



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

Computer Control Network



计算机控制网络

刘建昌 周玮 王明顺 编著

清华大学出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

Computer Control Network

计算机控制网络

刘建昌 周玮 王明顺 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书主要介绍在工业自动化系统中广泛使用的计算机控制网络理论与技术,主要内容包括:计算机控制网络的基础—通信理论基础、RS-485 通信标准、OSI 参考模型、现场总线体系结构;计算机控制网络的延伸—网络交换技术、路由技术、递阶分布式控制系统、工业以太网技术;计算机控制网络的共存技术—网络互联、因特网、总线通信协议转换器等具有代表性的网络新技术。重点分析了应用不同网络媒体访问技术的计算机控制网络,包括 CAN 现场总线、CC-Link 现场总线、ControlNet 现场总线的工作原理;同时给出了大量工业生产实践中计算机网络控制系统的应用实例。

本书内容精练,概括了计算机控制网络的主要内容与基本概念、基本理论和基本方法,既对出版的同类教材有一定的继承性,又能适应控制理论、控制技术新的发展和专业培养的要求。

本书适合作为高等院校自动化及其相关专业的教材,也可作为相关科研和工程技术工作者的参考书。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

计算机控制网络/刘建昌,周玮,王明顺编著. —北京:清华大学出版社,2006.10

(普通高等教育“十一五”国家级规划教材)

ISBN 7-302-13829-X

I. 计… II. ①刘… ②周… ③王… III. ①计算机控制系统 ②计算机网络 IV. ①TP273 ②TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 110572 号

出 版 者:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 客户服务:010-62776969

组稿编辑:曾 洁

文稿编辑:霍志国

印 装 者:清华大学印刷厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:18.75 字数:445 千字

版 次:2006 年 10 月第 1 版 2006 年 10 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-13829-X/TP·8318

印 数:1~3000

定 价:29.00 元

前 言

基于现场总线技术发展起来的计算机控制网络,不但扩大了控制的区间和物理半径,而且提供了新的控制理论的实践平台,为控制系统的结构变化、控制理论的变革和控制方法及手段的创新开辟了新的领域,为控制理论的发展起到了积极的推动作用,同时也提出了新的要求。掌握网络控制理论与技术,设计并熟练操作控制网络设备,已成为自动化及其相关专业人才培养的急切需求。本书正是为了适应计算机控制网络理论与技术的不断发展,满足自动化等专业教学及相关领域科学研究的需要,在东北大学《现场总线控制技术》讲义及作者多年科研和教学实践的基础上,按照自动化及其相关专业学生培养目标及教学改革的要求而编写的。

计算机控制网络是一门应用科学,只有深入学习、积极应用才能理解其精髓。本书介绍了 OSI 参考模型与现场总线体系结构,RS-485 通信,并以 CAN 现场总线、CC-Link 现场总线、ControlNet 现场总线为例,详细分析了数据链路层媒体访问技术和不同现场总线之间的本质区别,同时以“工业以太网”为核心,阐述了不同网络互联和总线通信转换协议。此外,还给出了大量生产实践中网络控制系统的应用实例。读者通过学习本书,不仅能打下比较扎实的计算机控制网络知识的基础,建立系统的计算机控制网络知识体系结构,而且能达到举一反三、融会贯通,针对新出现的不同网络模式无师自通。

本书对课程相关内容进行了必要的整合和梳理,尽量避免讲授内容的重复。考虑学生后续选学知识模块的不同,对涉及专业模块的基本知识,也从应用的角度做了论述,对于培养学生的实践能力和培训工程技术人员具有特别重要的意义。

本书在编写过程中,笔者所在单位东北大学自动化研究所的领导及同仁给予了热情的关怀和指导,同时,曲睿、王源、李林一和沈洪洋等同学为书稿做了大量的录入、编辑工作,他们为此书的出版付出了辛勤的劳动。在此,对给予我们大力支持的老师、同学以及所引用参考文献的各位作者表示诚挚的谢意。

由于编著者水平有限,经验不足,对教材内容的取舍把握可能不够准确,书中缺点和错误在所难免,恳请广大读者批评指正。

编著者
2006 年 6 月

目 录

第 1 章 控制网络概述	1
1.1 信息网络与控制网络	1
1.2 控制网络的应用背景	2
1.3 IEC 61158 现场总线标准简介	4
1.4 典型现场总线简介	6
1.4.1 IEC 61158 技术规范	6
1.4.2 ControlNet 现场总线	7
1.4.3 Profibus 现场总线	8
1.4.4 P-NET 现场总线	9
1.4.5 H2-HSE 现场总线	11
1.4.6 Swiftnet 现场总线	12
1.4.7 WorldFIP 现场总线	12
1.4.8 Interbus 现场总线	13
1.4.9 IEC 62026 现场总线标准简介	15
1.5 工业生产过程对现场总线的要求	17
1.5.1 现场总线的基本功能	18
1.5.2 现场总线的实时性能	18
1.5.3 现场总线的结构	19
1.6 递阶分布式控制系统	20
第 2 章 数据通信理论基础	23
2.1 数据的同步与异步传输	23
2.1.1 同步传输	23
2.1.2 异步传输	24
2.1.3 通信方式举例	25
2.2 数据的编码与传输方式	26
2.2.1 数据的编码	26
2.2.2 数据的传输	28

2.3	网络拓扑结构与传输介质	30
2.3.1	拓扑结构	30
2.3.2	传输介质	32
2.4	点对点通信与广播式通信	35
2.4.1	点对点通信	35
2.4.2	点对点式网络	36
2.4.3	广播式网络	36
2.5	数据帧的同步方式	36
2.5.1	字节计数法	36
2.5.2	使用字符填充的首尾定界符法	37
2.5.3	使用比特填充的首尾定界符法	37
2.5.4	违法编码法	37
2.6	数据检错方法	37
2.6.1	奇偶校验码	38
2.6.2	循环冗余码	40
2.7	数据纠错方法	43
2.7.1	汉明码的概念	43
2.7.2	汉明码的生成与接收求解举例	43
2.8	差错控制	44
2.8.1	差错产生的原因	44
2.8.2	差错控制概念	45
2.8.3	差错控制方法	45
2.9	流量的控制与滑动窗口协议	48
2.9.1	滑动窗口机制	48
2.9.2	流量控制	49
2.10	网络交换技术与路由技术	50
2.10.1	网络交换技术	50
2.10.2	路由技术	55
2.11	通带传输与多路复用技术	59
2.11.1	通带传输	59
2.11.2	多路复用技术	60
第3章	OSI参考模型与现场总线体系结构	62
3.1	网络协议与层次	62
3.1.1	网络协议	62
3.1.2	网络体系结构及其划分所遵循的原则	62
3.2	OSI/RM层次模型	63
3.2.1	OSI的历史	63

3.2.2	OSI 层次模型	64
3.3	服务类型与服务原语	66
3.3.1	传输层在 OSI 中的地位和作用	66
3.3.2	传输服务	66
3.3.3	服务质量	67
3.3.4	传输层协议等级	68
3.3.5	传输服务原语	68
3.4	OSI 模型中的传输过程	69
3.4.1	OSI 模型中数据的实际传递过程	69
3.4.2	数据链路控制协议	69
3.4.3	关于网络安全和保密	76
3.5	现场总线体系结构	76
3.5.1	现场总线的结构特点	76
3.5.2	现场总线的体系结构	77
3.5.3	现场总线的技术特点	78
第 4 章	RS-232 和 RS-485 通信	80
4.1	串行通信基础	80
4.1.1	传输位率与通信线长度之间的关系曲线	80
4.1.2	单端线路驱动器与接收器	81
4.1.3	差分线路接收器	82
4.1.4	平衡驱动与差分接收	82
4.2	通用异步串行通信接口	82
4.2.1	RS-232C 的技术条件	83
4.2.2	RS-232C 的端口定义及连接	83
4.2.3	硬件接口电路设计	85
4.3	RS-485 通信标准	87
4.3.1	RS-485 网络结构及通信控制	87
4.3.2	RS-485 网络的电压偏置	88
4.3.3	RS-485 网络的终端匹配	89
4.3.4	RS-485 网络抗干扰与保护	89
4.3.5	RS-485 接口芯片与微控制器的连接	91
4.4	嵌入式控制系统通信软件设计	91
4.4.1	RS-232 通信软件设计	91
4.4.2	RS-485 通信软件设计	94
4.4.3	通信“软件狗”监测定时器设计	96

第 5 章 典型现场总线解析	98
5.1 常用现场总线媒体访问控制技术	98
5.1.1 载波监听、多路存取/冲突检测	98
5.1.2 令牌总线	101
5.1.3 主从媒体访问控制	105
5.1.4 总线竞争的仲裁规则	106
5.2 CAN 总线的工作原理	106
5.2.1 CAN 总线数据链路控制	107
5.2.2 CAN 总线的基本性能	108
5.2.3 CAN 总线的基本概念	108
5.2.4 CAN 总线的位同步与帧同步	111
5.2.5 CAN 总线的仲裁规则	113
5.3 CAN 总线的结构特点	114
5.3.1 CAN 的分层结构	114
5.3.2 LLC 子层功能	115
5.3.3 MAC 子层功能	115
5.3.4 MAC 子层结构	116
5.3.5 网络间 LLC 层和 MAC 层之间的相互关系	120
5.3.6 CAN 总线的管理机制	121
5.4 CAN 总线的应用实例	122
5.4.1 CAN 结点构造	122
5.4.2 SJA1000	123
5.4.3 TJA1050	126
5.5 CC-Link 总线的工作原理	127
5.5.1 CC-Link 现场总线 MAC 层协议	128
5.5.2 CC-Link 现场总线支持的传输类型	130
5.6 CC-Link 总线的结构特点	131
5.6.1 CC-Link 现场总线帧的基本格式	131
5.6.2 CC-Link 现场总线系统的优化	132
5.7 CC-Link 总线的应用实例	134
5.7.1 平台的组成	134
5.7.2 站的设定(以 X 轴为例)	135
5.7.3 运动过程	136
5.8 ControlNet 总线的工作原理	137
5.8.1 通信模式与 MAC 帧的结构	137
5.8.2 并存时间多路存取(CTDMA)技术	138
5.9 ControlNet 总线的结构特点	140

第 6 章 现场总线应用层的研究与设计	141
6.1 现场总线应用层的功能	141
6.2 基于 CAN 总线的 CANOpen 协议解析	142
6.2.1 CANOpen 的通信对象	142
6.2.2 标识符的地址分配	143
6.2.3 CANOpen 的通信模式	144
6.3 CANOpen 最小系统	145
6.3.1 CANOpen 的网络管理——初始化和具体操作	146
6.3.2 CANOpen 的网络管理——执行	147
6.3.3 CANOpen 的结点保护	148
6.4 CANOpen 中的数据通信对象的比较	148
6.4.1 过程数据实体转换方式	149
6.4.2 CANOpen 的过程数据实体举例	149
6.4.3 PDO 的重新配置	149
6.4.4 PDO 的传送方式	150
6.4.5 PDO 的禁止时间	151
6.5 基于 CAN 总线的 DeviceNet 应用	151
6.5.1 通信适配器硬件系统设计	151
6.5.2 通信适配器软件系统设计	152
第 7 章 网络控制系统和工业以太网	154
7.1 网络控制系统	154
7.1.1 网络控制系统的局限性	155
7.1.2 网络控制系统的评价标准	156
7.1.3 网络控制系统中的数据特性	156
7.1.4 网络控制系统中信息的延迟	157
7.1.5 网络控制系统中的数据特征	158
7.2 基于网络控制的多 Agent	159
7.2.1 网络控制系统理论概述	159
7.2.2 Agent 概念的发展	159
7.2.3 Agent、智能 Agent 和多 Agent 的关系	160
7.2.4 基于“黑板”结构的网络数据共享	160
7.3 网络控制技术解析	162
7.3.1 主导技术	162
7.3.2 辅助技术	163
7.3.3 几种常用协议的技术构成	165
7.4 工业以太网与 TCP/IP 协议	166

7.4.1	工业以太网	166
7.4.2	TCP/IP 协议	172
7.5	网络互联与因特网	180
7.5.1	网络互联的概念	180
7.5.2	网络互联的任务	182
7.5.3	网络互联中的路由选择与分段	182
7.5.4	网络互联设备	183
7.5.5	从网络互联到因特网	185
第 8 章	网络控制系统实例剖析	189
8.1	基于扩频技术的无线网络应用	189
8.1.1	问题的提出	189
8.1.2	扩频通信原理及组建无线专网系统的优势	189
8.1.3	海岛间无线网络工程建设	196
8.2	基于 CAN 总线的网络电子天平	201
8.2.1	双向加力式电子天平的基本原理	202
8.2.2	模拟电路闭环调节系统分析	203
8.2.3	双向加力式电子天平的工作原理	205
8.2.4	双向加力式电子天平的总体设计	206
8.2.5	网络电子天平	208
8.3	卡机联动加油机通信模式解析	210
8.3.1	IC 卡加油计算机网络系统	210
8.3.2	加油站管理控制子系统	210
8.3.3	卡机联动加油机	211
8.3.4	卡机联动加油机通信协议举例	212
8.3.5	卡机联动加油机通信模式的选择	218
8.3.6	需要加强的问题	218
8.4	RS-232 接口通信协议转换器设计	219
8.4.1	RS-232/RS-485 通信协议转换器	219
8.4.2	RS-232/CAN 总线协议转换器	223
8.5	选矿厂监控系统设计	224
8.5.1	计算机监控系统硬件设计方案选择	224
8.5.2	系统总体硬件组成	224
8.5.3	主要监控任务简介	225
8.5.4	下位机电路的设计	225
8.5.5	通信接口设计	227
8.5.6	系统采用的硬件抗干扰技术	228
8.5.7	通信协议设计	231

8.5.8 下位机软件设计	233
8.5.9 智能诊断程序设计	240
8.5.10 开关量数字滤波程序设计	241
8.5.11 软件抗干扰技术	243
8.6 基于 CAN 总线的楼宇设备控制系统设计	244
8.6.1 系统结构及硬件设计	244
8.6.2 通信结点软件设计	248
8.6.3 上位机基本操作界面介绍	250
8.7 异步路由在工业城域网中的应用	251
8.7.1 网络城域化的需求	251
8.7.2 异步路由的应用	251
8.7.3 通信服务器用作异步路由	251
8.7.4 异步路由应用举例	252
8.8 基于多 Agent 的多机械手协调工作控制	253
8.8.1 问题的提出	253
8.8.2 各 Agent 的控制要求	254
8.8.3 多 Agent 间的互联结构	255
8.8.4 多机械手的协调工作控制	256
第 9 章 本钢冷轧网络系统	260
9.1 本钢冷轧系统概述	260
9.2 JISNET 以太网下的过程/管理自动化	261
9.2.1 Ethernet 的几个概念	262
9.2.2 JISNET 网络简介	262
9.2.3 以太网/JISNET 网络结构	263
9.2.4 以太网/JISNET 网在冷轧系统中的应用	264
9.3 Optobus 光纤网下的基础自动化	268
9.3.1 Optobus 网络结构	269
9.3.2 Optobus 网络主要设备	272
9.4 CAN 总线下的设备层网络	278
9.4.1 CAN 总线与 MV900 变频器的数据交换	279
9.4.2 HPCi80 CAN232 通信卡	281
9.4.3 CAN 总线接口及接线	281
9.4.4 CAN 总线在检查台控制中的应用	283
9.4.5 HPCi80 工控机与 CAN 总线的的数据交换	284
9.4.6 检查台 GE90-70 与 HPCi80 之间的数据交换	284
参考文献	286

第 1 章 控制网络概述

1.1 信息网络与控制网络

现代分布式系统是大量的设备按照某种操作要求,通过传输媒体相互连接起来的系统。其涉及的领域非常广泛,例如,工业自动化网络、楼宇自动化网络、办公和家庭自动化网络、智能交通调度系统等。根据网络上交换信息的类型,这些网络可分为两种,即控制网络和信息网络。

一般来说,信息网络的特点是数据包大,发送频率相对较低,经常是瞬间传送大量数据,要求以高传送速率来传输数据比较大的文件,信息网络对实时性没有苛刻的要求。相对来说,控制网络对实时性要求高,它往往在许多结点之间以高频率地发送大量比较小的数据包来满足实时性的要求。因此,区分信息网络和控制网络的关键因素是网络是否具有支持实时应用的能力。

另外,控制网络要求数据的确定性和可重复性。确定性是指数据有限制地延迟和有保证地传送,也就是说,一个报文能否在可预测的时间里成功发送出去。从传感器到控制器的报文不成功的传送或者不可接受的延迟都会影响网络的性能。可重复性是指网络的传输能力不受网络上结点的动态改变(增加或者删除结点)和网络负载改变的影响。对于离散和连续控制的应用场合均有对网络传输数据确定性和可重复性的功能要求。

应用于工业生产控制过程的控制网络——工业控制网络完整地实现了控制技术、计算机技术与通信技术的集成,具有以下几项技术特征:

(1) 现场设备成为以微处理器为核心的数字化设备,彼此通过传输媒体(双绞线、同轴电缆或光缆等)以总线拓扑模式相连。

(2) 网络数据通信采用基带传输(即数字数据的数字传输),数据传输速率高(1Mb/s 或 10Mb/s),实时性好,抗干扰能力强。

(3) 废弃了集散控制系统(DCS)中的 I/O 控制站,由通信网络来完成这一功能。

(4) 分散的功能模块,便于系统维护、管理与扩展,提高了系统可靠性。

(5) 开放式互联结构,既可与同层网络相连,也可通过网络互联设备与控制级网络或管理信息级网络相连。

(6) 互操作性。在遵守同一通信协议的前提下,可将不同厂家的现场设备产品统一组态,构成所需要的网络。

有许多网络协议被提出来满足控制网络的要求。这些协议有以太网(Ethernet, IEEE 802.3 CSMA/CD),令牌总线(token bus, IEEE 802.4),令牌环(token ring, IEEE 802.5),控制器局部网(CAN, CSMA/AMP)。控制网络一般基于CAN协议(如智能分布式系统, smart distributed system; 设备网, DeviceNet; CAN Open)和令牌协议(如过程现场总线, Profibus PA; 制造自动化协议, manufacturing automation protocol; 控制网, ControlNet; 分布式光纤数据接口, fiber distributed data interface)等。

1.2 控制网络的应用背景

在信息网络中,我们的主要任务是将大量的信息在网络上传输,达到资源共享的目的。在这过程中,强调网络的连通性和网络的稳定性。在控制网络中,我们的主要任务是将控制信息在网络上传输,达到系统同步或控制的目的。这里强调信息传输的实时性、网络的可靠性和控制信息的确定性。

下面以军事对抗中的防空火炮网络为例,理解控制网络的特点。

为了提高防空能力,实现对入侵飞行物的有效拦截,常采用防空火炮网络用于实战,即统一控制下的防空火炮集中速射。首先,为了保证网络的可靠性,在网络的物理传输层要考虑采用无线介质、有线介质及有线/无线转信等多种冗余措施。其次,由于每门防空火炮可单发,也可一次发2~3枚炮弹或3~4枚炮弹,这要实现多门防空火炮齐发、齐停。一旦发现目标接近,炮位控制装置接到的数字控制命令经解调器、串并转换后到比较器与标准数字命令(允许击发码)进行比较,如相同,则由控制驱动电路控制继电器动作,防空火炮上的电磁阀启动,完成电击发控制,进行防空火炮的弹幕射击,形成弹体防空拦截网。

这里,网络设计的关键是:如何提高击发的正确性和降低防空火炮的错误击发的概率。一般认为,正确击发的概率达到99%,就可以满足要求。实际上,正确击发的概率为99%时,意味着拥有6门炮的一个阵地指挥员连续下达17次指令时,就有一门炮可能漏击发一次;但无限提高正确击发的概率又将使电路设计过分复杂,而且错误击发的概率也将增加。另外,要求100%的正确击发也不可能。对错误击发概率的确定也是一样的。绝对不错误击发是不能实现的,但可以将误击发的概率降低到可以承受的范围內。

若采用频移键控调制解调器完成击发信号的产生和击发,控制电路设计目标为:误击发概率 $\leq 10^{-9}$,正确击发概率为0.9998;在信噪比为12dB时,码元的误码率 $P_e = 1/2e^{-r/2} = 1.2 \times 10^{-3}$ 。此指标说明,一门炮在指挥员下达10 000次指令中,最多漏击发两次。6门炮齐发,意味着指挥员下达1000次指令时,有一门炮可能漏击发一次,下达2000次指令时,有一门炮可能漏击发两次。

频移键控调制解调器速率为600b/s时,发送1位所需时间为 $1/600 = 1.6 \times 10^{-3}$ s, ($10^9 \times 1.6 \times 10^{-3} = 1.6 \times 10^6$ s),从而 $1.6 \times 10^6 / 3600 / 24 = 18.5$ 天。也就是说,一门炮24h连续工作,18.5天可能出现一次误击发。若指挥员从准备指令到击发指令下达的时间取500ms,则 $1.6 \times 10^6 / 0.5 = 3.2 \times 10^6$ 次,即指挥员下达 3.2×10^6 次指令,一门炮可能出现一次误击发。

根据上述电路设计目标,然后对击发信号码长,相关器门限及相关码的分析、选择和编、解码进行研究。

在上述防空火炮拦截低空飞行的巡航导弹实例中,炮群击发信令的纠错编码性能指标对信息传输中的帧格式、传输速率以及通信模式都提出了确定的要求。如果用传统的以太网方式,由于网络速度和通信模式的限制,一旦发生网络阻塞或传输错误,就可能导致整个网络的瘫痪或延时。即使采用了某些现场总线技术,如果没有考虑在敌我双方对峙状态下的电子对抗,炮群击发信令的纠错编码性能指标也不一定能够完成。那么,不但将使炮群击发信令的纠错编码性能指标的数学基础失去实际意义,而且性能指标也将无法实现。只有采用满足指标的现场总线搭建的控制网络,才能成为可靠的系统应用平台。正是由于控制网络的特殊性质,信息网络的连通性和网络的稳定性已经不再适应实际需求,需要新的理论基础。

再举几个例子。无轴传动技术是一个新兴的技术,无论是在凸印(柔性版)、平印(卷筒纸印刷机)还是凹印(塑料凹印)中都有广泛的应用。在需要多色套印,即多个印刷布(机组)协调工作时更是如此。无轴驱动是相对有轴驱动而言的,通常也称为独立驱动等。它的兴起是随着人们对印刷的各种要求而产生的。

有轴驱动的印刷,传动系统均是以主电机为动力源,通过一系列的传动副动力按照要求分配到各个机组和运动机构上。对于多机组印刷机,其各个机组动力均来自传递主机动力的长轴,而机组内各运动机构的动力主要采用齿轮、链轮等传动副传动。

无轴驱动的形式是多种多样的,从机组的无轴驱动到各滚筒及主要传动轴的无轴驱动。所谓无轴驱动是指每个机组,甚至是每个滚筒或辊子的动力驱动是相互独立的。它们分别由各个独立的电机按照程序指令驱动,以满足特定运转速度、运转精度及印刷工艺要求。各电机之间则由一定的控制算法透过控制网络进行跟踪和平衡。这样就要求控制网络有很好的可靠性、实时性,以满足生产工艺的要求。

又如,在液压多工位 CNC 数控冲床中应用网络控制技术:使用基于现场总线的控制器透过两个独立的伺服电机同步控制两个丝杠,完成工件定位;使用基于现场总线的两个控制器透过各自对应的伺服电机控制上下转塔实现随动控制。

在制造业中,这些使用多控制器的实例,去掉了原来由齿轮啮合、皮带链条传动带来的噪声、能耗和误差,减少了机床磨损,增强了机床控制精度,提高了产品质量和劳动生产率。

另外,在汽车、保安监控、PLC 集散控制等其他领域对网络的可靠性、实时性和多主性能的要求也越来越高。工业控制网络充分适应了这种要求,这也是它优于传统以太网和其他网络的重要之处。

以上这些例子从不同的侧面说明:控制网络的发展使网络理论向更广的层次发展,同时也为控制理论带来了新的课题。

可以预计,随着计算机控制网络技术的深入发展,工业现场总线作为控制系统的“神经网络”将成为分散孤立的自动化系统的纽带,这不仅在形式上打破了“自动化孤岛”的现状,而且也吹响了工业控制系统结构的变化、控制理论变革和控制方法及手段创新的号角。网络技术正在为工业领域带来一场新的革命,它对于控制理论和控制方法发展的影

响,对于自动化学科的影响,怎样估计也不会过高。

掌握工业现场网络理论与技术,设计并熟练操作控制网络设备,正在成为自动化专业及其相关专业专业人才的一个重要技能。

1.3 IEC 61158 现场总线标准简介

随着计算机网络技术的迅速发展,由全数字现场控制系统代替数字与模拟分散型控制系统已成为工业自动化控制系统结构发展的必然趋势。以现场总线为基础的全数字控制系统是当今世界业界关注的热点课题。中国自 20 世纪 80 年代后期即开始研究将现场总线技术作为今后工业过程控制技术的主流,以跟上国际自动化控制技术的发展。1996 年,现场总线技术的研究和产品开发正式被列为国家“九五”重点科技攻关项目。

目前,市场上正在应用的各种现场总线有数十种,主要归类在两个标准族:一个为 IEC/SC65C 的 IEC 61158 标准;另一个为 IEC 17B 的有关低压开关设备与控制设备、控制器与电气设备接口的 IEC 62026 标准。但从标准的内容看,该标准已与人们最初的期望大相径庭。实践证明,统一的 TCP/IP 协议使得因特网高速发展,统一的超级 VCD 标准解决了 CVCD 和 SVCD 之争,带来了市场的繁荣。人们制订 IEC 61158 标准的初衷是将杂乱纷呈的各种总线归纳成统一的标准,既方便制造商的产品生产,又便于用户选用。但最终通过的 IEC 61158 标准,经多方争执和妥协,最后容纳了八种互不兼容的协议。这八种协议在 IEC 61158 中分别为八种类型。

- (1) 类型 1: IEC 技术报告(即 FF H1)。
- (2) 类型 2: ControlNet(美国 Rockwell 等公司支持)。
- (3) 类型 3: Profibus(德国西门子等公司支持)。
- (4) 类型 4: P-NET(丹麦 Process Data 等公司支持)。
- (5) 类型 5: FF HSE(即原 FF H2,美国 Fisher Rosemount 等公司支持)。
- (6) 类型 6: SwiftNet(美国波音等公司支持)。
- (7) 类型 7: WorldFIP(法国 Alsthom 等公司支持)。
- (8) 类型 8: Interbus(德国 Phoenix Contact 等公司支持)。

IEC 61158——统一的现场总线国际标准,从 NWI 阶段到 FDIS 阶段已经经历了 14 年。应当说,无论是标准的支持派代表 FF(支持率 75%),还是标准的反对派代表 Profibus(反对率 25%),都不是从技术协调上考虑标准的实效性,而是从控制国际标准通过与否来达到占领世界市场的目的。由此可见,IEC 国际标准是否通过,都不可能在今后几年内使现场总线产品达到国际上的统一。展望现场总线技术的发展趋势,兼容不同现场总线产品的接口技术有可能成为今后几年内技术发展的热点课题。

在 2000 年 1 月公布的 IEC 61158 工业控制系统的现场总线系列国际标准如下。

- (1) IEC 61158-1 第 1 部分: 导则。
- (2) IEC 61158-2-A3 第 2 部分: 物理层规范和服务定义(第 3 次修正)。
- (3) IEC 61158-2 第 2 部分: 物理层规范和服务定义。
- (4) IEC 61158-3 第 3 部分: 数据链路层服务定义。

- (5) IEC 61158-4 第 4 部分: 数据链路层协议规范。
- (6) IEC 61158-5 第 5 部分: 应用层服务定义。
- (7) IEC 61158-6 第 6 部分: 应用层协议规范。
- (8) IEC 61158-7-1 第 7 部分: 系统管理, 第 1~2 节。
- (9) IEC 61158-7-2 第 7 部分: 系统管理, 第 3~8 节。
- (10) IEC 61158-8 第 8 部分: 一致性试验 IEC 61784。
- (11) IEC 61804-1 过程控制用功能模块的第 1 部分: 一般要求。
- (12) IEC 61804-2 过程控制用功能模块的第 2 部分: 规范。

从表 1.1 可以看出, 8 种现场总线有 8 种通信协议, 互不兼容。虽然这些现场总线在功能上可以互补, 但距离统一标准的现场总线还有很大距离。

表 1.1 IEC 61158 现场总线功能对照表

类别	名 称	支持者	内 容
1	IEC 61158 技术规范	FF 基金会	物理层: H2(自动化级)高速 1~2.5Mb/s, STP 750/500m H1(现场层)低速 31.2Kb/s, STP 1900m 数据链路层: LAS(链路活动调度器) 应用层: 发布者/接收者, 客户机/服务器, 报告分发 用户层: 32 种功能模块, 与主站无关
2	ControlNet	AB 公司	物理层: 5Mb/s 光纤, 3000m 数据链路层: CTDMA(并行时间域多址存取) 应用层: 生产者/客户
3	Profibus	西门子公司	物理层: RS-485 现场级 DP 总线, 9.6Kb/s, STP 1200m 车间级 FMS 总线, 9.6 Kb/s~12Gb/s, STP 或光纤 过程自动化 PA 总线, 31.25Kb/s, STP1200m 数据链路层: 令牌环, 主/从式
4	P-NET	ProcessData Sikeborg Aps 公司	物理层: RS-485, 9.6~76.8Kb/s, STP 1200m 数据链路层: VT(虚拟令牌)
5	H2-HSE (高速以太网)	FF 基金会	物理层: IEEE 802.3, 5 类 UTP 100m, 光纤 400m 数据链路层: IEEE 802.2 应用层: RFC 1451, RFC 1883
6	Swiftnet	波音公司	物理层: 5Mb/s 数据链路层: TDMA(槽路时间片多址存取)
7	WorldFIP	Schneider Honeywell Bailey 公司	物理层: 同 IEC 61158 H2 1~2.5Mb/s, STP 1000/500m H1 31.25Kb/s, STP 5000m 数据链路层: bus arbitrator(总线仲裁) 应用层: 本地读写, 远程读写, 刷新服务 指示服务数据, 有效性验证
8	Interbus	Phoenix Contact 公司	远程总线网, 本地总线网 物理层: RS-485, 500Kb/s, STP 12.8km 数据链路层: TFP(整体帧协议)

为了解决现场总线统一问题,借鉴 IT 行业的统一网络通信标准(第 5 种类型,即以以太网现场总线)。1998 年,在美国休斯敦召开的 ISA 展览会期间,成立了工业自动化开放式网络联盟 IAONA,建议把 FF 的 H2 高速现场总线改成高速以太网 HSE,有霍尼韦尔等参加的 18 个公司 31 位工程师正在 Foxboro 公司积极进行开发,希望 HSE 能成为众望所归的现场总线。

HSE 的特点是速度高(100Mb/s),数据通过量大,与计算机连接容易,价格低。它有两类用途:一类是完成由于计算量过大而不适合在现场仪表中进行的运算;另一类是作为多条低速 H1 总线或其他网络的网关设备。HSE 是否适用 LAS 还有待研究。

在 IEC 61158 国际标准中,有欧洲标准建筑物自动化系统 MBS-TC247 推荐的 Profibus-FMS 总线和 WorldFIP 总线,但是没有欧洲推荐的 LonWorks 总线和欧洲设备总线 EIB。从 IEC 61158 标准中的 8 类总线可以看出,现场总线并不需要与 ISO/OSI 七层结构保持一致,只需物理层、数据链路层、应用层等三层即可。因为面向控制的信息比较简单,但需要快速而可靠到达目的地。

IEC 61158 还规定,所有 2~8 类现场总线,均需对类型 1 的 FF 总线提供接口,但 2~8 类总线之间不要求提供接口。

1.4 典型现场总线简介

1.4.1 IEC 61158 技术规范

1999 年第 1 季度出版的 IEC 61158 TS(technical specification)技术规范所定义在现场总线称为 Type1 现场总线。该现场总线的网络协议是按照 ISO/OSI 参考模型建立的,它由物理层、数据链路层、应用层,以及考虑到现场装置的控制功能和具体应用而增加的用户层组成。由 Type1 现场总线构成的系统如图 1.1 所示。该现场总线以 FF 基金会现场总线 H1 为蓝本,由 FF 基金会支持。

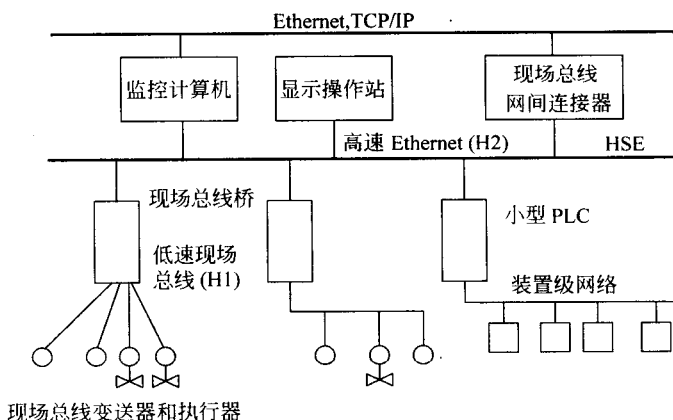


图 1.1 IEC 61158 TS 技术规范推荐的现场总线