

机 电 一 体 化 技 术 丛 书

# 现场总线运动 控制系统

● 主 编 舒志兵 袁佑新 周 玮 等  
● 副主编 王 健 程良伦 夏泽中 等

<http://www.phei.com.cn>



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

机电一体化技术丛书

# 现场总线运动控制系统

主 编 舒志兵 袁佑新 周 玮 等  
副主编 王 健 程良伦 夏泽中 等

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书由全国 20 多所高校从事运动控制的专家执笔。共分 7 章：第 1 章，概论；第 2 章，伺服运动控制系统；第 3 章，基于 CAN 总线的运动控制系统；第 4 章，PROFIBUS 总线的运动控制系统；第 5 章，DeviceNet 总线的伺服运动控制系统；第 6 章，CC-Link 总线及远程控制伺服系统的设计；第 7 章，SERCOS 总线的伺服控制系统。作者在叙述中力求深入浅出，循序渐进，体系新颖，内容详实。

本书可作为高等工科院校的专业教材，也可作为工程设计人员的参考书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

现场总线运动控制系统 / 舒志兵主编. —北京：电子工业出版社，2007.1

(机电一体化技术丛书)

ISBN 978-7-121-03703-0

I. 现… II. 舒… III. 总线—伺服控制—控制系统 IV. TP336

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 006725 号

责任编辑：宋兆武 范子瑜

印 刷：北京市李史山胶印厂  
装 订：

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×1092 1/16 印张：15.25 字数：354 千字

印 次：2007 年 1 月第 1 次印刷

印 数：5000 册 定价：22.00 元

凡所购买电子工业出版社的图书，如有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系。  
联系电话：(010) 68279077；邮购电话：(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 [zlt@phei.com.cn](mailto:zlt@phei.com.cn)，盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

服务热线：(010) 88258888。

# 《现场总线运动控制系统》编委会

主 编:

舒志兵 (南京工业大学)

袁佑新 (武汉理工大学)

周玮 (东北大学)

江汉红 (海军工程大学)

姜平 (南通大学)

副主编:

王健 (北京和利时电机技术有限公司)

程良伦 (广东工业大学)

夏泽中 (武汉理工大学)

朱志伟 (长沙民政学院)

罗维平 (武汉科技学院)

# 前 言

本书是根据第三届全国智能检测与运动控制技术研讨会暨全国高校运动控制及工程训练中心建设研讨会的精神及教学改革的要求, 由全国 20 多所高校从事运动控制的专家执笔, 按照机械设计制造及自动化、电气工程自动化及自动化专业学生的培养目标和要求而编写的, 可作为高等工科院校的专业教材。

本书涉及现场总线技术、机械结构、伺服系统及检测技术等内容, 是机械设计制造及自动化、电气自动化及自动化专业的专业基础课。

进入 20 世纪 90 年代, 实用化的现场总线控制系统正在快速发展。现场总线控制系统是目前最新型的控制系统, 是一种全计算机、全数字、双向通信的新型控制系统。在某些领域, 尤其是在制造业与石化工业自动化领域, 这种系统已有成功应用的实例。可以节省大量控制电缆, 缩短设计、安装和调试工期, 优化管理, 预测检修和预防维修等。现场总线控制系统是信息化社会在工业自动化领域的体现, 代表了自动化工业发展方向, 是现场级设备通信的一场数字化革命。我们应该尽快了解它, 掌握它, 进而开发应用。

编者将一些介绍现场总线与伺服运动控制系统的技术加以消化、汇总, 力图从技术、组织、标准、背景、发展状态等方面来介绍现场总线运动控制系统。教材编写过程中, 注重精练概括原设置过窄的专业课, 将原来数门课程教材的主要内容与基本概念、基本理论和基本方法重新组编, 既有一定的继承性, 又体现先进制造技术和机电控制技术的发展对专业人才培养的要求。

本书对象为学过机械基础知识、电子电工技术和微机原理等课程的学生, 通过学习使他们能融会贯通所学基础知识, 了解和掌握现场总线控制系统的共性理论与技术、重要实质及总线伺服系统的设计理论和方法, 从而用这些技术进行现场总线和远程网络产品的分析、设计与开发。

作为教材, 编者在文字叙述上力求深入浅出、循序渐进; 在内容安排上既注意基础理论、基本概念的系统阐述, 同时也考虑到工程设计人员的实际需要, 在介绍各种设计方法时尽可能具体实用。本书分为七章, 主要内容包括: 概论, 伺服运动控制系统, 基于 CAN 总线的运动控制系统, PROFIBUS 总线的运动控制系统, DeviceNet 总线的伺服运动控制系统, CC-Link 总线及远程控制伺服系统的设计, SERCOS 总线的伺服控制系统。

本书第 1、7 章由南京工业大学舒志兵编写; 第 2 章由武汉科技学院罗维平编写; 第 3 章由南京工业大学舒志兵、海军工程大学江汉红教授编写; 第 4 章由武汉理工大学袁佑新编写; 第 5 章由东北大学周玮编写; 第 6 章由南通大学姜平教授编写, 他们为此书的出版付出了辛勤的劳动。参加编写的人员还有武汉理工大学夏泽中教授、长沙民政学院朱志伟教授等。北京和利时电机技术有限公司王健, 英国 TRIO 上海代表处对本书应用案例提出了宝贵的修改意见, 在此表示衷心感谢。

全书由南京工业大学运动控制研究所完成修改和统稿工作。本书的出版得到电子工业出版社的大力支持。限于我们的水平和经验，加之机电一体化的迅速发展，书中难免存在疏漏和错误之处，敬请广大读者批评指正。

编者  
2006 年 10 月

# 目 录

|                         |      |
|-------------------------|------|
| 第 1 章 概论                | (1)  |
| 1.1 现场总线的概述             | (1)  |
| 1.1.1 现场总线技术特点          | (1)  |
| 1.1.2 现场总线的现状           | (2)  |
| 1.1.3 现场总线的发展趋势         | (2)  |
| 1.2 现场总线技术的核心与基础        | (3)  |
| 1.2.1 现场总线的核心——总线协议     | (3)  |
| 1.2.2 现场总线的基础——智能现场装置   | (3)  |
| 1.2.3 现场总线技术原形与系统产生     | (4)  |
| 1.3 现场总线通信协议模型          | (4)  |
| 1.3.1 协议分层              | (4)  |
| 1.3.2 网络软件层次设计原则        | (4)  |
| 1.3.3 现场总线通信协议模型        | (5)  |
| 1.4 基于现场总线的运动控制系统       | (6)  |
| 1.4.1 运动控制系统的发展与现状      | (6)  |
| 1.4.2 运动控制技术的发展趋势       | (8)  |
| 1.4.3 现场总线运动控制系统通信特性    | (9)  |
| 1.4.4 现场总线通信可靠性         | (10) |
| 1.4.5 现场总线通信的实时性        | (11) |
| 第 2 章 伺服运动控制系统          | (14) |
| 2.1 交流伺服运动控制系统概论        | (14) |
| 2.1.1 伺服控制系统的基本概念       | (14) |
| 2.1.2 伺服系统的组成与分类        | (14) |
| 2.1.3 现代交流伺服运动控制技术      | (17) |
| 2.2 伺服运动控制系统检测技术及元件     | (23) |
| 2.2.1 检测系统              | (24) |
| 2.2.2 传感器技术             | (27) |
| 2.2.3 现代检测技术            | (34) |
| 2.2.4 检测元件              | (36) |
| 2.3 基于 PC 运动控制板卡的伺服控制系统 | (50) |
| 2.3.1 PC 与伺服运动控制器的信息交换  | (50) |
| 2.3.2 伺服运动控制系统的采样周期     | (54) |

|       |                              |       |
|-------|------------------------------|-------|
| 2.3.3 | 基于 PC 的伺服运动控制系统设计分析          | (60)  |
| 2.4   | 基于 DSP 运动控制板卡的伺服控制系统         | (63)  |
| 2.4.1 | 运动控制系统常用 DSP 简介              | (63)  |
| 2.4.2 | 基于 DSP 的伺服系统设计               | (67)  |
| 2.5   | 基于 PLC 运动控制板卡的伺服控制系统         | (76)  |
| 2.5.1 | OMRON 公司的位置控制单元和运动控制单元       | (77)  |
| 2.5.2 | 西门子公司的位置控制单元                 | (80)  |
| 2.5.3 | 基于 PC 与基于 PLC 运动控制器的比较       | (81)  |
| 第 3 章 | 基于 CAN 总线的运动控制系统             | (83)  |
| 3.1   | 现场网络比较及选择                    | (83)  |
| 3.1.1 | RS-232 总线                    | (83)  |
| 3.1.2 | RS-485 总线                    | (83)  |
| 3.1.3 | 控制器局域网 CAN 总线                | (84)  |
| 3.2   | CAN 总线技术原理                   | (85)  |
| 3.2.1 | 传输介质和拓扑结构                    | (85)  |
| 3.2.2 | 数据帧格式                        | (86)  |
| 3.2.3 | 数据传输机制                       | (88)  |
| 3.2.4 | 差错控制                         | (89)  |
| 3.2.5 | CAN 协议的实现                    | (90)  |
| 3.3   | 基于 CAN 总线的网络化运动控制系统          | (91)  |
| 3.3.1 | CAN 运动控制系统通信特性               | (91)  |
| 3.3.2 | CAN 总线运动控制系统结构               | (92)  |
| 3.4   | CAN 总线控制器接口模块设计              | (94)  |
| 3.4.1 | 单片机与 CAN 总线控制器的接口模块设计        | (94)  |
| 3.4.2 | PC 经 ISA 总线与 CAN 总线控制器的接口模块  | (100) |
| 3.4.3 | PC 经 EPP 并行口与 CAN 总线控制器的接口模块 | (106) |
| 3.5   | 总线控制系统的主要硬件介绍                | (112) |
| 3.5.1 | CAN 总线伺服系统硬件构成               | (112) |
| 3.5.2 | 控制系统的硬件线路设计                  | (116) |
| 3.6   | 总线运动控制系统的软件开发                | (118) |
| 3.6.1 | CANopen 通信协议介绍               | (118) |
| 3.6.2 | 工业以太网                        | (122) |
| 3.6.3 | 开发环境                         | (123) |
| 3.6.4 | CAN 总线伺服软件总体设计               | (123) |
| 3.6.5 | 总线伺服软件具体程序设计                 | (124) |
| 第 4 章 | PROFIBUS 总线的运动控制系统           | (133) |
| 4.1   | PROFIBUS 总线概述                | (133) |

|       |                               |       |
|-------|-------------------------------|-------|
| 4.1.1 | PROFIBUS 总线特点 .....           | (134) |
| 4.1.2 | PROFIBUS 总线通信协议 .....         | (134) |
| 4.1.3 | PROFIBUS 总线传输技术 .....         | (137) |
| 4.2   | PROFIBUS 总线信号检测网络 .....       | (140) |
| 4.2.1 | 检测技术发展趋势 .....                | (140) |
| 4.2.2 | 信号检测网络的构成 .....               | (143) |
| 4.3   | PROFIBUS 总线电力传动运动控制系统 .....   | (148) |
| 4.3.1 | 电力传动控制系统 .....                | (148) |
| 4.3.2 | 电力传动系统网络化设计 .....             | (153) |
| 4.4   | PROFIBUS 总线伺服运动控制系统 .....     | (158) |
| 4.4.1 | 伺服控制系统构建 .....                | (158) |
| 4.4.2 | PROFIBUS 总线伺服控制系统网络化设计 .....  | (160) |
| 4.5   | 分布式运动控制系统软件组态 .....           | (163) |
| 4.5.1 | 分布式运动控制系统结构 .....             | (164) |
| 4.5.2 | 基于 PROFIBUS 总线控制的监控软件设计 ..... | (165) |
| 4.5.3 | 系统网络监控 .....                  | (170) |
| 第 5 章 | DeviceNet 总线的伺服运动控制系统 .....   | (171) |
| 5.1   | DeviceNet 现场总线技术简介 .....      | (171) |
| 5.1.1 | DeviceNet 现场总线 .....          | (171) |
| 5.1.2 | DeviceNet 总线与 CAN 总线关系 .....  | (172) |
| 5.1.3 | DeviceNet 现场总线的体系结构 .....     | (172) |
| 5.1.4 | 现代工业控制对现场总线的要求 .....          | (174) |
| 5.2   | DeviceNet 总线的基本构成 .....       | (176) |
| 5.2.1 | DeviceNet 的物理层 .....          | (176) |
| 5.2.2 | DeviceNet 的数据链路层 .....        | (176) |
| 5.2.3 | DeviceNet 的应用层 .....          | (178) |
| 5.3   | DeviceNet 总线的应用层解析 .....      | (178) |
| 5.3.1 | DeviceNet 的对象模型 .....         | (178) |
| 5.3.2 | 对象编址 .....                    | (179) |
| 5.3.3 | DeviceNet 报文的分组 .....         | (180) |
| 5.3.4 | 报文类型与报文格式 .....               | (180) |
| 5.3.5 | 报文分段协议 .....                  | (181) |
| 5.3.6 | DeviceNet 设备的规范与对象库 .....     | (182) |
| 5.3.7 | 电子数据文档 (EDS) .....            | (182) |
| 5.4   | DeviceNet 总线节点设备 .....        | (182) |
| 5.4.1 | DeviceNet 总线标准接口 .....        | (182) |
| 5.4.2 | DeviceNet 节点设备 .....          | (183) |

|              |                                     |              |
|--------------|-------------------------------------|--------------|
| 5.5          | DeviceNet 总线应用实例 .....              | (183)        |
| 5.5.1        | 连续退火速度控制设计 .....                    | (184)        |
| 5.5.2        | 伺服运动控制设计 .....                      | (189)        |
| 5.6          | 结束语 .....                           | (193)        |
| <b>第 6 章</b> | <b>CC-Link 总线及远程控制伺服系统的设计 .....</b> | <b>(194)</b> |
| 6.1          | CC-Link 现场总线简介 .....                | (194)        |
| 6.1.1        | CC-Link 的优点 .....                   | (194)        |
| 6.1.2        | CC-Link 的网络结构和基本功能 .....            | (194)        |
| 6.2          | CC-Link 现场总线运动控制系统设计 .....          | (195)        |
| 6.2.1        | 定位控制 .....                          | (195)        |
| 6.2.2        | 运动控制器 (motion controller) 介绍 .....  | (200)        |
| 6.2.3        | CC-Link 现场总线运动控制系统 .....            | (203)        |
| 6.3          | 远程控制的概念 .....                       | (204)        |
| 6.3.1        | 远程控制技术的发展 .....                     | (205)        |
| 6.3.2        | 国内外的研究现状 .....                      | (205)        |
| 6.4          | 以太网/Ethernet/IP 简介 .....            | (206)        |
| 6.5          | 远程伺服控制系统的设计方法 .....                 | (208)        |
| 6.5.1        | 远程伺服控制系统的网络结构 .....                 | (208)        |
| 6.5.2        | 远程伺服控制系统的设计方法 .....                 | (209)        |
| <b>第 7 章</b> | <b>SERCOS 总线的伺服控制系统 .....</b>       | <b>(210)</b> |
| 7.1          | 运动控制网络的研究现状 .....                   | (210)        |
| 7.1.1        | SSCNET 网络总线 .....                   | (210)        |
| 7.1.2        | SERCOS 总线 .....                     | (211)        |
| 7.1.3        | IEEE1394 .....                      | (211)        |
| 7.1.4        | SynqNet .....                       | (212)        |
| 7.1.5        | Profinet 总线 .....                   | (213)        |
| 7.2          | SERCOS 总线原理 .....                   | (214)        |
| 7.2.1        | SERCOS 技术概述 .....                   | (214)        |
| 7.2.2        | SERCOS 技术国内外现状 .....                | (214)        |
| 7.2.3        | SERCOS 接口的结构 .....                  | (215)        |
| 7.2.4        | SERCOS 接口原理与其他通信系统的比较 .....         | (216)        |
| 7.2.5        | SERCOS 总线系统组成 .....                 | (217)        |
| 7.3          | SERCOS 总线协议及其应用 .....               | (218)        |
| 7.3.1        | SERCOS 总线协议简介 .....                 | (218)        |
| 7.3.2        | SERCOS 数据传输 .....                   | (219)        |
| 7.3.3        | 协议初始化 .....                         | (221)        |
| 7.3.4        | 固化协议 SERCOS 通信卡的硬件结构 .....          | (221)        |

|                                       |       |
|---------------------------------------|-------|
| 7.3.5 固化协议 SERCOS 通信卡的软件设计.....       | (222) |
| 7.4 SERCOS-III总线的通信技术.....            | (223) |
| 7.4.1 SERCOS-III 简介.....              | (223) |
| 7.4.2 SERCOS-III 的拓扑结构.....           | (224) |
| 7.4.3 SERCOS-III 的报文结构.....           | (225) |
| 7.4.4 netX 控制模块的基本结构和功能.....          | (226) |
| 7.4.5 伺服驱动单元 .....                    | (227) |
| 7.4.6 伺服驱动单元 SERCOS-III 接口的软件实现 ..... | (228) |
| 参考文献 .....                            | (230) |

# 第 1 章 概 论

## 1.1 现场总线的概述

现场总线作为一种先进的工业控制技术，将当今网络通信与管理的观念带入工业控制领域。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，将它们连接成可以相互沟通信息、共同完成自控任务的网络系统与控制系统，它是工厂的底层控制网络。

国际 IEC1158 标准定义：现场总线是一种互连现场自动化设备及其控制系统的双向数字通信协议。也就是说，现场总线是控制系统中底层的通信网络，具有双向数字传输功能，在控制系统中允许智能现场装置全数字化、多变量、双向、多节点，并通过一条物理媒体互相交换信息。

现场总线技术的核心是它的通信协议，这些协议必须根据与国际标准化组织 ISO 的计算机网络开放系统互连的 OSI 参考模型来判定，它是一种开放的七层网络协议标准，多数现场总线技术只使用其中的第 1、第 2 和第 7 层协议。

### 1.1.1 现场总线技术特点

(1) 系统的开放性。开放系统是指通信协议公开，不同厂家设备之间可进行互连并实现信息交换。现场总线的开发者就是要致力于建立统一的现场设备层网络的开放系统。这里“开放”是指相关标准的一致性、公开性，强调对标准的共识与遵从。一个开放系统可以与任何遵守相同标准的其他设备或系统相连。

(2) 互操作性和互用性。互操作性是指实现互连设备间、系统间的信息传送与沟通，可实现点对点、一点对多点的数字通信。互用性意味着不同生产厂家性能类似的设备可进行互换、互用。

(3) 现场设备的智能化和功能自治性。将系统的传感测量、补偿计算、工程量处理与控制等功能分散到现场设备中完成，并完成自动控制的基本功能，随时诊断设备的运行状态。

(4) 系统结构的高度分散性。现场总线构成一种新的分布式控制系统的体系结构，简化了系统结构，提高了可靠性。

(5) 对现场环境的适应性。现场总线是专为现场环境下工作而设计的，它可支持双绞线、同轴电缆、光缆、射频、红外线、电力线等，具有较强的抗干扰能力，采用两线制实现供电与通信，并可满足安全防爆等要求。

此外，现场总线系统还有结构简化，节省硬件数量与投资，节省安装与维修费用，用户具有高度的系统集成主动权，提高系统的准确性与可靠性等诸多优点。

### 1.1.2 现场总线的现状

由于现场总线所具有的本质技术特点和一系列优点,以及所呈现的极为诱人的发展前景,也由于在现场总线的产生和发展过程中人们对现场总线的理解有所不同,现场总线出现了杂乱纷呈的局面。据不完全统计,目前国际上有 40 多种现场总线,经过十多年的竞争和完善,目前较有生命力、广泛使用且最具影响力的有几种,分别是 FF, PROFIBUS, HART, CAN, LonWorks, CC-Link, SERCOS 等。

1) FF (foundation fieldbus, 现场基金会总线)。由美国仪器协会 (ISA) 1994 年推出,代表公司有 Honeywell 和 Fisher-Rosemount, 主要应用于石油化工、连续工业过程控制中的仪表上。

2) PROFIBUS (process fieldbus)。由德国西门子公司 1987 年推出,主要应用于 PLC。产品有三类: FMS 用于车间级监控网络, DP 用于设备级控制系统与分散 I/O 之间的通信, PA 专为过程自动化设计。

3) HART (highway addressable remote transducer, 可寻址远程传感器数据通路)。美国 Rosemount 公司 1989 年推出,主要应用于智能变送器。

4) CAN (controller area network, 控制局域网)。由德国 Bosch 公司 1993 年推出,应用于汽车监控、开关量控制、制造业等。

5) LonWorks (LON local operating system, 局部操作系统)。由美国 Echelon 公司 1991 年推出,主要应用于楼宇自动化、工业自动化和电力行业等。

6) CC-Link 是三菱电机株式会社开发的新一代 FA 现场总线, Control & Communication Link 的简称。利用 CC-Link 能够实现减少配线,并同时高速传输数据。

7) SERCOS (Serial real time communication system, 串行运动控制网络)。由德国率先发起,并于 1995 年获得通过正式成为 IEC61491 国际标准。

### 1.1.3 现场总线的发展趋势

现场总线的发展趋势主要体现在以下四个方面:

1) 现场总线的标准化工作。目前,中国的现场总线技术及产品的开发工作已经起步,应积极按照 IEC 的标准开展工作。

2) 现场总线逐渐转向工业以太网。市场和技术发展需要统一标准的现场总线,整合了 Ethernet 和 TCP/IP 技术的现场总线是今后发展的主流体系和应用热点。

3) 在今后一段时间内多种现场总线既相互竞争又相互共存,同时多种现场总线也可共存于同一个控制系统中。

4) 管控一体化。从现场控制层到管理层全面的无缝信息集成(即管控一体化)能给企业带来整体效益。

## 1.2 现场总线技术的核心与基础

### 1.2.1 现场总线的核心——总线协议

总线协议技术是信息时代的基础高新技术 (hitech), 与 VCD、DVD 等单一功能的消费类电子产业信息产品不同, 与 CPU-Windows 技术, 路由器—浏览器等基础高新技术也不同。总线协议技术是系统的, 应用于不同的领域之中。例如, 火力发电、核电、冶金、油田、石化、汽车制造、机械制造、楼宇, 以及农田企业化、节水灌溉、水电、风力发电、酿造、轻工业等。

每一类总线都有最适用的领域。对于各类总线而言, 其实质, 亦即其核心是各类“总线协议”, 而这些协议的本质就是标准。各种总线, 不论其应用于什么领域, 每个总线协议都有一套软、硬件的支持。它们能够形成系统, 形成产品。所以, 一种总线, 只要其总线协议一经确立, 相关的关键技术与有关的设备也就被确定, 其中包括: 人-机界面、体系机构、现场智能装置、通信速度、节点容量、各系统相连的网关、网桥, 以及网络供电方式要求等。

由于现场总线是众多仪表之间的接口, 同时希望现场总线满足可操作性要求。因此, 对于一个开放的总线而言, 总线协议, 亦即标准化显得尤为重要。由于标准化对现场总线的意义重大, 因此可以说: 每一种现场总线都是有标准的, 它是现场总线的核心。对于各种总线, 其总线协议的基本原理都是以双向串行数字化通信传输为基本依据。

### 1.2.2 现场总线的基础——智能现场装置

在 IEC1158 有关现场总线的定义中提到了现场装置。现场装置包括多类工业产品, 它们是流量、压力、温度、振动、转速等或其他各种过程量的转换器和变送器, 例如, 转角发送器、ON-OFF 开关、控制阀、执行器和电子马达等, 以及现场的简单 PLC 和远方单回路调认器。

应该说明的是, 上述提到的各类工业产品, 与在 DCS 系统中配套使用的和与上述产品同名称的现场装置有着本质上的差别。例如, 与 DCS 系统配套使用的输出为 4~20mA 的压力变送器和在 FCS 系统中安装于现场的压力变送器有着质的不同。

除了满足对所有现场装置的共性要求外, FCS 系统中的现场装置还必须符合下列要求: 第一, 无论哪个公司生产的现场装置, 都必须与其所处的现场总线控制系统具有统一的总线协议, 或者必须遵守相关的通信规约。因为, 现场总线技术的关键就是自动控制装置与现场装置之间的双向数字通信现场总线信号制, 只有遵循统一的总线协议或通信规约, 才能做到开放和完全互操作。第二, 采用 FCS 系统的现场装置必须是多功能和智能化的, 因为现场总线的一大特点就是要增加现场一级的控制功能, 以简化系统集成, 方便设计, 利于维护。

### 1.2.3 现场总线技术原形与系统产生

由于大规模集成电路的发展,才有可能使许多传感器、执行机构、驱动装置等现场设备智能化,即内置 CPU 控制器,完成前面提到的诸如线性化、量程转换、数字滤波甚至回路调节等功能。因此,对于这些智能现场装置增加一个串行数据接口(如 RS-232/485)是非常方便的。有了这样的接口,控制器就可以按其规定协议,通过串行通信方式(而不是 I/O 方式)完成对现场设备的监控。如果设想全部或大部分现场设备都具有串行通信接口,并具有统一的通信协议,控制器只需一根通信电缆就可将分散的现场设备连接,完成对所有现场设备的监控。这就是现场总线技术的初始想法——原形。

基于以上初始想法,使用一根通信电缆,将所有具有统一的通信协议通信接口的现场设备连接,这样,在设备层传递的不再是 I/O[4~20mA/24V(DC)]信号,而是基于现场总线的数字化通信,由数字化通信网络构成现场级与车间级自动化监控及信息集成系统。

## 1.3 现场总线通信协议模型

### 1.3.1 协议分层

现代计算机网络都采用高度结构式程序方法,这种方法一般都设计成一组功能定义明确的层次,并且规定相同层次进程之间进行通信的规则和约定,称为协议。所谓网络体系结构(network architecture)就是指划分层次、每层的功能、层间接口及相同层次通信的协议。

网络的主机间按报文进行通信,报文通信的协议一般按功能层组成多级结构形式。每个功能层都有明确定义的功能及与相邻层的接口,各功能层之间的关系是:低层为高层服务,高层使用低层的特性。采用这种结构方式的优点,是把整体网络功能分割成若干个部分,对每个部分来说,设计就变得具体且易于实现;某一功能层相对独立,只要与相邻层的接口不变,其内部的变化修改不影响整体软件的变化。这种结构特点是,功能层次越高,越接近应用,下层的协议对上层来说是透明的,网络用户只看到和网络应用相关的操作命令和各种网络服务程序的特性。

大多数网络软件都按分层结构进行组织,但层次和每层的名称随网络不同而有所变化。通信的两个机器的相同层的实体叫做同层进程,它们之间的通信所使用的各种约定统称协议,相邻层之间的约定称为接口。实际的通信在对话双方的每一层次上进行,而对话都建立在相同层次上。每次通信信息都发源于最高层(网络服务),向下流经某些通信基元(各层)进入实际的物理互连设施,然后又通过一系列的通信基元(各层)到达对方的最高层。对方的最高层将响应信息沿相反的路径反馈回来。

### 1.3.2 网络软件层次设计原则

网络软件按层次进行设计,当要与另一计算机进行通信时,每一层都必须有一个建立连接的机构。由于一个网络有多台计算机,一个计算机有多个进程,因此必须规定每个进

程和选中的某个进程进行通信（谈话）的方法。在任何一层都有多种连接，这就需要寻址。当建立连接的两个进程通信完成后，这时两者的连接必须拆除——终止连接，相应地每一层要有终止连接的机构。计算机网络中所使用的通信线路连接形式，每个站逻辑信道的数量都影响连接机构。许多网络对每个连接最少都有两个逻辑信道，一条用于正常数据传送，另一条则用于紧急的数据传送。

传送信息的过程中，差错控制是影响软件的重要问题，要采用和物理线路相适应的校验，而且通信双方必须采用相同的形成校验码的方法。要规定一种特定的方法，接收端用此方法告诉发送端，哪些信包是错的，哪些已被纠正，哪些是正确的。

网络层向高层提供两种服务中的一种，虚拟线路或数据报文。当按数据报文方式工作时，接收端不能保证按发送端发送信包的顺序接收信包。为了在接收端恢复原来的报文，以及使接收端判别原发信包和重发信包，制定的协议必须明确地向接收端提供信包的序号。在每一级都存在收发两端速度的匹配问题，要使高速的发送端和一个低速的接收端相配合，接收端必须传递反馈信息给对方，告诉接收端当前是否还能再接收信息。

在不同级上，各进程接收信息的长度有一定的限制，对于过长的信息要拆散发送，然后在接收端重新拼装。同样，为了提高效率，可将若干小块的信息合并，和正常信息一样附上引头后发送，接收端将收到的信息再拆开。当每对进程进行通信都建立专用连接而开销过大时，可以使多对进程共同使用同一个连接。只要最低层的多路复用和多路解调能被看成是透明的，就可由任一层来使用，对所有连接所用的全部通信量都沿一条或多条物理线路进行传输。当在源和目标节点之间有多个可选的通路时，在某些级上必须作出路由选择。

### 1.3.3 现场总线通信协议模型

在通信网络中，分层次的体系结构非常重要。国际标准化组织 ISO（international organization for standardization）制定了开放式系统互连参考模型 OSI/RM（open system interconnection/reference model），简称 ISO/OSI RM。ISO/OSI RM 为通信网络定义了 7 层的体系结构。对于工业控制系统来说，7 层模型过于复杂，现场总线和实时工业以太网都参考 ISO/OSI RM，采用了符合自己要求的协议模型。

现场总线的应用特点是：现场设备分散，单个节点信息量小，但实时性和快速性要求较高。所以现场总线对 ISO/OSI RM 做了大量的简化，只使用了其中的物理层、数据链路层和应用层，如图 1-1 所示。

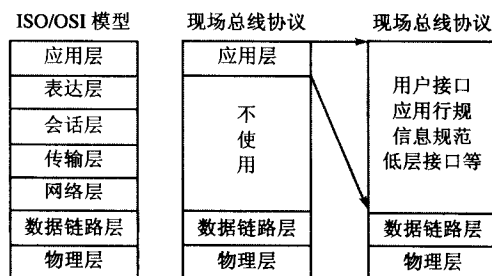


图 1-1 现场总线通信模型

以太网协议对应于 ISO/OSI RM 中的物理层和数据链路层。当应用于商业通信网络时，在高层使用 TCP/IP (transfer control protocol/internet protocol) 体系结构，如图 1-2 (a) 所示。标准的以太网协议无法达到实时性的要求，所以必须对以太网的通信模型进行修改。目前，市场上已有的实时工业以太网标准分别通过以下三种方式实现。

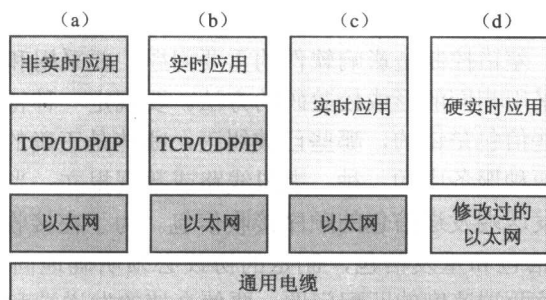


图 1-2 以太网通信模型

(1) 基于 TCP/IP 的实现，如图 1-2 (b) 所示。

协议仍使用 TCP/IP 协议栈，通过上层合理的控制来应对通信中非确定性因素。此时，实时网络可以和商用网络自由的通信。常用的通信控制手段有：合理调度，减少冲突的可能性；定义数据帧的优先级，为实时数据分配最高的优先级；使用交换式以太网等。使用这种方式的典型协议有 Modbus/TCP, Ethernet/IP 等。这种方式不可能实现很好的实时性，只适用于过程自动化。

(2) 基于以太网的实现，如图 1-2 (c) 所示。

协议不改变以太网的通信硬件，使用一种特殊的以太网帧类型和重新定义的实时协议。典型协议有 Ethernet Powerlink、EPA (ethernet for plant automation), Profinet CBA 等。这种方式可以实现较高的实时性。

(3) 修改以太网的实现，如图 1-2 (d) 所示。

为了获得响应时间小于 1ms 的硬实时，对以太网协议进行了修改，使用总线型、环型、线型等拓扑结构，并对介质访问控制进行修改，在实时通道内由实时 MAC 接管通信控制，彻底避免报文冲突，简化通信数据处理，非实时数据仍然可以在开放通道内按照原来的协议传输。典型协议有 EtherCAT、Sercos-III、Profinet I/O 等。

## 1.4 基于现场总线的运动控制系统

### 1.4.1 运动控制系统的发展与现状

运动控制系统是以机械运动的驱动设备——电动机为控制对象，以控制器为核心，以电力电子、功率变换装置为执行机构，在自动控制理论指导下组成的电气传动控制系统。这类系统控制电动机的转矩、转速和转角，将电能转换为机械能，实现运动机械的运动要求。运动控制系统的发展得益于微电子、电力电子、传感器、永磁材料、自动控制技术和