

PROFINET 实时通信控制技术的研究

王 赛

宜宾职业技术学院, 四川 宜宾 644003

[摘要]通过对 PROFINET 概念及通信协议的介绍, 对实时通信方案的研究, 特别对 RT 和 IRT 的深入分析, 以 PROFINET IO 系统案例为例, 深入研究了 RT 数据的最大传输时间, 从而正确设置组态参数, 避免由于扫描时间设置不当而导致通信数据的丢失。

[关键词]PROFINET; IO; RT; 最大传输时间; 扫描时间

DOI: 10.33142/sca.v3i4.2166

中图分类号: TP273

文献标识码: A

Application Research on PROFINET Real Time Communication Control Technology

WANG Sai

Yibin Vocational & Technical College, Yibin, Sichuan, 644003, China

Abstract: Through the introduction of PROFINET concept and communication protocol, the research of real-time communication scheme, especially the in-depth analysis of RT and IRT, taking PROFINET IO system as an example, the maximum transmission time of RT data is deeply studied, so as to correctly set configuration parameters and avoid the loss of communication data due to improper setting of scanning time.

Keywords: PROFINET; IO; RT; maximum transmission time; scan time

引言

PROFINET 是由 PNO (Profibus National Organization) PROFIBUS 国际组织改进提出的基于以太网标准(IEC61158)的工业自动化总线技术标准, 使用 TCP/IP 和 IT 标准, 能够无缝集成已有的现场总线系统的实时以太网。PROFINET 更加适用于工业自动化网络控制技术, 是对工业以太网的进一步发展和创新。PROFINET 按照工业环境的要求, 使用了三种不同的通信方式, 分别是 TCP/IP 的标准通信, 实时通信 (RT) 和同步实时通信 (IRT), PROFINET 设备能够根据通信要求选择不同的通信方式。

1 PROFINET 的通信协议架构

网络技术中一般使用 CSMA/CD (带冲突检测的载波侦听多点访问) 的访问方法, 系统采用线性结构的总线技术, 所有工作站连接到同一网络上, 具有同等的竞争访问权, 采用连续侦听传输介质, 检测任意冲突, 导致数据发送的不确定性和随机性增加, 不能保证通信站点在规定的时间内实现数据的发送, 降低了网络的实时通信能力。通过交换式以太网提高实时性。将以太网划分为若干子段, 在各子段之间同步数据通信, 并行数据帧的传输, 降低了冲突的开销, 可以有效地提高网络的实时性。

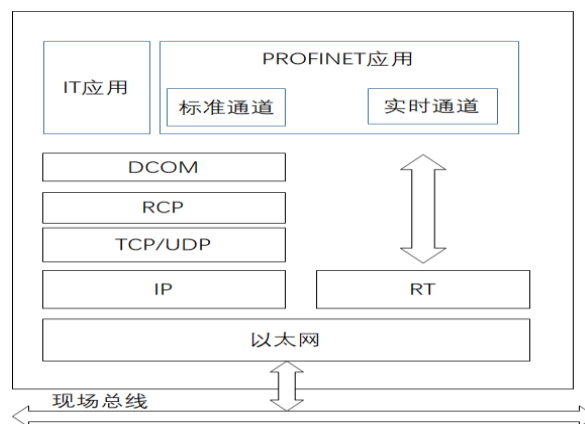


图 1 PROFINET 的通信协议架构

2 实时通信的解决方案

以太网技术中一般使用 CSMA/CD（带冲突检测的载波侦听多点访问）的访问方法，系统采用线性结构的总线技术，所有工作站连接到同一网络上，具有同等的竞争访问权，采用连续侦听传输介质，检测任意冲突，导致数据发送的不确定性和随机性增加，不能保证通信站点在规定的时间内实现数据的发送，降低了网络的实时通信能力。基于以太网技术的 PROFINET 通过以下方式提高网络的实时性，促进其在工业控制领域的应用。

2.1 简化协议

简化掉 ISO/OSI 模型中不包含实时数据通信所需功能的第 3 层和第 4 层，优化第 2 层协议，改变数据包的寻址方式采用 MAC 地址寻址而非 IP 地址寻址等方式优化通信协议。优化后的协议，在第 1 层和第 2 层上仍然符合 IEEE802.3 标准的以太网帧，仍是标准的以太网，其工业以太网优化前后的对标如图 2 所示，由于 PROFINET 实时协议没有使用 TCP/IP 模型的第 3 层及第 4 层，也就省去了打包和解包的环节，减少了帧的长度大，大大地提高通信的实时性，但优化协议后失去了数据的路由功能。

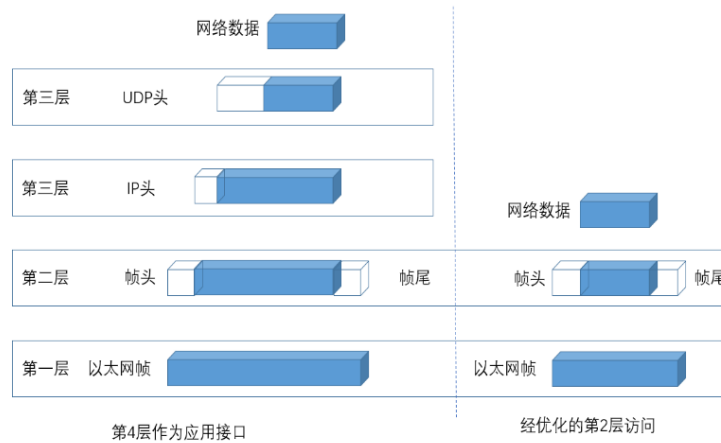


图 2 简化以太网帧的过程

2.2 RT 通信方案

PROFINET 的实时帧使用了以太网类型 (0x8892) 作标示的以太网帧，帧的结构如图 3 所示，同时使用 FrameID 寻址设备间的通信通道。以太网类型和 FrameID 作为 RT 特征元素，在接收方能迅速被判断和评估，并快速找到相应的通信通道。实时帧具有 4 个字节的 VLAN 标签 (IEEE802.1p)，在此标签中主要定义数据帧的优先级级，在定义时可以将数据帧中的 VLAN 标签 (3 位，可定义 0-7 级) 的优先级提高到 6 或者 7，通过提高数据帧的优先级从而提高数据的实时性，实现对 RT 数据的优先传输。

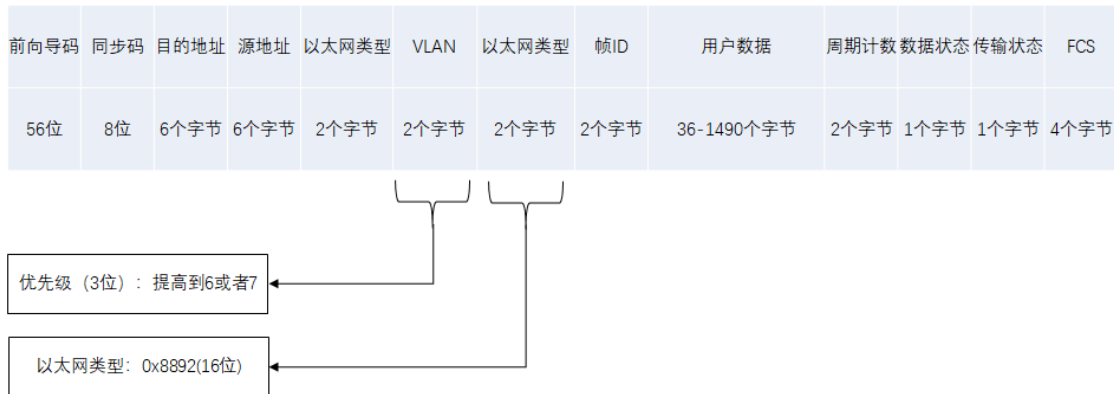


图 3 PROFINET 的 RT 帧结构

2.3 RT 的分时优先机制

在网络数据交换中，PROFINET 上每个终端设备相对独立地实现接收和发送的并行处理，即发送的数据循环发送、接收的数据立即接收。并采用的分时处理机制，保证了在每个通信循环周期内，按优先级先行处理 RT 的实时数据，再

处理 TCP 或 UDP 的数据，保证了 RT 数据的快速性。如图 4 所示。

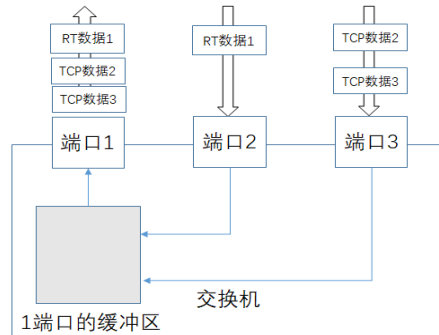


图 4 实时数据优先发送

2.4 IRT 通信方案

PROFINET 还支持高性能同步运动控制应用，在该应用场合 PROFINET 提供对 100 个节点响应时间低于 1ms 的同步实时 (IRT) 通信。一般情况下是通过预留专用通道实现 IRT 通信。实现 IRT 通道和标准通道的相对独立，如图 5 所示。

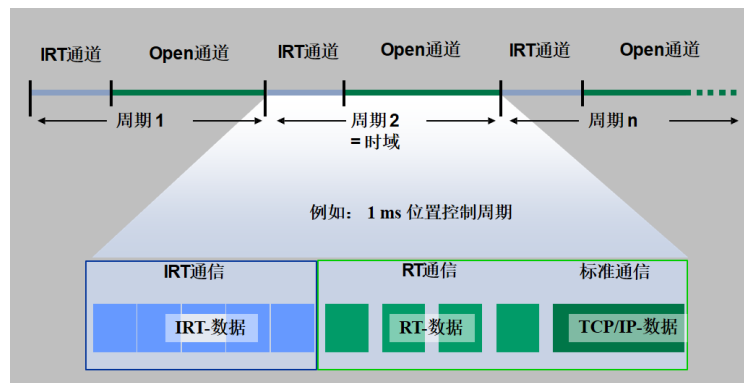


图 5 建立 IRT 的专用通道

另外，对于 IRT 而言在通信是主要聚焦到“定时”上，因此它是基于时间的通信，在通信中必须具有高度精确的循环同步和控制循环。IRT 有同步协议和时间控制的通信管理，不需要再另外定义底层协议来实现，通过为各节点规定时间调度表，精确地规定帧到达和发送的时间，并为其添加时间同步的方式。即可有效解决定时和同步问题。在具体应用中，要求 PROFINET 网络内的所有设备均使用同一个周期，即所谓的同步，因此所有设备都需要具备 ERTEC 芯片，实现与网络的时钟同步。除了预留专用通道提高通信的实时性，还可以通过组态拓扑信息进行通信规划，使得数据在规定的路径中传输，可以更加提高通信的实时性。因此 IRT 在对时间过程数据要求极高的运动控制场景中有较好的表现。

3 实时性通信控制的应用

PROFINET 通过 PROFINET IO 和 PROFINET CBA（基于组件的自动化）实现对不同工业层级的支持，设备可以从现场层级一直连接到管理层级，实现控制系统范围内的“一网通”。通过 PROFINET IO 的 RT 和 IRT 技术，将控制器与分布式 IO 设备的通信时钟周期控制在 10ms 甚至 1ms 量级，从而实现将分布式现场设备直接连接到工业以太网。通过 PROFINET CBA 将不同控制系统集成形成通信组件，改善通信时钟周期降低到 10ms 量级，实现不同控制器之间的实时通信。在 IEC61158 即“测量和控制数字数据通信—工业控制系统用现场总线”定义了 10 种现场总线，其中第 3 种为 PROFIBUS，第 10 种为 PROFINET CBA。而 IEC6178 作为 IEC61158 的子集，定义了 PROFINET IO 协议，PROFINET IO 在工程应用中最为广泛。

3.1 PROFINET IO 系统基本组成

PROFINET IO 是为了基于以太网的现场设备之间高速数据交换而设计的，遵循提供者 / 消费者模型。通过建立应用关系 (AR) 和通信关系 (CR) 来实现通信调度。使用实时、等时同步实时与分布式 I / O 通信。能够用任何标准以太网控制器来实现。PROFINET IO 的应用模型由 IO 控制器、IO 设备、IO 监视器三个部分组成，一般情况下 1 个 PROFINET IO 系统应该有至少 1 个 IO 控制器和 1 个 IO 设备。

3.2 PROFINET IO 系统配置典型案例

本案例以采用西门子 CPU1517-3PN/DP 作为控制器, 2 个 ET200SP 作为 IO 设备, 利用博途 V15 版本, 创建 PROFINET IO 系统, 系统采用西门子 SCALANCE X200 系列交换机, 将两个 IO 设备与控制器链接成为系统, 系统可根据需要扩展交换机和其他的 IO 设备。具体网络配置如图 6 所示。

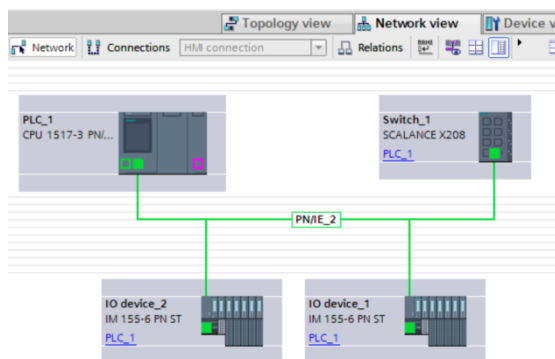


图 6 PROFINET IO 配置图

3.3 RT 数据最大传输时间

在该系统的数据传输中主要有两类数据, 一是标准数据即非实时数据 (NRT), 另一类数据为实时 IO 数据, 即 RT 数据, 两类数据的长度一般为 64B-1500B 之间。交换机在转发这两类数据时, 一般会按照存储&转发 (S&F) 方式进行转发数据, 即先对数据进行存储校验, 然后按照目标地址转发相应的对象。在转发过程中遵循优先机制, 优先转发 RT 数据。本例中的 SCALANCE X208 交换机在利用 S&F 方式转发长度为 64B 的数据时, 根据使用手册提供的信息, 数据延迟时间 $T_{S\&F} \approx 10 \mu s$, 而 PROFINET 网络传输速度为 100M/S, 因此传输 64B 的数据的传输时间 $T_c \approx 5 \mu s$ 。如果考虑到特殊情况, 当一个 1500B 的 NRT 数据正在交换机中转发时, RT 数据也必须等待此数据转发完成后才能转发, 而 1500B 的转发数据延迟时间为 $T'_{S\&F} \approx 130 \mu s$, 在网络的传输时间 $T'_c \approx 120 \mu s$ 。因此一个 64B 的 RT 数据经过 1 台交换机的最大传输时间 $T_{Max} \approx T_{S\&F} + T_c + T'_{S\&F} + T'_c \approx 10 + 5 + 130 + 120 \approx 265 \mu s$ 。如果系统中有 n 台交换机则的最大传输时间为 $n \times T_{Max}$, 如当 $n=64$, 则 $T_{Max} \approx 17ms$ 。

3.4 系统中扫描时间的设置

在 PROFINET IO 系统中, 要定义控制器的扫描时间, 一般默认为 1ms, 根据以上分析, 如果系统中 RT 数据的最大传输时间 T_{Max} 大于系统定义的扫描周期时间 T_c , 则会造成部分 RT 数据不能被扫描到, 从而发生数据丢失事件。因此在设置系统的扫描时间时, 要遵守 $T_c > T_{Max}$ 的原则。由于交换机的数据转发机制及数据传输延迟等因素的影响, 与控制器距离不同的 IO 设备, 所需的数据更新时间是不同的, 距离越远的 IO 设备, 数据更新时间越长, 所以必须要设定相应的看门狗时间, 以避免因为到达看门狗时间数据未更新而造成设备故障误报, 这是 RT 通信的局限, 可以满足大部门工厂自动化系统要求。而对实时性更高的运动控制, 则需要通过 IRT 通信。因为在 IRT 交换机满足直通交换方式 (Cut Through) 转发数据机制, 数据不会在交换机中被存储, 而是直接通过专用通道, 转发到目标地址, 大大地减少数据传输时间。

4 结束语

对 PROFINET 的研究, 一般在应用方面, 对 PROFINET 的协议标准、实时性 等较深层次的研究还是比较少的。研究 PROFINET 的实时性, 可以广泛的应用在运动控制领域、过程控制领域、分布式自动化等工业控制领域, 甚至在航天分布式设备控制领域也有不可估量的应用价值。

[参考文献]

- [1] 崔坚, 李佳, 杨光. 西门子工业网络通讯指南(下册)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [2] RAIMOND P, MARK M, 汤亚锋. 西门子 PROFINET 工业通信指南[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2007.
- [3] 王斌, 曲杰, 张国旭, 等. PROFINET 总线技术在西门子 TIA 博途软件中的应用[J]. 锻压装备与制造技术, 2015, 7(6): 79-83.

作者简介: 王赛 (1974.5-), 男, 毕业院校: 四川大学机械工程及其自动化硕士研究生, 当前就职于宜宾职业技术学院, 职务: 项目办主任, 宜宾职业技术学院副教授, 长期从事自动化行业的研究工作, 精通 PLC、变频、工控网等应用技术。