



工业和信息化部普通高等教育“十二五”规划教材立项项目



21 世纪高等院校电气工程与自动化规划教材

21 century institutions of higher learning materials of Electrical Engineering and Automation Planning

R eal-time Industrial Network

实时工业网络 设计与应用

李艇 主编

杨彬 李栋 副主编

赵春雷 刘继伟 编



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



工业和信息化部普通高等教育“十二五”规划教材立项项目



21 世纪高等院校电气工程与自动化规划教材

21 century institutions of higher learning materials of Electrical Engineering and Automation Planning

R eal-time Industrial Network

实时工业网络 设计与应用

李艇 主编

杨彬 李栋 副主编

赵春雷 刘继伟 编

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

实时工业网络设计与应用 / 李艇主编. — 北京 :
人民邮电出版社, 2014.1
21世纪高等院校电气工程与自动化规划教材
ISBN 978-7-115-33207-3

I. ①实… II. ①李… III. ①计算机网络—高等学校
—教材 IV. ①TP393

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第246865号

内 容 提 要

在工业控制网络发展过程中,实时工业网络技术是理论性和实践性都很强的一个研究领域。本书以实时工业网络设计与应用为主线,系统地讨论了目前主流的实时工业网络技术,并结合实际工业现场的多种应用进行综合实训。本书对实时工业网络的基本概念、实时工业以太网技术、实时工业网络的组态和系统集成等进行了较全面的介绍,并在实时工业网络实训平台中完成 PLC 控制系统各项功能的实际操作,使学生能够对工业生产中的自动化过程控制的组态与编程以及实现工业网络的通信进行初步的分析和设计。

本书系统、先进、实用,有较强的实践性。适合作为应用本科电气信息类和自动化类专业教材,还可供从事工业控制网络系统设计和产品研发的技术人员参考。



-
- ◆ 主 编 李 艇
 - 副 主 编 杨 彬 李 栋
 - 编 赵春雷 刘继伟
 - 责任编辑 刘 博
 - 责任印制 彭志环 焦志炜
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
 - 邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
 - 网址 <http://www.ptpress.com.cn>
 - 三河市海波印务有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
 - 印张: 18.25 2014 年 1 月第 1 版
 - 字数: 461 千字 2014 年 1 月河北第 1 次印刷
-

定价: 39.80 元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316
反盗版热线: (010)81055315

实时工业网络是工业自动化系统在经过了计算机集成系统 (CCS)、集散控制系统 (DCS)、现场总线控制系统 (FCS) 的不断发展之后, 随着以太网步入工业控制领域, 在不断地解决了实时性问题的基础上而产生的一个较新的控制网络技术。它是传感器技术、通信技术和计算机技术相互渗透、密切结合而形成的交叉学科。目前, 以实时工业网络为代表的控制网络技术是自动化系统的标志性技术, 其使得工业自动化系统更快地朝着分布化、智能化控制方向发展。同时, 随着无线技术的快速发展, 及其在工业网络方面的应用, 使得工业网络更加完善、更加方便, 它是对有线网络很好的补充。

随着实时工业网络在工业自动化中的广泛应用, 需要我们进一步学习实时工业网络的基本知识, 如何对实时工业网络进行设计, 并解决实际应用中的问题。开设实时工业网络设计与应用课程的目的就是让学生在这个重要的工业控制领域探索和研究新问题、掌握新的技能以拓展自己的发展空间。

本书针对应用本科层次学生特点组织编写, 以培养实时工业网络应用型人才为目标, 将重点放在设计与应用方面, 并给出一个实践操作的平台, 以展现本书将理论与实践、系统设计与产品应用融于一体, 将教材的先进性、实用性和可读性融为一体的特色。使学生看得懂、可操作、可实现, 更加适应学生自主学习。

本书共 7 章, 分为理论知识和实训两部分, 参考学时为 80, 其中实训占 32 学时。

第 1 章实时工业网络概述, 讨论实时工业网络的基本概念。

第 2 章数据通信与网络互连基础, 通过对本章的学习, 使读者对实时工业网络技术实现方法的理解有很大的帮助。

第 3 章常用现场总线技术, 介绍主流的现场总线的体系结构和系统实现。

第 4 章实时工业以太网技术, 重点讨论实时工业网络这一核心控制网络技术。

第 5 章工业无线网络技术, 讨论较新应用的工业无线网络主要技术特点。

第 6 章实时工业网络的组态和系统集成, 讨论如何对实时工业网络实现现场生产设备远程实时监控和现场数据的实时交互。

第 7 章实时工业网络实训, 指导学生对典型控制对象的流量、液位、压力、温度等进行控制, 用 PLC 的组态和编程实现工业网络的通信。

本书由李艇统稿, 其中第 1 章和第 2 章由李艇编写, 第 4 章由杨彬编写, 第 3 章和第 5 章由李栋编写, 第 6 章由赵春雷编写, 第 7 章由李栋和刘继伟共同编写。

本书在编写过程中得到了天津理工大学中环信息学院领导和老师的支持与帮助，中环天仪股份有限公司专家和技术人员为此提供了具体的指导，在此谨表衷心的感谢。

本书实训中的许多实验，刘继伟同志作了大量的验证性工作，一并表示真诚的感谢。在本书编写过程中参考了大量的相关书籍和文献资料，本书编者向这些文献资料的作者致以诚挚的谢意！

限于编者的学术水平，书中存在的错误和不当之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

E-mail: litingcn@sina.com

2013 年 8 月 2 日于天津

目 录

第 1 章 实时工业网络概述	1	3.1.2 PROFIBUS 的特点	35
1.1 实时工业网络的基本概念	1	3.1.3 PROFIBUS 的通信模型	35
1.1.1 实时工业网络的组成	1	3.1.4 PROFIBUS 的实现	41
1.1.2 实时工业网络的任务	3	3.1.5 PROFIBUS 控制系统的集成	53
1.1.3 实时工业网络的实时性	3	3.2 HART 总线	62
1.2 实时工业网络的分类	3	3.2.1 HART 概述	62
1.2.1 工业控制网络的分类	3	3.2.2 HART 的协议结构	64
1.2.2 实时工业网络的分类	3	3.2.3 HART 的通信模型	65
1.3 实时工业网络的主要功能与发展	6	3.2.4 开发 HART 通信协议智能 仪表的工作步骤	67
1.3.1 实时工业网络的主要功能	6	3.2.5 HART 控制网络的设计	67
1.3.2 实时工业网络的主要特点	6	3.2.6 HART 的控制网络实例	80
1.3.3 实时工业网络的发展方向	7	3.3 小结	94
1.4 小结	8	3.4 习题	94
1.5 习题	8	第 4 章 实时工业以太网技术	95
第 2 章 数据通信与网络互连基础	9	4.1 工业以太网	95
2.1 数据通信基础	9	4.1.1 工业以太网与以太网	95
2.1.1 基本概念	9	4.1.2 工业以太网的特色技术	97
2.1.2 通信网络的拓扑结构	11	4.1.3 通信非确定性的缓解措施	99
2.1.3 网络传输介质	12	4.1.4 以太网的物理连接	100
2.1.4 数据交换技术	13	4.1.5 以太网的数据帧	101
2.1.5 差错控制方法	16	4.1.6 以太网的 TCP/IP 协议	103
2.2 通信参考模型	17	4.2 实时工业以太网	109
2.2.1 OSI 参考模型的基本概念	17	4.2.1 几种实时以太网的通信参 考模型	109
2.2.2 TCP/IP 参考模型	20	4.2.2 实时以太网的媒体访问 控制	110
2.3 网络互连基础	21	4.2.3 IEEE 1588 精确时间同步 协议	111
2.3.1 网络互连的基本概念	21	4.3 EPA 控制网络的设计	112
2.3.2 网络互连设备	23	4.3.1 EPA 技术简介	112
2.3.3 实时工业网络的互连	25	4.3.2 EPA 网络拓扑结构	112
2.4 实时工业网络通信基础	25	4.3.3 EPA 通信协议	114
2.4.1 实时工业网络通信模型	26	4.3.4 EPA 应用层通信协议栈 的设计与实现	116
2.4.2 工业无线网络通信特点	29	4.3.5 EPA 时间同步技术	133
2.4.3 工业无线网络通信协议	31	4.3.6 EPA 确定性调度技术	145
2.5 小结	32		
2.6 习题	32		
第 3 章 常用现场总线技术	33		
3.1 PROFIBUS 总线	33		
3.1.1 PROFIBUS 概述	33		

4.4	PROFINET	150	5.3.6	Wireless HART 通信协议	186
4.4.1	PROFINET 的网络连接	150	5.3.7	工业无线网络传感器 节点的设计	199
4.4.2	IO 设备模型及其数据交换	152	5.4	小结	203
4.4.3	组件模型及其数据交换	157	5.5	习题	203
4.4.4	PROFINET 通信的实时性	159	第 6 章	实时工业网络的组态和 系统集成	204
4.4.5	PROFINET 与其他现场 总线系统的集成	161	6.1	编程软件 STEP7 的使用	204
4.4.6	PROFINET 的 IP 地址管理 与数据集成	162	6.2	WinCC 组态软件的结构化设计	209
4.5	EtherNet/IP	164	6.2.1	WinCC 介绍	209
4.5.1	EtherNet/IP 的通信参考 模型	164	6.2.2	WinCC 安装过程	209
4.5.2	CIP 的对象与标识	165	6.2.3	启动 WinCC	211
4.5.3	EtherNet/IP 的报文种类	166	6.2.4	添加 PLC 驱动程序	212
4.5.4	EtherNet/IP 的技术特点	166	6.2.5	设置线性标度	217
4.6	高速以太网 HSE	167	6.2.6	创建过程画面	218
4.6.1	高速以太网 HSE 结构	167	6.2.7	图形编辑器	218
4.6.2	HSE 与现场设备间的通信	168	6.3	实时工业网络组态集成	221
4.6.3	HSE 的柔性功能块	169	6.4	小结	227
4.6.4	HSE 的链接设备	169	6.5	习题	227
4.7	小结	170	第 7 章	实时工业网络实训	228
4.8	习题	170	7.1	实时以太网控制系统实训	228
第 5 章	工业无线网络技术	171	实训一	PLC 控制系统的 硬件组态	228
5.1	几种流行的无线网络	171	实训二	PLC 控制系统的 软件编程	236
5.1.1	蓝牙网络	171	实训三	稳压罐压力控制实训	244
5.1.2	ZigBee 网络	174	实训四	实时以太网电磁流量计	250
5.1.3	几种不同的短距离无线通信 技术的特点比较	175	实训五	实时以太网气动调节阀	258
5.1.4	无线广域网	175	7.2	有线 HART 总线控制系统实训	262
5.2	工业无线网络技术概述	178	实训一	加热罐液位通信实训	262
5.2.1	工业无线网络的定义	178	实训二	加热罐加热控制实训	265
5.2.2	工业无线网络特点	179	实训三	水温调节控制实训	267
5.2.3	工业无线网络的分类	180	实训四	有线 HART 气动调节阀 控制实训	271
5.3	Wireless HART 技术	181	7.3	Wireless HART 控制系统实训	277
5.3.1	Wireless HART 的定义	181	实训一	Wireless HART 的仪表 通信实训	277
5.3.2	Wireless HART 的特点	182	实训二	Wireless HART 控制系统 流量调节实训	281
5.3.3	Wireless HART 和 ZigBee 的比较	183	参考文献		286
5.3.4	Wireless HART 的应用	184			
5.3.5	Wireless HART 控制网络 的拓扑结构	184			

现代工业控制领域中，由于控制对象多回路性、仪器设备分散性、监控实时性以及数据管理集中性等特点，传统的分散控制已经满足不了工业控制中的诸多要求，工业控制需要一种分布式实时控制系统来实现控制任务，实时工业网络正是在此背景之下产生。它体现了控制系统向网络化、集成化、分布化、节点智能化的发展趋势。实时工业网络将通信网络引入控制系统，实现了现场设备控制的分布化和网络化，同时也加强了现场控制和上层管理之间的联系。

1.1 实时工业网络的基本概念

随着现代化工业技术的飞速发展，工业生产过程的控制规模不断扩大，复杂程度不断增加，控制的精度和速度要求越来越高。实时工业网络是一种用于智能化现场设备和自动化系统（监控主机）之间的开放式、数字化、双向串行、多节点的快速通信网络。实时工业网络包括实时工业以太网、现场总线和工业无线传感器网络 WSN 等。现场总线在工业自动化领域曾经成为工业数据通信与控制网络的代名词，但随着工业自动化技术的内容不断丰富，如近年来工业以太网的发展以及各种控制和应用功能、工业控制网络的网络管理、系统管理等内容的不断扩充，现场总线已经超出了原有的定位范围，不再只是通信标准与通信技术，而成为网络系统与控制系统。因此，实时工业网络一词比现场总线更能完整地表达工业控制网络现今的技术内涵。实时工业网络更注重信号的传递和及时处理，其对系统的快速性的要求较高。图 1-1 给出了企业网络系统结构图，其结构按功能分层，自下而上分为五层：现场级、控制级、监视和操作级、管理级和公司级。现场信息自下向上高速传输，控制命令自上向下高速下载，构成系统的基本结构。而实时工业网络位于企业网络的底两层，属于控制网络的范畴。其与上层的信息网络紧密地集成在一起，服从信息网络的操作，同时又具有独立性和完整性。

1.1.1 实时工业网络的组成

实时工业网络的节点大都是具有计算与通信能力的测量控制设备。如限位开关、感应开关等各类开关；条形码阅读器；光电传感器；温度、压力、流量、物位等各种传感器、变送器；可编程逻辑控制器 PLC、PID 等数字控制器；各种数据采集装置、作为监视操作设备的

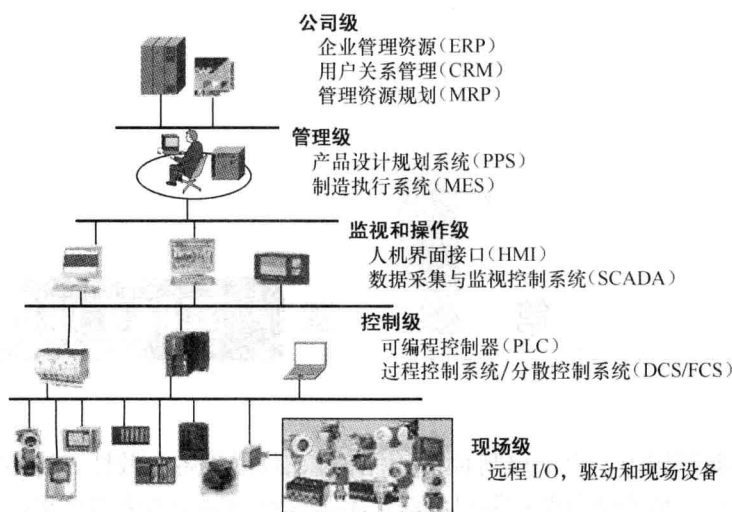


图 1-1 企业网络系统结构图

监控计算机、工作站及其外设；各种调节阀、电动机控制设备、变频器、机器人以及作为现场控制网络连接设备的中继器、网桥、网关等。把单个分散的具有通信能力的测量控制设备作为网络节点，连接成网络系统，使它们之间可以互通、互操作，并由它们共同完成自动控制任务。图 1-2 给出了实时工业网络组成示意图。

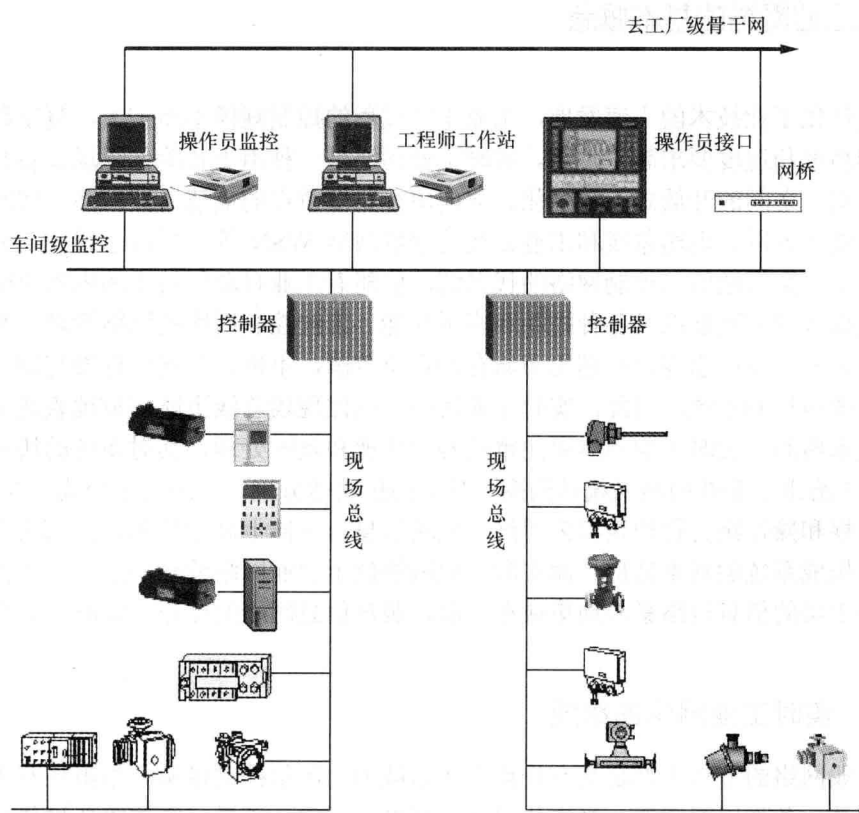


图 1-2 实时工业网络组成示意图

1.1.2 实时工业网络的任务

实时工业网络的任务是要将生产现场运行的各种信息，如现场设备的运行参数、状态以及故障信息等传送到远离现场的控制室，同时又要将各种控制、维护、组态命令等传送到现场的测量控制设备中。完成现场级控制设备之间数据交换和通信，对网络运行参数具有观测和远程监控功能，并实现控制网络的互连与互操作。

实时工业网络在满足控制的实时性要求的情况下，还要解决工业环境抗干扰问题，部分工业网络还要实现总线供电等问题。

实时工业网络与普通计算机网络的区别在于其数据传输量相对较小，传输速率相对较低，多为短帧传送，但其要求通信传输的实时性要强且可靠性要高。

1.1.3 实时工业网络的实时性

实时工业网络是用于完成自动化任务的网络系统。从控制网络节点的设备类型、传输信息的种类、网络所执行的任务、网络所处的工作环境等方面都不同于由普通计算机构成的数据网络。但其最大特点是必须满足对现场控制的实时性要求。实时控制往往要求对某些变量的数据准确定时刷新，其系统运行不仅要求逻辑上的正确性还同时满足时限性要求。

1.2 实时工业网络的分类

1.2.1 工业控制网络的分类

工业控制网络是指安装在工业生产环境中的一种全数字化、双向、多站的通信系统。按照标准开放的程度可分为两种类型。

1. 专用型工业控制网络：该网络规范是由各公司自行研制，往往是针对某一特定应用领域而设计的，具有最高的效率。但在其相互连接时其各项指标因非标准化，难以协调、推广与维护。专用型工业网络在没有较大的保证市场占有率情况下，就要走向开放型，使其成为标准或设计专用的网间连接器（Gateway）与开放型网络连接。

2. 开放型工业控制网络：除了一些较简单的标准是无条件开放外，大部分是有条件开放，或仅对成员开放。生产商必须成为该组织的成员，产品需经过该组织的测试、认证，方可在该工业网络系统中使用。其所采用的标准都会遵循 ISO/OSI 的 7 层参考模型。而工业控制网络大都只使用物理层、数据链路层和应用层。

1.2.2 实时工业网络的分类

实时工业网络分为有线实时工业网络和无线实时工业网络，由工业控制网络发展而来，其网络研究的关键技术先后经历了集散控制系统、现场总线控制和工业以太网控制三个阶段。各阶段特性如下：

（1）集散控制系统（DCS），其核心思想是集中管理、分散控制。是一种主从式的控制系统，系统的控制和管理功能都集中于主站，从节点只相当于一个执行器。这种控制系统的优点是控制方式比较简单，突出的缺点是系统的控制风险高。另外，控制系统布线复杂、抗干

扰性差、灵活性和扩展性不够好。

(2) 现场总线 (FCS)，现场总线是连接控制现场的仪表与控制室内的控制装置的数字化、串行、多站通信、总线式的全数字化网络。将控制功能彻底下放到现场，依靠现场智能设备本身来实现基本控制功能，将 DCS 集中与分散相结合的集散控制系统结构，突破了 DCS 系统中通信由封闭的专用网络来实现所造成的缺陷，把基于封闭、专用的解决方案变成了基于公开化、标准化的解决方案。但由于现场总线种类繁多，多种现场总线互不兼容，不同公司的控制器之间不能相互实现实时数据传输，信息网络在协议上的鸿沟造成工业自动化的透明集成的障碍。

现场总线又称之为现场总线控制系统 FCS (Fieldbus Control System)。目前现场总线有 ProfiBus、CANbus、CC-Link 等多种标准并存，而支持现场总线的仪表种类还比较少。国际电工委员会 (IEC)，于 2010 年发布了 IEC61158 现场总线标准的第四版，规定了 20 种类型的现场总线标准，见表 1-1。

表 1-1 IEC61158 包含以下现场总线类型

类 型	技术名称	类 型	技术名称
Type1	TS61158 现场总线	Type11	TCnet 实时以太网
Type2	CIP 现场总线	Type12	EtherCAT 实时以太网
Type3	Profibus 现场总线	Type13	Ethernet Powerlink 实时以太网
Type4	P-NET 现场总线	Type14	EPA 实时以太网
Type5	FF HSE 高速以太网	Type15	Modbus-RTPS 实时以太网
Type6	SwiftNet 被撤销	Type16	SERCOS I,II 现场总线
Type7	WorldFIP 现场总线	Type17	VNET/IP 实时以太网
Type8	INTERBUS 现场总线	Type18	CC-Link 现场总线
Type9	FF H1 现场总线	Type19	SERCOS III 实时以太网
Type10	PROFINET 实时以太网	Type20	HART 现场总线

图 1-3 给出了现场总线控制系统 (FCS) 与传统控制系统 (如 DCS) 结构比较。在现场总线控制系统中现场设备具有通信能力，现场的测量变送仪表可以与阀门等执行机构直接传送信号，因而控制系统功能不再依赖控制室的计算机或控制仪表，而是直接在现场完成，例如，执行 FFH₁ 现场总路线标准的现场仪表设备，其内部均有通信功能模块，仪表之间可以构成一个控制网络，因而实现了彻底的分散控制。

(3) 工业以太网 (IE)，严格地说工业用的以太网分为工业以太网和实时工业以太网两种。工业以太网并没有彻底地解决实时性和确定性问题，其主要是通过采用硬件手段，如屏蔽电缆、高速交换机等技术使以太网更加可靠，并用于工业中现场。而实时工业以太网在标准、协议上均有特殊的技术，真正地解决了实时性和确定性问题，是完全网络化、分布化的控制系统。与现场总线方式相比，实时工业以太网具有应用广泛、成本低廉、通信速率高、软硬件资源丰富、易于实现信息网络和控制网络的无缝集成等优点。因此 PLC 和现场总线厂商以及相关的行业组织纷纷引入以太网技术，借以改进和改善现场总线的性能，并提出了各自工业以太网标准。

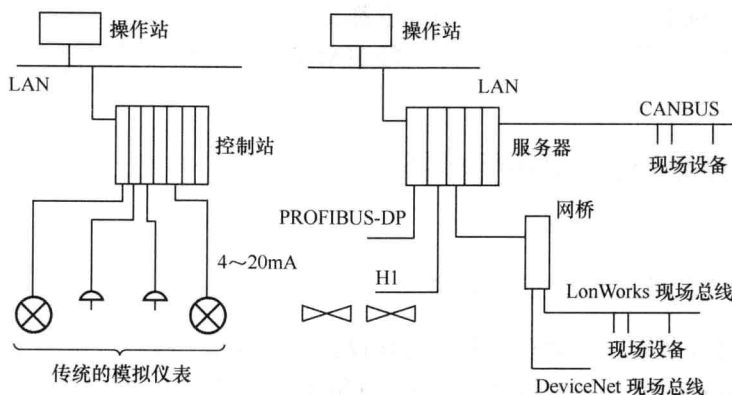


图 1-3 FCS 与 DCS 结构比较

以太网的广泛应用为工业控制网络的发展提供了良好的基础结构，工业以太网在解决了实时性和确定性两个问题，得到了较好发展。其主要特点有：

- 应用广泛的编程语言。几乎所有的编程语言（如 Visual C++、Java、VisualBasic）等都支持以太网的应用开发。
- 较高的传输速率。100 Mbit/s 和 1Gbit/s 的以太网技术已逐渐成熟，高于传统现场总线最高速率的 12Mbit/s（如西门子 Profibus-DP），满足工业控制网络不断增长的带宽要求。
- 较好的传输实时性。工业以太网采用全双工通信和交换机技术，使实时性问题得到很好的解决。
- 资源共享能力强。随着以太网技术的广泛应用，网络控制人员在互联网上的任何一台计算机都能够浏览工业控制现场的数据，实现“控管一体化”，这是其他任何一种现场总线都无法比拟的。
- 功能扩展性好。工业以太网支持网络的视频传输，人机界面（HMI）以及触摸屏的应用。随着以太网技术的发展，工业以太网还将会增添更多的应用。
- 可持续发展潜力大。以太网将为控制系统的后续发展提供可能性，用户的技术升级方面无需独自的研究投入，如机器人技术、智能技术的发展都要求通信网络具有更高的带宽和性能，通信协议有更高的灵活性，这些要求工业以太网都能很好地满足。

（4）工业无线网络

工业无线网络，也称为工业无线传感器网络（WSN）。工业控制网络经历了从集散控制系统发展到现阶段广泛应用的工业以太网，而目前广泛研究的是工业无线网络。

无线通信技术逐渐进入工业控制网络领域为工业控制带来了诸如降低安装复杂度以及减少线缆等益处，同时其配置灵活，使用方便。目前无线通信在工业自动化领域的研究主要有：

- 无线 HART 标准，其是一种专门为过程自动化应用设计的无线网格型网络通信协议。
- WIA-PA（Wireless Networks for Industrial Automation-Process Automation），其是 2008 年 10 月 31 日，经过国际电工委员会全体成员国投票，由中国自主研发的，用于工业过程自动化的无线网络规范。
- 美国仪表系统和自动化学会 ISA 的 SP100 标准。

用于工业控制的工业无线网络的发展趋势是在应用无线技术的同时，考虑工业通信的特点，以满足工作站的实时需求。未来研究领域包括无线网络的安全性、可靠性以及实时传输

的效率等。值得一提的是国际上很多智能仪表都支持无线 HART 通信功能，HART 技术的应用在仪表行业将有广阔应用前景，而对于无线 HART 网络的应用我国目前还处于研究阶段。

1.3 实时工业网络的主要功能与发展

1.3.1 实时工业网络的主要功能

实时工业网络主要解决工业现场的智能化仪表、控制器、执行机构等现场设备间的数字通信以及这些现场控制设备和高级控制系统之间的信息传递问题。其主要功能体现在以下几个方面。

(1) 现场通信网络

实时工业网络作为一种数字式通信网络，一直延伸到生产现场中的现场设备，使过去采用点到点式的模拟量信号传输或开关量信号的单向并行传输变为多点一线的双向、串行、数字式传输。

(2) 现场设备互联

现场设备是指位于生产现场的传感器、变送器和执行器等。这些现场设备可以通过实时工业网络直接在现场实现互联，相互交换信息（部分协议支持现场设备之间数据交换）。而在集散控制系统（Distributed Control System, DCS）中，现场设备之间是不能直接交换信息的。

(3) 互操作性

现场设备种类繁多，一个制造商不可能提供一个工业生产过程所需要的全部设备。在一个实时工业网络控制系统中有可能连接多个制造商生产的设备。实时工业网络具有较好的互操作性，可独立于控制系统和通信协议。

(4) 分散功能块

实时工业网络控制系统把功能块分散到现场仪表中执行，如现场总线变送器或执行器除了具有一般变送器或执行器的功能之外，还可以运行 PID 控制功能块和输出特性补偿块，甚至还可以实现阀门特性自校验和阀门故障自诊断功能。

(5) 实时工业网络供电

实时工业网络除了传输信息之外，有的网络还可以完成为现场设备供电的功能。总线供电不仅简化了系统的安装布线，而且还可以通过配套的安全栅实现本质安全系统，为实时工业网络控制系统在易燃易爆环境中的应用奠定了基础。

(6) 开放式互连网络

实时工业网络为开放式互连网络，所有技术和标准都是公开的，用户可以集成不同制造商的通信网络，还可方便地共享网络数据库。

1.3.2 实时工业网络的主要特点

实时工业网络对系统的快速性和稳定性要求较高，因此它的特点也十分突出。

(1) 实时工业网络上所连接的各种智能设备不存在主从关系，它们在网络上的地位是等同的，使网络通信的可靠性得到了提高。

(2) 实时工业网络传输全数字化信号，其抗干扰能力强，并具有自诊断和纠错功能，可

提高传送精度和系统的可靠性。

(3) 实时工业网络可以进行双向通信, 工业以太网拓扑结构简化了系统布线, 缩短了工程周期, 降低了安装费用和维护费用。

(4) 实时工业网络复杂的系统程序都由厂家来提供, 用户所要开发的内容较少且设计简单, 易于重构。系统开发易学、易用、易维护。

1.3.3 实时工业网络的发展方向

随着控制技术、通信技术、计算机技术和网络技术的发展, 企业的信息集成系统得到了迅猛发展。工业控制网络在提高生产速度、生产过程管理以及保证安全生产等方面起到越来越关键的作用。实时工业网络从最初的计算机集成控制系统 CCS 到集散控制系统 DCS, 再发展到现场总线控制系统。而近年来, 以太网进入工业控制领域, 出现了大量基于以太网的工业控制网络。同时, 随着无线技术的发展, 基于工业无线网络的研究也已展开。未来发展方向主要体现在以下几个方面。

(1) 提高通信的实时性

改进交换技术和操作系统以支持实时通信, 操作系统在优先级策略的基础上对实时性和非实时性的传输提供多队列排队方式, 此外, 还可以通过改善拓扑结构、如何提高在 MAC 层上的数据传输的调度方法来提高实时性。

(2) 提高通信的安全性

安全性涉及到系统故障、电磁干扰、高温辐射以及恶意攻击等因素所带来的威胁。IEC61508 针对安全通信提出了黑通道机制并制定了安全完整性等级 SIL。提高工业通信的安全性, 以满足 SIL 高级别的要求, 是工业控制网络安全性发展的趋势。另外, 采用数据编号、密码授权以及 CRC 安全校验等安全保护措施, 也可作为工业控制网络安全性研究的参考。

(3) 提高通信可靠性

工业控制网络的通信的可靠性之所以非常重要是因为它进行不同类型网络站点之间的通信是在不同网络交换技术的基础之上的。虚拟自动化网络中包含不同的可靠区域及抽象层, 可靠区域包括局部生产操作区域、自动设备区域以及远程接入区域等, 其中, 重点是对可靠区域的设计。

(4) 多总线集成

多总线相互并存且互相竞争的局面已经有了很长时间的历史, 多总线集成协同完成工业控制任务, 是未来发展的趋势。可以通过使用代理机制将单一总线系统中的设备映射到以工业以太网为基础的工业控制网络中。

(5) 实时异构网络

在未来的若干年内工业无线网络将会得到快速的发展, 成为有线网络和现场总线的有效补充。通过有线网络与无线网络融合、广域网与局域网集成来构建实时异构网络, 是未来实时工业网络研究和发展的方向。而有线网络的稳定性、可靠性与无线网络的灵活性、经济性互相补充, 将会有效地促进我国工业自动化技术的发展。

实时工业网络是一个以智能传感器、自动控制技术、计算机技术、通信技术和网络技术为主要内容的多学科交叉的新兴技术, 在过程自动化、制造自动化、楼宇自动化、交通、电力等领域都有广泛的应用前景, 被誉为 21 世纪最有希望的自动化技术。未来的工业控制网络将会在提高生产速度、合理高效加工、管理生产过程以及保证安全生产等先进制造及工业控制领域起到越来越重要的作用。

1.4 小 结

实时工业网络是工业控制自动化技术的核心，它是一种运用控制理论、仪器仪表、计算机和其他信息技术，对工业生产过程实现检测、控制、优化、调度、管理和决策，达到增加产量、提高质量、降低消耗、确保安全等目的的综合性技术。本章主要针对实时工业网络的基本概念做了详细论述。从实时工业网络的组成、任务和实时性要求着手，主要对实时工业网络的分类、特点和功能做了重点介绍。从总体上了解实时工业网络的基本概念以及实时工业网络的发展方向。

1.5 习 题

1. 实时工业网络与现场总线的主要区别有哪些？
2. 请描述实时工业网络控制系统的基本结构。
3. 实时工业网络的主要任务是什么？
4. 实时工业网络按照网络研究的关键技术分为哪些类型？主要区别是什么？
5. 实时工业网络的主要功能是什么？其未来发展方向如何？

第 2 章

数据通信与网络互连基础

数据通信技术是网络互连技术发展的基础，也是工业控制网络信息传输技术的基础。本章将对数据通信的基本概念、通信参考模型、网络互连基础、实时工业网络通信基础进行较系统的分析。学习本章内容将对理解实时工业网络技术的实现方法有很大的帮助。

2.1 数据通信基础

2.1.1 基本概念

通信的目的是交换信息。数据通信是指在不同计算机及其相关设备之间传送表示信息的二进制代码 0、1 序列的过程。而数据通信要由通信系统来完成其信息传输的过程。通信系统是指用于进行通信的硬件设备、软件和传输介质的集合。

1. 通信系统的组成

通信系统是传递信息所需的一切技术设备的总和。一般由信息源和信息接收者，发送、接收设备，传输介质组成。

(1) 信息源和接收者：信息源和接收者是信息的产生者和使用者。在数字通信系统中传输的信息是数据，是数字化的信息。这些信息可能是原始数据，也可能是经计算机处理后的结果，还可能是某些指令或标志。信息源可根据输出信号的性质不同分为模拟信息源和离散信息源。

(2) 发送设备：发送设备的基本功能是将信息源和传输媒介匹配起来，即将信息源产生的消息信号经过编码，变换为便于传送的信号形式，送往传输媒介。信源编码是将模拟信号变换为数字信号，而信道编码是将数字信号与传输介质相匹配，提高传输的可靠性或有效性。发送设备还要包括为达到某些特殊要求所进行的各种处理，如多路复用、保密处理、纠错编码处理等。

(3) 传输介质：传输介质是网络中连接收发双方的物理通路，也是通信中实际传送信息的载体。网络中常用的传输介质有：双绞线、同轴电缆、光缆、无线与卫星通信信道。

2. 数据通信方式

(1) 串行通信与并行通信：数据通信按照字节使用的信道数，可以分为串行通信与并行通信，计算机通常用 8 位的二进制代码来表示一个字符，串行通信是指将待传送的每个字符的 8 位二进制代码按由低位到高位顺序依次发送的通信方式。并行通信是指将表示一个字

符的 8 位二进制代码同时通过 8 条并行的通信信道发送的通信方式。图 2-1 分别给出了串行通信与并行通信两种不同的通信方式。

(2) 单工、半双工与全双工通信：数据通信按照信号传送方向与时间的关系，可分为单工通信、半双工通信与全双工通信。其中，单工通信的信号只能向一个方向传输，任何时候都不能改变信号的传送方向。半双工通信的信号可以双向传输，但是信号传输必须交替进行，一个时间段只能向一个方向传输信号。全双工通信的信号可以同时双向传输，使用的是可以双向同时传输信号的信道。图 2-2 分别给出了单工、半双工与全双工通信方式示意图。

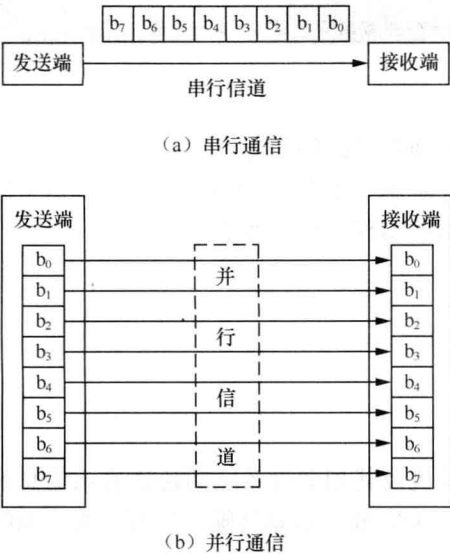


图 2-1 串行通信与并行通信

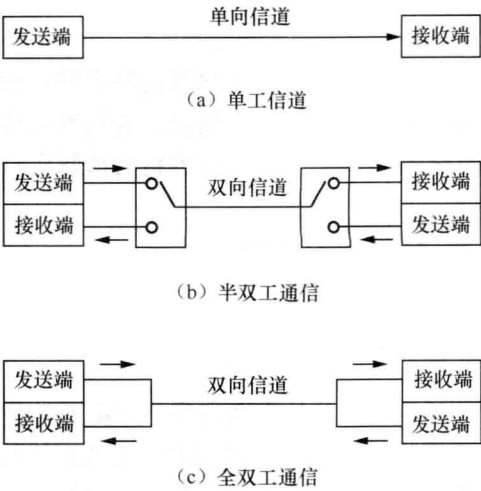


图 2-2 单工、半双工与全双工通信

(3) 同步通信与异步通信：同步是指要求通信双方在时间基准上保持一致。数据通信中的同步包括位同步（Bit Synchronous）和字符同步（Character Synchronous）。位同步要求接收端根据发送端发送数据的起止时间和时钟频率，来校正自己的时间基准与时钟频率。字符同步是指保证收发双方正确传输字符的过程。实现字符同步的方法有同步式传输和异步式传输两种。同步传输将字符组织成组，以组为单位进行数据传送。每组字符之前加上一个或多个用于同步控制的同步字符 SYN，每个数据字符内不加附加位。接收端收到同步字符 SYN 后，根据 SYN 来确定数据字符的起始与终止。同步传输的工作原理如图 2-3 所示。

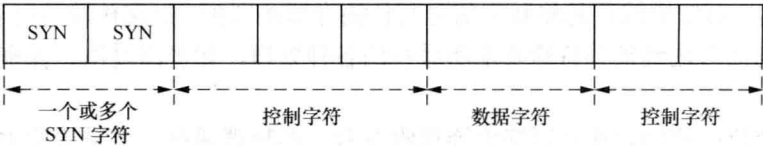


图 2-3 同步传输的工作原理

异步传输的特点是：每个字符作为一个独立的整体进行发送，字符之间的时间间隔可以是任意的。为了实现字符同步，每个字符的第一位前加 1 位起始位（逻辑“1”），字符的最后位后加 1、1.5 或 2 位终止位（逻辑“0”）。异步传输的比特流结构如图 2-4 所示。