

# 现场总线技术

XIANCHANG ZONGXIAN JISHU

■ 孙汉卿 吴海波 编著



国防工业出版社  
National Defense Industry Press

· 014035431

内容简介

# 现场总线技术

孙汉卿 吴海波 编著



北京航空航天大学出版社

(北京市昌平区学院南路53号 邮政编码100084)

北京航空航天大学出版社

北京航空航天大学出版社

2014年1月第1版 16开 印数1000册

国防工业出版社

(本书如有印装质量问题，请与本社联系)

· 北京 ·

国防书店：(010)88240777  
发行部：(010)88240776  
发行部：(010)88240717

TP 336  
62



18280310

## 内 容 简 介

本书旨在介绍和推广现场总线这一自动化控制领域的新技术。

全书力图展现现场总线技术的来龙去脉、基本原理和技术全貌。为了让读者对总线技术有一个全面的了解,首先在第1章和第2章把全世界比较著名的总线和总线传输的一些基本知识予以介绍,消除对“总线”的神秘感,使读者易于接受和理解。从第3章到第6章,全面介绍了当前工业自动化领域应用最为广泛的CAN、Profibus、CC-Link、DeviceNet以及Internet中的TCP/IP技术,并介绍了未来总线技术发展的方向——走向统一的NET技术。

本书图文并茂,突出应用技术的相关内容,可作为工科院校高年级自动化、仪表专业师生教学用书,也可供现场总线系统设计、系统应用工作者和工厂自动化设备维修等高级工程技术人员阅读和参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

现场总线技术 / 孙汉卿, 吴海波编著. —北京: 国防工业出版社, 2014. 1

ISBN 978-7-118-09125-0

I. ①现… II. ①孙… ②吴… III. ①总线—技术  
IV. ①TP336

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 019844 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 17¼ 字数 432 千字

2014 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 56.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

# 前 言

现场总线技术在工业生产的自动控制领域已得到广泛应用,表明信息时代已经到来。这也像计算机技术一样,已深入到各个领域,这就是数据传输技术。

现场总线技术就是一些数据传输的协议,这些协议是国际上各种标准化组织审议各个大公司的通信协议而作为一个标准的协议。

当然,这些协议必然不能相互矛盾,也就是同一性。协议格式的规定便于数据传输,而不会模糊不清,更不容易产生错误,一旦传输错误还可以检查与纠错。

协议对于用户来说就是一些规定用户不必去研究它的同一性、清晰性、稳定性、不易出错性等知识。但是,对于用户来说,希望能了解一些物理方面的知识。例如,数据到底在导线上是怎样传播的?它的电压波与电流波相互之间的关系到底是什么?为什么它们不受干扰?怎样保护这些数据的正确传播?这些问题在现场总线的书上一般是不讲的,这些内容应该在长线技术上予以讨论,也有一些要在数据通信中予以介绍。

为了帮助读者能集中精力来学习现场总线这一先进技术,作者参考并收集大量资料汇编在一起。同时把国际上目前比较著名的总线系统分类,在第1章中予以介绍。第2章介绍总线传输的一些基本知识,消除读者对于“总线”的神秘感,使读者易于接受和理解。从第3章到第6章,全面介绍了CAN、Profibus、CC-Link、DeviceNet以及Internet中的TCP/IP技术,并介绍了未来总线技术发展的方向——走向统一的NET技术。

目前,在许多公司中已开始使用Wireless总线技术,今后必定会得到充分的发展。另外,Bluetooth技术也将是今后发展的一个重要方向。

编者

2013年10月

# 目 录

<b>第 1 章 现场总线概述</b> .....	1
1.1 信息时代 .....	1
1.2 什么是现场总线 .....	1
1.3 现场总线的类型 .....	2
1.4 串行总线——RS-232 与 RS-485 .....	16
1.5 现场总线的测试技术和本质安全技术 .....	42
1.6 现场总线与 IT 计算机网络技术区别 .....	51
<b>第 2 章 数据传输的基础知识</b> .....	52
2.1 概述 .....	52
2.2 数据信号在现场总线中的传输 .....	52
2.3 编码 .....	62
2.4 检错与纠错 .....	77
<b>第 3 章 CAN 总线</b> .....	92
3.1 技术规范 .....	92
3.2 CAN 通信控制器 SJA1000 .....	101
3.3 CAN Bus 器件 .....	105
3.4 使用 PCI 总线的 CAN 智能网络适配器的设计 .....	121
<b>第 4 章 ProfiBus 总线</b> .....	133
4.1 概述 .....	133
4.2 ProfiBus 的协议结构 .....	134
4.3 ProfiBus 的通信模型 .....	135
4.4 ProfiBus-DP 的总线设备类型和数据通信 .....	141
4.5 ProfiBus 传输技术 .....	148
4.6 ProfiBus 总线存取协议 .....	151
4.7 从站通信控制器 SPC3 .....	156
4.8 主站通信控制器 ASPC2 与网络接口卡 .....	165
4.9 ProfiBus-DP 从站的开发 .....	173

4.10	ProfiNet 技术 .....	175
4.11	ProfiBus 控制系统的集成技术 .....	179
<b>第 5 章</b>	<b>CC - Link 技术 .....</b>	<b>189</b>
5.1	CC - Link 概述 .....	190
5.2	CC - Link 规范 .....	193
5.3	协议概述 .....	196
5.4	数据链路层 .....	201
5.5	应用层 .....	216
5.6	CC - Link 主站配置 .....	225
<b>第 6 章</b>	<b>DeviceNet 与工业以太网技术 .....</b>	<b>239</b>
6.1	DeviceNet 概述 .....	239
6.2	DeviceNet 连接 .....	243
6.3	DeviceNet 报文协议 .....	245
6.4	DeviceNet 通信对象分类 .....	249
6.5	网络访问状态机制 .....	250
6.6	指示器和配置开关 .....	254
6.7	DeviceNet 的物理层和传输介质 .....	255
6.8	设备描述 .....	259
6.9	工业以太网技术 .....	263
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>270</b>

# 第1章 现场总线概述

## 1.1 信息时代

20 世纪,人类最重要的成就就是计算机技术的广泛应用,这直接导致了人类物质文明的空前繁荣。人类的生产离不开计算机技术,它为人类创造了大量的物资财富。典型的例子就是在生产自动化中可编程控制器(Programmable Logic Controller, PLC)的广泛使用,这是计算机技术最重大的贡献。

那么,计算机技术到底还有多少潜力可挖,从目前来看还有两点:一是并行运算技术,它大大提高了计算机的运算速度;二是集成电路的微米技术,它使一块芯片上集成各种各样的电路。如数字信号处理器(DSP)。微米技术的发展也会反过来促进计算机技术进一步的发展。也就是说生产工艺的进步也影响计算机技术的进一步发展。

但是,作为一个时代的特征,计算机技术已经“过时”了。在生产自动化中使用的计算机技术的代表作——PLC 也已发展到了极致,余下的事是如何进一步完善的工作。21 世纪的到来就带来了它自己的时代特征,那就是“信息时代”。当然,今天信息时代的到来,是由于计算机技术的充分发展的结果。换句话说,没有计算机时代也绝不能迎来信息时代。更进一步地说,信息技术是在计算机技术高度发展的基础上实现的。

1945 年,香农发表了《信息传输的数学研究方法》,以及翌年发表的《噪声的数学分析》,这两篇文章奠定了信息技术的理论基础,到今天近 70 年了,信息技术才得到如此的发展,应该说,这是集成电路与计算机技术发展的必然结果。

那么当前的信息技术时代如何体现到生产技术上呢?这就是我们要分析的问题。信息技术带给人们生产活动的第一个成果就是通信技术,在企业中就是“现场总线”技术。

在生产中应用信息技术——现场总线不是谁硬要采用,而是当前生产技术的客观要求。

现在生产的产品不仅数量多,而且具有个性。就以轿车为例,生产的数量之大,是前人不曾想象的,而各种汽车是混流生产,有的是汽车的颜色不同,有的是配置也不同,要完成这种生产就要求有大量的信息随车而行,告诉生产者我要的是什么车。过去是有一块随车同行的“看板”,这里存在很多弊病,自动生产中无人来看管,只靠“看板”就无法解决问题。当然,在机器人生产中机器人也看不懂“看板”。

另外一点就是现在的生产规模之大是无法用人来传送生产信息的,这样大规模的生产信息只能通过“现场总线”来传送,或反馈各种各样的生产信息。因此,现场总线应运而生。

## 1.2 什么是现场总线

现场总线的英文名字叫“FieldBus”,也就是现场的公共汽车。既然是走在现场的公共汽车,也就说明信息可上可下。在计算机技术中也提到了三种:总线地址总线、控制总线、数据总

线(Address Bus, Control Bus, Data Bus),也是走信息(或者说走数据)的总线。

现场总线就是两根用来传输数据的线,这种传输数据的方法是串行的。

那么,走在总线中的都是些什么数据呢?它们是一些指令,用以命令自动机(可能是机器人或其他机器)去完成规定的动作;也可能要求这些自动机反馈给中央控制器一些现场的生产信息。这就叫做“有上有下”。

国际电工委员会 IEC1158 关于“现场总线”的定义: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称为现场总线。

这种通信应该是有秩序的,不可抢上抢下。是否由一个主机来控制这个总线的使用权,还是大家都可以随意地使用这个总线,这些问题都将在后文中分析。

这种通信的信息格式是什么?用什么编码来表达这个信息?这些应该是非常复杂的。我们必须事先做出各种各样的约定,否则就无法正确表达这些信息。

这里存在着很多管理的问题,也包括很多编码问题,这就是协议,也叫做通信协议。通过这些协议可以正确接收或正确发送这些信息,也能正确理解这些信息的含义,从而保证通信总线能够快速、无错、高效地运行。这与每个人的手机一样:通过手机把语言信息转换为电信号发出,通过一定格式传给中心站,再由中心站传给对方基站,再把经过编码的数据转换为语言,向对方提供话音服务。

通信协议在很多书中被称为现场总线的核心技术。目前,全世界有数百种现场总线,这些现场总线的区别就是协议不同。因此,它们的通信控制器等硬件也不相同,各有各的特点。但作为用户,在学习现场总线的过程中,现场总线的协议不一定是学习内容的核心,有比协议更为重要的内容,那就是如何保证现场总线能正常的运行。这比了解协议的一些细节还要重要。所以对现场总线的学习应着重分析数据传输的方法,以及传输过程中一些重要的物理现象。这些才是现场总线的用户学习的主攻方向。

全世界有数百种现场总线,它们各有各的用途,而且还有很多公司支持,这样就造成了很多现场总线并存的现象。所谓“并存”是指各种不同的现场总线都有自己一整套的 IC 芯片来支持它。换句话说,你用哪种总线就会有相应的芯片可用。

全世界各大公司组成各种联盟来支持各种现场总线,都想把自己的产品能够挂在总线上,以便扩大销路。各大公司向各种协会提供资金赞助,以便更加扩大自己支持的现场总线获得更广泛的市场。这种现象互不相让,而且都看准了商机,尽一切可能推销自己支持的总线。

### 1.3 现场总线的类型

目前,世界上在用的有数百种现场总线,这数百种总线应该说大同小异,大致有以下 8 种类型:

类型 1:原 IEC61158 技术报告,即 FF 的 H1;

类型 2:Control Net,美国罗克韦尔公司(Rockwell)支持;

类型 3:ProfiBus,德国西门子公司(Siemens)支持;

类型 4:P-Net,丹麦过程数据公司(Process Data)支持;

类型 5:FF 的 HSE,即原 FF 的 H2,美国费希尔·罗斯蒙德公司(Fisher Rosemount)支持;

类型 6:Swift Net,美国波音公司(Boeing)支持;



类型 7:World FIP,法国阿尔斯通公司(Alstom)支持;

类型 8:Interbus,德国菲尼克斯公司(Phoenix Contact,也有直译为凤凰公司)支持。

下面分别对于这 8 种类型总线做一些简单的介绍。

### 1. 类型 1

这种类型是 1999 年 IEC61158 TS 出版的现场总线,这种总线的结构图如图 1-1 所示。类型 1 是由物理层、数据链路层、应用层以及用户层组成的。

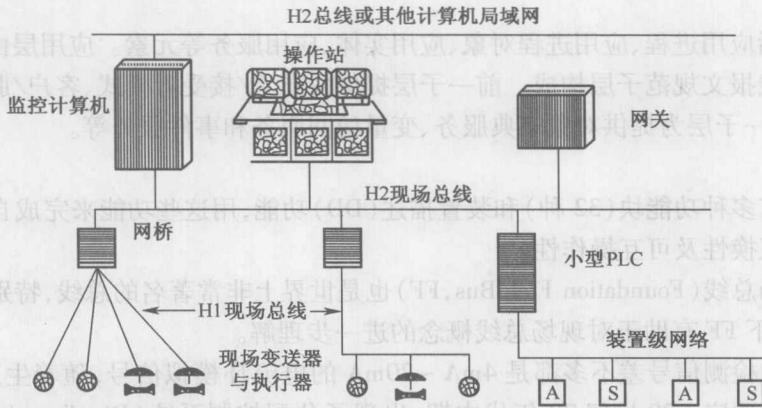


图 1-1 IEC 推荐的现场总线控制系统体系结构

#### 1) 物理层

物理层定义了导线媒体的类型和导线上数据的传输速度。

(1) 通信速度:分为低速总线和调整总线或高速总线。

① 低速总线(H1 总线):31.25kb/s;

② 调整总线或高速总线(H2 总线):1Mb/s 和 2.5Mb/s。

(2) 总线类型和长度:使用屏蔽双绞线。

① H1-#18AWG 长度为 1900m;

② H2(1Mb/s)-#22AWG 长度为 750m;

③ H2(2.5Mb/s)-#22AWG 长度为 500m。

(3) 响应时间。H1 总线在 31.25kb/s 时,典型响应时间为 1ms,H2 总线在 1Mb/s 或 2.5Mb/s 时,典型响应时间为 32 $\mu$ s。

除双绞线外还可以采用同轴电缆、光纤和无线传播。H1 低速总线能传送供电电源(供仪表使用),误码率为工作 20 年差错不大于 1。

H1 多用于现场,而 H2 多用于过程控制。现在 H2 除 1Mb/s、2.5Mb/s 的速度外还有 100Mb/s 的总线。

#### 2) 数据链路层

数据链路层是通信过程中软件工作的一部分,它是靠智能器件来完成的。它主要有两方面的工作,其一是媒体存取控制(Media Access Control,MAC)子层,其二是逻辑链路控制(Logic Link Control,LLC)子层。MAC 子层主要是对物理层中的总线媒体进行“交通”管制,并随时检测传输线路的状况。LLC 子层主要是在规定时间内(时间片)对帧的发送与接收进行控制,并进行检错,做到实时(Time-critical)传播。

数据链路层还为实体之间数据交换提供连接服务和无连接服务。

总线访问控制一般采用链路活动调度器(Link Active Scheduler, LAS),它拥有总线上所有设备的清单,由它来掌管总线上所有设备对总线的使用权。LAS的功能分为:对总线使用权的调度;活动表的维护;数据链路在时间上的同步;令牌的传输;冗余LAS的使用等。

### 3) 应用层

应用层是为用户服务的软件系统,它可提供适于应用或管理的各种信息的服务。可以对连接进行管理:如初始化、各种记录的维护等。所以说应用层主要是通信功能、特殊功能以及管理控制功能。

应用层包括应用进程、应用进程对象、应用实体、应用服务等元素。应用层由现场总线访问子层和现场总线报文规范子层构成。前一子层提供发布者/接受者模式、客户/服务器模式和报告分发模式;后一子层为提供对象字典服务、变量访问服务和事件服务等。

### 4) 用户层

用户层具有多种功能块(32种)和装置描述(DD)功能,用这些功能来完成自动控制与提高各种装置的可互换性及可互操作性。

基金会现场总线(Foundation FieldBus, FF)也是世界上非常著名的总线,特别是用于过程控制方面,了解一下FF有助于对现场总线概念的进一步理解。

以前仪表的检测信号差不多都是4mA~20mA的电流环模拟信号,随着生产的发展,这种检测方法已无法适应。20世纪70年代中期,出现了分配控制系统(Distributed Control System, DCS),把计算机技术应用到过程控制领域。而且把4mA~20mA的模拟控制信号实现了数字化(智能仪表),这时必须接受数据通信。

1994年现场总线的两大国际组织ISP(Interoperable System Protocol)和北美World FIP(World Factory Instrumentation Protocol)正式合并,成立了现场总线基金会组织FF,推动了这一项技术的发展。

FF现场总线是全数字、串行、双向通信协议,用于现场设备,如变送器、控制阀、控制器等之间的互联,实现过程控制的分散化。

FF专门用于工业过程自动控制,可以满足对使用环境的苛刻要求;它本质是安全的,可以用于危险的场合(易燃、易爆);它可以通过总线对部分仪表进行供电;它有一些功能块,能对设备进行描述(DDL),确保不同厂家的产品具有互操作性和互换性。

前面已经概述了类型1的总线特点,现对FF总线补充说明如下:

(1) 在数据链路层(DLL)有一个集中总线调度器,即链路活动调度器(LAS),用它来对现场总线的访问进行管理。换句话说,这是一张时间表(Scheduler),用它来保证总线的使用权,把信息传给控制设备和收集现场数据。

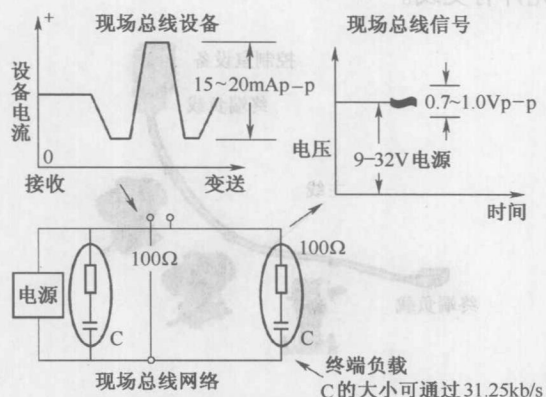
(2) 现场总线信号使用的是曼彻斯特编码技术,在编码信号中“自带”同步时钟信号。时钟周期1/2时上跳为逻辑“0”,而下跳为逻辑“1”。

前导码(10101010),开始定界符(1100)与结束定界符(1101)均为一些特殊字符。前导码是为使接收方得到一个同步信息,在开始与结束定界符中还用了特殊的编码 $N_+$ 与 $N_-$ ,是在时钟1/2时不跳跃。

(3) FF现场总线可以使用两种传播速度,即H1与H2。

H1是低速信号传输:H1以31.25kb/s的速率,+10mA的信号传送给50Ω等效负载,产生1V的峰—峰值电压信号。直流电的电压值在9V~32V(图1-2所示)。H1现场总线允许有支线,使用屏蔽的双绞线,长度不可超过1900m。两端有终端负载。支线长度越短越好。支线长

受支线数目的限制,如图 1-3,表 1-1 所列。



注: 作为一个备选方案, 其中的一个终端负载可中心抽头并接地, 以防止现场总线电压积聚

图 1-2 H1 现场总线信号传输波形

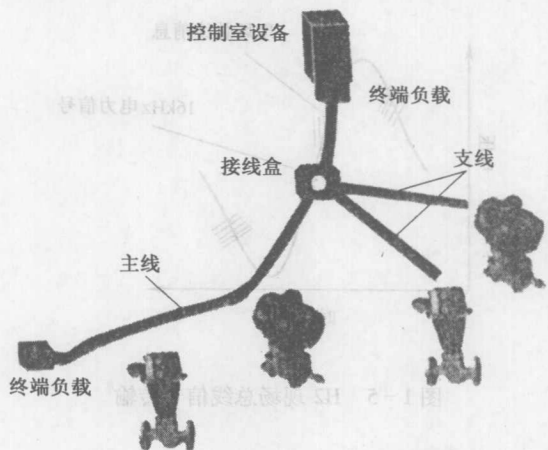
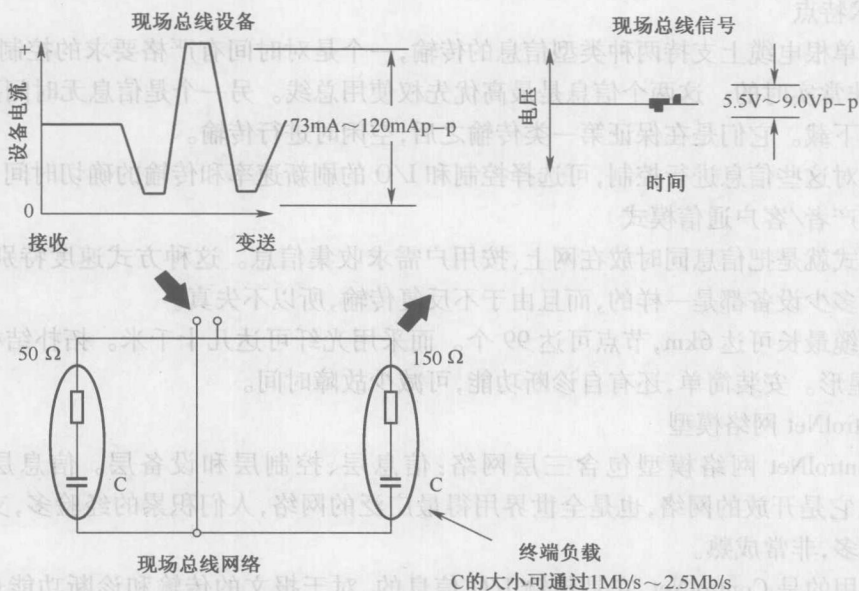


图 1-3 电缆长度为支线与主线之和

表 1-1 最大支线长度

设备数/个	25 ~ 32	19 ~ 24	15 ~ 28	13 ~ 14	1 ~ 12
最大支线长度/m	1(3.28ft)	30(98.42ft)	60(196.8ft)	90(295.2ft)	120(393.6ft)

图 1-4 为 H2 现场总线信号传输波形 H2 主要用于高级的过程控制、远程 I/O 和高速的工厂自动化设备上。H2 不给仪表供电, 向 75Ω 等效负载送电, 电流为 ±60mA, 在现场总线上产生 9V 的峰—峰值电压。



注: 作为一个备选方案, 其中的一个终端负载可中心抽头并接地, 防止现场总线电压积聚。

图 1-4 H2 现场总线信号传输波形

现场总线 H2 支持特殊的电流模式,这是本安型总线供电方案,信号调制为 16kHz 的交流信号,如图 1-5 所示。图 1-6 为 H2 现场总线不允许有支线。

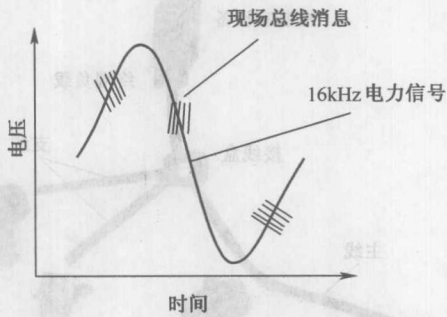


图 1-5 H2 现场总线信号传输

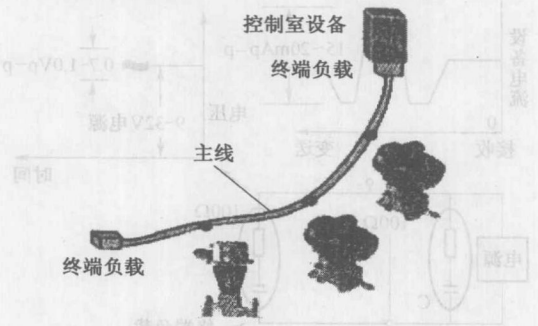


图 1-6 H2 现场总线不允许有支线

## 2. 类型 2

类型 2 的典型网络就是 ControlNet。这个网络的特点是对传送信息有严格的时间要求,是一种高速确定性网络,但它又可对报文数据传输无时间苛刻要求。类型 2 现场总线为三层结构:信息层为 EtherNet,控制层为 ControlNet,现场层为 DeviceNet。

类型 2 的另一个特点是通信模式为生产者/客户模式(Producer/Consumer)。这种模式提高了系统的功能,提高了效率和实现精确的同步。

### 1) ControlNet 总线的由来

ControlNet 是由 Rockwell 公司研发的,1997 年推出,有 22 家企业联合起来支持,组织了一个非营利组织,负责在全球推广这种总线技术。目前已有 50 多家大公司加入了这一总线组织。

### 2) 技术特点

(1) 在单根电缆上支持两种类型信息的传输,一个是对时间有严格要求的控制信息及 I/O 量,这些是非常实时的。这两个信息是最高优先权使用总线。另一个是信息无时间要求的或程序的上载或下载。它们是在保证第一类传输之后,空闲时进行传输。

用户可对这些信息进行控制,可选择控制和 I/O 的刷新速率和传输的确切时间。

### (2) 生产者/客户通信模式

这种模式就是把信息同时放在网上,按用户需求收集信息。这种方式速度特别快,不论挂在总线上有多少设备都是一样的,而且由于不反复传输,所以不失真。

(3) 电缆最长可达 6km,节点可达 99 个。而采用光纤可达几十千米。拓扑结构可为总线型、树形和星形。安装简单,还有自诊断功能,可减少故障时间。

### 3) ControlNet 网络模型

(1) ControlNet 网络模型包含三层网络:信息层、控制层和设备层。信息层是以太网(EtherNet),它是开放的网络,也是全世界用得最广泛的网络,人们积累的经验多,支持它的 IC 芯片也非常多,非常成熟。

控制层用的是 ControlNet,它是传输 I/O 信息的,对于报文的传输和诊断功能也都予以支持,可以通过设置优先级来控制这些传输。

设备层采用价格低廉的 DeviceNet 网来传输与交换信息。所以可以降低系统调试时间和费用。

采用(2)网络工作模型。目前在工业自动化网络中主要有两种工作模型。

①源、目的地模型。就是在数据包中有源地址和目的地址。这种模型是可分为主、从的层次。总线控制权掌握在主机手中,从机听从主机的指挥,从机被允许应答,才可以利用总线来应答。

如果在一个控制系统中必须存在多个主机时怎么办呢?或者说在一个系统中没有主机可以不可以呢?这里就首先介绍一下点对点的通信模型。这种点对点通信仍然是属于原、目的地模式。

大多数点对点是采用令牌方式(或者是逻辑令牌环路),你争到令牌就可以发言,使用总线。但这存在的问题也相当的多,例如,怎么来互锁控制器,响应时间如何控制。随着令牌持有者传输距离的增大要用较多时间传送信息。

所有主从结构,点对点结构,由于它们都是基于源、目的地的有源网络,把同样数据发给不同节点就消耗了带宽,另外,协调和同步也是困难的,也就是说,数据到达目的地的时间是不会相同的。

②生产者/客户类型。在它的数据包中没有源地址和目的地址,数据包中的内容用一个标识符表示。这个标识符对于消费者来说是熟悉的,这个信息对于网上的节点来说是同时收到的。从标识符可以判断本节点需不需要这个信息。所以节点间可实现精确的同步。

在这种模式中还有一个特殊规定,就是I/O触发机制,也就是传输I/O信号时,有两种启动传输的方法,一种是周期性的传输I/O信号。这种方法会浪费带宽,当I/O信息没有发生变化时,硬性的又传输一遍I/O信息,这不是浪费么?于是就提出第二种方法,就是只有I/O状态发生变化时才传输I/O信息,采用这种状态改变来传输是可以降低网络阻塞的好办法。

周期性检查设备是否在线,是否有什么问题,用户可以选择速率,这要与PID调整时间常数相匹配,太快会出现无效传输。

因此,上述控制方法可做到传输时间的准确性。

(3) 媒质访问。

媒质访问控制使用时间片算法(Time Slice),保证每个节点之间的同步带宽分配,剩余的带宽可用于非实时或未预定的数据传输。而实时数据传输包括I/O信息以及控制器之间的信息互锁。

主从网可支持二类产品(主机和从机),而ControlNet支持三类产品,如扫描仪、适配器、信息器等。

扫描仪产品有的可用于控制器、焊接控制器、PLC和机器人等。信息器如编程设备、组态工具、操作员界面等。

4) 数据链路层介质的存取控制(Media Access Control)协议

(1) 协议内容。一条总线上挂上数个节点,哪一台设备可以使用这些总线,这个问题很关键,否则可能出现在总线上发生“碰撞”,MAC协议就是关于总线使用的协议。

最常见的是“碰撞检测载波侦听多路访问”(Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection, CSMA/CD)。在以太网(EtherNet)上就采用这种办法。

预想发送数据,先侦听一下网上是否有数据传播,若没有,就立刻发送数据。当然,恰好就在这个时候另一个节点也做这个动作(这种概率是很小的),那么正在发送数据的节点立刻停止发送。等待一个随机时间,再试发送。这个随机时间是由一种二进制指数式后退算法(Binary Exponential Back-off algorithm, BEB)来决定。

停止发送期间,原来发送的数据碎片还残留在网上,这是不可靠的。因此,工业自动化控制采用这种方法存在一定的不确定性。所以,在工业控制上采用“优先级仲裁”机制,或者采用令牌传递的总线控制网络。

令牌总线协议是一个线性的多支路树形或分段拓扑结构。这些节点在逻辑上组成一个环,每个节点都要知道自己前一个节点和后一个节点的地址(如 ControlNet 就是这样),争到令牌后就可以掌握总线使用权,发送数据直到发完,或者把规定时间用完,就把令牌传给下一个节点。令牌在逻辑上顺序传送。

ControlNet 对于令牌持有设备离线,或不传给下一个逻辑节点,可采用一种机制重新产生令牌。还有一种叫隐性令牌传递 (Implicit token passing)。每个节点有一个 MAC 地址,每个节点有一个隐性令牌寄存器,当数据帧结束后,要自动加 1,当隐性令牌寄存器数值与自己的地址相同时,这个节点就可以发数据。如果没有数据要发,也要发一个空的数据帧 (Null Frame)。

传递隐性令牌的逻辑是通过特别设计的时间片存取算法来控制,即用并存时间域多数存取算法 (Concurrent Time Domain Multiple Access, CTDMA)。

(2) ControlNet 的 MAC 帧格式 (图 1-7)。包括 Preamble, 开始分隔位、源 MAC 地址、0~510 Bytes、CRC、结束分隔符。

数据帧叫做链连接帧 Lpacket (Link Packet Frame)。如果没有 Lpacket 时,成为 Null 帧。

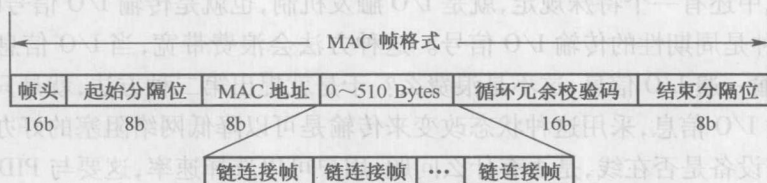


图 1-7 MAC 帧格式

在链连接帧中,有些是标识符来表示 Lpacket 本身的特定信息。而这些标识符是唯一的,可以赋之特别含义。用户可根据标识符进行过滤,把特定数据从网上接收下来。这个标识符叫做 CID。生产者为多点传送的传输选择 CID,而用户为点到点传送的传输选择 CID。

ControlNet 有两种 CID:

① 固定字符 (fixed tags)。它主要用于传输未连接的,不是 I/O 数据定义的数据。

固定 CID 包括两个字节:第一个字节 (Serv) 是按技术规范中代码与服务对照表的规定,来要求提供什么样的服务。例如, QX83 是提供非连接的数据管理 (Unconnected Message Manager, UCMM) 的服务。第二个字节 (Dest) 是目的节点地址。

② 面向连接的数据传输定义的通用 CID。包括三个字节:连接类型 (多点或点对点)、组号、生产者与用户的 MAC 地址,不同的数据发送速率不同,有 8 种速率可进行选择。

(3) 设备行规。设备行规就是为了实现设备之间的互操作性,同类设备之间的互换性,以及行为的一致性。包括下列内容:

(1) 设备的内部构造 (使用对象库中的对象或用户自定义的对象来定义设备行为的详细描述)。

(2) I/O 数据 (数据交换的内容与格式,以及在设备内部的反应所表达的含义)。

(3) 可组态的属性 (如何来组态,组态数据的功能)。

### 3. 类型 3

类型 3 的典型总线就是 ProfiBus,这是一个很著名的总线,德国西门子公司为主要供应商,本书后面将专列一章讲述。

### 4. 类型 4

由丹麦 Process - Data A/S 公司从 1982 年开始开发的总线,主要用于啤酒、食品、农业和饲养业,现已成为 EN50170 欧洲标准的第一部分。它得到 P - NET(Process Automation Net)用户组织支持,有 5000 个应用系统。

P - NET 的特点是多网络和多端口功能的多主总线系统。它允许在几个总线区直接寻址,无需分析网络结构,是一种多风格的结构。它包括 ISO 的 1、2、3、4、5、6 和 7 层,并利用信道结构定义用户层。P - NET 采用虚拟令牌(Virtual Token)的传递方式。主节点发送一个请求,被寻址的从节点在 390 $\mu$ s 内响应返回,存放在节点内存中的数据可进行访问,每个节点均有通用的单片微处理机,并配有 2kB 的 EPROM 可作为信道,也可用于测量、标定、转换和应用等功能。

这个总线的物理层是基于 RS - 485 标准的通信。介质是屏蔽的双绞线,传输距离为 1.2km,采用的是 NRZ 编码,采用异步传输。

#### 1) P - NET 简介

P - NET 是最早出现的总线(1983 年)。首先在丹麦,它是用通用的硬件和软件,所以改进与升级都很方便。它采用虚拟令牌传递比 ProfiBus 的实际报文信息传递节省很多信道容量。

P - NET 采用主从方式,但有多个主站,多网络、多端口。在欧洲标准 EN50170 第一卷是 P - NET,第二卷是 ProfiBus,第三卷是 WorldFIP。

P - NET 可组成几千个 I/O 点设备的庞大系统。其响应时间为毫秒级,传输距离可达 1km 或更长一些。P - NET 的安装成本低,结构简单,开发方便(可在 Windows NT 平台上用高级语言开发),可用在各种工业行业中:食品、水泥、动物饲养、塑料、太阳能电站等。

#### 2) 基本原理

P - NET 的基本原理是 RS - 485,使用屏蔽双绞线,可长 1200m,不用中继,数据是以 NRZ 编码,异步传输。

P - NET 每秒可处理来自 300 个不同地址的 300 个数据,或者 32 个二进制信号来表示阀位置或开关的位置。每秒在任何节点均可存取 9600 个二进制信号。它之所以如此快捷是因为从属器采用并行数据处理。另外,它每接到一个字节之后立即处理,而不是全帧收到后才处理。

P - NET 是多主总线,每段可允许有 32 个主控器。当主控器提出一个输出请求,从属的设备立即响应。这个请求可以是读,也可以是写。

P - NET 在总线上传输数据,可以是简单型,也可以是复杂型。简单类型是包括布尔数、字节、字符、字、整型数、长整型数、实型、长实型和定时标记。复杂型包括数组、字符串、记录与缓冲。数据格式是采用 P - NET 的标准。

访问总线是通过主控器传递,用“虚拟令牌传递”方法,当得到这个“令牌”就可以使用总线。当主控器完成访问,令牌自动传递到下一个主控器。这是靠定时来完成的。

#### 3) P - NET 的多网络结构

P - NET 对网上装置均为等同看待(图 1 - 8),尽量减少高速与低速之分。采用信息处理分

散化。它把自控系统分为几个单元,每个单元的关闭对整个系统不受影响,程序也可以分散在每个单元或几个单元来执行。一个单元中的软件与硬件出现问题,不会影响其他单元。

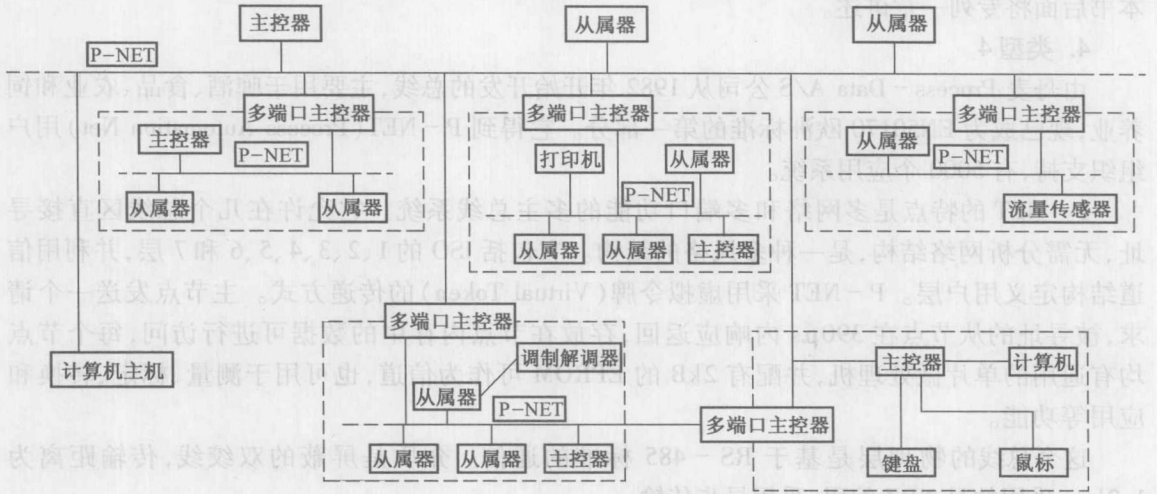


图 1-8 多网络结构

P-NET 允许在几个总线分段上直接寻址,这就是多网络结构。可以装入标准多端口控制器的操作系统。这种多网络结构使网更加安全,这样对全厂有很强的容错能力,这是 P-NET 很重要的一个优点——总线分段而没有分层结构。当扩展 P-NET 与其他网络耦合都有很大的方便。P-NET 不必建立“过程镜像”,而是采用数据的直接采集。

#### 4) P-NET 通信协议的优点

- (1) 满足 P-NET 标准的节点可直接与总线相连接,并可随连随时通信。
- (2) 其他协议往往每层有很多变化,导致许多变量不能互相通信,而 P-NET 没有层的变化,均可直接通信。
- (3) 任何 P-NET 模块可关断和拆除,不影响其他部分,模块在运行时可以置换,还可以扩展。
- (4) 组态简单,只要在主控模块中给出节点地址和主控制器数据即可。
- (5) 从属器测量的结果是经过处理后送给主控制器,无需重新定标和转换,所以处理效率高。例如,温度测量可由从属器转为浮点数,以摄氏值送给主控制器。
- (6) 数据存取非常快,原因是该物理量是通过标识符存取,这个数据在编译时立即给出,不用翻译。
- (7) 保证实时,利用多时、分割成短帧(56bit)。
- (8) P-NET 有很多标准的智能模块,特别面向过程自动化的。如温度、液面控制、灌注控制等。
- (9) 个人用计算机已经普及,PC 可通过一个插件访问 P-NET。
- (10) Pascal 语言可以作为 P-NET 控制器的编程工具。

#### 5. 类型 5

类型 5 是 IEC 定义的 H2 总线,它由 FF 组织负责开发。1998 年应用在工业的高速以太网 (High Speed Ethernet, HSE) 标准。该总线使用框架式以太网 (Shelf Ethernet) 技术,传输速率从 100Mb/s 到 1Gb/s 或者更高。HSE 完全支持类型 1 总线的各项功能。例如,功能块和装置描述



语言。并允许通过网桥与 H1 相连,无需主系统干预就可以进行对等通信。

HSE 还采用 CSMA/CD 链路控制协议和 TCP/IP 协议,使用了高速以太网 IEEE802.2u 标准的最新技术。

2003 年 3 月完成规范制定,实验室测定,现场试验,推向市场,这也意味着 Ethernet 网络全面进入工业自动化领域。

类型 5 是监控级(H2)现场总线,它采用的不是主从,也不是令牌,而是“碰撞检测,载波监听多路访问”的总线仲裁机制。

## 6. 类型 6

它是由美国 SHIPSTAR 协会主持制定的,得到美国波音公司(Boeing Aircraft Corporation, BAC)的支持,主要用于航空和航天领域。该总线结构简单,实时性强。只有物理层和数据链路层,没有定义应用层。

物理层传输速率为 5Mb/s,此时,每秒传送  $10^5$  个不同的报文。总线使用“时分多址”(Slotted Time Division Multiple Access, TDMA)多路存取方式,提供专用于高速、低抖动同步通道和按要求制定的通道。专用通道适用于非调度报文。TDMA 方式是将总线上的时间分割为相等长的时间间隔作为槽路。只有当总线上的站分配到槽路时,它才能监听和发送。每个站还能根据所占的比例,协调总线存取、数据传输和接收数据。

## 7. 类型 7

它是 WorldFIP 协会于 1987 年制定,并大力推广的现场总线。WorldFIP 是欧洲标准 EN50170 的第三部分,物理层采用 IEC61158.2 标准,其产品占法国市场 60%,欧洲市场 25% 的份额。它主要用于发电与输配电、加工自动化、铁路运输、地铁和过程自动化等领域。

WorldFIP 现场总线系统分为三级:过程级,控制级和监控级。适用于各类型的应用结构:集中型、分散型和主从型。用单一的 WorldFIP 可满足过程控制、工厂制造加工和各种驱动系统需要。

为了适应低成本要求,还开发了 Device WorldFIP(DWF)总线,它是装置一级的网络,可适应各种现场的恶劣环境,有本质安全防爆性能,可实现多主站与从站的通信。

WorldFIP 协议是由物理层、数据链路层和应用层组成。数据链路层采用总线裁决(Bus Arbitrator)方式。在任一个给定瞬间,仅有一个站可以执行总线裁决功能,它使用 ID-DAT 帧在总线上广播一个标示,总线上所有站就录下 ID-DAT 帧。这时只有一个站被视为生产者,而其他站为用户。

应用层提供 MPS 和 Sub MMS 服务,MPS 是工厂周期/非周期服务,Sub MMS 则是工厂报文的子集。

### 1) WorldFIP 现场总线概况

WorldFIP 是世界性的中立组织,1987 年成立,由用户、制造商和研究人员组成理事会。法国几个跨国公司“为首”开发了 FIP(工厂仪表协议)等现场总线产品。

### 2) 基本性能

可适用于集中、分散和主从型结构。分散型又可应用于同步或非同步方式。WorldFIP 的智能、控制和数据均可以分散。控制算法可放在一个处理单元中,也可以实现分散。WorldFIP 是一个开放系统,不同厂家的产品可以实现互联。

图 1-9 给出一个 WorldFIP 的现场总线示意结构。WorldFIP 可满足于过程控制,也可以满足加工系统和各种驱动系统的控制。WorldFIP 不使用 RS-485 和低速总线,它开发了极低成