

嵌入式技术与应用丛书

Serial Communication Technology

串行通信技术

面向嵌入式系统开发

○ 周云波 编著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

嵌入式技术与应用丛书

串行通信技术

面向嵌入式系统开发

● 周云波 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书主要介绍面向嵌入式开发的串行通信技术，从芯片和电路板入手介绍硬件，从源代码入手介绍软件，以便读者可以将这些技术嵌入自己的设计中。

本书既包括理论基础，也包含实际产品设计方案。首先介绍串行通信协议、Modbus 协议、HART 协议，然后介绍 RS-485 串行通信的组网技术和通信转换器产品等内容，接着重点介绍以太网串口服务器的硬件和软件设计，以便读者进行嵌入式系统的开发。本书公开了实用的 Modbus 串口协议转换器和 Modbus 数据采集模块的全套设计资料，以及几种 HART 智能变送器的全套设计方案，作者还将自己的多项 USB 专利技术在本书中予以公开，如 USB 光纤传输技术、USB 共享器、USB 数据采集器、USB 网络隔离器等。

本书深入浅出，既有串行通信的理论知识，也有产品的开发实践，还有串口通信技术专利的剖析，适合高等院校相关专业的学生，以及相关领域的工程技术人员、管理人员参考。

本书附带的开发资料包中有各章介绍的软件和部分程序源代码，读者可登录华信教育资源网（www.hxedu.com.cn）免费注册后下载。

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

串行通信技术：面向嵌入式系统开发/周云波编著. —北京：电子工业出版社，2019.1
（嵌入式技术与应用丛书）

ISBN 978-7-121-35860-9

I. ①串… II. ①周… III. ①串行通信 IV. ①TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 296175 号

责任编辑：田宏峰 特约编辑：李秦华

印 刷：三河市良远印务有限公司

装 订：三河市良远印务有限公司

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：787×1 092 1/16 印张：14.25 字数：365 千字

版 次：2019 年 1 月第 1 版

印 次：2019 年 1 月第 1 次印刷

定 价：68.00 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，联系及邮购电话：（010）88254888，88258888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式：tianhf@phei.com.cn。

前言

语言才是人类最伟大的发明。语言并非人类与生俱来的本能，对语言的掌握和使用才使得人类从动物界中脱颖而出，相对而言，文字不如语言重要。正如人类主要通过语言来进行交流，机器主要通过串行通信来交换数据。人类通过逐字逐句地说与听来交流，而机器之间的串行通信通过一个字节或一帧数据发送与接收来传输信息。人类有不同的语言，而机器有不同的串行通信协议；人类的语言遵循语法，机器的通信也遵循协议；人类的不同语言之间需要翻译，同样，机器的通信协议之间也要转换。如果说人类语言交流的听与说是串行通信，那么文字、图片的展示与人类的视觉感知就是并行通信。我们在日常生活中的交流依然以语言为主，机器之间也是这样，以串行通信为主。我们有时还可以直接听到串行数据的声音，比如现在的传真机，还有过去的电报机。

当打开计算机或手机，你一次就“并行”地看遍了一整张图片的内容，或者一目十行地读完了一篇文章，其实这些图片或文章内容的传输还是串行的，它们遵循互联网或者以太网传输协议——TCP/IP，这里的数据是串行的。我们在学校上课时就体验了串行通信的规则：一个串行通信总线中只能同时有一个主机发送，即一个教室里只能有一个人发言，主要是老师；学生要发言就得举手，等待老师的点名后才可以发言，串行通信的从机必须先申请、等待主机发送从机地址后，该地址的从机才可以发送数据。一堂课里有大量时间是讲话停顿的，串行通信中最多的也是停顿信号。RS-485 串行通信规则大抵也是如此。

现代社会的物质交流与串行通信，其实都遵循着某种相同的语法。我们现在发快递，必须在快递单的右边框里写上收件人地址、左边框里写上发件人地址，收件人收到快递后签字。完整的串行通信协议也需要接收方的地址和发送方的地址，以及数据位和校验位都必须填写在一帧数据的正确位置，收到数据后接收方会返回一条信息。Modbus 协议和 HART 协议几乎就是这样规定的。

把串行通信与人类之间交流方式相比，会发现学习串行通信的乐趣。串行通信绝无人类的谎言，数据比人的语言更值得信任。串行通信的规则其实就那么几种，都源于我们的日常生活经验。只是我们早就习以为常，可能从来没有认真总结过我们交流的规则。当了解了串行通信，就会意识到人类是如此聪明，真实的通信世界与我们基于经验的思路是如此天人合一的。

从烽火狼烟、飞鸽传书、鸣笛传号到现代的电话机、传真机、Modem、串口、以太网/互联网，每一次通信技术的改进都是影响世界的发明或技术，它要么改变国运，要么孕育出巨大的商机。历史是由人创造的，串行通信亦是如此。不过，不只是个人，而是一群人，他们以这些公司的名义创造了历史：Bell Lab（Modem 技术）、IBM（PC RS-232 口）、HAYES（调制解调器）、MAXIM（RS-232 和 RS-485）、MODICON（Modbus 协议）、Intel（USB 口），等等，其中 Bell 和 HAYES 也是人名——贝尔和贺氏。这些公司都是业界巨头或世界 500 强，在串行通信史上掀起过巨浪，其中有些已经成为历史，比如贺氏。

有人坚信：语言改变世界。串行通信可以说是语言的发明对人类行为影响的余音；本书是那些串行通信巨头对世界影响的余音，至今余音绕梁，值得用写一本书来回味。

本书从简单介绍串行通信协议入手，以介绍串行通信的实用技术为主，公开了作者多年来从事串行通信开发的许多产品的硬件设计方案和软件源代码。我想，如果能够帮助读者把串行通信的理论变成实际成果，那才是读者可以体验的串行通信的真正乐趣，也是作者的真正乐趣。

如果读者有建议或意见，请联系作者，E-Mail: 592905661@qq.com

周云波

2018 年 12 月

目录

第 1 章 串行通信协议	(1)
1.1 串行通信简史	(1)
1.2 为什么要组成通信网	(2)
1.3 什么是串行通信	(3)
1.3.1 串行通信的概念和特点	(3)
1.3.2 串行通信的分类	(3)
1.3.3 串行通信的工作模式	(4)
1.3.4 串行通信参数	(5)
1.4 RS-232 标准	(6)
1.5 RS-485 标准	(7)
1.6 RS-422 标准	(8)
1.7 RS-232 与 RS-485 的区别	(8)
1.8 单片机的串口多机通信	(10)
第 2 章 Modbus 协议	(12)
2.1 Modbus 入门	(12)
2.1.1 Modbus 的几个特点	(13)
2.1.2 Modbus 网络的三种传输模式	(13)
2.1.3 Modbus 与串口的关系	(13)
2.1.4 Modbus 与串行通信的区别	(14)
2.2 Modbus 协议简介	(14)
2.2.1 Modbus 协议简述	(14)
2.2.2 Modbus 通信使用的主-从技术	(14)
2.2.3 查询-回应周期	(15)
2.3 Modbus 的 ASCII 和 RTU 传输模式	(15)
2.3.1 ASCII 模式	(16)
2.3.2 RTU 模式	(17)
2.4 ASCII 和 RTU 消息帧	(17)
2.4.1 ASCII 帧	(17)
2.4.2 RTU 帧	(17)
2.4.3 地址域	(18)
2.4.4 功能域	(18)
2.4.5 数据域	(18)

2.4.6	错误检测域	(19)
2.4.7	字符的连续传输	(19)
2.5	错误检测方法	(19)
2.5.1	奇偶校验	(20)
2.5.2	LRC 检测	(20)
2.5.3	CRC 检测	(20)
2.6	Modbus 的功能码定义	(22)
2.6.1	功能码在 Modbus RTU 信息帧中的位置	(23)
2.6.2	常用功能码	(23)
2.6.3	全部功能码的作用	(24)
2.7	Modbus 的 TCP 传输模式	(25)
第 3 章	HART 协议	(28)
3.1	HART 协议概述	(29)
3.2	HART 通信结构模型	(30)
3.2.1	HART 协议物理层	(31)
3.2.2	HART 协议数据链路层	(31)
3.2.3	HART 协议应用层	(32)
3.2.4	各层间的功能关系	(33)
3.3	HART 的消息帧结构	(33)
3.4	HART 的操作命令	(36)
3.4.1	通用命令	(37)
3.4.2	普通命令	(37)
3.4.3	特殊命令	(38)
第 4 章	RS-485 串行通信技术	(39)
4.1	RS-485/RS-422 多机通信的组网方式	(39)
4.1.1	典型的 RS-485 总线式通信方式	(39)
4.1.2	菊花链式多机通信方式	(40)
4.1.3	星形 RS-485 多机通信方式	(40)
4.1.4	单环自愈 RS-485 多机通信方式	(41)
4.2	串口光纤多机通信的组网方式	(41)
4.2.1	简单的一对一串口光纤通信方式	(42)
4.2.2	总线式串口光纤多机通信方式	(42)
4.2.3	环形串口光纤多机通信方式	(43)
4.2.4	对串式串口光纤多机通信方式	(43)
4.3	串行通信的 VB 程序	(44)
4.4	地址串口转换的实现	(51)
4.4.1	地址串口转换器的使用	(51)
4.4.2	地址串口转换器的硬件设计	(53)
4.4.3	地址串口转换的纯软件实现	(55)
4.5	RS-485 的节点数和距离极限	(57)

4.5.1	带中继功能的串口转换器	(58)
4.5.2	突破 RS-485 节点数和距离极限的布线方式	(59)
4.5.3	RS-485 多机通信节点数的极限	(59)
4.5.4	无数据丢失的 RS-485 传输距离的理论极限	(60)
4.5.5	无误码的 RS-485 传输距离的理论极限	(60)
4.5.6	其他介质和其他总线的理论极限	(60)
4.6	串口波特率转换的实现	(61)
4.6.1	串口波特率转换器的使用	(61)
4.6.2	串口波特率转换器的硬件设计和单片机软件	(62)
4.6.3	串口波特率转换的纯软件实现	(64)
4.7	RS-232 转 RS-485 通信电路	(65)
4.7.1	RS-232 转 RS-485 通信电路的设计	(65)
4.7.2	RS-232 端口供电技术	(66)
4.8	无源 RS-232 数据采集器	(68)
4.8.1	LTC1290 芯片描述	(68)
4.8.2	硬件电路设计及 QBASIC 程序	(69)
4.8.3	数据采集器产品及 VB 程序	(71)
第 5 章	以太网串口服务器	(73)
5.1	以太网通信帧格式	(73)
5.1.1	以太网第二版 (V2)	(73)
5.1.2	IEEE 802 系列	(74)
5.2	以太网串口服务器的发展	(75)
5.2.1	第一代产品: 10 Mb/s 以太网串口服务器	(76)
5.2.2	第二代产品: 光电隔离 100 Mb/s 以太网串口服务器	(76)
5.2.3	对以太网虚拟串口的评论	(77)
5.3	以太网串口服务器的使用	(78)
5.4	以太网串口服务器的设计	(81)
5.5	PC 设置和检测软件参数配置操作	(82)
5.5.1	分配 IP 地址	(82)
5.5.2	配置设备参数	(84)
5.6	PC 设置和检测软件的演示操作	(86)
5.6.1	TCP→RS-232	(86)
5.6.2	RS-232→TCP	(87)
5.7	内部单片机的软件开发设计	(87)
5.7.1	软件要实现的功能目标	(88)
5.7.2	软件流程图	(88)
5.7.3	各类 API 接口函数	(90)
5.7.4	内部单片机的程序代码	(92)
第 6 章	Modbus 串行通信技术	(94)
6.1	Modbus 调试精灵软件	(94)

6.2	将普通串口设备接入 Modbus	(95)
6.2.1	安装与性能	(95)
6.2.2	通信格式及软件使用	(96)
6.2.3	PC 的 VB 选地址程序	(97)
6.2.4	模块的硬件设计	(103)
6.2.5	模块的内部单片机程序	(104)
6.3	超小的 Modbus 测量模块	(107)
6.3.1	安装及性能	(107)
6.3.2	通信格式及软件使用	(108)
6.3.3	Modbus 测量模块的硬件设计	(109)
6.3.4	Modbus 测量模块的内部单片机程序设计	(110)
6.3.5	Modbus 测量模块的外接 PC 程序设计	(112)
6.3.6	外接 A/D 转换芯片的 Modbus 测量模块的设计	(119)
第 7 章	HART 智能变送器	(122)
7.1	HART Modem 的原理与应用	(123)
7.1.1	HART Modem 的原理	(123)
7.1.2	A5191HRT 的性能与引脚功能	(124)
7.1.3	A5191HRT 的内部结构与工作原理	(125)
7.2	HART 协议通信模块的设计	(126)
7.2.1	HART 协议通信模块的硬件电路设计	(126)
7.2.2	HART 协议通信模块的软件设计	(127)
7.3	RS-232 与 HART 转换器的设计	(127)
7.3.1	RS-232 与 HART 转换器的设计原理	(127)
7.3.2	DS8500 的基本工作原理	(128)
7.3.3	用 DS8500 实现的 RS-232 与 HART 转换器	(130)
7.4	一种 HART 智能变送器的设计	(130)
7.4.1	设计原理图	(131)
7.4.2	HART 智能变送器设计及实现	(131)
7.5	HART 温湿度智能变送器的设计	(134)
7.5.1	系统整体设计方案	(134)
7.5.2	Modem 通信模块	(135)
7.5.3	HT2012 在 HART 协议中的应用	(137)
7.5.4	MSP430 与 HT2012 的接口设计	(139)
7.5.5	HT2012 与外部接口	(139)
7.5.6	单片机 MSP430 性能	(141)
7.5.7	MSP430 与 D/A 转换芯片 AD421 的接口设计	(141)
7.5.8	智能变送器的软件设计	(142)
第 8 章	USB 通信技术应用	(146)
8.1	通过光纤传输 USB 信号	(147)
8.1.1	实现原理	(147)

8.1.2	将 USB 信号转换为便于光纤传输的信号	(147)
8.1.3	信号的处理方式	(149)
8.1.4	用光纤实现 USB 远程通信的其他方案	(150)
8.2	USB 信号的光电隔离	(151)
8.2.1	USB 光电隔离器	(152)
8.2.2	USB 光电隔离技术	(152)
8.2.3	USB 信号线的有待改进之处	(153)
8.3	无须设置的 USB 共享器	(154)
8.3.1	USB 共享器的使用	(154)
8.3.2	双 USB 共享的切换逻辑	(155)
8.3.3	USB 共享器的硬件设计	(156)
8.3.4	USB 共享器的单片机软件设计	(157)
8.4	USB 数据采集器	(159)
8.4.1	USB 微型数据采集器的使用	(160)
8.4.2	数据采集器硬件电路设计	(160)
8.4.3	数据采集软件设计	(162)
8.5	采用 USB 私有协议的网络隔离器	(169)
8.5.1	网络隔离方案特征	(169)
8.5.2	网络隔离的具体实施方式	(170)
8.5.3	网络安全文件交换器	(172)
第 9 章	CAN 串口转换器	(174)
9.1	CAN 总线介绍	(174)
9.1.1	CAN 协议和 CAN 总线的特点	(175)
9.1.2	CAN 协议数据帧格式	(175)
9.2	CAN 串口转换器 CAN232B 的使用	(177)
9.2.1	产品概述	(177)
9.2.2	性能指标	(177)
9.2.3	典型应用	(178)
9.2.4	配置说明	(178)
9.3	PC 端配置和测试软件说明	(178)
9.3.1	串口参数设置	(179)
9.3.2	CAN 参数设置	(179)
9.3.3	按钮说明	(181)
9.3.4	应用注意事项	(181)
9.3.5	CAN 总线数据转发到串口示例	(182)
9.4	CAN 串口转换器 CAN232B 的硬件电路设计	(182)
9.4.1	电路 PCB 设计	(182)
9.4.2	电路原理图设计	(183)
9.5	在 Delphi 中用 SPCOMM 实现 PC 端串口编程	(183)
9.5.1	SPCOMM 控件的安装	(185)

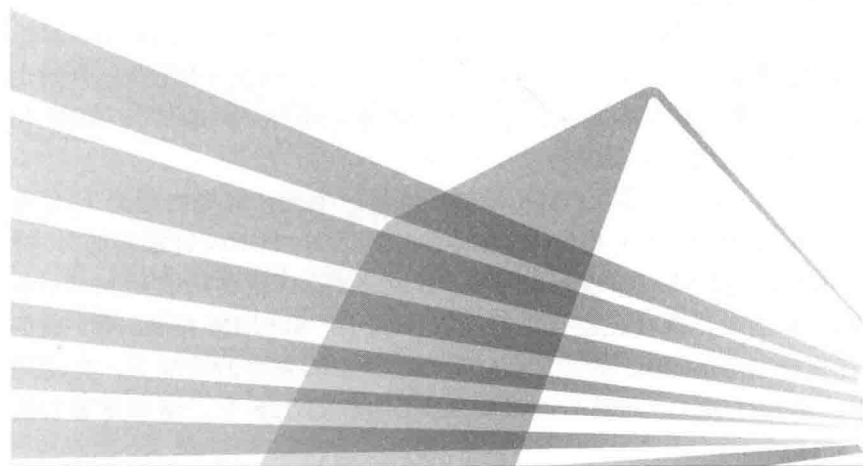
9.5.2 SPCOMM 的属性、方法和事件 (185)

9.5.3 SPCOMM 的使用 (185)

9.6 CAN232B 的 PC 端程序源代码 (187)

9.7 内部单片机的软件开发设计 (199)

参考文献 (218)



第1章

串行通信协议

1.1 串行通信简史

串行通信的技术源于 Bell Lab (贝尔实验室), 这里的 Bell 就是源自那个大名鼎鼎的发明电话的贝尔。本书将要反复提到 HART 协议采用的 Bell 202 通信标准, 就是 Bell Lab 当初定下的标准。1925 年, 贝尔实验室发明了 Modem (调制解调器, 俗称“猫”), 这是传真机的通信原理, 采用串行通信协议, 利用电话线传输数字信号。美国贝尔实验室还是许多重大发明的诞生地: 晶体管、激光器、太阳能电池、发光二极管、数字交换机、通信卫星、电子数字计算机、蜂窝移动通信设备、长途电视传输、仿真语言、有声电影、立体声录音, 以及通信网等。1984 年以前, 贝尔实验室这个巨大实验室的上万名科学家由 AT&T 提供经费。后来随着 AT&T 因垄断而被拆解, 贝尔实验室归入朗讯科技。

同样伟大的另外一家公司是 IBM, 1985 年它生产的 PC (个人计算机), 可以通过插入一块“多功能卡”扩展出 RS-232 串口 (和并行口, 即 LPT 打印口)。PC 把 RS-232 串口从以前的 DB-25 针插座简化为 DB-9 针插座, 去掉了一些旧的信号线 (比如电流环), 从此长期成为 PC 的标配。曾经 PC 的 RS-232 串口是仅有的一种对外通信口, 非常重要, 它可以用于接串口鼠标, 也可以用于连接外置 Modem 通过电话线接入互联网。

在光纤入户和 ADSL 技术得到广泛应用之前, 通过计算机的 RS-232 串口连接外置 Modem 再连接到电话线是接入互联网的主要方式 (另外一种 is 昂贵的 ISDN)。当时接入互联网的 Modem 是一个巨大的市场, HAYES (贺氏) 便是在这种外置 Modem 上大有建树的公司。Modem 的波特率从 1200 b/s 开始, 不断翻番, 产品也不停地更新换代, HAYES 及其跟随者都在市场上获得巨大收益。HAYES 的贡献还在于创建了串行通信的标准 AT 指令。AT 指令

主要用于对 Modem 进行设置，如波特率等格式。今天在串行通信上仍然广泛使用 AT 指令，即使不是通过 Modem 的串行通信。当 Modem 达到了理论极限 56 kb/s，并且被内置到计算机里面后，外置 Modem 被市场抛弃，HAYES 步入末路。再说两句 HAYES，由于从一开始走的就是高价高质的路线，后来“猫”的价格白菜化了，市场本来就不行了，加上在 ISDN 和 ADSL 之间押宝了 ISDN，所以就彻底销声匿迹了。

MAXIM（美信）起家于一个小小的芯片：MAX232。这是一个把计算机内部的 TTL 电平的串口（也被称为 UART）转换为 $\pm 15\text{ V}$ 电平 RS-232 串口的芯片（DB-9 针插座的），特点是单 5 V 供电，而且只需一块芯片就可实现双向转换。在此之前，广泛使用的是 Motorola 的两块套装芯片，使用 $\pm 15\text{ V}$ 供电，现在已经连型号也查不到了。MAXIM 在 RS-485 通信芯片上也有重大改进，在保持与 Motorola 的 RS-485 串口芯片引脚兼容的情况下，将功耗降低到原来的 1/10 以下，不到 1 mA，同时节点数从 32 个增加到 128 个，这就是著名的 MAX485。

美国 MODICON（莫迪康）公司于 1968 年发明了第一台可编程逻辑控制器（PLC）。1979 年，公司推出了第一个工业通信网络——Modbus，实现了计算机与控制器之间的用户界面的串行通信。由于它的可靠性，Modbus 成为一个国际标准。在中国，Modbus 已经成为国家标准 GB/T 19582—2008。1997 年，MODICON 成为施耐德电气公司的第 4 个主要品牌。Modbus 是在工业通信中应用最为广泛的通信协议标准。

目前，通用串行总线（USB）是最“通用”的计算机接口，是由 Intel、微软等公司于 1996 年联合推出的。在现在的计算机上，USB 接口已经成功取代了串口。如果要用到串口，一般通过外接 USB/RS-232 或者 USB/RS-485 转换器来实现。

1.2 为什么要组成通信网

在各种串行通信接口中，以 RS-232 串口最多，几乎每一个单片机都带 TTL 电平的 RS-232 串口，或者称为 UART。无论 TTL 电平、还是 $\pm 15\text{ V}$ 的 RS-232 串口，通信距离都很短，只有 5（TTL 电平）~15 m（ $\pm 15\text{ V}$ 电平），所以 RS-232 本身并没有远程通信的能力，那么组成网络进行多机通信也没有太大意义。RS-232 串口仅仅用于连接 Modem 或者其他具有 RS-232 串口的通信设备。只有把 RS-232 串口转换为以太网口、RS-485 串口、HART 串口等才可以组成实用的串行通信网，而这三种是串行通信网中应用最广泛的几种串口。只有当 RS-232 具备了组网能力，才可以实现远程多机通信，并且遵循一套标准的多机通信协议时，才真正实现了在工程中应有的价值。因为一个串行通信系统，往往包括大量的串口设备，而且会被安装在不同场合、被不同的用户来使用和开发。

Modbus 正是这样一种被广泛接受的串行通信协议标准。Modbus 不是串口，而是基于串口之上的通信协议。Modbus 既可以用于 RS-232 串口或 RS-485 串口的串行通信网，也可以用于以太网口的通信网。Modbus 是开放的协议。

HART 是一个把串行通信接口和协议都包括在内的标准，甚至 HART 产品都要经过 HART 机构认证。HART 协议是传统 4~20 mA 模拟量变送器的数字化升级产品，所以在具有数字通信功能的同时还在功耗上兼容了 4~20 mA 模拟量信号。HART 协议本来是封闭的，但是这种封闭经过了许多年后也被突破了。人们不向 HART 基金会缴费也可以开发 HART 产品，

不过就是没有 HART 的认证标记。

1.3 什么是串行通信

1.3.1 串行通信的概念和特点

串行通信是指使用一条数据线（另外需要地线，可能还需要控制线），将数据一位一位地依次传输，每一位数据占据一个固定的时间长度。串行通信只需要少数几条线就可以在系统间交换信息，特别适合计算机与计算机、计算机与外设之间的远距离通信。使用串口通信时，发送和接收的每一个字符实际上都是一次一位传输的，每一位为 1 或者为 0。串行通信的数据流如图 1-1 所示。

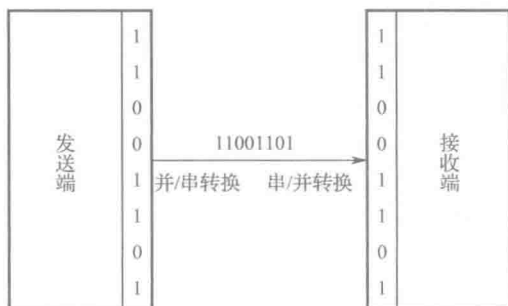


图 1-1 串行通信的数据流

串行通信的特点是：数据传输按位顺序进行，最少只需要一根传输线即可完成通信（另外一条借助于地线），以节省传输线。与并行通信相比，还有较为显著的优点，即传输距离长，可以从几米到几千米。正是由于串行通信的接线少、成本低，因此在数据采集和控制系统中得到了广泛的应用，产品也多种多样。串行数据传输由于信号线少，所以信号间的互相干扰也少，因而串行通信的抗干扰能力强，但是串行通信传输速率比并行通信慢很多。假设并行通信有 n 条数据线，传输信号的时间为 T ，则串行通信传输同样多数据的时间为 nT 。

1.3.2 串行通信的分类

在串行传输中，数据是一位一位地按照顺序依次传输的，每位数据的发送和接收都需要时钟来控制时间，发送端通过发送时钟确定数据位的开始和结束，接收端需要在适当的时间间隔对数据流进行采样并正确识别数据。接收端和发送端必须保持步调一致，否则数据传输就会出现差错。为了解决以上问题，串行通信可采用以下两种方法：同步串行通信和异步串行通信。

1. 同步串行通信

同步串行通信包含专门用于识别通信开始的同步信号（SYNC），一般加在需要传输的数据前面。同步信号相当于我们开始一起步行时发出的口令“起步——走！”。这样串行通信在每传输一个数据后就不需要停顿，这是一种连续串行传输数据的通信方式，一次通信只传输一帧信息。这里的信息帧与异步通信中的字符帧不同，通常包含若干个数据字符。

信息帧由同步信号字符、数据字符和校验字符（CRC）组成。其中同步信号字符位于帧开头，用于确认数据字符的开始；数据字符在同步信号字符之后，个数没有限制，由所需传输的数据块长度来决定；校验字符有 1~2 个，用于接收端对接收到字符序列的正确性进行校验。同步通信的缺点是要求发送时钟和接收时钟保持严格的同步，另外同步串行通信的同步字符（SYNC）往往不统一，这样就不便于不同厂家串口之间的通信，所以现在的串行通信已经几乎不再用同步串行通信。我们所说的串行通信一般默认指异步串行通信。

2. 异步串行通信

异步串行通信一般等同于 RS-232 通信方式。RS-485 和 RS-422 也是采用 RS-232 通信方式的，所以也是异步串行通信。异步串行通信中有两个比较重要的指标：字符帧格式和波特率。数据通常以字符或者字节为单位组成字符帧传输。字符帧由发送端逐帧发送，通过传输线被接收设备逐帧接收。发送端和接收端可以由各自的时钟来控制数据的发送和接收，这两个时钟源彼此独立，互不同步。

当还没有开始数据传输时或者数据已经传输完毕后，异步串行通信的传输线上必须一直保持为电平逻辑“1”的状态。一旦接收端检测到传输线上发送过来的电平逻辑“0”（即字符帧起始位）时，就表示发送端已开始发送数据，每当接收端收到字符帧中的停止位时，就知道一帧字符已经发送完毕。

异步串行通信的帧格式是：1 位起始位，8 位（或 7 位）数据位，1 位奇偶校验位，1 位（或 2 位）停止位。

1.3.3 串行通信的工作模式

通过单线（相对地线）传输数据是串行通信的基础。数据通常是在两个站（点对点）之间进行传输的，按照数据传输的方向可分成三种传输模式：单工、半双工和全双工。

1. 单工模式：早期的电流环 TTY

电流环也称为 TTY，单工模式的数据传输是单向的。通信双方中，一方固定为发送端，

另一方则固定为接收端，使用一根传输线，如图 1-2 所示。

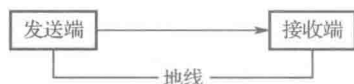


图 1-2 单工模式

用两路 TTY 也可以实现双向通信。由于没有统一的国际标准，且使用光电耦合器的接口极易损坏，现在 TTY 应用已经极少。

电流环 TTY 曾经是 DB-25 针 RS-232 接口（串口）的一部分，后来随着 IBM 将 RS-232 接口简化为 DB-9 针而被抛弃，但是现在也可以将 DB-9 针的 RS-232 接口的 TXD 和 RXD 转换出 TTY 信号，这可能是我们现在还可以见到的仅有的串行通信 TTY 信号了，而且不再是单工模式，而是双工模式。

双工模式按照是否可以同时接收和发送，可分为半双工和全双工。

2. 半双工模式：RS-485

半双工通信使用同一条传输线，既可发送数据又可接收数据，但不能同时发送和接收。在任何时刻只能由其中的一方发送数据，另一方接收数据。半双工模式既可以使用一条数据线，也可以使用两条数据线（参见图 1-3）。这两条数据线的其中一条专门用于发送，而另外一条专门用于接收，只是这两条线不同时发送和接收，属于半双工模式。

半双工通信中每个端口都需要有一个收发切换电子开关,通过切换来决定数据向哪个方向传输。因为有切换,所以往往会产生时间延迟。波仕电子的 RS-232/RS-485 转换器使用了独特的零延时自动收发转换技术,直接从 RS-485 信号中用硬件提取收发转换控制信号,并具备零延时的性能。其中零延时指收发切换过程转变时间为 0。这样的 RS-485 在使用时与 RS-232 通信一样。

3. 全双工模式: RS-232 或 RS-422

全双工模式分别由两根可以在两个不同的端点同时发送和接收的传输线来进行数据传输,通信双方都能在同一时刻进行发送和接收操作,如图 1-4 所示。

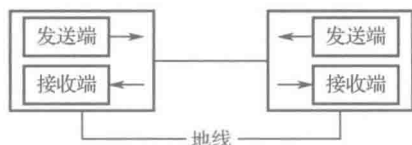


图 1-3 半双工模式

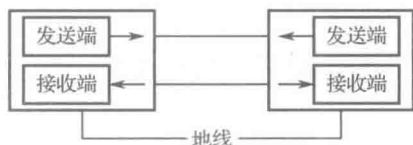


图 1-4 全双工模式

在全双工模式中,每一端都有发送器和接收器,有两条传输线,可在交互式应用和远程监控系统中使用,数据传输效率较高。由于全双工的收发可以同时进行,所以通信效率比半双工至少提高了一倍。

1.3.4 串行通信参数

串行通信方式是将字节(byte)拆分成一个接一个的位(bit)后再传输出去,接到此信号的一方再将此一个一个的位组合成原来的字节,如此形成一个字节的完整传输。在传输的过程中,双方一定要明确传输的具体方式并保持一致,否则双方就没有一套共同的编码/译码方式,从而无法了解对方所传过来的信息含意。因此双方为了进行通信,必须遵守一定的通信规则,这个共同的规则就是通信端口的初始化。

通信端口的初始化必须对以下参数进行设置。

(1) 波特率:这是一个衡量通信速率的参数,它表示每秒传输的位(比特,bit)的个数。RS-232 标准规定的数据传输速率为 1200 b/s、2400 b/s、4800 b/s、9600 b/s、19200 b/s、38400 b/s、115200 b/s 等,也称为波特率。例如,9600 波特率表示每秒传输 9600 bit,记为 9600 bps 或者 9600 b/s。波特率表示有效数据的传输速率,就是每秒传输 0 或 1 的个数。比如波特率是 9600 b/s,那么它传输一位 0 或 1 的时间就是 $1/9600$ s,大约为 0.1 ms。假设一帧串行数据有 10 bit (8 个数据位、1 个校验位和 1 个停止位),那么传输时间就是 $10 \times 0.1 \text{ ms} = 1 \text{ ms}$ 。

(2) 数据位:这是通信中实际数据的位数。当计算机发送一个串行信息帧时,实际的数据一般是 8 位,但是也有 7 位和 5 位,尽管后两者极少用到。如何选择数据位,取决于想传输数据的位数,比如标准的 ASCII 码是 0~127 (7 位),而扩展的 ASCII 码是 0~255 (8 位)。

(3) 停止位:用于表示单个数据包或者一帧的最后一位。典型的值为 1 位,也有 1.5 和 2 位。由于数据是在传输线上定时的,并且每一个设备有其自己的时钟,很可能在通信中两台设备间会出现小小的不同步。因此停止位不仅仅是表示传输的结束,并且也提供计算机校正时钟同步的机会。停止位的位数越多,不同时钟同步的容忍程度就越大,但是实际的数据传输率也越低。随着串行通信硬件技术抗干扰能力越来越强,现在几乎都选 1 位停止位。

(4) 奇偶校验位：奇偶校验是串行通信中一种简单的检错方式，有三种设置方式：偶校验（O）、奇校验（E）、无校验（N）。无校验（N）也是可以的。对于偶和奇校验的情况，串口会设置校验位（数据位后面的一位），用一个值确保传输的数据有偶个或者奇个逻辑高位。例如，假设数据是 011，如果是偶校验，校验位为 0，保证逻辑“1”的位数是偶数；如果是奇校验，校验位为 1，这样就有 3 个逻辑“1”。同样随着串行通信硬件技术抗干扰能力越来越强，现在几乎都选 N（无校验）。

串行通信常用的格式为（9600，N，8，1），就是波特率为 9600 b/s，无奇偶校验位，8 位数据位，1 位停止位。

1.4 RS-232 标准

RS-232 接口通常以 9 个引脚（DB-9）的形式出现。一般台式计算机上会有两个 RS-232 接口，分别称为 COM1 和 COM2。RS-232 的最大通信距离为 15 m；传输距离短的主要原因是 RS-232 属单端信号传输，存在共地噪声和不能抑制共模干扰等问题，因此一般用于 15 m 以内的通信。

EIA-RS-232C 是 RS-232 最早的国际标准，它对 RS-232 的电气特性、逻辑电平和各种信号线功能都做了规定，RS-232 插座如图 1-5 所示。RS-232 实际上是 EIA-RS-232C 的简称。

在 TXD 和 RXD 上，逻辑 1（MARK，传号）为 $-3\text{ V} \sim -15\text{ V}$ ，逻辑 0（SPACE，空号）为 $+3\text{ V} \sim +15\text{ V}$ 。在 RTS、CTS、DSR、DTR 和 DCD 等控制线上，信号有效（接通，ON 状态，正电压）为 $+3\text{ V} \sim +15\text{ V}$ ；信号空闲（断开，OFF 状态，负电压）为 $-3\text{ V} \sim -15\text{ V}$ 。

以上规定说明了 RS-232 标准对逻辑电平的定义。对于数据（信息码）：逻辑 1（传号）的电平低于 -3 V ，最低为 -15 V ；逻辑 0（空号）的电平高于 $+3\text{ V}$ ，最高为 15 V 。对于控制信号：接通状态（ON）即信号有效的电平高于 $+3\text{ V}$ ，断开状态（OFF）即信号无效的电平低于 -3 V 。也就是说，当传输电平的绝对值大于 3 V 时，电路可以有效地检查出来，介于 $-3 \sim +3\text{ V}$ 之间的电压无意义，低于 -15 V 或高于 $+15\text{ V}$ 的电压也认为无意义，因此，实际工作时，应保证电平在 $\pm(3 \sim 15)\text{ V}$ 之间。

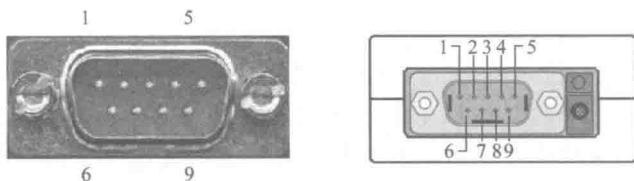


图 1-5 RS-232 插座

RS-232 标准定义了 DB-9 标准连接器中的 9 根信号线，早期 RS-232 的主要用途是外接 Modem 等外部数据通信设备（Data Communication Equipment，DCE）。计算机等主控制器，因为是用于人工来操作的，所以称为数据终端设备（Data Terminal Equipment，DTE）。

以下的编号分别对应于 DB-9 插座的 1~9 脚：