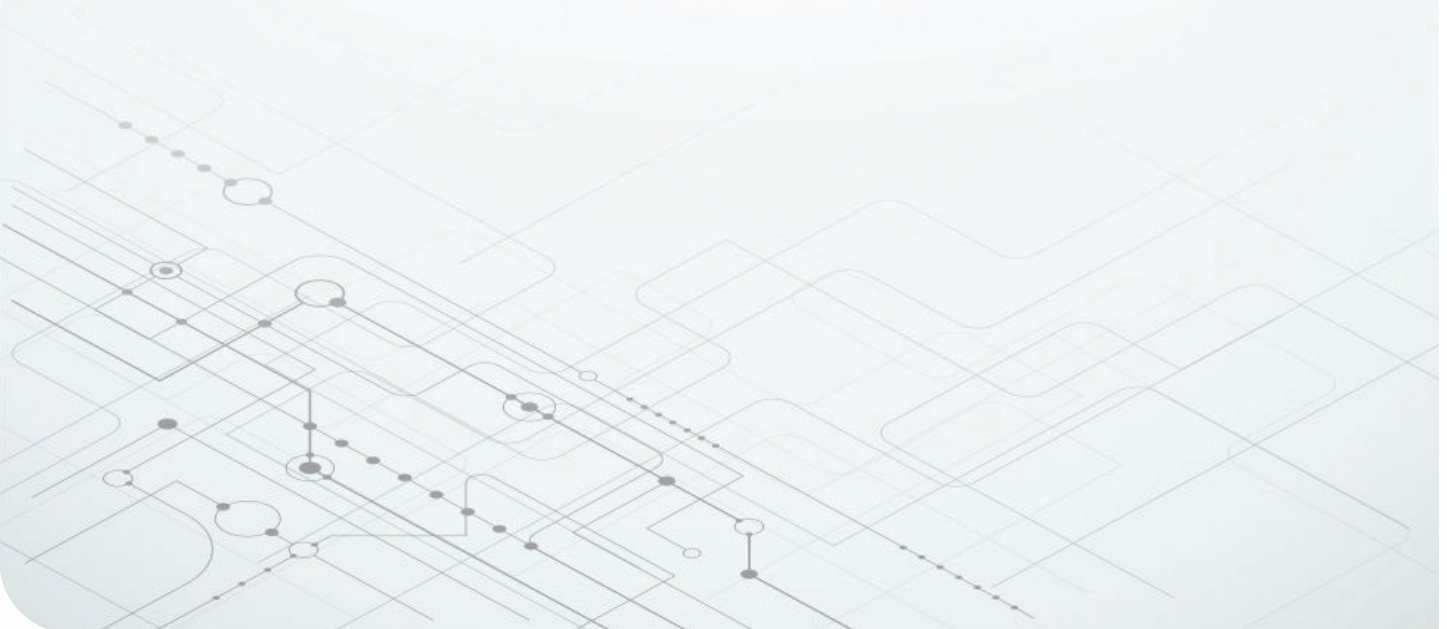


TI Sitara™ 處理器中的 PROFINET®



Assila Ayed, Kamil Alkhouri, Bharath Kartha



執行摘要

德州儀器 (TI) 已成功將 **PROFINET® 工業乙太網路標準** 整合至 Sitara™ Arm® 架構處理器，並運用 Siemens ERTEC® 堆疊作為 PROFINET 實作的基礎。這項整合可打造高性能、可靠且有效率的工業自動化系統。

Sitara 處理器的工業通訊子系統 (ICSS) 以 TI 可編程即時單元 (PRU) 技術為基礎，提供可處理 PROFINET 即時處理需求的專屬平台。ICSS 採用雙埠 PROFINET 直通交換器，可分擔 Arm 核心的 PROFINET 處理需求，因此可充分利用處理器的資源。這種架構方法可確保 Arm 核心大部分的處理能力都可用來執行工業應用程式，進而提升系統性能和效率。

PROFINET 簡介

概覽

PROFINET 是一種即時乙太網路標準，可提供各類工業應用所需的高速、具決定性的通訊能力；這類應用包括工廠自動化、製程自動化以及建築自動化等領域。PROFINET 最初由 Siemens AG 主導開發，是廣泛應用的 PROFIBUS® 現場匯流排技術之網路延伸，現在由 PROFIBUS & PROFINET International 提供支援。PROFINET 已於 2003 年整合至 IEC 61158 和 IEC 61784 標準中。其架構由 30 個工作團隊開發，成員遍布 70 幾間不同的公司。

調整乙太網路來適應工業應用，並透過使用 TCP/IP 和 XML 等熟悉技術，在企業 IT 和工廠之間建立技術橋梁。儘管標準乙太網路可在以 IT 為中心的企業環境中提供出色的解決方案，但在工廠自動化領域中，仍有幾個層面有所不足。例如，標準乙太網路對於工廠自動化常見的少量資料交換來說效率不高，而且缺乏確定性就表示無法支援馬達驅動控制和其他工業即時應用所需的即時運作。PROFINET 是解決這些挑戰的領導範例，因此可針對即時工業應用調整乙太網路。

技術

PROFINET 的系統模型和 PROFIBUS 現場匯流排系統非常相似。此模型採用控制器-裝置通訊架構，由一個或多個 IO 控制器與一個或多個裝置 IO 裝置進行通訊。兩種類型的流量會透過 PROFINET 網路傳輸：

1. 網路中 IO 控制器和 IO 裝置之間週期性交換的即時處理資料 (IO 資料)，
2. 非即時流量是以非週期性記錄的方式在 IO 控制器和 IO 裝置之間交換，或是直接在不同的 IO 裝置之間交換。

OSI/ISO 模型中的裝置模型 PROFINET

PROFINET 是一種 7 層技術，可提供裝置配置和參數化、診斷和警報處理，以及工程和試運轉的應用服務，並為使用者定義的應用程式提供介面，以便在網路中產生和使用實際資訊。但是，為了實現即時通訊 (I/O 資料)，也為了確保高效率、確定性及低延遲性能，PROFINET 會繞過標準 TCP/IP 層，並直接在 2 層上與 Ethernet 0x8892 通訊，而且可能還會使用高優先順序的 VLAN 標記。

符合性等級

PROFINET 標準定義四個逐層堆疊的符合性等級，旨在服務不同的應用層面和使用案例：

- **符合性 A 類 (CC-A)**：可透過標準乙太網路硬體實作，並支援基本的 PROFINET 功能，例如更新時間為 1 至 512ms 的週期性即時 (RT) 通訊、非週期性記錄交換、參數化、診斷、警報、鄰近裝置偵測 (LLDP)，而且能夠允許在網路上進行 TCP/IP 平行通訊。
- **符合性 B 類 (CC-B)**：透過 SNMP 進行網路診斷、透過兩個 IO 控制器實現系統冗餘 (僅為程序自動化 (PA) 設定檔定義) 來擴充 CC-A；此外還提供一些選用功能，例如更換裝置後自動定址、執行中的配置 (CiR)、快速啟動 (FSU)，以及透過媒體冗餘通訊協定 (MRP) 實現網路冗餘。另外值得一提的是，CC-B 推出了具備 IO 裝置功能的網路交換器，可提供更完整的網路診斷能力。

- **符合性 C 類 (CC-C)**：透過支援週期性同步即時 (IRT) 通訊來擴充 CC-B，且更新時間小於 250us（可減少至 31.25us，需取決於使用的硬體）。使用額外的硬體支援來達到網路範圍內的時間同步和頻寬保留，即可實現此性能。此外，CC-C 還定義了部分選用功能，例如：動態訊框封裝 (DFP)，以及透過計畫複製的媒體冗餘 (MRPD) 通訊協定實現無縫冗餘。
- **符合性 D 類 (CC-D)**：這是最先進的 PROFINET 類別。此類利用時間感知整流器 (TAS) 和訊框搶先等時效性網路 (TSN) 功能，實現極高的確定性和低延遲。CC-D 還推出了遠端服務介面 (RSI)；該介面會繞過 TCP/IP 層，用於非週期性的非即時通訊以及週期性即時通訊。

通訊

IO 控制器和 IO 裝置之間必須建立的通訊路徑，是由 IO 控制器在系統啟動期間根據工程系統中的配置資料所設定。這會明確指定資料交換。

每次資料交換都會嵌入應用關係 (AR) 中。在 AR 中，通訊關係 (CR) 會明確指定資料。裝置建模的所有資料（包括一般通訊參數）都會下載至 IO 裝置。IO 裝置可以從不同的 IO 控制器建立多個 AR。週期性資料交換 (IOCR)、非週期性資料交換（記錄資料 CR）以及警報（警報 CR）的通訊通道會同時建立。

可以使用多個 IO 控制器，而且多個 IO 控制器需存取 IO 裝置中的相同資料，而在設定 IO 裝置時必須指定此資料共享。

IO 控制器可以建立一個 AR，每個 AR 都有多個 IO 裝置。在 AR 中，可以使用多個 IOCR 和 API 進行資料交換。例如，如果通訊涉及多個使用者設定檔（PROFI-drive、Encoder 等），而且需要不同的子插槽，則此功能會很實用。指定的 API 可區分 IOCR 中的資料通訊。

定址

在 PROFINET 中，指派 IP 位址時會使用已指派給每個現場裝置的唯一名稱。在每個 IO 裝置中已整合用於此目的的動態配置通訊協定 (DCP)。

IP 位址是根據裝置名稱，透過 DCP 通訊協定所指派。由於動態主機配置通訊協定 (DHCP) 在國際上廣泛使用，因此 PROFINET 透過 DHCP 或製造商特定機制提供了選用

的位址設定。各自的現場裝置 GSD 文件中會定義現場裝置支援的定址選項。

或者，也可以根據鄰近裝置偵測，透過指定的拓撲結構將名稱自動指派給 IO 裝置。PROFINET IO 裝置透過其 MAC 位址直接交換資料，藉此進行定址。

符合性等級

PROFINET IO 分為三個逐層堆疊的符合性等級，主要用於典型應用。

- **符合性 A 類 (CC-A)**：可透過標準乙太網路硬體實作，並支援基本的 PROFINET 功能，例如更新時間為 1 至 512ms 的週期性即時 (RT) 通訊、非週期性記錄交換、參數化、診斷、警報、鄰近裝置偵測 (LLDP)，而且能夠允許在網路上進行 TCP/IP 平行通訊。
- **符合性 B 類 (CC-B)**：透過 SNMP 進行網路診斷、透過兩個 IO 控制器實現系統冗餘（僅為程序自動化 (PA) 設定檔定義）來擴充 CC-A；此外還提供一些選用功能，例如更換裝置後自動定址、執行中的配置 (CiR)、快速啟動 (FSU)，以及透過媒體冗餘通訊協定 (MRP) 實現網路冗餘。另外值得一提的是，CC-B 推出了具備 IO 裝置功能的網路交換器，可提供更完整的網路診斷能力。
- **符合性 C 類 (CC-C)**：透過支援週期性同步即時 (IRT) 通訊來擴充 CC-B，且更新時間小於 250μs（可減少至 31.25μs，需取決於使用的硬體）。使用額外的硬體支援來達到網路範圍內的時間同步和頻寬保留，即可實現此性能。此外，CC-C 還定義了部分選用功能，例如：動態訊框封裝 (DFP)，以及透過計畫複製的媒體冗餘 (MRPD) 通訊協定實現無縫冗餘。
- **符合性 D 類 (CC-D)**：這是最先進的 PROFINET 類別。此類利用時間感知整流器 (TAS) 和訊框搶先等時效性網路 (TSN) 功能，實現極高的確定性和低延遲。CC-D 還推出了遠端服務介面 (RSI)；該介面會繞過 TCP/IP 層，用於非週期性的非即時通訊以及週期性即時通訊。

標準裝置

PROFINET 標準定義了三種類型的裝置：IO 控制器、IO 裝置及 IO 監控器。圖 1 中提供了工廠內簡化網路架構的範例。

IO 控制器

這通常是能與實際流程互動的現場裝置，例如感測器、驅動器或分散式 I/O。這類裝置與 PROFIBUS 裝置類似。這會回應一個或多個 IO 控制器的連接，提供裝置特定的參數和配置選項，並產生診斷資訊和 IO 裝置產生的程序資料稱為「輸入資料」。

IO 監控器

這可以是程式設計裝置、個人電腦 (PC) 或人機介面裝置，用於試運轉、診斷及維護目的。這類裝置對 PROFIBUS 中的 2 類控制器。IO 監控器可和 PRO 裝置建立連線來讀取/寫入配置資料、要求診斷資料進行工程任務，而不會中斷 IO 控制器和 IO 裝置之間性通訊。IO 監控器和 IO 控制器不同，通常會暫時連接至網路進行試運轉或故障排除，也不參與週期性的即時資料交換。

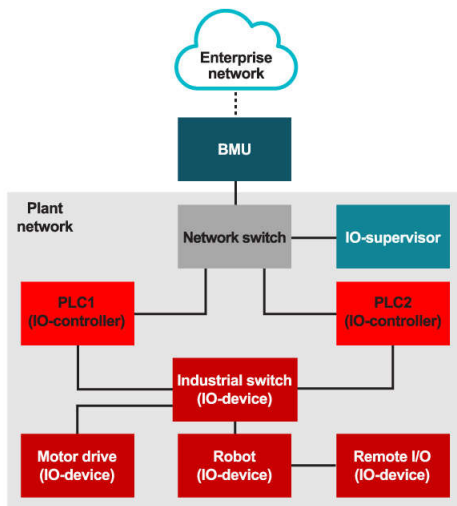


圖 1. 工廠網路中的 PROFINET

IO 裝置概覽

在 IO 裝置上執行的每個應用程序，都透過應用程序識別符 (API) 進行識別。在應用程序中，IO 裝置由模組、子模組及通道呈階層式組成。這些要素可以反映硬體元件或虛擬功能單元。模組可以安裝至插槽或其他地方。每個模組應有一個或多個子模組，而每個子模組都會安裝在子插槽中。子模組包含一個或多個通道，每個通道代表程序的單一連接（例如感測器）。圖 2 顯示 IO 裝置的分層結構，通常會以裝置存取點 (DAP) 模組開始。

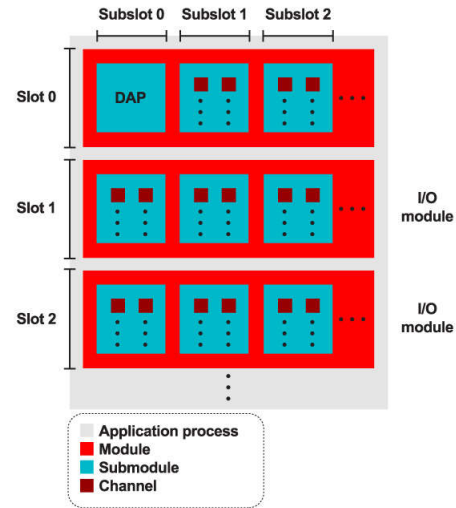


圖 2. IO 裝置分層結構

DAP 模組是整個裝置的介面。該模組通常會插在編號 0 的插槽中，且包含高達 16 個的特殊介面子模組，而這些子模組則插在編號 0x8i00 的子插槽中（0x8000 至 0x8F00）。每一個介面子模組最多可指派 255 個連接埠子模組，而這些子模組會插在編號 0x8ijj 的子插槽中（例如位於 0x8000 的介面子模組為 0x8001 至 0x80FF）。

PROFINET 會區分精巧型現場裝置（製造商已指定擴充等級，使用者無法更改）和模組化現場裝置（設定系統配置時可針對特定應用自訂擴充等級）。

裝置描述

每個 IO 裝置都隨附一個通用工作站說明 (GSD) 檔案。這個以 XML 為基礎的 GSD 檔案（也稱為 GSDML）包含配置和系統工程所需的所有裝置特定資訊。其中會說明裝置的功能、參數、模組及通訊屬性。此檔案由裝置製造商提供，並採用符合 GSDML 規範的標準格式。

通訊

在系統啟動之前，IO 裝置必須具有 MAC 位址、IP 位址及站點名稱。MAC 位址通常由裝置製造商指派，而工作站名稱則是由 PROFINET 工程工具透過探索和基本配置通訊協定 (DCP) 設定。使用這兩個要素時，IO 控制器可以使用位址解析通訊協定 (ARP) 和動態主機配置通訊協定 (DHCP)（選用）等其他 IP 服務，為 IO 裝置指派唯一的 IP 位址，以便為系統啟動階段做好準備。

裝置位址設定正確後，會由 IO 控制器啟動連接建立。此程序主要包括建立應用關係 (AR) 及其相應的通訊 (CR)，以及 IO 裝置上所設定的子模組參數化。圖 3 顯示 PROFINET 啟動順序。

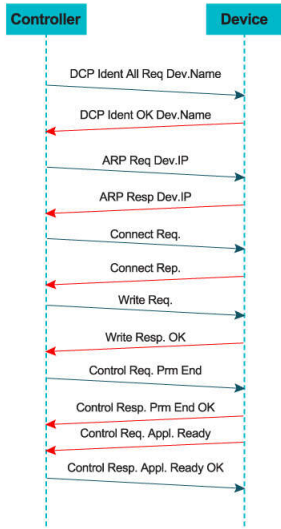


圖 3. PROFINET 啟動順序

TI 的 PROFINET 解決方案

TI 已將 PROFINET 功能整合至 Sitara 處理器。結合 Arm 核心以及各種週邊設備和介面，與 PROFINET 相輔相成，讓 Sitara 處理器成為適合工業自動化設備的吸睛裝置。

支援的符合性等級和功能

TI 靈活的 PROFINET 堆疊可支援 PROFINET 所有的符合性等級，如圖 4 所示。PROFINET 的整體整合已經過符合性等級 C 認證，具有傳統、FSU、MRP、系統冗餘 (S2) 等功能，以及 AM243x、AM64x 及 AM261x 的共享裝置。

除了圖 4 中提到的符合性等級外，在第 6.8 段後面說明的 TI PRU 韌體已經可支援符合性等級 D。包括 PROFINET 堆疊在內的完全支援仍在進行中。

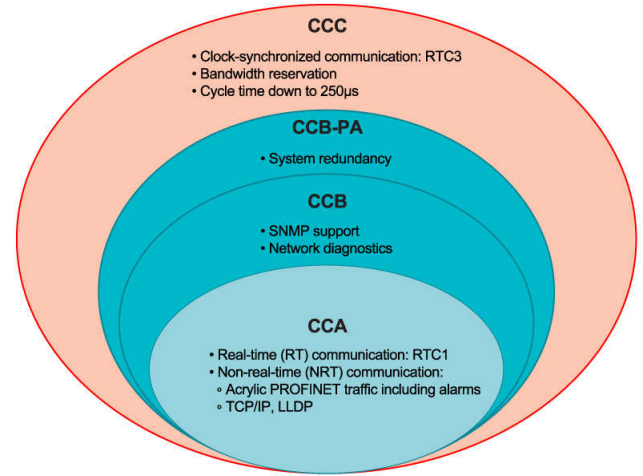


圖 4. 支援 TI PROFINET 解決方案的符合性等級

高可用性

PROFINET 堆疊已整合至 TI 的 Sitara 處理器，可透過 MRP、系統冗餘 (S2) 及動態重新配置支援，確保裝置高度可用。

共享裝置和共享輸入

TI 在 Sitara 處理器上的整合式 PROFINET 解決方案可同時支援具有多個控制器的多個 AR。此解決方案一次最多可以建立 8 個 AR 和 8 個 IOCR，而且允許其他控制器在和獨立控制器交換 I/O 資料時，建立或關閉連接。此外，還支援共用輸入，因此可讓多個控制器存取裝置中的同一插槽。

性能

Sitara 處理器具備功能齊全的整合式 ERTEC PROFINET 解決方案，能夠支援 250µs 的最低傳送時脈時間或相位持續時間，因此可確保高度的計時精確度和同步，使其適合於要求嚴苛的工業自動化應用。該處理器支援 1 到 512 的所有有效縮減比率值。無論訊框大小為何，整合式交換器的直通延遲範圍為 1 至 2µs。一個控制器 AR 在 1ms 週期時間內測得的 CPU 負載為 5%。此裝置從開機到首次有效輸出資料約 470ms，可確保快速初始化和資料交換能力。

穩固耐用

完全整合的 Sitara PROFINET 解決方案將 PROFINET 和標準 TCP/IP 流量分開，因此相當穩固耐用。此方案在主機和連接埠介面上有四個優先佇列。兩個最高的佇列會為 PROFINET 訊框保留，最後兩個作為 TCP/IP 訊框保留。如果佇列已滿，進入該佇列的訊框會被丟棄。如果 TCP/IP 流量過大，不會影響 PROFINET 流量，因為兩者使用的佇列不同。根據 PROFINET 將流量分成獨立的佇列可協助裝置承載大型網路中流量。

週期性資料的專屬低延遲介面

整合至 Sitara 處理器的 PROFINET 採用低延遲即時通訊可在應用與 PRU 之間進行週期性 I/O 資料交換。週期性資料訊框不會分別透過主機和連接埠佇列接收與傳送。PROFINET 週期性資料訊框會在 PRU-ICSS 中終止，而資料則透過三重緩衝器直接提供給應用領域。三重緩衝器管理可用來交換週期性資料，因此主機和 PRU-ICSS 一律會尋找緩衝器來儲存資料。

PROFINET 軟體架構

整合至 Sitara 處理器的 PROFINET 裝置實作具有三個主要軟體元件。第一個是在裝置的 PRU-ICSS 中實作 2 層功能的微程式碼；第二個是在 Arm 核心上運作的 PROFINET 裝置堆疊；第三個則是工業應用。TI 在支援 Sitara 處理器的軟體開發套件中提供其他元件，例如通訊協定調整層和裝置驅動器。架構如 **圖 5** 所示。可參閱 TI 的 PROFINET API 指南進行各種調整。

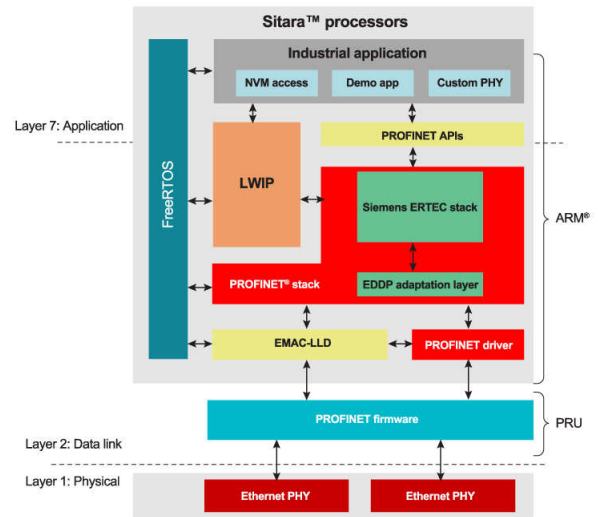


圖 5. Sitara 處理器上的 PROFINET 裝置軟體架構

應用處理器已卸載

如 **圖 5** 和 **圖 6** 所示，Sitara 處理器具備 TI 的可編程即時單元工業通訊子系統 (PRUICSS)，可和 MII 介面進行超低階互動。PRU-ICSS 可輕鬆實作 PROFINET 等專業通訊協定。如同 Sitara **AM261x**、**AM243x** 及 **AM64x** 上的整合式 PROFINET 解決方案一樣，整個 PROFINET 交換器可透過韌體封裝在 PRU-ICSS 中，使 Arm 核心能夠專注在堆疊和應用處理。PRU 可以完全處理消費者通訊協定電腦 (CPM) 訊框的分析，以及供應商通訊協定電腦 (PPM) 訊框的產生。任何非供 PROFINET 節點使用的訊框，都會透過 Sitara 處理器 (TI 已整合 PROFINET 通訊協定) 上 PROFINET PRU 韌體所包含的交換器直通至下一個節點。此實作可使用 Arm 核心低速變體，實現更簡單且成本受限的應用，例如分散式 I/O。

與執行 PROFINET 堆疊 (7 層) 和工業應用的 Arm 核心進行必要通訊時，可使用中斷功能。PRU-ICSS 也可以反向執行訊框轉送。乙太網路 PHY 裝置 (例如 TI 的 **DP83826**、**DP83867** 或 **DP83869**) 可讓 TI Sitara PROFINET 解決方案更加完備。DP83826 提供低確定性延遲、低功率，並支援 10BASE-Te 和 100BASE-TX 乙太網路通訊協定，符合即時工業乙太網路系統的嚴格要求。DP83867 和 DP83869 可透過 MII、RMII 或 RGMII 介面彈性連接 MAC，並提供低延遲。DP83826、DP83867 及

DP83869 還提供纜線診斷功能，可快速找出纜線故障。此解決方案也可讓客戶靈活使用其他 PHY 裝置。

韌體

圖 6 中顯示的韌體架構展示了整合在 PRU-ICSS 中的 PROFINET 裝置功能。在 PROFINET 2 層中，PRU 會執行 CPM/PPM 處理、資料保留定時器 (DHT)、DCP 識別濾波器、ARP 濾波器、直通切換、錯誤偵測以及主機介面處理等任務。PRU-ICSS 可在內部共用記憶體中提供方便好用的 PROFINET 暫存器空間。由於 PRU 具備確定性的即時處理能力，因此能以一致且可預測的處理延遲處理 PROFINET 訊框。

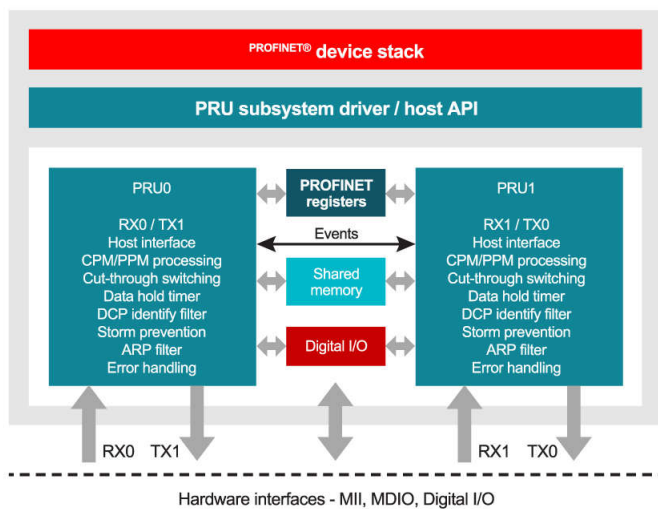


圖 6. PROFINET 裝置堆疊

CPM/PPM 處理

韌體會分析 CPM 訊框，檢查是否應通知主機處理器。如果接收到的 CPM 訊框之訊框 ID 與作用中 IOCR 的配置訊框 ID 相符，那麼只會中斷主機。韌體會將 CPM 訊框儲存在預先定義的緩衝區，使資料在中斷之前可以完全供主機使用。所有作用中 IOCR 的 PPM 訊框都是由 PRU-ICSS 上執行的韌體所產生。主機只需使用 TI 的 PROFINET API，即可在初始階段配置所有 IOCR 產生 PPM 訊框所需的各種資訊。在每個階段開始時，韌體會決定該特定階段需要傳送的所有 PPM 訊框，並將其傳送出去，而不受主機干擾。

資料保留定時器 (DHT)

資料保留定時器會在 PRU-ICSS 韌體中實作；當每 DHT 到期時，就會向執行 PROFINET 堆疊的 Arm 核心觸發中斷。韌體會針對每個 IOCR 或 CPM 連接維護一個 DHT。每當收到 CPM 訊框時，韌體都會更新相關聯 IOCR 的資料保留時間。如果特定 CPM 的 DHT 過期，則韌體會關閉與該 IOCR 相關聯的所有 PPM。當 DHT 過期時，只會中斷主機處理器。考量到多個 IOCR 可以同時存在，在韌體中實作 DHT 可大幅降低 Arm 核心處理負擔。

DCP 識別濾波器

為了減少到達 Arm 核心的 DCP 識別請求訊框數量，會在 PRU-ICSS 韌體中實作 DCP 識別濾波器，篩選出所有非主機專用的 DCP 識別訊框。堆疊的驅動器中會提供 API，可配置站點名稱和長度，之後韌體會依此來進行篩選。

風暴預防和 ARP 濾波器

此堆疊在 PRU-ICSS 韌體中採用風暴預防技術，可在網路負載情況下維持穩定。風暴預防是在信用系統基礎上進行。在預設情況下，每 100ms 只允許 100 個廣播或多播訊框，其他所有訊框都會被丟棄。使用者可以從應用中配置此訊框速率。

由於 ARP 訊框屬於廣播訊框，因此風暴預防功能可確保在接收到大量 ARP 訊框時，於高網路負載情況下將其丟棄。PRU-ICSS 韌體中採用的 ARP 濾波器可確保在如此高的流量情況下，針對導向至 DUT 的 ARP 訊框停用風暴預防功能。此濾波器可使堆疊在某些網路負載測試期間仍符合規範。

整合直通交換器

處理非即時流量，而且可與主機上執行的 PROFINET 和 TCP/IP 堆疊介接。此交換器會使用主機和連接埠介面的四個優先佇列，為多播位址和 PROFINET 服務品質 (QoS) 實作 PROFINET 篩選資料庫 (FDB)。交換器的學習部分會在主機端實作。

輕鬆整合 PROFINET

TI 簡化了整合 PROFINET 與 Sitara 處理器的程序。整合 PROFINET 裝置所需的所有工具和軟體程式碼，都包含在工業通訊軟體開發套件 (IND-COMMS-SDK) 中，涵蓋

PROFINET 韌體、驅動器、IP 堆疊、PROFINET 堆疊
PROFINET API，以及經認證的開箱即用範例，讓客戶能
縮短上市時間。支援文件可讓使用者為應用修改和建置新
功能。

終端產品上的整合式 PROFINET

為了將 PROFINET 裝置整合至工業設備，客戶可使用 TI
在 Sitara 處理器上的整合式 PROFINET 堆疊實作（可從
TI.com 下載）。TI 還提供不同的客戶支援套件，可支援客
戶的自訂專案和自訂 PCB 設計。客戶應使用 PI 網站提供
的最新 PROFINET 測試套件來通過所有符合性測試；TI 提
供預先認證的 PROFINET 開發套件，因此應可輕鬆通過測
試。客戶還可在 PROFINET 插頭測試上執行更廣泛的互通
性測試，並將其產品送交 PI 測試實驗室認證。

PROFINET 開發工具

為了協助客戶實作，TI 提供多種工業硬體開發平台以及完
整的文件。電路圖和佈線圖等硬體平台的設計資料，可大
幅加快客戶的設計流程。

總結

TI 在 Sitara 處理器上提供完全整合的 PROFINET 裝置功
能。將 PROFINET 與強大、低功率的 Arm 核心整合，即
可在兼顧功能或營運需求的情況下，有效降低終端產品的
成本。TI 也為 EtherCAT®、EtherNet/IP™、PROFIBUS®
等工業通訊介面提供內建隔離功能的收發器。憑借全方位
的軟體和硬體開發工具、PROFINET 全球支援以及活躍的
TI E2E™ 開發人員社群，客戶可以期待 PROFINET 整合大
幅簡化，同時享有顯著節省成本的額外優勢。

重要聲明：本文所述德州儀器及其子公司相關產品與服務經根據 TI 標準銷售條款及條件。建議客戶在開出訂單前先取得 TI 產品及服務的最新完整資訊。
TI 不負責應用協助、客戶的應用或產品設計、軟體效能或侵害專利等問題。其他任何公司產品或服務的相關發佈資訊不構成 TI 認可、保證或同意等表
示。

Sitara™ is a trademark of Texas Instruments.
PROFINET® is a registered trademark of PROFIBUS Nutzerorganisation e.V..
Arm® is a registered trademark of Arm Limited.
ERTEC® is a registered trademark of Siemens Aktiengesellschaft.
所有商標均為其各自所有者的財產。

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATASHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you fully indemnify TI and its representatives against any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#), [TI's General Quality Guidelines](#), or other applicable terms available either on ti.com or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products. Unless TI explicitly designates a product as custom or customer-specified, TI products are standard, catalog, general purpose devices.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may propose.

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

Last updated 10/2025