) ，允許車輛對通信渠道 (GSM或CDMA) 的空中接口或是經由 Wi-Fi 存取技術將雲端數據下載至中央網關進行遠程更新與管理。



6-8-2 汽車 OTA 更新流程

- 一. 無論雲端的空中接口或車端的實體接口，在 OTA 更新下載過程中的資料都會進行加密
- 二. 各 ECU 的韌體 (firmware) 與硬體的版本會記錄在網關內，以及定期透過 TCU 與雲端進行檢查
- 三. 將雲端新韌體儲存在網關內的 NAND storage 記憶體內，以提供相關 ECU 進行更新

當網關有已下載新韌體可供下載到 ECU C 時，藉由記憶體分區映射技術，可在行駛中進行更新流程。



6-8-3 記憶體分區與映射

- 一. ECU 最初在記憶體規劃時，會將實體（physical）記憶體分區
- 二. 程序：
 - 1) 系統指定實體區 block A 映射（mapping）到邏輯區（logical）進行它的程序
 - 2) 新韌體更新則會被下載到 block B
 - 3) 當車輛電源關閉，系統會檢查下載在 block B 新韌體的正确性
 - 4) 若無問題，在下次車輛重新開啟電源時，系統則會重新指定新版本韌體 Block B 映射到邏輯區進行它的程序，以達到切換韌體版本的功能
- 三. 確保不會因為下載不完整的資料，造成更新失敗，必要時還可以指定回舊韌體的區塊

	分區	位置	Size
bootloader	boot	0x000~0x3FFF	16 kbyte
physical	block A	0x100000~0x1FFFFFF	1 Mbyte
	block B	0x200000~0x2FFFFFF	1 Mbyte
logical	mapping (block A or block B or block A & block B)	0x900000~0xAFFFFFF	2 Mbyte

6-8-3 記憶體分區與映射

■ 記憶體映射流程

