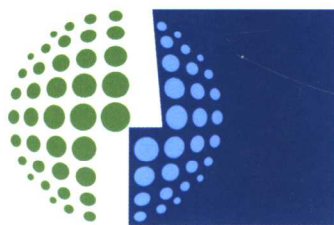


现代测试与控制丛书

CAN总线测控技术 及其应用

杜尚丰 曹晓钟 徐 津 等编著



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



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

现代测试与控制丛书

CAN 总线测控技术及其应用

杜尚丰 曹晓钟 徐 津 等编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

CAN 作为现场总线家族中最具希望的现场总线之一, 在各个领域发挥了重要作用, 本书力求全面地将 CAN 总线的技术特点、技术规范、应用方法等内容展示给读者。本书首先对控制器局域网的产生、发展、应用领域及 CAN 的前景展望进行了全面的叙述; 接着又详细介绍了 CAN 的技术规范, 以及支持 CAN 技术规范的一些典型而且十分实用的器件; 然后系统地论述一个应用 CAN 技术的智能控制系统的设计方案, 包括智能节点和智能控制器的硬件电路设计和软件设计, 并含有源程序代码; 最后给出了两个 CAN 多主机应用实例, 分别是在测控系统中和 AUV 智能机器人中的应用。

本书图文并茂, 注重理论与实际的结合, 详细介绍了 CAN 应用系统的方案规划、软硬件设计和系统调试, 尽量做到加深读者对 CAN 总线技术的理解, 并给读者在 CAN 的具体应用方面以实际的帮助。本书适合电子信息、通信、自动化专业的教师和学生, 以及 CAN 总线系统设计的技术人员作为参考书。

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

CAN 总线测控技术及其应用 / 杜尚丰, 曹晓钟, 徐津等编著. —北京: 电子工业出版社, 2007.1

(现代测试与控制丛书)

ISBN 7-121-03350-X

I. C… II. ①杜… ②曹… ③徐… III. 总线—控制系统 IV. TP336

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 127223 号

责任编辑: 高买花 特约编辑: 陈宁辉

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: 19.75 字数: 506 千字

印 次: 2007 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 5 000 册 定价: 33.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 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 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

出版说明

测试与控制（以下简称测控）技术是由光、电、自动控制、计算机与信息技术多学科相互融合和渗透而形成的一门高新技术密集型综合学科，目前已成为 21 世纪关键的信息技术之一。随着光、机、电、算、生、化、医、材料等新技术的不断涌现，以及科学技术尤其电子信息技术的飞速发展，测控技术将迎来创新发展的新机遇，微型化、集成化、智能化、虚拟化和网络化成为以计算机为核心的现代测控技术的一个发展趋势。

随着测控技术的飞速发展，以及知识更新的速度日益加快，社会对综合素质高的测控人才的需求不断加大，各测控技术开发单位、科研院所的研发人员都急需一套针对性强、具有实际指导意义的现代测试与控制技术类书籍；各高等院校相关专业的本科生、研究生也迫切希望学习、掌握现代测控技术及其应用，以推动测控技术在各领域的广泛应用和快速发展。

《现代测试与控制丛书》正是针对当前技术与市场需求，由国内站在测控技术前沿并有实践应用经验的专家和学者，以实用技术为主线，理论联系实际，将他们在理论研究与实践工作中积累的大量经验和体会有机地融为一体，以丛书的形式奉献给广大读者！本套丛书立足现代测控技术的发展趋势及其主要应用领域，将技术热点与实践应用紧密结合，以实际应用为主线，围绕现代测控技术基础理论、实践应用、发展趋势等方面进行深入浅出的讲解和论述。

读者群定位于高等院校测控相关领域的学生，科研开发及设计人员等，可作为测控领域学习、开发人员的参考资料，也可作为高等院校相关专业师生的教学参考书。

本套丛书的出版得到了业界许多专家、学者的鼎力相助，对此表示衷心的感谢！同时，热切欢迎广大读者提出宝贵意见，或者推荐更多优秀选题（gmholife@hotmail.com）。

电子工业出版社

2006 年 5 月

前 言

现场总线是自动化技术发展的热点，它的出现标志着工业控制技术领域进入了一个新时代。编者在进行自然科学基金项目研究时，发现很多控制系统的设计都是基于 RS485 总线的，但 RS485 系统的主从结构，无法构成多主或冗余结构的系统；通信方式采用循环地址查询、握手通信，节点越多传输效率越低；上传通信无优先级别，即使需急传的异常数据也得按序排轮等候召唤，实时性差，往往贻误时机；单个节点错误会影响整个系统性能等问题一直困扰着人们，难以进一步提高控制系统的性能。CAN 总线为多主工作方式；数据通信具有突出的可靠性、实时性和灵活性；错误节点具有自动关闭输出功能，不会影响整个系统的正常运行等诸多优点。将 CAN 技术应用到控制系统中，可以弥补 RS485 的不足，更好地发挥控制系统的性能。另外，CAN（控制器局域网）作为当今全球范围内几种很有影响的现场总线之一，发展潜力巨大，应用范围也不断扩大，已经从最初的汽车领域不断向机械工业、纺织机械、农用机械、机器人、数控机床、医疗机械及传感器等诸多领域发展。因此，在温室控制系统中采用 CAN 总线是很好的选择。编者使用 CAN 建立了一个温室控制系统，取得了一定的成绩。

在研究过程中编者发现，由于在国内 CAN 的发展起步较晚，CAN 的相关技术资料相对缺乏。编者在从事相关课题的研究时收集了一些 CAN 的相关资料，编写本书旨在向读者介绍 CAN 的相关知识，以及 CAN 的应用设计方法，希望可以对 CAN 总线技术在我国推广和发展起到一定的积极作用。

全书共分为 7 章，主要内容如下：

第 1 章 CAN 技术概述。详细介绍了 CAN 总线技术的一些基本知识，主要包括 CAN 总线技术的发展历程、CAN 应用领域的广阔前景。

第 2 章 CAN 局域网技术及其规范。全面地说明了 CAN 的性能特点和 CAN 2.0 版本技术规范。

第 3 章 CAN 控制器及有关器件。介绍了一些典型而且目前使用很广泛的、支持 CAN 技术规范的器件，包括 CAN 独立控制器 SJA1000 及 3 种实用的 CAN 总线驱动器 PCA82C250、TJA1040 和 TJA1054 的原理和使用方法。

第 4~6 章系统地叙述了一个应用 CAN 总线技术的智能控制系统的设计方案。其中：

第 4 章 CAN 总线应用层协议的制定。叙述了一种自定义的适合温室控制的 CAN 应用层协议。包括信息标识符的分配方案、数据交换方法和报文滤波机制的使用方法。

第 5 章 CAN 总线智能节点的开发。叙述了温室控制系统中智能节点的硬件和软件设计方案，所设计的智能节点有 4 种：DI、DO、AI、AO，用于参数采集和输出控制。

第 6 章 CAN 总线智能控制器的开发。叙述了温室控制系统中智能控制器的硬件和软件设计方案。该控制器包括键盘输入/输出、LCD 显示、以太网等接口。

第 7 章 CAN 多主机应用的应用实例。以测控系统和机器人中的应用为例，说明了 CAN 多主机原理在不同领域中的应用。

本书第 1、2 章由曹晓钟编写，第 3~6 章由杜尚丰、徐津编写，第 7 章由孙鹤旭编写。

由于编者的水平有限，全书完成得也比较仓促，书中出现错误和不妥之处在所难免，恳请读者批评指正，提出宝贵意见。

编著者

2005 年 11 月

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

目 录

第 1 章 CAN 技术概述	(1)
1.1 CAN 技术简介	(1)
1.2 CAN 技术的发展史	(1)
1.2.1 CAN 技术的起源	(1)
1.2.2 CAN 总线技术的标准化	(2)
1.2.3 CAN 先行者的发展	(3)
1.2.4 CAN 从理论到实践	(4)
1.3 CAN 的应用和前景展望	(5)
1.3.1 CAN 主要应用领域	(5)
1.3.2 基于 CAN 总线应用系统的前景展望	(6)
第 2 章 CAN 局域网技术及其规范	(9)
2.1 CAN 的性能特点	(9)
2.2 CAN 技术规范	(9)
2.2.1 CAN 的基本概念	(10)
2.2.2 CAN 的分层结构	(12)
2.2.3 CAN 的报文传送和帧结构	(13)
2.2.4 错误类型和故障界定	(20)
2.2.5 位定时与同步	(22)
2.2.6 CAN 总线媒体装置特性	(25)
第 3 章 CAN 控制器及有关器件	(29)
3.1 CAN 协议控制器 SJA1000	(29)
3.1.1 SJA1000 基本结构及原理	(29)
3.1.2 SJA1000 的位定时	(61)
3.1.3 SJA1000 的应用指南	(74)
3.2 CAN 总线驱动器	(86)
3.2.1 通用 CAN 收发器 PCA82C250/251	(86)
3.2.2 高速 CAN 收发器 TJA1040	(93)
3.2.3 容错的 CAN 收发器 TJA1054	(95)
第 4 章 CAN 总线应用层协议的制定	(109)
4.1 信息标识符分配方案	(109)
4.1.1 信息标识符分配原则	(109)
4.1.2 信息标识符结构	(109)
4.1.3 信息优先权分配	(111)
4.2 应用层信息帧格式	(112)

4.3	数据交换方法	(113)
4.3.1	生产/消费方式	(113)
4.3.2	远程请求方式	(114)
4.3.3	点对点通信	(114)
4.4	报文滤波机制的利用	(116)
第5章	CAN 总线智能节点的开发	(117)
5.1	CAN 智能节点的硬件设计	(117)
5.1.1	CAN 智能节点的硬件结构	(117)
5.1.2	CAN 智能节点的硬件实现	(118)
5.1.3	CAN 智能节点的硬件抗干扰措施	(125)
5.2	CAN 智能节点的软件设计	(126)
5.2.1	CAN 智能节点的软件模型	(126)
5.2.2	CAN 智能节点的软件实现	(127)
5.3	CAN 智能节点的调试	(136)
5.3.1	CAN 智能节点的硬件调试	(136)
5.3.2	CAN 智能节点基本通信的调试	(136)
5.3.3	CAN 智能节点具体功能的调试	(137)
5.4	源程序	(137)
5.4.1	智能节点 DI 的程序	(137)
5.4.2	智能节点 DO 的程序	(157)
5.4.3	智能节点 AI 的程序	(177)
5.4.4	智能节点 AO 的程序	(198)
第6章	CAN 总线智能控制器的开发	(220)
6.1	智能控制器的硬件设计	(220)
6.1.1	智能控制器的结构和功能	(220)
6.1.2	智能控制器硬件的实现	(220)
6.2	智能控制器的软件设计	(231)
6.2.1	CAN 智能控制器的软件模型	(231)
6.2.2	CAN 智能控制器的软件实现	(231)
6.3	智能控制器的调试	(240)
6.3.1	CAN 智能控制器基本通信的调试	(240)
6.3.2	CAN 智能控制器具体功能的调试	(240)
6.3.3	总体调试	(241)
第7章	CAN 多主机应用的应用实例	(242)
7.1	在测控系统中的应用	(242)
7.1.1	CAN 在测控系统中的应用方案	(242)
7.1.2	应用程序	(245)
7.2	AUV 智能机器人控制系统	(279)

7.2.1 AUV 智能机器人控制简介	(279)
7.2.2 智能机器人控制的基本要求	(280)
7.2.3 AUV 底层网络模型分析	(280)
7.2.4 AUV 智能机器人接口设计	(284)
7.2.5 监控节点硬件设计	(290)
7.2.6 软件设计	(298)
参考文献	(305)

第 1 章 CAN 技术概述

1.1 CAN 技术简介

CAN 全称为 Controller Area Network，即控制器局域网，CAN 总线是国际上应用最广泛的现场总线之一。最初，CAN 总线技术被应用到汽车环境中的微控制器通信，在车载各电子控制装置 ECU 之间交换信息，形成汽车电子控制网络。比如发动机管理系统、变速箱控制器、仪表装备、电子主干系统中均嵌入 CAN 控制装置。

CAN 协议也是建立在国际标准化组织的开放系统互连模型基础上的，不过其模型只有三层，即只取 OSI 底层的物理层、数据链路层和顶层的应用层。其信号传输介质可以是双绞线、同轴电缆或光导纤维。CAN 可提供高达 1Mbps 的数据传输速率（此时通信距离最长为 40m），直接传输距离最远可达 10km（速率 5Kbps 以下）。CAN 总线通信接口集成了 CAN 协议的物理层和数据链路层功能，可完成对通信数据的成帧处理，包括位填充、数据块编码、循环冗余检验、优先级判别等。CAN 协议的一个最大特点是废除了传统的站地址编码，而对通信数据块进行编码。采用这种方法可使网络内的节点个数在理论上不受限制，但在实际应用中，节点数目受网络硬件的电气特性所限制。例如，当使用 Philips PCA82C250 作为 CAN 收发器时，同一网络中允许挂接 110 个节点。数据块的标识码可由 11 位或 29 位二进制数组成，这种按数据块编码的方式，还可使不同的节点同时接收到相同的数据，这一点在分布式控制系统中非常有用。

另外，CAN 的信号传输采用短帧结构，每一帧的有效字节数为 8 个，可满足通常工业领域中控制命令、工作状态及测试数据的一般要求；同时 8 个字节不会占用总线时间过长，从而保证了通信的实时性，而且受干扰概率也很低。CAN 协议采用 CRC 检验并提供相应的错误处理功能，保证了数据通信的可靠性。当节点严重错误时，具有自动关闭功能，以切断节点与总线的联系，使总线上的其他节点及通信不受影响，具有较强的抗干扰能力。CAN 卓越的特性、极高的可靠性和独特的设计使其特别适合工业过程监控设备的互连。

1.2 CAN 技术的发展史

1.2.1 CAN 技术的起源

1986 年 2 月，Robert Bosch 公司在 SAE（汽车工程协会）大会上介绍了一种新型的串行总线——CAN，那是 CAN 诞生的时刻。今天，在欧洲几乎每一辆新轿车均装配有 CAN 总线。同样，CAN 也用于其他类型的交通工具，从火车到轮船或者用于工业控制。

CAN 已经成为全球范围内最重要的总线之一——甚至领导着串行总线。在 1999 年, 接近 6 千万个 CAN 控制器投入应用; 2000 年, CAN 器件的市场销售超过 1 亿个。

在 1980 年的早些时候, Bosch 公司的工程师就开始论证当时的串行总线用于客车系统的可行性, 因为没有一种现成的网络方案能够完全满足汽车工程师们的要求。于是, 在 1983 年初, Uwe Kiencke 开始研究一种新的串行总线。新总线的主要方向是增加新功能, 减少电气连接线, 使其能够用于产品, 而非用于驱动技术。来自 Mercedes-Benz 的工程师较早制定了总线的状态说明, 而 Intel 也准备作为半导体生产的主要厂商。当时聘请的顾问之一是来自于德国 Braunschweig-Wolfenbuttel 的 Applied Science 大学教授 Wolfhard Lawrenz 博士, 他给出了新网络方案的名字——“Controller Area Network”, 简称 CAN。来自 Karlsruhe 大学的教授 Horst Wettstein 博士也提供了理论支持。

1986 年 2 月, 在底特律的汽车工程协会大会上, 由 Bosch 公司研究的新总线系统被称为“汽车串行控制器局域网”。这种多主网络方案基于非破坏性的仲裁机制, 能够确保高优先级报文的无延迟传输, 并且, 不需要在总线上设置主控制器。此外, Bosch 公司已经实现了数种在 CAN 中的错误检测机制。该错误检测也包括自动断开故障节点功能, 以确保能继续进行剩余节点之间的通信。传输的报文并非根据报文发送器/接收器的节点地址识别(几乎其他的总线都是如此), 而是根据报文的内容识别。同时, 用于识别报文的标识符也规定了该报文在系统中的优先级。

1987 年中期, Intel 比计划提前两个月交付了首枚 CAN 控制器 82526, 这是 CAN 方案首次通过硬件实现。仅仅用了 4 年的时间, 设想就变成了现实。不久之后, Philips 半导体公司推出了 82C200。这两枚最先的 CAN 控制器在验收滤波和报文控制方面有许多不同。一方面, 由 Intel 主推的 FullCAN 比由 Philips 主推的 BasicCAN 占用较少的 CPU 载荷; 另一方面, FullCAN 器件所能接收的报文数目相对受到限制, BasicCAN 控制器仅需较少的硅晶体。在今天的 CAN 控制器中, “孙子”辈们在同一模块中的验收滤波和报文控制方面仍有相当的不同, 制造出 BasicCAN 和 FullCAN 两大阵营。

1.2.2 CAN 总线技术的标准化

由于 CAN 总线被越来越多不同领域所采用和推广, 从而要求不同应用领域通信报文的标准化。在 20 世纪 90 年代初, Bosch CAN 规范(版本 2.0)被提交作为国际标准。

1991 年 9 月, Philips 半导体公司制定并发布了 CAN 技术规范(版本 2.0)。该技术规范包括 A 和 B 两部分, 其中 2.0A 给出了曾在 CAN 技术规范版本 1.2 中定义的 CAN 报文格式, 2.0B 给出了标准的和扩展的两种报文格式。

1993 年 11 月, ISO 正式颁布了道路交通运输工具—数据信息交换—高速通信控制器局域网(CAN)国际标准(ISO11898), 为控制器局域网标准化、规范化推广铺平了道路。同时, 在 CAN 协议中定义了物理层的波特率最高为 1Mbps。另外, CAN 数据传送中的错误处理方式也在 1995 年的 ISO11519-2 中标准化, ISO11898 标准也由于加入了描述 29 位 CAN 的标识符而得以扩充。

直到现在, 修改的 CAN 规范正在标准化的过程中。ISO11898-1 定义了“CAN 数据链路层”, ISO11898-2 定义了“无错误—误差 CAN 物理层”, ISO11898-3 定义了“错

误-误差物理层”。国际标准 ISO11992（卡车和拖车接口）和 ISO11783（农业和森林机械）都在美国标准 J1939 的基础上定义了基于 CAN 应用的子协议，但是它们并不完整。

1.2.3 CAN 先行者的发展

尽管当初研究 CAN 的起点是应用于客车系统的，但 CAN 的第一个市场应用却来自其他领域。特别是在北欧，CAN 早已得到非常普遍的应用；在荷兰，电梯厂商 Kone 使用 CAN 总线；瑞士工程办公室 Kvaser 已建议将 CAN 应用至一些纺织机械厂（Lindauer Dornier 和 Sulzer），并由他们提供机器的通信协议。这一领域中，在 Lars-Berno Fredriksson 的领导下，公司建立了“CAN 纺织机械用户集团”。到 1989 年，他们已研究出通信原理，并于 1990 年早期帮助建立“CAN Kingdom”开发环境。尽管 CAN Kingdom 不是一种基于 OSI 参考模型的应用层，但它被认为是基于 CAN 的高层协议的原型。

在荷兰，Philips 医疗系统决定使用 CAN 构成 X 光机的内部网络，成为 CAN 的工业用户，主要由 Tom Suters 发表的“Philips 报文规范——PMS”提出了 CAN 网络的第一个应用层。来自德国 Weingarten 的 Applied Science 大学教授 Konrad Etschberger 博士也持同样的观点，他管理 Steinbeis Transfer Center for Process Automation（Stzp）公司（现在更名为 IXXAT Automation 公司），并开发出一个类似的方案。

不管如何，第一个高层协议正在形成。大多数 CAN 的先行者使用单片电路的方法，将通信功能、网络管理、应用代码组合在同一个软件之中。即使对于一些用户有较多的标准模块可供利用，但面对所有的解决方案，它们也一定存在着缺陷。这就要求必须持续、稳定地发展 CAN 的高层协议——即使在今天，仍然有部分用户低估这个问题。

在 1990 年的早些时候，开始筹划成立一个用户组织，从而将不同的解决方案标准化。在 1992 年初的几个月中，当时 VMEbus 杂志的主管（出版社：Franzis）Holger Zeltwanger 将用户和厂商集中在一起，讨论建立一个促进 CAN 技术发展的中立平台，同时也针对串行总线市场进行分析。1992 年 5 月，CiA（CAN in Automation）用户集团正式成立。仅在几个星期后，CiA 即发表了第一份技术杂志，那是关于物理层的，CiA 推荐仅使用遵循 ISO11898 的 CAN 收发器。到现在为止，在当时的 CAN 网络中使用非常普遍但并不兼容的 RS485 收发器已基本消失，尽管它也是厂商提供的。

CiA 的首批任务之一是规定 CAN 的应用层。根据 Philips 医疗系统（PMS）和 Stzp 所提供的内容，依靠其余 CiA 会员的协助，CAL——“CAN 应用层协议”，也称为“绿皮书”诞生了。在制定 CAN 应用规范时，CiA 的一个主要任务是进行 CAN 专家和其他 CAN 学习者之间的信息交流。因此，从 1994 年起，CiA 每年召开一次国际 CAN 会议。

另外一个理论方法是借鉴于农业的交通工具协会（LAV）。在 1980 年晚些时候，德国开始制定一个基于 CAN 的农业总线系统（LBS）协议。但协议还没有形成之前，国际标准化委员会已决定改向支持 US 解决方案——J1939。这也是一个基于 CAN 的应用子协议，由 SAE 的 Truck and Bus 协会制定。J1939 是一个非模块化的方案，简单易学，但灵活性很差。

1.2.4 CAN 从理论到实践

生产 CAN 模块集成器件的 15 家半导体厂商主要聚焦于汽车工业。从 1990 年中期起, Infineon 公司和 Motorola 公司已向欧洲的客车厂商提供了大量的 CAN 控制器。从 1990 年后期起, 远东的半导体厂商也开始提供 CAN 控制器。1994 年, NEC 推出了传说中的 CAN 芯片 72005。

从 1992 年起, Mercedes-Benz (奔驰) 公司开始在他们的高级客车中使用 CAN 技术。第一步, 使用电子控制器通过 CAN 对发动机进行管理; 第二步, 使用控制器接收操作员的操作信号。这就使用了两套物理上独立的 CAN 总线系统, 它们通过网关连接。其他的客车厂商也纷纷赶来学习, 在他们的客车上也使用两套 CAN 总线系统。现在, 继 Volvo、Saab、Volkswagen、BMW 之后, Renault 和 Fiat 也开始在他们的汽车上使用 CAN 总线。

在 1990 年的早些时候, 美国俄亥俄州的机械工程公司的工程师们与 Allen-Bradley 公司、Honeywell 微型开关公司开始了一个合资项目, 内容是基于 CAN 的通信与控制。但是, 不久之后, 项目组的重要成员离开, 导致合资项目终止。但 Allen-Bradley 公司和 Honeywell 公司各自继续从事这项工作, 这导致产生了两个高层协议: “DeviceNet” 和 “Smart Distributed System (SDS)”, 而且这两个协议在较低层的通信层上非常相似。在 1994 年早些时候, Allen-Bradley 将 DeviceNet 规范移交给专职推广 DeviceNet 的组织 “Open DeviceNet Vendor Association (ODVA)”; 而 Honeywell 则放弃了在 SDS 方面的努力, 使得 SDS 更像 Honeywell 公司的内部解决方案。DeviceNet 特别为工厂自动控制而定制, 因此, 使其成为类似 Profibus-DP 和 Interbus 协议的有力竞争者。倘若仅从即插即用的功能考虑, DeviceNet 已经成为美国特定应用领域中的领导者。

在欧洲, 一些公司在尝试使用 CAN 的应用层协议 (CAL)。尽管 CAL 在理论上正确, 并在工业上可以投入应用, 但每个用户都必须设计一个新的子协议, 因为 CAL 是一个真正的应用层。CAL 可以被看做 CAN 技术应用的一个特例, 所以这一领域它不会被推广。从 1993 年起, 在 Esprit project ASPIC 范围内, 由 Bosch 领导的欧洲协会研究出一个原型, 由此发展成为 CANopen, 它是一个基于 CAL 的子协议, 用于产品部件的内部网络控制。在理论方面, 来自德国 Reutlingen 的 Applied Science 大学教授 Gerhard Gruhler 博士和来自 Newcastle (UK) 大学的 Mohammed Farsi 积极参与, 在项目完成之后, CANopen 规范移交给 CiA 组织, 由其进行维护与发展。在 1995 年, CiA 发表了完整版的 CANopen 通信子协议; 仅仅用了 5 年的时间, 它就成为全欧洲最重要的嵌入式网络标准。CANopen 不仅定义了应用层和通信子协议, 也为可编程系统、不同器件、接口、应用子协议定义了页状态, 这也就是工业领域 (比如: 打印机、海事应用、医疗系统) 决定使用 CANopen 的一个重要原因。

DeviceNet 和 CANopen, 是两个定位于不同市场的标准应用层协议 (EN50325)。DeviceNet 适合于工厂自动化控制; CANopen 适合于所有机械的嵌入式网络。这又造就了两个不同的应用范围, 因此, 有必要定义应用层的技术规范。

1.3 CAN 的应用和前景展望

1.3.1 CAN 主要应用领域

CAN 自诞生以来,以其独特的设计思想、优良的性能和极高的可靠性越来越受到工业界的青睐。CAN 国际标准的制定更加推动了它的发展和用,基于 CAN 总线的工业应用系统也大量涌现。其主要应用领域包括大型仪器设备、传感器技术及数据采集系统和工业现场监控系统等。目前,支持 CAN 协议的有 Intel、Philips、Siemens、NEC、Silioni、Honeywell 等百余家国际著名大公司。CAN 总线应用研究还在不断深入,其应用范围必将不断扩大,发展前景十分广阔。

1.3.1.1 CAN 在传感器技术和数据采集系统中的应用

测控系统中离不开传感器,由于各种传感器的工作原理不同,其最终输出的电量形式各不相同,为了便于系统连接,通常要将传感器的输出变换成标准电压(如 0~5V)或标准电流(4~20mA)。即便这样,在与计算机相连时,还必须增加一个 A/D 环节。若传感器以数字量形式输出,则可方便地与计算机直接相连,从而省去中间变换环节,简化系统结构。将这种传感器与计算机相连的总线称为传感器总线。

据了解,传感器制造商对 CAN 总线产生了极大的兴趣。MTS 公司展示了其第一代带有 CAN 总线接口的数据磁致伸缩长度测量传感器。另外,一些厂商还提供带有 CAN 总线接口的数据采集系统。RD 电子公司提供了一种数据采集系统 CAN-MDE,此系统可由汽车内部电源(6~24V)供电,并带有掉电保护功能。MTE 公司推出带有 CAN 总线接口的四通道数据采集系统 CCC4,每通道采样频率为 16MHz,可存储 2MB 的数据。A/D 转换为 14 位,通过 CAN 总线可以将采样通道扩展到 256 个,并可以与带有 CAN 总线接口的 PC 进行数据交换。

1.3.1.2 CAN 在工业控制中的应用

目前,在工业控制系统中,CAN 总线在完成现场的智能仪器仪表、控制器、执行器等底层设备间的数据通信方面正发挥着巨大的作用;CAN 总线已成功地应用于 CNC 机床、农业温室控制系统、储粮水分控制系统、中央空调控制系统,以及温度、压力等非电量测量、检测系统等广阔领域。

在以往国内测控领域由于技术的限制,没有更好的选择,大都采用 BITBUS 和 RS485 作为通信桥梁,存在许多不足,如下所示。

(1) 主从结构网络上只能有一个主站,其余均为从站。其潜在的危险为:由于一个 BITBUS 网上只能有一个主节点,无法构成多主结构或冗余结构的系统,一旦主节点出现故障,整个系统将处于瘫痪状态,因而对主节点的可靠性要求很高。

(2) 数据通信方式为命令响应型。网络上任一次数据传输都由主节点发出命令开始,从节点接到命令后以相应的方式传给主节点,这使得网络上的数据传输速率大大降低,

并且使主节点控制器十分繁忙；同时，在下端出现异常时，数据不能立即上传，必须等待主节点下达命令，灵活性较差，在许多实时性要求较高的场合，这是致命弱点，有可能造成重大事故。

(3) BITBUS 的物理层采用的是陈旧的 RS485 规范，链路层为 SDLC 协议。总体来讲，效率较低，尤其是错误处理能力不强。

采用 CAN 总线技术则可使上述问题得到很好的解决。CAN 网络上任一节点均可作为主节点主动地与其他节点交换数据，解决了 BITBUS 中一直困扰人们的从节点无法主动地与其他节点交换数据的问题，给用户的系统设计和实现智能化控制带来了极大的灵活性，可大大提高系统的性能。CAN 网络节点的信息帧可分出优先级，这为有实时要求的用户提供了方便，这也是 BITBUS 无法比拟的；CAN 的物理层及链路层采用独特的设计技术，使其在抗干扰及错误检测能力等方面均超过 BITBUS。

CAN 的上述特点使其可作为现场设备级的通信总线，并且与其他总线相比具有很高的可靠性和性价比，成为诸多工业测控领域中优先选择的现场总线之一。因为 CAN 网络应用的普遍性，出现了各制造商为自身定制的高层协议，如 CANopen、DeviceNet 和 SDS。

1.3.1.3 CAN 在大型仪器设备中的应用

大型仪器设备是一种按照一定步骤对多种信息进行采集、处理、控制、输出等操作的复杂系统。过去，这类仪器设备的电子系统往往在结构和成本方面占据相当大的部分，而且可靠性不高。采用 CAN 总线技术后，在这方面有了明显改观。

以医疗器械为例，CT 断层扫描仪是现代医学上用于疾病诊断的有效工具。在 CT 中有各种复杂的功能单元，如 X 光发生器、X 光接收器、扫描控制单元、旋转控制单元、水平垂直运动控制单元、操作台、显示器及中央计算机等，这些功能单元之间需要进行大量的数据交换。为保证 CT 可靠工作，对数据通信有如下要求。

- (1) 功能块之间可随意进行数据交换，这要求通信网具有多种性质。
- (2) 通信能以广播形式进行，以便发布同步命令或故障报警。
- (3) 简单、经济的硬件接口，通信线应尽量少，并能通过滑环进行信号传输。
- (4) 抗干扰能力强，因为 X 射线管可在瞬时发出高能量，产生很强的干扰信号。
- (5) 可靠性高，能自动进行故障识别并自动恢复。

以上这些要求在长时间内未能很好解决，直至 CAN 总线技术的出现才提供了一个较好的解决方案。目前，Siemens 公司生产的 CT 断层扫描仪已采用了 CAN 总线技术，改善了该设备的性能。

1.3.2 基于 CAN 总线应用系统的前景展望

尽管 CAN 协议已经有 20 年的历史，但它仍处在改进之中。从 2000 年开始，一个由数家公司组成的 ISO 任务组织定义了一种时间触发 CAN 报文传输的协议。Bernd Mueller 博士、Thomas Fuehrer、Bosch 公司人员和半导体工业专家、学术研究专家将此协议定义为“时间触发通信的 CAN (TTCAN)”，计划在将来标准化为 ISO11898-4。这个 CAN 的扩展已在硅片上实现，不仅可实现闭环控制下支持报文的时间触发传输，而且可以实现

CAN 的 x-by-wire 应用。因为 CAN 协议并未改变，所以在同一个物理层上，既可以实现传输时间触发的报文，也可以实现传输事件触发的报文。

TTCAN 将为 CAN 延长 5~10 年的生命期。现在，CAN 在全球市场上仍然处于起始点，当得到重视时，谁也无法预料 CAN 总线系统在下一个 10~15 年内的发展趋势。这里需要强调一个现实：近几年内，美国和远东的汽车厂商将会在他们所生产的汽车串行部件上使用 CAN 总线技术。另外，大量潜在的新应用（例如：娱乐）正在呈现——不仅可用于客车，也可用于家庭消费。同时，结合高层协议应用的特殊保安系统对 CAN 的需求也正在稳健增长。德国专业委员会 BIA 和德国安全标准权威 TUV 已经对一些基于 CAN 的保安系统进行了认证，CANopen-Safety 是第一个获得 BIA 许可的 CAN 解决方案，DeviceNet-Safety 也会马上跟进。全球分级协会的领导者之一，Germanischer Lloyd 正在准备提议将 CANopen 固件应用于海事运输。在其他事务中，规范定义可以通过自动切换将 CANopen 网络转换为冗余总线系统。

以微处理器芯片为基础的各种智能仪表，为现场总线的数字化以及实现复杂的应用提供了条件。但不同厂商所提供的设备之间的通信标准不统一，严重束缚了工厂底层网络的发展。从用户到设备制造商都强烈要求形成统一的标准，组成开放互连网络，把不同厂商提供的自动化设备互连为系统。这里的开放意味着对同一标准的共同遵从，意味着这些来自不同厂商而遵从相同标准的设备可互连为一致通信系统。从这个意义上说，现场总线就是工厂自动化领域的开放互连系统。开放这项技术首先必须制定相应的统一标准。CAN 以其独特的设计理念和众多突出的优点首先成为了国际标准协议，对促进国际统一标准的形成起到了不容忽视的作用。

基于 CAN 总线的通信具有突出的可靠性、实时性和灵活性。CAN 作为现场设备级的通信总线，和其他总线相比，具有很高的可靠性和性能价格比，其总线规范已经成为国际标准，被公认为现场总线家族中最具希望的总线技术之一。目前，CAN 接口芯片的生产厂家众多，协议开放，价格低廉，并且使用简单，可以预计，CAN 总线将成为今后众多领域的发展方向。为了进一步满足应用的需要，完善组网设计和功能管理，CAN 还有很多理论和技术方面的问题有待解决，这其中就包括标准开放式应用层协议的制定，提出更灵活的网络拓扑结构和使用更简单、经济的单片式 CAN 芯片等。

随着现代通信行业的发展，无线通信技术越来越多地应用在过去是有线通信统治的领域。CAN 总线这种有线通信方式也将与无线技术相结合，开拓其新的应用天地。CDMA、GPRS、蓝牙技术的发展已将它们连接在一起。CDMA、GPRS、蓝牙是一种无线技术规范，其设计宗旨是以无线方式传输数据，从而为广泛的移动计算、通信和其他设备提供一种更加简单的方式，使其无需线缆即可与另外一台设备进行通信。随着无线技术的完善和将无线技术应用到 CAN 总线系统中研究的不断深入，我们可以乐观地预计，未来 CAN 总线技术的应用将无处不在；虚拟的 CAN 总线即将诞生。

附：CAN 历史事件一览表

1983 年：Bosch 公司开始研发车内网络系统

1986 年：CAN 协议正式公布