

现场总线技术 及其应用

甘永梅 李庆丰 刘晓娟 王兆安 编著

电气自动化
新技术丛书



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



电气自动化新技术丛书

现场总线技术及其应用

甘永梅 李庆丰 刘晓娟 王兆安 编著



机械工业出版社

现场总线是目前应用非常广泛的一种网络技术,具有开放性、高度分散性等优点。本书意在阐明现场总线的基本原理、遵循的规范和协议,内容覆盖了 FF、Profibus、LonWorks、CAN、DeviceNet、ControlNet、EtherNet/IP 等几种有影响的现场总线。本书重点突出了 DeviceNet、ControlNet、EtherNet/IP 的技术和应用,以帮助工程技术人员解决在应用现场总线和系统集成中遇到的技术问题。

本书以数据交换方式、网络模型等为基础知识,首先介绍了 FF、Profibus、LonWorks、CAN 的网络模型、协议,其次较系统地介绍了 DeviceNet、ControlNet、Ethernet/IP 的技术特点、规范、通信控制芯片、组态等,还专门介绍了 DeviceNet 的节点开发,最后介绍了现场总线控制系统集成的原则和步骤以及两个应用实例。

本书可供从事现场总线开发、设计和系统集成的工程技术人员使用,也可作为大中专院校自动化、电气工程、测量仪表等专业师生的教学参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

现场总线技术及其应用 / 甘永梅等编著. — 北京: 机械工业出版社, 2004.

(电气自动化新技术丛书)

ISBN 7-111-14269-1

I. 现… II. 甘… III. 总线—技术 IV. TP336

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 026209 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑: 孙流芳 版式设计: 张世琴 责任校对: 姚培新
封面设计: 姚毅 责任印制: 闫焱
北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
2004 年 6 月第 1 版·第 1 次印刷
850mm×1168mm¹/₃₂·16.375 印张·436 千字
0 001—4 000 册
定价: 31.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646
封面无防伪标均为盗版

《电气自动化新技术丛书》

序 言

科学技术的发展，对于改变社会的生产面貌，推动人类文明向前发展，具有极其重要的意义。电气自动化技术是多种学科的交叉综合，特别在电力电子、微电子及计算机技术迅速发展的今天，电气自动化技术更是日新月异。毫无疑问，电气自动化技术必将在提高国民经济水平中发挥重要的作用。

为了帮助在经济建设第一线工作的工程技术人员能够及时熟悉和掌握电气自动化领域中的新技术，中国自动化学会电气自动化专业委员会和中国电工技术学会电控系统与装置专业委员会联合成立了《电气自动化新技术丛书》编辑委员会，负责组织编辑《电气自动化新技术丛书》。丛书将由机械工业出版社出版。

本丛书有如下特色：

一、本丛书是专题论著，选题内容新颖，反映电气自动化新技术的成就和应用经验，适应我国经济建设急需。

二、理论联系实际，重点在于指导如何正确运用理论解决实际问题。

三、内容深入浅出，条理清晰，语言通俗，文笔流畅，便于自学。

本丛书以工程技术人员为主要读者，也可供科研人员及大专院校师生参考。

编写出版《电气自动化新技术丛书》，对于我们是一种尝试，难免存在不少问题和缺点，希广大读者给予支持和帮助，并欢迎大家批评指正。

《电气自动化新技术丛书》

编辑委员会

前 言

现场总线作为当今自动化领域技术发展的热点之一，被称为自动化领域的计算机局域网。现场总线技术自从 20 世纪 80 年代末出现以来，引起了国内外专家、学者的广泛注意和高度重视。它的出现，标志着自动化系统步入一个真正意义上的全新的开放式自动化控制系统的新时代，它带来的是自动控制系统体系结构上根本性的变革。

目前国际上公认的现场总线可以归类为三个标准族：一个是用于工业控制系统的 IEC61158 标准，它包含 FF、Profibus、ControlNet 等 8 种现场总线；另一个是用于低压开关设备与控制设备、控制器与电气设备接口的 IEC62026 标准，它包括 DeviceNet 在内的四种现场总线；还有一个是用于道路车辆数字信息交换的现场总线标准 ISO11898，它指定 CAN 总线为其标准。这 13 种总线各有其特点，并各自在一定范围内得到应用。由于 DeviceNet、ControlNet、EtherNet/IP 在国内应用日趋广泛而目前尚少有这方面的专著，本书在介绍 FF、Profibus、LonWorks、CAN 四种典型现场总线及其技术的基础上，重点突出了 DeviceNet、ControlNet、EtherNet/IP 的技术和开发以及应用，以期帮助工程技术人员解决在应用现场总线和系统集成中遇到的技术问题。随着 DeviceNet 成为我国有关低压开关、控制设备现场总线标准，它作为一种连接底层设备的现场总线，直接面向底层各种传感器和执行器的应用，所以对国内开发人员来讲，存在着开发 DeviceNet 产品的问题。而国内目前，尚没有针对 DeviceNet 节点开发的专著，希望本书能对开展 DeviceNet 以及其他现场总线的开发与推广起到积极的作用。

全书共分 9 章。第 1 章主要对现场总线的概念、特点和发展

现状进行概述。第2章介绍了计算机网络、数据通信、开放系统互连参考模型等与现场总线相关的基础知识。第3章分别介绍了FF、Profibus、LonWorks、CAN四种目前流行的现场总线。这四种现场总线比较典型，在市场上的占有率较高，并且具有良好的应用前景。第4章介绍了控制及信息协议(CIP)，它是一种为工业应用开发的应用层协议，被DeviceNet、ControlNet、EtherNet/IP三种现场总线所采用。第5章和第6章分别介绍了DeviceNet和DeviceNet的节点开发。第7章介绍了ControlNet。第8章介绍了工业以太网的发展，重点阐述EtherNet/IP的核心技术。第9章则从现场总线控制系统集成和应用的角度，介绍了现场总线控制系统集成过程中遵循的总体原则、常规方法和应注意的问题以及应用实例。

本书第1章由甘永梅和王兆安共同编写，第2章由刘晓娟编写，第3、5、6、9章由甘永梅编写，第4、7、8章由李庆丰编写。全书由甘永梅统稿。其中第6章的部分内容来自陈斐、王雪两位研究生的硕士论文，在此表示感谢。在编写过程中，参考了大量的中英文参考资料，包括协议、手册、芯片使用说明等。本书的作者都属于西安交通大学工业自动化系的一个课题组，书中内容是课题组多年在现场总线技术的开发、应用方面工作的积累和总结。除本书作者外，同一课题组的刘进军教授、杨旭副教授等也对本书的编写工作做出了许多贡献，在此深表谢意。

特别要指出的是，在本书的编写过程中，得到了罗克韦尔自动化公司的大力支持。罗克韦尔自动化公司大学项目部的万莉女士和郭晓波先生提供了很多资料，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限、时间仓促，现场总线技术的发展也很迅猛，不断在推陈出新，我们掌握的资料有限，书中一定有很多疏漏及错误，恳请读者批评和指正。

作者

2004年1月

于西安交通大学电气工程学院

目 录

《电气自动化新技术丛书》序言

第4届《电气自动化新技术丛书》编辑委员会的话

前言

第1章 绪论	1
1.1 现场总线的概念	1
1.1.1 现场总线是低带宽的计算机局域网	2
1.1.2 现场总线是一种数字通信协议	4
1.1.3 现场总线是开放式、数字化、多点通信的底层 控制网络	6
1.2 现场总线的产生及发展	6
1.2.1 现场总线的产生	6
1.2.2 几种流行的现场总线	10
1.2.3 现场总线的国际标准	14
1.2.4 现场总线的发展趋势	16
1.3 现场总线的特点	18
1.4 工业控制网络体系	21
1.5 本书的基本结构	24
参考文献	26
第2章 网络基础知识	27
2.1 网络与数据通信技术基础	27
2.1.1 数据通信系统概述	27
2.1.2 数据通信的理论基础	29
2.1.3 数据编码	31
2.1.4 数据传输方式	33
2.1.5 数据传输介质	35
2.1.6 局域网拓扑结构	38
2.1.7 媒体访问控制技术	39

2.1.8 数据交换技术	41
2.1.9 差错控制技术	42
2.1.10 网络互连设备	45
2.2 ISO/OSI 参考模型	48
2.2.1 物理层	49
2.2.2 数据链路层	50
2.2.3 网络层	53
2.2.4 传输层	55
2.2.5 会话层	57
2.2.6 表示层	57
2.2.7 应用层	59
2.3 小结	60
参考文献	60
第3章 几种流行的现场总线	62
3.1 基金会现场总线 (FF)	62
3.1.1 基金会现场总线概述	62
3.1.2 基金会现场总线通信系统的构成	67
3.1.3 基金会现场总线网络拓扑结构	71
3.1.4 基金会现场总线通信模型	74
3.1.5 基金会现场总线的功能块	88
3.1.6 FB3050 基金会现场总线通信控制器	95
3.1.7 基金会现场总线的组态	98
3.1.8 一致性与互操作性测试	99
3.2 Profibus 现场总线	102
3.2.1 Profibus 现场总线概述	102
3.2.2 Profibus 协议结构和通信模型	103
3.2.3 Profibus 主要特性	106
3.2.4 Profibus-DP	108
3.2.5 Profibus-FMS	111
3.2.6 Profibus-PA	112
3.2.7 Profibus 协议 ASIC 芯片	114
3.2.8 Profibus-DP 从站通信接口的开发	121
3.3 LonWorks	138

3.3.1 LonWorks 技术概述	138
3.3.2 LonWorks 通信模型	141
3.3.3 LonTalk 协议	146
3.3.4 LON 总线通信控制器及其接口——Neuron 芯片	154
3.3.5 Neuron C	157
3.3.6 LNS 和网络管理	160
3.3.7 LON 总线的组网	162
3.3.8 LonWorks 现场总线技术在铁路列车通信网络中的 应用	165
3.4 CAN 总线	171
3.4.1 CAN 总线概述	171
3.4.2 CAN 通信协议	174
3.4.3 CAN 器件介绍	185
3.4.4 CAN 总线应用	201
3.5 小结	206
参考文献	207
第 4 章 控制及信息协议 (CIP)	209
4.1 CIP 网络概况	209
4.2 CIP 的特点	214
4.2.1 报文	214
4.2.2 面向连接	215
4.2.3 生产者/消费者模型	217
4.2.4 通信模式	219
4.2.5 I/O 数据触发方式	219
4.3 CIP	221
4.3.1 对象有关的基本概念	221
4.3.2 CIP 对象模型	222
4.3.3 类库	226
4.4 CIP 设备描述	231
4.5 CIP 设备开发	235
4.6 CIP 网络组网	237
4.6.1 网络规划和网络安装	237
4.6.2 设备配置	239

4.7 小结	240
参考文献	241
第 5 章 DeviceNet	242
5.1 DeviceNet 概述	242
5.2 DeviceNet 的网络模型	246
5.3 DeviceNet 的物理层和传输介质	248
5.3.1 媒体访问单元	249
5.3.2 传输介质	254
5.3.3 物理层信号	258
5.4 DeviceNet 的数据链路层	259
5.4.1 MAC 帧	259
5.4.2 总线仲裁机制	262
5.4.3 错误诊断和故障界定机制	263
5.5 DeviceNet 的应用层	265
5.5.1 DeviceNet 的连接和报文组	266
5.5.2 DeviceNet 的报文	272
5.5.3 UCMM 服务	276
5.5.4 DeviceNet 的 I/O 数据触发方式	276
5.5.5 DeviceNet 对象模型	279
5.5.6 DeviceNet 设备描述	280
5.5.7 DeviceNet 预定义主/从连接	288
5.6 DeviceNet 组网	291
5.6.1 组态配置所需软硬件	291
5.6.2 网络配置	292
5.7 DeviceNet 应用实例	302
5.8 小结	307
参考文献	307
第 6 章 DeviceNet 的节点开发	308
6.1 DeviceNet 节点开发的途径和步骤	308
6.2 DeviceNet 的硬件设计	315
6.2.1 硬件的基本构成	315
6.2.2 硬件的特征	320

6.2.3 设计硬件时需注意的问题	320
6.3 软件的设计和实现	321
6.3.1 需要支持的连接和报文	322
6.3.2 设备对象模型	328
6.3.3 对象类的设计和实现	329
6.3.4 主程序设计	347
6.4 设备描述的规划	352
6.5 设备配置和电子数据文档 (EDS)	353
6.5.1 设备配置概述	354
6.5.2 EDS 概述	356
6.5.3 EDS 文件的编写	360
6.6 一致性实验测试	367
6.7 DeviceNet 节点开发实例	371
6.8 小结	378
参考文献	379
第 7 章 ControlNet	380
7.1 ControlNet 概况	380
7.2 ControlNet 物理层	385
7.2.1 三个子层	385
7.2.2 同轴电缆	386
7.2.3 光纤	388
7.2.4 屏蔽双绞线	390
7.2.5 中继器	391
7.3 ControlNet 数据链路层	392
7.3.1 MAC 协议原理	392
7.3.2 MAC 帧	396
7.3.3 内部结构	397
7.3.4 外部接口	398
7.4 ControlNet 应用层	399
7.5 ControlNet 设备开发	399
7.5.1 需求分析	400
7.5.2 硬件和软件的开发	401
7.5.3 EDS 文件编写	402

7.6 ControlNet 组网	402
7.6.1 网络规划和网络安装	402
7.6.2 设备配置和网络配置	404
7.7 ControlNet 应用实例	405
7.8 小结	407
参考文献	408
第 8 章 工业以太网和 EtherNet /IP	409
8.1 以太网及 TCP/IP	409
8.1.1 以太网概况	409
8.1.2 以太网的物理层	411
8.1.3 以太网的数据链路层	416
8.1.4 TCP/IP 概况	418
8.1.5 TCP/IP 网络层	419
8.1.6 TCP/IP 传输层	423
8.1.7 TCP/IP 应用层	424
8.2 工业以太网	425
8.3 EtherNet/IP	429
8.3.1 EtherNet/IP 概况	429
8.3.2 EtherNet/IP 网络模型	430
8.3.3 CIP 的封装	432
8.3.4 EtherNet/IP 底层	436
8.4 EtherNet/IP 设备开发	437
8.4.1 需求分析	438
8.4.2 硬件开发	439
8.4.3 软件开发	441
8.5 EtherNet/IP 组网	442
8.5.1 系统规划	442
8.5.2 网络规划与网络安装	443
8.5.3 设备配置	445
8.6 EtherNet/IP 应用实例	446
8.7 小结	447
参考文献	447
第 9 章 现场总线控制系统的集成技术	450

9.1 系统集成的含义	450
9.2 现场总线控制系统集成框架	453
9.3 现场总线控制系统集成方法	457
9.3.1 FCS 和 DCS 的集成方法	457
9.3.2 FCS 和网络的集成方法	461
9.4 现场总线控制系统集成的原则	463
9.5 现场总线控制系统集成时应注意的问题	464
9.6 现场总线的选型	467
9.7 工业企业网	471
9.7.1 工业企业网的基本概念和特性	471
9.7.2 工业企业网的发展历程	472
9.7.3 控制网络与信息网络的互连	473
9.7.4 工业企业网的体系结构	475
9.7.5 工业企业网的一般实现结构	478
9.7.6 以现场总线与 Intranet 为基础的工业企业网结构	480
9.8 现场总线控制系统集成实例	486
9.8.1 FCS 和网络集成技术在我国钢铁工业中的应用	486
9.8.2 DCS 和 FCS 集成技术在自来水厂中的应用	493
9.9 小结	497
参考文献	498
缩略语	499

第1章 绪 论

随着网络技术的不断发展,因特网(Internet)正在把全世界的计算机系统、通信系统逐渐集成起来,形成信息高速公路,从而构成一个公用的数据网络。而现场总线(Fieldbus)作为当今自动化领域技术发展的热点之一,被称为自动化领域的计算机局域网。它的出现,标志着自动化系统步入一个新时代的开端,对该领域产生了前所未有的冲击和影响。本章将以简短的篇幅介绍现场总线的基本概念、基本内容与特点。首先介绍现场总线的基本概念,然后介绍现场总线的产生及发展,接着介绍它的特点,最后介绍一种有代表性的、由罗克韦尔自动化公司推出并支持的工业网络体系,即设备网(DeviceNet) + 控制网(ControlNet) + 以太网(Ethernet)三层网络架构。

1.1 现场总线的概念

信息技术的飞速发展引起了自动化领域的深刻变革,逐步形成了网络化的、全开放的自动控制体系结构,而现场总线就是这场深刻变革中的最核心的技术。

所谓总线就是传输信息的公共通路。总线的类别很多,按传输数据的方式可分为串行总线和并行总线。串行总线是相对于串行通信而言的总线,串行通信是指数据一位一位顺序传送的方式;而并行总线是相对于并行通信而言的总线,并行通信是指数据的各个位同时进行传送的方式。并行总线的特点是传输速度快,但距离远、位数多时,导致通信线路复杂和成本高;串行总线的特点是通信线路简单,只要一对传输线,但传输速度慢,适用于信息量较小的远距离通信,成本较低。

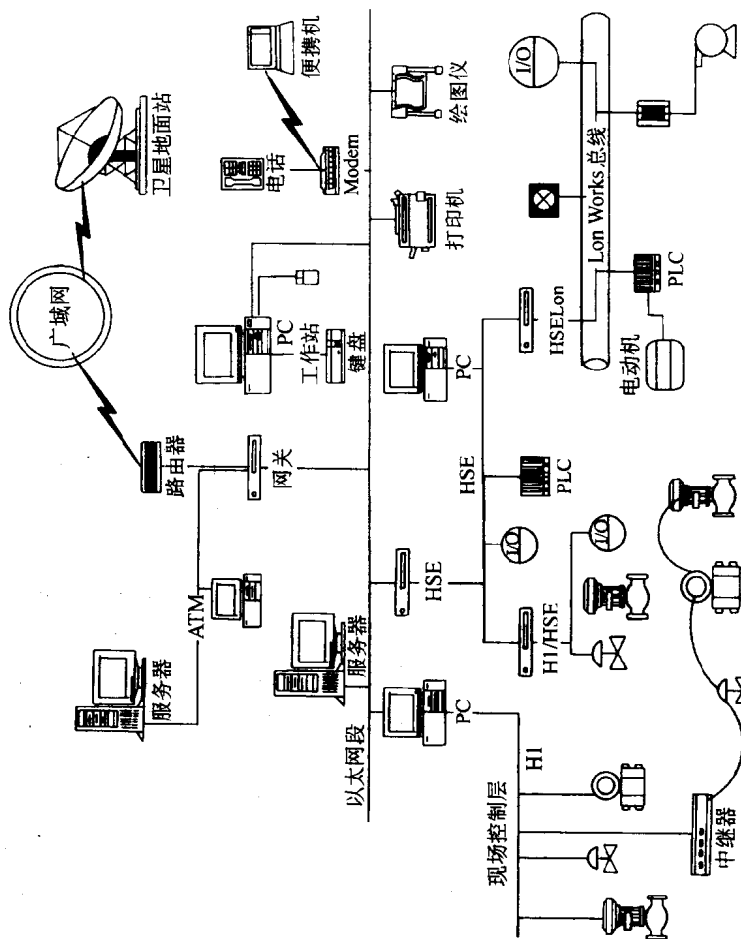
什么是现场总线?有人把现场总线定义为应用在生产现场、

在微机化测量控制设备之间实现双向串行数字通信的总线，也有人把它称为开放式、数字化、多点通信的底层控制网络技术，这种技术被广泛应用于制造业、流程工业、楼宇、交通等处的自动化系统中。根据国际电工委员会 IEC61158 标准定义，现场总线是指安装在制造或过程区域的现场装置与控制室内的自动控制装置之间数字式、串行、多点通信的数据总线。基于现场总线的控制系统被称为现场总线控制系统（Fieldbus Control System——FCS）。

现场总线技术将专用微处理器置入传统的测量控制仪表，使它们各自都具有了一定的数字计算和数字通信能力，成为能独立承担某些控制、通信任务的网络节点。它们分别通过普通双绞线、同轴电缆、光纤等多种途径进行信息传输，这样就形成了以多个测量控制仪表、计算机等作为节点连接成的网络系统。该网络系统按照公开、规范的通信协议，在位于生产现场的多个微机化自控设备之间，以及现场仪表与用作监控、管理的远程计算机之间，实现数据传输与信息共享，进一步构成了各种适应实际需要的自动控制系统。简而言之，它把单个分散的测量控制设备变成网络节点，以现场总线为纽带，把它们连接成可以互相沟通的信息，并可共同完成自控任务的网络系统与控制系统，如图 1-1 所示。现场总线给自动化领域带来的变化，如互联网给单台计算机带来的变化。如果说，计算机网络把人类引入到信息时代，那么现场总线则使自控系统与设备加入到信息网络的行列，成为企业信息网络的底层，使企业信息沟通的覆盖范围一直延伸到生产现场。因此把现场总线技术的出现说成是标志着一个自动化新时代的开端，并不过分。

1.1.1 现场总线是低带宽的计算机局域网

局域网（Local Area Network——LAN）是 20 世纪 70 年代后期迅速发展起来的计算机网络，是一个高速的通信系统。它在较小的区域内将许多数据通信设备相互连接起来，使用户共享计算机资源。局域网通常建立在集中的工业区、商业区、政府部门、



大学、住宅区以及各种公司和企业中。其应用范围非常广泛，从简单的分时服务到复杂的数据库系统、管理信息系统、事务处理、递阶控制与管理集成自动化系统等都有应用，而且应用领域日益扩大。

局域网主要有以下特点：

(1) 地理范围有限。通常网络分布在一座办公大楼或集中的建筑群内，为一个部门所有，涉辖范围一般只有几千米。

(2) 通信速率高，误码率低。一般为基带传输，传输速率为 $10 \sim 100 \text{ Mbit/s}$ 。误码率为 $10^{-9} \sim 10^{-12}$ ，能支持计算机间高速通信。

(3) 可采用多种通信介质。例如，低廉的非屏蔽双绞线、同轴电缆或价格昂贵的光纤等。

(4) 多采用分布式控制和广播式通信，可靠性较高。节点的增删比较容易。

与远程网相比，在体系结构、通信规程和设计方法等方面，局域网有其自身特点。远程网由于涉辖范围广且通信线路长，如何充分有效地利用信道和通信设计是网络设计中的重要问题。远程网多采用分布式不规则形网络拓扑结构，低层协议比较复杂。局域网由于距离短、延时少、成本低和信息传输速率快，信道利用率已不是考虑的主要因素。它的底层协议较简单，报文格式允许有较大的报头，网络拓扑结构多采用总线形、环形或星形，流量控制、路由选择等问题大大简化或不存在，网上通信多采用广播方式，与现场的通信较多，从而形成了局域网本身的特色。

由于现场总线所肩负的是测量控制的特殊任务，因而它具有自己的特点。它要求信息传输的实时性强，可靠性高，且多为短帧传送，传输速率一般在几 kbit/s 至 10 Mbit/s 之间。所以从这一点来说，现场总线是低带宽的计算机局域网。因此现场总线大量采用了局域网技术，如网关、网桥等。

1.1.2 现场总线是一种数字通信协议

现场总线是用于支持现场装置，实现传感、变送、调节、控