

TI Designs リファレンス・デザイン 1GHzのARMアプリケーション・プロセッサを搭載した認定済み PROFINET IRT v2.3デバイス



TI Designs リファレンス・デザイン

このリファレンス・デザインでは、テキサス・インスツルメンツにより認定済みの、PROFINET® IRT v2.3デバイス・アプリケーション用のハードウェアおよびソフトウェア・コンポーネントについて説明します。このデザインは、産業用Ethernet PHY、PROFINET IRTスイッチ、PROFINET IRTスタック、アプリケーション・サンプルを1つのパッケージにまとめたものです。PROFINETは主要な産業用イーサネット規格で、リアルタイムでの決定論的なI/Oデータ交換や、サービスまたは診断用に追加の帯域幅を必要とする、多くの産業用分野や最終機器で使用されています。

設計リソース

TIDEP0029	デザイン・フォルダ
AM3359	プロダクト・フォルダ
TLK110	プロダクト・フォルダ
TPS65910	プロダクト・フォルダ
TMDSICE3359	ツール・フォルダ
産業用SDK	ソフトウェア・フォルダ



[E2Eエキスパートに質問](#)
[WEBENCH®設計支援ツール](#)

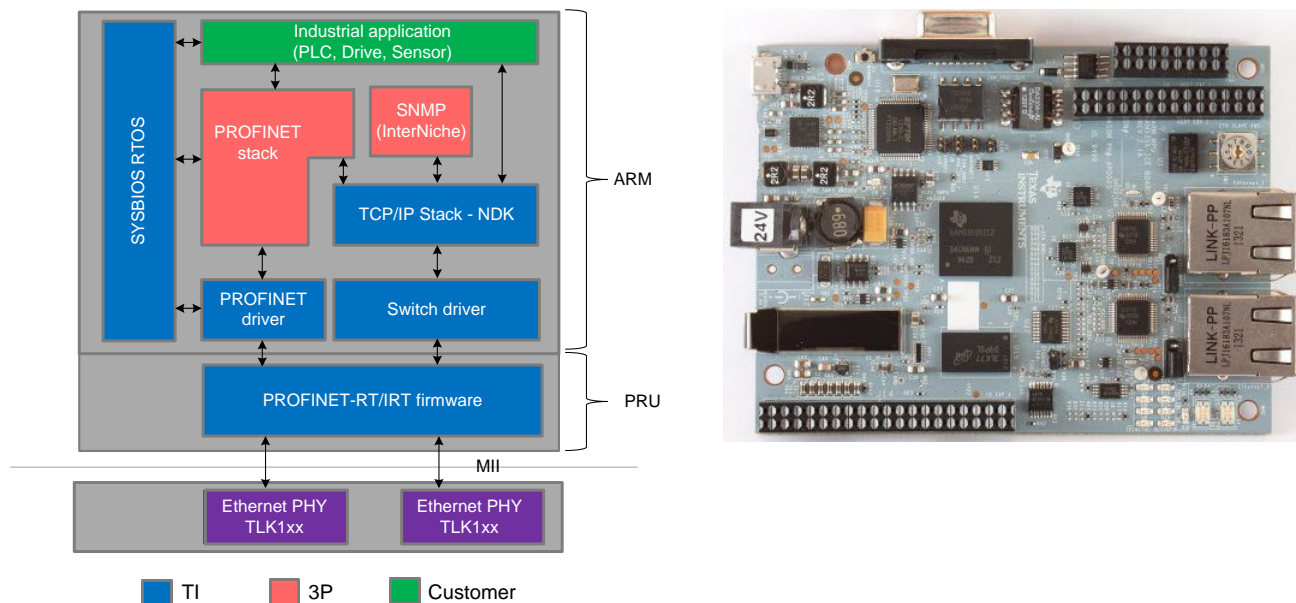
デザインの特長

- PROFINET適合クラスA/B/C
- サイクルタイム250µs
- 1ステップ時間同期(PTCP)
- 8つのコンシューマおよびプロバイダ・プロトコル・マシン
- メディア冗長性プロトコル(MRP)
- Molex PROFINETスタックと統合
- InterNiche SNMPスタックと統合

主なアプリケーション

- 産業用イーサネット
- PLCバス・カプラ
- 産業用ドライブ
- 産業用センサ





使用許可、知的財産、その他免責事項は、最終ページにあるIMPORTANT NOTICE(重要な注意事項)をご参照くださいますようお願いいたします。英語版のTI製品についての情報を翻訳したこの資料は、製品の概要を確認する目的で便宜的に提供しているものです。該当する正式な英語版の最新情報は、www.ti.comで閲覧でき、その内容が常に優先されます。TIでは翻訳の正確性および妥当性につきましては一切保証いたしません。実際の設計などの前には、必ず最新版の英語版をご参照くださいますようお願いいたします。

1 PROFINET IRTテクノロジーの概要

産業用イーサネットは、製造プロセスをより効率的かつ柔軟にするための主要な構成要素の1つです。このプロトコルは、産業用イーサネットがセンサ、ドライブ、PLC、HMIなど広範な最終機器のバックボーンとして機能する新たな産業用オートメーション・アーキテクチャの基盤となります。PROFINET等時性リアルタイム(IRT)を使用すると、このような各種機器を接続してI/Oデータ交換やサービス機能を実行するために必要な性能と堅牢性が得られます。PROFINET IRT v2.3スイッチをSitara AM335x ARM® MPUに組み入れることで、顧客は広範なアプリケーションに対応できるスケーラブルなアーキテクチャを利用できるようになります。

PROFINETは、産業用オートメーション市場で使用されている主要な産業用イーサネット規格です。この前身はPROFIBUS DPであり、RS-485トランシーバ上の12Mbのシリアル・フィールドバス通信でした。PROFINETは100Mbの全二重産業用イーサネットPHYを使用し、IEC 61158およびIEC 61784で標準化されています。IEEE 802.1Qの下で定義されている標準イーサネット・スイッチと比較して、PROFINETにはリアルタイム拡張機能が定義されており、マスタ/スレーブ形式のネットワーク接続でI/Oデータを配信するとき決定論的な動作が保証されます。特に、IRTを使用することで、予約された時間枠内のI/Oデータ交換を保護できます。IRTの下では、保護された通信フェーズ内に送信されるI/Oパケットはすべて数ナノ秒の精度で配信されます。このためには、タイミング・マスタと、IRTドメインに参加しているすべてのスレーブとの間で、ピアツーピアの透過的クロックを使用して同期を行う必要があります。

PROFINET IRTの通信方式を図1に示します。サイクリック実行の通信周期は、31.25µsから4msまでの範囲に設定できます。今日のアプリケーションのほとんどは1msで実行されます。モーション制御アプリケーションの分野では、サイクル時間がさらに短く、250µs前後です。新しい通信サイクルは赤で示した期間から開始され、この期間はリアルタイム・クラス3 (RTC3)のPROFINET I/Oデータ・パケットの、時間によりトリガされる通信用に予約されます。すべてのRTC3パケットには、フレーム送信オフセット(FSO)タイミング・パラメータが事前設定されています。赤の期間

で最初の packets は、新たな通信サイクルの送信リストを準備するための最小の FSO も維持します。赤の通信期間は常に時刻 0 から開始され、この時刻は PROFINET IRT スイッチの時刻同期機能から導出されます。赤の期間の長さや終了は、タイミング・パラメータ StartOfGreen により記述されます。このタイミング・パラメータは、最大 16 の IRT 通信フェーズごとに設定されます。16 の通信フェーズに 5 つのプロファイルをマッピングできます。1 つのプロファイルは、StartOfGreen が 0 に設定されている特殊なプロファイルで、このフェーズには赤の期間が存在しません。

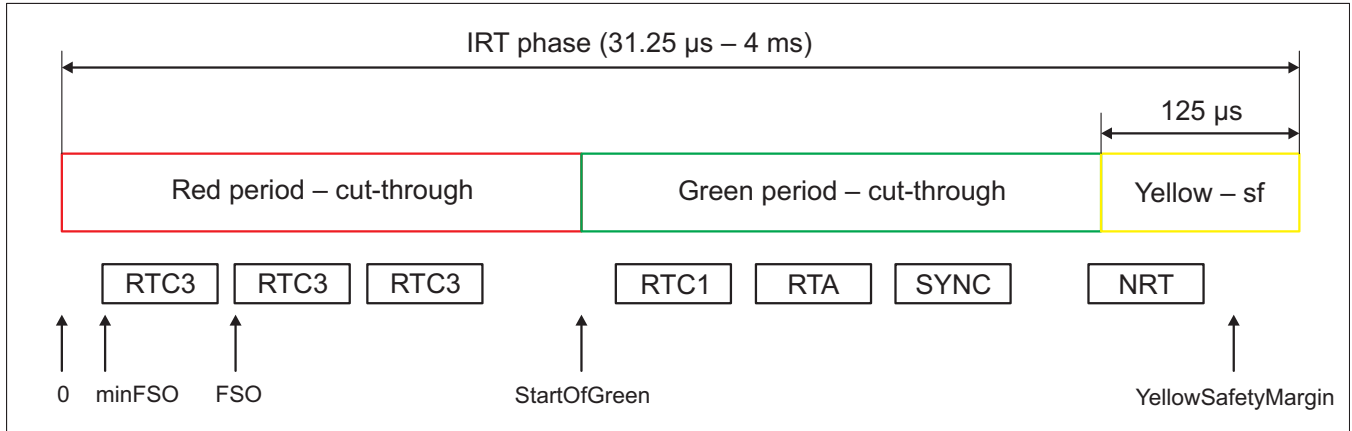


図 1. PROFNET IRT 通信

緑で示した期間はリアルタイム・クラス1 (RTC1)のI/Oデータパケット、PROFINETアラーム・パケット(RTA)、時刻同期パケット、PROFINET関連のプロトコル・パケット、標準TCP/IPパケット用に予約されています。緑のパケットの通信は時間によるトリガではなく、厳密に優先度に基づいて行われます。緑の期間の終了時点で送信キューにまだパケットが残っている場合、そのパケットの送信は次の通信フェーズの緑の期間まで中断されます。特殊な場合が緑の期間から赤の期間への移行で、これは黄色の期間で分離されています。黄色の期間では、PROFINET IRTスイッチは赤の期間への境界を保護するため、ストア・アンド・フォワード・モードで動作します。黄色の期間の長さは、1500バイトのイーサネット・パケットの最大期間から、125µsに定義されています。PROFINET IRTスイッチは、黄色の期間のパケット長をチェックし、新しい通信フェーズが開始されるまでの残りの時間に、そのパケットを転送できるかどうかを判定する必要があります。

各PROFINETデバイス上の時間およびハードウェア同期にはジッタが存在するため、次の赤の期間への移行を保護するため、640nsの追加YellowSafetyMarginが導入されます。PROFINET IRTスイッチでの遅延を最小化するため、赤および緑の期間のパケットはカットスルー・モードで処理されます。PROFINETデバイスでの遅延には、物理レイヤの遅延、Media Independent Interface (MII)での同期遅延、PROFINETスイッチでの決定時間、カットスルー決定ポイントでのフレーム遅延があります。RTC3パケットの場合、FrameIDフィールドにより、そのパケットが受信または転送処理の対象として分類され、これはプリアンブルおよびイーサネット・ヘッダを含めて1920ns後に発生します。PROFINETデバイスのMaxBridgeDelayは、IRTラインのトポロジで下流にあるデバイスが、赤の期間外にパケットを受信しないことを保証するため、赤の期間を通じて一定である必要があります。

PROFINET IRT通信はサイクリックなパターンを踏襲し、最大16のフェーズについて別々の通信プロファイルを定義できます。PROFINETのI/Oパケットがサイクル時間と同じ周期で生成されない場合、パケットの低減率と開始フェーズ番号が構成されます。たとえば、通信サイクルが250µsに設定されており、プロバイダが新しいデータを1msごとに生成する場合、低減率は4に設定され、開始タイミングは4つのフェーズのどれでもかまいません。この柔軟なタイミングにより、PLCアプリケーションはさまざまなアプリケーションおよびデバイス用にI/O通信周期を分散できます。

標準のイーサネットと比較した、PROFINETのもう1つの拡張機能はI/Oパケットの形式で、UDPやIPパケットを使用せず、識別子、シーケンス番号、接続状態を持つ独自の形式を使用します。PROFINETのI/Oパケットの直接アドレッシングでは、キューに基づいたネットワーク処理がバイパスされ、アプリケーション・バッファへ直接接続されます。PROFINETのI/Oパケットの形式を図2に示します。この形式は、RTC3およびRTC1フレームに使用されます。

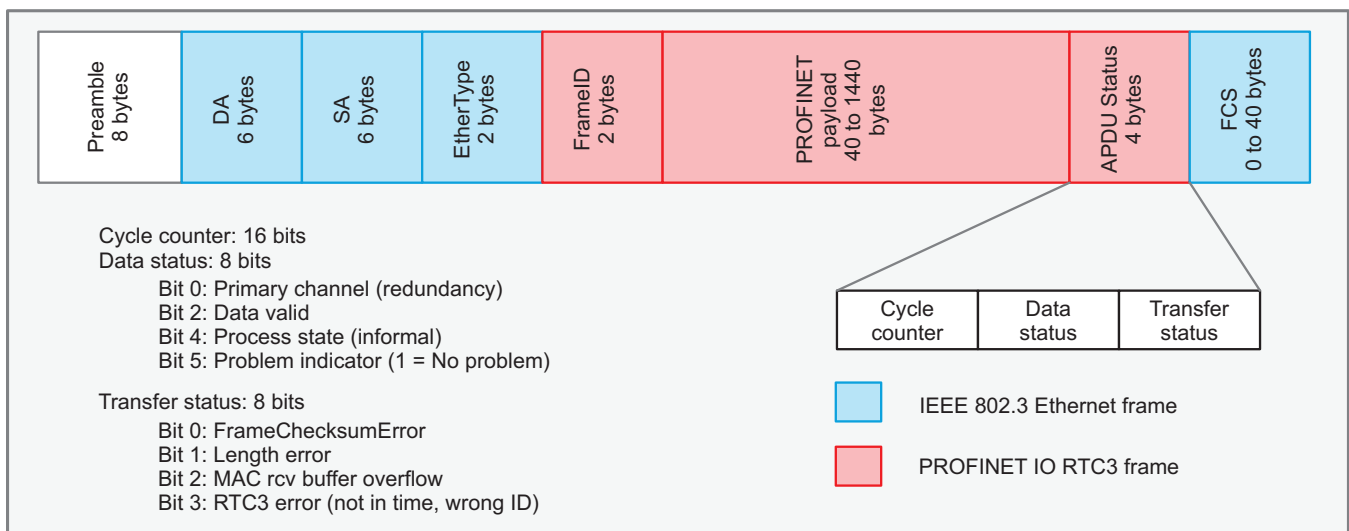


図 2. PROFINETのI/Oパケットの形式

すべてのイーサネット・フレームと同様に、パケットの先頭には8バイトのプリアンブルが付けられ、その後に宛先MACアドレスと送信元MACアドレスを含むイーサネット・ヘッダが続きます。PROFINETパケットは、EtherTypeフィールドの値が0x8892であることにより識別されます。PROFINETのEtherTypeは、I/Oパケットに加えて、Dynamic Configuration Protocol (DCP)などPROFINET関連のプロトコルに使用されます。PROFINETで 사용되는他のプロトコル、たとえばLink Layer Discovery Protocol (LLDP)は、独自のEtherType値(0x88CC)を使用します。EtherTypeフィールドの後には、IEEE 802.1Q規格に従うVLANタグ・フィールドを付加することができます。RTC3パケットにはVLANタグ・フィールドはなく、次のフィールドはFrameIDで、PROFINETデータ・パケットのアドレスとして機能します。PROFINETデバイスは、受信したRTC3 FIDをローカル接続と比較し、そのパケットを使用するか、他のポートへ転送するかを決定します。有効なRTC3およびRTC1パケットは、16ビットFIDの特定の範囲により示されます。IRT以外のドメインとの境界では、PROFINET IRT関連のパケットについて特殊な処理が行われます。この場合、PROFINETスイッチは、IRT通信フェーズがいかなる種類の外部イーサネット・トラフィックによっても損なわれず、IRT関連のトラフィックがIRTドメインから外に出ないことを保証します。FrameIDの後には、実際のPROFINET I/Oデータ・フィールドが置かれます。送信パケットの場合、このフィールドにはプロバイダ・データが含まれます。受信パケットの場合、このフィールドにはコンシューマ・データが含まれます。

PROFINETでは両方の方向にプロトコル・マシンを定義しており、それぞれConsumer Protocol Machine (CPM) およびProvider Protocol Machine (PPM)と呼ばれます。これらのプロトコル・マシンは、アプリケーション・プロトコル・データ・ユニット(APDU)の状態と、ポートの状態、冗長性の状態、時刻同期の状態などの追加の状態情報を組み合わせて使用します。16ビットのサイクル・カウンタが、31.25 μ sの倍数のサイクルタイムごとに継続的にインクリメントされます。このサイクル・カウンタがレシーバ(コンシューマ)で検証され、データのプロバイダが動作し続けているかどうかの確認が行われます。サイクル・カウンタが適切に更新されない場合、その接続のデータ・ホールド・タイム(DHT)の値を増やし、通常は更新が3回行われないと期限切れとします。

PROFINETのデータの状態とPROFINETデータの転送の状態は、データ状態および転送状態の2つのビット・フィールドにより示されます。データ状態フィールドのデータ有効ビットは、接続監視機能にも使用されます。システム冗長性の制御では、データ状態のビット0を使用して、プライマリまたはバックアップ・チャンネルが示されます。データ状態フィールドのビット4は、プロバイダの状態としてRUNまたはSTOPを示します。ビット5は、フォルトが検出されたかどうかを通知します。転送状態ビット・フィールドはエラーの発生源を示し、この値は実装固有です。APDU状態の後には4バイトのイーサネット・フレーム・チェックサムがあり、これは標準の802.3イーサネット・フレームの一部です。

PROFINETテクノロジーおよびPROFINET規格のさらに詳細な説明は、PROFIBUS国際Webサイト(<http://www.profibus.com>)を参照してください。

- PROFINETテクノロジー: ダウンロード → 技術解説および書籍
- PROFINET規格: ダウンロード → 仕様および規格

2 Robustness of PROFINET IRT Implementation

PROFINET IRT is not a closed communication system and allows standard Ethernet traffic inside the IRT domain as well as any Ethernet traffic on the boundary ports of the IRT domain. Besides the controller (PLC CPU) and devices (IOs, HMIs), there can be additional Ethernet switches in the network, which may have an impact on the timing and order packets are delivered. The PROFINET IRT switch described in this design has two physical ports and one host port. Each of the ports follow Quality of Service (QoS) rules when receiving and transmitting certain packet types. The timely separation of the red and green period protects the RTC3 packets and enough bandwidth to make delivery of PROFINET IO packets 100% deterministic. In addition, RTC1 packets, which are transferred in the green period, have dedicated resources to ensure that all packets are transferred and monitored without interference from other Ethernet packets.

Figure 3 outlines the QoS architecture of the PROFINET IRT switch on AM335x. It separates PROFINET IO packets from other packets when receiving a packet with PROFINET EtherType and FrameID, which is associated with local CPM connection. The RTC1 and RTC3 packets have their own RTC descriptors and dedicated triple buffers. There are additional control and status registers to manage CPM and PPM that allow for dynamic addition and removal of a PROFINET data connection. When a new connection is added, the host CPU prepares the configuration in shadow registers and provides a smooth transition from the active list to the shadow list at the communication cycle boundary. There are separate interrupts to the host CPU to indicate a change in buffer index, a change in active list, and the data hold timer expiration. The real-time application can take the IO data directly from the triple buffer without additional software layers like a networking stack. This provides the lowest latency and eliminates overhead while the application consumes and provides IO data. Before PROFINET starts with the exchange of IO data, there is a configuration and start-up phase that can be split into the following categories.

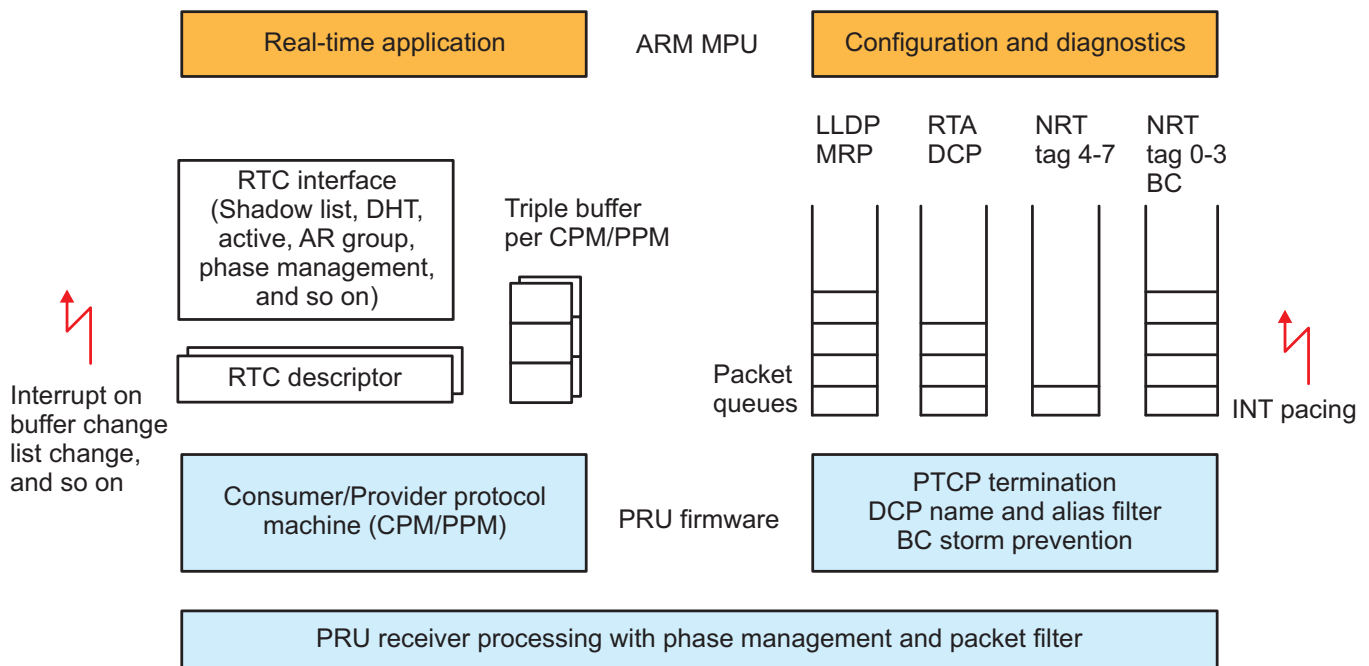


Figure 3. QoS for Received Packets

According to Precision Transparent Clock Protocol (PTCP), time synchronization provides two types of packets. One type is for peer-to-peer line delay measurement, which periodically repeats independently of the PROFINET connection state. The second type is the PTCP sync packet, which distributes system time from the controller to all devices. Each device adds line delay and bridge delay to the time reference to the synch packet. As time synchronization is a critical function for IRT communication timing, the PTCP packets are directly terminated in PRU firmware and not passed to the queue-based host side processing. This ensures that no other packet impacts the time synchronization capability of the PROFINET IRT switch.

The Link Layer Discovery Protocol (LLDP) exchanges information about the other physical port, which includes PROFINET related information like measured delay values, port status, alias, MRP port status, interface MAC address, and PTCP status. Every time there is change in the port information, an immediate LLDP packet is sent to the other port. In case the port information does not change, LLDP packets are periodically sent every couple of seconds. Some of the LLDP data is time critical for the PROFINET connection and must be processed with the highest priority, which is why LLDP packets are transferred in the highest priority queue. Media Redundancy Protocol (MRP) is another network management type of traffic that is routed to the highest priority queue. In case of a ring break, the PROFINET switch immediately flushes its filter data base (FDB) and starts sending standard TCP/IP traffic and PROFINET traffic on both ports to ensure that the packet can take an alternate path to the controller. Depending on the PROFINET cycle time and timing parameters of CPM/PPM pair, the connection will not drop because the data hold timer can cope with two missing packets before it expires.

In the second highest priority queue, there are two packet types used for PROFINET addressing and PROFINET alarms. The Discovery Configuration Protocol (DCP) identifies, queries, and sets the address of a device. The DCP identify is a multicast packet that checks on the name of a station. To avoid significant host load when identifying a name, there is a name filter in the PRU firmware that compares the local name and length with the data in the packet. The PROFINET alarm packets (RTA) are part of the PROFINET diagnostics and in certain cases require immediate action or response. RTA packets signal asynchronous events such as device removal, insertion, or error conditions on an application level.

The next priority level is reserved for non-real-time packets (NRT) with VLAN priority tag values between 4 and 7. This allows non-PROFINET services a higher classification from all of the remaining traffic, which goes on the lowest priority queue. During broadcast storms, which go into lowest queue, there is the possibility to limit the number of broadcast packets at a time in PRU firmware. In this case, depending on the host operating system, network stack, and application load, the interrupt load to the ARM processor can be reduced because not every received packet generates an interrupt, which gives the host more time to process multiple packets with each interrupt.

In summary, the robustness of the integrated IRT switch is supported by a combination of features:

- Protected transfer window for RTC3 packet
- Dedicated resources for PROFINET IO packets
- PRU-based packet filters and limiter for critical packets in terms of timing and load
- PRU protocol termination for PTCP
- Four priority queues with two dedicated queues for PROFINET IRT
- Interrupt pacing to control host interaction on heavy packet load

3 PROFINET IRT Firmware Architecture

All real-time dependent functions of the PROFINET IRT switch on AM335x MPU are implemented either in hardware or firmware using Programmable Real-time Unit – Industrial Communication Subsystem (PRU-ICSS). The PRU is a non-pipelined 32-bit RISC CPU optimized for low latency and low jitter processing of packets. The ICSS has two PRUs and additional hardware support for real-time Ethernet packet processing such as CRC32, time synchronization unit (IEP Timer), and real-time media independent interface (MII_RT). System events inside and outside the ICSS can be mapped to an interrupt controller (INTC) and generate interrupts for ARM CPU and PRU cores. In addition, the PRU has a special register to trigger events to INTC and therefore generate host interrupts.

Figure 4 provides an overview of the PROFINET IRT firmware architecture implemented on the ICSS for one direction. The same set of functionalities exist for the other direction. This means that for one port, the receive processing is done by the first PRU and transmit processing is done by the second PRU. Processing packets is event driven and a micro scheduler periodically checks on receive and transmit events to ensure real-time processing of Ethernet packets. Certain functions like statistics, collision handling, and scheduling for the next communication phase run as background tasks when there is no active receive or transmit task.

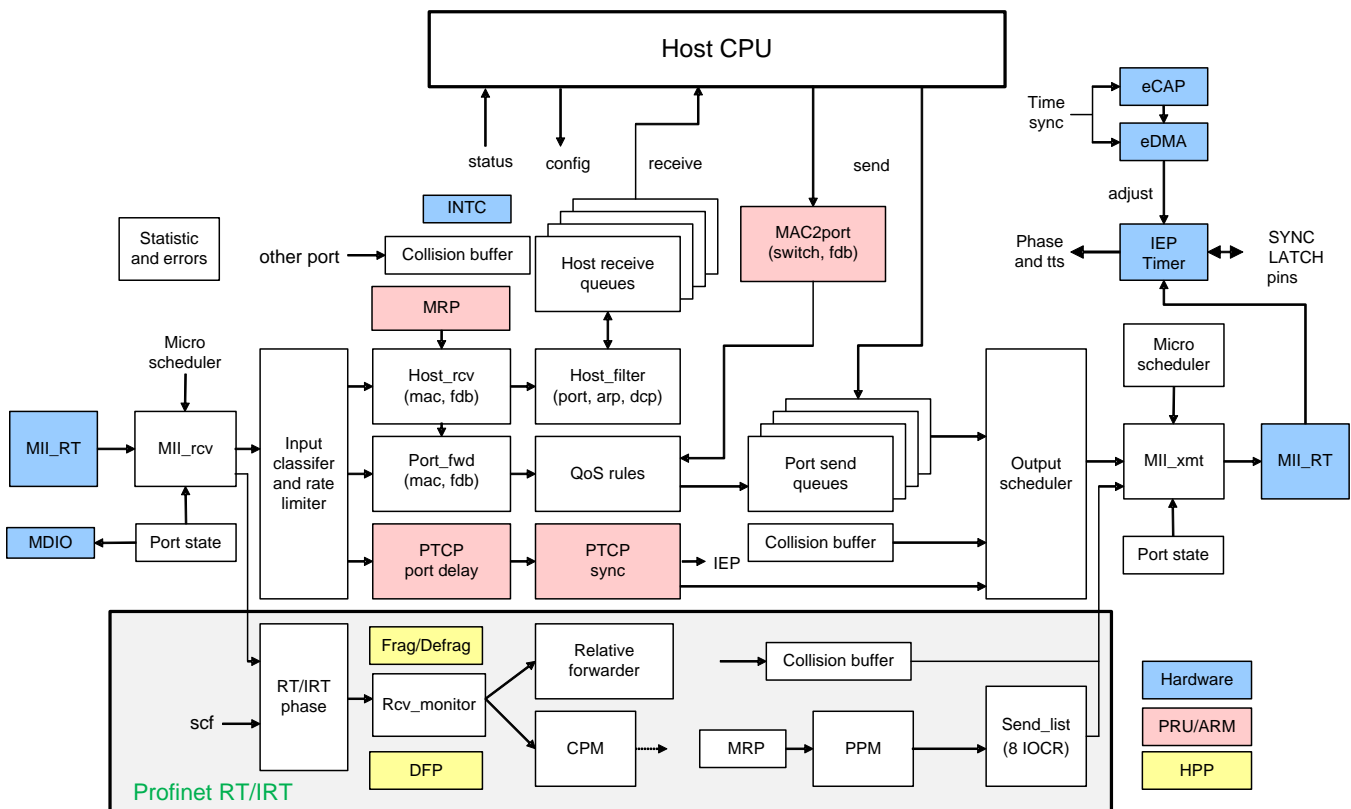


Figure 4. PROFINET IRT Firmware Architecture

When a new packet arrives on a physical port, certain conditions about port state, redundancy state, and communication phase are checked before the PRU takes a decision for receive and forward. The MII_rcv processing block handles packets in three different phases. On first block, there is only a classification of packet. On second block and the following blocks, except the last block, the PRU takes frame data in blocks of 32 bytes. On the last block, any size between 1 and 32 bytes can be transferred. The last block processing also updates descriptors and generates events. The input classifier checks on packet type first before it makes a decision to forward and receive. It also applies the quality of service rules as discussed in 2. If the received packet is a broadcast frame, the rate limit of broadcast frames is checked.

For packets that go out on the physical port, the PRU checks the port state, redundancy state, and communication phase. PPM packets of the red and green periods are sent first before queued traffic is sent according to priority. If the transmit port is not busy, a received packet from other port will be forwarded in cut-through mode. There is a delayed cut-through for PTPC sync packets, which are modified to include the bridge delay before going out. A device is bound to max one sync domain, which is referenced by a sync master MAC and UUID. Only the time reference of a sync packet that is registered as a sync master for the IRT domain is used for local time adjustments. PTPC line delay measurements and synchronization are performed in one step; however, the other side only supports follow-up packets.

For the MRP feature, the switch provides the corresponding blocking state and FDB operation to flush learned connections on a ring break. CPM/PPM connections are handled outside FDB operation. There is a special mode in the IRT switch that sends redundant PPM packets until corresponding CPM packet is received on a port. With the fast re-action time of the PRU-based switch, it is possible to support MRP ring breaks and recovery without losing the communication relation with CPM and PPM.

The IEP Timer module plays an important role for scheduling packets. It is used as time reference for the communication phases and for setting the FSO for outgoing RT3 packets. As the PRU starts filling the TX-FIFO, the transmission over the RT_MII is triggered by the IEP compare register with a resolution of 1 ns. Typically, a PLC system is engineered to schedule packets with a resolution of 10 ns. Since the RT_MII operates at 25 MHz, the actual transfer occurs with a granularity of 40 ns. IEP timer provides external SYNC and LATCH signals to synchronize the application with communication. The SYNC signal is also used in a system test to measure jitter of the communication cycle in an IRT domain with multiple devices. The IEP timer wraps around with the communication cycle times that are a multiple of 31.25 μ s. The wrap around is known as the send clock factor. A 250- μ s cycle time, produces a send clock factor (SCF) of 8 is configured.

PROFINET provides IO communication relations (IOCR) by using pairs of CPM and PPM connections. Older PROFINET IRT switch implementations used an absolute forwarder, which required every device to manage RTC3 packet timing with absolute time references. Current implementations of PROFINET IRT switch use relative forwarder in which each device only knows the absolute time of local connection and does a fixed forwarding delay for each RTC3 packet which is not locally consumed. The PROFINET connection is monitored using the data hold timer (DHT) on received CPM packets. Typically, the time-out for CPM packets is set to three and is the only failure event provided from the PROFINET switch to the host. In case of a CPM connection loss, the paired PPM connection must stop. There can be multiple PPMs grouped in an application relation (AR) with one CPM; therefore, all connections of an AR group will stop if the DHT of the CPM expires.

☒ 4 shows additional blocks in yellow for the high performance profile (HPP), which supports IO packet transmission with a cycle time of 31.25 μ s. To support a cycle time below the max Ethernet frame size, larger packets are fragmented to fit into the communication period. Dynamic frame packing combines the IO data of multiple devices into one where each device removes and adds local data. Implementation of HPP is planned for next generation devices with ICSS technology.

4 PROFINET IRT Implementation on AM3359ICE

There are various PROFINET IRT switches on the market that typically separate the communication and application into two different devices. There are clear performance, cost, and area advantages of an integrated PROFINET IRT switch with a powerful 1-GHz application processor like the Sitara™ AM335x family of application processors.

☒ 5 shows the implementation of PROFINET IRT on an AM3359ICE board, also called an Industrial Communication Engine (ICE), along with two TLK110 Industrial Ethernet PHYs. The ICE board comes with a software package which includes a bootloader, a real-time operating system (RTOS), a PROFINET device driver, a network stack, PROFINET stack, SNMP stack, and an application example. When starting up, the PRU firmware for the PROFINET IRT is loaded into the ICSS, which goes along with the power, clock, and pin-mux configuration for Industrial Ethernet. The board provides local IOs (eight output LEDs), which are typically used to demonstrate and certify a simple PROFINET application. A 300-MHz CPU speed is sufficient to support a simple IO or sensor application. More complex applications can use higher speed grades of up to 1 GHz. The PRU core speed remains 200 MHz for all speed grades. Depending on the final application interface, a 1.8-V, 3.3-V, or mixed design can be supported by the processor.

The ICE board uses a 3.3-V IO design with only the DDR memory using 1.5 V. The default CPU frequency is 600 MHz. Industrial Ethernet LEDs show status information of PROFINET connection and can be used as an indicator whether IO data exchange is alive.

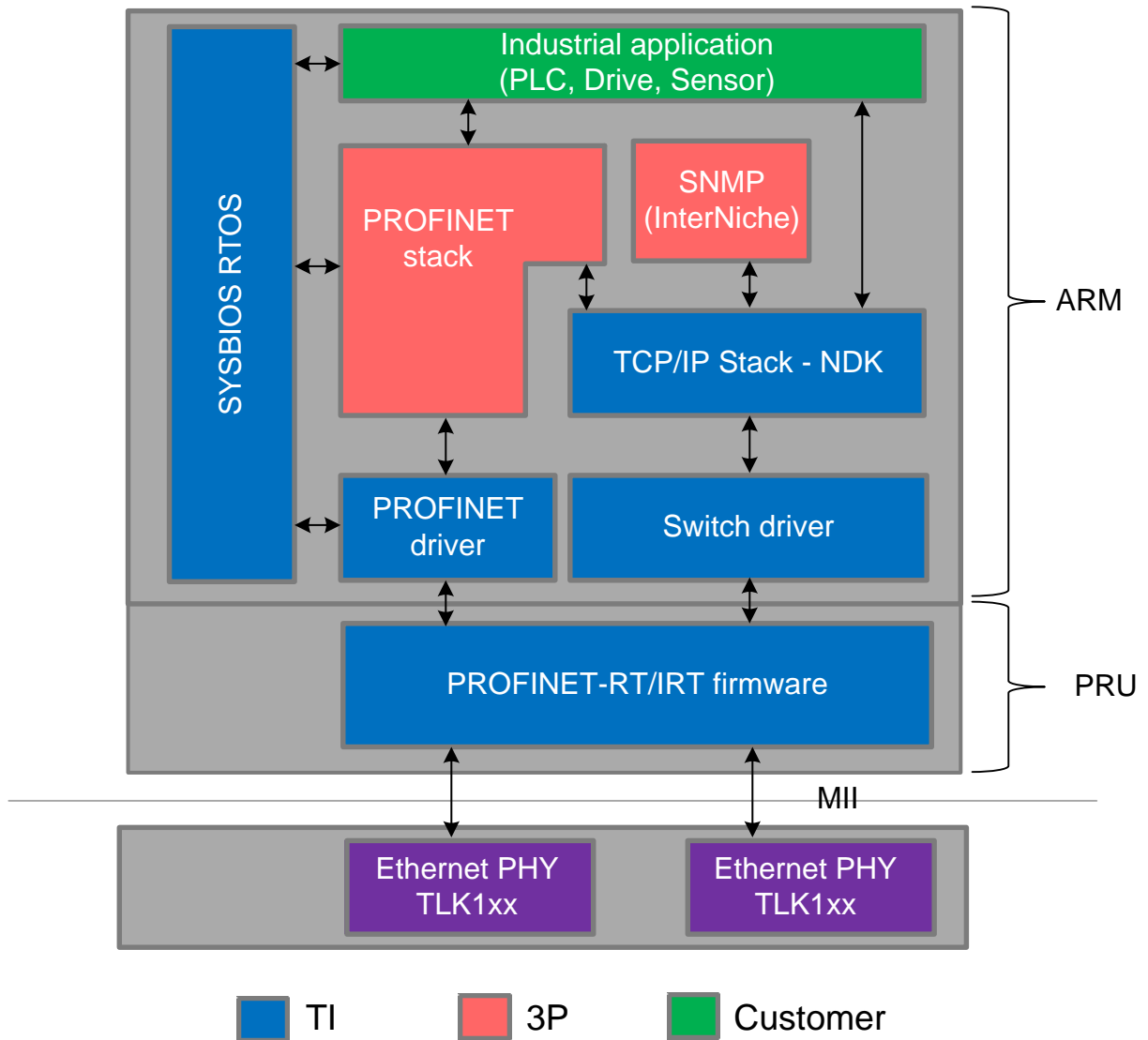


図 5. PROFINET IRT System Block Diagram

5 Industrial SDK With PROFINET IRT Device

The complete software package for the PROFINET IRT device solution comes with the Industrial Software Development Kit (ISDK) available on TI's webpage at <http://www.ti.com/tool/sysbiossdk-ind-sitara>. PROFINET IRT v2.3 device protocol is supported from version 02.01.00.01 and later. Earlier SDK variants support PROFINET RT v2.2, which is replaced by the newer IRT release.

After installing the ISDK on a PC, the following file structure is available:

<code>\ti\sysbios_ind_sdk_2.1.0.1\sdk\</code>	entry point
<code>\ti\sysbios_ind_sdk_2.1.0.1\sdk\board</code>	board support (Ethernet PHY, LEDs, flash, LCD, and so on)
<code>\ti\sysbios_ind_sdk_2.1.0.1\sdk\docs</code>	Industrial SDK (release notes, user guide, getting started)
<code>..\sdk\examples\profinet_salve</code>	code composer project
<code>..\sdk\examples\profinet_salve\GSD</code>	device configuration file in XML format
<code>..\sdk\examples\profinet_salve\snmp</code>	SNMP interface and stack
<code>..\sdk\os_drivers\</code>	OS drivers for ICSS and other peripherals
<code>..\sdk\os_drivers\docs</code>	OS driver API guide
<code>..\sdk\protocols\profinet_slave\Docs</code>	PROFINET API guide, how to connect to PLC guide
<code>..\sdk\protocols\profinet_salve\drivers</code>	PROFINET APIs
<code>..\sdk\protocols\profinet_salve\firmware</code>	PROFINET interface and firmware objects
<code>..\sdk\protocols\profinet_slave\stack_lib</code>	Molex PROFINET stack library

This example is a PROFINET I/O RT/IRT device (slave) application based on Molex PROFINET stack. It also incorporates Simple Network Management Protocol (SNMP) using InterNiche SNMP stack. SNMP is required for managing devices in the network. This application supports SNMP MIB-2 (system and interfaces), LLDP-MIB, LLDP-EXT3-MIB, and LLDP-PNO-MIB, which are mandated for Conformance Class B. The SNMP stack available in the example is a limited version and shuts down after 1024 SNMP requests.

When activated, the I/O Device is assigned an IP address of 0.0.0.0. The PROFINET controller must configure the desired IP address and device name to the I/O device before an I/O connection can be established with the device. Once the application is up, the PROFINET I/O RT/IRT device will start communicating with a PROFINET PLC, or a PROFINET IO Tester or SPIRTA. The GSD file configures the I/O device in the master side is provided along with the application in GSD folder.

On the ICEv2 board, the LED blinks orange when the application is running. A simple sample I/O application demonstrates how to implement PROFINET. All the 1440 bytes of output data are exposed to the application. Sample I/O application simply uses the first byte of output data and maps it to the digital output LEDs on the board. It also implements a mechanism to read the digital inputs, which the sample application interprets as:

- Setting Jumper on Digital Input 0 generates an alarm. This is an external way to manually generate the alarms from the I/O device.
- Setting Jumper on Digital Input 1 generates a bit shift pattern input.
- Setting Jumper on Digital Input 2 generates a fixed test data input.

The user can write a simple PLC program where the input data of I/O device is transmitted back by PLC as output data. For example, a jumper can be inserted in Digital Input 1 on the I/O device to generate a bit shift pattern, which is then transmitted back by PLC to demonstrate the moving LED light on the digital output LEDs. Details on setting up a PROFINET connection with a PLC is included in `sdk/protocols/profinet_slave/docs`.

6 Test Data

PROFINET device capabilities are described in the General Station Description (GSD) file, which is provided to PROFINET engineering parameters for system tests and PROFINET test suites during certification tests. The GSD Markup Language (GSDML) provides a number of options to describe the device capabilities. For conformance class C (IRT), there is a separate section with RT_Class3 properties listed in 表 1.

表 1. Extract of PROFINET IRT Relevant GSD Parameters

TOKEN	PARAMETER	COMMENT
StartupMode	"Advanced", "Legacy"	Can be both
ForwardingMode	"Absolute", "Relative"	Relative on new newer devices
MaxBridgeDelay	Time delay inside the bridge (ns)	
MaxNumberIR_FrameData	The maximum number of RT Class 3 frames, which may be forwarded by this interface	
MaxRangeIR_FrameID	Contains the maximum width of RTC3 FrameIDs (2 to 3840)	Default 1024
MaxRedPeriodLength	500 to 4000 μ s	Default 3840 μ s
MinFSO	1760 to 5000 ns	Default 5000 ns
MinRTC3_Gap	1120 to 2000 ns	Default 1120 ns
MinYellowTime	6720 to 125000 ns	Default 125000 ns if no HPP
YellowSafetyMargin	0 to 1640 ns	Default 160 ns
MaxFrameStartTime	The minimum FrameSendOffset for green 1600 to 5000 ns	Default 1600 ns

An extract of GSD file used for certification is shown below. It includes relevant timing parameters of the PROFINET IRT switch including the TLK110 PHY delay values listed as MaxPortRxDelay and MaxPortTxDelay.

```
SupportedRT_Classes="RT_CLASS_1;RT_CLASS_3"
PTP_BoundarySupported="true"
DCP_BoundarySupported="true"
<RT_Class3Properties
MaxBridgeDelay="2920"
MaxNumberIR_FrameData="1024"
StartupMode="Advanced"
ForwardingMode="Relative"
MaxRedPeriodLength="4000"
MinFSO="4000"
MaxRangeIR_FrameID="1024"/>
<SynchronisationMode
T_PLL_MAX="1000"
SupportedRole="SyncSlave"
SupportedSyncProtocols="PTCP"
MaxLocalJitter="250" />
<ApplicationRelations
NumberOfAR="1"
StartupMode="Advanced">
<TimingProperties
SendClock="8 16 32 64 128"
ReductionRatio="1 2 4 8 16 32 64 128 256 512" />
<RT_Class3TimingProperties
SendClock="8 16 32 64 128"
ReductionRatioPow2="1 2 4 8 16"
ReductionRatioNonPow2="1"/>
<PortSubmoduleItem
ID="IDS_1P1"
SubslotNumber="32769"
MAUtypes="16"
MaxPortRxDelay="184"
MaxPortTxDelay="86"
```

There are four different test categories for the PROFINET IRT device. Before the tests are configured, the GSD file is verified with a GSD checker tool, which does a compliance check. The first and most relevant test to PROFINET IRT is the SPIRTA test. SPIRTA is software to test PROFINET IO devices using RT_Class_3 communication. There is a specific PC hardware setup with the CP1616 network card, which emulates an IRT controller and more complex PROFINET networks. The card measures network timing parameters that are used as a pass/fail criteria of the test. In total, there are 55 tests the device must pass. The AM335x-based solution passes all SPIRTA tests listed in [表 2](#).

表 2. SPIRTA Tests and Results

TEST ID	TEST NAME	TEST STATUS
SPIRTA_01	PROFINET_version	PASS
SPIRTA_02	Delay01__Delay01_NoAR	PASS
SPIRTA_03	Delay01__Delay01_NoFU	PASS
SPIRTA_04	Delay01__Delay01_WFU	PASS
SPIRTA_05	Delay02	PASS
SPIRTA_06	Delay03__Delay03_NoAR	PASS
SPIRTA_07	Delay03__Delay03_NoFU	PASS
SPIRTA_08	Delay03__Delay03_WFU	PASS
SPIRTA_09	Syncslave01__Syncslave01_NoAR	PASS
SPIRTA_10	Syncslave01__Syncslave01_NoFU	PASS
SPIRTA_11	Syncslave01__Syncslave01_WFU	PASS
SPIRTA_12	Syncslave02__Syncslave02_NoFU	PASS

表 2. SPIRTA Tests and Results (continued)

TEST ID	TEST NAME	TEST STATUS
SPIRTA_13	Syncslave02__Syncslave02_WFU	PASS
SPIRTA_14	Syncslave03__Syncslave03_NoFU	PASS
SPIRTA_15	Syncslave03__Syncslave03_WFU	PASS
SPIRTA_16	Syncslave03__Syncslave03_NoAR	PASS
SPIRTA_17	Syncslave04__Syncslave04_NoFU	PASS
SPIRTA_18	Syncslave04__Syncslave04_WFU	PASS
SPIRTA_19	Syncslave05	PASS
SPIRTA_20	Syncslave06__Syncslave06_NoFU	PASS
SPIRTA_21	Syncslave06__Syncslave06_WFU	PASS
SPIRTA_22	CMDEV	PASS
SPIRTA_23	CMDEV_Legacy	PASS
SPIRTA_24	CPM	PASS
SPIRTA_25	PPM	PASS
SPIRTA_26	MUXDEMUXScheduler01__MUXDEMUXScheduler01_NoFU	PASS
SPIRTA_27	MUXDEMUXScheduler01__MUXDEMUXScheduler01_WFU	PASS
SPIRTA_28	MUXDEMUXScheduler02__MUXDEMUXScheduler02_NoFU	PASS
SPIRTA_29	MUXDEMUXScheduler02__MUXDEMUXScheduler02_WFU	PASS
SPIRTA_30	MUXDEMUXScheduler03__MUXDEMUXScheduler03_NoFU	PASS
SPIRTA_31	MUXDEMUXScheduler03__MUXDEMUXScheduler03_WFU	PASS
SPIRTA_32	RTC3PSM	PASS
SPIRTA_33	RedRelay01	PASS
SPIRTA_34	RedRelay02	PASS
SPIRTA_35	RedRelay03	PASS
SPIRTA_36	RedRelay04	PASS
SPIRTA_37	MRPD__MRPD01	PASS
SPIRTA_38	MRPD__MRPD02	PASS
SPIRTA_39	MRPD__MRPD03_PerformanceClient	PASS
SPIRTA_40	MRPD__MRPD03_PerformanceManager	PASS
SPIRTA_41	MRPD__MRPD04	PASS
SPIRTA_42	MRPD__MRPD05	PASS
SPIRTA_43	COD_RPC	PASS
SPIRTA_44	COD_LLDP	PASS
SPIRTA_45	COD_CYCLIC	PASS
SPIRTA_46	COD_PTCP	PASS
SPIRTA_47	DHT	PASS
SPIRTA_48	PTCPTimeoutFactor	PASS
SPIRTA_49	NRTStorageCapacity	PASS
SPIRTA_50	NRTFramePrioritization	PASS
SPIRTA_51	PermanentData	PASS
SPIRTA_52	ReductionRatio	PASS
SPIRTA_53	PerformanceIndicatorCheck01	PASS
SPIRTA_54	PerformanceIndicatorCheck02	PASS
SPIRTA_55	PerformanceIndicatorCheck03	PASS

The second test suite verifies the robustness of the PROFINET IRT switch when measured with different load scenarios and device behavior under load. The NETLOAD test setup consists of a PC that generates interfering packets into a PROFINET connection through an industrial Ethernet switch, a PLC CPU, the device under test, and a PROFINET remote IO that is connected to the DUT. There are two different load scenarios for RTC1 and two different load scenarios for RTC3. Under these load conditions, the device under test is verified to perform a proper communication function and a proper application function. For the "normal" operation, both functions must work without error. For the "faulty case", the PROFINET communication may drop but must recover. The local device application always must continue to operate. Two traffic types are applied as network load with unicast, multicast, and broadcast address. Blind network traffic takes a certain percentage of network bandwidth, which makes it more difficult for the PROFINET device to work. Directed traffic of NRT and RT packets are implemented using the PROFINET EtherType. During a directed traffic load, the PROFINET device must filter certain fields in the packet to decide whether to process this packet in the PROFINET stack and application. 表 3 summarizes the results of 792 NETLOAD tests using the AM3359ICE board with PROFINET IRT firmware.

表 3. NETLOAD Test Summary

TOOL OR SOFTWARE	VERSION
CCS version	6.1.0.00104
SYSBIOS version	6_41_04_54
NDK version	2_24_02_31
XDC Tools version	3_31_02_38_core
Compiler version	GNU v4.8.4 (Linaro)
Platform	AM335X ICE v2.1, AM437X IDK
Branch	int_isdk_02_01_00_01
Build ID	132126f0f5e2b964824c39b18fe87d7bc4bdbbe5 (29-Jul-2015)
Application	PROFINET IRT Slave Release Mode SD card binary
Date of testing	29-07-2015

表 4. Total (Normal/Limited/Faulty)

TEST CATEGORY	PASS	FAIL	INC	NRY	NA
IRT CLASS 1	198	0	0	0	0
IRT CLASS 3	198	0	0	0	0
IRT CLASS 1	198	0	0	0	0
IRT CLASS 3	198	0	0	0	0
Grand Total	792	0	0	0	0

The PROFINET IO Tester is the third test suite required for certification. There are 105 PROFINET IO tests that primarily focus on the protocol compliance. Most of this functional test resides in the partner stack from Molex and are passed using the included GSD file in the Industrial SDK.

The three test suites do not use a larger setup with multiple devices. For the PROFINET IRT to work in a larger setup, many IRT devices are connected in a system level test. 図 6 shows the time synchronization jitter between the first and last device in a setup with 10 devices tested over 24 hours. The jitter is in the range of ± 50 ns.

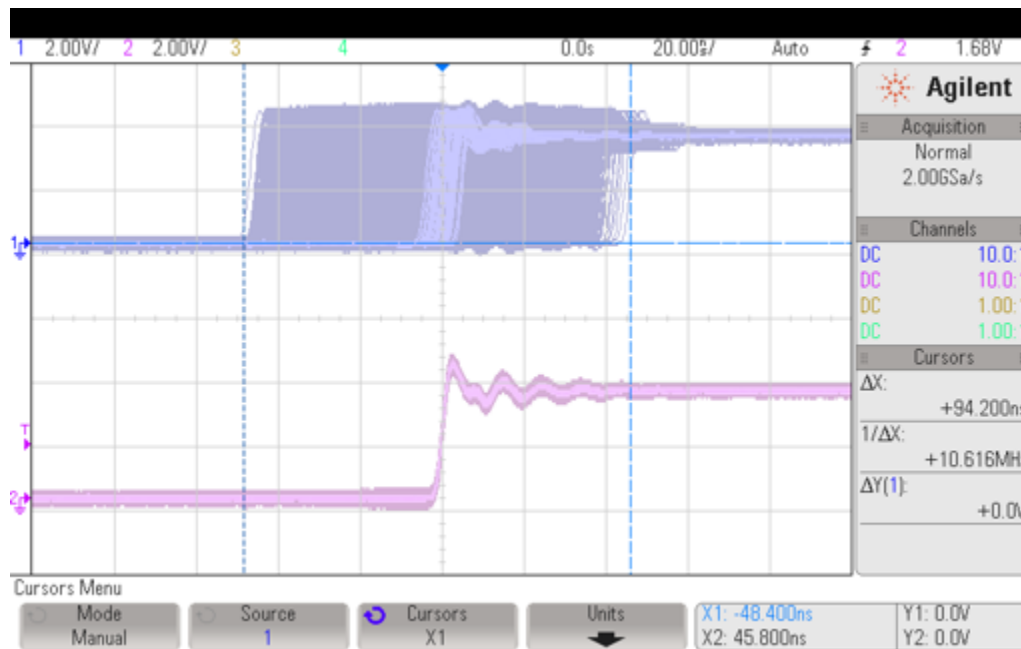


図 6. Time Synchronization Jitter in PROFINET IRT Domain

図 7 shows the PROFINET IRT Device Certificate for the AM3359ICE board using PROFINET IRT firmware, Molex PROFINET IRT stack, and TLK110 Industrial Ethernet PHYs. This shows the highest conformance class and NETLOAD class of the solution.



Certificate

PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. grants to
Texas Instruments Deutschland GmbH
Haggertystr. 1, 85356 Freising, Germany

the Certificate No: **Z10659** for the PROFINET IO Device:

Model Name: AM3359 Profinet Evaluation Kit
Revision: SW/FW: T 1.0.2; HW: 1
Identnumber: 0x0127; 0x0310
GSD: GSDML-V2.31-MOLEX_TI-AM335xProfinet_SDK-20150609.xml
DAP: DIM 1: Molex-TI sample device, 0x1010 0000

This certificate confirms that the product has successfully passed the certification tests with the following scope:

<input checked="" type="checkbox"/>	PNIO_Version	V2.32
<input checked="" type="checkbox"/>	Conformance Class	C Optional Features: IRT
<input checked="" type="checkbox"/>	Netload Class	III
<input checked="" type="checkbox"/>	PNIO_Tester_Version	V2.3.5
<input checked="" type="checkbox"/>	Tester	SIEMENS AG, Fürth, Germany PN346-1, IRT086-1

This certificate is granted according to the document:
"Framework for testing and certification of PROFIBUS and PROFINET products".
For all products that are placed in circulation by June 19, 2018 the certificate is valid for life.

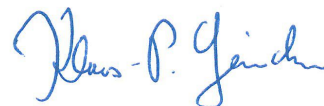


(Official in Charge)

Board of PROFIBUS Nutzerorganisation e. V.



(Karsten Schneider)

(K.-P. Lindner)

図 7. PROFINET IRT v2.32 Device Certificate

7 Design Files

7.1 Schematics

To download the schematics, see the design files at [TIDEP0029](#).

7.2 Bill of Materials

To download the bill of materials (BOM), see the design files at [TIDEP0029](#).

7.3 Layer Plots

To download the layer plots, see the design files at [TIDEP0029](#).

7.4 Altium Project

To download the Altium project files, see the design files at [TIDEP0029](#).

7.5 Gerber Files

To download the Gerber files, see the design files at [TIDEP0029](#).

7.6 Assembly Drawings

To download the assembly drawings, see the design files at [TIDEP0029](#).

7.7 Software Files

To download the software files, see the design files at [TIDEP0029](#).

8 References

1. PROFIBUS, *PROFINET Technology and Application — System Description* ([link](#))
2. PROFIBUS, *PROFINET v2.3 ED.2 — Profile Specification*
3. PROFIBUS, *PROFINET v2.3 ED.2 — Protocol Specification*
4. PROFIBUS, *PROFINET v2.3 ED.2 — Service Specification*
5. PROFIBUS, *GSDML Specification for PROFINET IO v2.31* ([link](#))
6. PROFIBUS, *PROFINET IO Security Level 1 (Netload) v1.2* ([link](#))
7. PROFIBUS, *Test Specification for PROFINET v2.32* ([link](#))
8. PROFIBUS, *PROFINET IRT Engineering v1.32* ([link](#))

9 Terminology

CPM— Consumer Protocol Machine

DCP— Discovery Configuration Protocol

FDB— Filter Database

ICSS— Industrial Communication Subsystem

IRT— Isochronous Real-time

ISDK— Industrial Software Development Kit

MAC— Media Access Control

MRP— Media Redundancy Protocol

PRU— Programmable Real-time Unit

PPM— Provider Protocol Machine

PRU— Programmable Real-time Unit

QoS— Quality of Service

RTA— Real-time Alarm

RTC1— Real-time Class 1

RTC3— Real-time Class 3

UUID— Universally Unique Identifier

10 About the Author

THOMAS LEYRER is a Systems Architect at Texas Instruments who is responsible for Industrial Communication solutions.

TIの設計情報およびリソースに関する重要な注意事項

Texas Instruments Incorporated ("TI")の技術、アプリケーションその他設計に関する助言、サービスまたは情報は、TI製品を組み込んだアプリケーションを開発する設計者に役立つことを目的として提供するものです。これにはリファレンス設計や、評価モジュールに関する資料が含まれますが、これらに限られません。以下、これらを総称して「TIリソース」と呼びます。いかなる方法であっても、TIリソースのいずれかをダウンロード、アクセス、または使用した場合、お客様(個人、または会社を代表している場合にはお客様の会社)は、これらのリソースをここに記載された目的にのみ使用し、この注意事項の条項に従うことに合意したものとします。

TIによるTIリソースの提供は、TI製品に対する該当の発行済み保証事項または免責事項を拡張またはいかなる形でも変更するものではなく、これらのTIリソースを提供することによって、TIにはいかなる追加義務も責任も発生しないものとします。TIは、自社のTIリソースに訂正、拡張、改良、およびその他の変更を加える権利を留保します。

お客様は、自らのアプリケーションの設計において、ご自身が独自に分析、評価、判断を行う責任がお客様にあり、お客様のアプリケーション(および、お客様のアプリケーションに使用されるすべてのTI製品)の安全性、および該当するすべての規制、法、その他適用される要件への遵守を保証するすべての責任をお客様のみが負うことを理解し、合意するものとします。お客様は、自身のアプリケーションに関して、(1) 故障による危険な結果を予測し、(2) 障害とその結果を監視し、および、(3) 損害を引き起こす障害の可能性を減らし、適切な対策を行う目的で、安全策を開発し実装するために必要な、すべての技術を保持していることを表明するものとします。お客様は、TI製品を含むアプリケーションを使用または配布する前に、それらのアプリケーション、およびアプリケーションに使用されているTI製品の機能性を完全にテストすることに合意するものとします。TIは、特定のTIリソース用に発行されたドキュメントで明示的に記載されているもの以外のテストを実行していません。

お客様は、個別のTIリソースにつき、当該TIリソースに記載されているTI製品を含むアプリケーションの開発に関連する目的でのみ、使用、コピー、変更することが許可されています。明示的または黙示的を問わず、禁反言の法理その他どのような理由でも、他のTIの知的所有権に対するその他のライセンスは付与されません。また、TIまたは他のいかなる第三者のテクノロジーまたは知的所有権についても、いかなるライセンスも付与されるものではありません。付与されないものには、TI製品またはサービスが使用される組み合わせ、機械、プロセスに関連する特許権、著作権、回路配置利用権、その他の知的所有権が含まれますが、これらに限られません。第三者の製品やサービスに関する、またはそれらを参照する情報は、そのような製品またはサービスを利用するライセンスを構成するものではなく、それらに対する保証または推奨を意味するものでもありません。TIリソースを使用するため、第三者の特許または他の知的所有権に基づく第三者からのライセンス、あるいはTIの特許または他の知的所有権に基づくTIからのライセンスが必要な場合があります。

TIのリソースは、それに含まれるあらゆる欠陥も含めて、「現状のまま」提供されます。TIは、TIリソースまたはその仕様に関して、明示的か暗黙的にかかわらず、他のいかなる保証または表明も行いません。これには、正確性または完全性、権原、続発性の障害に関する保証、および商品性、特定目的への適合性、第三者の知的所有権の非侵害に対する黙示的保証が含まれますが、これらに限られません。

TIは、いかなる苦情に対しても、お客様への弁護または補償を行う義務はなく、行わないものとします。これには、任意の製品の組み合わせに関連する、またはそれらに基づく侵害の請求も含まれますが、これらに限られず、またその事実についてTIリソースまたは他の場所に記載されているか否かを問わないものとします。いかなる場合も、TIリソースまたはその使用に関連して、またはそれらにより発生した、実際の、直接的、特別、付随的、間接的、懲罰的、偶発的、または、結果的な損害について、そのような損害の可能性についてTIが知らされていたかどうかにかかわらず、TIは責任を負わないものとします。

お客様は、この注意事項の条件および条項に従わなかったために発生した、いかなる損害、コスト、損失、責任からも、TIおよびその代表者を完全に免責するものとします。

この注意事項はTIリソースに適用されます。特定の種類の資料、TI製品、およびサービスの使用および購入については、追加条項が適用されます。これには、半導体製品(<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>)、評価モジュール、およびサンプル(<http://www.ti.com/sc/docs/sampterm.htm>)についてのTIの標準条項が含まれますが、これらに限られません。