

LonWorks

技术 开发和应用

高安邦 孙社文 单 洪 等编著
刘运基 单 洪 主 审



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



LonWorks 技术 开发和应用

高安邦	孙社文	单 洪	俞 宁	
王瑞荣	徐建俊	魏 东	温炎基	编著
林命彬	林伟杰	庄俊华	宋艳萍	
		刘运基	单 洪	主审



机 械 工 业 出 版 社

LonWorks 技术为设计、创建、安装、测试和维护现场设备控制网络方面的许多问题提供了快速、简捷、方便、有效的解决方案和工具。本书是由一些长期从事 LonWorks 技术开发应用的专家教授、博士/博导、一线工程师联合编著的一部开发应用著作,集编著者数年来从事该技术教学培训、开发研究和工程实践经验之精华。全书共分 6 章,内容包括 LonWorks 概述、LonWorks 技术规范、LonWorks 设备开发、LonWorks 网络设计、建筑及居住区控制网络系统实施、LonWorks 应用以及术语缩写语。

本书既可作为大专院校相关专业师生的实用教材和参考书,也可作为直接从事 LonWorks 技术引进和开发应用的工程技术人员的指导书。

图书在版编目 (CIP) 数据

LonWorks 技术开发和应用/高安邦等编著. —北京:机械工业出版社, 2009. 2

ISBN 978-7-111-26283-1

I. L… II. 高… III. 总线-技术 IV. TP336

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 020371 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:黄丽梅 版式设计:霍永明 责任校对:姜 婷

封面设计:姚 毅 责任印制:杨 曦

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2009 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 40 印张 · 1097 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-26283-1

定价: 80.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 68351729

封面无防伪标均为盗版

序

我最早接触 LonWorks 是在 1995 年，当时美国威光（VACOM）公司总裁、旅美学者刘运基先生和北京建筑工程学院合作共建基于 LonWorks 的开放智能建筑开发平台，后来这个平台被建设部智能建筑推广中心作为重点推荐的技术。我本人也因此开始和 LonWorks 技术打交道，直到在北京建筑工程学院建立智能建筑实验基地，在北京林业大学建立 LonWorks 教学开发实验室和培训中心。

在过去的十几年中，网络世界爆发了一场悄然无声的革命，其标志是出现了能将任何智能设备联接起来相互进行通信的设备网络。美国 Echelon 公司凭借其 LonWorks 技术走在这场技术革命的前列。美国 Echelon 公司于 1990 年推出 LonWorks 技术，它提供了一个开放和互操作的设备网络——局部操作网络（简称 LON）。LonWorks 是全球应用最为广泛的联接日常设备的标准。它可将家用电器、调温器、空调设备、电表、灯光控制系统等相互联接，并和互联网相联。该技术提供了一个平坦的、对等的控制网络架构，给各种控制网络应用提供端到端的解决方案。该技术广泛应用于智能楼宇、家庭网络、家用电器、能源管理、列车、半导体制造业、加油站等领域，被许多国家、行业和国际标准组织，包括 ANSI、AAR、SEMI、ASHRAE、IFSF、IEEE 采纳为各自的行业标准。近来又成功地被 ISO/IEC 批准为最高级别的国际标准 ISO/IEC 14908。

LonWorks 技术进入中国十多年来，在各行各业应用中也取得了可喜的成果。在青藏铁路这条世界上最长的高海拔铁路列车上，中国北车集团公司（全称：中国北方机车车辆工业集团公司）四方车辆研究所采用 LonWorks 技术监测和控制各种系统，包括监测最先进的旅客供氧系统；在铁路部门，约 4500 辆新提速的客运列车全部使用 LonWorks 技术进行监控，使 LonWorks 成为中国列车上应用最普遍的控制网络；在智能建筑设备监控系统中，LonWorks 也被广泛采用。基于它的先进性和实用性，2006 年，中国国家标准化管理委员会（SAC）将 LonWorks 技术采纳为：

1. GB/Z 20177—2006 《控制网络 LonWorks 技术规范》，包括四个部分：
 - 1) 第 1 部分：协议规范。
 - 2) 第 2 部分：电力线信道规范。
 - 3) 第 3 部分：自由拓扑双绞线信道规范。
 - 4) 第 4 部分：基于隧道技术在 IP 信道上传输控制网络协议的规范。
2. 在 GB/T 20299.4—2006 《建筑及居住区数字化技术应用》国家标准第 4 部分“控制网络通信协议应用要求”中作为首选的推荐标准。

这两部国家标准的发布对中国智能建筑的规范化将起到重要的推动作用，对高等学校建筑智能化的相关专业建设也有重要的指导意义。

高安邦教授和刘运基先生联合国内采用了 LonWorks 技术的一些高校和企业，编著出版的《LonWorks 技术开发和应用》这部专著，内容涵盖了 LonWorks 技术开发和应用的许多方面。本书既是编著者们多年来从事 LonWorks 技术开发应用研究和工程实践经验的概括和总结，又博采了美国 Echelon 公司的最新资料、培训教材以及一些研究论文和工程实践的成功案例。本书编著和主审既有专家教授，又有企业老总，还有生产第一线的工程师；编写内容既有理论，更突出应用实践；这是一部工学结合、学以致用、理论联系实际、内容翔实、图文并茂、阐述清晰透彻、可读性好、实用性强的学术专著。它对两部国家新颁标准的贯彻执行和 LonWorks 技术在我国的应用，必将起到很好的推动和促进作用。我期望这本专著能使高等院校、高职、高专相关专业师生以及工程技术人员更好地了解、掌握和使用这一技术，在教学、科研和工程技术的产业化中产生更好的效益。

我热烈祝贺本书的编著出版发行！衷心祝愿它在 LonWorks 技术的开发应用方面发挥更大的作用。

寿大云

计算机与自动化专业教授

高等学校土建学科教学指导委员会委员

高等学校建筑环境与设备工程专业指导委员会委员

高等学校智能建筑指导小组组长

建设部建筑智能化技术专家委员会专家

前 言

现场总线技术的兴起,开辟了工厂最底层现场生产设备网络控制的新天地。它促进了现代企业网络技术的快速发展,为企业带来新的生机和高效益,因而得到了最广泛的应用,并推动了机电一体化与工业自动化等相关现代企业的迅猛发展。在诸多现场总线中,LonWorks 是唯一遵守 ISO/OSI 全部 7 层模型的网络协议,涵盖传感器总线、设备总线和现场总线三种应用层次的总线技术;是目前各种现场总线中技术最完整、应用领域最广泛的一种新技术。为推进 LonWorks 技术的广泛应用,目前已有一套完整的控制网络设计与开发平台,包括网络的设计、开发、安装和调试、监控等一整套工具,以及神经元芯片、智能收发器、网络接口、路由器、中继器、IP 网络连接设备、网络操作系统等一整套完整的适用于各种应用场合的解决方案,有效解决了现场生产设备联网通信中的诸多难题。并已成为美国、欧盟、中国等全球许多国家多行业的国家技术标准和 ISO/IEC 14908 国际标准。

LonWorks 是由美国 Echelon 公司研制、于 1990 年正式公布的现场总线网络。LonWorks 技术的核心是它的神经元芯片和控制网络协议 LonTalk。1999 年,LonTalk 协议成为美国国家标准化学会 ANSI/EIA-709.1 标准;2001/2002 年,LonWorks 电力线信道、自由拓扑双绞线信道及基于隧道技术在 IP 网上传送 LonTalk 数据包的规范先后成为 ANSI/EIA-790.2、EIA-709.3 和 EIA-852 标准;2006 年 LonWorks 技术规范成为中国国家标准化指导性技术文件 GB/Z 20177—2006 和国家标准 GB/T 20299.4—2006。

一种高新技术的兴起必然会给企业、学校和科研单位的发展带来新的机遇。北京建筑工程学院是国内开展 LonWorks 在智能建筑领域应用研发较早的高等院校,在 1995 年和美国 VACOM 公司、建设部智能建筑推广中心合作推出开放的智能建筑平台。杭州电子科技大学于 2005 年建成基于 LonWorks 的楼宇自动化实验室,并以此为契机,开展了多项重点课题研究。

淮安信息职业技术学院在“机电一体化”学科带头人高安邦特聘教授(原哈尔滨理工大学教授)的主持下,于 2006 年开始引进、研发 LonWork 技术,取得了可喜的成绩:①完成了基于“LonWorks”的现代智能网络测控系统工程研制和它的子系统——人性化城市交通指挥灯智能控制系统的作品制作及大学生创新平台建设,分别荣获了“首届(2006 年)江苏省职业教育创新大赛”一等奖和二等奖、优秀学校奖、优秀指导教师奖等奖项;②以 LonWorks 技术为支撑,成功申报了中国高等教育学会和江苏省两项“十一五”教育科学 2006 年度规划研究课题;③创建了美国埃施朗苏北 EIP 教育培训中心,使淮安信息职业技术学院成为目前美国 Echelon 公司大中华区 EIP 教育培训指定院校之一;④和威世达公司校企合作,共建了威世达公司 LonWorks 技术研发基地,联合开发了“产学研”一体化的“现代化智能家居示范样板实验室”工程项目,创建了工学一致、“教-学-用”融合一体的现代教学/实验/实训/工程研发基地;…。

威世达公司是国内最早引进 LonWorks 技术和从事 LonWorks 产品开发的 OEM 厂商,是美国 Echelon 公司授权独立开发商(LID)、授权 LonWorks 技术培训中心(ATC),也是 Echelon 公司教育培训计划(EIP)的中国指定提供商;威世达公司同时又是国际加油站标准论坛(IFSF)中国技术联络中心、LonMark China 创始单位以及《控制网络 LONWORKS 技术规范》(GB/Z 20177 国家标准化指导性技术文件)起草单位,在 LonWorks 技术开发和应用方面积累了宝贵的经验,也为大中华地区学校和企业培训了一批 LonWorks 技术开发和应用方面的人才。威世达公司提供基

于 LonWorks 技术的智能楼宇、智能家居系统、煤矿瓦斯监控系统、工厂数据采集和节能监控系统、加油站前庭设备通信产品、学校智能化教学实训系统，以及开发创新实验实训平台等多种产品及解决方案。

为了满足国内 LonWorks 技术应用开发的需求，在高安邦教授和刘运基先生（威世达公司董事长、旅美学者）共同倡导和主持下，联合国内已采用 LonWorks 技术的一些高校和企业，校企合作编著出版《LonWorks 技术开发和应用》一书，目的是协助开发使用人员和高等院校、高职、高专相关专业师生了解、掌握和使用这一新技术，在教学、科研和技术的产业化中产生更好的效益。

本书的编著既是编著者多年来从事 LonWorks 技术开发应用研究和工程实践经验的概括和总结，又博采了美国 Echelon 公司的最新资料、培训教材以及各种研究论文以及一些工程实践的成功案例。参加本书编著工作的有高安邦教授（本书策划、立项、前言和第 1 章）；单洪教授、博士、博导（第 2 章：2.1 节）；王瑞荣副教授、博士（第 2 章：2.2 节~2.4 节）；魏东副教授、博士（第 3 章）；俞宁副教授、研究员高级工程师（第 4 章：4.1 节）；徐建俊副教授、高级工程师（第 4 章：4.2 节~4.8 节）；孙社文副教授（第 5 章：5.1 节、5.3 节~5.5 节、第 6 章 6.6~6.12 节）；庄俊华工程师（第 5 章：5.2 节）；宋艳萍工程师（第 5 章：5.6 节、5.7 节）；温炎基高级工程师、林命彬工程师（第 6 章：6.1 节）；林伟杰博士（第 6 章：6.2 节~6.5 节）。该书初稿编出后，经高安邦、刘运基、单洪、魏东、王瑞荣等进行了交叉审稿；又经高安邦、孙社文进行了统稿；最后由刘运基、单洪审稿。本书的编著得到了淮安信息职业技术学院、威世达公司、北京工业职业技术学院、合肥解放军电子工程学院、北京建筑工程学院、杭州电子科技大学、广州城市职业学院的大力协助；还得到了美国 Echelon 公司大中华区的大力支持，戴恋女士、刘永生先生等为本书内容提出了宝贵的意见；高安邦教授的硕士学位研究生杨帅、薛岚、关士岩、陈银燕，北京建筑工程学院自动化系实验室陈一民老师等也为本书的编著做了大量的工作，在此表示衷心的感谢！

由于本书参加编著人员较多，限于编著者的水平和经验，书中错误、疏漏和不妥之处在所难免，恳请读者和专家们不吝批评、指正，以便今后更好地完善和提高。

高安邦

目 录

序

前言

第 1 章 LonWorks 概述 1

1.1 LonWorks 技术概述 1

1.1.1 现场总线的形成 1

1.1.2 几种主流现场总线简介 2

1.1.3 LonWorks 现场总线 5

1.1.4 LonWorks 设备控制网和 TCP/IP 数据网络 7

1.1.5 LonWorks 技术与 RS-485 总线 网络的比较 8

1.2 LonWorks 网络架构 9

1.3 LonWorks 技术规范介绍 12

1.4 LonWorks 技术核心——神经元芯片 简介 13

1.5 LonWorks 网络服务 17

1.6 LonWorks 技术的可互操作性 21

1.7 LonWorks 的应用领域和发展前景 24

第 2 章 LonWorks 技术规范 26

2.1 协议规范 26

2.1.1 协议分层概述 26

2.1.2 MAC 子层 35

2.1.3 链路层 41

2.1.4 网络层 48

2.1.5 事务控制子层 56

2.1.6 传输层 57

2.1.7 会话层 61

2.1.8 表示层/应用层 67

2.1.9 网络管理和诊断 71

2.1.10 协议的实现 87

2.2 电力线信道协议 106

2.2.1 概述 106

2.2.2 电力线网络拓扑 106

2.2.3 电力线媒体协议 108

2.2.4 电力线节点协议 109

2.2.5 电力线收发器 115

2.3 自由拓扑双绞线信道协议 116

2.3.1 系统 116

2.3.2 链路电源 117

2.3.3 节点 119

2.3.4 通信参数 121

2.3.5 自由拓扑双绞线收发器 122

2.4 经由 IP 信道传输控制网络协议 123

2.4.1 CN/IP 设备 123

2.4.2 IP 信道协议 123

2.4.3 IP 传输机制 126

2.4.4 CN/IP 设备配置 126

2.4.5 CN/IP 报文和操作方式 128

2.4.6 IP-852 和 i. LON 系列 IP 服务器 140

2.4.7 与 EIA 709.1 的关系 141

第 3 章 LonWorks 设备开发 143

3.1 设备描述 143

3.1.1 LonWorks 设备组成 143

3.1.2 LonWorks 设备硬件 143

3.1.3 LonWorks 设备软件 146

3.1.4 开发工具与开发环境 148

3.2 开发过程 155

3.2.1 概述 155

3.2.2 开发步骤 155

3.2.3 开发工具快速入门 158

3.2.4 一个小的开发实例 166

3.3 硬件设计 167

3.3.1 神经元芯片 167

3.3.2 智能收发器 178

3.3.3 收发器 179

3.4 设备软件开发 184

3.4.1 Neuron C 语言 184

3.4.2 网络变量 192

3.4.3 显式报文 195

3.4.4 神经元芯片的 I/O 对象类别与 应用编程 200

3.4.5 创建设备接口	246	4.5.2 测试条件	358
3.4.6 外部接口文件	260	4.5.3 测试单个节点	358
3.4.7 资源文件	261	4.5.4 测试节点及功能块	358
3.4.8 插件程序	269	4.5.5 电源平衡	359
3.5 设备调试和测试	274	4.5.6 测试和验证工具	359
3.5.1 设备调试	274	4.6 优化网络性能	360
3.5.2 设备测试	278	4.6.1 优化任务	360
3.5.3 通信测试	279	4.6.2 优化可能性	360
3.5.4 网络测试	284	4.6.3 优化配置属性	362
3.6 开发实例	286	4.6.4 优化网络变量连接	363
3.6.1 LonWorks 设备开发	286	4.6.5 优化鉴别和优先级的使用	363
3.6.2 LonWorks 监控网络开发	297	4.7 维护网络	364
第4章 LonWorks 网络设计	312	4.7.1 更新节点	364
4.1 网络结构和网络部件	312	4.7.2 替换节点	365
4.1.1 网络结构	312	4.7.3 替换或更新时节点的配置属性	365
4.1.2 安装方案	318	4.7.4 移动网络工具	365
4.1.3 基础设备	325	4.7.5 移动应用节点	366
4.1.4 选择通信媒体	332	4.7.6 维护 LNS 服务器	366
4.1.5 选择 LonWorks 节点	335	4.8 编制网络文档	367
4.2 安装物理网络	337	4.8.1 LonWorks 网络运行和维护手册 检查	367
4.2.1 布线及电源	338	4.8.2 网络图文档	368
4.2.2 安装基础设备	341	4.8.3 编制信道和节点文档	369
4.2.3 安装应用设备	342	第5章 建筑及居住区控制网络系统 实施	371
4.3 网络编程	342	5.1 控制网络系统和设备要求	371
4.3.1 外部接口	342	5.1.1 控制网络系统要求	371
4.3.2 配置节点和对对象	346	5.1.2 控制网络通信要求	375
4.3.3 连接网络变量	348	5.1.3 控制网络设备要求	381
4.3.4 网络变量绑定	349	5.2 控制网络系统结构	386
4.3.5 报文服务	350	5.2.1 网络架构	386
4.3.6 可选的协议服务	350	5.2.2 系统结构	387
4.3.7 网络连接资源	351	5.2.3 监控软件结构	418
4.3.8 组寻址方式	351	5.3 LonWorks 控制网络设备	424
4.3.9 节点连接资源	352	5.3.1 网络基础架构设备	424
4.4 启动节点	352	5.3.2 应用设备	427
4.4.1 启动步骤	352	5.3.3 执行系统功能的设备	429
4.4.2 获得神经元芯片 ID	353	5.3.4 输入/输出设备	429
4.4.3 在网启动和离网启动	353	5.3.5 LonWorks 设备的可互操作性	430
4.4.4 启动的顺序和规则	354	5.4 控制网络管理工具	432
4.4.5 自安装	356	5.4.1 网络服务体系结构	432
4.5 测试与验证网络	357		
4.5.1 测试控制算法	357		

5.4.2 网络管理工具	432	6.3 LonWorks 电力监控应用	570
5.5 控制网与 IP 网的连接	436	6.3.1 LonWorks 技术在变电站监控系统中的应用	570
5.5.1 概述	436	6.3.2 基于 Lon 总线的高速公路综合电力监控系统	572
5.5.2 LonWorks 与 IP 连接要求	437	6.3.3 LonWorks 在智能小区电量计量中的应用	575
5.5.3 LonWorks IP 服务器	437	6.4 LonWorks 能源管理应用	577
5.6 系统集成	441	6.4.1 基于 LonWorks 技术的企业节能平台	578
5.6.1 系统集成要求	442	6.4.2 LonWorks 在酒店远程能源管理系统中的应用	579
5.6.2 电源安装	445	6.4.3 智能小区基于 LonWorks 的电力负载平衡系统	581
5.6.3 配线安装	448	6.5 LonWorks 在工业自动化中的应用	583
5.6.4 网络基础设备安装	451	6.5.1 LonWorks 技术在环境测控中的应用	584
5.6.5 控制设备安装	452	6.5.2 基于 LonWorks 技术的交联电缆生产线实时监控	588
5.6.6 屏蔽、接地和防雷	452	6.6 LonWorks 在加油站的应用	590
5.6.7 网络设备编程	456	6.6.1 概述	590
5.6.8 软件安装调试	457	6.6.2 加油站系统架构	590
5.7 系统安全性	464	6.6.3 IFSF 通信	592
5.7.1 控制网络安全要求	464	6.6.4 IFSF-LonWorks 实现	594
5.7.2 LonWorks 安全鉴别服务的实现机制	465	6.6.5 从传统系统到标准的过渡	602
第 6 章 LonWorks 应用	467	6.6.6 加油站的设施监控和能源管理	604
6.1 LonWorks 教学实验平台	467	6.6.7 IFSF 在中国	604
6.1.1 暖通空调系统监控系统教学实验平台	467	附录	606
6.1.2 给排水监控教学实验平台	490	附录 A 术语和缩写语	606
6.1.3 供配电、照明及电梯监控教学实验平台	493	附录 B 美国 Echelon 公司大中华区授权培训中心 (ATC) 和指定院校 (EIP)	623
6.1.4 安全防范教学实验平台	504	参考文献	626
6.1.5 消防报警教学实验平台	519		
6.1.6 智能家居教学实验平台	537		
6.1.7 智能无线调光教学实验平台	554		
6.2 LonWorks 列车车厢监控应用	558		
6.2.1 系统组成	559		
6.2.2 列车车厢配置	561		
6.2.3 智能列车火灾报警控制器	564		
6.2.4 列车影音系统	566		
6.2.5 列车安全用电监控系统	567		

第 1 章 LonWorks 概述

现场总线 (Field Bus) 技术的兴起,开辟了工厂最底层现场生产设备网络控制的新天地。它促进了现代企业网络技术的快速发展,为企业带来新的生机和效益,因而得到了最广泛的应用,并推动了机电一体化与工业自动化等相关现代企业的迅猛发展。在诸多现场总线中, LonWorks 是唯一遵守 ISO/OSI 全部 7 层模型的网络协议,涵盖 Sensor Bus、Device Bus 和 Field Bus 三种应用层次的总线技术,是目前各种现场总线中技术最完整、应用领域最广泛的一种新技术。为推进 LonWorks 技术的广泛应用,目前已有一套完整的控制网络设计与开发平台,包括网络的设计、开发、安装和调试、监控等一整套工具,以及神经元芯片、智能收发器、网络接口、路由器、中继器、IP 网络连接设备、网络操作系统等一整套完整的适用于各种应用场合的解决方案,有效解决了现场生产设备联网通信中的诸多难题。

1.1 LonWorks 技术概述

1.1.1 现场总线的形成

现场总线 (Field Bus) 是 20 世纪 90 年代初在国际上发展形成的,是用于过程自动化、制造自动化、楼宇自动化等领域的现场智能设备互联通信网络,被誉为自动化领域的计算机局域网。它作为工厂数字通信网络的基础,沟通了生产过程现场及控制设备之间及其与更高控制管理层次之间的联系。它不仅是一个基层网络,而且还是一种开放式、新型全分布控制系统,它适应了工业控制系统向分散化、网络化、智能化发展的方向。新型的现场总线控制系统突破了 DCS 系统中通信由专用网络的封闭系统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,即可以把遵守同一协议规范的不同厂商的自动化设备,通过现场总线网络连接成系统,实现综合自动化的各种功能。这项以智能传感、控制、计算机、数字通信等技术为主要内容的综合技术一经出现,就备受全世界范围的极大关注,成为自动化技术发展的热门和焦点,并导致了自动化系统结构与设备的深刻变革。国际上许多有实力、有影响的大公司集团都先后投入重金在不同程度上进行了现场总线技术与产品的开发。现场总线设备的工作环境处于过程设备的最底层,它作为工厂设备级基础通信网络,要求具有协议简单、容错能力强、安全性好、成本低,一定的时间确定性和较高的实时性,以及网络负载稳定、多数为短帧传送、信息交换频繁等特点。由于上述特点,现场总线系统从网络结构到通信技术,都具有不同于一般高速数据通信网络的特色。

人们通常把现场总线系统的形成发展分为五代,即把 20 世纪 50 年代前的气动信号控制系统 PCS 称作第一代;把 4~20mA 等电动模拟信号控制系统称为第二代;把数字计算机集中式控制系统称为第三代;把 20 世纪 70 年代中期以来的集散式分布控制系统 DCS 称为第四代;把现场总线控制系统 FCS 称为第五代。FCS 作为新一代控制系统,一方面,突破了 DCS 系统采用通信专用网络的局限,采用了基于公开化、标准化的解决方案,克服了封闭系统所造成的缺陷;另一方面把 DCS 的集中与分散相结合的集散系统结构,变成了新型全分布式结构,把控制功能彻底下放到现场。可以说,开放性、分散性与数字通信是现场总线系统最显著的特征。

1.1.2 几种主流现场总线简介

由于各个国家各个公司的利益之争,虽然早在1984年国际电工技术委员会/国际标准协会(IEC/ISA)就着手开始制定现场总线的国际标准,但至今统一的标准仍难实现。很多公司相继推出其各自的现场总线技术,而这些技术之间的开放性和互操作性还无法完全实现。目前世界上存在着大约四十余种现场总线,诸如法国的FIP、英国的ERA、德国西门子公司的ProfiBus、挪威的FINT、Echelon公司的LonWorks、PhoenixContact公司的InterBus、RoberBosch公司的CAN、Rosemounr公司的HART、CarloGarazzi公司的Dupline、丹麦ProcessData公司的P-net、PeterHans公司的F-Mux、以及ASI(ActraturSensorInterface)、MODBus、SDS、Arcnet、国际标准组织——基金会现场总线FF(FieldBusFoundation)、WorldFIP、BitBus、美国的DeviceNet与ControlNet等。这些总线大都有其重点应用的领域,比如FF、PROFIBUS-PA适用于石油、化工、医药、冶金等行业的过程控制领域;LonWorks、PROFIBUS-FMS、DeviceNet适用于楼宇、交通运输、农业等领域;DeviceNet、PROFIBUS-DP适用于加工制造等,当然这些划分也并不是绝对的,每种现场总线都力图将其应用领域扩大,彼此渗透。大多数的现场总线都有一个或几个大型跨国公司为背景并成立相应的国际组织,力图扩大自己的影响,得到更多的市场份额。比如PROFIBUS以Siemens公司为主要支持,成立了PROFIBUS国际用户组织;WorldFIP以Alstom公司为主要支持,成立了WorldFIP国际用户组织。

在众多的现场总线产品中,其中具备较强实力和影响的主流现场总线有:

1. 基金会现场总线(FoundationFieldbus 简称FF)

这是以美国Fisher-Rousemount公司为首,联合了横河、ABB、西门子、英维斯等80家公司制定的ISP协议,和以Honeywell公司为首,联合欧洲等地150余家公司制定的WorldFIP协议,于1994年9月合并组建的,专门致力于开发国际上统一的现场总线协议,是目前国际公认的、不附属于任何企业的、公正的、非商业化的国际标准化组织。该总线在过程自动化领域得到了广泛的应用,具有良好的发展前景。其体系结构采用了国际标准化组织ISO的开放系统互联OSI的简化模型(1, 2, 7层),即物理层、数据链路层、应用层,另外增加了用户层。FF分低速H1和高速H2两种通信速率,前者传输速率为31.25Kbit/s,通信距离可达1900m,可支持总线供电和本质安全防爆环境。后者传输速率为1Mbit/s和2.5Mbit/s,通信距离为750m和500m,支持双绞线、光缆和无线通信媒体,协议符合IEC1158-2标准。FF采用令牌总线工作方式,物理媒体的传输信号采用曼彻斯特编码。

基金会现场总线的主要技术内容包括FF通信协议,用于完成开放系统互联模型中第2~7层通信协议的通信栈(Communication Stack),用于描述设备特征、参数、属性及操作接口的DDL设备描述语言,用于实现测量、控制、工程量转换等应用功能的功能块,实现系统组态、调度、管理等功能的系统软件技术以及构筑集成自动化系统、网络系统的系统集成技术。目前,它几乎集中了世界上所有的主要自动化设备制造商,已成为北美和亚太地区实际上的国际标准。

2. CAN(ControllerAreaNetwork 控制局域网)

CAN是主要用于各种过程监测及控制的一种网络。它由德国BOSCH公司于1993年推出,用于汽车内部测量与执行部件之间的数据通信,是一种点对点(Peer to Peer)现场总线网络。其技术规范现已被ISO国际标准组织制订为国际标准,由于得到了Motorola、Intel、Philips、Siemens、NEC等公司的支持而被应用在分散控制领域。其模型结构只有三层,即OSI的物理层、数据链路层和应用层。通信媒体采用双绞线,在40m距离内的通信速率可达1Mbit/s,直接通信距离可达10km,速率为5kbit/s,可挂接设备数多达110个。CAN支持对等式结构,网络上的节点可设置

优先级,以满足不同的实时要求;采用非破坏性总线仲裁技术;可以点对点、点对多点以及广播方式发送及接收数据。CAN 的信号传输采用短帧结构,传输时间短,具有较强的抗干扰能力。每一帧的有效字节数为 8 个。CAN 支持多主工作方式,通过设置优先级来避免冲突;CAN 节点在错误严重的情况下,具有自动关闭总线的功能,切断它与总线的联系,避免影响总线上其他节点的操作。在 Siemens 公司的 SIBAS32 中,曾在制动控制部分的总线中采用 CAN 总线。目前已有多家公司开发了符合 CAN 协议的通信芯片,我国也有这方面的研究和应用。

CAN 总线不仅用于工业生产线、机器人等工业控制,而且还用于医疗器械、铁路、航海、航空建筑自动化等领域。由于其性能优异,价格低廉,因此很快被推广到工业测控现场,被 Honeywell 等自动化厂家广泛应用。特别是在离散制造加工领域,CAN 总线具有较强的竞争力。

3. DeviceNet

DeviceNet 是一种低成本的通信连接,也是一种简单的网络解决方案,有着开放的网络标准。DeviceNet 具有的直接互联性不仅改善了设备间的通信,而且提供了相当重要的设备级阵地功能。DeviceNet 基于 CAN 技术,传输速率为 125 ~ 500kbit/s,每个网络的最大节点数为 64 个,其通信模式为:生产者/消费者 (Producer/Consumer),采用多信道广播信息发送方式。位于 DeviceNet 网络上的设备可以自由连接或断开,不影响网上的其他设备,而且其设备的安装布线成本也较低。DeviceNet 总线的组织结构是 Open DeviceNet Vendor Association (开放式设备网络供应商协会,简称“ODVA”)。

4. 过程现场总线 PROFIBUS (Process Field Bus)

PROFIBUS 是由德国等 13 家工业企业和 5 家科研机构在联合开发项目中制定的标准化规范,是德国标准和欧洲标准。它由 PROFIBUS-DP、PROFIBUS-FMS、PROFIBUS-PA 共同形成其系列,其中 DP 用于分散外设间高速数据传输,适用于加工自动化领域;FMS 适用于纺织、楼宇自动化、可编程控制器、低压开关等;PA 是用于过程自动化的总线类型,服从 IEC1158-2 标准;通过总线供电,提供本质安全型,可用于危险防爆区域。PROFIBUS 采用了 OSI 模型的物理层、数据链路层,FMS 还采用了应用层。PROFIBUS 支持主-从系统、纯主站系统、多主多从混合系统等几种传输方式。PROFIBUS 的传输速率为 9.6kbit/s ~ 12Mbit/s,最大传输距离在 9.6kbit/s 下为 1200m;1.5Mbit/s 时为 400m;在 12Mbit/s 下为 200m;可采用中继器延长至 10km;传输媒体可为双绞线、光缆,最多可挂 127 个站点。它提供一个从传感器/执行器直至管理层的透明网络,供应完整的产品系列,从底层测控网络、工厂管理网络直至 Internet 系统集成方案,被称为风靡全球的现场总线。PROFIBUS 在欧洲占有不容置疑的特殊优势,仅从制造业自动化方面看,约占 40% 的市场份额,居欧洲之冠。在德国市场份额达 44%,在英国为 43%。

5. HART

HART 是 Highway Addressable Remote Transducer 的缩写,最早由 Rosemount 公司开发并得到 80 多家著名仪表公司的支持,于 1993 年成立了 HART 通信基金会。这种被称为可寻址远程传感器高速通信的开放通信协议,其特点是在现有模拟信号传输线上实现数字信号通信,属于模拟系统向数字系统转变的过渡产品,因而,在当前的过渡时期具有较强的市场竞争力,得到了较快的发展。其通信模型采用物理层、数据链路层和应用层三层,支持点对点主从应答方式和多点广播方式。由于它采用模拟数字信号混合,难以开发通用的通信接口芯片。HART 能利用总线供电,可满足本质安全防爆的要求,并可用于由手持编程器与管理系统主机作为主设备的双主设备系统。

6. CC-Link

CC-Link 是 Control&Communication Link (控制与通信链路)的缩写,在 1996 年 11 月,由三

菱电机为主导的多家公司推出,其增长势头迅猛,在亚洲占有较大份额。在其系统中,可以将控制和信息数据同时以 10Mbit/s 高速传送至现场网络,具有性能卓越、使用简单、应用广泛、节省成本等优点。其不仅解决了工业现场配线复杂的问题,同时具有优异的抗噪性能和兼容性。CC-Link 是一个以设备层为主的网络,同时也可覆盖较高层次的控制层和较低层次的传感层。2005 年 7 月 CC-Link 被中国国家标准委员会批准为中国国家标准指导性技术文件。

7. WorldFIP

WorldFIP 的北美部分与 ISP 合并为 FF 以后,WorldFIP 的欧洲部分仍保持独立,总部设在法国。其在欧洲市场占有重要地位,特别是在法国占有率大约为 60%。WorldFIP 的特点是具有单一的总线结构来满足不同的应用领域的需求,而且没有任何网关或网桥,用软件的方法来解决高速和低速的衔接。WorldFIP 与 FFHSE 可以实现“透明连接”,并对 FF 的 H1 进行了技术拓展,如速率等。在与 IEC61158 第一类型的连接方面,WorldFIP 做得最好,走在世界前列。

8. INTERBUS

INTERBUS 是德国 Phoenix 公司推出的较早的现场总线,2000 年 2 月成为国际标准 IEC61158。INTERBUS 采用国际标准化组织 ISO 的开放系统互联 OSI 的简化模型(1, 2, 7 层),即物理层、数据链路层、应用层,具有强大的可靠性、可诊断性和易维护性。其采用集总帧型的数据环通信,具有低速度、高效率的特点,并严格保证了数据传输的同步性和周期性;该总线的实时性、抗干扰性和可维护性也非常出色。INTERBUS 广泛地应用于汽车、烟草、仓储、造纸、包装、食品等工业,成为国际现场总线的领先者。

9. LonWorks

LonWorks 是由美国 Echelon 公司研制、于 1990 年正式公布的现场总线网络。LonWorks 技术的核心元件是具有 3 个 8 位 CPU 的神经元芯片(Neuron Chip),同时具备通信与控制功能,并且固化了 LonTalk 协议,以及 34 种常见的 I/O 控制对象。它采用了 ISO/OSI 模型中完整的七层通信协议,采用了面向对象的设计方法,LonWorks 技术将其称之为“网络变量”,使网络通信的设计简化成为参数设置。这样,不但节省了大量的设计工作量,同时增加了通信的可靠性。其最高通信速率为 1.25Mbit/s(有效通信距离为 130m),最远通信距离为 2700m(双绞线,通信速率为 78kbit/s),节点总数可达 32000 个。网络的传输媒体可以是双绞线、同轴电缆、光缆、射频、红外线、电力线等,针对不同的通信媒体有不同的收发器和路由器。利用 LON-WEB 网关,可连接 Internet。LonWorks 采用了可预测的 CSMA,称为 Predictive P-Persistent CSMA。这样,在网络负载很重时,不会导致网络瘫痪。LonWorks 的信号传输采用可变长帧结构。每帧的有效字节为 0 ~ 288 个。

LonWork 技术发展经历的几个重要阶段如下:

- 1) 1990 年,发明 LonWorks 技术、LonTalk 协议。
- 2) 1993 年, LonMark 互操作协会成立。
- 3) 1997 年, LNS 网络操作系统体系结构。
- 4) 1999 年, 协议成为 ANSI/EIA-709.1 标准。
- 5) 2001/2002 年, LonWorks/IP 路由技术 PLT-22 电力线以及双绞线成为 ANSI/EIA-790.2/3 标准。
- 6) 2002 年,第 3 代工具——NodeBuilder3 问世。
- 7) 2006 年 LonWorks 技术成为中国国家标准指导性技术文件 GB/Z 20177—2006。

此外较有影响的现场总线还有丹麦公司 Process-Data A/S 提出的 P-Net,该总线主要应用于农业、林业、水利、食品等行业;SwiftNet 现场总线主要使用在航空航天等领域;还有一些其他

的现场总线这里就不再赘述了。本书将着重介绍它们的杰出代表——LonWorks 总线技术。

1.1.3 LonWorks 现场总线

LonWorks 控制网络是当前最为流行、通信能力较强的一种现场总线,它由美国 Echelon 公司推出并与 Motorola、Toshiba 公司共同倡导而形成。该技术包括 Echelon 公司设计的神经元芯片(内嵌装有 LonTalk 协议的固件)及相应的收发器、路由器、网络管理工具及开发系统等。由这一套产品设计的各控制器件完全可进行互联,组网及维护十分方便。

LonWorks 的核心神经元芯片实现了 LonTalk,同时具有通信和控制功能,提供了 34 种常见的 I/O 控制对象,工作温度范围宽($-40 \sim 85^{\circ}\text{C}$);LonWorks 控制网络的信号传输媒体可为双绞线、电力线、无线、红外线、光缆,支持总线型、环型、自由拓扑型等网络拓扑形式,网络收发器有直接驱动、EIA-485 型、变压器耦合接口三种形式,满足了不同要求;同时传输信号采用差分曼彻斯特编码,使网络具有很强的抗干扰能力。在采用双绞线、波特率为 78kbit/s 的通信网时的直接通信距离可达到 2700m,加上功能强大的硬件支持,很容易在一定的空间范围内构成功能复杂的智能网络系统;LonWorks 控制网络的媒体访问控制(MAC)采用了可预测 P 保持 CSMA(Predictive P-Persistent CSMA)技术,使得在网络超载时仍能保持很高的吞吐量;网络结构采用对等式,具有配套的节点、路由器、网关等设备的开发、调试和安装设备,集成化的开发环境使得系统的开发调试简单易行,可实现网络的离线、在线设计、在线调试或通过 IP 网的远程调试。LonWorks 控制网络采用了面向对象的设计方法,应用编程时不用花时间考虑通信部分的繁琐编程,使网络通信的设计简化为参数设置;加上 Echelon 推出的 LNS/LCA 技术,可使用用户在其基础上很容易开发出自己的网络管理工具和网络接口,这样极大地减少了网络设计的工作量,而且它具有集成化的开发环境,易于开发、安装和调试,开放式的系统设计易于实现网络的扩展和升级。同时 LonTalk 协议解决了网络过载的冲突及响应问题,采用的报文鉴别服务增加了通信的可靠程度。

LonWorks 是一个开放的标准,它使得 OEM 厂商可以生产出更好的产品,系统集成商可以借此来创建基于多厂商产品的系统,最终为规范制定人员和业主提供更高的可选择性。LonWorks 网络系统的规模,可以从只有几个节点构成的微小单元到集成成千上万个节点涵盖全球的庞大网络体系。在全世界,目前有 4500 多家厂商生产开发基于 LonWorks 技术的产品,在中国从事 LonWorks 技术研发、集成的单位也有上百家。Echelon 公司提供一整套的产品,来帮助客户开发基于 LonWorks 的产品和集成基于 LonWorks 的系统。它们包括开发工具、收发器和智能收发器、模块、网卡、路由器、互联网服务器、LNS 软件和企业级的平台软件 Panaromix。目前,各系统集成商为在技术上支持 LonWorks 总线标准,也成立了独立于各制造商、非赢利、国际性的行业协会 LonMark(总部设在美国加州)。

LonWorks 全分布式智能控制网络技术被广泛用于工业控制、楼宇自动化、家电自动化、电力监控等各领域。在目前现场总线技术尚未形成统一标准的情况下,LonWorks 技术十分出色,已被欧美许多厂商使用。它是一套开放式架构,各 LonWorks 产品可直接互联,易于扩展。

LonWorks 网络控制在控制系统中引入了网络的概念,在该技术的基础上,可以方便地实现分布式的网络控制系统,并使得系统更高效、更灵活、更易于维护和扩展。具体有以下显著特点:

(1) 系统的开放性 开放系统是指通信协议公开,各不同厂家的设备之间可进行互联并实现信息交换,网络协议完整,任何制造商的产品都可以实现互操作。该技术提供的 MIP(微处理器接口程序)软件允许开发各种低成本网关,方便了不同系统的互联,也使得系统具有高的可

靠性。现场总线开发者就是要致力于建立统一的工厂底层网络的开放系统。这里的开放是指对相关标准的一致、公开性,强调对标准的共识与遵从。一个开放系统,它可以与任何遵守相同标准的其他设备或系统相连。一个具有总线功能的现场总线网络系统必须是开放的,开放系统把系统集成的权利交给了用户。用户可按自己的需要和对象把来自不同供应商的产品组成大小随意的系统。

(2) 可互操作性与可互换性 这里的可互操作性,是指实现互联设备间、系统间的信息传递与沟通。而可互换性则意味着不同生产厂家的性能类似的设备可进行互换而实现互用。

(3) 对现场环境的适应性 工作在现场设备的前端,作为工厂网络底层的现场总线,是专为在现场环境工作而设计的,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,能采用两线制实现送电与通信,并可满足本质安全防爆要求等。

(4) 分布式处理 网络上的每个设备都不依赖于其他设备,都是独立地接收、发送和处理网络信息。这意味着 LonWorks 控制网络上的每个设备都可以进行决策和信息处理,而不依赖于计算机、PLC 或其他形式的中央处理器。消除中央处理器意味着减少 LonWorks 控制网络的总成本。由于个别设备的故障并不会影响网络中其他部分的工作,也使得 LonWorks 控制网络更加可靠,但如果是 PLC 或中央处理器出现故障就会造成控制网络的其他部分不能正常工作。

除上述特点外, LonWorks 控制网络本身就是一个局域网,和 LAN 具有很好的互补性,又可方便地实现互联,易于实现更加强大的功能。LonWorks 以其独特的技术优势,将计算机技术、网络技术和控制技术融为一体,实现了测控和组网的统一,而其在此基础上开发出的 LonWorks/IP 功能将进一步使得 LonWorks 网络与以太网更为方便地互联。

LNS (LonWorks Network Services) 是用于 LonWorks 技术开发和应用的功能强大的网络操作系统。它基于 Client/Server 结构,采用面向对象的方法管理网络设备,为网络管理和 HMI 建立提供了有效的手段。

为严格保证各 LonWorks 产品的互操作性, LonMark 可互操作协会致力于推行 LonMark 互操作性标准。LonMark 互操作协会是由 Echelon 和一些致力于建立互操作产品的 LonWorks 用户在 1994 年建立的。互操作性是指来自同一个或不同制造商的多个设备能够集成在一个控制网络内,而不需要进行任何用户节点或网络工具的开发。LonMark 协会致力于制定互操作标准、对产品是否符合标准进行认证以及提高互操作系统的性能。用户遵照 LonMark 可互操作设计指南,采用符合 LonMark 可互操作规范的器件(通信媒体、收发器及其相关的信道参数等),再经过可互操作测试,便可开发出基于 LonWorks 的可互操作产品。

与其他现场总线相比, LonWorks 总线技术还具有下列明显的独特优势:

1) 使控制网络结构简单、布线容易、更改方便,并可灵活地采用自由拓扑结构,选择双绞线、电力线或其他通信媒体混合使用,在许多场合可以避免重新布线。

2) 容易对各种监控系统,如设备和设施监控系统、环境监控系统、安防系统、火灾报警系统等,按照应用要求进行互联,实现系统总集成,使各系统之间按要求实现联动和信息共享。

3) 容易与管理微机局域网络实现联网和信息共享。

4) 可通过互联网在全世界的任何角落实现设备的远程配置、监控和管理,有助于全局的集中管控,包括设备的远程监测、远程控制和远程诊断。

5) LonWorks 的互操作性保证总体规划和分步实施能顺利实现。系统设计和实施的各个阶段采用统一的平台,统一的协议,统一的工具,而分步实施过程中的各个系统设备可以根据市场情况及性能价格比灵活选择。

6) 遥信、遥测、遥控、遥调、设备监控与设施监控可以采用同一控制网络平台,有利于系统的实施、管理和维护。

7) LonWorks 的通信协议 (即 LonTalk 协议) 已成为许多国家和国际标准化组织采纳的控制网络通信协议的标准。也是我国国家标准化委员会制订的《建筑及居住区控制网络通信协议应用要求》国家标准首选的参照标准。其开放性和互操作性保证了系统的标准化、可持续发展和建设, 以保证投资者的长期利益。

8) LonWorks 功能强大的网络管理服务体系, 使网络配置、管理、监控、维护非常方便, 适用于各种不同类型的应用和不同规模的控制网络。

9) LonWorks 完备的开发工具适合各种不同的开发要求, 使开发者很容易掌握和使用, 以最快的速度开发出产品。

10) LonWorks 备有成套的培训教材和课程设置体系, 内容涉及各种技术层面, 可对教师和学生以及广大用户进行有针对性的、系统的培训。

LonWorks 网络系统由智能节点组成, 每个智能节点可具有多种形式的 I/O 功能, 节点之间可通过不同的传输媒体进行通信, 并遵守 ISO/OSI 的 7 层模型。LonWorks 技术是诸多现场总线中唯一涵盖 Sensor Bus、Device Bus 和 Field Bus 三种应用层次的总线技术; 是目前各种现场总线中技术最完整、应用领域最广的一种技术。LonWorks 作为一个完整的控制网络平台, 包括网络的设计、开发、安装和调试、监控等一整套工具, 以及神经元芯片、智能收发器、网络接口、路由器、中继器、IP 网络连接设备、网络操作系统等一整套完整的端到端解决方案, 其核心技术是神经元通信控制微处理器芯片和 LonTalk 通信协议。

互联网的出现开创了人机对话、数字网络通信的新时代; LonWorks 等现代网络技术的出现开辟了自动控制技术的新纪元, 它能使所有现场设备方便快捷地联网通信, 利用互联网上的计算机可在世界任何角落对现场设备进行人机对话和远程智能遥控, 是当代机电一体化和计算机技术的最高端应用和最前沿发展领域, 隶属于当代高新技术范畴。

1.1.4 LonWorks 设备控制网和 TCP/IP 数据网络

互联网应用的普及, 在控制网络领域同样也带来巨大的冲击。因此一些专家已把 IP 深入到设备的应用当作未来控制网络发展的趋势。但是, 由于 TCP/IP 是一个数据网络技术, 因此在一些方面并不能完全满足控制网络的需求:

1) TCP/IP 协议体系没有对物理层的定义, 满足不了某些特定场合的要求, 例如对欧洲电磁防护的要求。

2) 当使用集线器的方式来连接网络时, 集线器就形成了单点故障瓶颈, 且提供不了多点复用的信令方式。

3) 如果要求 TCP/IP 支持多种通信媒体, 那么需要非常昂贵的投入来实现。

4) 对于一些特殊的应用场合, 如要求数据和电源一起传输, 没有标准的解决方案。

5) 对于要求 TCP/IP 适合工业温度范围要求的情况, 可能导致成本较高。

为此, 能有效利用 TCP/IP 网络的便利性的最佳方案是, 将现有的控制网络协议如 LonWorks 技术的 ANSI709 协议和 TCP/IP 有机地集成在一起。这样做的好处是:

1) ANSI 709.1 协议是一个经过实践检验的标准协议, 数量巨大的基于该协议的设备目前在世界各地运行, 这是其他任何控制网络所没有达到的规模。

2) 有超过 4500 家产商使用该协议来开发产品, 具有巨大的市场规模。

3) 支持 ANSI 709.1 协议的收发器具有高性能、低价格的特点, 支持各种通用的传输媒体, 如双绞线、电力线、光缆、无线、红外等, 且支持数据和电源同时传输的方式。

4) ANSI 709.1 协议是一个完整的解决方案, 包括协议芯片和全面的网络管理体系结构、路