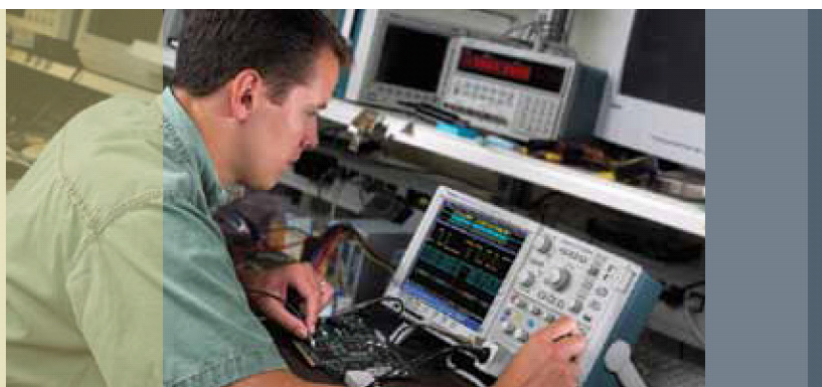




疑難排解嵌入式系統設計中的串列匯流排

應用摘要

您將學到：

如何使用 Tektronix 示波器的強大觸發、解碼和搜尋功能，以極高的效率解決嵌入式系統設計問題。

引言

當今嵌入式系統已經無所不在。嵌入式系統可簡單定義為屬於大型系統或機器的一部分，是一種專用的電腦系統，其目的是為該系統或機器提供監測和控制服務。典型的嵌入式系統是從啟動時即開始執行某些專用的應用程式，直到關閉後才會停止。當前設計和製造的所有電子裝置，均屬於嵌入式系統。下列為一些嵌入式系統產品的清單：

- 鬧鐘
- 自動櫃員機 (ATM)
- 行動電話
- 電腦印表機
- 防鎖死煞車控制器
- 微波爐
- 飛彈的慣性導航系統
- DVD 播放機
- 個人數位助理 (PDA)
- 工業自動化和監控的可編程邏輯控制器 (PLC)
- 可攜式音樂播放機
- 甚至您的烤麵包機...

嵌入式系統可能包含許多不同類型的裝置，包括微處理器、微控制器、DSP、RAM、EPROM、FPGA、A/D、D/A和 I/O。這些裝置傳統上是使用寬並列匯流排進行相互通訊及與外界通訊。但是時至今日，嵌入式系統設計中所使用的基本構造元件，越來越多不再使用寬並列匯流排，取而代之的是串列匯流排，原因如下：

- 路由的訊號較少，需要較小的電路板空間
- 成本較低
- 電源需求較低
- 封裝上的接腳數較少
- 嵌入式時脈
- 具較佳雜訊抗干擾的差動式訊號
- 容易取得使用標準串列介面的元件

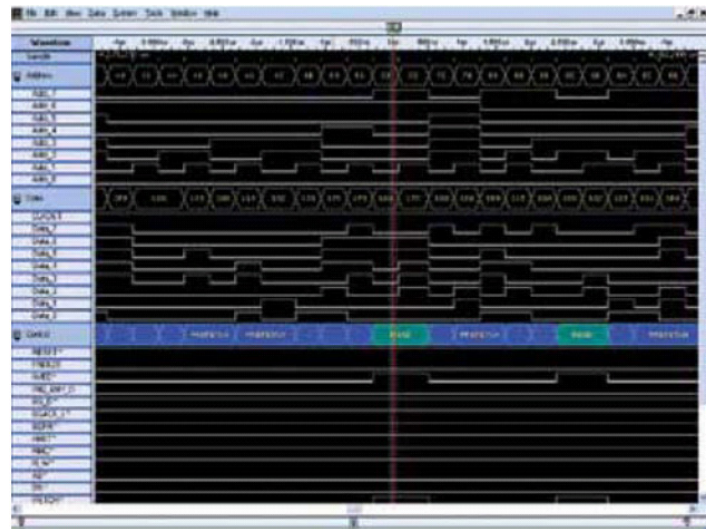


圖 1. 邏輯分析儀擷取微控制器的時脈、位址匯流排、資料匯流排和控制線。

雖然串列匯流排提供許多優勢，但僅因以串列而非並列方式傳送資訊，就帶給嵌入式系統設計人員一些重大挑戰。本應用摘要討論嵌入式系統設計人員的常見問題，以及如何使用下列系列示波器中的功能來克服相關問題：MSO/DPO70000、DPO7000、MSO/DPO5000、MDO/DPO4000、MDO3000和MSO/DPO2000系列。

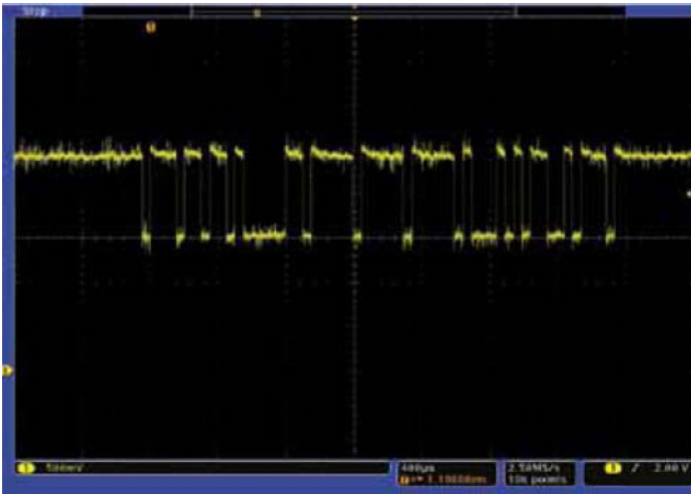


圖 2. 從 CAN 匯流排中擷取的一個訊息。

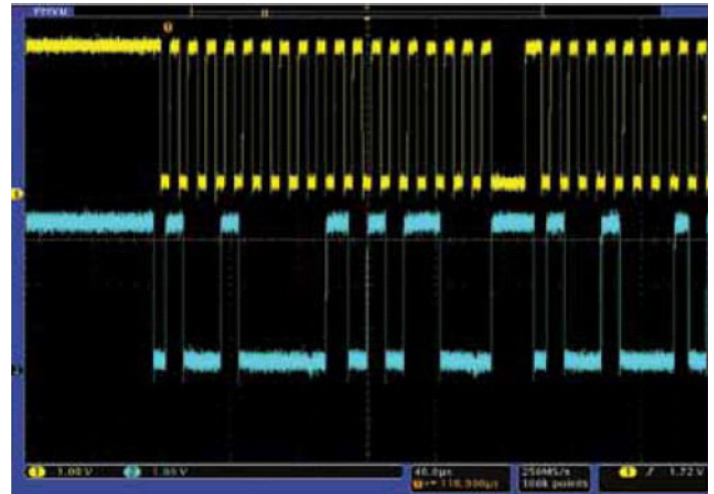


圖 3. 從 I²C 匯流排中擷取的一個訊息。

並行與串列架構比較

在並行架構中，匯流排的每個元件均有各自的訊號路徑；可能有 16 條位址線、16 條資料線、一條時脈線和其他各種控制訊號。透過匯流排傳送的位址或資料值，均會經由所有並列線路同時傳輸。因此，在使用大多數示波器和邏輯分析儀提供的「狀態」或「圖樣觸發」來觸發感興趣的事件時，就相當容易了。此外，示波器或邏輯分析儀螢幕上所顯示的擷取資料亦可一目了然。例如，在圖 1 中，我們使用邏輯分析儀從微控制器中擷取時脈線、位址線、資料線和控制線。我們利用狀態觸發，隔離出欲尋找的匯流排。想要「解碼」匯流排上發生的情況，僅需查看每條位址線、資料線和控制線的邏輯狀態即可。使用串列匯流排時，在少量幾個導體（有時只有一個）以串列方式傳送所有這些資訊。這表示單一訊號中可能包括位址、控制、資料和時脈等資訊。如圖 2 中所示的控制器區域網 (CAN) 串列訊號。

此訊息包含訊號框的開始、識別碼（位址）、資料長度代碼、資料、CRC、訊號框的結束，以及一些其他的控制位元。至於更複雜的狀況是，時脈嵌入在資料中，並使用填充位元以確保邊緣的數量足以讓接收裝置能夠鎖定時脈。即使是訓練有素的人，也很難迅速解碼此訊息的內容。假設，這是一天僅發生一次的錯誤訊息，而您必須靠其進行觸發。傳統的示波器和邏輯分析儀完全無法處理這類的訊號。

即使是比較簡單的串列標準（如 I²C），在觀察匯流排上傳送的內容時，也很明顯要比使用並列通訊協定時困難許多。I²C 採用個別的時脈線和資料線，因此您至少在此情況下，可以時脈用作參考點。但是，您仍需要找到訊號開頭（時脈高時資料變低），手動檢查並下每個時脈上升邊緣的資料值後，再將位元組織成訊息結構。

在長時間擷取結果中解碼單一訊息時，需要花好幾分鐘時間，而您也無法確定這就是您真的要找的訊息。如果不是，您便需對下一個訊息進行這乏味又容易出錯的程序。最好只觸發尋找的訊息內容，但您多年來使用示波器和邏輯分析儀上的狀態和圖樣觸發，也起不了任何作用。這些是設計為同時觀察多個通道上發生的問題。若要處理串列匯流排，其觸發引擎深度必需有幾十到幾千種狀態（一個位元一個狀態）。即使存在這種觸發功能，但要以程式逐一設定所有位元的狀態，也不是件有趣的事。我們必須找到更好的方式！

現在有一種更好的方式。下列各節重點介紹 Tektronix 示波器¹如何與一些嵌入式系統設計中最常用低速串列標準搭配使用。

¹ 支援的串列匯流排標準需視示波器的機型而定。如需各種 Tektronix 示波器所支援匯流排的相關表列資訊，請參閱「附錄 A」或請造訪 www.tektronix.com.tw/oscilloscopes。



圖 4. I²C 訊息結構。

I²C

背景知識

I²C 又稱為「I 平方 C」，代表 Inter Integrated Circuit。最初是飛利浦公司 (Philips) 在 1980 年代初，針對電視內控制器連接到周邊晶片所研發出的一種低成本連接方式；但此後即發展成為嵌入式系統裝置間通訊的世界標準。下列的領導業界晶片製造商，已在所生產的各種晶片（如 I/O、A/D、D/A、溫度感測器、微控制器和微處理器）中，採用簡單的雙線設計：Analog Devices、Atmel、Infineon、Cyprus、英特爾、Maxim、飛利浦、Silicon Laboratories、ST Microelectronics、德州儀器、Xicor 等等。

運作方式

I²C 的實體雙線介面是由雙向串列時脈 (SCL) 和資料 (SDA) 線組成。I²C 支援匯流排上多個主從裝置，但一次只能啟用一個主裝置。任何 I²C 裝置均可連接到匯流排，允許任何主從裝置間相互交換資訊。每台裝置有其各自的位址以供辨識。裝置用作發送機或接收器，需視其功能而定。I²C 最初是使用 7 位元位址，但隨後發展為也支援 10 位元位址；可支援 100 kb/s (標準

模式)、400 kb/s (快速模式) 和 3.4 Mb/s (高速模式) 等三種位元率。最大裝置數量取決於 400 pf 的最大容量，或大約支援 20-30 台裝置。

I²C 標準規定下列格式，如圖 4 所示：

- 開始 — 係指裝置取得匯流排的控制，隨後會有一段訊息。
- 位址 — 7 或 10 位元數字，係指將要讀取或寫入裝置的位址。
- R/W 位元 — 1 位元，係指是從裝置讀取資料，或是將資料寫入裝置。
- 確認 — 1 位元，來自從裝置，可確認主裝置的動作。每個位址和資料位元組通常會有一個確認位元，但非絕對。
- 資料 — 從裝置中讀取或寫入裝置的整數位元組。
- 結束 — 係指訊息已完成，主裝置已釋出匯流排。

下列為群組 I²C 位址以進行解碼的兩種方式：7 位元 + 讀或寫 (R/W) 位元機制；以及 8 位元 (1 位元組)，其中 R/W 位元已納入位址內。韌體和軟體設計工程師遵循的 I²C 標準指定 7 位元位址機制。但是，許多其他工程師則使用 8 位元位址機制。Tektronix 示波器可以解碼任一機制的資料。

與 I²C 搭配使用

搭配選配的串列觸發和分析功能，Tektronix 示波器為處理 I²C 匯流排的嵌入式系統設計人員提供了強大的工具。面板有多個匯流排按鈕，供使用者將示波器的輸入定義為一個匯流排。I²C 匯流排的設定功能表如圖 5 所示。

僅定義開啟哪一個通道的時脈和資料，以及用來判定邏輯 1 和 0 的臨界值，即可讓示波器知道通過匯流排傳輸的通訊協定。示波器利用這些資訊，即可觸發任何指定的訊息層級資訊，然後再將擷取資料解碼為有意義、容易判讀的結果。邊緣觸發已過時，期待您已擷取到感興趣的事件，然後再於逐一手動解碼訊息的同時尋找問題。

以圖 6 所示的嵌入式系統為例。I²C 匯流排連接到多台裝置，包括 CPU、EEPROM、風扇速度控制器、數位至類比轉換器 (DAC) 和數個溫度感測器。

這部儀器被退回工程部門進行故障分析，該產品會持續過熱並自動關機。第一個要檢查的是風扇控制器和風扇本身，但似乎一切正常。接著檢查溫度感測器是否有問題。風扇速度控制器定期輪詢兩個溫度感測器（位於儀器中不同的區域），調整風扇速度以調節內部溫度。我們懷疑其中一個或兩個溫度感測器讀數不正確。欲查看感測器與風扇速度控制器之間的互動。僅需連接到 I²C 時脈線和資料線，並設妥匯流排即可。我們知道，兩個感測器在 I²C 匯流排上的位址分別是 18 和 19，因此我們決定設定觸發事件，以尋找位址 18 的寫入（風扇速度控制器輪詢感測器的當前溫度）。觸發的擷取結果如圖 7 中的螢幕圖所示。



圖 5. I²C 匯流排設定功能表。

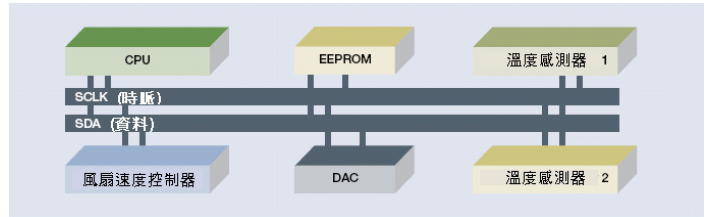


圖 6. I²C 匯流排範例。

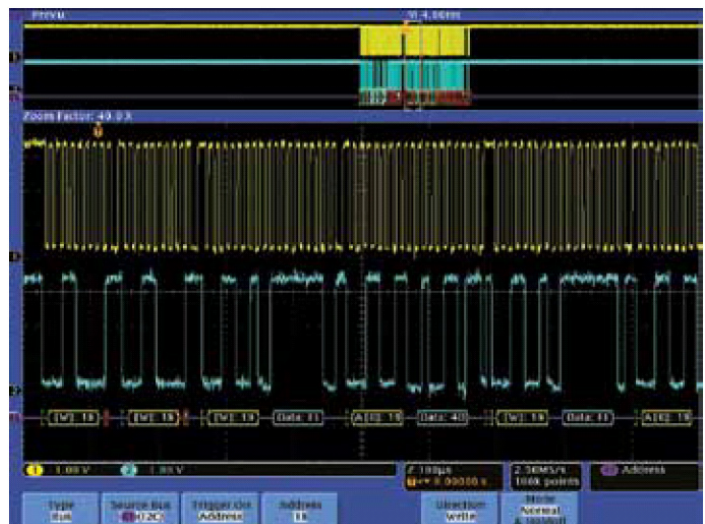


圖 7. I²C 位址和資料匯流排波形解碼。

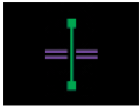
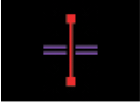
匯流排條件	指示：
「開始」是以垂直的綠線表示。在顯示另一個開始、先前卻沒有「結束」時，便會重複出現「開始」。	
「位址」顯示在黃框內，且 [W] 表示寫入、[R] 表示讀取。可以十六進位或是二進位格式顯示位址值。	
「資料」顯示在青框內。可以十六進位或是二進位格式顯示資料值。	
無「確認」是以紅框內有驚嘆號表示。	
「結束」是以垂直的紅線表示。	

表 1. 匯流排條件。

在這種情況下，通道 1 (黃色) 連接到 SCLK、通道 2 (青色) 連接到 SDA。紫色波形是我們在示波器中輸入一些簡單的參數定義的 I²C 匯流排。顯示器的上半部顯示整個擷取內容。在這種情況下，我們已擷取大量的匯流排閒置時間，中間是我們放大的大量活動。顯示幕下方較大的部分是縮放視窗。您可以看出，示波器已解碼經過匯流排的每個訊息的內容。匯流排使用表 1 中的顏色和標記，以標示訊息中的重要部分。看一下擷取的波形，我們可以看出，示波器確實觸發位址 18 上的寫入 (如顯示幕左下方所示)。事實上，風扇速度控制器試圖兩次寫入位址 18，但兩次都未在嘗試寫入溫度感測器時收到確認。

接著檢查位址 19 上的溫度感測器，並收到期待的資訊。為什麼第一個溫度感測器沒有回應風扇控制器呢？查看一下相關的電路板部分，發現其中一條位址線焊接不當。溫度感測器無法在匯流排上通訊，結果導致裝置過熱。由於示波器的 I²C 觸發功能和匯流排解碼功能，我們只需要幾分鐘，即可隔離這個潛在難以捉摸的問題。

在圖 7 所示的範例中，我們觸發一個寫入，示波器強大的 I²C 觸發功能還包括許多其他的功能：

- 開始 – 在 SCL 居高而 SDA 下降時觸發。
- 重複開始 – 在先前沒有「結束」卻發生開始條件時觸發。這通常是在沒有釋出匯流排的情況下，主裝置發送多條訊息時發生。
- 結束 – 在 SDA 變高且 SCL 居高時觸發。
- 無確認 – 通常會設定從裝置在每個位址和資料位元組後發送確認。示波器會在裝置沒有產生確認位元時觸發。
- 位址 – 於使用者指定的位址或是任何預先編程設定的特別位址 (包括通用位址、開始位元組、HS 模式、EEPROM 或 CBUS) 觸發。位址可以是 7 位元或 10 位元，並以二進位或十六進位格式輸入。
- 資料 – 以二進位或十六進位格式輸入、多達 12 位元組的使用者指定資料值進行觸發。
- 位址和資料 – 除讓您輸入位址和資料值及讀寫外，還有讀取或寫入，以擷取確實感興趣的事件。

這些觸發供您隔離感興趣的特定匯流排流量，而解碼功能則讓您即時查看擷取結果中，匯流排上傳送每個訊息的內容。

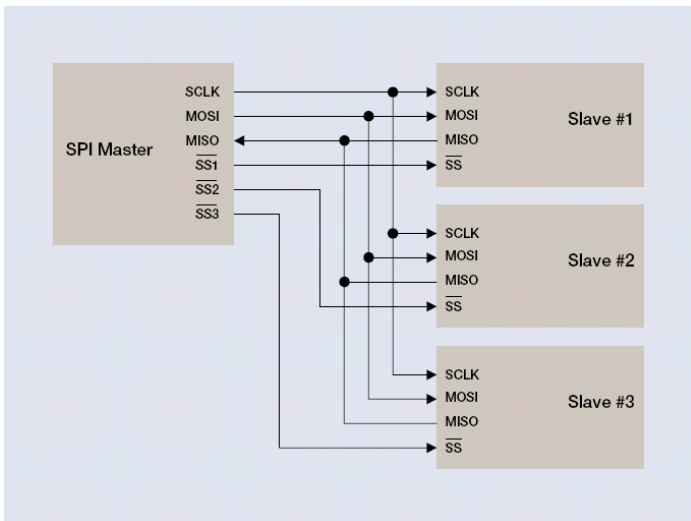


圖 8. 常見的 SPI 配置。

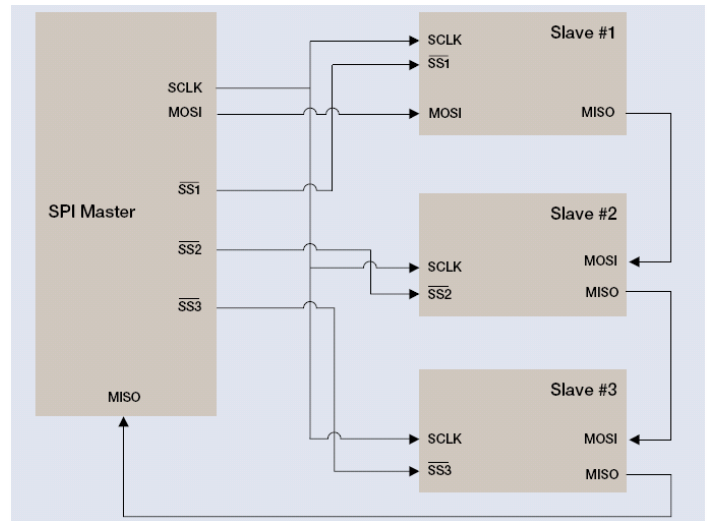


圖 9. 連環鏈結的 SPI 配置。

SPI

背景知識

串列周邊介面匯流排 (SPI) 最初是摩托羅拉 (Motorola) 在 1980 年代末為其 68000 系列微控制器所研發的產品。由於這種匯流排簡單又受歡迎，許多其他製造商均以其為標準，現在已用於嵌入式系統設計常見的各種元件中。SPI 主要用於微控制器與其直接連接的周邊裝置之間，通常用於行動電話、PDA，並用於 CPU、鍵盤、顯示器和記憶晶片間通訊資料的其他行動裝置中。

運作方式

SPI 匯流排是主從式 4 線串列通訊匯流排。四種訊號分別為時脈 (SCLK)、主/從輸入 (MOSI)、主/從輸出 (MISO) 和從選擇 (SS)。在兩台裝置通訊時，一台裝置為「主」，另一台則為「從」。主裝置驅動串列時脈。這可同時收發資料，因此是一種全雙工通訊協定。SPI 沒有匯流排上各個裝置獨有的位址，而是使用 SS 線來指明資料來自或送至的裝置。因此，匯流排上的每個獨有裝置均需要有從主裝置提供給其 SS 訊號。如果有 3 台從裝置，便需有 3 條來自主裝置、分別連接到從裝置的 SS 線，如圖 8 所示。

在圖 8 中，各從裝置僅與主裝置交談。但是，SPI 可以連環鏈結的方式連接從裝置，各裝置依序執行作業，再將結果傳回主裝置，如圖 9 所示。

由此可見，SPI 施行並無「標準」可循。在某些情況下，當未要求從裝置向主裝置回傳通訊時，便有可能完全省略 MISO 訊號。在其他情況下，主從裝置僅各有一台且 SS 訊號接地，通稱為雙線 SPI。

SPI 資料進行傳輸時，會在一個 8 位元資料字移入 MISO 的同時，有另一個 8 位元資料字移出 MOSI。視之為 16 位元環式移位暫存器。傳輸進行時，此 16 位元移位暫存器會位移 8 個位置，因此主從裝置之間會交換 8 位元資料。時脈極性 (CPOL) 和時脈相位 (CPHA) 這兩個暫存器，決定驅動資料的時脈邊緣。每個暫存器各有兩種可能的狀態，全部共有四種可能的組合，且各組合間互不相容。因此，一對主/從裝置必須使用相同的參數值進行通訊。如果使用多個固定為不同配置的從裝置時，主裝置於每次需與不同的從裝置通訊時，均必須自行重新配置。

與 SPI 搭配使用

使用面板上的各匯流排按鈕，輸入匯流排基本參數（包括哪些通道上的 SCLK、SS、MOSI 和 MISO 啟用）、臨界值和極性，即可定義 SPI 匯流排（請參閱圖 10）。

以圖 11 所示的嵌入式系統為例。

SPI 匯流排連接到合成器、DAC 及某個 I/O 上。合成器連接到提供系統其他部分 2.5 GHz 時脈的 VCO。在啟動時，應已由 CPU 以程式設定合成器。但是不知道哪裡出了問題，VCO 卡在其產生 3 GHz 的地方。疑難排解此問題的第一步是查看 CPU 與合成器之間確實有訊號存在，且無實體連接的問題，但仍然查不出問題出在哪裡。接著，我們決定查看經由 SPI 匯流排傳送編程設定合成器的資訊。欲擷取這些資訊，我們設定示波器在合成器的從裝置選擇 (Slave Select) 訊號啟動時進行觸發，並開啟 DUT 電源，以擷取啟動編程設定命令。擷取結果如圖 12 所示。

通道 1 (黃色) 是 SCLK、通道 2 (青色) 是 MOSI、通道 3 (洋紅色) 是 SS。為協助判定我們編程設定裝置是否正確，我們要查看一下合成器的產品規格表。匯流排的前三個訊息應為初始化合成器、載入分割率和鎖存資料。根據技術規格，前三次傳送中的最後四個位元（單一十六進位字元）應該分別是 3、0 和 1，但我們看到的卻是 0、0 和 0。

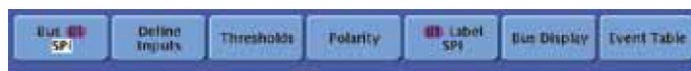


圖 10. SPI 匯流排設定功能表。

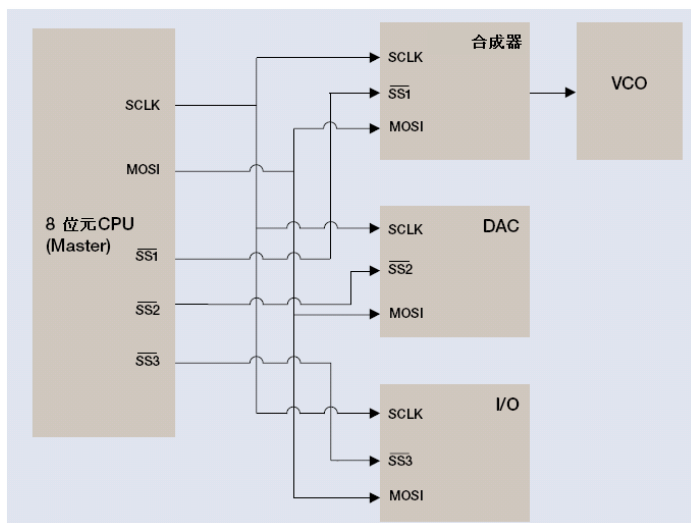


圖 11. 通過 SPI 控制的合成器。



圖 12. 擷取經由 SPI 匯流排的合成器配置訊息。



圖 13. 正確的合成器配置訊息。

看到訊息結尾全是 0 時，我們知道犯了最常見的 SPI 錯誤，即在軟體中將各 24 位元字以相反的順序進行編程設定位元。在迅速變更軟體後，得到下面的擷取結果，且 VCO 正確地鎖定在 2.5 GHz，如圖 13 所示。

在上述範例中，我們使用簡單的 SS 啟用 (SS Active) 觸發。Tektronix 示波器完整的 SPI 觸發功能包括下列類型：

- SS 啟用 — 在從裝置的從裝置選擇行為真時觸發。
- 訊框開始 — 當時脈閒置時間用於定義訊框時基，在訊框開始觸發。時
- MOSI — 自主裝置到從裝置，在使用者指定的最多 16 個位元組資料時觸發。
- MISO — 自從裝置到主裝置，在使用者指定的最多 16 個位元組資料時觸發。
- MOSI/MISO — 自主裝置到從裝置及從裝置到主裝置，在使用者指定的最多 16 個位元組資料時觸發 (僅適用於與 4000/3000/2000 系列模組搭配使用)。

這些觸發讓您隔離感興趣的特定匯流排流量，解碼功能則讓您立即在擷取結果中查看匯流排傳送每則訊息的內容。

USB 速度	位元率	位元週期
低速 USB 2.0	1.5 Mbps	667 ns
全速 USB 2.0	12 Mbps	83.3 ns
高速 USB 2.0	480 Mbps	2.8 ns
超高速 USB 3.0	5 Gbps	200 ps

表 2. USB 速度。

USB

背景

通用序列匯流排 (USB) 已取代先前所使用的許多外部串列或並列匯流排，成為現今個人電腦上的主流介面。自 1995 年問世以來，USB 的用途不再侷限於最初的個人電腦，已成為許多各類電子裝置所廣泛使用的介面。

2000 年發佈的 USB 2.0 規格涵蓋目前使用的大多數 USB 裝置。USB 2.0 取代了 USB 1.1 規格，USB 1.1 規格中只有低速和全速兩種介面，2.0 新增一個高速介面 (請參閱表 2)。

USB 的能力已超出僅於系統間的通訊。例如，已使用晶片間 USB (IC_USB) 和高速晶片間 (HSIC) USB 進行晶片間通訊。USB2.0 規格的補充資料包含 IC_USB、HSIC 和其他增強功能。

2008 年發佈 USB 3.0 規格。USB 3.0 稱為超高速 USB (SuperSpeed USB)，其速度較高速 USB 2.0 快 10 倍。超高速 USB 可以向下相容 USB 2.0 裝置。USB 3.0 是一種額外的規格，需與 USB 2.0 規格一起使用，而不是將其取代。超高速 USB 裝置必須施行 USB 2.0 裝置訊框命令和描述符。

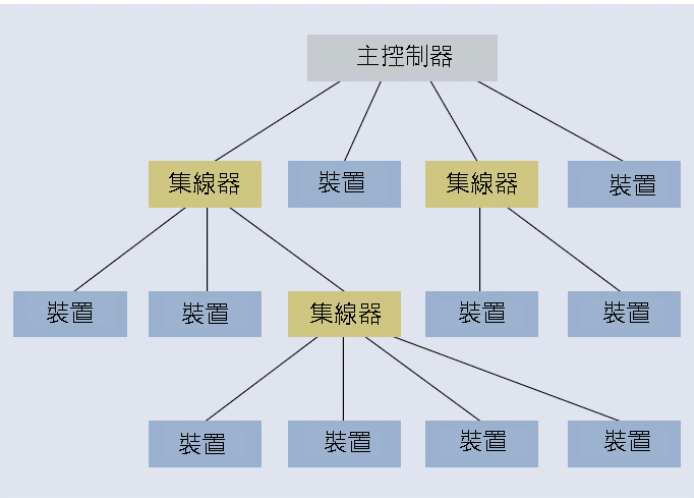


圖 14. 採分層式星狀拓樸，選用多個集線器以擴充匯流排。

USB 設計論壇 (USB-IF) 負責管理和推廣 USB 標準和 USB 技術。如需 USB 規格相關資訊，請造訪 USB-IF 網站：www.usb.org。

運作方式

USB 配置是一個主控制器搭配 1-127 台裝置。USB 採分層式星狀拓樸，選用多個集線器以擴充匯流排 (請參閱圖 14)。主機是唯一的主裝置，控制所有匯流排流量。主機初始所有的裝置通訊，且裝置無法中斷主機作業。

表 2 顯示 4 種 USB 速度。高速裝置是以全速啟動後，再轉換為高速。USB 2.0 匯流排的速度受限於連接主控制器速度最慢的裝置。

搭配超高速 USB 時，會使用兩個主控制器：一個用於超高速 USB 裝置，另一個則用於 USB 2.0 裝置。與 USB 2.0 系統一樣，搭配 USB 2.0 裝置的匯流排速度受限於最慢的裝置。

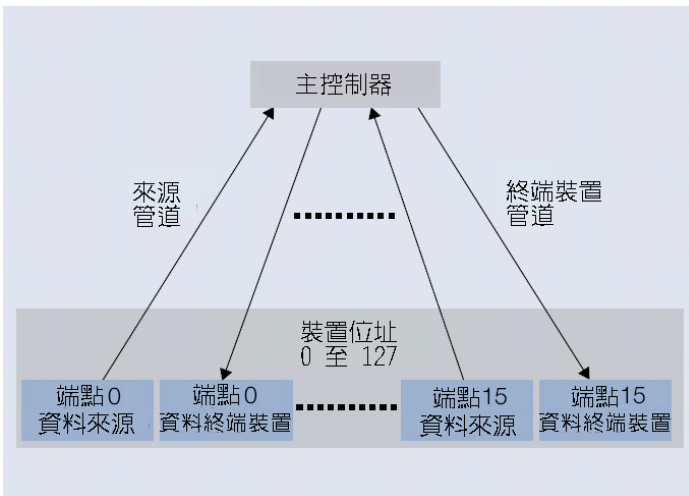


圖 15. USB 端點是裝置的資料來源和終端裝置，具備連接應用軟體的邏輯管道。

裝置端點

裝置端點是裝置中的資料來源與終端裝置。各裝置最多可以有 16 個資料端點（請參閱圖 15）。端點 0 是必備的，主機使用其與裝置通訊。管道是主機中應用軟體與裝置端點之間的邏輯連接。

列舉

列舉是開啟電源或是裝置熱插拔時發生的配置程序。主機偵測到 USB 匯流排上出現裝置。接著主機使用位址 0 和端點 0，以 SETUP 符記輪詢裝置。然後，主機指派一個獨有的位址給裝置（介於 1 到 127）。此外，主機還會識別裝置速度和資料傳送類型。列舉期間會判定裝置的級別。裝置級別定義裝置的功能，例如印表機、大量儲存設備、視訊、音訊、人機介面等等。

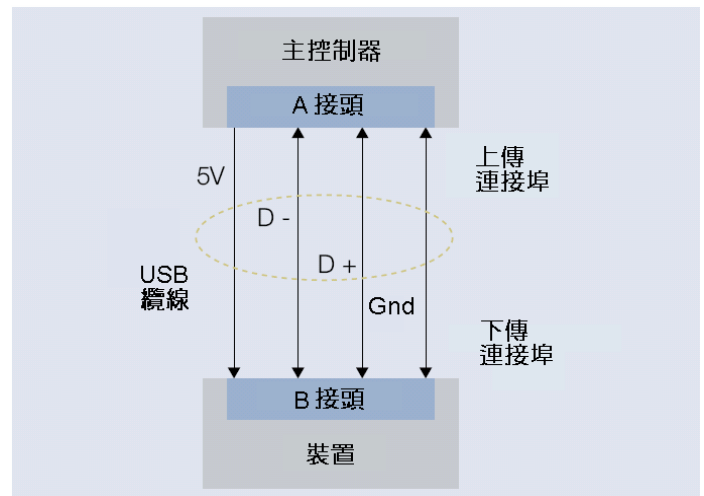


圖 16. USB 4 線纜線在上傳連接埠使用 A 接頭，在下傳連接埠使用 B 接頭。

電氣配置

主機使用上傳「A」接頭，裝置使用下傳「B」接頭，如圖 16 所示。每個接頭有標準、迷你和微型等三種版本。

USB 2.0 纜線有四條線，如圖 16 所示。兩條線用來從主機供電：5V 電源（紅線）和接地（黑線）。接頭的設計讓您必須在電源與接地接腳連接妥當後，再連接資料接腳。擁有智慧型電源管理功能的主機提供 100 mA - 500 mA 的電流。例如，由主機或集線器監控對裝置的供電，並在發生過電流時關閉電源。

USB 速度	低狀態	高狀態
低速	<0.3V	>2.8V
全速	<0.3V	>2.8V
高速	0 V±10%	400 mV±10%

表 3. 電氣訊號特性。

PID 類型	PID 名稱	PID
符記	OUT	0001
	IN	1001
	SOF	0101
	SETUP	1101
資料	DATA0	0011
	DATA1	1011
	DATA2	0111
	MDATA	1111
交握	ACK	0010
	NAK	1010
	STALL	1110
	NYET	0110
特殊	PRE	1100
	ERR	1100
	SPLIT	1000
	PING	0100
	Reserved	0000

表 4. USB 封包類型。

使用由主機控制的半雙工差動式訊號，以差動式雙絞線 Data+ (D+綠線) 和 Data- (D- 白線) 進行雙向通訊。表 3 列出訊號位準。匯流排為直流耦合。

在沒有連接裝置時，主機會同時拉低 D+ 和 D-，這稱為單端零 (SE0) 狀態。在裝置連接到 USB 匯流排時，USB 匯流排電壓會拉到正或負，且極性指出裝置的速度。

K	J	K	J	K	J	K	K
---	---	---	---	---	---	---	---

圖 17. 低速和全速 SYNC 欄位。

在 J 閒置狀態時，低速裝置會拉高 D-，產生負的差動電壓。全速裝置拉高 D+，產生正的差動電壓。K 狀態與 J 狀態相反。

資料傳送使用不歸零反轉 (NRZI) 編碼，搭配位元填充功能，以確保將轉換次數降至最低。會先傳送最低有效位元，最後傳送最高有效位元。

封包

封包是 USB 通訊的基本元素。封包開頭是同步化欄位，隨後是封包辨識符。封包辨識符後面有無欄位，需視封包類型而定。封包最終是封包結束欄位。

從 J 閒置狀態開始，低速和全速 USB 的封包開頭是一個 8 位元同步化 (SYNC) 欄位。SYNC 是 3 對 KJ，隨後是兩個 K (請參閱圖 17)。

高速 USB 的 SYNC 欄位是 15 對 KJ，隨後是兩個 K；集線器能將重複的 SYNC 欄位減少到 5 對 KJ，隨後是兩個 K。

封包辨識符 (PID) 是第二個封包位元組，其中包括一個 4 位元 PID 及其 4 位元 PID 補充欄位 (檢查錯誤用)。在第一個 PID 4 位元與最後 PID 4 位元補充內容不符時，即發生 PID 編碼錯誤。便會以先傳送最低有效位元，後傳送最高有效位元的順序，將這些位元外送 to 匯流排。

如表 4 所示，PID 4 位元值辨識 17 種封包。請注意，封包 PRE 和 ERR 的 PID 碼相同。封包類型群組為符記、資料、交握和特殊等組。

封包結束 (EOP) 長度為 3 位元。EOP 開頭是兩位元的 SE0，結尾是一個位元的 J 狀態。

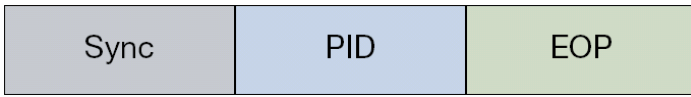


圖 18. 交握封包的結構。

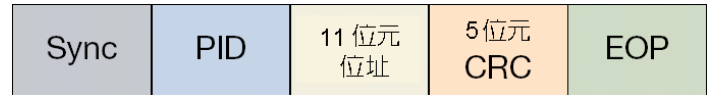


圖 19. OUT、IN 和 SETUP 符記封包的結構。

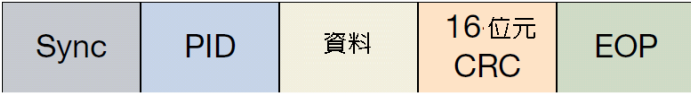


圖 20. PID 為 DATA0 或 DATA1 的資料封包。

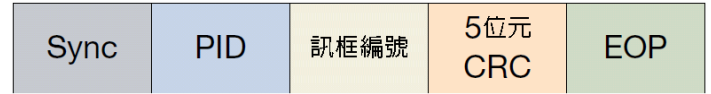


圖 21. 訊框封包開始。

交握封包

如已接受資料封包 (ACK) 和未接受資料封包 (NAK) 等交握封包, 是由 Sync 位元組、PID 位元組與 EOP 組成, 如圖 18 所示。

符記封包

主機送出的符記封包包含 SYNC、PID, 及隨後由 11 位元位址與 5 位元循環冗餘檢查 (CRC) 所組成的 2 個位元組 (請參閱圖 19)。

11 位元位址的 OUT、IN 和 SETUP 符記, 又細分為 7 位元裝置位址與 4 位元端點辨識符。位址 0 為特殊位址, 適用於在列舉程序開始即未指派位址的裝置。在列舉步驟的後期, 主機指派非零位址給該裝置。在稍後的列舉過程中, 主機會指派一個非零位址給裝置。

所有裝置都有一個端點零。端點零用於裝置控制和狀態。其他裝置端點則用於資料來源和 (或) 終端裝置。

主機傳送一個 OUT 符記給裝置, 隨後再傳資料封包。主機傳送一個 IN 符記給裝置, 並預期從裝置接收到資料封包或交握封包 (如 NAK)。

資料封包

資料封包包含一個 PID 位元組、多個資料位元組和 16 位元 CRC, 如圖 20 所示。

DATA0 和 DATA1 封包有一個 1 位元序號, 用於停止和等待自動重複請求交握。DATA0 和 DATA1 封包會在無錯誤傳輸中交替傳送。發生傳輸錯誤時, 會使用相同的序號重送封包。

無錯誤傳輸是指在主機傳送一個 DATA0 資料封包給裝置、裝置傳送一個交握 ACK 封包, 接著主機傳送一個 DATA1 封包。

若主機沒有收到從裝置送出的交握 ACK 封包或是收到 NAK, 便會重送 DATA0 封包。若裝置傳送一個 ACK 封包, 並收到相同序號的封包, 則會確認資料封包, 但會忽略該資料是重複的。

訊框開始

圖 21 所示的訊框開始 (SOF) 封包, 是用來同步化等時與輪詢資料流。11 位元的訊框編號會隨每個連續的 SOF 遞增 1。

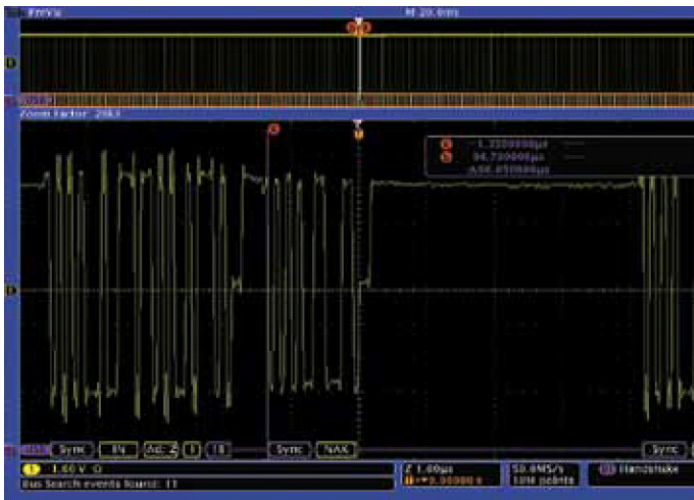


圖 22. 全速記憶體裝置以 NAK 回應主機在游標 A 處的第一個 IN 符記要求。

與 USB 2.0 搭配使用

特定的 Tektronix 示波器上提供 USB 串列觸發和分析支援功能 (請參閱附錄 A)。針對低速和全速 USB，所有示波器機型均提供觸發、解碼和搜尋支援；至於高速 USB，則需使用 ≥ 1 GHz 的示波器機型。

例如，查看記憶體裝置對來自電腦 IN 符記要求記憶體裝置傳送資料是否有回應 NAK，即可檢查全速記憶體裝置的資料延遲效能。

TDP1000 差動探棒，用於探測電腦與 USB 記憶體裝置間的 USB 延長線。在將探棒連接到延長線之前，先利用探棒上的 TDP1000 功能表按鈕 AutoZero，將探棒的 4.25 V 範圍自動歸零。

欲定義 USB 匯流排，請移至匯流排功能表，並選取支援標準清單中的 USB。接著，從左到右利用設定各按鈕來定義匯流排的參數：速度、訊號源通道、探棒類型和臨界值。本例中使用全速預設 1.4 V 和 -1.4 V 臨界值。

首先，利用觸發 SETUP 符記檢查列舉過程。列舉後，利用觸發訊框開始 (SOF) 封包以確認；並檢查 J 閒置狀態是否為正，或量測 SOF SYNC 欄位的位元寬度，以確認速度。

接著，我們可以配置示波器對 NAK 符記觸發，再讓示波器進入單一擷取模式。然後，讓電腦向記憶體裝置要求資料。若記憶體裝置準備傳送數據，示波器便不會觸發。反之，則會傳送一個 NAK，以回應電腦主機 IN 符記，且示波器將對 NAK 觸發。圖 22 顯示 NAK 擷取結果。

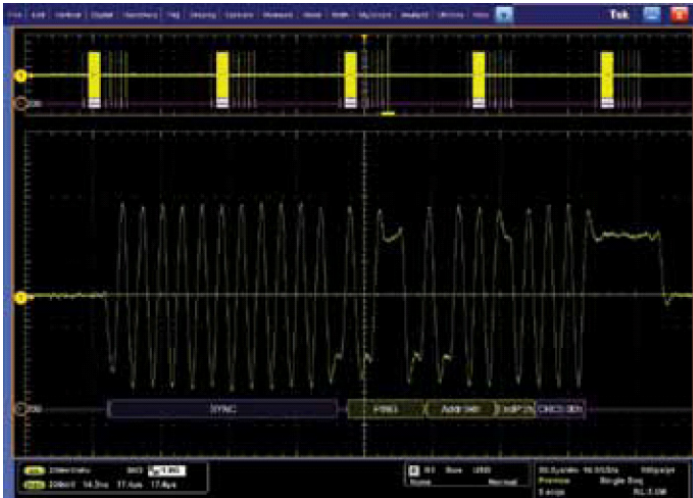


圖 23. 在搭配選項 SR-USB 的 MSO5024 上，以串列觸發功能擷取已解碼的高速 USB 2.0 波形。

我們還可以複製示波器觸發設定值，作為 Wave Inspector 的搜尋條件。Wave Inspector 將搜尋整個擷取，找出所有的 NAK 事例。在本例中，Wave Inspector 找到 11 個 NAK。第一個 NAK 在觸發位置，其他 10 個 NAK 則在觸發位置之後。所有的 NAK 都是對重新傳送 IN 符記的電腦主機所作出的回應。使用 Wave Inspector next 和 previous 面板按鈕，跳至每一個標記的 NAK，即以輕鬆檢視每個 NAK。

提供的 USB 觸發功能包括下列類型：

- 同步
- 重設
- 暫停
- 恢復
- 封包結束 (EOP)
- 符記 (位址) 封包
 - SETUP、IN、OUT 和 SOF 封包
- 資料封包
 - 任一資料值、DATA0、DATA1、DATA2 或 MDATA
 - 資料匹配最多 16 個資料位元組的碼型
- 交握封包
 - 任一交握值，或 ACK、NAK、STALL 或 NYET
- 特殊封包
 - Reserved、PRE，或 PRE、ERR、SPLIT 或 PING
- 錯誤類型包括 PID 檢查位元、符記 CRC5、資料 CRC16 和位元填充

Wave Inspector 還可以搜尋觸發所使用的全部相同條件。

利用 Tektronix 示波器，您可以簡易地擷取和分析 USB 2.0 訊號、通訊協定和資料，再將其與其他類比和數位訊號關聯，以便讓您看到設計的全貌。

類型	前置碼	訊框開頭 分界符	目的地位址	來源位址	長度/類型	資料 填充 位元	訊框檢查 序列
位元組	7	1	6	6	2	46-1500	4

圖 24. IEEE 802.3 標準乙太網路訊框格式。

乙太網路

背景

乙太網路是區域網路 (LAN) 所使用以訊框為基礎的一種電腦網路技術，是 Xerox PARC 在 1970 年代初所研發出的技術。1980 年電氣和電子工程師學會 (IEEE) 出版第一個標準草案。1982 年核可 IEEE 802.3 CSMA/CD。國際 ISO/IEEE 802.3 標準則是在 1984 年核可。

運作方式

大部分個人電腦使用的 10BASE-T 和 100BASE-TX，是兩種最常用的乙太網路版本。前置的數字代表單位為 Mb/s 的資料率。BASE 指出訊號是基頻訊號且無 RF 訊號調變。T 表示網路節點間所使用的區域網路纜線中的雙絞線。

由於 10BASE-T 和 100BASE-TX 的普及和硬體施行成本的不斷下降，使得越來越多的嵌入式系統設計採用乙太網路技術。

乙太網路提供以點對點封包為基礎的通訊，得以進行直接點對點通訊。在實體層，10BASE-T 和 100BASE-TX 訊號傳送位址、控制、資料和時脈等資訊。資料是按資料位元組順序傳送，稱為封包。乙太網路封包可以內載其他更高等級通訊協定封包。例如，乙太網路封包可以包含網際網路通訊協定 (IP) 封包，IP 封包又可能包含傳送控制通訊協定 (TCP) 封包。這種訊號複雜性造成在分析 10BASE-T 和 100BASE-TX 波形時，很難隔離出感興趣的事件。

IEEE 802.3 標準定義乙太網路資料訊框格式，具有七個欄位，如圖 24 所示。

前置碼，7 位元組長，是由進行同步化的 1 和 0 交替碼型組成。

訊框開始分界符，1 位元組長，由 1 和 0 交替碼型組成，但結尾是兩個 1。

目的地和來源媒體存取控制 (MAC) 位址，均為 6 位元組長，以最高有效位元到最低有效位元的順序傳送。每個乙太網路節點均指派有一個獨有的 MAC 位址，用於指定每個封包的目的地位址和來源位址。如此構成大多數鏈結層 (OSI 第二層) 網路的基礎，較上層通訊協定賴以產生複雜的運作網路。

長度/類型欄位是一個 2 位元組值。若長度/類型的十進位值 ≤ 1500 ，代表資料欄位內的資料位元組數。若長度/類型值 > 1536 (0x0600)，即表示這是一個 EtherType 值，指出封裝在乙太網路訊框負載內的通訊協定（例如，IPv4 的 EtherType 設為 0x0800）。

資料封包包含 46 到 1500 個位元組。若資料長度小於 46 位元組，便會將資料欄位長度填充到 46 位元組。

訊框檢查串列是一個 32 位元的循環冗餘檢查 (CRC)，並提供在目的地位址、來源位址、長度/類型和資料等欄位的錯誤檢查功能。

最後，在每一個訊框均傳送完後，要求發射器傳送一個最低 12 位元組的閒置字元，接著才能傳送下一個訊框；否則，藉由使啟用訊號不作用的情況下，發射器維持等長時間的閒置狀態。



圖 25. 10BASE-T 解碼顯示畫面。

與乙太網路搭配使用

嵌入式設計現今已廣泛採用乙太網路。藉由分析實體層和通訊協定層的乙太網路流量，即可洞悉嵌入式設計其他子系統的運作情況。但是，由於單一差動乙太網路訊號中包含位址、控制、資料和時脈等資訊，增加隔離出感興趣事件的難度。乙太網路串列觸發和分析選項可將特定的 Tektronix 示波器轉換成強韌的工具，即利用自動觸發、解碼和搜尋等功能，疑難排解以 10BASE-T 和 100BASE-TX 為基礎的系統。

示波器可以針對乙太網路封包內容進行觸發，例如起始訊框分界符、MAC 位址、MAC 長度/類型、MAC 用戶端資料、Q 標記控制資訊、IP 標頭、TCP 標頭、TCP/IPV4 用戶端資料、封包結束、閒置（僅限 100BASE-TX 和 DPO4ENET），以及 FCS (CRC) 錯誤。

解碼後的顯示畫面，為構成 10BASE-T 和 100BASE-TX 的各個訊號，提供更高級的組合視圖；除讓您能更容易地識別封包的開始和結束位置外，還可識別子封包的組成元件，例如前置碼、SFD、MAC 位址、資料、FCS、錯誤等等。匯流排上每個封包均被解碼，且會以十六進位、二進位或 ASCII 顯示在匯流排波形中。

除查看匯流排波形本身上的解碼封包資料外，還可以在如軟體清單中所見的表格方式，來查看所有擷取的封包。封包均有時間標記，且按各組成元件（時間、目的位址、來源位址、長度、資料、FCS/CRC、錯誤）欄連續列出。

串列觸發是有效隔離感興趣事件的功能，但在擷取後，便需分析周圍的資料，您要怎麼進行呢？僅需使用 Wave Inspector 自動搜尋擷取的資料，找出有無符合使用者定義的條件者（包括串列封包內容）。找到時均會用搜尋標記反白顯示。您僅需按下示波器面板上的 Previous (←) 和 Next (→) 按鈕，即可在標記間快速導覽。

RS-232

背景知識

RS-232 是在兩台近距離裝置之間進行串列通訊，所廣泛使用的標準。主要用於舊款的 PC 串列埠，但是嵌入式系統也將其用作疑難排解埠或是用於連結兩台裝置。

RS-232-C 標準自 1969 年問世後，雖曾歷經兩次修訂，但幅度不大，其訊號仍夠與 RS-232-C 互通。幾個如 RS-422 和 RS-485 的相關標準，雖然類似，但是使用差動訊號遠距離通訊。

運作方式

兩台裝置分別稱為 DTE (資料終端設備) 和 DCE (資料電路終端設備)。在某些應用中，DTE 裝置控制著 DCE 裝置；在其他應用中，則是對等的，可以隨意區分 DTE 和 DCE。

RS-232 標準規定各種各樣的訊號，但許多已不常用。最重要的兩個訊號是傳輸資料 (Tx) 和接收資料 (Rx)。Tx 將資料從 DTE 承載到 DCE。DTE 裝置的 Tx 線是 DCE 裝置的 Rx 線。同樣的，Rx 將資料從 DCE 承載到 DTE。

RS-232 標準沒有規定使用哪些接頭。最常用的是 25 接腳和 9 接腳接頭。其他的接頭還有 10 接腳、8 接腳或 6 接腳。在不使用標準接頭的情況下，還可以連接在同一塊電路板上的兩台 RS-232 裝置。

訊號	縮寫	接腳
Carrier Detect (承載偵測)	DCD	1
Received Data (接收資料)	Rx	2
Transmitted Data (傳輸資料)	Tx	3
Data Terminal Ready (資料終端就緒)	DTR	4
Common Ground (共用接地)	G	5
Data Set Ready (資料設備就緒)	DSR	6
Request to Send (請求傳送)	RTS	7
Clear to Send (允許傳送)	CTS	8
Ring Indicator (振鈴指示符)	RI	9

表5. 常用的 RS-232 接頭接腳。

在連接兩台 RS-232 裝置時，通常需要虛擬數據機。這種裝置切換多條包括如 Tx 和 Rx 的線路。如此，每台裝置均可在其 Tx 線上傳送資料，在其 Rx 線上接收資料。

表 5 顯示 RS-232 訊號常用的 9 接腳接頭的接腳清單。請記住，若訊號已經通過虛擬數據機，許多訊號即已被切換。最重要的是，會切換 Tx 和 Rx。



圖 26. RS-232 位元組結構。

使用中斷盒 (breakout box) 通常有助於探測 RS-232 訊號的進行。這種裝置讓您容易探測到 RS-232 纜線內的訊號。中斷盒不貴且在電子裝置經銷處即可購買。

RS-232 標準沒有規定通過匯流排傳送的内容。ASCII 格式的文字是最常見的内容，但也有使用二進位資料。資料通常會分段成多個封包。若為 ASCII 格式的内容，封包通常是以新行或換行字元終止。若為二進位資料時，通常使用如 00 或 FF 十六進位的其他值。

裝置通常使用通用非同步接收器/發射器(UART) 來施行 RS-232。UART 是現成買得到的零件。UART 採用位移暫存器，把資料位元組轉換成串列流，反之亦然。在嵌入式設計中，UART 無需使用 RS-232 收發機即可直接通訊。

圖 26 顯示一位元組的 RS-232 資料。下列為組成位元組的位元：

- 開始 — 位元組從開始位元開始。
- 資料 — 隨後有多個資料位元。
最常見的是 8 個資料位元，某些應用程式使用 7 個資料位元。即使在只傳送 7 個位元時，通常也會不正式地稱資料為一個位元組。在 UART 到 UART 通訊中，有時會使用 9 個位元資料字。
- 同位性 — 一個選用的同位元。
- 結束 — 1、1.5 或 2 個結束位元。

RS-232 匯流排沒有時脈線。每台裝置使用各自的時脈，來判斷什麼時候對資料線取樣。在許多設計中，UART 使用 Tx 和 Rx 訊號的上升邊緣，以便將自己的時脈與其他裝置的時脈同步。

與 RS-232 搭配使用

大多數的Tektronix示波器上皆提供RS-232 匯流排的串列觸發和分析功能 (請參閱附錄 A)。您不需要連接 PC 或是專用的解碼器，即可方便地在示波器上檢視 RS-232、RS-422、RS-485 或 UART 資料。

使用面板上的各匯流排按鈕，輸入基本參數 (如使用的通道、位元率和同位性)，即可定義 RS-232 匯流排 (請參閱圖 27)。

在本例中，我們選擇 ASCII 解碼；示波器亦可以二進位或十六進位格式來顯示 RS-232 資料。

假設您有一台裝置，輪詢資料通過 RS-232 匯流排的感測器。感測器沒有對資料請求作出回。您想確定感測器是否有收到請求，或是忽略收到的請求。

首先，探測 Tx 和 Rx 線，並在示波器上設定一條匯流排。接著設定示波器在資料請求傳送通過 Tx 線時觸發。圖 28 顯示觸發後的擷取內容。

我們在此處可以看到，Tx 線在數位通道 1、Rx 線則在數位通道 0。但是，我們更感興趣的是顯示在原始波形上方的解碼資料。我們放大查看感測器的回應。綜覽顯示 Tx 線上的請求，以及 Rx 線上的回應。游標顯示約在請求結束後的 37ms 時發出回應。給感測器足夠的回應時間，即提高控制器的逾時，即可解決這個問題。

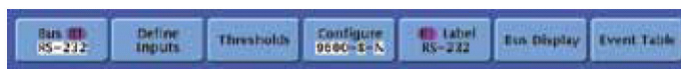


圖 27. RS-232 匯流排設定功能表。

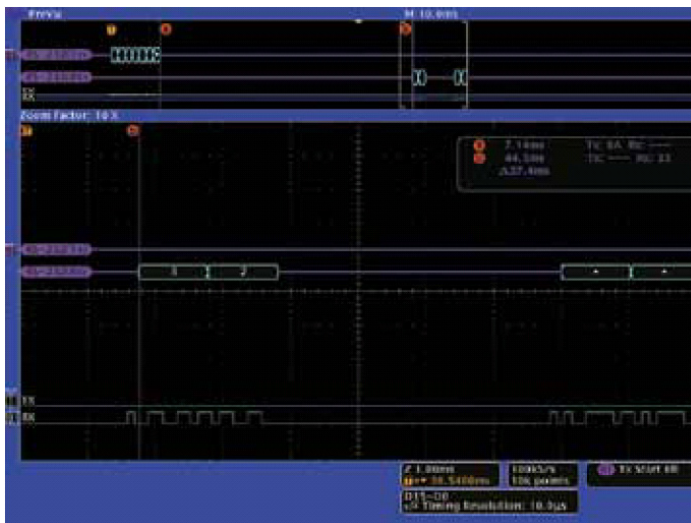


圖 28. 量測兩條 RS-232 匯流排上訊息間的時間延遲。

示波器的 RS-232 觸發包括下列功能：

- Tx 開始位元 – 在指出位元組開始的位元上觸發。
- Tx 封包結束 – 在封包最後一個位元組上觸發。
封包結束是特定的位元組：空 (00 十六進位)、新行 (0A 十六進位)、換行符 (0D 十六進位)、空格 (20 十六進位) 或 FF 十六進位。
- Tx 資料 – 在使用者指定的最多 10 位元組資料值時觸發。
- Rx 開始位元、Rx 封包結束和 Rx 資料 – 這些像是 Tx 觸發，但是在 Rx 線上。

您使用 Tektronix 示波器即可容易地查看 RS-232 訊號、分析，再將其與裝置中的其他活動關聯。

CAN

背景知識

CAN (控制器區域網路) 匯流排是博世 (Robert Bosch GmbH) 公司在 1980 年代專為處於電氣雜訊環境中的裝置，所研發出用作裝置間的低成本通訊匯流排。1992 年，梅塞德茲-賓士 (Mercedes-Benz) 成為第一家在其汽車系統中部署 CAN 的汽車製造商。今天，幾乎所有的汽車製造商都在使用 CAN 控制器和網路，以控制汽車中的各種裝置。業界研發出一種更新、成本更低的匯流排，稱為 LIN (稍後將說明)，以處理 CAN 在成本、多功能性和速度等方面過高的應用。LIN 在許多應用中已經取代 CAN，但 CAN 仍然是用於如引擎定時控制、煞車防鎖死系統，和動力傳輸控制等的主要匯流排。由於其電氣雜訊容錯、佈線少、極佳的偵錯功能和高速資料傳送，CAN 正迅速地擴展到其他如工業控制、海洋、醫療、航空和其他領域的應用。

運作方式

CAN 匯流排是一種平衡(差動)的雙線介面，以屏蔽雙絞線 (STP)、非屏蔽雙絞線 (UTP) 或排線連接。各節點均使用 9 接腳 D 公接頭。同時使用非歸零 (NRZ) 位元編碼與位元填充，以確保高密度、轉換次數最低和高抗雜訊能力。CAN 匯流排介面使用非同步傳輸機制，任一節點均可在匯流排空閒時隨時進行傳送。訊息廣播到網路上的所有節點。

在多個節點同時初始訊息時，便會使用逐位元仲裁用來判斷哪一則訊息有較高的優先順序。訊息可以是資料訊框、遠端傳輸請求 (RTR) 訊框、錯誤訊框或超載訊框等四種類型。偵測到匯流排上的任一節點的錯誤，便會傳送一個錯誤訊框，造成匯流排上所有的節點認為目前看到是不完整的訊息，且傳輸節點會重新傳送訊息。

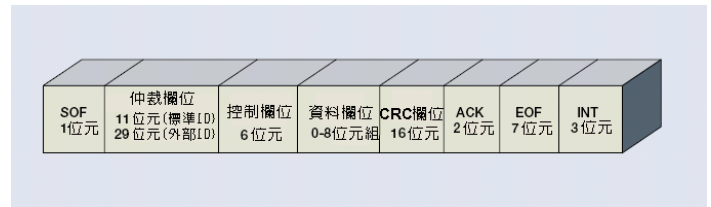


圖 29. CAN 資料/遠端訊框。

接收裝置初始超載訊框，以表示尚未備妥接收資料。當遠端訊框請求資料時，便會使用資料訊框來傳輸資料。資料訊框和遠端訊框是由分別位於每個訊框開始和結束處的開始位元和結束位元所控制，包括仲裁欄位、控制欄位、資料欄位、CRC 欄位和 ACK 欄位，如圖 29 所示。

- SOF — 訊框從訊框開始 (SOF) 位元開始
- 仲裁 — 仲裁欄位包括辨識符 (位址) 和遠端傳輸請求 (RTR) 位元，用來區分資料訊框和資料請求訊框，亦稱為遠端訊框。辨識符可以是標準格式 (11 位元；2.0A 版) 或延伸格式 (29 位元；2.0B 版)。
- 控制 — 控制欄位由 6 個位元組成，包括辨識符延伸 (IDE) 位元，可區分 CAN 2.0A (11 位元辨識符) 標準訊框和 CAN 2.0B (29 位元辨識符) 延伸訊框。控制欄位還包括資料長度代碼 (DLC)。DLC 長 4 位元，指出資料訊框中資料欄位的位元組數，或是遠端訊框請求的位元組數。
- 資料 — 資料欄位由 0 到 8 個資料位元組組成。
- CRC — 15 位元循環冗餘檢查代碼和一個隱性分界符位元。
- ACK — 確認欄位長 2 位元。第一個位元是插槽位元，以隱性傳輸，但之後會由任一成功接收傳輸訊息之節點所傳送的顯性位元覆寫。第二個位元是隱性分界符位元。
- EOF — 7個隱性位元，標示訊框結束 (EOF)。

三個隱性位元的中斷 (INT) 欄位指出匯流排可供使用。匯流排閒置時間可以是包括零在內的任意長度。

定義多種不同速度的資料傳送率，最快是 1Mb/s，最低則為 5kb/s。所有模組至少需支援 20kb/s。纜線長度取決於使用的資料率。系統中的所有裝置通常是以統一且固定的位元率傳送資訊。在低速時，纜線最長可達數千公尺；1Mb/s 時為 40 公尺是典型的長度。纜線兩端均有終端電阻器。

與 CAN 搭配使用

多種Tektronix示波器系列上有數個選項皆可啟用 CAN 串列觸發和分析功能 (請參閱附錄 A)。使用面板上的各匯流排按鈕，簡單地輸入匯流排的基本參數 (包括探測 CAN 的訊號類型及位於哪個通道上、位元率、臨界值和取樣點，以位元時間百分比表示)，即可定義 CAN 匯流排，請參閱圖 30。

假設您需要進行時序量測作業，量測從司機按下乘客車窗下降按鈕開始，到司機車門中的 CAN 模組下達命令，然後到乘客車窗實際開始移動之間的時間。指定司機車門中 CAN 模組的 ID，以及與「車窗下降」命令相關的資料，即可觸發擷取您正要尋找的資料訊框。同時探測司機車門的車窗下降開關及車門中的驅動馬達，便會更容易完成此量測作業，如圖 31 所示。

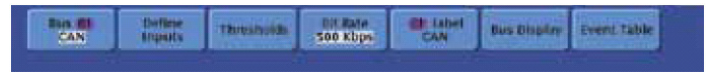


圖30. CAN 匯流排設定功能表。

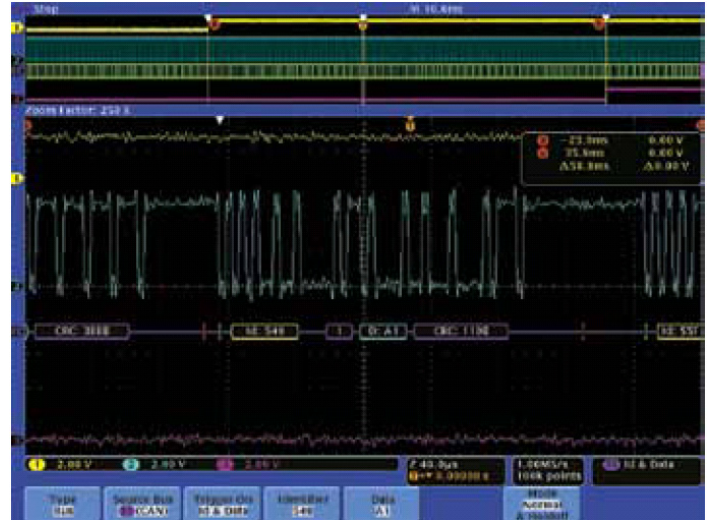


圖 31. 觸發 CAN 匯流排上的特定辨識符和資料，且解碼擷取中的所有訊息。

圖中的白色三角形是我們放在波形上作為參考點的標記。僅需按下示波器面板上的 Set/Clear Mark (設定/清除標記) 按鈕，即可顯示或移除螢幕上的標記。按下面板上的 Previous 和 Next 按鈕，縮放視窗即會在標記間往返顯示，讓您容易導覽到擷取內容中您感興趣的事件。

想想，假設沒有這些功能您要如何進行這項作業。如果沒有 CAN 觸發功能，您必須觸發開關本身、在夠長的活動時間視窗內擷取想要的資訊，然後逐一手动解碼 CAN 匯流排上的訊框，直到找出正確的訊框為止。現在一瞬間即可完成以前需要數十分鐘或數小時才能完成的工作。

示波器強大的 CAN 觸發功能包括下列類型：

- 訊框開始 — 在 SOF 欄位觸發。
- 訊框類型 — 資料訊框、遠端訊框、錯誤訊框和超載訊框等四種。
- 辨識符 — 在符合讀取/寫入條件的特定 11 位元或 29 位元識別符觸發
- 資料 — 在使用者指定的 1 到 8 位元組資料觸發
- Ack — 在接收裝置沒有提供確認時隨即觸發
- 訊框結束 — 在 EOF 欄位觸發

這些觸發類型讓您輕鬆地隔離 CAN 匯流排上欲尋找的任何東西。觸發只是開始而已。疑難排解通常需要檢視觸發前、後的訊息內容。透過「事件表」即可簡單地查看單一擷取中的多個訊息內容，如圖 32 所示。



圖 32. CAN 事件表。

事件表是以附時間註記的表格形式，顯示擷取中每則訊息已解碼的訊息內容。不僅讓您容易檢視匯流排上的所有流量，還可以簡易地進行訊息之間的時序量測。事件表適用於示波器支援的所有匯流排類型。

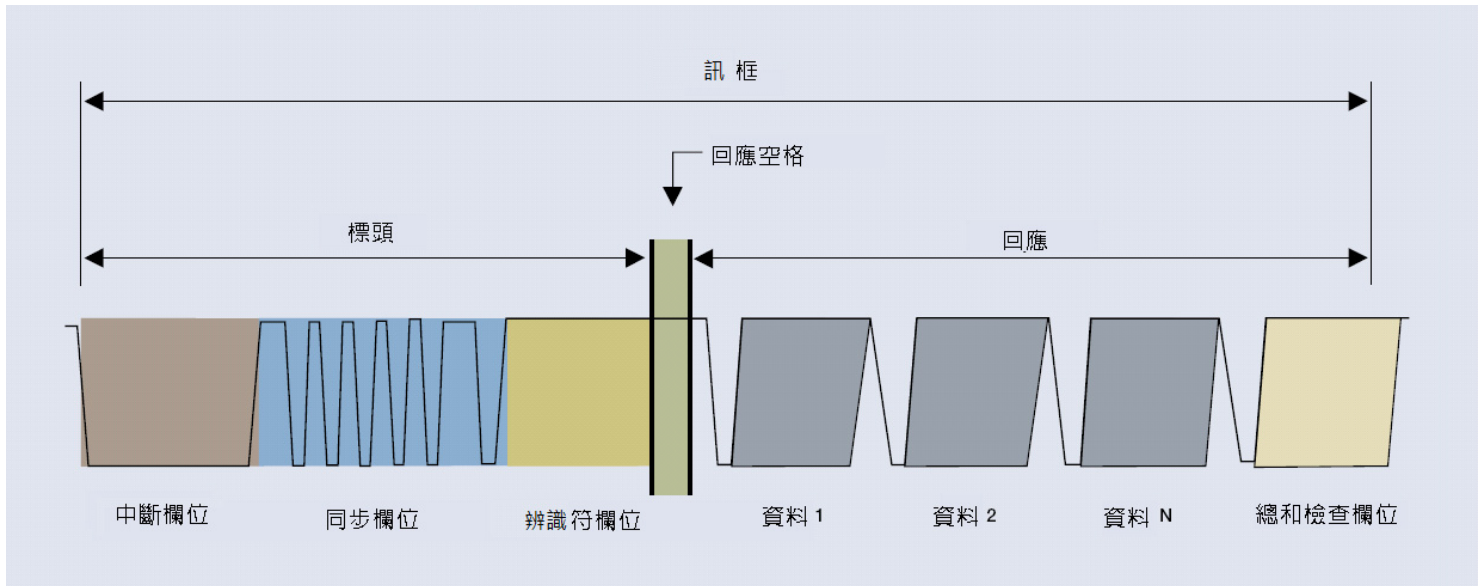


圖 33. LIN 訊框的結構。

LIN

背景知識

區域互聯網路 (LIN) 匯流排是 1999 年由 LIN 聯盟所研發的技術，是 CAN 匯流排在應用的成本、多功能性和速度等方面過高時的較低成本替代方案。這些應用一般包括智慧型感測器與和致動器之間的通訊，如車窗控制、門鎖、雨水感測器、雨刷控制和氣候控制等等。

但是，由於電氣雜訊容錯、錯誤偵測功能和高速資料傳送等能力，CAN 目前仍用於引擎定時控制、煞車防鎖死系統、動力傳輸控制及其他應用中。

運作方式

LIN 匯流排是一種以增強 ISO9141 標準為基礎的低成本單線施行技術。LIN 網路有一個主裝置及一或多個從裝置。所有訊息皆由主裝置初始，但只有一個從裝置作出回應，因此不需要如 CAN 所提供的碰撞偵測和仲裁功能。通訊是以 UART/SCI 為基礎，資料以 8 位元位元組外加一個開始位元、結束位和無同位元一起傳送。資料率在 1kb/s 到 20kb/s 之間。雖然聽起來很慢，但仍適用於預計的應用，並將 EMI 降至最低。LIN 匯流排總是處於活動或睡眠這兩種狀態中的一種。處於活動狀態時，匯流排的上所有節點是喚醒的，聆聽相關的匯流排命令。主節點發出 Sleep Frame (睡眠訊框)，或是匯流排超過預定時間沒有活動時，均可使匯流排上的節點進入睡眠狀態。匯流排會在任何節點請求喚醒或是主節點發出中斷欄位時醒來。

LIN 訊框是由標頭和回應這兩個主要部分組成。標頭是由主節點傳送，回應則由從節點傳送。標頭和回應均有各自的組成元件，如圖 33 所示。

標頭組成元件：

- 中斷欄位 — 中斷欄位用於示意新訊框的開始。啟動並指示所有的從裝置聆聽標頭其餘部分。
- 同步欄位 — 從裝置使用同步欄位以判斷主節點所使用的鮑速率，並相應地自行同步。
- 辨識符欄位 — 辨識符指出採取行動的是哪一個從裝置。

回應組成元件：

- 資料 — 指定的從裝置以 1 到 8 位元組資料回應。
- 總和檢查 — 使用計算結果欄位來偵測資料傳輸中的錯誤。歷經多次改版的 LIN 標準，使用兩種不同形式的總和檢查。典型的總和檢查只計算資料位元組，並適用於 1.x 版 LIN 系統。增強總和檢查則計算資料位元組和辨識符，且適用於 2.x 版 LIN 系統。

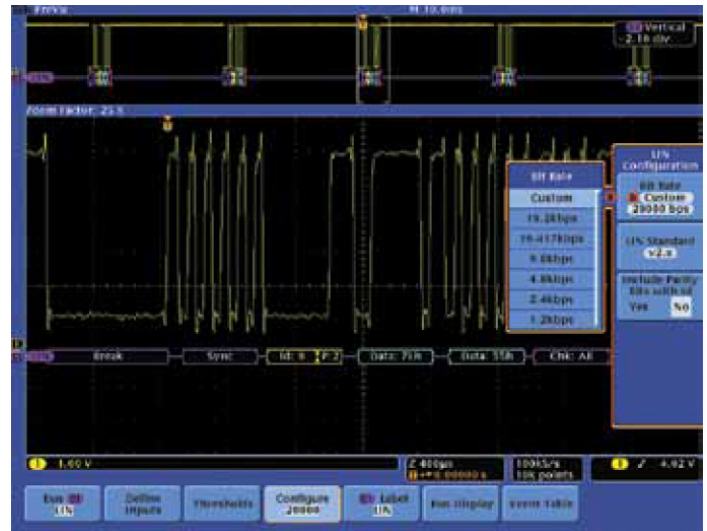


圖 34. LIN 匯流排設定功能表和已解碼訊框。

與 LIN 搭配使用

Tektronix 示波器亦可透過數種不同的串列觸發和分析選項，來支援 LIN 各項功能（請參閱附錄 A）。使用面板上的各匯流排按鈕，簡單地輸入匯流排的基本參數，如使用的 LIN 版本、位元率、極性、臨界值及取樣點（以位元時間百分比表示），即可定義 LIN 匯流排。LIN 設定功能表和已解碼 LIN 訊框，如圖 34 所示。

示波器具備能夠同時定義和解碼多達 16 條串列匯流排的強大功能。以先前的 CAN 匯流排範例來看，如果是由 LIN 匯流排來執行車窗控制作業。當司機按下「乘客車窗下降」控制時，司機車門中的 LIN 匯流排上初始一則訊息、透過中央 CAN 閘道傳送，再送到乘客車門中的另一個 LIN 網路中。此時，我們可以觸發其中一條匯流排上的相關訊息，並同時擷取與解碼所有三條匯流排。讓您能異常容易地檢視流量透過系統從一條匯流排傳送到另一條匯流排的狀況。如圖 35 所示，我們觸發第一則 LIN 訊息並擷取所有三條匯流排。

示波器的 LIN 觸發功能包括下列類型：

- 同步 — 在同步欄位觸發。
- 辨識符 — 在特定辨識符觸發。
- 資料 — 在 1 到 8 位元組的特定資料值或資料範圍觸發。
- 辨識符和資料 — 在辨識符與資料組合觸發。
- 喚醒訊框 — 在喚醒訊框觸發。
- 睡眠訊框 — 在睡眠訊框觸發。
- 錯誤 — 在同步錯誤、ID 同位性錯誤或總和檢查錯誤時觸發。

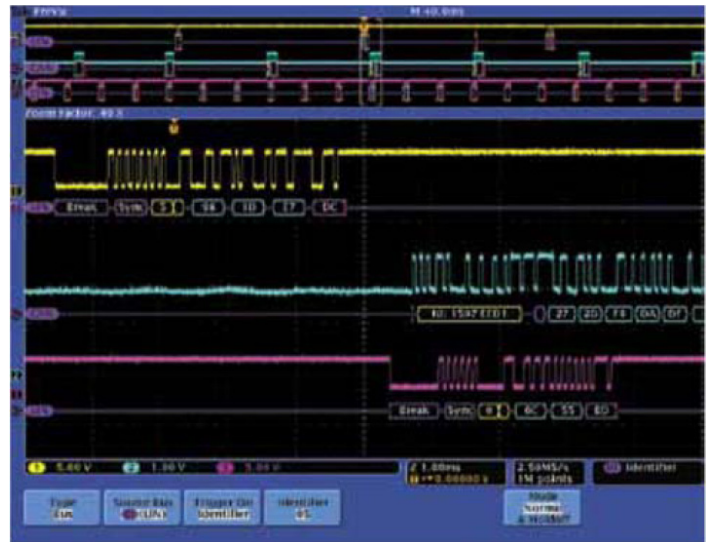


圖 35. 同時擷取和解碼多個汽車串列匯流排。

這些觸發類型讓您能較先前更快速地隔離 LIN 匯流排上欲尋找的任何東西。使用 Tektronix 示波器中提供的其他進階串列功能（如事件表與搜尋和標記功能），讓您能更容易地疑難排解以 LIN 為基礎的汽車設計問題。

命令字	同步	終端位址	T/R	子位址模式	字數/模式代碼	同位性
位元數	3	5	1	5	5	1

圖 36. MIL-STD-1553 命令字格式。

資料字	同步	資料 (D15 – D0)	同位性
位元數	3	16	1

圖 37. MIL-STD-1553 資料字格式。

MIL-STD-1553

背景知識

MIL-STD-1553 與電腦行業的 LAN 類似，是定義串列匯流排電氣和通訊協定特性的軍用標準，最初是為航空應用中的資料通訊而設計的。

MIL-STD-1553 源起於 1970 年由汽車工程師協會 (SAE) 所開發的 A2-K 標準草案。在政府和軍方審核修訂後，於 1973 年以 MIL-STD-1553 (USAF) 名稱發佈。1975 年發佈 MILSTD-1553A 以支援軍方各軍種需求，接著發佈 SAE 並凍結 MIL-STD-1553B 標準，以便讓組件製造商能夠設計符合標準的產品。1986 年發佈記載為 Notice 2 的最新變動，提供一套常用的操作特性。現在是由 SAE 負責監管列文商用文件 AS15531 的標準。

此標準除廣泛用於美國軍方應用外，還以商業用途用於大眾運輸、太空船和製造等應用中，且已由 NATO 及許多其他政府認可和施行。

運作方式

MIL-STD-1553 以非同步方式通過遮罩雙絞線和雙軸同軸纜線，以高達 10 Mb/s 的位元率傳送由最多 32 個 16 位資料字組成的訊息。1553 網路採用時分複用半雙工通訊技術，通過一條纜線傳送資料。對關鍵性安全的應用，通常採用雙冗餘匯流排，以提供更可靠的通訊。使用 Manchester II 雙相編碼，以進行直接耦合或變壓器耦合。Manchester 編碼自調時脈，不依賴位元順序，且是直流平衡。由於 Manchester 編碼訊號實際包含在零交點的極性和定時中，1553 匯流排能夠容忍很大的訊號位準變化。

MIL-STD-1553 定義命令字、資料字和狀態字等三種不同的字類型。全部都是 20 位元結構，即一個 3 位元同步欄位、一個 16 位元資訊欄位，最後是一個簡單錯誤偵測的奇同位位元。同步欄位是一個無效的 Manchester 訊號，在第二個位元時間的中間發生單一變遷。命令/狀態同步在中間有一個負緣變遷，資料同步則有一個正緣變遷。

作用中匯流排控制器送出的命令字，指明遠端終端機執行的功能。16 位元資訊欄位包含一個獨有辨識終端的 5 位元終端位址、一個傳送/接收位元、5 位元的子位址或模式以及 5 位元的字數或模式代碼。

匯流排控制器或遠端終端機傳送的資料字，是以最高有效位元優先順序送出。

狀態字	同步	終端位址	ME	IB	SR	預留位元	BCR	忙	SF	DBA	TF	同位性
位元數	3	5	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1

圖 38. MIL-STD-1553 狀態字格式。



圖 39. MIL-STD-1553 匯流排已解碼顯示畫面。

狀態字是遠端終端機為回應從控制器送出的有效訊息所回傳的內容，以確認收到訊息或是傳達遠端終端機狀態。16 位元資訊欄位的前 5 位元是終端位址。其餘位元是特定的狀態資訊，包括訊息錯誤、儀器位元、服務請求、收到廣播命令、忙碌、子系統旗標、動態匯流排接納和終端旗。

與 MIL-STD-1553 搭配使用

數種 Tektronix 示波器系列上皆提供 MIL-STD-1553 串列觸發和分析選項 (請參閱附錄 A)。

在任一類比通道上使用被動式探棒，即可容易地連接到 1553 匯流排；按面板上的各匯流排按鈕和螢幕功能表，則可設定匯流排參數。欲隔離 MIL-STD-1553 匯流排上的特定事件，示波器可以在同步、字類型、資料字值和同位元錯誤觸發。

利用所提供的串列觸發和分析選項，即可容易地檢視 MIL-STD-1553 串列訊號、分析，再將其與設計中的其他事件關聯。

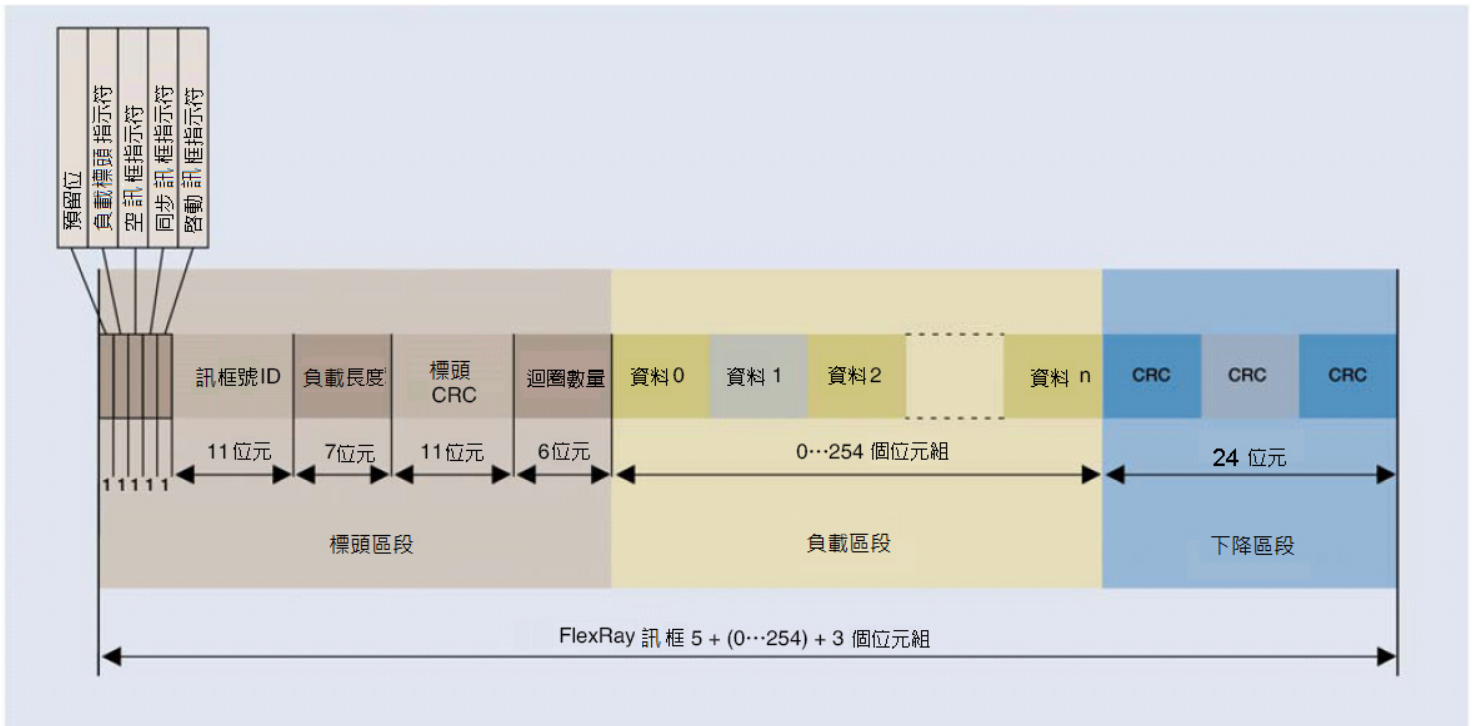


圖 40. FlexRay 訊框結構。

FlexRay

背景知識

FlexRay 是一種較新的汽車匯流排，隨著汽車智慧化程度不斷提高及汽車內所應用的電子裝置日益增加，製造商發現現有的汽車串列標準（如 CAN 和 LIN）無法提供線控操作（X-by-wire）應用（如線控煞車或線控轉向）要求的速度、可靠性或冗餘。今天，機械系統和液壓系統掌控這些功能。將來，會由感測器和高度可靠的電子裝置組成的網路取代，不僅降低汽車的成本，還大幅提高乘客的安全性，這歸功於以智慧型電子為基礎的功能，例如預知煞車、避免碰撞、適應性定速巡航控制等等。

運作方式

FlexRay 是在遮罩雙絞線（STP）或非遮罩雙絞線（UTP）上運行的一種差動匯流排，其速度高達 10 Mb/s，遠高於 LIN 的 20 kb/s 或 CAN 的 1 Mb/s。FlexRay 採用有兩大優勢的雙通道結構。第一，在如線控操作的關鍵性安全應用中，配置兩個通道提供冗餘通訊，以確保訊息通過。第二，在關鍵性安全較低的應用中，配置兩個通道，在各通道上以 10 Mb/s 速率傳送獨有的資訊，整體的匯流排傳送率仍為 20 Mb/s。

FlexRay 採用時間觸發通訊協定，透過包含靜態和動態訊框的通訊週期，合併先前同步和非同步通訊協定的優勢。靜態訊框是為匯流排上各裝置配置預定長度的時槽，以便在各週期期間通訊。匯流排上的各裝置也有機會透過長度（和時間）各異的動態訊框，在各週期中進行通訊。FlexRay 訊框由標頭、負載和下降等三個主要區段組成。各區段都有自己的組成元件，如圖 40 所示。

標頭區段的組成元件：

- 指示符位元 — 前 5 個位元稱為指示符位元，表明正在傳送訊框的類型。選項包括 Normal (正常)、Payload (負載)、Null (空)、Sync (同步) 和 Startup (啟動)。
- 訊框 ID — 訊框 ID 定義傳送訊框的時槽。訊框 ID 介於 1 到 2047 之間。在通訊週期中，各通道內的訊框 ID 不得重複使用。
- 負載長度 — 負載長度欄位指明負載區段內資料的字數。
- 標頭 CRC — 使用同步訊框指示符、啟動訊框指示符、訊框 ID 和負載長度計算出循環冗餘檢查 (CRC) 代碼。
- 週期數 — 目前通訊週期值，範圍是 0 到 63。

負載區段的組成元件：

- 資料 — 資料欄位包含高達 254 位元組的資料。在靜態區段中傳送的訊框，可將負載區段的前 0 到 12 位元組選用為網路管理向量。訊框標頭中的負載標頭指示符指明負載區段是否包含網路管理向量。在動態區段中傳送的訊框，則可將負載區段的前兩個位元組選用為訊息 ID 欄位；讓接收節點根據此欄位的內容過濾或掌控資料。訊框標頭中的負載標頭指示符指明負載區段是否包含訊息 ID。



圖 41. FlexRay 匯流排設定功能表。



圖 42. 在訊框 ID 和週期數觸發，在擷取資料中搜尋啟動訊框。

下降區段的組成元件：

- CRC — 使用標頭區段的所有組成元件和訊框的負載區段計算出循環冗餘檢查 (CRC) 代碼。

動態訊框有一個額外的組成元件，位於下降 CRC 之後，稱為動態下降序列 (DTS)，防止匯流排接收器過早偵測通道閒置狀態。

與 FlexRay 搭配使用

數種 Tektronix 示波器系列上皆提供 FlexRay 串列觸發和分析選項 (請參閱附錄 A)。欲定義 FlexRay 匯流排, 進入匯流排功能表, 並選擇支援標準清單中的 FlexRay。FlexRay 設定功能表如圖 41 所示。

接著, 我們利用 Define Inputs 功能表, 告訴示波器我們是在查看 FlexRay 通道 A 或通道 B、探測訊號的類型 (差動、半差動對, 或控制器與匯流排驅動器之間的邏輯訊號) 後, 再設定臨界值和位元率。需設定兩個臨界值, FlexRay 方能查看非 Tx/Rx 訊號, 因這是三位準匯流排。如此除能讓示波器可以識別 Data High 和 Data Low 外, 還有當兩個訊號電壓相同時的閒置狀況。

Tektronix 示波器的強大 FlexRay 功能集如圖 42 所示; 其中, 在 Frame ID = 4 和 Cycle Count = 0 組合觸發、擷取大約 80 個 FlexRay 訊框、解碼整個擷取內容, 再讓示波器搜尋擷取內容, 並標記所有找到的同步訊框。全部僅需使用 100,000 點記錄長度。部分 Tektronix 示波器系列上提供了高達 250 萬點的記錄長度, 讓您可擷取和分析串列活動的極長時間資料。

Tektronix 示波器的 FlexRay 觸發功能包括下列類型:

- 訊框開始 — 在訊框開始序列 (FSS) 的下降緣觸發。
- 指示符位元 — 在 Normal (正常)、Payload (負載)、Null (空)、Sync (同步) 或 Startup (啟動) 訊框觸發。
- 辨識符 — 在特定訊框 ID 或某個範圍訊框 ID 觸發。
- 週期數 — 在特定週期數值或某個範圍週期數值觸發。
- 標頭欄位 — 在任一或所有標頭欄位 (包括指示符位元、訊框 UD、負載長度、標頭 CRC 和週數) 內, 符合使用者指定值的組合觸發。
- 資料 — 在多達 16 位元組資料觸發。在非常長資料負載的訊框中, 可以按使用者指定的位元組數偏移資料視窗。將屬意的資料指定為特定值或某範圍的值。



圖 43. FlexRay 訊號的 DPO4AUTOMAX 眼狀圖分析。

- 辨識符和資料 — 在訊框 ID 和資料組合觸發。
- 訊框結束 — 在靜態訊框、動態訊框或所有訊框觸發。
- 錯誤 — 在許多不同錯誤類型 (包括標頭 CRC 錯誤、下降 CRC 錯誤、空訊框錯誤、同步訊框錯誤和啟動訊框錯誤) 觸發。

DPO4AUTOMAX 除具上述的觸發和解碼功能外, 還提供 FlexRay 眼狀圖訊號分析功能, 以協助疑難排解實體層問題。僅需將軟體套件載入 PC, 透過 LAN 或 USB 將其連接到示波器, 再按下 Acquire Data 按鈕, 即可取得豐富資訊的顯示畫面, 如圖 43 所示。分析功能包括:

- 眼狀圖 — 由擷取中所有訊息構成眼狀圖, 以藍色反白強調顯示目前選取的訊框。與 TP1 或 TP4 遮罩相較不同者, 則以紅色反白強調顯示。
- 解碼 — 在類比波形解碼目前選取的訊框, 整個擷取的解碼內容顯示在顯示幕底部。

- 時間間隔誤差 (TIE) 圖 — 讓您容易目視查看訊框內的抖動。
- 錯誤檢查 — 錯誤以紅色反白強調顯示。計算標頭和下降 CRC，並與傳送的訊框比對。
- 定時量測 — 上升時間、下降時間、TSS 持續期間、訊框時間、平均位元時間、前一個同步、下一個同步、前一個週期訊框、下一個週期訊框。
- 尋找 — 隔離封包內容中感興趣的特定訊框。
- 儲存 — 將解碼的擷取內容儲存為 .csv 檔案，以供日後離線分析。

由於這套完善的 FlexRay 解決方案及上述的 CAN 和 LIN 功能，讓 Tektronix 示波器成為最佳的汽車設計疑難排解工具。



圖 44. 在 CAN 匯流排擷取中搜尋特定的辨識符和資料。

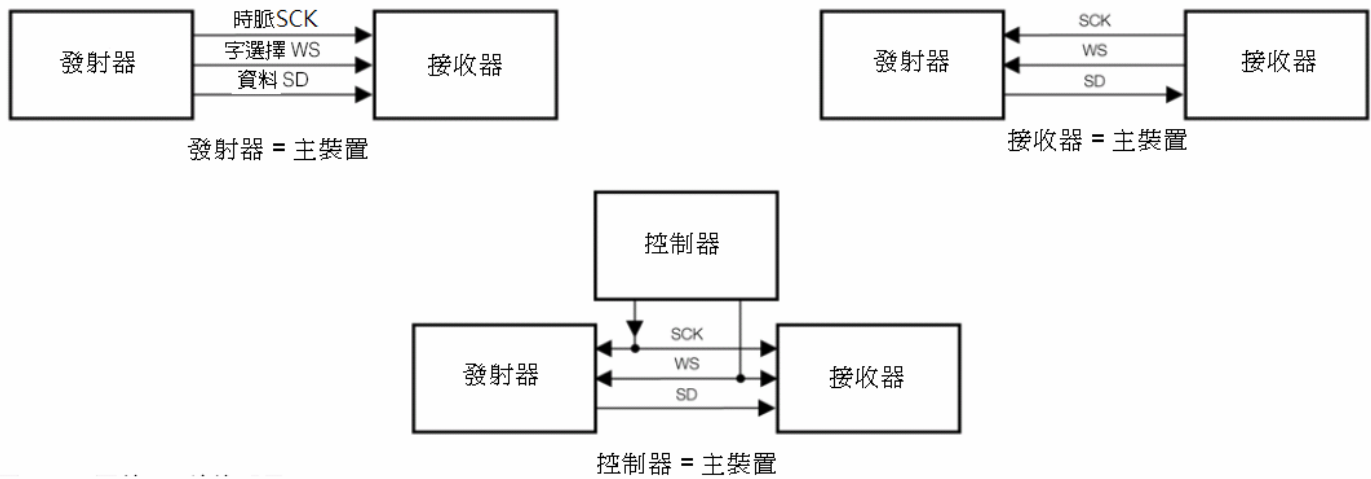


圖 45. 不同的 I²S 匯流排配置。

音訊匯流排

背景知識

I²S 或「I 平方 S」是 Inter-IC Sound 的縮寫。最初是由 Philips (飛利浦) 公司在 1980 年代中期研發的技術，為如光碟播放機和數位電視等消費性電子產品，提供數位音訊訊號一個標準化的通訊途徑。消費性電子產品市場在過去的 20 年中持續地拓展，I²S 匯流排的應用應運而生。今天，在手機、MP3 播放機、機上盒、專業音訊設備和遊戲系統中常見到其身影。

運作方式

I²S 匯流排是主從 3 線串列通訊匯流排。三個訊號分別時脈 (SCK)、字選擇 (WS) 和資料 (SD)。一般來說，發射器是主裝置、接收器是從裝置。但在某些情況下，經由產生時脈和字選擇訊號，接收器即可用作主裝置。視需要，可以由另一台裝置控制發射器和接收器。這些配置情況如圖 45 所示。

串列資料以 2 的補數、以最高有效位元 (MSB) 順序傳送。MSB 最先傳送的原因，是發射器和接收器的字長度可能不同。發射器沒必要知道接收器可以處理多少位元，接收器也沒必要知道傳送了多少位元。系統字長度大於發射器字長度時，便會截短字 (最低有效資料位元設為「0」)，以便進行資料傳送。若接收器傳送的位元數大於其字長度，便會忽略最低有效位元 (LSB) 後面的位元。反之，若接收器傳送較字長度短的位元，便會內部將缺少的位元設為 0。因此，MSB 有固定的位置，而 LSB 的位置需視字長度而定。發射器總是在 WS 變化後的一個時脈週期傳送下一個字的 MSB。

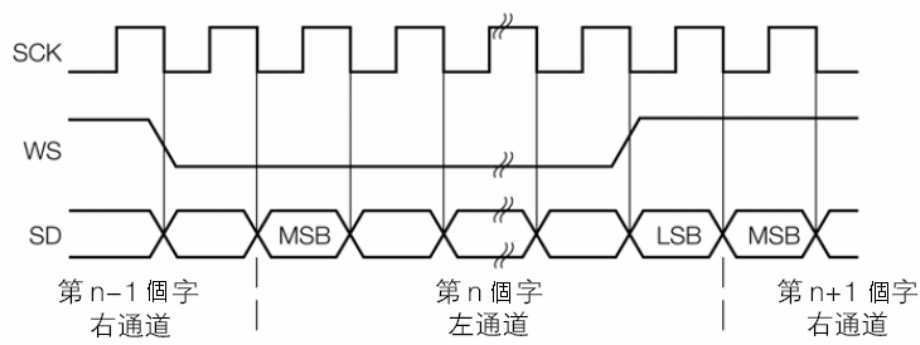


圖 46 第一部分. I2S 格式。

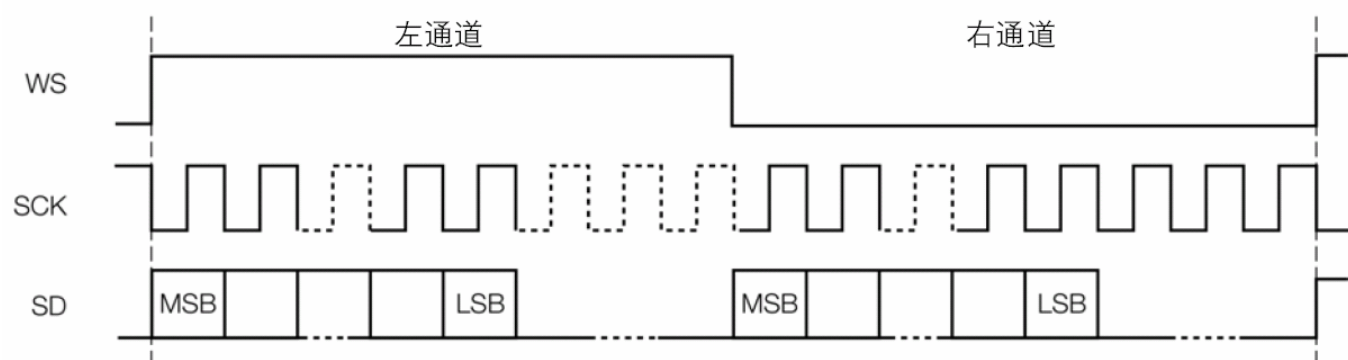


圖 46 第二部分. LJ 格式。

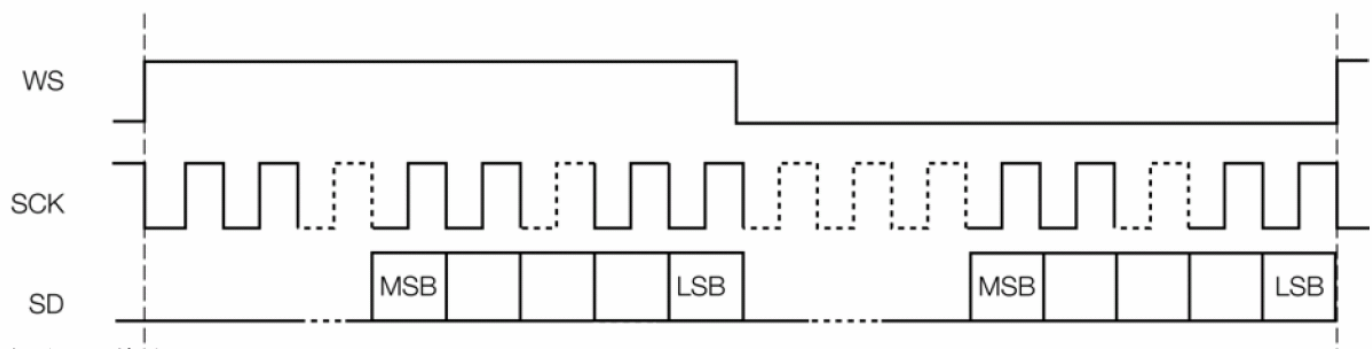


圖 46 第三部分. RJ 格式。

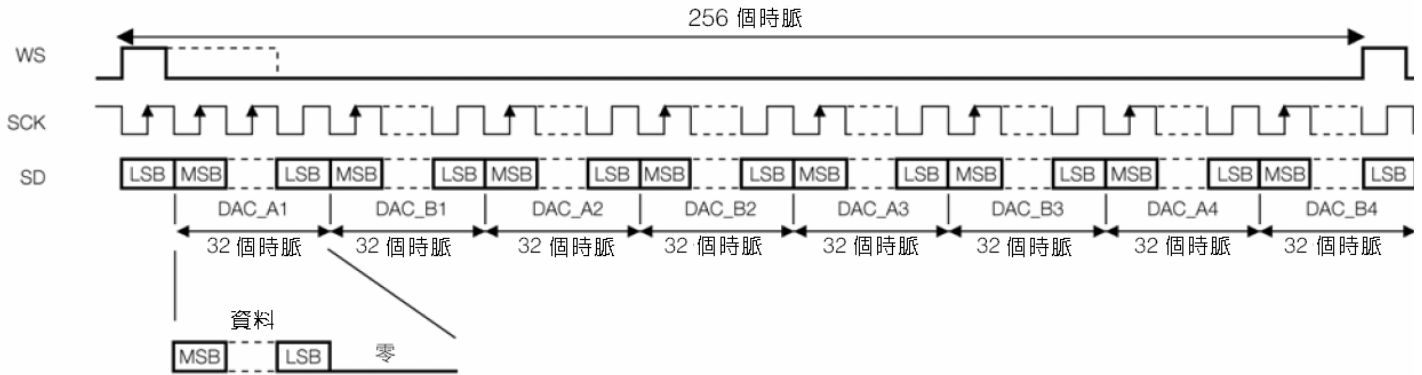


圖 47. TDM 格式

常用的多種類似 I²S 匯流排的產品是左對齊 (LJ)、右對齊 (RJ) 和分時多工 (TDM)。I²S、LJ 與 RJ 之間的主要區別在於資料是相對於 Word Select 訊號的時間位置放置。在 I²S 中，MSB 是延遲於 WS 後一個時脈。在 LJ 中，資料位元與 WS 對齊。在 RJ 中，資料位元與 WS 右對齊，如圖 46 所示。TDM 與 I²S、LJ 和 RJ 類似，但允許兩條以上的音訊通道。圖 47 範例顯示有 8 個音訊通道，各有 32 個資料位元。

所有這些數位音訊匯流排都採用非常簡單的結構。本應用摘要中提及的許多其他匯流排都有位址欄位、CRC 欄位、同位位元、開始/結束位元和多種其他指示符位元，但是數位音訊匯流排的每個通道只有資料值。

與音訊匯流排搭配使用

數種 Tektronix 示波器產品系列上皆提供數位音訊匯流排的支援功能 (請參閱附錄 A)。利用面板上的 Bus 按鈕，僅需輸入基本匯流排參數 (如字長度、訊號極性、位元順序和臨界值)，即可定義音訊匯流排。TDM 定義還需要每個通道的資料位元數、每個通道的時脈位元數、位元延遲和每個訊框的通道數。

設定匯流排後，便可迅速地觸發擷取匯流排上特定的資料內容、解碼整個擷取內容及搜尋擷取內容以找到屬意的特定資料。在下例中顯示，A/D 轉換器 (ADC) 驅動一條 I²S 匯流排。通道 1 (黃色) 是時脈訊號、通道 2 (青色) 是字選擇訊號和通道 3 (洋紅色) 是資料訊號。我們將觸發設成尋找指定範圍外的資料值，查看我們取樣的訊號是否會達到 ADC 的限制。如圖 48 所示，我們使用這種 Outside Range 觸發確實擷取到一個極端值 (-128)。

Tektronix 示波器強大的音訊觸發功能包括下列類型：

- 字選擇 — 在啟動 I²S、LJ 和 RJ 匯流排中訊框的字選擇邊緣觸發。
- 訊框同步 — 在啟動 TDM 中訊框的訊框同步訊號觸發。
- TDM 資料 — 在 I²S、LJ 和 RJ 中於 Left Word、Right Word 或 Either Word 中的使用者指定資料觸發。在 TDM 中，指定欲在其中尋找資料值的通道數。資料判定符包括 =、≠、≤、<、>、≥、範圍內和範圍外。

這些觸發條件與 Tektronix 示波器支援的所有其他串列匯流排類型一樣，亦可用作調查長擷取內容的搜尋條件資，且可以事件表格式來顯示解碼後的音訊資料。



圖 48. 不在 I²S 匯流排取值範圍內觸發。

MIPI DSI-1 / CSI-2 匯流排

背景知識

不像本文中提及已問世數十年的其他標準，行動產業處理器介面 (MIPI) 標準相對是較新的，且在某些情況下仍在發展中。

MIPI 聯盟 (www.mipi.org) 指出：

「這些規格建立了硬體和軟體介面的標準，推動著新技術發展，並在行動生態系統中更快地部署新功能和服務。」「行動產業深受多種介面不能相容且無各自特色之困擾。導致產品之間不相容，維護多種介面的冗餘工程投資，最終將導致更高的成本 (但大多不會產生更高的利潤率/價值)。MIPI 欲透過開發極具吸引力的整合目標，戮力減少這種分裂狀況；與其他專利替代方案相較，這具有技術和智慧財產權的優勢。」

MIPI 聯盟已完成多項行動產品所採用的規格。其中兩種規格 DSI-1 和 CSI-2 是通訊協定級規格，規定如何在主處理器與顯示晶片 (DSI-1) 之間，以及在主處理器與照像機晶片 (CSI-2) 之間傳送資訊。這兩種通訊協定均採用 MIP 聯盟開發的相同基本實體層介面：D-PHY 和 M-PHY。

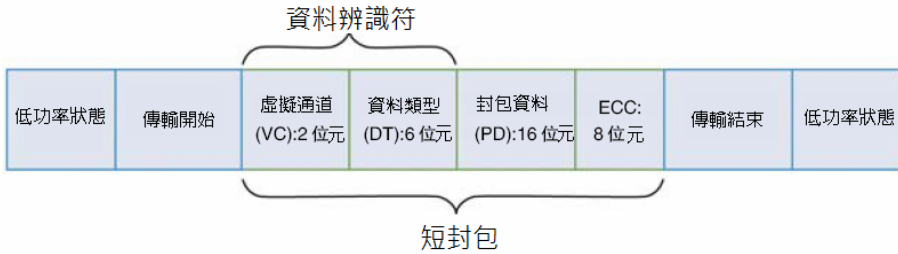


圖49. 短 MIPI 封包。

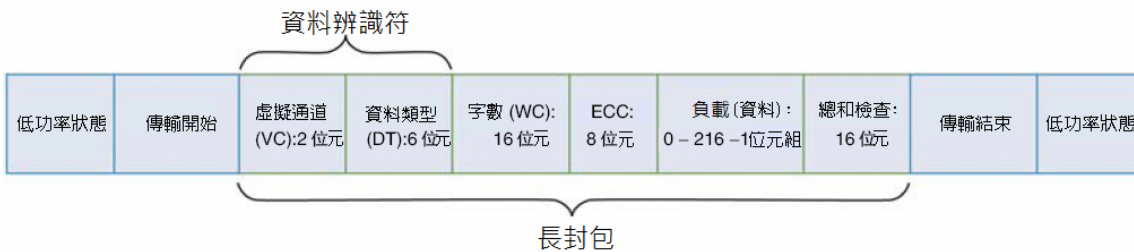


圖 50. 長 MIPI 封包。

運作方式

D-PHY 實體層指定主處理器與另一台裝置 (如顯示器或照像機) 之間的高速串列連結。匯流排配置最少要是一條時脈通路和一條資料通路；但為增加流排頻寬時，最多可以使用 4 條資料通路。

匯流排有低功率和高速兩種運作模式。低功率模式採用單端訊號，且將時脈嵌入資料中。一般用於命令和控制用途，最大資料傳送率為 10 Mb/s。高速模式採用差動訊號，且一般用於快速資料傳送。例如，可以低功率模式傳送手機顯示幕的垂直和水平同步化資訊，因為需要傳送的資訊相對較少，且低傳送率足以應付。但是，手機上顯示的實際視頻內容則要求大、高速資料傳送，方能支援現今的高清顯示，因此要採用高速模式。儘管高速模式的實際最大傳送率會因施行方式不同而異，但整體匯流排運作範圍通常是每個通路為 80 Mb/s - 1Gb/s。

DSI-1 和 CSI-2 通訊協定規定使用短封包和長封包組合，跨 D-PHY 實體層傳送資訊。

短封包一般用於命令和控制類型資訊，例如同步和配置；而長封包則常用於視頻內容。短封包的結構如下：

- 資料辨識符 — 長 8 位元，其中包括下文將說明的「虛擬通道」欄位和「資料類型」欄位。

- 虛擬通道 — 在匯流排上有一台以上的照像機或顯示裝置時，虛擬通道欄位指明封包欲傳送到匯流排上的哪台裝置。長 2 位元，最多 4 台裝置可以共用一條匯流排。
- 資料類型 — 長 6 位元，指明傳送何種類型的命令或動作，以及「封包資料」欄位中的資料代表什麼及其結構為何。
- ECC — 錯誤修正欄位，可修正單位元錯誤，並偵測短封包中的 2 位元錯誤。

長封包有較多的欄位。長封包的結構如下：

虛擬通道、資料類型和 ECC 與短封包相同，下列為與短封包相異處：

- 字數 — 長封包用字數取代封包資料。這個 16 位元值指明負載資料中包括的位元組數。
- 負載 — 通常用此欄位以一些不同的視頻格式傳送大量的視頻資料。每種格式均有其各自的「資料類型」。負載欄位的長度可以從 0 到 65,535 ($2^{16} - 1$) 位元組。
- 總和檢查 — 此欄位檢查負載中的錯誤。



圖 51. MIPI DSI-1 匯流排設定。



圖 53. MSO70000C 類比通道解碼組合像素流後的顯示畫面，顯示總和檢查錯誤。

與 DSI-1 和 CSI-2 搭配使用

SR-DPHY 應用程式可以解碼 DSI-1 和 CSI-2 匯流排。欲設定匯流排，僅需進入 Bus Setup Menu 功能表、選擇 Serial，再選擇 MIPI DSI-1 或 MIPI CSI-2。下列截圖中顯示選擇 DSI-1。

欲配置匯流排，需要指定通道類型（類比或數位）及探測匯流排使用的探棒。使用類比通道時，便需使用差動探棒探測時脈、使用兩隻單端探棒探測資料通路。P6780 差動探棒讓 MSO70000C 系列得以使用數位通道來探測一或多個通路。各個通道分別用於探測時脈、差動訊號 D+/D-、單端訊號 D+/GND 及單端訊號 D-/GND。因此，需要三個類比通道或四個數位通道，才能探測單通路 DSI-1 或 CSI-2 施行。

在配置和顯示之後，匯流排形式便會顯示短封包和長封包在解碼後的所有組成元件，以及其他通訊類型（例如匯流排往返周期 (BTA) 及逃脫模式命令）。



圖 52. MSO70000C 數位通道解碼組合像素流、24 位元 RGB 8-8-8 格式長封包後的顯示畫面。

預設是以十進位顯示虛擬通道和字數欄位。「資料類型」欄位指明封包類型。「ECC」和「總和檢查」則以十六進位顯示。最後，對於已定義的資料類型，負載欄位解碼已傳送到相關顯示型資訊中的資料。上例顯示，負載中傳送的第一個像素值有 255 紅色值、216 綠色值和 0 藍色值。

除解碼 DSI-1/CSI-2 擷取內容外，您還可以搜尋長擷取內容，以找到出現所有下列類型封包內容的時點：

- 短封包 (指明 VC、DT、方向和封包資料值)
- 長封包 (指明 VC、DT、方向、WC 和資料負載，包括像素值)
- 停止
- 傳輸開始 (SoT)
- 傳輸結束 (EoT)
- 匯流排往返週期 (僅適用於 DSI-1)
- 逃脫模式
- ECC 警告
- ECC 錯誤
- 總和檢查錯誤

利用 SR-DPHY 應用程式和適用的 Tektronix 示波器（請參閱附錄 A），即可容易地解碼和檢視 DSI-1 和 CSI-2 串列匯流排封包、分析，再將其與裝置中的其他活動關聯。

觸發與搜尋比較

如同我們在此應用摘要的討論所述，需具備功能強大的觸發系統，方能隔離串列匯流排上感興趣的事件。但是，若您想要在資料擷取後（示波器停止）分析資料，觸發就不管用了。示波器若具備類似觸發的資源，能分析已停止的波形資料，不是很好嗎？

Tektronix 示波器提供 Wave Inspector® 與進階搜尋和標記功能，及強大的搜尋能力。本文中討論的所有匯流排觸發功能還可用作已擷取資料的搜尋標準。

如圖 44 所示，示波器已在長擷取內容中搜尋具有特定位址和資料內容的每則 CAN 訊息，並於顯示幕頂部以空心白色三角形標示每一則訊息。使用者僅需按下面板上的 Previous 和 Next 按鈕，即可在標示間瀏覽。

當然，搜尋也可用於較傳統的觸發類型。搜尋類型包括邊緣、脈衝寬度、矮波、設定和保持時間、邏輯和上升/下降時間。

結論

嵌入式系統設計，從並列匯流排轉變為串列匯流排，雖有許多優點，但也讓設計工程師面臨許多挑戰。若是使用傳統的測試與量測工具，較難觸發擷取欲尋找的事件。使用者幾乎無法僅賴檢視類比訊號，即可得知呈現的是何種資訊。此外，為疑難排解問題，需以手動方式解碼長時間的匯流排活動是非常耗時和非常容易出錯的過程。Tektronix 示波器系列改變了這一切。具備強大的觸發、解碼和搜尋功能，讓現今的設計工程師得以極高的效率解決嵌入式系統設計問題。

附錄A：Tektronix 提供多種符合您需求和預算的示波器。

	MSO/DPO70000 系列	DPO70000 系列	MSO/DPO5000系列	MDO/MSO/DPO4000 系列	MDO3000系列	MSO/DPO2000 系列
頻寬	33 GHz、25 GHz、23 GHz、20 GHz、16 GHz、12.5 GHz、8 GHz、6 GHz、4 GHz	3.5 GHz、2.5 GHz、1 GHz、500 MHz	2GHz、1GHz、500MHz、350MHz	1GHz、500MHz、350MHz、100MHz	1GHz、500MHz、350MHz、200MHz、100MHz	200MHz、100 MHz、70 MHz
類比通道	4	4	4	2 或 4	2 或 4	2 或 4
數位通道	16 (MSO)	--	16 (MSO)	16 (MDO)	16 (選配)	16 (MSO)
頻譜分析儀通道	--	--	--	1 (MDO)	1	--
記錄長度 (所有通道)	最高62.5M (標配) 最高250 M (選配)	25 M (標配) 最高125 M (選配)	25 M (標配) 最高125 M (選配)	最高20 M	10 M	1 M
取樣率 (類比)	最高100 GS/s	最高40 GS/s	最高10 GS/s	最高5 GS/s	最高5 GS/s	1 GS/s
彩色顯示器	12.1吋 XGA	12.1吋XGA	10.4吋XGA	10.4吋XGA	9吋WVGA	7吋WQVGA
串列匯流排觸發和分析應用	SR-EMBD : I ² C、SPI SR-COMP : RS-232/422/485 UART SR-USB : USB 2.0 SR-DPHY : MIPI 解碼 SR-AERO : MIL-STD-1553 SR-AUTO : CAN、LIN、FlexRay SR-810B : 8b/10b解碼 SR-PCIE : PCI Express SR-ENET : 10/100BASE-T 乙太網路解碼	SR-EMBD : I ² C、SPI SR-COMP : RS-232/422/485 UART SR-USB : USB 2.0 SR-DPHY : MIPI 解碼 LSA : CAN、LIN解碼 SR-AERO : MIL-STD-1553 SR-AUTO : CAN、LIN、FlexRay SR-810B : 8b/10b解碼 SR-PCIE : PCI Express解碼 SR-ENET : 10/100BASE-T 乙太網路解碼	SR-EMBD : I ² C、SPI SR-COMP : RS-232/422/485 UART SR-USB : USB 2.0 SR-DPHY : MIPI 解碼 VNM : CAN、LIN 解碼 SR-AERO : MIL-STD-1553 SR-AUTO : CAN、LIN、FlexRay SR-810B : 8b/10b解碼 SR-PCIE : PCI Express解碼 SR-ENET : 10/100BASE-T 乙太網路	DPO4EMBD : I ² C、SPI DPO4USB : USB 2.0 DPO4COMP : RS-232/422/485/UART DPO4AUTO : CAN、LIN DPO4AUTOMAX : CAN、LIN、FlexRay DPO4AUDIO : I ² S/LJ/RJ/TDM DPO4ENET : 10/100 BASE-T 乙太網路 DPO4AERO : MIL-STD-1553	MDO3EMBD : I ² C、SPI MDO3USB : USB 2.0 MDO3COMP : RS-232/422/485/UART MDO3AUTO : CAN、LIN MDO3FLEX : FlexRay MDO3AUDIO : I ² S/LJ/RJ/TDM MDO3AERO: MIL-STD-1553	DPO2EMBD : I ² C、SPI DPO2COMP : RS-232/422/485/UART DPO2AUTO : CAN、LIN
同時顯示的串列匯流排數量	16	16	16	4	2	2

Tektronix 聯絡方式：

東南亞國協/大洋洲 (65) 6356 3900
奧地利* 00800 2255 4835
巴爾幹半島、以色列、南非及其他 ISE 國家 +41 52 675 3777
比利時* 00800 2255 4835
巴西 +55 (11) 3759 7627
加拿大 1 (800) 833 9200
中東歐、烏克蘭及波羅的海諸國 +41 52 675 3777
中歐與希臘 +41 52 675 3777
丹麥 +45 80 88 1401
芬蘭 +41 52 675 3777
法國* 00800 2255 4835
德國* 00800 2255 4835
香港 400 820 5835
印度 000 800 650 1835
義大利* 00800 2255 4835
日本 81 (3) 67143010
盧森堡 +41 52 675 3777
墨西哥、中/南美洲與加勒比海諸國 52 (55) 56 04 50 90
中東、亞洲及北非 + 41 52 675 3777
荷蘭* 00800 2255 4835
挪威 800 16098
中國 400 820 5835
波蘭 +41 52 675 3777
葡萄牙 80 08 12370
南韓 001 800 8255 2835
俄羅斯及獨立國協 +7 (495) 7484900
南非 +27 11 206 8360
西班牙* 00800 2255 4835
瑞典* 00800 2255 4835
瑞士* 00800 2255 4835
台灣 886 (2) 2722 9622
英國與愛爾蘭*00800 2255 4835
美國 1 800 833 9200

* 歐洲免付費電話，若沒接通，請撥：+41 52 675 3777

最後更新日期 2013 年 6 月

若需進一步資訊，Tektronix 維護完善的一套應用指南、技術簡介和其他資源，
並不斷擴大，幫助工程師處理尖端技術。請造訪 www.tektronix.com.tw



Copyright © Tektronix, Inc. 版權所有。Tektronix 產品受到已經簽發及正在申請的美國和國外專利的保護。本文中的資訊代替以前出版的所有資料。技術規格和價格如有變更，恕不另行通知。TEKTRONIX 和 TEK 是 Tektronix, Inc 的註冊商標。本文提到的所有其他商標均為各自公司的服務標誌、商標或註冊商標。

2014 年 1 月 EA/FCA-POD

48T-19040-16

Tektronix[®]

Tektronix 台灣分公司

太克科技股份有限公司

114 台北市內湖堤頂大道二段 89 號 3 樓

電話：(02) 2656-6688 傳真：(02) 2799-8558

太克網站：www.tektronix.com.tw