

CANopen

—das standardisierte, eingebettete Netzwerk

现场总线

CANopen

设计与应用

[德] Holger Zeltwanger 著

周立功 黄晓清 严寒亮 译



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

CANopen——das standardisierte, eingebettete Netzwerk

现场总线 CANopen 设计与应用

[德] Holger Zeltwanger 著

周立功 黄晓清 严寒亮 译

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书讲述作为工业现场总线协议重要成员之一——CANopen 协议的基本原理、规则以及相关背景,重点介绍 CANopen 协议的工作机制,力求向读者展现 CANopen 协议的概貌,使读者能够理解为何 CANopen 需要制定如此的工作流程。全书分为 4 个部分,第一部分由第 1~3 章组成,主要介绍通信的基本原理,以及 CANopen 协议物理层和链路层的基本特性(CAN 总线);第二部分由第 4~5 章组成,主要介绍 CANopen 的基本核心工作机制和 CANopen 主站设备的特点;第三部分由第 6~8 章组成,主要介绍 CANopen 应用中的设备子协议规范;第四部分由第 9~10 章组成,主要介绍 CANopen 协议的应用及调试的方法和工具。

本书适合从事工业控制或工业通信的工程技术人员使用,也可作为高等院校自动化、机电一体化、电子信息类等专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现场总线 CANopen 设计与应用 / (德)蔡豪格
(Zeltwanger, H.) 著;周立功,黄晓清,严寒亮,译. —
北京:北京航空航天大学出版社,2011.7

ISBN 978-7-5124-0486-1

I. ①现… II. ①蔡… ②周… ③黄… ④严… III.
①总线—技术 IV. ①TP336

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 122791 号

版权所有,侵权必究。

CANopen——das standardisierte, eingebettete Netzwerk

现场总线 CANopen 设计与应用

[德] Holger Zeltwanger 著

周立功 黄晓清 严寒亮 译

责任编辑 董云凤 张金伟 张 淳

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱: bhpress@263.net 邮购电话:(010)82316936

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787 mm×960 mm 1/16 印张:14.25 字数:319 千字

2011 年 7 月第 1 版 2011 年 7 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 978-7-5124-0486-1 定价:32.00 元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

版 权 声 明

本书原德文书名: CANopen——das standardisierte, eingebettete Netzwerk

本书原德文作者: Holger Zeltwanger

CAN in Automation GmbH, International Headquarters

Kontumazgarten 3

DE-90429 Nürnberg

© 2008 VDE VERLAG GMBH, Berlin und Offenbach

Bismarckstraße 33, 10625 Berlin

All Rights Reserved.

本书中文简体字版由 **Holger Zeltwanger** 授权北京航空航天大学出版社在中华人民共和国境内独家出版发行。

版权所有。

北京市版权局著作权登记号: 图字: 01 - 2011 - 2371

译者序

现场总线 CAN - bus 作为工业现场总线中非常重要的一员,凭借其可靠、实时、灵活、经济的特点,目前已在自动化、轿车、工程车辆、机车、船舶等诸多行业广泛使用。

CAN - bus 的国际标准只对物理层和数据链路层制定了规范,对应用层没有定义。国内许多 CAN 用户采用的是自己定义的应用层协议。因为诸多原因,许多设计者定义的 CAN - bus 上层协议局限性较大,甚至仅仅是用于在物理层取代传统的 RS - 485 总线。这些设计并没有很好地体现 CAN - bus 可以多主机、优先级仲裁等优点,致使系统的实时性和可靠性都较低。

从另一方面来看,许多用户自定义的通信协议最初通常只是满足于解决当时的通信需求。随着设备功能的增加和网络的复杂化,自定义的应用层协议也在“打补丁”,变得越来越繁杂臃肿,最终变成一个完全无法与外界兼容的自成一派的通信协议,甚至同一个公司的新老产品都无法混合组网使用。中国的工控产品生产商要想与国外自动化巨头同台竞技,就有必要遵循国际通行的游戏规则。

CANopen 协议是在现场总线 CAN - bus 之上定义的一套应用层协议,其核心是对象字典及多种通信方式。基于这一核心,该协议又对多种行业设备制定了进一步的规范,称为设备子协议。只要符合某个设备子协议的产品,就可以互换使用。这是一种设备厂家和用户都双赢的局面,既能打破少数厂家的技术壁垒,又能使用户有更多选择。

CiA(CAN in Automation)协会是 CANopen 协议的官方非盈利管理机构,该协会由本书的原德文作者 Holger Zeltwanger 先生于 1992 年 5 月创建,其总部设在德国,在广州设有办事处。CiA 协会专注于研究 CAN - bus 总线原理与应用,CANopen 协议即是 CiA 成员们一致努力的成果。CANopen 协议自 1994 年推出以来已走过 17 个年头,通过 CiA 协会的专注与贯彻,CANopen 协议已经成为电梯网络、运动控制、船舶运输、医疗仪器、工程机械等行业的通用标准。Zeltwanger

先生非常重视 CANopen 协议在中国的推广和应用,几乎每年都会在中国亲自进行技术培训和推广活动。

随着中国企业的成长以及全球市场的开放,越来越多的用户接触到了现场总线 CAN-bus 产品,也有相当多的用户开始使用或开发 CANopen 协议相关产品。但是与之形成对比的是,国内却没有一本介绍 CANopen 协议的专著,相关资料也零散而不系统,以至于许多工程师甚至无法使用 CANopen 设备,更别说开发 CANopen 产品。

广州致远电子有限公司一直致力于主流现场总线在行业内的应用和推广,我们从 1999 年开始进行 CAN 总线相关产品的研发与应用,出版了多本 CAN 总线相关的专著,几乎见证了 CAN 总线在国内的发展历程。我们感觉到,国内迫切地需要一本 CANopen 专著来降低 CANopen 的应用门槛。当我们把这个想法告诉 Zeltwanger 先生时,他很高兴地表示愿意把他的专著授权我们翻译出版,而且不收取任何版税。广州致远电子有限公司的领导也非常支持我们做这项公益项目,调配翻译组的同事和多位经验丰富的 CAN 总线工程师来进行翻译出版工作。

本书原著是德文,也没有其它中文书籍可供参考,因此我们能被授权翻译该书,深感荣幸,也倍感压力。尽管经过近两年时间的翻译整理,期间也与 Zeltwanger 先生频繁沟通,但仍难免存在纰漏和理解错误的地方,恳请读者能批评指正,相关邮件请发送到 canopen@zlg.cn。同时该邮箱也愿意成为所有关注 CANopen 协议的用户朋友的技术交流园地与应用探讨空间,我们愿与大家一起分享可靠应用 CANopen 的成功经验。

本书最后一章(即第 10 章)是译者经本书原德文作者 Zeltwanger 先生同意后,针对 CANopen 系统应用而特别编写的内容。

感谢为本书付出努力和提供帮助的所有人,希望本书能为提升国内自动化水平略尽绵薄之力。

译者

2011 年 6 月

前 言

CANopen 是一种基于控制器局域网(CAN)的通信子协议。其最初的通信原型始于德国 BOSCH 公司领导的 Esprit 项目,这是一种为用于产品部件内部网络通信而开发的系统。最初,CANopen 通信子协议是以 CiA(国际用户与制造商团体)所定义的 CAL 为基础的,CAL 是按照 OSI 参考模型定义的一种应用层。在 Esprit 项目结束之后,CANopen 规范被转交给 CiA 继续进行修改和维护。CiA 利益组 IG(Interest Group)对 CANopen 通信子协议进行了全面的修改,并于 1996 年 10 月发布了 3.0 版的 CANopen 规范。之后 CiA 又在 2002 年 2 月发布了 Version 4.0.2。Version 4.0.2 包含了迄今为止可在 CAL 规范(CiA 标准草案 201~207)中查阅到的所有定义和描述,是欧洲标准 EN50325-4 的基础。2007 年底发布的 CANopen 通信子协议(Version 4.2)仅包含少许新功能。这次修改主要是去除了含混不清、易引起误解的规范内容以及显而易见的矛盾和错误。

CANopen 规范全集除了包括应用层和通信协议之外,还包括各种不同的框架、建议,以及标准的设备规范、接口协议与应用技术规范。CANopen 的“创始者们”原打算开发一种标准化嵌入式网络(Embedded Network),以便将大批量的设备用于嵌入式机床控制器之中。这样做的主要目的是为了系统尽可能拥有更多的自由度。另外,功能 off-the-shelf plug-and-play(开箱即用,即插即用)最初是没有的,但是可以通过基于 CANopen 协议的相关应用技术规范来实现。

CANopen 的自由度很大,因而其应用非常广泛。CANopen 不仅成功地应用于传统的机床控制器中,还涉及其他的领域,比如医疗、航海、铁路、军事以及太阳能领域。此外,CANopen 还可应用于楼宇、实验室、过程与生产自动化等领域。

这本由多名作者合著的 CANopen 著作一方面阐述了 CANopen 中所应用的基本程序和方法,另一方面也介绍了相关背景,使得读者能够理解为何选用了这种程序或者选用了那种方法。但是本书并不能代替 CANopen 协议(规范)。想要采用 CANopen 的设备制造商必须认真参考相应的 CANopen 规范和建议文档。系

统集成也是如此,虽然能够运用性能十分强大的软件工具,但如果涉及高度优化的系统,还是需要对 CANopen 进行详细了解,因此必须参考相关的 CANopen 规范和建议文档。

尽管应用层和通信协议已经非常稳定,但对 CANopen 规范的研究工作依然要继续进行。尤其是设备规范和应用技术规范尚不稳定,原因是:一方面有新的应用领域提出了其他要求,另一方面设备功能随着技术进步日新月异。本书所反映的是 2007 年初的 CANopen 技术状况,在某些方面对其他研究工作进行了预测。若有疑问,应始终以 CiA 发布、改进和维护的官方规范为准。另外,您也可以在 CiA 网站(www.can-cia.org)上免费下载现行版本的 PDF 文档。尚处在研究阶段的规范仅供 CiA 成员使用,并由成员决定是否以及何时发布规范。

Holger Zeltwanger

目 录

第 1 章 通信和设备模型	1
1.1 通信层和参考模型	1
1.2 设备模型和兼容性等级	2
1.3 对象的描述与定义	4
第 2 章 物理层	6
2.1 位定时和位填充	6
2.2 高速收发器芯片	8
2.3 网络拓扑结构	9
2.4 连接器	12
第 3 章 CAN 协议	14
3.1 报文格式	15
3.2 错误的检测、限制和处理	21
3.2.1 错误检测机制	21
3.2.2 无法检测到的错误	26
第 4 章 应用层	28
4.1 基本原理	29
4.2 通信对象	33
4.2.1 过程数据对象	33
4.2.2 服务数据对象	47
4.2.3 同 步	57
4.2.4 发送设备错误信号	60
4.3 对象字典	62
4.3.1 对象词典的分配	63
4.3.2 通信参数的描述	64
4.3.3 对象字典的实现	73
4.4 网络管理系统	76
4.4.1 NMT 服务与协议	76
4.4.2 设备监控	80

4.5	CAN 标识符的分配	81
4.5.1	预定义主/从连接集	81
4.5.2	设备的基本功能	83
4.6	节点 ID 的分配	84
第 5 章	应用层的附加功能	88
5.1	可编程的 CANopen 设备	88
5.1.1	术语的定义	89
5.1.2	标准的网络启动	89
5.1.3	CANopen 管理器的作用	90
5.1.4	可编程的 CANopen 设备的过程数据	93
5.1.5	网络变量	94
5.1.6	下载程序	98
5.2	网络组	99
5.3	安全数据传输协议	101
5.3.1	安全相关的数据对象 SRDO	102
5.3.2	CANopen 安全实施方案	104
第 6 章	设备子协议	108
6.1	基 础	109
6.2	I/O 模块的子协议	109
6.2.1	数字量输入	110
6.2.2	数字量输出	111
6.2.3	模拟量输入	112
6.2.4	模拟量输出	113
6.2.5	控制手柄	114
6.3	驱动和运动控制设备子协议	115
6.3.1	驱动器状态机	115
6.3.2	驱动器的工作模式	117
6.3.3	因数组	123
6.3.4	预定义 PDO	123
6.4	传感器和测量设备的子协议	124
6.4.1	模拟量输入功能模块	124
6.4.2	调节器功能模块	125
6.4.3	报警功能模块	125
6.4.4	数字 I/O 功能模块	126

6.4.5 从数据类型到对象词典	126
6.4.6 子协议的特性	127
6.5 编码器和凸轮转换机构子协议	128
6.5.1 编码器参数和诊断对象	129
6.5.2 操作模式	130
6.5.3 编码器中的凸轮转换机构	130
6.6 液压阀的子协议	131
6.6.1 常规定义	133
6.6.2 应用对象	134
6.6.3 PDO 映射	134
6.7 倾角传感器的子协议	135
6.8 织布机的子协议	135
6.9 蓄电池和充电器的子协议	136
6.10 医疗器械的子协议	138
6.11 其他的设备子协议	143
第 7 章 接口规范	144
7.1 与符合 IEC 61131-3 标准的控制器接口	144
7.1.1 数据类型	144
7.1.2 网络变量	145
7.1.3 功能块	146
7.1.4 数据交换	148
7.2 商务车辆中的网络接口	148
7.3 基于以太网的网络接口	149
7.4 连接到 AS-Interface 的 CANopen 网关	151
7.5 其他的接口规范	155
第 8 章 应用规范	156
8.1 基础知识	157
8.2 针对乘客信息系统的应用规范	158
8.3 针对建筑机械的传感器的应用规范	160
8.4 针对垃圾收集车的应用规范	163
8.5 针对电梯控制器的应用规范	165
8.6 针对挤压机下游设备的应用规范	167
8.7 针对造影剂注射器的应用规范	170
8.8 针对轨道车辆的应用规范	173

8.8.1 车载集成网络	173
8.8.2 用于子系统内部通信的应用规范	175
8.9 针对吊车附加设备的应用规范	178
第 9 章 CANopen 工具	182
9.1 设备数据表与设备配置文件	183
9.2 配置 CANopen 设备和系统	184
9.3 系统配置流程	188
9.4 配置工具的结构与工作原理	188
9.5 用于 CANopen 设备的设计工具	191
9.6 仿真工具	191
9.7 一致性与性能测试系统	192
9.7.1 CANopen 一致性的检验	192
9.7.2 性能检测	193
第 10 章 CANopen 设备及网络	195
10.1 CANopen 设备分类	195
10.2 CANopen 网络结构	196
10.3 CANopen 网络配置	198
10.4 CANopen 应用案例	201
10.4.1 空调控制系统网络结构	201
10.4.2 空调机的 PDO 分配	201
10.4.3 CANopen 网络的优势	203
附录 A 参考文献	205
附录 B 作者	209
附录 C 词汇表	211



本章中.....

1.1 通信层和参考模型	1
1.2 设备模型和兼容性等级	2
1.3 对象的描述与定义	4

第1章

通信和设备模型

1.1 通信层和参考模型

所有标准的工业通信系统均必须符合国际标准化组织(ISO)所定义的 OSI(开放系统互联模型)开放协议标准。CANopen 通信系统,可根据该模型来描述,如图 1.1 所示。CANopen 以涵盖物理层和数据链路层功能的串行总线系统 CAN(控制器局域网)为基础,所有 CANopen 功能均被映射到一个或多个 CAN 报文。

应用层	CANopen 应用层 (CiA 301、CiA 302)
表示层	
会话层	
传输层	
网络层	
数据链路层	ISO 11898-1
物理层	ISO 11898-2、CiA 303-1

图 1.1 CANopen 数据通信模型的简化图

CAN 控制器中采用的 CAN 协议符合 ISO11898-1 规范标准。它包含的子层有 LLC(逻辑链路控制)、MAC(介质访问控制)以及 PLS(物理信号)。预定义 CANopen 消息使用的是基本的报文格式(带 11 位标识符)。扩展报文格式(带 29 位标识符)仅用于系统研发者所配置的报文。物理层包含的子层有 MAU(介质访问单元)和 PMA(物理层链接),两者均符合高速传输标准 ISO 11898-2 规范的要求,相应的驱动模块也必须符合该规范的要求。而对于 MDI(介质专用接口)、电缆和插接器,CAN 规范只进行了简单的介绍。CANopen 规范和建议文档包含一些扩展的定义,其中部分为用户专用的定义。

在 CANopen 中仅需要一部分网络层、传输层、会话层或表示层的功能,CANopen 应用层(CiA 301)对此进行了具体描述。CANopen 应用层具体描述了通信服务和通信协议。除此之外,还对形式上属于通信协议且不是 ISO 应用层组成部分的一些特定通信对象的数据内容进行了描述。在 CANopen 标准中还包括网络管理。规范 CiA 305 对层设置服务(LSS)进行了描述。LSS 可以对位速率和设备标识(节点 ID)进行设置和修改。CiA 305 规范对用于可编程 CANopen 设备和与安全相关的数据通信也进行了描述。此外,还有一些基于 CANopen 规范的设备子规范、接口规范以及应用规范,这些规范主要用来定义过程数据、配置参数及其与通信对象的映射关系。

我们可以把图 1.1 所示的 7 层模型作为人与人之间的沟通方式来介绍。就拿写信来举例,DIN-A4 规格的纸张和打印机内的墨粉相当于物理层,拉丁字母就是逻辑层(数据链路层),打印机以及其中所放置的纸张就是 CAN 收发器和 CAN 控制器,语法好比应用层。CANopen 应用层的作用就是定义句子成分(主语、谓语、宾语等)。假如要在国外的一家餐厅订餐,我们不需要懂得这个国家的语言,只要使用有常用短语的旅行用语手册即可,比如把预设短语稍做改动,把咖啡换成茶或可可。在这个例子中,旅行常用语手册相当于 CANopen 中的设备字规范、接口规范以及应用规范。这些规范标准会事先定义好反复出现的文字(如范文和常用短语)。这样就可以减少写信花费的时间,相当于减少设计通信系统花费的时间。这些规范标准可以由制造商定义,也可以由 CiA 来定义。它们不属于 OSI 参考模型,其使用的是应用层的服务。

1.2 设备模型和兼容性等级

带总线接口的电子设备通常具有过程输入/输出端,总线接口所涉及的可以是数字或模拟传感器信号以及数字或模拟输出信号,也可以是其他网络、总线系统和串行接口。此外,这类设备还具有 3 种虚拟接口,可用来传输不同的数据:

- 对时间要求严格的过程数据(输入/输出信号);
- 对时间要求不严格的过程数据和配置数据;

➤ 诊断信息和错误信息。

这3种接口均被映射到各种不同的通信服务中。该设备模型源自于技术报告 IEC62390,符合 IEC TR 62390 标准的设备模型如图 1.2 所示。通信服务可以在一个或多个总线系统上完成。通常情况下,在 CANopen 设备中所有的数据和信息都是通过 CAN 总线传输的。

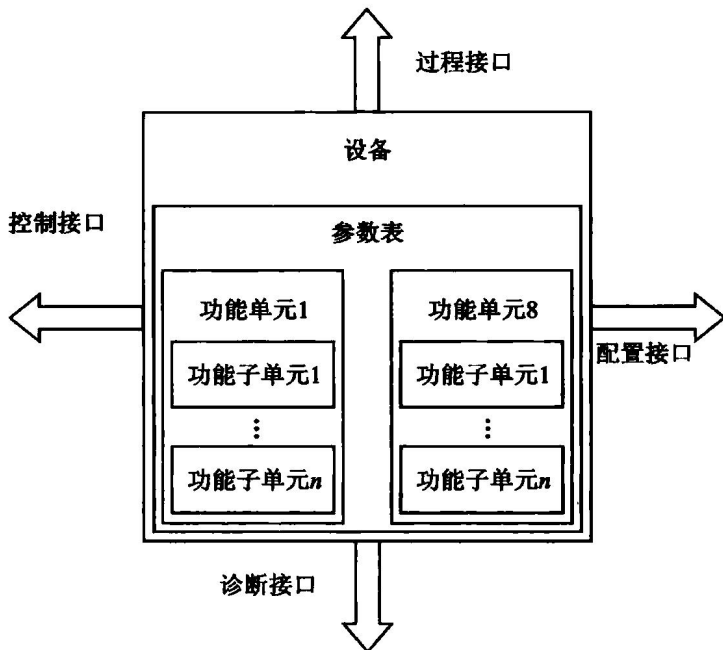


图 1.2 符合 IEC TR 62390 标准的设备模型

此外,还可以用图 1.3 来划分设备的兼容性等级。图 1.3 中所涉及的定义如下:

- 不兼容:两种接口相当于不同的物理接口(机械和/或电气接口);
- 相容:两种接口在物理层(如短路)和数据链路层(如 CAN 标识符对应关系明确)上均互不干扰;
- 共存:两种接口使用同一个应用层(如 CANopen 应用层),但并非所有 CAN 标识符都已分配,也就是说,消息发送器发送的消息没有对应的接收器;
- 匹配:已分配好两种接口的 CAN 标识符,发送器和接收器已相连;
- 合作:发送器和接收器使用相同的数据类型,从而不会丢失信息;
- 兼容:发送器和接收器均能理解所传输的消息内容、参数语义和应用功能(如以℃为单位、分辨率为 16 位的带前置符号的温度值);
- 可互换:兼容性等级的最高级别,其中定义了两种接口的动态特性。

	不兼容	相容	共存	匹配	合作	兼容	可互换	
动态特性							×	应用对象
应用功能						×	×	
参数意义						×	×	
数据类型					×	×	×	通信对象
数据存取				×	×	×	×	
通信协议				×	×	×	×	
高级协议			×	×	×	×	×	
低级协议		×	×	×	×	×	×	

图 1.3 设备的兼容性等级

设备具备(符合)了有效的协议规范后才能达到匹配性以上的兼容性等级。这些协议可以是制造商自定的协议也可以是标准化协议。若为标准化协议,设备与制造商之间就不需要任何协定,这样就可保证同一网络中不同公司的产品至少可以进行数据交换。为了实现“即插即用”功能,必须定义参数的意义和功能,比如与轿车发动机、机油、变速箱或内部空间相关的温度值。

1.3 对象的描述与定义

为了达到各种不同的兼容性等级,所有的过程数据、配置参数和诊断信息都必须用同一个对象模型来描述。CANopen 规范用通过 3 套属性来描述一个对象。

第一,对象描述。对象描述包括对象的名称及其唯一的标识符(索引)。此外用户还可设定对象的类型:变量(仅由一个元素构成)、数组(由多个相同的元素构成)以及记录(由不同的元素构成)。包含在对象描述中的数据类型描述了各组成部分的编码和长度。CANopen 规范已经预先定义了数据类型,但用户也可以自定义数据类型。在类别(Category)属性中具体规定了是否必须采用该对象(强制性的),或者由设备制造商决定是否采用该对象(选择性的)。

第二,入口描述。入口描述可以为数组和记录(子对象)设定一个名称及其唯一的标

识符(子索引)。假如是变量,其子索引总是为 00h。数组和记录的子索引 00h 的数据类型通常为 UNSIGNED8,并且包含最高子索引。另外,还有一些其他的属性,包括元素类别、访问权限设定以及在某一过程数据对象中传输该对象的许可(PDO 映射)。此外,用户还可以设置上电或复位后的默认值以及默认值的范围。

第三,值定义描述。该描述详细规定了对象的含义,包括物理单位、乘数、偏置量和编码。如果某一子对象由多个部分组成,则子对象的每个部分都要单独定义。值定义也包括图形描述,比如各个部分在对象中的排列方式,以及最低有效位的位置和最高有效位的位置。