

工程师经验手记

CAN总线嵌入式开发

从入门到实战

（第2版）

牛跃昕 周立功 方丹 等编著



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

工程师经验手记

CAN 总线嵌入式开发 ——从入门到实战

(第2版)

牛跃昕 周立功 方丹 等编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

CAN 总线通信技术广泛应用于工业自动化、汽车电子、楼宇建筑、医疗器械、电梯网络、工程机械等行业,市场每年对该类控制产品需求量巨大。本书从目前几种流行的 CAN 通信控制电路的器件入手,结合 CAN 总线通信学习板,详细介绍了 CAN 总线嵌入式应用开发技术。

本书内容主要包括 CAN 控制器和单片机的接口技术、CAN 总线在 A/D 采集控制板传输中的应用、支持片上 CANopen 协议的 LPC11Cxx 系列微控制器的 CAN 应用设计及 CAN 总线在酒店客房智能化系统中的工程应用。每一种实例都从方案论证、硬件电路设计、软件程序设计方面进行庖丁解牛式的论述,并且书中所有硬件电路均制作出电路板,所有程序均在电路板上调试运行通过。本书是再版书,相比第 1 版,本书更正了一些错误,并增加了部分内容。

本书旨在为广大嵌入式 CAN 总线通信技术的研发者提供实战化的软、硬件技术参考,书中的电路图和源程序可以直接拿来参考运用,大大提高了工程师的工作效率。

图书在版编目(CIP)数据

CAN 总线嵌入式开发:从入门到实战 / 牛跃听等编著. -- 2 版. -- 北京:北京航空航天大学出版社, 2016.4

ISBN 978-7-5124-2100-4

I. ①C… II. ①牛… III. ①总线—技术 IV. ①TP336

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 068890 号

版权所有,侵权必究。

CAN 总线嵌入式开发——从入门到实战(第 2 版)

牛跃听 周立功 方丹 等编著

责任编辑 董立娟

*

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:emsbook@buaacm.com.cn 邮购电话:(010)82316936

北京市同江印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:710×1 000 1/16 印张:23 字数:490 千字

2016 年 4 月第 2 版 2016 年 4 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978-7-5124-2100-4 定价:49.00 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

第 2 版前言

自本书第 1 版和读者见面以来,我们可喜地看到 CAN 总线技术在我国各行业的应用越来越广泛。本书“电路共享、源码开放”的写作理念得到读者的广泛认可,这一点可以从读者反馈及当当网的销售评论中得以见证。

感谢行业内的读者对该书第一版中的错误提出的宝贵修改建议,本书第 2 版中已经对其进行了更正。应广大读者的要求,结合近几年的 CAN 项目工程实践,本版次中增加了改善电磁兼容性的措施、CAN 网络的实时性能及通信波特率设置、CAN 总线节点设备的电源等与工程应用结合非常紧密的内容。

本书在编写的过程中,注重代码程序的完整性,愿意和那些注重代码完整性的读者交流,研讨技术问题。有兴趣的读者可以发送电子邮件到:nyt369@sina.com,期待和您进一步交流。

作 者
2016 年 3 月

第 1 版前言

几年前,师从安钢教授研究课题时,我第一次接触到了 CAN 总线。虽然当时有一定的单片机基础,但是对于 CAN 总线项目的研究较为肤浅,当时真是束手无策。于是,痛下决心,搜集整理了大量有关 CAN 总线的技术资料,制作电路板,编写调试程序,花费了大量的精力和时间。当时我就想:如果有公司或者书籍介绍有关 CAN 总线完整的电路图、提供完整的源代码该多好呀!这必将缩短研发周期,更重要的是不必做许多重复性的工作。在项目开发过程中,完全可以奉行“拿来主义”,前人做过的许多功能程序,如 SPI、I²C 等通信程序是可以直接移植到研发项目中的,当然 CAN 总线通信程序也不例外!

我通过承接有关 CAN 总线的项目,几年间积累的有关技术,逐步从项目中提炼制作了几款 CAN 总线学习板,配套完整的电路图和程序源代码,可以供 CAN 总线开发硬件工程师参考,提高工作效率。

本书以应用实例为主线,共分为 6 章。第 1 章为 CAN 总线基础知识。第 2、3 章介绍了两种常用的 CAN 控制器芯片 SJA1000、MCP2515 和单片机的接口设计,给出了完整电路图和程序源代码。第 4 章为 CAN 总线在 A/D 采集控制板传输中的应用,介绍了 A/D 采集模拟信号和开关量信号,然后通过 CAN 总线将采集的数据传输到远端接收。第 5 章为基于 LPC11Cxx 系列微控制器的 CAN 应用设计。第 6 章为 CAN 总线在酒店客房智能化系统中的应用,介绍了该系统 CAN 总线网络的组建和实际的应用。

本书在编写的过程中,注重代码程序的完整性,愿意和那些注重代码完整性的读者交流、研讨技术问题。

本书由牛跃听博士主编,由方丹博士(第 1 章)、牛跃听博士(第 2、4 章)、刘耀周工程师(第 3 章)、周立功、李田甜工程师(第 5 章)、孙宜权工程师(第 6 章)执笔;全书由牛跃听博士和李会分析员统稿。

周立功单片机公司在本书的编写过程中给予了大力支持和帮助,在此表示感谢!

本书虽经多次审稿修订,但限于作者的水平和条件,不足仍在所难免,衷心希望读者提出批评和指正,使之不断提高和完善。

有兴趣的读者,可以发送电子邮件到 nyt369@sina.com,与作者进一步交流;也可以发送电子邮件到 xdhydcd5@sina.com,与本书策划编辑进行交流。

编者
2011年11月

本书共分10章,第1章介绍CAN总线的发展概况、应用及组成;第2章介绍CAN总线的物理层;第3章介绍CAN总线的数据链路层;第4章介绍CAN总线的网络层;第5章介绍CAN总线的传输层;第6章介绍CAN总线的设备层;第7章介绍CAN总线的系统层;第8章介绍CAN总线的开发工具;第9章介绍CAN总线的开发实例;第10章介绍CAN总线的开发应用。

本书可作为高等院校电子信息类、计算机类及相关专业的教材,也可供从事CAN总线开发工作的工程技术人员参考。

本书由清华大学出版社出版,由清华大学出版社发行,由清华大学出版社印刷,由清华大学出版社装订。

本书由清华大学出版社出版,由清华大学出版社发行,由清华大学出版社印刷,由清华大学出版社装订。

目 录

第 1 章 CAN 总线基础知识	1
1.1 CAN 总线简介	1
1.2 CAN 总线基本工作原理	2
1.3 CAN 的标准格式和扩展格式	3
1.4 CAN 的节点硬件构成	3
1.5 CAN 控制器	4
1.6 CAN 收发器	5
1.7 CAN 总线接口电路保护器件	6
1.7.1 共模扼流圈	6
1.7.2 ESD 防护	7
1.7.3 CAN 总线网络保护	7
1.8 CAN 总线通信过程	8
1.9 CAN 总线控制器芯片滤波器的作用	9
1.10 CAN 总线的报文格式	10
1.10.1 数据帧	10
1.10.2 远程帧	13
1.10.3 错误帧	14
1.10.4 过载帧	15
1.10.5 帧间空间	16
1.11 振荡器容差	17
1.12 位定时要求	17
1.13 同 步	18
1.14 位流编码及位填充	19
1.15 CAN 总线错误处理	20
1.15.1 错误类型	20
1.15.2 错误标志	20

1.16	故障界定	21
1.16.1	故障界定的方法	21
1.16.2	错误计数规则	21
1.16.3	错误标记及错误中断类型	22
1.17	CAN 网络与节点的总线拓扑结构	23
1.17.1	总线结构拓扑	23
1.17.2	CAN 总线通信距离	24
1.17.3	CAN 中继器	25
1.17.4	CAN 网桥	27
1.17.5	CAN 集线器	28
1.17.6	CAN 网关	28
1.18	CAN 总线传输介质	29
1.18.1	双绞线	29
1.18.2	光纤	33
1.19	改善电磁兼容性的措施	34
1.19.1	增加电阻值抑制共模干扰	34
1.19.2	分开的总线终端	35
1.19.3	斜率控制	35
1.20	CAN 网络的实时性能及通信波特率的设置	36
1.20.1	网络延时	36
1.20.2	CAN 网络通信速率选择	37
1.20.3	CAN 网络通信速率的一致性	38
1.21	CAN 总线节点设备的电源	40
第2章 CAN 控制器 SJA1000 与 8051 系列单片机接口设计		44
2.1	CAN 控制器 SJA1000	44
2.1.1	SJA1000 引脚排列及其功能	44
2.1.2	BasicCAN 模式下内部寄存器地址表	47
2.1.3	PeliCAN 模式下内部寄存器地址表	48
2.1.4	BasicCAN 和 PeliCAN 模式的区别	50
2.1.5	8051 系列单片机控制 SJA1000 的方式	50
2.1.6	SJA1000 的滤波器设置	51
2.1.7	CAN 总线通信波特率的计算	56
2.1.8	SJA1000 初始化流程	58
2.2	CAN 总线驱动器	59
2.2.1	TJA1040 概述	59
2.2.2	TJA1040 功能	60

2.3	CAN 总线 DC/DC 光电隔离技术	61
2.3.1	DC/DC 电源隔离模块	61
2.3.2	高速光耦 6N137	64
2.4	51 系列单片机 CAN 总线学习板实物图	64
2.5	51 系列单片机 CAN 总线学习板硬件电路设计	66
2.5.1	电路原理图	66
2.5.2	SJA1000 晶振的电路设计	71
2.6	双节点 CAN 总线通信	73
2.6.1	程序流程框图设计	74
2.6.2	SJA1000 的硬件接口地址定义	75
2.6.3	程序头文件定义说明	76
2.6.4	子函数详解	80
2.6.5	完整的 CAN 总线学习板发送源程序	89
2.6.6	完整的 CAN 总线学习板 CAN 转 232 串口源程序	95
2.6.7	STC89C52 单片机串口下载程序	102
2.7	多节点 CAN 总线系统的程序设计	104
2.7.1	多节点 CAN 总线系统的连接	104
2.7.2	多节点 CAN 总线系统地址的定义及功能实现	105
2.7.3	多节点 CAN 总线系统通信数据含义	105
2.7.4	多节点 CAN 总线系统程序流程图	107
2.7.5	多节点 CAN 总线通信中的从节点源程序	108
2.8	CAN 总线地址设置详解	113
2.8.1	BasicCAN 的 ID 设置方法	113
2.8.2	PeliCAN 的 ID 设置方法	113
第 3 章	CAN 控制器 MCP2515 与 8051 系列单片机接口设计	115
3.1	CAN 控制器 MCP2515	115
3.1.1	MCP2515 概述	115
3.1.2	MCP2515 的内部寄存器	118
3.1.3	8051 系列单片机怎样控制 MCP2515	119
3.2	CAN 总线学习板(MCP2515)实物图	119
3.3	CAN 总线学习板(MCP2515)硬件电路设计	120
3.3.1	电路原理图	120
3.3.2	晶振的选择及 CAN 通信波特率的计算	125
3.4	双节点通信系统的程序设计	127
3.4.1	程序头文件定义说明	127
3.4.2	子函数详解	132

3.4.3	完整的 CAN 总线学习板发送源程序	140
3.4.4	完整的 CAN 总线学习板 CAN 转 232 串口源程序	144
3.5	芯片 SJA1000 和 MCP2515 在滤波器设置时的区别	147
第 4 章	CAN 总线在 A/D 采集控制板传输中的应用	149
4.1	AD μ C812 单片机简介	149
4.1.1	AD μ C812 单片机主要性能及引脚说明	149
4.1.2	AD μ C812 单片机 8 路 12 位 ADC 简介	151
4.1.3	AD μ C812 单片机 ADC 基准电压	151
4.1.4	AD μ C812 单片机 ADC 的输入驱动	153
4.1.5	AD μ C812 单片机 ADC 工作模式	155
4.2	带有 CAN 总线的 A/D 采集控制板实物图	157
4.3	系统硬件电路设计	158
4.3.1	电路原理图	158
4.3.2	采集信号的调理	163
4.4	系统程序设计	164
4.4.1	流程图	164
4.4.2	子函数详解	165
4.4.3	控制源程序	165
4.4.4	AD μ C812 单片机 CAN 总线学习板串口下载程序	173
4.5	带有 Flash 存储器的 CAN 总线采集控制电路	176
4.5.1	28F320J5 存储器简介	176
4.5.2	存储器芯片与单片机 CPU 工作速度匹配问题	179
4.5.3	单片机与 28F320J5 的连接	179
4.5.4	AD μ C812 单片机构成的带有存储功能的振动测量控制板	179
第 5 章	基于 LPC11Cxx 系列微控制器的 CAN 应用设计	198
5.1	LPC11Cxx 系列微控制器	198
5.1.1	简介	198
5.1.2	器件信息	198
5.1.3	功能介绍	199
5.1.4	引脚描述	199
5.2	CAN 寄存器	200
5.2.1	CAN 寄存器汇总	202
5.2.2	报文接口寄存器	207
5.2.3	报文处理程序寄存器	216
5.2.4	CAN 时钟分频器寄存器	219
5.3	LPC11Cxx 系列微控制器的片上 CAN 控制器的结构	219

5.4	基于微控制器和非隔离 CAN 收发器的电路	220
5.4.1	器件简介	220
5.4.2	接口电路设计	221
5.5	基于微控制器和隔离 CAN 收发器的电路	222
5.5.1	器件简介	222
5.5.2	接口电路设计	223
5.6	无须扩展外部 CAN 控制器与 CAN 收发器的 CAN 接口电路	223
5.7	基于通用驱动库的 CAN 应用编程	224
5.7.1	通用驱动库简介	224
5.7.2	CAN 应用编程流程	270
5.7.3	编程解决方案	271
5.8	应用示例——RS-232C/CAN 总线转换器	293
5.8.1	示例简介	293
5.8.2	工具介绍	294
5.8.3	实现原理	301
5.8.4	演示步骤	301
5.9	程序编写	304
5.9.1	宏配置	304
5.9.2	变量定义	305
5.9.3	主程序	305
5.9.4	程序分解	308
5.10	示例运行	311
5.10.1	配置上位机软件	311
5.10.2	运行示例程序	312
第 6 章	CAN 总线在酒店客房智能化系统中的应用	316
6.1	功能要求及方案论证	316
6.1.1	控制说明	317
6.1.2	网络结构	319
6.1.3	硬件成本	320
6.1.4	通信协议及 CAN 地址分配	322
6.2	客房终端	322
6.3	客房终端硬件电路设计	323
6.3.1	电源部分电路设计	323
6.3.2	多按键中断资源设计	324
6.3.3	多继电器驱动电路设计	325
6.3.4	灯具调光电路设计	326

6.3.5	CAN 总线通信电路设计	326
6.4	软件设计	328
6.4.1	程序流程图	328
6.4.2	SJA1000 控制器 CAN 字节协议	328
6.4.3	客房终端源程序	330
6.4.4	CAN 总线控制模块	345
6.4.5	CAN 总线控制模块原理	346
6.4.6	CAN 总线控制模块源程序	347
	参考文献	356

第 1 章

CAN 总线基础知识

1.1 CAN 总线简介

控制器局域网(Controllor Area Network, CAN)是由德国 Bosch 公司为汽车应用而开发的多主机局部网络,主要应用于汽车的监测和控制。德国 Bosch 公司开发 CAN 总线的最初目的是解决汽车上数量众多的电子设备之间的通信问题,减少电子设备之间繁杂的信号线,于是设计了一个单一的网络总线,使所有的外围器件可以挂接在该总线上。

1991 年 9 月, NXP 半导体公司(原 Philips 半导体)制定并发布 CAN 技术规范: CAN 2.0 A/B。1993 年 11 月, ISO 组织正式颁布 CAN 国际标准 ISO11898(高速应用,数据传输速率小于 1 Mbit/s)和 ISO11519(低速应用,数据传输速率小于 125 kbit/s)。

作为一种技术先进、可靠性高、功能完善、成本较低的网络通信控制方式, CAN 总线广泛应用于汽车工业、航空工业、工业控制、安防监控、工程机械、医疗器械、楼宇自动化等领域。例如,在楼宇自动化领域中,加热和通风、照明、安全和监控系统对建筑安装提出了更高的要求,现代的建筑安装系统越来越多地建立在串行数据传输系统(CAN 总线系统)之上,通过它实现开关、按钮、传感器、照明设备、其他执行器和多控制系统之间的数据交换。实现建筑中各操作单元之间的协作,并对各单元不断变化的状态进行实时控制。

CAN 总线是唯一成为国际标准的现场总线,也是国际上应用最广泛的现场总线之一。

CAN 总线具有以下主要特性:

- 成本低廉。
- 数据传输距离远(最远长达 10 km)。
- 数据传输速率高(最高达 1 Mbit/s)。

- 无破坏性的基于优先级的逐位仲裁。
- 借助验收滤波器的多地址帧传递。
- 远程数据请求。
- 可靠的错误检测和出错处理功能。
- 发送的信息遭到破坏后,可自动重发。
- 暂时错误、永久性故障节点的判别以及故障节点的自动脱离。
- 脱离总线的节点不影响总线的正常工作。

基于 CAN 总线的优越特性,许多著名的芯片生产商,诸如 Intel、NXP、Siemens 等都推出了独立的 CAN 控制器芯片,或者带有 CAN 控制器的 MCU 芯片。

1.2 CAN 总线基本工作原理

CAN 通信协议主要描述设备之间的信息传递方式。CAN 协议规范中关于层的定义与开放系统互联(OSI)模型一致,设备中的每一层与另一设备上相同的那一层通信,实际的通信发生在每一设备上相邻的两层,而设备只通过模型物理层的物理介质互联。CAN 的规范定义了模型的最下面两层:数据链路层和物理层。表 1-1 所列为 OSI 的各层。应用层协议可以由 CAN 用户定义成适合特别工业领域的任何方案,已在工业控制和制造业领域得到广泛应用的标准是 DeviceNet,这是为 PLC 和智能传感器设计的。在汽车工业,许多制造商都使用自己的标准。

表 1-1 OSI 开放系统互连模型

层 数	层名称	描 述
7	应用层	最高层,用户、软件、网络终端等之间用来进行信息交换,如 DeviceNet
6	表示层	将两个应用不同数据格式的系统信息转化为能共同理解的格式
5	会话层	依靠低层的通信功能进行数据的有效传递
4	传输层	两通信节点之间数据传输控制操作,如数据重发、数据错误修复
3	网络层	规定了网络连接的建立、维持和拆除的协议,如路由和寻址
2	数据链路层	规定了在介质上传输的数据位的排列和组织,如数据校验和帧结构
1	物理层	规定通信介质的物理特性,如电气特性和信号交换的解释

一些组织制定了 CAN 的高层协议。CAN 的高层协议是一种在现有底层协议(物理层和数据链路层)之上实现的协议,是应用层协议。一些可使用的 CAN 高层协议如表 1-2 所列。

CAN 能够使用多种物理介质,例如双绞线、光纤等。最常用的就是双绞线,信号使用差分电压传送。如图 1-1 所示,两条信号线被称为 CAN_H 和 CAN_L,静态时均为 2.5 V 左右,此时状态表示为逻辑 1,也可以称作隐性;用 CAN_H 比 CAN_L 高

表示逻辑 0,称为显形,此时通常电压值为 $CAN_H=3.5\text{ V}$ 和 $CAN_L=1.5\text{ V}$ 。

表 1-2 CAN 高层协议

制定组织	主要高层协议
CiA	CAL
CiA	CANOpen
ODVA	DeviceNet
Honeywell	SDS
Kvaser	CANKingdom

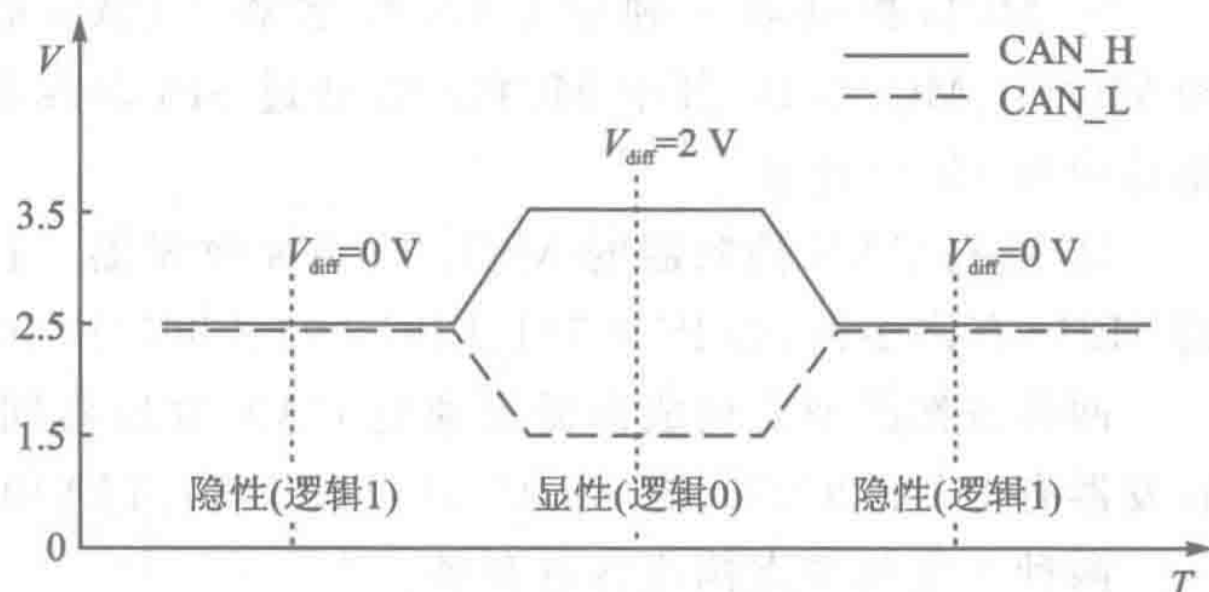


图 1-1 双绞线 CAN 总线电平标称值

1.3 CAN 的标准格式和扩展格式

标准 CAN 的标志符长度是 11 位,而扩展格式 CAN 的标志符长度可达 29 位。CAN 2.0A 协议版本规定 CAN 控制器必须有一个 11 位的标志符,同时在 CAN 2.0B 协议版本中规定 CAN 控制器的标志符长度可以是 11 位或 29 位。遵循 CAN 2.0B 协议的 CAN 控制器可以发送和接收 11 位标识符的标准格式报文或 29 位标识符的扩展格式报文。如果禁止 CAN 2.0B,则 CAN 控制器只能发送和接收 11 位标识符的标准格式报文,而忽略扩展格式的报文,但不会出现错误。

1.4 CAN 的节点硬件构成

CAN 总线节点的硬件构成如图 1-2 所示。

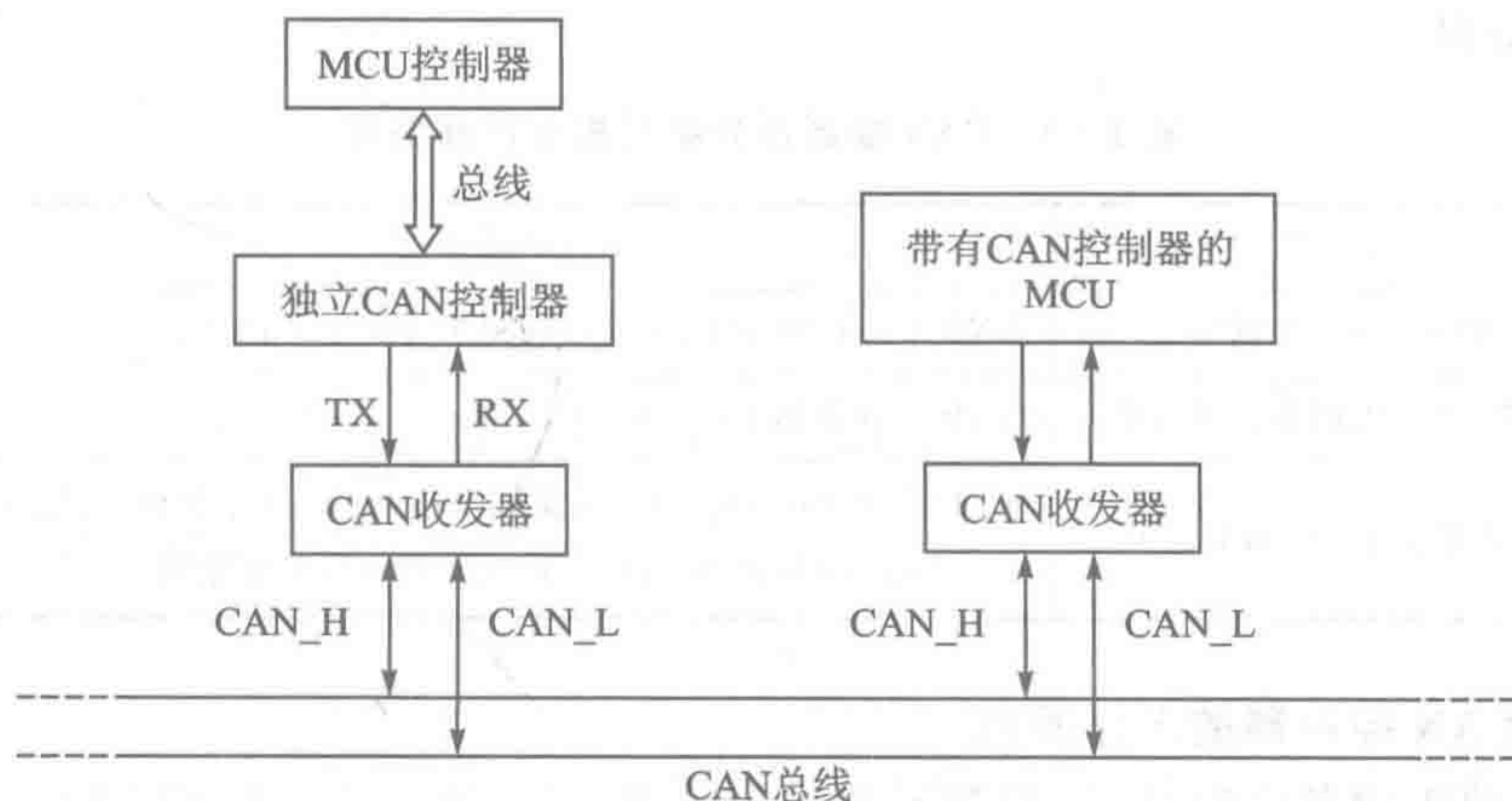


图 1-2 CAN 总线节点的硬件构成

CAN 总线节点的硬件构成方案有两种:

① MCU 控制器 + 独立 CAN 控制器 + CAN 收发器。独立 CAN 控制器如 SJA1000、MCP2515, 其中 MCP2515 通过 SPI 总线和 MCU 连接, SJA1000 通过数据总线和 MCU 连接。

② 带有 CAN 控制器的 MCU + CAN 收发器。目前, 市场上带有 CAN 控制器的 MCU 有许多种, 如 P87C591、LPC2294、C8051F340 等。

两种方案的节点构成都需要通过 CAN 收发器同 CAN 总线相连, 常用的 CAN 收发器有 PCA82C250、PCA82C251、TJA1050、TJA1040 等。

两种方案的节点构成各有利弊:

① 方案编写的 CAN 程序是针对独立 CAN 控制器的, 程序可移植性好, 编写好的程序可以方便地移植到任意的 MCU。但是, 由于采用了独立的 CAN 控制器, 占用了 MCU 的 I/O 资源, 电路也变得复杂。

② 方案编写的 CAN 程序是针对特定选用的 MCU, 例如 LPC2294。程序编写好后不可以移植, 但是, MCU 控制器中集成了 CAN 控制器单元, 硬件电路变得简单些。

1.5 CAN 控制器

CAN 控制器用于将欲收发的信息(报文)转换为符合 CAN 规范的 CAN 帧, 通过 CAN 收发器在 CAN 总线上交换信息。

(1) CAN 控制器分类

CAN 控制器芯片分为两类: 一类是独立的控制器芯片, 如 SJA1000; 另一类是和微控制器做在一起, 如 NXP 半导体公司的 Cortex - M0 内核 LPC11Cxx 系列微控制器、LPC2000 系列 32 位 ARM 微控制器。CAN 控制器的大致分类及相应的产品如表 1-3 所列。

表 1-3 CAN 控制器分类及相应产品型号

类别	产品举例
独立 CAN 控制器	NXP 半导体的 SJF1000CCT、SJA1000、SJA1000T
集成 CAN 控制器的单片机	NXP 半导体的 P87C591 等
CAN 控制器的 ARM 芯片	NXP 半导体的 LPC11Cxx 系列微控制器; TI 半导体 Stellaris(群星)系列 ARM 的 S2000、S5000、S8000、S9000 系列

(2) CAN 控制器的工作原理

为了便于读者理解 CAN 控制器的工作原理, 下面给出了一个 SJA1000 CAN 控制器的经过简化的结构框图, 如图 1-3 所示。

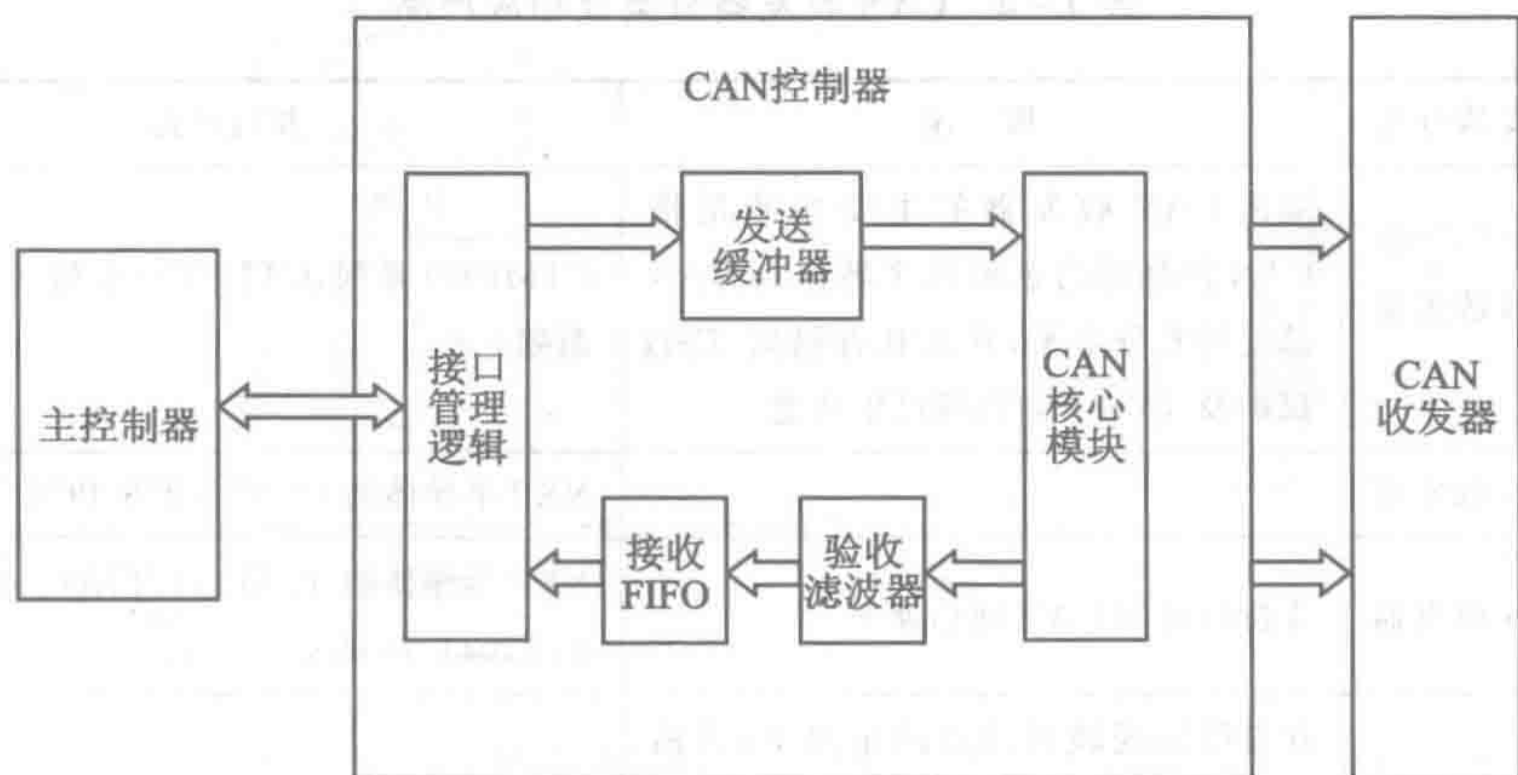


图 1-3 CAN 控制器结构示意图

1) 接口管理逻辑

接口管理逻辑用于连接外部主控制器,解释来自主控制器的命令;控制 CAN 控制器寄存器的寻址,并向主控制器提供中断信息和状态信息。

2) CAN 核心模块

收到一个报文时,CAN 核心模块根据 CAN 规范将串行位流转换成用于接收的并行数据,发送一个报文时则相反。

3) 发送缓冲器

发送缓冲器用于存储一个完整的报文,当 CAN 控制器发送初始化时,接口管理逻辑会使 CAN 核心模块从发送缓冲器读 CAN 报文。

4) 验收滤波器

验收滤波器可以根据用户的编程设置,过滤掉无须接收的报文。

5) 接收 FIFO

接收 FIFO 是验收滤波器和主控制器之间的接口,用于存储从 CAN 总线上接收的所有报文。

6) 工作模式

CAN 控制器可以有两种工作模式(BasicCAN 和 PeliCAN)。BasicCAN 仅支持标准模式,PeliCAN 支持 CAN2.0B 的标准模式和扩展模式。

1.6 CAN 收发器

如图 1-3 所示,CAN 收发器是 CAN 控制器和物理总线之间的接口,将 CAN 控制器的逻辑电平转换为 CAN 总线的差分电平,在两条有差分电压的总线电缆上传输数据。目前市面上常见 CAN 收发器的分类及相应产品如表 1-4 所列。