

建置測試系統的基本概念

選擇儀控設備

目錄

簡介

類比與 RF 儀控設備

數位儀控設備

機型

後續步驟

簡介

工程師往往會將「工欲善其事，必先利其器」視為金科玉律。的確，用錯工具不僅會浪費時間，還將損及品質；相較之下，適當的工具則能在短時間內坐收實效。

在建置自動化測試系統時，量測儀器就是您的得力助手。而這些儀器會包含多功能數位電錶 (DMM)、示波器與波形產生器等現有商品，以及產品類別不斷推陳出新的向量訊號收發器與多合一示波器。若要挑選儀控設備，測試工程師除了要具備豐富的經驗外，還必須精通且熟知下列資訊：

- 受測裝置 (DUT) 的技術量測需求
- 對應用層面造成影響的關鍵儀器規格
- 可用的儀控設備類別，及其在功能、尺寸與價格方面的比較
- 特定儀器類別中的不同產品型號有著哪些細微差異

「工欲善其事，必先利其器」看似簡單，實踐起來卻非如此；在遍覽與評估各項產品的優劣時，箇中難處更是苦不堪言。在本指南中，我們將檢視現行儀器的主要類別，並了解哪些常見選用標準有助於縮小範圍，從而找出符合應用需求的最佳選項。

類比與 RF 儀控設備

類比與 RF 測試儀器的應用領域十分廣泛，當中涵蓋數百個產品類別，各類別下還有數千個型號。同時，該領域是由物理學所主導（具體而言，是指放大器技術與類比數位轉換器 (ADC) 背後的雜訊與頻寬基礎，它們都是儀器賴以建立的幕後功臣）。在這些基礎物理限制與擷取速度的交互影響之下，量測作業的精確度也會有著顯著差異。下圖顯示的是，傳統與模組化儀器在速度與解析度之間的平衡，隨著技術與時俱進所呈現的變化。

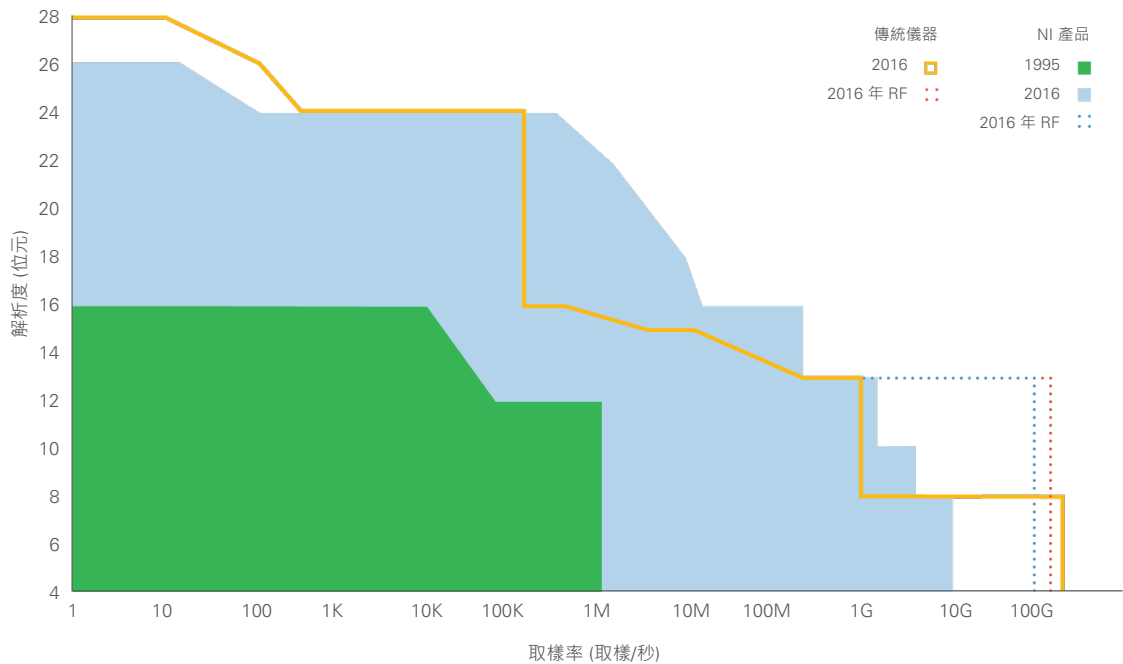


圖 1. 儀控設備的解析度與取樣率

類比與 RF 儀器類別

圖 1 的曲線代表著來自眾多不同儀器類別的範例。圖表左上方的 DMM，可在低速時提供高準確度；圖表右下方的示波器，能以較低的解析度提供高頻率擷取；而左下方的 DAQ 產品，則能以較低的價格提供較高的通道密度。

若要將範圍縮小至單一儀器類別，請先思考下列幾個攸關量測作業的重要問題：

- 訊號方向為何？(輸入、輸出或兩者)
- 訊號頻率為何？(DC、KHz、MHz 或 GHz)

這兩個問題涉及方向與速度，因此在作答後，適合著手的儀器類別通常就呼之欲出 (如表 1 所示)。

	DC 與電源	低速類比	高速類比	RF 與無線
輸入、量測	多功能數位電錶	類比輸入、資料擷取 (DAQ)	示波器、頻率計數器	RF 分析器、功率計 (頻譜分析器、向量訊號分析器)
輸出、產生	可程式化電源供應器	類比輸出	函式/任意波形產生器 (FGEN、AWG)	RF 訊號產生器 (向量訊號產生器、CW 音源)
在相同裝置上輸入與輸出	DC 電源分析器	多功能資料擷取 (多功能 DAQ)	多合一示波器	向量訊號收發器 (VST)
在相同針腳上輸入與輸出	電源量測單元 (SMU)	LCR Meter	阻抗分析器	向量網路分析器 (VNA)

表 1. 類比儀控設備類別

上表雖可發揮些許效用，卻未詳盡列出各種儀器類型 (尤其是有關垂直或特定用途的儀器)。值得注意但表格未涵蓋的儀器包括：

- 特殊 DC 儀器 (例如靜電計、微電阻計與奈米電壓計等)
- 音訊頻帶分析與產生 (又稱為「動態訊號分析器」)
- 特殊類比產品 (包括脈波產生器、脈衝產生器/接收器，以及其他產品)

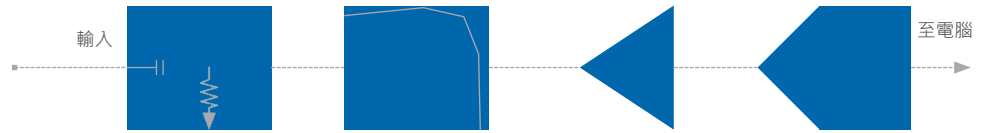
值得考量的主要規格

將量測作業的範圍縮小至特定儀器類別後，接下來，請使用下列需求來衡量該類別各項產品的利弊：

- **訊號範圍、隔離與阻抗**— 首先，請確認儀器的輸入訊號範圍是否足以擷取所需訊號。此外，也請考量儀器的輸入阻抗 (這會影響量測設定的載入與頻率效能)，以及儀器的接地隔離 (這會影響抗擾性與安全性)。
- **類比頻寬與取樣率**— 接著，請確認儀器是否能根據自身的類比頻率 (以 KHz、MHz 或 GHz 表示) 來傳遞所需訊號，還有 ADC 的取樣速度 (以每秒樣本數表示，例如 KS/s、MS/s 或 GS/s 表示) 是否足以擷取所需訊號。
- **量測解析度與準確度**— 最後，請評估會影響量測品質的多個儀器垂直規格層面，例如 ADC 解析度 (類比訊號的數位量化，通常會介於 8 位元至 24 位元之間)、量測準確度 (隨著時間與溫度推移的量測錯誤上限，通常會以百分比或 PPM 表示)，以及量測敏感度 (可偵測到的最小變化，通常會以毫伏等絕對單位表示)。

未包含在上述範圍、準確度與速度等功能層面的儀器，極有可能具備其他優勢，像是價格、尺寸、功率消耗與通道密度等，而這些條件都會影響儀器的實用性。

表 2 將一般量測儀器的類比輸入路徑予以簡化，當中提供了 4 個主要輸入階段、這些階段所影響的儀器規格，以及受該階段影響之典型 DMM 與典型示波器的儀器規格範例。



	輸入隔離與端點	輸入耦合與過濾	輸入放大器	類比數位轉換器 (ADC)
取決規格	隔離輸入、阻抗	AC/DC 耦合、類比頻寬	最大電壓範圍、 最小電壓敏感性	取樣率、解析度
範例 DMM :	隔離最高可達 300 V、 Cat II 10 MΩ (可選擇)	DC 耦合、200 kHz 頻寬	最高可達 300 V 輸入、 最低可達 10 nV 敏感度	10k Hz 讀取速度、 6 位半 (24 位元) 解析度
範例示波器 :	接地準位為 50 Ω 或 1 MΩ (可選擇)	DC 或 AC 耦合 (可選擇)、 350 MHz 頻寬	最高可達 40 Vpp 輸入、 最低可達 1 mV 敏感度	最高 5 GS/s 取樣率、 8 位元解析度

表 2. 類比儀控設備輸入階段

儀器規格通常會使用各式各樣的術語，並橫跨眾多儀器類別與廠商；因此，建議您使用上方簡表做為評估儀器規格的實用指引。這幾個階段通常彼此相依相存，並影響主要規格。舉例來說，輸入放大器也會對儀器的輸入頻寬與有效解析度造成影響。同樣地，儀器的輸入阻抗也會對頻寬帶來重大影響。

類比與 RF 儀器類別

在比較 DUT 量測需求與用於測試的儀器功能時，請將下列重要比值謹記在心。

測試準確度比值 = 4:1

測試元件 (例如電壓準位) 時，請確認量測設備的準確度是否遠高於受測元件的準確度。如果未滿足此一條件，DUT 與測試設備就有可能產生顯著的量測錯誤，讓您無從得知真正的錯誤究竟源自於何處。有鑑於此，建議您運用測試準確度比值 (TAR) 概念，來掌握量測設備與受測元件的相對準確度。

視執行的測試類型與所需的測試準確度而定，可接受的 TAR 值通常為 4 以上。

$$TAR = \frac{\text{所需的受測元件準確度}}{\text{量測設備準確度}}$$

頻寬比值 = 5:1

上升時間與頻寬有著直接關聯性，只要知道其中一個項目的值，即可得出另一項目。上升時間會定義訊號從滿標值的 10% 上升至 90% 的所需時間。因此，只要使用下列等式，即可依照訊號的上升時間來求得其頻寬：

$$\text{頻寬} = \frac{0.35}{\text{上升時間}}$$

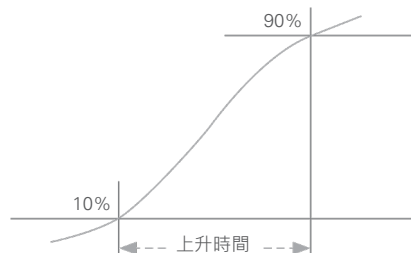


圖 3. 類比上升時間

在理想情況下，所用示波器的訊號頻寬應為上方等式所得數值的 3 至 5 倍。換句話說，示波器上升時間應該是您訊號上升時間的 1/5 至 1/3，才能以最小誤差擷取您的訊號。只要反向推算，即可根據下列方程式來判斷自身訊號的實際頻寬：

$$T_m = \sqrt{T_5^2 + T_d^2}$$

T_m = 所量測的上升時間， T_5 = 實際訊號的上升時間， T_d = 示波器的上升時間

時域取樣比值 = 10:1

頻寬可說明以最小限度衰減進行數位化的最高頻率正弦波；相較之下，取樣率僅代表示波器 (digitizer 或 oscilloscope) 中的 ADC 透過設定時脈來數位化輸入訊號的速率。取樣率與頻寬沒有直接的關聯性；不過，您可以透過一項通用規則來界定這兩項重要規格之間的所需關聯性：

示波器的即時取樣率 = 輸入訊號頻寬的 10 倍

奈奎斯特定理指出：若要避免失真，示波器的取樣率必須比受測訊號中的最高頻率分量高出至少一倍。然而，只以最高頻率分量的兩倍進行取樣，並不足以精確重現時域訊號。若要準確地數位化輸入訊號，示波器的即時取樣率至少必須為示波器頻寬的 3 至 4 倍以上。為了說明箇中原因，請檢視下圖，並思考您比較想在示波器上看到下列哪一個數位化訊號。

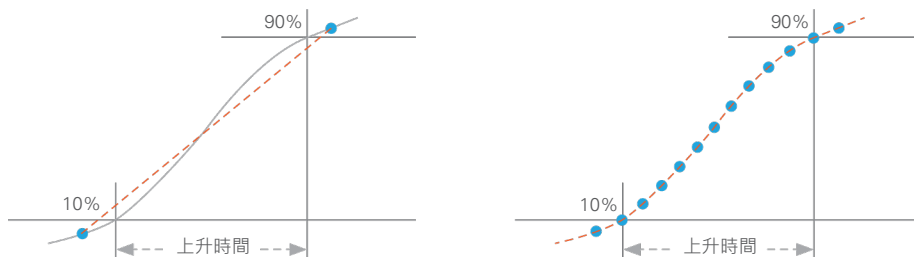


圖 4. 右圖顯示的示波器取樣率足以精確重建訊號，因此可提供更準確的量測結果。

在兩個範例中，雖然通過前端類比電路的實際訊號完全相同，但左圖卻顯示了取樣率降低的情況，進而導致數位化訊號失真。相較之下，右圖顯示的是，由於取樣點足夠，使訊號可準確重建，量測結果的準確度也因此隨之提高。訊號的精確呈現與否，是時域應用中 (例如上升時間、過衝，或其他脈波量測) 的一大要素；也因此，如果示波器取樣率較高，這些應用領域將可從中受惠。

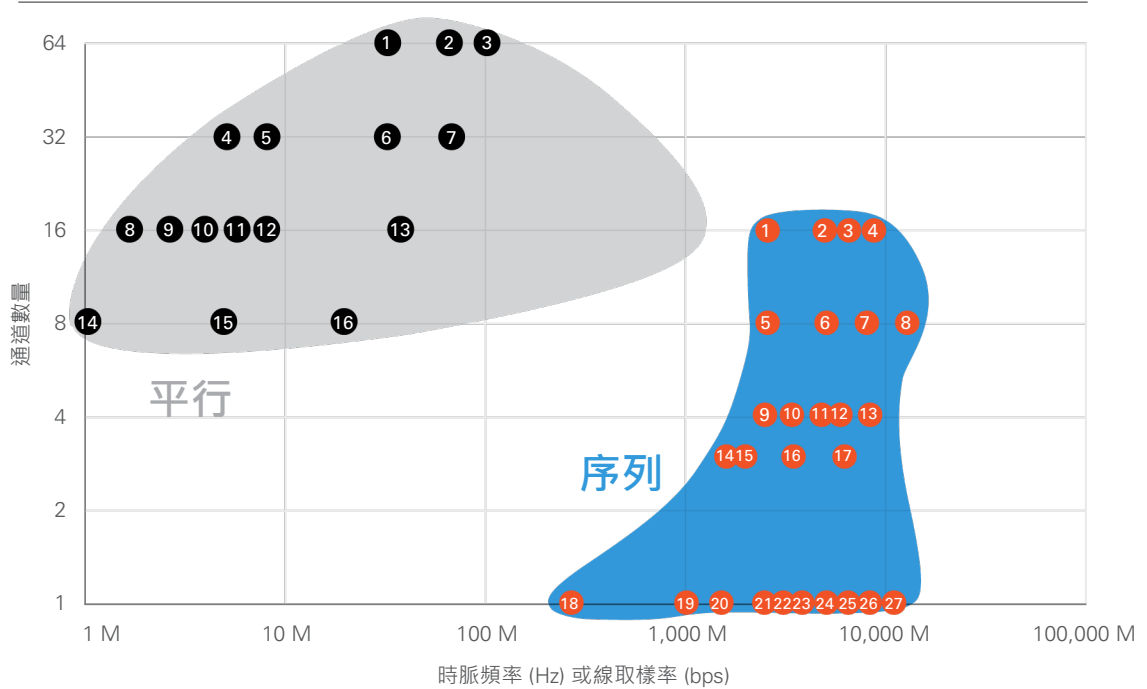
數位儀控設備

在電子功能測試領域中，數位儀控設備可用來介接各項數位協定，並測試這些協定的電子特性及通訊連結特性。而特定作業所適用的儀控設備，則取決於平行與序列數位通訊。

平行與序列標準

序列標準越來越普及的其中一項原因，在於平行匯流排的時脈率具有實體限制 (約為 1 GHz 至 2 GHz)。在較快的速率下，個別時脈及資料線路會發生位元錯誤，進而造成時序不對稱；正因如此，平行匯流排才會有著上述限制。高速序列匯流排傳送的編碼資料會將資料與時脈資訊包含在單一差動訊號中，可讓您擺脫平行匯流排受到的速度限制。若能以更高的速度來序列化資料並加以傳送，即可減少積體電路 (IC) 的針腳數，進而讓尺寸隨之縮小。此外，序列通道能以更高的時脈速率運作，而資料傳輸率也比平行匯流排更顯出色。

匯流排標準



平行匯流排

- | | |
|---------------------|----------------------|
| 1 PCI 64 位元/33 MHz | 13 Ultra-2 Wide SCSI |
| 2 PCI 64 位元/66 MHz | 14 RapidIO Gen1.1 |
| 3 PCI 64 位元/100 MHz | 15 GPIB |
| 4 前方面板資料連接埠 | 16 SCSI |
| 5 EISA | ISA 8 位元/4.77 MHz |
| 6 PCI 32 位元/33 MHz | |
| 7 PCI 32 位元/66 MHz | |
| 8 IDE (ATA PIO 0) | |
| 9 ATA PIO 1 | |
| 10 ATA PIO 2 | |
| 11 ATA PIO 3 | |
| 12 ATA PIO 3 | |
| ISA 16 位元/8.33 MHz | |

序列匯流排

- | | |
|--------------------------|-----------------|
| 1 PCIe Gen1x16 | 15 HDMI 1.3 |
| 2 PCIe Gen2x16 | 16 HDMI 2.0 |
| 3 Serial RapidIO Gen2 | 17 SD-SDI |
| 4 PCIe Gen3x16 | 18 Gigabit 乙太網路 |
| 5 PCIe Gen1x8 | 19 SATA 1.0 |
| 6 PCIe Gen2x8 | 20 Serial FPDP |
| 7 PCIe Gen3x8 | PCIe Gen1x1 |
| 8 JESD204B | 21 SATA 2.0 |
| 9 PCIe Gen1x4 | 3G-SDI |
| 10 Serial RapidIO Gen1.3 | JESD204A |
| 11 PCIe Gen2x4 | 10 Gigabit 乙太網路 |
| 12 DisplayPort | 22 PCIe Gen2x1 |
| 13 PCIe Gen3x4 | USB 3.0 |
| 14 HDMI 1.0 | 23 SATA 3.0 |
| DVI | 24 PCIe Gen3x1 |
| | 25 USB 3.1 |

圖 5. 上方圖表顯示了廣為人知的匯流排標準，以及各項標準的通道數量與線取樣率。序列標準的線取樣率遠高於平行標準，傳輸率也因此較高。

數位儀器類別

如同類比儀控設備一樣，您可以使用下列幾個重要問題，快速縮小數位儀控設備的選擇範圍：

- 您需要完成何種類型的工作？(數位介接、客制化數位介接，或電子與時序測試)
- 連結速度有多快？(靜態與 KB/s、MB/s 或 GB/s 範圍)

	靜態、低速	同步與高速平行 (100 MBITS/S 範圍)	高速序列 (10 GBITS/S 範圍)
介面 (標準)	低速標準介面卡 (I2C、C) 同步協定介面 (ARINC 429、CAN、GPIO、I2C、SPI)		介面卡 (10 Gigabit 乙太網路、 光纖通道與 PCI Express 等)
介面 (客制化)	數位 I/O (GPIO)	數位波形產生器/ 分析器、波形產生器	FPGA 架構的高速序列介面 Aurora、Serial Rapid I/O、 JESD204b
電子測試與時序測試 (基本介面)	針腳電子數位、Per-Pin Parametric Measurement Unit (PPMU)		BERT、示波器

表 2. 數位儀控設備類別

硬體與軟體時序

實作數位通訊作業的主要方法有二：軟體時序與硬體時序。針對軟體時序架構的應用，其輸出或輸入均不會使用任何類型的時脈。而是由軟體控制 I/O，程式設計語言透過軟體控制時序。此一程式設計語言往往會於作業系統上執行，需要花費數毫秒的時間執行軟體呼叫。針對軟體時序，使用者可透過 OS 計時器，以決定時脈動作的速率。一般而言，監控警示、馬達與顯示器等低速應用，大都使用軟體時序。

此外，也有兩種類型的軟體時序通訊可供選用：精確控制與非精確控制。使用 Real-Time OS 時，精確度最高可達 1 微秒；不過，Real-Time OS 僅能提高通訊作業的精確度，而無法加快其速度。非 Real-Time 系統 (例如 Microsoft Windows) 的精確度則較低。在這些系統中，硬體執行軟體指令的時間並不一致，且可能長達數毫秒。無論是電腦記憶體、處理器速度，以及 OS 上執行的其他應用程式，都有可能影響執行時間。

相較之下，硬體時序裝置則會使用時脈的正緣或負緣來精確進行產生或擷取。您可以使用這類型的時序，透過 GB/s 範圍的速率來精確擷取或產生數位資料，並將資料輸出至預先定義的位置。

使用硬體時序的應用領域會包括：

- 晶片測試
- 協定模擬與測試
- 數位視訊與音訊測試
- 數位電子測試

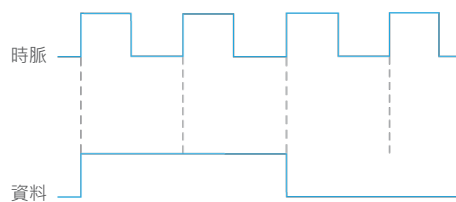


圖 6. 有了硬體時序作業，您就可以善加利用即時且精確的數位訊號輸出。

時脈率

硬體時序數位應用的考量要點，在於時脈速度。裝置往往必須滿足理想條件，才能達到規格所載明的最高速度。只要使用 NI 高速數位 I/O 介面卡，單端點訊號的取樣率最高可達 200 MHz，差動訊號最高則可達 200 MHz；如此一來，即可進行協定、數位音訊與視訊與數位電子等測試作業。若裝置無法達到序列資料串流的所需時脈率，則可使用串列器/解串列器 (SERDES) 來擷取頻率較高的數位訊號。不過，視所用 SERDES 類型而定，可用的通道數可能會因而減少。

機型

身為測試工程師，您除了要了解實際執行正確量測所需的類比前端，也要負責確保儀器穩定、可重複、快速，且已連接至電腦。因此，您勢必要做出攸關設定/環境的抉擇：

- **針對桌上型與實驗室**—準確度、可重複性、初階控制、易於設定，以及可透過自動化來重複進行測試
- **針對廠房**—速度、傳輸率、準確度、透過可程式化介面進行最佳化，以及除錯

如您所見，實驗室及廠房的儀控設備挑選考量有著相似與相異之處。通常，您可以運用一系列的終端佈署關鍵成功條件來評估各款儀器機型。下方列出了適用於製造業環境的評估條件。

功能需求	測試工程師註記
是否需要儀控設備與 I/O？	
是否需要處理與運算能力？	
是否需要資料傳輸率與儲存裝置？	
是否需要同步化？	
後續需求為何？	
要在多長的佈署期間內佈署多少系統？	
規劃的使用年限為何？	
複製的全域網站數量為何？	
佈署情境的環境穩定性如何？	
初始設定、配置與維修管理的情況為何？	
是否採機架固定？	
尺寸、重量與功率為多少？	
設備與連接能力為何？	

表 3. 硬體佈署檢查清單

選擇匯流排類型

時至今日，USB、PCI Express 與乙太網路/LAN 皆已成為廣受使用的儀控通訊選項。有些測試與量測廠商及業界專家會宣稱上述任一匯流排已足以做為解決方案，並滿足所有儀控設備需求。但實際上，鑑於各個匯流排都具備專屬的優勢，日後的測試與量測系統仍有可能同時兼具多種匯流排技術。

頻寬

在評估替代匯流排的技术優勢時，請務必將頻寬與潛時這兩項重要匯流排特性納入考量。頻寬會量測資料透過匯流排傳送的傳輸率，通常會以 MB/s 為單位。相較於低頻寬匯流排，高頻寬匯流排可在指定的時間內傳送更多資料。許多使用者都認為頻寬有其重要性，因為這不僅會影響到使用者能否以擷取或產生資料的相同速度，在匯流排與共用主處理器之間來回傳送資料，儀器所需的內建記憶體數量也端視於此。對複雜波形產生與擷取應用，以及 RF 與通訊應用而言，頻寬都扮演著角色。而在虛擬與合成儀控設備架構中，高速資料傳輸顯得格外重要。虛擬或合成儀器的功能與特性會透過軟體定義；這也表示，在多數情況下，資料需要移至主機電腦，以進行處理與分析。圖 7 顯示了本指南所有儀控設備匯流排的頻寬 (與潛時)。

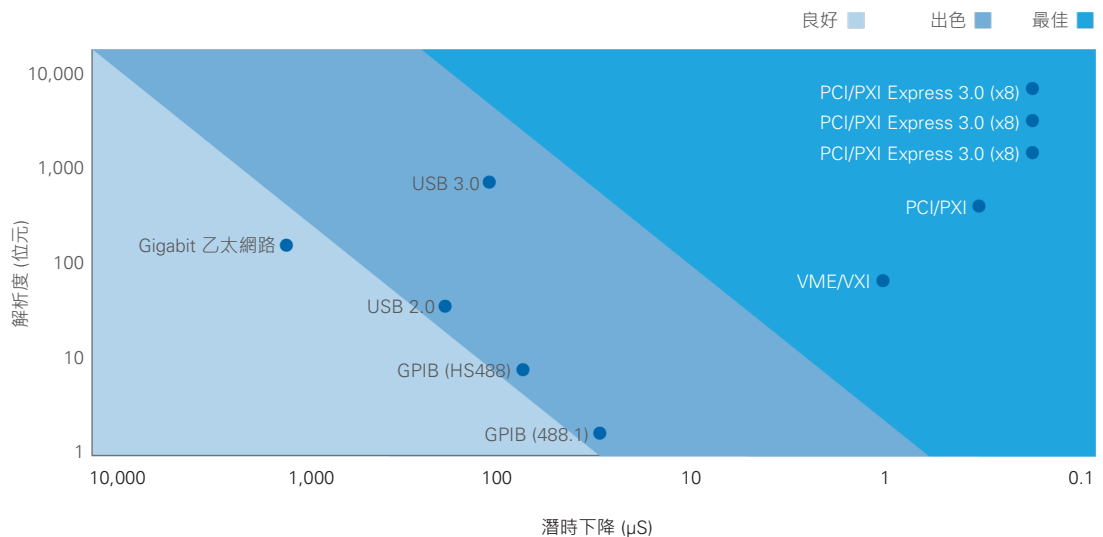


圖 7. 儀控設備匯流排的頻寬與潛時

潛時

潛時會量測匯流排的資料傳輸延遲。舉例來說，如果將儀控設備匯流排比喻成高速公路，頻寬就像是車道數與速限，而潛時則好比因上坡與下坡而發生的延遲。如果匯流排的潛時較低 (表示良好)，即表示任一端傳輸資料的時間與另一端處理資料的時間沒有過多延遲。相較於頻寬，潛時的量測難度較高；不過，如果所需應用會透過匯流排來快速且連續傳送簡短、片段的指令 (例如 DMM 與切換器之間的交握，以及儀器設定)，潛時就會直接影響其效能。

GPIB

IEEE 488 匯流排 (也就是 GPIB) 是一款備受肯定且專為儀控應用所設計的匯流排。GPIB 問世已有 30 年之久。這款通訊匯流排不僅耐用可靠，更憑藉著低潛時與合理頻寬等特性，成為今日最廣受使用的儀控選項。目前，GPIB 採用率位居業界第一；配備 GPIB 連接能力的儀器也超過 10,000 款。

GPIB 的最高頻寬可達 1.8 Mbytes/s，相當適合用來控制獨立儀器並與其通訊。而近期的高速修正版本 (HS488)，更將頻寬提升至高達 8 Mbytes/s；傳輸採訊息架構，通常使用 ASCII 字元進行。您可透過連接線銜接多個 GPIB 儀器，總距離可達 20 公尺；頻寬則會由匯流排上的所有儀器共享。儘管頻寬相對較低，GPIB 的潛時卻遠低於 (且遠優於) USB 與乙太網路。當連接至系統時，GPIB 儀器將不會進行自動偵測或自動設定；不過，GPIB 具有優秀的軟體，而堅固耐用的連接線與接頭也足以應付最嚴峻的實體環境。GPIB 適合用來自動化現有設備，或運用在仰賴高度專業儀器的系統之中。

USB

在電腦週邊裝置連接領域，USB 在近年來成為熱門首選。USB 熱潮也延燒至測試與量測業界，使得越來越多的儀器廠商都將 USB 裝置控制器功能納入自身儀器之中。雖然多數筆記型電腦、桌上型電腦與伺服器都備有多個 USB 連接埠，但這些連接埠通常會全數連接至主控制器，因此 USB 頻寬會由所有連接埠共享。

USB 的潛時效能落在「出色」類別 (速度比乙太網路快，但比 PCI 與 PCI Express 慢)，連接線長度則不得超過 5 公尺；而 USB 裝置與其他技術 (例如 LAN 或 GPIB) 的不同之處，在於 USB 提供自動偵測功能。這表示，只要一經連接，電腦就能辨識與設定 USB 裝置。USB 接頭的耐用性與安全性，則在眾多選項中排名最後。若要加以固定，可能需要藉助於外接式傳輸線固定帶。

透過 USB 控制的裝置適用於可攜式量測應用、筆記型或桌上型資料記錄、與車用資料擷取作業。此匯流排在電腦上極為普遍，還能隨插即用，也因此成為獨立儀器的熱門通訊選項。如需了解各種測試與量測裝置的通訊需求，請參閱 USB Test and Measurement Class (USBTMC) 規格。

PCI

在本文提及的各項儀控設備匯流排中，PCI 與 PCI Express 的頻寬與潛時規格皆名列第一。PCI 的頻寬為 132 Mbytes/s，頻寬會由匯流排上的所有裝置共享。PCI 的潛時效能僅 700 奈秒，相較於 1 毫秒的乙太網路，效能顯得格外出色。PCI 會使用暫存記憶體架構的通訊。不像本文提到的其他匯流排，PCI 不會以連接線接往外部儀器；相反地，PCI 為內接式電腦匯流排，專供電腦插入式介面卡與模組化儀控系統 (例如 PXI) 之用，因此不會直接套用距離量測。不過，在連接至 PXI 系統的情況下，只要使用 NI 光纖 MXI 介面卡，PCI 匯流排最多可延伸至 200 公尺。由於 PCI 連線位於電腦內部，因此接頭的穩定性與耐用度需視安裝的電腦而定。

PXI 模組化儀控系統 (以 PCI 訊號為基礎所建構而成) 會使用高效能背板接頭與多個螺絲固定端點來固定接頭，進而強化連接能力。如果開機當下已安裝 PCI 或 PXI 模組，Windows 就會自動偵測並安裝模組驅動程式。整體而言，由於 PCI 儀器可運用所屬電腦的電源、處理器、顯示器與記憶體，而不需要將上述硬體整合至儀器中，因此成本較為低廉。

PCI Express

PCI Express 與 PCI 相似，為 PCI 標準的最新版本。因此，PCI 相關的評估也適用於 PCI Express。

PCI 與 PCI Express 效能的主要差異在於：PCI Express 不僅頻寬較高，還可為每部裝置提供專屬頻寬。在本指南所提及的所有匯流排中，只有 PCI Express 能為匯流排上的每個週邊裝置提供專屬的頻寬；GPIB、USB 與 LAN 的頻寬則由所連接的週邊裝置共享。在 Gen 1 連結中，資料會透過名為「通道」的點對點連線進行傳輸，每個方向可達 250 Mbytes/s。每個 PCI Express 連結都可包含多個通道；因此，PCI Express 匯流排的頻寬會視其在插槽與裝置的實作方式而定。x1 (乘以 1) 連結可提供 250 Mbytes/s 的專屬頻寬，x4 連結可提供 1 Gbyte/s 的專屬頻寬，而 x16 連結可提供 4 Gbytes/s 的專屬頻寬。PCI Express 具有良好的軟體向下相容性；這表示，使用者若改用 PCI Express 標準，也可保有現行的 PCI 軟體投資。PCI Express 也可透過外部連接線進行延伸。

這款高速的內接式電腦匯流排是專為快速的通訊作業所設計。因此，PCI Express 適合運用在講求高效能、資料密度高、需要大量頻寬，並整合及同步多種儀器的系統中。

乙太網路/LAN/LXI

乙太網路始終位居儀控選項之列。這項成熟的匯流排技術，已廣泛運用在測試與量測之外的眾多應用領域中。理論上，100BASE-T 乙太網路的最大頻寬為 12.5 Mbytes/s。Gigabit 乙太網路 (又稱 1000BASE-T) 則將最大頻寬提升至 125 Mbytes/s。在任何情況下，乙太網路的頻寬都會由整個網路共享。理論上，125 Mbytes/s 的 Gigabit 乙太網路速度會比高速 USB 來得快；不過，如果網路頻寬會由眾多儀器與其他裝置共用，速度就會迅速下滑。匯流排通訊會採訊息架構，而通訊封包會為資料傳輸帶來大量負載。基於此一原因，在本指南提及的匯流排技術中，乙太網路的潛時會敬陪末座。

不過，若要建立分散式系統網路，乙太網路依舊是一時之選。在沒有增益器的情況下，其作業距離最遠可達 85 公尺至 100 公尺；若搭配增益器使用，則沒有距離限制。乙太網路與控制電腦或平台之間的時間距離，遠高於其他任何匯流排。而如同 GPIB 一樣，乙太網路/LAN 也不提供自動設定。您必須透過手動方式，為儀器指定 IP 位址與子網域設定。而相同於 USB 及 PCI，乙太網路/LAN 連線在現代電腦上十分常見；也因此，其可做為分散式系統與遠端監控的理想選擇。乙太網路經常會與其他匯流排及平台技術搭配運用，進而連接量測系統節點。而這些本機節點則可包含採用 GPIB、USB 與 PCI 的量測系統。實體乙太網路連線的耐用度會高於 USB 連線，但略遜於 GPIB 或 PXI。

LAN eXtensions for Instrumentation (LXI) 為新興的 LAN 架構標準。LXI 標準為具備乙太網路連線能力的獨立儀器定義了所屬規格，並新增觸發與同步化等功能。

將單一匯流排或通訊標準指定為最佳或理想技術，固然有其方便之處；但根據過往經驗來看，由於每個匯流排技術各有優缺點，許多替代標準極有可能繼續共存。表 4 列出了上一節所提及的效能條件。如您所見，無論以哪一項效能量測標準來看，每個匯流排都有其無法取代之處。

	頻寬 (MBYTES/S)	潛時 (μS)	範圍 (M) (無延伸器)	設定與安裝	接頭耐用度
GPIB	1.8 (488.1) 8 (HS488)	30	20	良好	最佳
USB	60 (USB 2.0)	類比輸出	5	最佳	良好
PCI (PXI)	132	0.7	內接式電腦匯流排	出色	出色 最佳 (適用於 PXI)
PCI EXPRESS (PXI EXPRESS)	250 (x1) 4,000 (x16)	0.7 (x1) 0.7 (x4)	內接式電腦匯流排	出色	出色 最佳 (適用於 PXI)
乙太網路/ LAN/LXI	12.5 (快速) 125 (Gigabit)	1,000 (快速) 1,000 (Gigabit)	100 公尺	良好	良好

表 4. 匯流排效能比較

您可以建立集結多種模組化儀控平台 (例如 PXI 與獨立儀器) 元件的混合式測試與量測系統，一舉納入 GPIB、USB 與 Ethernet/LAN 連線，進而享有多個匯流排與平台所帶來的優勢。建立與維護混合式系統的其中一項關鍵，在於讓系統架構得以辨識多種匯流排技術，並善用開放式多廠商運算平台 (例如 PXI) 來進行 I/O 連接。

而成功開發混合式系統的另一項關鍵，則是確保您在驅動程式、應用程式與測試系統管理層級的所選軟體都已模組化。雖然有些廠商會針對特定儀器提供垂直性軟體解決方案，但唯有將軟體功能劃分為可互換的模組化分層，讓系統不再侷限於特定硬體或特定廠商，才能打造出最實用的系統架構。此一分層式手法可提供最優異的程式碼重複使用性、模組式與耐用性。舉例來說，Virtual Instrument Software Architecture (VISA) 是一項廠商中立的軟體標準，可用來設定與程式化包含 GPIB、序列 (RS232/485)、乙太網路、USB 與/或 IEEE 1394 介面的儀控設備，並為其除錯。由於進行 VISA 函式程式化的 API 與眾多通訊介面卡十分相似，因此該工具可發揮極大效用。

有了混合式系統，您就能整合各類型儀器的優勢，無論是舊款設備還是特殊裝置，皆可納入系統之中。與其苦苦追尋全方位的儀控設備解決方案，倒不如停下腳步正視現實，依照自身應用需求來挑選適用的儀器與相關匯流排技術。

時序與同步化

下方提供一個實用範例，示範多個 PXI 平台儀器如何整合時序與同步化功能，並採用模組化標準來進行測試與量測。PXI Express 會維持 10 MHz 的背板時脈與單端點的 PXI 觸發匯流排，而 PXI 星形觸發器訊號的長度亦符合最初的 PXI 規格。PXI Express 也會為背板新增 100 MHz 的差動時脈與差動星形觸發器，以提升抗擾性，並提供領先業界的同步化準確度（分別可達 250 ps 與 500 ps 模組對模組時序不對稱）。NI 時序與同步化模組的設計，就是為了要發揮其 PXI 與 PXI Express 機箱中高階時序與觸發技術的優勢。

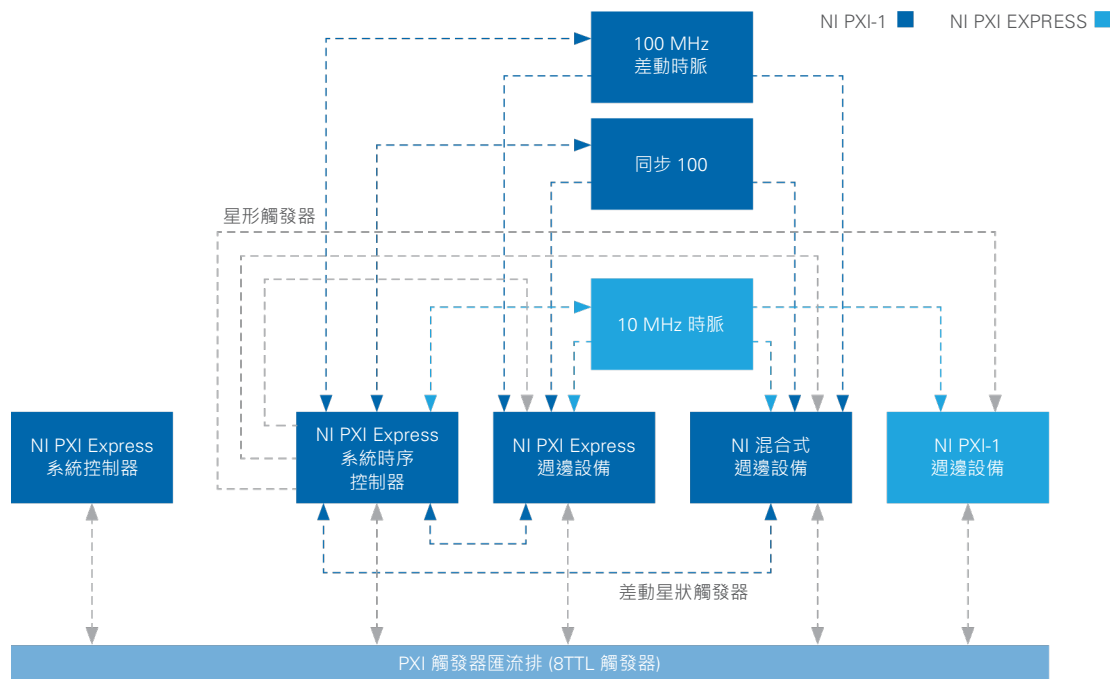


圖 8. PXI 機箱的時序與同步化功能範例

後續步驟

若要進一步了解測試與量測儀控設備的基本使用原理，請閱讀《Instrument Fundamentals》(儀器基本概念) 技術文件系列。該系列涵蓋眾多主題，舉凡類比取樣理論與改善量測結果的接地考量，都囊括其中。