

PROFINET工业通信

[德] Manfred Popp 著

刘丹 谢素芬 史宝库 王爱鹏 许斌 译



PROFI[®]
NET



中国质检出版社
中国标准出版社

PROFINET 工业通信

[德] Manfred Popp 著

刘 丹 谢素芬 史宝库 王爱鹏 许 斌 译

中国质检出版社

中国标准出版社

北 京

图书在版编目(CIP)数据

PROFINET 工业通信/ (德) Manfred Popp 著; 刘丹, 谢素芬, 史宝库, 王爱鹏, 许斌译. —北京: 中国标准出版社, 2016. 9

书名原文: Industrial communication with PROFINET

ISBN 978-7-5066-8325-8

I. ①P… II. ①M…②刘… III. ①总线—技术 IV. ①TP336

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 171187 号

著作权合同登记号: 图字 01-2016-6801

免责声明

本书内容已经过仔细检查以保证其与标准及软硬件描述一致。但是, 由于无法排除技术变化, 不能确保完全的一致性。书中信息将被定期检查并在后续版本进行必要修订。欢迎提出改进建议。

本书不可取代 PROFINET 标准 IEC 61158/61784。如有疑问, 以 PROFINET 标准为准。

© 本书版权归 PROFIBUS 用户组织 PNO (PROFIBUS Nutzerorganisation e. V.) 所有 (2014)。中文版由 PNO 授权中国标准出版社出版, 保留所有权利。

未经许可, 不得复制或抄袭本书部分或全部内容。违者将被追究法律责任并赔偿损失。保留所有权利, 特别对于已授权的发明专利, 或已注册的实用新型专利或外观设计。

中国质检出版社
中国标准出版社 出版发行

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号 (100029)

北京市西城区三里河北街 16 号 (100045)

网址: www.spc.net.cn

总编室: (010) 68533533 发行中心: (010) 51780238

读者服务部: (010) 68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 710×1000 1/16 印张 18.5 字数 260 千字

2016 年 9 月第一版 2016 年 9 月第一次印刷

*

定价 98.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话: (010) 68510107

序 言

随着以太网和信息技术（IT）在许多领域的广泛使用，将以太网和 IT 技术集成到自动化系统中，是装备制造工业发展和生产过程自动化技术升级的必然需求，从而推动了 PROFINET 技术开发和形成。

现在 PROFINET 已经是一种创新的、开放的工业以太网（也叫实时以太网）标准，满足自动化技术的所有需求。PROFINET 在汽车业已成为标准（例如，在德国），在机械加工业普遍应用，在食品、饮料、包装和物流领域的应用得到很好证明。新的应用领域也不断涌现，比如海洋和轨道应用等，现在 PROFINET 已遍布于所有应用领域。PI 国际组织始终致力于 PROFINET 技术的发展，从最初的 PROFINET CBA，到后来的 PROFINET IO，再到最新的 PROFINET IO V2.3 版本，其目标是从长远角度满足用户实现各种自动化任务的需求。本书对 PROFINET 技术的基本内容作了比较详细的介绍。

作为直接参与者，我目睹了自上世纪九十年代开始将 PROFIBUS 和后来将 PROFINET 相关技术引入中国的全过程。现在，从标准角度看，已经为国内用户和企业的开发和应用构建了较完整的标准体系，从底层的 PROFIBUS（GB/T 20540）和 PROFINET（GB/T 25105）通信协议，到中间通用的功能安全 PROFIsafe（GB/T 20830）行规，再到上层面向应用的过程自动化 PA（GB/T 27526）行规和运动控制 PROFIdrive（GB/T 25740）行规，全部都已经转化为中国国家标准。从应用角度看，PROFINET 技术在国内越来越广泛地应用，越来越多的国内企业开始自主地开发带 PROFINET 通信的远程 IO 设备、交换机、仪器仪表等，为此，在中国也已建成了 PI 授权的 PROFINET 认证测试实验室。可以说，从标准制定、应用推广、产品研发到认证测试，在国内都可以获得全方位的支持。在此过程

PROFINET 工业通信

中，机械工业仪器仪表综合技术经济研究所和全国工业过程测量控制和自动化标准化技术委员会做了大量的工作。

当前，国内国际都在如火如荼地开展工业 4.0 和智能制造的研究和讨论，我国提出“中国制造 2025”计划，并开始设施智能制造的试点与示范应用。面对我国装备制造业的现实，将出现“工业 2.0 补课，工业 3.0 普及，工业 4.0 示范”的不同阶段并行的局面。不论哪个阶段，管理、产品、工艺和制造的信息的互联互通，是实现数字化制造和智能制造的基础和前提，这就必须有一个坚实、可靠的工业网络来作支撑。它不仅能使用于控制、可视化、生产管理、维护和物流的制造应用软件彼此自由通信。例如，将工业以太网作为骨干网来实现 PLC、DCS 和工厂车间的 PC 以及操作员工作站的互联，还能向上与 ERP 与 MES 无缝集成，甚至向下延伸至现场层连接生产现场的各种智能装备与仪表等。PROFINET 既支持标准的 TCP/IP，又提供标准以太网不能实现的时间确定性功能，再加上不断的技术改进和性能增强，使其成为一个理想的工业网络。此外，PI 国际组织为 PROFINET 提供了 20 多个相关行规，定义了不同行业中使用的标准化的数据格式和数据语义，是实现可互操作的基础。因此，无论是工厂自动化还是过程自动化应用，亦或运动控制应用，PROFINET 都可作为首选的工业网络技术。这也是我推荐出版本书的初衷。

李百煌

2016 年 7 月 12 日

译者序

PROFIBUS 作为基于串行总线技术的现场总线，20 世纪 80 年代在自动化界掀起了一场革命，为今天的分布式概念奠定了基础，发展至今广泛应用于工厂自动化和过程自动化的各行业中。而 90 年代起，以太网技术迅速发展并扩展应用于工业领域。今天，高速数字化通信已经成为制造业中不可缺少的一项技术要求。工业界的需求引导了将现场总线技术（比如 PROFIBUS）与以太网技术相结合的技术革新，PROFINET 应运而生。PROFINET 技术融合了 PROFIBUS 的工业经验以及以太网的开放性和灵活性。

PROFINET 技术作为工业以太网技术，支持 IEEE 802. XX 协议（比如，IEEE 802.3），可以使用标准以太网芯片实现；除了支持标准以太网通信通道，还支持实时通信通道和等时实时通信通道。我们知道一般的工业通信都要求具有实时通信，这是将以太网应用于工业中的一项基本要求。等时实时通信对于控制对象具有整体的通信调度，对于通信的周期、通信的起始等都有规划，典型的应用领域为运动控制，PROFINET 可以将抖动控制在小于 1 微秒的范围内，并且总线周期可达 31.25 微秒。

PROFINET 协议规范整体是复杂的，因为它为用户提供了很大的自由度，它根据不同的通信功能，划分了不同的通信类别，用户可以根据自身需求，仅实现必要的通信功能。这样的灵活性为用户带来了时间成本和技术成本的节约。

PI 组织推出的 PROFINET IO 技术规范是现场总线国际标准 IEC 61158 的类型 10，并于 2014 年被转化为推荐性国家标准 GB/T 25105—2014，共有 3 部分组成，上千页的文本，标准中详细规定了数据类型、通信模型、协议和服务，是国内用户开发、应用 PROFINET 技术的最高依据。此标准

是涵盖 PROFINET 技术各个细节的文本，它规范的“是什么”，主要的目标读者是 PROFINET 协议的研究开发或者已经具有基本 PROFINET 概念的人员，通过规范来约束 PROFINET 的技术实现者，从而达到不同制造商设备的协议一致性和互操作的目的。

毫无疑问，仅靠阅读规范来获得知识是枯燥的、耗时的，就像一部法规要依靠很多解释文本来帮助人们加深理解一样，技术规范也需要类似的文本为技术人员提供帮助。因此，PI 在 PROFINET 规范发布后推进了《Industrial Communication with PROFINET》的编辑出版，而本书作为 PROFINET 科普读物，凝结了作者对 PROFINET 技术多年的研究经验，着重从核心技术要素的逻辑关系来描述技术原理，深入浅出，通俗易懂，并且，书中不对列举性的一般要素进行陈述，节省了读者的时间。作为对 PROFINET 规范的一个有益的补充，我们翻译引进了此书，填补国内在这方面的一项空白，希望为中国广大的 PROFINET 技术用户带来帮助。

本书的作者 Manfred Popp 先生领导 PI 授权的资格中心及认证实验室 ComDec 几十年，一直在技术一线研究工业通信技术，曾担任 PI 组织所属 PROFINET 标准工作组的组长，负责 PROFINET 及 PROFIsafe 的相关标准及认证测试规范的研究，长期担任 PROFINET 技术培训讲师，其工作还包括对 PROFINET 设备的开发与建议。

《PROFINET 工业通信》提供了关于 PROFINET 的全面综述，目标读者是 PROFINET 的设备开发人员、工业控制系统规划设计人员、工厂操作人员以及运行调试工程师。

不同于正式标准中抽象的语言范式，本书的作者结合自己对 PROFINET 技术多年的经验，以浅显易懂的方式向读者展示 PROFINET 的技术概貌，可以让读者在较短的时间内了解该技术的基本要素，有助于读者进一步理解 PROFINET 规范的内容。产品开发人员可以根据书中所述 PROFINET 设备的模型、通信原理等内容，结合自身需求与定位，快速选择相应的开发方案，比如：软件、芯片、已发售的通信栈或者是成套的解决方案；而运行维护人员可以运用其中的 PROFINET 运行模式、诊断等内容，为自己的系统选择配置适当的运行维护工具。

本书原书作为 PI 向广大用户推荐的 PROFINET 经典读物已发布多年，首版为德语版本，顺应用户的要求，作者又发布了英语版本。在 PROFINET 协议版本升级（V2.3）后，作者结合新版协议规范和旧版的读者反馈进行了修订，呈现给中国读者的就是基于此修订后的版本。

本书翻译的过程中，得到了 PI 国际组织和西门子（中国）有限公司的大力支持，来自机械工业仪器仪表综合技术经济研究所的刘丹、谢素芬、史宝库以及西门子（中国）有限公司的王爱鹏、许斌是本书的主要译者，其中刘丹博士对本书还进行了全文统稿及编辑工作。

在此，特别感谢北京机械工业自动化研究所原所长李百煌教授，他对本书的翻译稿进行了全文的审阅与校对，并提出了许多宝贵的意见。

由于译者水平有限，书中译文有不当之处在所难免，敬请读者见谅，欢迎读者反馈意见。

译者
2016年7月

目 录

1	前言及目标	1
2	PROFINET 标准	3
2.1	IEC 61158 和 IEC 61784 标准	3
2.2	GB/T 25105 国家标准	4
3	PROFIBUS&PROFINET 国际组织	6
3.1	PROFIBUS/PROFINET 资格中心和培训中心	7
3.2	PROFINET 测试实验室	8
4	PROFINET 的 ISO/OSI 模型	9
5	PROFINET 概览	10
5.1	PROFINET 功能与通信简介	12
5.2	PROFINET 网络简介	14
6	PROFINET 基础	17
6.1	PROFINET 现场设备连接	18
6.2	对于 PROFINET 兼容交换机的要求	19
6.3	设备的设备模型	21
6.4	PROFINET 通信服务概览	27
6.5	PROFINET 实时通信原理	27
6.6	PROFINET 实时类别	30

PROFINET 工业通信

6.7	应用关系和通信关系	39
6.8	设备模型与编址的关系	48
7	PROFINET 运行模式	50
7.1	从系统工程到地址解析	50
7.2	PROFINET 系统工程	52
7.3	下载组态数据到控制器	66
8	上电后发生了什么?	67
8.1	物理设备管理 (PDev)	67
8.2	端口 MAC 地址	69
8.3	恢复出厂设置	71
8.4	端口统计数据	72
8.5	通过 LLDP 探测邻居	73
8.6	LLDP 的使用案例 (系统拓扑显示)	84
8.7	多接口	85
9	系统启动前的寻址	88
9.1	标识 (Identify) 请求 (系统启动前的名称解析)	89
9.2	标识 (Identify) 响应	90
9.3	地址解析协议 (ARP)	91
9.4	设置 (Set) 请求 (见“名称分配”)	92
9.5	设置 (Set) 响应 (见“名称分配”)	92
9.6	PROFINET 系统启动	93
9.7	快速启动 (“fast start up”)	105
10	数据交换	111
10.1	循环数据交换	113
10.2	非循环数据交换的序列	116
10.3	多播通信关系 (MCR)	119

11	PROFINET 诊断概念	123
11.1	如何发出报警信号?	129
11.2	自动化系统中的报警使用案例	134
11.3	报警传输的 PROFINET 帧	139
11.4	在控制器和设备中的监视功能	143
12	PROFINET IRT 通信	144
12.1	IRT 通信介绍	144
12.2	IRT 通信的时钟同步	152
12.3	RT_ Class_ 3 通信组态 (IRT 通信)	158
12.4	IRT 系统启动	159
12.5	IRT 数据交换	162
12.6	等时同步模式下的报警报文	163
12.7	在 IRT 通信模式下的设备替换	163
12.8	在 GSD 文件中的 IRT 定义	163
12.9	同步和非同步操作的结合	168
12.10	PROFINET 的性能计算	169
13	PROFINET 性能优化	175
13.1	快速转发 (Fast Forwarding, FF)	176
13.2	数据帧打包 (Data Frame Packaging, DFP)	178
13.3	分段 (Fragmentation)	182
14	PROFINET 控制器	184
14.1	参数服务器	186
14.2	动态重新组态 (DR)	189
14.3	控制器上的 LED 指示灯的含义	191
14.4	设备上的 LED 含义	193

PROFINET 工业通信

15	PROFINET 设备描述 (GSD 文件)	195
15.1	介绍	195
15.2	GSD 目的总览	195
15.3	GSD 文件命名	196
15.4	设备标识	197
15.5	PROFINET GSD 文件的结构	197
15.6	创建 GSD 文件	200
15.7	GSD 文件的验证	202
15.8	GSD 文件的唯一性	202
15.9	V2.3 现场设备的最少条目	206
16	I&M 功能 (标识 & 维护)	208
17	冗余	211
17.1	媒体冗余增加系统可用性	211
17.2	多环	218
17.3	系统冗余	219
18	PROFINET 一致性类 (CC)	224
18.1	一致性类的应用领域 (简要概述)	224
18.2	确定所需一致性类的决策矩阵	225
19	PROFINET 应用行规	227
19.1	PROFIenergy 行规	229
19.2	驱动技术行规 (PROFIdrive)	231
19.3	安全相关的数据传输行规 (PROFIsafe)	232
19.4	PROFIsafe 在 GSD 文件中的定义	233
19.5	PROFIsafe 设备和 PROFINET 认证	235
19.6	PROFIdrive 设备和 PROFINET 认证	236

20	工具调用接口 (TCI)	237
20.1	TCI 操作模式概览	238
20.2	调用接口	239
20.3	通信接口	245
20.4	TCI 的一致性类	246
21	在 PROFINET 中集成现场总线系统	247
21.1	通过代理器集成现场总线	247
21.2	集成 PROFIBUS 应用	247
21.3	PROFINET 和其他现场总线系统	248
21.4	如何实现 PROFINET 代理器?	248
21.5	网关示例	251
22	PROFINET 现场设备开发	253
22.1	开发支持	253
22.2	测试支持	253
22.3	创建 GSD 文件	254
22.4	网络负载测试 (信息安全等级 1 测试)	255
23	PROFINET 认证	256
23.1	认证的功能范围	257
23.2	认证测试的准备工作	258
23.3	如何获得 PROFINET 证书	260
23.4	PROFINET 认证证书	261
24	现场设备开发者应该考虑什么?	264
25	系统操作员/制造商应该考虑什么?	266
26	PROFINET 术语	268
27	引用文件	279

1 前言及目标

PROFINET 是 PROFIBUS&PROFINET 国际 (PI) 组织推出的用于自动化的开放的工业以太网标准。PROFINET 基于以太网, 并使用 TCP/IP 和 IT 标准。正如 PROFINET 名称所显示的, PROFIBUS 多年的成功经验确保其向全球公认的以太网通信技术的平稳过渡 (→PROFINET)。

PROFINET 的功能可以组合, 以使 PROFINET 适应各种自动化应用的特殊需求。PROFINET 包括:

- 对直接连接以太网的 I/O 进行控制的简单现场设备;
- 带预处理功能的智能现场设备, 包括控制器;
- 多级的实时和诊断概念;
- 增加系统可用性的冗余通信;
- 安全相关的数据传输;
- 对具有高复用性的模块化系统进行组态;
- 易于与已有现场总线系统集成和扩展。

PROFINET 在自动化界已问世多年。PI 组织不断地为现场设备开发者和系统操作者推出稳定的标准、有益于开发的指南和测试系统。鉴于此, 我选择在本书中重点解释 PROFINET 的主要构成及工作模式, 而非说明在数据通信中每个比特的具体含义。这些可在有效工具中显示。

本书的目标读者主要是现场设备制造商, 但也包括系统工程师和调试工程师, 以期通过本书全面了解 PROFINET 通信。大部分情况下, 本书的读者将获得满足各自需求的 PROFINET 知识。本书的内容涉及 PROFINET 标准 V2.3 版本。

本书不可取代 PROFINET 标准和规范。如有疑问, 还应参考 PROFINET 标准和规范。

非常欢迎补充和改进意见。这对于我本人和本书的所有使用者都有帮助。

最后，致谢…

感谢为我解惑的所有人。特别感谢我的标准制定委员会的同事们，是你们使我能够如此解释 IEC 61158/61784 标准。

还要感谢我的整个团队。那些的严肃而富有成效的讨论我将铭记于心。

希望您喜欢阅读本书。

Manfred Popp



2 PROFINET 标准

2.1 IEC 61158 和 IEC 61784 标准

由于本书不深入介绍 IEC 61158/61784 详细内容，在此给出这两个标准的基本结构以便读者在阅读标准时能更容易地找到关注点（希望仅在特殊情况下才有必要阅读标准）。

IEC 61158

IEC 61158 系列标准名称为“工业通信网络 现场总线规范”，主要包括 6 大部分：IEC 61158 - 1 ~ IEC 61158 - 6。表 2.1 给出了 IEC 61158 标准的各部分概览。

表 2.1 IEC 61158 标准结构

IEC 61158 文档	IEC 标准内容	OSI 层次
IEC 61158 - 1	概览 (与本书不相关)	
IEC 61158 - 2	物理层协议规范和服务定义 (与本书不相关)	1
IEC 61158 - 3 - x	数据链路层服务定义 (与本书不相关)	2
IEC 61158 - 4 - x	数据链路层协议规范 (与本书不相关)	2
IEC 61158 - 5 - x	应用层服务定义	7
IEC 61158 - 6 - x	应用层协议规范	7

PROFINET 工业通信

PROFINET 已被纳入在 IEC 61158 当前版本中，定义为类型 10。

IEC 61784

IEC 61784 系列标准名称为“工业通信网络行规”，描述基于某种特定现场总线或以太网的系统应使用 IEC 61158（或其他标准）中规定的哪些“服务”子集进行通信。以这种方式定义的“通信行规”根据其在各自通信系统中的使用被分组为“通信行规族（CPF）”。PI 将 IEC 61784 中定义的（PROFINET）“通信行规”又进一步划分为一致性类。

表 2.2 IEC 61784 中“通信行规族”与现场总线的对应关系

IEC 61784 中规定的通信行规族（协议特定的）		
CPF	技术名称	IEC 61784 部分
1	FF	1, 5 - 1
2	CIP	1, 5 - 2
3	PROFIBUS/PROFINET	1, 2, 5 - 3
4	P - NET	1, 2, 5 - 4
5	WorldFIP	1, 5 - 5
6	INTERBUS	1, 2, 5 - 6
7	由于缺乏市场应用而被取消	—
8	CC - Link	1, 5 - 8
9	HART	1, 5 - 9
10	Vnet/IP	2, 5 - 10
11	TCnet	2, 5 - 11
12	EtherCAT	2, 5 - 12
13	ETHERNET Powerlink	2, 5 - 13
14	EPA	2, 5 - 14
15	Modbus - RTPS	2, 5 - 12
16	SERCOS	1, 2, 5 - 16

2.2 GB/T 25105 国家标准

PROFINET 技术规范已经被全国工业过程测量控制和自动化标准化技