



▶▶▶ 863现代集成制造系统技术丛书

工业通信网络 与系统集成

冯冬芹 黄文君 等 编著

CIMS



科学出版社

www.sciencep.com

863 现代集成制造系统技术丛书

工业通信网络与系统集成

冯冬芹 黄文君 等 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

工业通信网络是网络技术和现场总线技术在工业应用中的融合,是系统集成和企业信息化的关键。本书紧扣当前工业自动化领域的发展热点,理论联系实际,内容涉及原理介绍、技术分析和应用实例,对工业通信网络和系统集成做了较全面的阐述。

本书可以作为高等院校仪器仪表、工业自动化、电气工程及相关电类专业本科生、研究生的教材,也可以供仪器仪表和工业自动化控制系统等方面进行开发、应用的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工业通信网络与系统集成/冯冬芹,黄文君等编著. —北京:科学出版社, 2005

(863 现代集成制造系统技术丛书/杨海成主编)

ISBN 7-03-014421-X

I. 工… II. ①冯…②黄… III. 工业-通信网-研究 IV. TN915

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 099004 号

责任编辑:段博原 资丽芳/责任校对:刘小梅

责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年1月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2005年1月第一次印刷 印张:25 3/4

印数:1-3 000 字数:495 000

定价:52.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

《863 现代集成制造系统技术丛书》 编写委员会

名誉主任	孙家广	院士	国家自然科学基金委员会
主任	杨海成	教授	中国航天科技集团公司
副主任	王成恩	教授	东北大学
	林鹏	编审	科学出版社
委员	褚健	教授	浙江大学
	徐晓飞	教授	哈尔滨工业大学
	范玉顺	教授	清华大学
	刘晓冰	教授	大连理工大学
	孙林夫	教授	西南交通大学
	黄涛	研究员	中国科学院软件研究所
	林忠钦	教授	上海交通大学
	全春来	研究员	中国航天科工集团第二研究院
	谢庆生	教授	贵州大学
	李美莺	副教授	清华大学
	田荣斌	讲师	科技部高技术研究发展中心

序

世纪之交,世界的政治、经济和技术发生了前所未有的巨大变化,经济的全球一体化和全球信息化正在形成。经济全球化和全球信息化使制造业的竞争环境、发展模式及运行效率与活动空间都发生了全面而深刻的变化。这些变化对我国制造业提出了严峻的挑战;当然,这也为实现我国制造业的跨越式发展提供了有利的条件和机遇。

由于我国工业化进程起步较晚,我国的制造业和制造技术与国际先进水平相比还存在着阶段性的差距。这些差距包括:产品结构不合理且附加值不高;制造业能耗大且污染严重;产品创新能力较差且开发周期较长;制造工艺装备落后,成套能力不强;生产自动化和优化水平不高,资源综合利用率低;企业管理粗放、国际市场开拓能力弱;战略必争装备和竞争前核心技术的开发相对薄弱等。这些差距使得我国的制造业和制造技术还不能很好地满足国民经济发展和参与国际竞争的要求。不解决上述问题,中国的制造业就不能在激烈的竞争中生存和发展。要使我国制造业在国内、国际市场竞争中立于不败之地,尽快形成我国自主创新和跨越发展的先进制造技术体系,积极发展和应用先进制造技术,用信息技术提升和改造传统制造业已经刻不容缓。

世界各国十分重视发展制造业信息化与先进制造技术,许多跨国公司应用这些高新技术实现了设计、制造、管理和经营的一体化,加强在国际市场的垄断地位。例如,美国波音公司在波音 777 客机的研制中,由于使用了先进的产品开发设计技术,使开发周期从过去的 8~9 年缩短到 4.5 年,时间缩短了 40% 以上,成本降低 25%,出错返工率降低 75%,用户满意度也大幅度提高。美国通用汽车公司应用现代集成制造系统技术,将轿车的开发周期由原来的 48 个月缩短到了 24 个月,碰撞试验的次数由原来的几百次降到几十次,应用电子商务技术降低销售成本 10%;美国 Exxon-Mobil 石油公司应用先进的综合自动化技术后,使企业的效益提高 5%~8%,劳动生产率提高 10%~15%;可见,先进制造与信息技术应用已经成为带动制造业发展的重要推动力。

为了占领先进制造与自动化技术的制高点,许多国家都提出了跨世纪的研究计划。例如,美国政府提出了《美国国家关键技术》、《先进制造技术计划》、《敏捷制造与制造技术计划》和《下一代制造 (NGM)》等计划;在欧共体的《尤里卡计划 (EUREKA)》、《信息技术研究发展战略计划 (ESPRIT)》和《第六届框架研究计划》中,与先进制造技术有关的项目占有相当大的比重;德国政府提出

了《制造 2000 计划》、《微系统 2000 计划》和《面向未来的生产》等计划；日本的《智能制造系统计划》、《极限作业机器人研究计划》、《微机器研究计划》和《仿人形机器人研究计划》，英国的《国家纳米技术计划（NION）》，韩国的《高级先进技术国家计划（G7 计划）》等均将先进制造与信息技术列为重要研究内容。

近十多年来，我国相关部门有计划地部署了一系列国家级重点科技项目，有效地促进了我国制造业信息化与先进制造技术的研究与应用推广。如：科技部组织实施的 863 计划的 CIMS 技术主题、智能机器人技术主题，“九五”国家科技攻关计划的 CAD 应用工程、精密制造技术开发与应用、数控技术与装备、现场总线控制技术开发与应用、工业机器人应用、激光技术应用等重点项目；总装备部在“九五”期间，组织实施了我国武器装备先进制造技术的发展项目；航空、航天、兵器和机械等许多行业和部门在“九五”期间组织实施了行业先进制造技术项目；国家计委、经贸委等部委在用高技术改造传统产业方面也推行了一系列计划。上述计划和项目极大地推动了我国制造业信息化与先进制造技术的发展。

综观世界各国先进制造与自动化技术计划的制定和实施情况可以看到，先进制造和自动化技术的发展有其深刻的国际经济竞争背景。这些先进制造与自动化技术计划提出时都以提高本国制造业的国际竞争能力、促进经济增长和提高国家综合实力为目标，既注重技术的前瞻性和前沿性，更重视来自产业界的实际需求；在关键技术的选择上对系统集成技术与工艺装备研究开发并重，通过系统技术、信息技术和自动化技术的引入来提高制造企业的竞争能力；同时也可以看到，各国在发展先进制造与自动化技术的过程中，政府通过若干计划的实施起到了关键的引导和调控作用，并形成了一套有效的研究开发及推广应用的管理机制和创新机制。

国家“十五”863 计划先进制造与自动化技术领域针对我国国民经济建设和社会发展主战场的重大需求，瞄准国际先进制造与信息技术前沿，在制造业信息化工程关键技术的研究开发和集成应用、战略必争装备和竞争前核心技术的研究开发、基础制造装备与成套装备的研究开发、先进制造与自动化前沿创新技术的研究等四个方面，按照一个工程（制造业信息化工程）、两个主题（现代集成制造系统技术主题、机器人技术主题）、四个专项（数据库管理系统及其应用、微机电系统（MEMS）、7000 米深海载人潜器、集成电路制造装备）的布局，组织开展了前沿创新技术研究、产品研发与产业化、集成应用示范工程三个层次的相关工作。

“十五”计划自启动以来，经过大家三年多的辛勤工作，多项研究课题已经取得阶段性成果，为了进一步推广应用制造业信息化及先进制造技术，国家“十五”863 计划现代集成制造系统技术主题专家组精心组织，汇集了部分课题的优

秀研究成果，编写出版了这套《863 现代集成制造系统技术丛书》，这套丛书将随着课题研究工作的不断深入分批与各位读者见面。相信这一套著作对我国从事制造科技研究、开发及应用的各级科技人员、管理人员具有重要的参考价值，同时也希望通过这套丛书，让社会了解和评价我们工作中的部分成果。我们真诚欢迎大家对我们的工作提出宝贵的意见和建议。



国家“十五”863 计划先进制造与自动化技术领域专家委员会主任

中国工程院院士

2004 年 9 月

前 言

随着信息技术的飞速发展和社会分工的进一步细化,对工业控制和工业自动化提出了越来越高的要求。一方面要求工业自动化系统充分利用现场总线技术、信息技术和通信技术的发展优势,优化工业自动化的体系结构,增强自动化控制系统的功能和效率,提高工厂自动化的整体性和稳定性,更好地实施企业自动化;另一方面,企业信息系统的迅猛发展要求智能设备通信的开放性和增强控制网络的性能,摆脱信息孤岛的问题,利用开放性技术完成企业各个层次的信息集成和信息共享,构架企业开放的信息平台,实施企业信息化。Internet/Intranet技术的出现和应用推广彻底改变了社会生产、生活的运作方式,提高了运行效率;网络时代给我们的生产企业发展带来了新的机遇和挑战。企业信息化首先需要解决信息集成,工业通信网络与系统集成技术是在这种形势下发展形成的,它覆盖现场检测、控制、监视、过程管理、优化、调度、经营管理与决策等层次,涉及现场总线技术、网络技术、数据库技术、通信互联技术、开放接口与标准等技术。因此,信息集成和信息利用是一项复杂的系统工程。

工业通信网络是系统集成和信息集成的基础,它以现场总线和开放网络技术作为智能设备数字通信连接的纽带,将多个分散的具有数字通信能力的设备,如智能变送器、执行机构、智能控制设备、计算机、服务器等,采用公开、规范的通信协议,构成一个有机的整体,实现有效的信息集成,从而实现企业从现场设备层到管理层全面透明的信息平台,从而提高系统信息的利用效率和价值,满足社会大生产管理要求。因此,工业通信网络是系统集成和企业信息化的关键。

自动化和信息化是我国企业界目前普遍关心的问题,而企业在自动化系统改造和信息集成过程中,都会遇到如何在新的信息系统中集成各种现有的智能设备或者控制系统的问题。本书的目的就是探讨智能设备通信互联与实现技术、现场总线技术、最新的工业以太网、实时数据库、开放接口与标准等系统集成相关的技术,并利用这些技术构造与实现“智能工厂”的信息平台。

全书共分12章,第1章介绍了企业信息化和自动化发展背景下的工业通信网络和系统集成;第2章介绍工业控制相关的通信和网络的基本技术和知识;第3章重点分析了工业通信网络的总体要求;第4章介绍了现场总线和相关标准,并对目前应用广泛的主要几种现场总线进行了详细的介绍和应用举例。开放性和标准化设计已成为工业控制和自动化领域的重要发展特征。第5、8、11章分别介绍了IEC 61131-3标准化编程语言体系、OPC技术、XML语言以及它们的工

业应用探索,从控制编程方法、过程信息存取和访问、信息集成等各个层次分析了业界最新的开放性标准与技术。第7、9、10章介绍了工业自动化系统和智能设备的互联和信息集成技术,包括数据库技术、开放接口与标准等,并结合具体PIMS应用软件进行了详细分析。第11章介绍了工业以太网技术,并对主要几个工业以太网标准进行了展开讨论;第12章介绍了无线通信传输技术和应用,包括无线局域网和无线广域网络,这里特别介绍了几种相对实用的无线远程通信的工业监控系统解决方案。本书紧扣当前工业自动化领域的发展热点,涉及原理介绍、技术分析和应用实例,对工业通信网络和系统集成做了较全面的阐述,希望对国内相关领域的技术普及与研究工作提供有意义的参考。

本书是浙江大学先进控制研究所和浙江中控技术股份有限公司全体同仁多年来在控制系统、工业通信网络、系统集成技术等方面从事研究、开发、应用工作的总结,是集体智慧的体现。参加本书编著的有冯冬芹(第2、4、5、6章)、黄文君(第1、3、7、8、9、11、12章)、高春光(第10章)。其中,桂本烜、谭彰、徐有仁、刘天伟、马浩、金云飞、陈高翔、陶力、徐惠、邹衡新、周万里、刘泳、吴瑞强等参与了资料整理、工程应用项目总结、国内外技术发展动态的调研,并承担了大量文字录入及图表的绘制工作,参与和完成了很多章节的整理与编写工作。关于IEC 61131-3的标准和应用,德国KW公司罗伯特·杉布和王锡俊也提供了较多的技术资料和支持。全书由冯冬芹、黄文君整理定稿。

在编写过程中,一直得到浙江大学褚健教授、金建祥教授的鼓励和启迪。他们提出了本书的选题和总体构架;同时还得到中科院沈阳自动化所王宏教授、重庆邮电学院王平教授的关心和支持,他们对全文作了认真的审阅,并提出了修改意见,在此表示衷心感谢。

由于作者水平有限,时间仓促,书中错误、不足之处在所难免,恳切希望各位读者和专家学者批评指正。

作 者

2004年7月于杭州

目 录

序

前言

第1章 绪论	1
1.1 工业控制系统和工业通信网络	1
1.1.1 工业自动化控制系统概述	1
1.1.2 工业通信网络模型	2
1.1.3 现场总线	4
1.1.4 工业以太网	6
1.2 多现场总线控制系统	8
1.3 系统集成技术	10
1.3.1 信息孤岛	10
1.3.2 信息集成技术	11
1.4 企业信息化	13
1.4.1 企业信息化	13
1.4.2 信息集成和信息综合利用	14
第2章 通信技术基础	17
2.1 通信基本概念	17
2.1.1 发送设备	17
2.1.2 接收设备	18
2.1.3 数据信息	18
2.1.4 传输速率	19
2.1.5 通信信道	20
2.1.6 传输介质	20
2.1.7 传输方式	22
2.1.8 基带传输、载波传输和宽带传输	23
2.1.9 同步传输与异步传输	24
2.1.10 串行传输和并行传输	25
2.1.11 数据编码	26
2.1.12 网络拓扑结构	30
2.1.13 链路控制	32

2.1.14 差错控制	33
2.2 通信协议与网络层次分析	34
2.2.1 概述	34
2.2.2 通信参考模型	34
2.2.3 物理层	36
2.2.4 数据链路层	37
2.2.5 网络层	37
2.2.6 运输层	38
2.2.7 会话层	39
2.2.8 表示层	39
2.2.9 应用层	40
2.3 常用串行通信技术	40
2.3.1 概述	40
2.3.2 串行通信需完成的基本任务	41
2.3.3 常用串行通信标准	41
2.3.4 串行通信技术中的可靠性措施	48
2.3.5 用 RS-485 构成总线型多点数据采集系统	53
第3章 工业通信局域网技术	57
3.1 工业通信局域网的要求和特点	57
3.2 差错控制技术	59
3.3 工业控制局域网体系结构	61
3.4 局域网技术	65
3.4.1 IEEE 802.4 标准与令牌总线	66
3.4.2 IEEE 802.5 标准与令牌环	77
3.4.3 IEEE 802.3 标准与以太网	81
第4章 现场总线技术与标准化	88
4.1 概述	88
4.1.1 什么是现场总线	88
4.1.2 现场总线的结构特点	89
4.1.3 现场总线的技术特征	90
4.2 现场总线标准化的发展现状	92
4.2.1 现场总线国际标准化体系结构	92
4.2.2 现场总线系统安全规范	93
4.2.3 功能块与设备描述规范	94
4.3 现场总线的标准化	96

4.3.1 现场总线标准化情况	96
4.3.2 现场总线标准	97
4.4 几种流行的现场总线技术	101
4.4.1 基金会现场总线 FF	102
4.4.2 ProfiBus 现场总线	113
4.4.3 HART 通信协议	125
4.4.4 CAN 总线	128
4.4.5 DeviceNet-ControlNet 系列标准	133
4.5 现场总线发展展望	138
4.5.1 现场总线国际标准	139
4.5.2 现场总线技术和工业以太网的结合	140
第5章 IEC 61131-3 编程语言	141
5.1 IEC 61131-3 国际标准简介	141
5.1.1 采用 IEC 61131-3 国际标准的必要性	142
5.1.2 IEC 61131-3 国际标准的主要特点	143
5.1.3 IEC 61131-3 国际标准在国外的的发展	143
5.1.4 IEC 61131-3 国际标准在中国的发展	144
5.1.5 IEC 61131-3 国际标准的实施	145
5.2 IEC 61131-3 软件系统	145
5.2.1 IEC 61131-3 的两个重要模型	145
5.2.2 IEC 61131-3 软件与实际系统的关系	146
5.2.3 IEC 61131-3 软件模型	146
5.2.4 软件模型到实际系统的映射	148
5.2.5 IEC 61131-3 软件模型的优点	148
5.2.6 通信模型	149
5.2.7 公共元素	149
5.3 IEC 61131-3 的编程语言 - 文本化语言	150
5.3.1 结构化文本	150
5.3.2 指令表	153
5.4 IEC 61131-3 的编程语言 - 图形化语言	155
5.4.1 功能块图	155
5.4.2 梯形图	156
5.4.3 顺序功能流程图	158
5.5 符合 IEC 61131-3 实际编程系统	161
5.5.1 IEC 61131-3 编程系统概述	161

5.5.2 实际的 IEC 61131-3 编程系统主要特征	163
5.5.3 IEC 的适应实现	165
5.6 应用和发展前景	166
5.6.1 IEC 61131-3 在现场总线中的应用	166
5.6.2 IEC 61131-3 的发展前景	166
第 6 章 工业以太网技术	168
6.1 以太网概述	168
6.1.1 以太网的产生和技术特点	168
6.1.2 以太网交换技术	174
6.2 以太网应用于工业控制网络	179
6.2.1 以太网通信	179
6.2.2 以太网应用于工业控制网络的可行性	180
6.3 工业以太网	182
6.3.1 工业以太网体系结构	182
6.3.2 工业以太网传输介质与可靠性设计	183
6.3.3 工业以太网实时通信技术	184
6.3.4 工业以太网生存性与可用性技术	187
6.3.5 工业以太网网络安全技术	188
6.3.6 工业以太网远距离传输技术	189
6.3.7 工业以太网特点	190
6.4 工业以太网设备	191
6.4.1 基于工业以太网技术的现场设备	191
6.4.2 基于工业以太网的分布式网络控制系统	192
6.5 主要的工业以太网技术	192
6.5.1 ProfiNet	192
6.5.2 EPA 总线	196
6.5.3 EtherNet/IP	201
6.6 工业以太网应用	205
6.6.1 EPA 现场总线实例	205
6.6.2 冗余工业以太网 SCNet II	209
第 7 章 工业控制网络互联与系统集成	212
7.1 工业通信网络互联	212
7.1.1 工业控制网络互联方法	215
7.1.2 工业控制网络互联采用的技术及注意事项	216
7.1.3 工业控制网络互联设备	218

7.2 基于网关的工业网络互联与系统集成	222
7.3 基于 I/O 驱动程序的工业网络互联与系统集成	223
7.3.1 I/O Driver 的主要功能	223
7.3.2 I/O 驱动程序的技术指标	224
7.3.3 使用 I/O 驱动程序的注意事项	224
7.3.4 常见的 I/O 设备及其与 PC 间的连接方式	224
7.4 基于 DDE 动态数据交换技术的工业网络互联与系统集成	227
7.4.1 DDE 的基本概念	227
7.4.2 DDE 通信的数据交换过程及原理	229
7.4.3 使用 DDE 的注意事项	230
7.5 常见管理信息系统概念	231
7.5.1 MIS 系统	232
7.5.2 MES 系统	232
7.5.3 ERP 系统	236
第 8 章 OPC 技术	238
8.1 OPC 概述	238
8.1.1 OPC 产生的背景	239
8.1.2 OPC 的特点及适用范围	240
8.2 OPC 基本原理	242
8.2.1 通用 OPC 结构及组成	242
8.2.2 对象及接口概述	249
8.2.3 必需的接口定义	251
8.2.4 可选的接口定义	252
8.2.5 服务器地址空间及配置	252
8.2.6 时间同步与顺序发送机制	253
8.2.7 永久存储机制	254
8.2.8 EnumOPC 对象属性条目	254
8.3 OPC 自定义接口	254
8.3.1 OPC 自定义接口概述	254
8.3.2 OPC 服务器对象	255
8.3.3 OPC 组对象	256
8.3.4 客户端接口	258
8.4 OPC 设计与应用	258
8.4.1 OPC 客户机设计	258
8.4.2 OPC 服务器设计	263

8.4.3 OPC 应用	266
8.4.4 OPC 在中国	272
第 9 章 系统集成的数据库技术	274
9.1 数据库技术的概述	274
9.1.1 数据与数据处理	274
9.1.2 数据管理的三个阶段	275
9.1.3 数据库系统结构	277
9.2 关系数据库	278
9.2.1 关系数据库模型	279
9.2.2 数据库管理系统	281
9.2.3 数据模型	284
9.2.4 关系数据库查询语言	286
9.2.5 大型关系数据库简介	290
9.2.6 关系数据库的设计和应用	293
9.3 实时数据库	294
9.3.1 实时数据库的概念	294
9.3.2 实时数据库的功能和特点	296
9.3.3 实时事务模型	297
9.3.4 实时事务处理	299
9.3.5 实时数据库的组成	303
9.3.6 分布式实时数据库和历史数据库	304
9.4 数据库的接口设计	305
9.4.1 开放数据库互联 ODBC	305
9.4.2 Web 与数据库接口技术	307
第 10 章 PIMS 多系统集成软件平台	310
10.1 概述	310
10.1.1 PIMS 的产生背景	310
10.1.2 PIMS 的功能	311
10.1.3 PIMS 的技术特点	312
10.2 PIMS 网络层次	313
10.2.1 网络通信方式	314
10.2.2 远程数据源	315
10.2.3 网络数据库连接	317
10.3 PIMS 系统的组成	317
10.3.1 分布式实时数据库	317

10.3.2 运行系统平台	318
10.3.3 Web Server 分布式应用平台	319
10.3.4 SQL 访问功能模块	319
10.3.5 脚本编译执行	320
10.3.6 PIMS 报表	321
10.3.7 I/O 设备驱动	321
10.4 PIMS 在流程工业企业的应用实例	322
10.4.1 用户情况	322
10.4.2 控制系统的网络拓扑结构及连接方法	322
10.4.3 应用系统的开发步骤	324
10.4.4 应用效果	329
第 11 章 可扩展标记语言 XML	331
11.1 XML 概述	331
11.1.1 XML 概念	332
11.1.2 开发者和开发目标	333
11.1.3 XML 的优越性	333
11.1.4 XML 应用简介	336
11.2 XML 在 Web 服务中的应用	338
11.2.1 基本的缆线格式: SOAP	338
11.2.2 Web 服务描述语言	342
11.2.3 “SOAP 发现”	342
11.3 XML 在工业控制系统中的应用	342
11.3.1 基于 XML 的信息集成技术	342
11.3.2 扩展 OPC	344
11.3.3 OPC-XML	346
11.4 XML 在设备描述中的应用	350
11.4.1 现场总线设备描述概述	350
11.4.2 用 XML 实现基于 EPA 的设备描述	351
11.4.3 应用前景	353
第 12 章 无线通信技术	354
12.1 无线广域通信技术	354
12.1.1 无线广域系统技术介绍	355
12.1.2 无线通信技术在城市污水监控中的应用分析	361
12.1.3 基于 SMS 服务的工业远程监控系统应用实例	364

12.2 无线局域网通信技术.....	366
12.2.1 无线局域网概述	367
12.2.2 无线局域网传输技术	369
12.2.3 无线局域网技术标准	371
12.2.4 IEEE 802.11 标准	373
12.2.5 蓝牙技术	376
12.2.6 无线局域网的工程实现	387
参考文献	390