



The Data Communication Technology  
of Single-chip Processor  
for Both Beginners & Experts

# 单片机数据通信技术 从入门到精通

石东英 主编  
陈峰 谭树强 编著



清华大学出版社  
<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

# 单片机数据通信技术从入门到精通

石东海            主编

扈啸 周旭升    编著

西安电子科技大学出版社

2002

## 内 容 简 介

本书系统地介绍了单片机在数据通信方面的应用技术。第 1 章介绍了数据通信的基本概念及常见的通信媒质,第 2 章通过大量实例详细介绍了数据通信的调制与解调技术,第 3 章介绍了常用的编/解码技术,第 4 章着重介绍了单片机系统中常用的串行通信标准和接口技术,第 5 章介绍了 51 系列单片机之间通过标准串口通信的编程技术,第 6 章主要介绍了单片机与 PC 机之间的通信技术,包括在 Windows 环境下通过标准串口通信的编程技术,在 VB、VC、C++Builder 和 Delphi 等高级语言中实现串口通信的编程方法和参考程序,通过 PC 机标准键盘接口进行数据传输的技术,以及单片机同 PC 机并行传输数据的例子。

本书最大的特点是实用性强,其中很多实例可以直接拿来使用,极大地节省了设计人员的开发时间。

本书既可作为高等院校、培训班师生的教材,也可作为从事单片机应用技术人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

单片机数据通信技术从入门到精通 / 扈啸等编著.

—西安:西安电子科技大学出版社,2002.11

(单片机应用技术设计与实例开发)

ISBN 7-5606-1173-7

. 单... . 扈... . 单片微型计算机-数据通信 . TN919

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 068479 号

策 划 毛红兵

责任编辑 钟宏萍

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)8227828 邮 编 710071

<http://www.xduph.com> E-mail: [xdupfxb@pub.xaonline.com](mailto:xdupfxb@pub.xaonline.com)

经 销 新华书店

印 刷 西安兰翔印刷厂

版 次 2002 年 11 月第 1 版 2002 年 11 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 19

字 数 450 千字

印 数 1~4 000 册

定 价 27.00 元

ISBN 7-5606-1173-7/TP·0605

**XDUP 1444001-1**

\*\*\* 如有印装问题可调换 \*\*\*

本书封面贴有西安电子科技大学出版社的激光防伪标志,无标志者不得销售。

# 前 言

随着信息时代的飞速发展，计算机应用技术日益渗透到社会生产生活的各个领域，家用电器的电脑化、计算机的电器化正逐渐成为计算机应用领域的下一个发展目标，在这一进程中，单片机起到了举足轻重的作用。以 51 系列单片机为代表的单片机家族也随之日益壮大起来，成为工业控制和家用电器智能化、微型化的排头兵，因此，如何最大限度地开发单片机的功能，如何提高其使用效能，成为了各个开发商关注的焦点。

如今，数据通信技术在各个领域得到了广泛的应用和发展，从工业控制、军事应用到医疗仪器、家用电器，到处都涉及到数据通信技术。在计算机主导工业生产并且日益走进家庭生活的今天，人们开始向更新的领域进军。控制智能化、仪器小型化、功耗微型化成为大家广泛关注的焦点，这就把单片机的地位提升到重要的地位，随之而来的单片机数据通信技术就成为新的技术焦点。掌握了单片机的数据通信技术也就是掌握了单片机的核心应用技术。

单片机数据通信技术的内容十分广泛，本书简单明了地介绍了有关通信的基本概念，以及单片机应用系统中常见的和最新的串行通信方式、串行接口芯片，结合大量工程应用开发的实例，向广大单片机学习者和开发者展现了实用的单片机数据通信技术。

本书具体结构如下：

第 1 章介绍数据通信的基本概念及常见的通信媒质。

第 2 章介绍数据通信的调制与解调技术，列举了大量实例。

第 3 章介绍常用的编 / 解码技术。

第 4 章重点介绍单片机系统中常用的串行通信标准和接口技术，列举了较多的例子来详细介绍 51 系列单片机同串行接口芯片通信的编程技术，包括了 I<sup>2</sup>C 总线、SPI 总线、单总线、MPS 接口标准和 Microwire 接口标准等十多种常用芯片。

第 5 章介绍 51 系列单片机之间通过标准串口通信的编程技术。

第 6 章介绍单片机与 PC 机之间的通信技术，包括在 Windows 环境下通过标准串口通信的编程技术，在 VB、VC、C++Builder 和 Delphi 等高级语言中实现串口通信的编程方法和参考程序，通过 PC 机标准键盘接口进行数据传输的技术，以及单片机与 PC 机之间实现并行数据传输的例子。

石东海主持本书的全部编写工作，并认真审阅了全稿，本书前三章主要由周旭升编写，后三章主要由扈啸编写。张连超和张学成绘制了部分插图，王军和胡斌强搜集了部分资料。

另外，还要感谢本书所列参考文献的各位作者，由于他们的帮助才使我们的书稿变得更加完善。

由于水平有限，时间仓促，疏漏和不当之处在所难免，敬请广大读者批评指正！

编 者

2002 年 7 月

# 目 录

第 1 章 数据通信基础.....	1
1.1 数据通信概述.....	1
1.1.1 数据通信概念及特点.....	1
1.1.2 数据通信研究的内容.....	1
1.1.3 数据通信系统的构成.....	2
1.2 通信协议.....	2
1.2.1 通信协议的概念.....	2
1.2.2 通信协议的内容和功能.....	2
1.2.3 串行通信协议.....	3
1.3 数据传输模式.....	4
1.3.1 串行和并行传输.....	4
1.3.2 异步和同步传输.....	5
1.3.3 双工通信.....	5
1.4 数据通信系统的质量标准.....	6
1.4.1 传输速率.....	6
1.4.2 误码率.....	7
1.4.3 可靠度.....	7
1.4.4 功率利用率和频带利用率.....	8
1.4.5 标准性.....	8
1.4.6 通信建立时间.....	8
1.4.7 其它指标.....	8
1.5 数据传输媒质.....	9
1.5.1 有线传输媒质.....	9
1.5.2 无线传输媒质.....	12
第 2 章 数据通信中的调制解调技术及应用.....	15
2.1 调制解调技术原理.....	15
2.1.1 引言.....	15
2.1.2 数字振幅调制.....	16
2.1.3 数字频率调制.....	16
2.1.4 数字相位调制.....	16
2.2 调制解调器概述.....	17
2.2.1 调制解调器的功能.....	17
2.2.2 调制解调器的构成.....	17
2.2.3 调制解调器的标准.....	18
2.2.4 调制解调器的分类.....	18

2.3	调制解调器技术规范	19
2.3.1	调制解调器的标准速率	19
2.3.2	TCM 技术	20
2.3.3	调制解调器新技术	21
2.4	调制解调器应用实例	22
2.4.1	实例一：调制解调器芯片 AM7910 及其应用	22
2.4.2	实例二：调制解调器芯片 SSI73K222AL 及其应用	31
2.4.3	实例三：HART 调制解调器 HT2012 的原理和应用	36
2.4.4	实例四：嵌入式调制解调器与单片机的接口及编程	39
2.4.5	实例五：基于 MODEM 的单片机与 PC 机之间的远程通信	45
<b>第 3 章</b>	<b>数据通信中的编/解码技术及应用</b>	<b>50</b>
3.1	DTMF 编/解码技术	50
3.1.1	DTMF 编/解码技术基础知识	50
3.1.2	DTMF 远程通信的软硬件实现技术及其应用	52
3.1.3	DTMF 编/解码芯片在遥控系统中的应用	57
3.1.4	几种新型 DTMF 编/解码芯片的应用实例	60
3.2	三态逻辑编/解码技术	72
3.2.1	几种常用的三态逻辑编/解码芯片及其典型应用电路	72
3.2.2	三态逻辑编/解码器在 PC 机与单片机通信中的应用	76
3.2.3	三态逻辑编/解码器在信号检测系统中的应用	78
3.3	红外遥控技术	81
3.3.1	红外遥控原理	81
3.3.2	红外编/解码方法	81
3.3.3	几种新型红外编/解码芯片及其应用	86
3.4	差错控制技术	94
3.4.1	抗干扰编码的基本概念	94
3.4.2	差错控制的基本工作方式	95
3.4.3	几种常用检错码	96
3.4.4	数据通信中的纠错编码	97
<b>第 4 章</b>	<b>串行通信总线标准及接口技术</b>	<b>99</b>
4.1	串行通信总线标准接口	99
4.2	RS - 232C 总线标准及应用	100
4.2.1	RS - 232C 总线标准接口及电器特性	100
4.2.2	电平转换芯片介绍	102
4.3	RS - 449/423/422/485 标准总线接口及其应用	104
4.3.1	RS - 232C 接口的主要缺点	104
4.3.2	RS - 422 串行总线标准及应用	104
4.3.3	RS - 485 标准	105
4.3.4	RS - 232C、RS - 422A、RS - 485 性能比较	105
4.3.5	驱动芯片介绍	106

4.3.6	应用电路.....	108
4.3.7	RS - 485 标准总线接口应用.....	109
4.4	I <sup>2</sup> C 总线及应用实例.....	111
4.4.1	I <sup>2</sup> C 总线介绍.....	111
4.4.2	24C 系列串行 E <sup>2</sup> PROM 的应用.....	119
4.4.3	数字温度传感器的应用实例.....	129
4.5	SPI 总线及应用实例.....	135
4.5.1	SPI 总线介绍.....	135
4.5.2	A/D 转换的实例.....	136
4.5.3	MCM2814(E <sup>2</sup> PROM)的例子.....	142
4.5.4	X25045 应用实例.....	144
4.6	单总线及应用实例.....	148
4.6.1	单总线技术简介.....	148
4.6.2	结合 1820 介绍具体编程.....	150
4.6.3	其它单总线器件简介及系统应用示例.....	155
4.7	USB 通用串行总线及应用.....	157
4.7.1	USB 总线概述.....	157
4.7.2	USB 总线的硬件结构.....	158
4.7.3	USB 总线的软件结构.....	159
4.7.4	USB 总线的数据传输方式.....	161
4.7.5	USB 接口器件及应用.....	161
4.8	IEEE 1394 总线.....	164
4.8.1	IEEE 1394 的特点与结构.....	164
4.8.2	IEEE 1394 的连接方式.....	166
4.8.3	IEEE 1394 与 USB 发展前景比较.....	167
4.9	MPS 接口及应用.....	168
4.9.1	具有 MPS 接口的 X84041(E <sup>2</sup> PROM)简介.....	168
4.9.2	X84041 的接口时序关系.....	169
4.9.3	X84041 与 51 系列单片机接口的测试程序.....	170
4.10	Microwire 总线接口.....	174
4.10.1	Microwire 总线简介.....	174
4.10.2	93C46 系列串行 E <sup>2</sup> PROM 的应用.....	175
4.10.3	A/D 转换器 TLC0831 的应用.....	182
4.11	其它串行接口的芯片操作.....	184
4.11.1	DS1302 串行时钟芯片的结构及工作原理.....	184
4.11.2	DS1302 在单片机系统中的应用.....	186
第 5 章	51 单片机之间的通信技术.....	190
5.1	51 系列单片机串行口简介.....	190
5.1.1	MCS - 51 串行口结构.....	190
5.1.2	串行口工作方式.....	192

5.1.3	波特率的设计.....	194
5.1.4	波特率误差及选择.....	195
5.1.5	波特率的自动检测.....	195
5.2	单片机点到点通信的实例.....	198
5.2.1	供测试的简单通信程序.....	198
5.2.2	较完整的通信程序.....	203
5.3	单片机多机通信实例.....	206
5.3.1	多机通信原理.....	206
5.3.2	主从式多机通信实例.....	207
5.3.3	C51 语言通信的例子.....	214
5.4	用软件方法提高单片机通信距离.....	216
5.4.1	TTL 电平转换成差分电平的纯软件方法.....	216
5.4.2	软件串行口的实现方法.....	217
5.4.3	软件串行通信的编程.....	218
<b>第 6 章</b>	<b>51 单片机与 PC 机的通信技术.....</b>	<b>220</b>
6.1	DOS 环境下的串口通信程序设计.....	220
6.1.1	bioscom 函数功能介绍.....	220
6.1.2	调用 bioscom 函数实现通信的例子.....	222
6.2	Windows 环境下的串口通信程序设计.....	230
6.2.1	三种常用的通信方法 ActiveX \API\DLL.....	230
6.2.2	用 VB 开发串口通信软件.....	233
6.2.3	用 VC 开发串口通信软件.....	248
6.2.4	用 C++Builder 开发串口通信软件.....	253
6.2.5	用 Delphi 开发串口通信软件.....	256
6.2.6	Windows 环境下多机通信的例子.....	264
6.3	通过 PC 机标准键盘接口传输数据.....	269
6.3.1	PC 机键盘接口结构.....	269
6.3.2	利用键盘接口与 PC 机通信.....	274
6.4	51 单片机与 PC 机并行传输技术的应用.....	274
6.4.1	双端口 RAM 简介.....	275
6.4.2	51 单片机通过双口 RAM 与 PC 机 ISA 插槽进行数据传输.....	276
6.4.3	51 单片机通过双口 RAM 与 PC 机并口数据传输.....	277
<b>附录 A</b>	<b>部分常用网址.....</b>	<b>282</b>
A.1	部分国际标准协会的网址.....	282
A.2	部分 IC 查询站点.....	282
A.3	部分国外电子公司网址.....	283
<b>附录 B</b>	<b>集成电路前缀和生产公司.....</b>	<b>288</b>
<b>附录 C</b>	<b>波特率表.....</b>	<b>292</b>
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>295</b>



# 第 1 章 数据通信基础



本章主要内容：

数据通信概述  
通信协议  
数据传输模式  
数据通信系统的质量标准  
数据传输媒质

## 1.1 数据通信概述

### 1.1.1 数据通信概念及特点

数据通信是为了实现计算机与计算机或终端与计算机之间的信息交互而产生的一种通信技术，例如电报通信、计算机通信等。

典型的数据通信系统可用下面的等式描述，即

数据通信=数据处理+数据传输

由于数据通信是计算机之间的通信，所以它具有下列特点：

- 数据通信传输和处理离散的数字信号；
- 数据通信的通信速度很高，且通信量突发性强；
- 数据传输的可靠性要求高；
- 必须事先制定通信双方必须遵守的、功能齐备的通信协议；
- 数据通信的信息传输效率很高；
- 数据通信每次呼叫的平均持续时间短。

### 1.1.2 数据通信研究的内容

数据通信的功能是将数据从一点传输到另一点，而且数据是以某种方式编码和包装的。需要指出的是，两点间的数据传输必须是成功的，所以，数据是如何传输的，数据是如何编码的，数据通信是以什么样的规则去管理和控制的，所有这些问题都需要一一给予回答。为了简化，可以把数据通信划分为三个基本部分：

(1) 传输：解决如何为信息载体提供通路。研究适合传输的信号形式及相应的各种传输设备。

(2) 通信接口：主要研究接口的可靠性，解决怎样把发送端的信号变换为适合于传输的



形式，或者把传输到终点的信号变换为适合接收端设备接收的形式。

(3) 通信处理：通信处理是数据通信中最复杂的部分，本书只讲述其中一部分内容，大部分内容读者可参阅其它书籍。

### 1.1.3 数据通信系统的构成

数据通信系统是由数据终端设备和数据电路组成的，其构成示意图如图 1.1.1 所示。

数据源是数据的产生者或发送者，数据宿是数据的接收者和数据的终点，它们是各种类型的计算机或终端，统称为数据终端设备。

传输信道分为模拟信道和数字信道两种。模拟信道只能传输连续的模拟信号，如早期电话网等。数字信道传输离散的数字信号，即由“0”、“1”二进制码所构成的数字序列。

图 1.1.1 数据通信系统的构成示意图

数据信号要在信道上传输，必须采用信号变换设备。对模拟信道，信号变换设备即调制解调器，它把计算机或终端送来的数据信号变换为模拟信号再送往信道，或者反过来把信道送来的模拟信号变换成数据信号再送到计算机或终端。对数字信道，信号变换设备即接口设备，其作用是实现信号码型与电平的转换、信道特性的均衡、收发时钟的形成与供给以及码速控制等等。

## 1.2 通信协议

### 1.2.1 通信协议的概念

数据通信是机器之间的通信，而大部分是利用数据通信网将若干台计算机连成计算机网络来实现的，所以数据通信也叫计算机通信。正由于数据通信是机器间的通信，所以和其它通信方式一样，应该在通信系统中规定一个统一的通信标准，即通信的内容是什么、如何通信、何时通信，都必须在通信的实体之间达成大家都能接受的协定，这些协定就称为通信协议。也可将协议定义为监督和管理两个实体之间的数据交换的一整套规则。概括地说，通信协议是对数据传送方式的规定，包括数据格式定义和数据位定义等。

### 1.2.2 通信协议的内容和功能

#### 1. 通信协议的内容

通信协议由下列三部分组成：

(1) 语法：规定通信双方彼此“如何讲”，即确定协议元素的格式，包括数据格式和信号电平等。如数据控制信息的结构或格式。



(2) 语义：规定通信双方彼此“讲什么”，即确定协议元素的类型和内容，包括用于相互协调及差错处理的控制信息。如规定通信双方要发出何种控制信息、执行什么动作和返回什么应答等。

(3) 定时关系：规定事件执行的顺序，即确定通信进程中通信的状态的变化，包括速度匹配和时序。如规定正确的应答关系等。

## 2. 通信协议的功能

由于数据通信是机器间的通信，因此通信协议应规范得十分详尽才能保证通信的正常进行，所以协议是一个复杂和庞大的通信规则的集合。其完成的功能主要有：

(1) 信号的传送与接收。应规定信息传送的格式、接口标准及启动控制、结束控制、超时控制等功能。

(2) 差错控制。使构成传输数据的源码或源码组具有一定的逻辑性，接收端根据收到的数据进行相应的检错和纠错操作。

(3) 顺序控制。对发送的信息进行编号，以免重复接收或丢失。

(4) 透明性。指对用户终端所使用的数据代码无任何约束性的限制，即对用户使用的代码保证编码的独立性与传输的透明性。

(5) 链路控制与管理。在全双工、半双工和多点线路等多种线路方式中，确定哪个站发送、哪个站接收、对多个用户同时呼叫的场合如何对其择优控制。

(6) 流量控制。为保证接收方和发送方在速率上的匹配而采用的方法。

(7) 路径选择。确定信息报文如何通过多个节点和链路到达目的节点的传送路径和最优的路径选择策略。

(8) 对话控制。指信息处理、信息安全和保密、应用服务等内容。

上述功能实际上应是从物理线路电气特性一直到各计算机进程之间共享资源的全部内容。要通过一个计算机网络来实现上述功能，绝非易事。将这种比较复杂的大任务分解成若干个较为简单的子任务，进而逐个加以解决，是简化工程设计中常用的方法。为此，通常采用结构化的设计方法，把上述这些总功能分解为多个子功能。

### 1.2.3 串行通信协议

串行通信协议包括同步协议和异步协议两种，本书只讨论异步串行通信协议。异步串行通信协议规定字符数据的传送格式，主要有下述内容：

(1) 起始位。通信线上没有数据被传送时处于逻辑“1”状态。当发送设备要发送一个字符数据时，首先发出一个逻辑“0”信号，这个逻辑低电平就是起始位。起始位通过通信线传向接收设备，接收设备检测到这个逻辑低电平后，就开始准备接收数据位信号。起始位所起的作用就是使设备同步，通信双方必须在传送数据位前协调同步。

(2) 数据位。当接收设备收到起始位后，紧接着就会收到数据位。数据位的个数可以是5、6、7、8或9等，PC机中经常采用7位或8位数据传送，8051串行口采用8位或9位数据传送。这些数据位被接收到移位寄存器中，构成传送数据字符。在字符数据传送过程中，数据位从最低有效位开始发送，依次在接收设备中被转换为并行数据。



(3) 奇偶校验位。数据位发送完之后，便可以发送奇偶校验位。奇偶校验用于有限差错检测，通信双方应约定一致的奇偶校验方式。如果选择偶校验，那么组成数据位和奇偶位的逻辑“1”的个数必须是偶数；如果选择奇校验，那么逻辑“1”的个数必须是奇数。

(4) 停止位。在奇偶位或数据位(当无奇偶校验时)之后发送的是停止位。停止位是一个字符数据的结束标志，可以是1位、1.5位或2位的低电平。接收设备收到停止位之后，通信线路上便又恢复逻辑“1”状态，直至下一个字符数据的起始位到来。

(5) 波特率设置。通信线路上传送的所有位信号都保持一致的信号持续时间，每一位的宽度都由数据传送速率确定，而传送速率是以每秒多少个二进制位来度量的，这个速率叫波特率。例如，如果数据以每秒300个二进制位在通信线路上传送，那么这个传送速率就为300波特。

## 1.3 数据传输模式

### 1.3.1 串行和并行传输

并行传输是构成字符的二进制代码在并行信道上同时传输的方式。并行传输时，一次传输一个字符，如微机内部总线上的数据码或地址码，收发双方不存在同步问题，而且速度也快，这是并行传输的优点。但是并行传输需要并行信道，所以线路投资大，不适合于远距离传输。图1.3.1(a)所示为8051单片机与外设间8位数据并行通信的连接方法。

串行传输是构成字符的二进制代码序列在一条信道上以位(码元)为单位、按时间顺序且按位传输的方式。串行传输时，发送端按位发送，接收端按位接收，同时还要对所传输的字符加以确认，所以收发双方要采取同步措施，否则接收端将不能正确区分出所传输的字符，失去了通信的意义。串行传输的速度虽慢，但是只需要一条传输信道，且线路投资少，易于实现，所以是计算机通信采用的主要传输方式。图1.3.1(b)所示为串行数据通信方式的连接方法。

图 1.3.1 两种通信方式连接示意图



计算机的并行数据信号变为串行数据信号,是由通信控制器完成的。通信控制既可由软件实现,也可由硬件实现。一般来说,硬件实现较为容易,由通信接口板(通信适配器)来完成。

### 1.3.2 异步和同步传输

#### 1. 异步传输方式

异步传输方式是字符的异步传输技术。在异步传输方式下,传输数据以字符为单位。当发送一个字符代码时,字符前面要加一个“起”信号,其长度为1个码元,极性为“0”,即空号极性;字符后面要加一个“止”信号,其长度为1、1.5或2个码元(在国际NO.2码时用1.5码元长),极性为“1”,即传号极性。加上“起”、“止”信号后,即可区分出所传输的字符。传送时,字符可以连续发送,也可以单独发送,不发字符时线路保持“1”状态。如图1.3.2所示,每个字符由8比特(位)组成,加“起”、“止”信号共有11位长(“止”信号为8位),两字符之间的间隔长度可以不确定。异步传输方式适用于1200 b/s以下的低速传输,且实现起来比较简单。

图 1.3.2 起止式同步

异步传输方式的优点是收发双方不需要严格的位同步(因为每个字符开始时都要重新启动,位定时误差不会积累),缺点是每一个字符都要加“起”、“止”信号,传输效率比较低。

#### 2. 同步传输方式

同步传输方式即为位同步传输技术。在同步传输方式下,收发双方必须建立准确的位定时信号,正确地区分每位数据信号。在该方式中,每个字符不增加任何附加位,而是连续发送。但是在传输中,数据要分成组(或帧),一组含多个字符代码或多个独立码元。为使收发双方建立和保持同步,在每组的开始和结束需加上规定的码元序列,作为标志序列。在发送数据之前必须先发送该标志序列,接收端通过检测出该标志序列来实现同步。

标志序列的码型因传输规程不同而异。例如在基本型传输规程中,利用国际NO.5代码中的“SYN”控制字符,可实现收发双方的同步。又如在高级数据链路控制规程(HDLC)中,是按帧格式传送,利用帧标志符“01111110”来实现收发双方的同步。

同步传输方式适用于2400 b/s以上的数据传输,不需加起、止信号,因此传输效率高,但是实现起来比较复杂。

### 1.3.3 双工通信

双工通信方式是对相互通信的两台通信设备(如计算机)间数据流向的描述,或者是对一台通信设备执行收发操作能力的描述。



“双工”包括“全双工”、“半双工”和“单工”。双工通信方式及其链路结构如图 1.3.3 所示。

图 1.3.3 双工通信方式及链路结构

#### 1. 全双工方式

全双工方式指相互通信的两台通信设备可以同时发送和接收数据，即数据同时可在两个方向上传送，所以它们之间至少需要两条通信线路。

#### 2. 半双工方式

半双工方式指两台相互通信的通信设备均具有收发数据的能力，但在某一时间内它们只能执行一种操作(收或发)，不能同时执行收发两种操作；相应地，在它们之间的通信线路上可在两个方向上传输数据，但在某一时间内却只能在一个方向上传送数据。

为实现半双工通信，两台通信设备间只需一条通信线路，但各通信设备必须配备收发切换开关。

#### 3. 单工方式

单工方式指两台通信设备间数据只能在一个方向上传送。在单工方式下，两台通信设备中一台为发送设备，另一台必为接收设备，它们之间有一条通信链路就够了。

## 1.4 数据通信系统的质量标准

数据通信和其它通信方式一样，首先要满足快速性和准确性的指标，在评价数据通信的质量时，主要用传输速率来评价快速性，用误码率来评价其准确性。至于其可靠性、有效性和经济性的有关指标也将一并介绍。

### 1.4.1 传输速率

传输速率是衡量数据通信系统通信能力的指标。它表征了单位时间内传送的信息量，在数据传输中，通常采用调制速率、数据信号速率和数据传输速率来表示。



### 1. 调制速率

调制是将基带的数字脉冲信号转换成适合于在线路上传输的某一频率载波信号的过程，我们把调制过程中单位时间内调制信号波形的变换次数，也就是单位时间内所能调制的调制次数，简称波特率。如果一个单位调制信号波的时间长度为  $T$ (s)，则调制速率为：

$$R_B = \frac{1}{T} \quad (1.4.1)$$

在数据通信中，单位调制信号波又叫做码元，故调制速率又称作码元传输速率。

### 2. 数据传送速率

数据传送速率表示单位时间内通过信道的信息量，单位是比特/秒，用 b/s 表示。这是用来表示传输速率最常用的单位，简称比特率。在串行通信中定义数据传送速率为：

$$R_b = R_B \log_2 M = \frac{1}{T} \log_2 M \quad (1.4.2)$$

式中， $R_B$  为波特率， $M$  为调制信号波的状态数， $T$  为单位调制信号波的时间长度。

若为并行传输，则在相应的波特率  $R_B$  前乘以并行传输的通路数即可，在速率较高的情况下，可用千比特/秒(kb/s)或兆比特/秒(Mb/s)来表示。

调制速率(波特率)和数据传送速率(比特率)之间有一定的关系，在串行传输两状态调制中，二者的速率是相等的，即一个码元只携带一位二进制数的信息。但在实际的调制中，为提高信道的利用率和抗干扰性能，经常采用多进制或称多状态的调制( $M$  状态调制)，这时单位调制信号波里就包含了  $\log_2 M$  个多比特信息，此时二者速率就差了  $\log_2 M$  倍。

### 3. 信息传输速率

信息传输速率是数据通信系统中的数据源和数据宿之间单位时间传送的数据量，数据量的单位可以是比特、字符码组等，时间单位可以是秒、分、小时等，通常以 b/s 为单位。如果用  $N$  表示数据宿接受的信息比特数， $t$  表示传输  $N$  比特信息所需的时间，则信息传输速率为：

$$R_M = \frac{N}{t} \quad (1.4.3)$$

## 1.4.2 误码率

数据通信的目的在于使接收端获得正确的数据量，因此接收端数据的差错程度是数据通信质量的最重要的指标，一般可用误码率、误字率和误组率表示，通常用误码率表示。误码率计算公式为：

$$P_e = \frac{\text{接收差错的比特数}}{\text{总的传输比特数}} \quad (1.4.4)$$

为了降低误码率，不得不采用差错控制手段，以保证数据通信中系统的误码率  $P_e \cdot 10^{-8}$ 。

## 1.4.3 可靠度

可靠度是衡量机器正常工作能力的一个指标，可用公式表示为：



$$P_r = \frac{\text{系统正常工作时间}}{\text{系统工作总时间}} \times 100\% \quad (1.4.5)$$

影响可靠度的因素很多，主要是组成系统设备的可靠性、信道的质量、操作人员的水平和工作状态等。

#### 1.4.4 功率利用率和频带利用率

在满足数据通信快速性、准确性的基础上，系统应追求较高的有效性，以提高系统的效率。其中功率利用率和频带利用率是从不同侧面来反映系统有效性的指标。

##### 1. 功率利用率

功率利用率以比特差错率小于某一规定值时所要求的最低归一化信噪比(每比特的信号能量和噪声单边功率谱密度的比值)衡量。所要求的信噪比越低，则功率利用率越高。

##### 2. 频带利用率

频带利用率是描述数据传输速率和带宽之间关系的一个指标，也是衡量数据通信系统有效性的指标，它是单位频带内所能传输的信息速率，其表示式为：

$$\eta_B = \frac{R_b}{B} = \frac{1}{BT} \log_2 M \quad (\text{b/s} \cdot \text{Hz}) \quad (1.4.6)$$

式中， $B$  是系统频带宽度， $R_b$  是系统的比特率， $M$  是调制的状态数。在频带宽度相同的条件下，比特传输速度越高，频带利用率也越高，反之则越低。

功率利用率和频带利用率这两项性能指标主要都决定于调制解调方式，在选择调制解调方式时应兼顾二者。如果在某些系统中主要功率受限，则可适当牺牲频带利用率来提高功率利用率；若主要频带受限，则着重提高频率利用率，而功率利用率可适当降低。

#### 1.4.5 标准性

系统的标准性是缩短研制周期，降低生产成本，便于用户选购，便于维护的重要措施。特别是随着计算机通信网的日益发展，更显示出标准性的重要意义。我国信息产业部的有关机构也专门从事标准的研究和制定工作，这是发展我国数据通信不可缺少的。

#### 1.4.6 通信建立

通信建立时间应尽可能短，它是反映系统同步性能的一个指标，对于间歇式的数据通信或瞬时通信来说，这项指标尤为重要。

#### 1.4.7 标

其它指标还有经济性、操作简单、维修方便、能自动检测、体积小和重量轻等，在设计传输系统时也是要注意的。当然，这些指标也是相对的，要根据具体情况以及周围环境和服务对象等具体确定。



## 1.5 数据传输媒质

传输媒质是通信中实际传送信息的载体。数据通信系统中采用的传输媒质可分为有线和无线两大类。双绞线、同轴电缆、电力线、电话线、波导管和光纤是常用的几种有线传输媒质。短波通信、微波通信、卫星通信、红外通信、激光通信、散射通信以及蓝牙通信等的信息载体都属于无线传输媒质。

### 1.5.1 有线传输媒质

有线传输媒质是现代通信中最常用的媒质之一，它以有形的线路为传输介质，主要包括双绞线、同轴电缆和光纤。计算机间的远程数据通信一般要采用调制解调器，其传输介质本应使用专用的同轴通信电缆，但从成本角度考虑，还可使用双绞线、电话线和电力线。当然，采用光纤作为通信介质是最好不过了，但成本较高，可根据传输特性(包括其容量及传输频率范围)、连接性(点对点或多点)、地域范围(网络上点与点之间的最大距离)、抗干扰性(介质对干扰的屏蔽能力)、成本(包括组成部件、安装和维修成本等)几个方面对上述几种介质进行比较。下面便对这几种通信介质分别进行分析说明。

#### 1. 双绞线

双绞线是由两条互相绝缘的铜导线扭绞起来构成的，一对线作为一条通信线路，其构成如图 1.5.1 所示。通常类似这样的一定数量的导线对捆成一个电缆，外面包上硬护套。之所以采用这种扭绞结构是为了减少相邻导线的电磁干扰，以提供相对稳定的导电特性。最近的研究结果表明，双绞线作为一个建筑物内微机局部网络的传输介质是有效且成本低廉的。

双绞线可用于传输模拟及数字信号，其通信距离一般为几公里到几十公里。当距离太长时，对于模拟信号，每隔 5~6 km 需加放大器以便将衰减了的信号放大到合适的数值；对于数字信号，每隔 2~3 km 需加转发器(中继器)以便将失真了的数字信号进行整形。导线越粗，其通信距离越远，但导线价格会越高。

图 1.5.1 双绞线的构成

与其它传输介质相比，双绞线的传输距离、带宽和数据率有限。当频率增大时，信号衰减也增大。此外它易于和电磁场耦合，对噪声和干扰较敏感。减少损耗的办法有两种：第一，可在双绞线外面加上一个金属编织网的屏蔽层减少干扰，相邻的线对采用不同扭绞长度减少串音；第二，使用平衡传输线，接收端用相位差判断数字 0 和 1，而不再用幅度差判断，因而可有效降低加性噪声干扰，增加传输距离。

对于点到点模拟信号传输，双绞线可以达到 250 kHz 的带宽。由于用户线路的衰减为每公里 1 dB，而电话线通用标准为最大损耗低于 6 dB，因此，电话线上每 6 km 内必须接放大器。对于数字的点到点线路，双绞线可以达到几 Mb/s 的数据率，且传输距离可达几公里。