



Visual C++ 开发实践与提高系列

Visual C++

实践与提高

—— 串口通信 与 工程应用篇

张筠莉 刘书智 主编

- ✓ 内容充实，结构严谨，理论联系实际
- ✓ 书中内容取自工程案例，用案例引出设计方法
- ✓ 案例间相互关联，拓展读者综合思维能力
- ✓ 剖析疑难问题提出解决思路，让读者举一反三



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

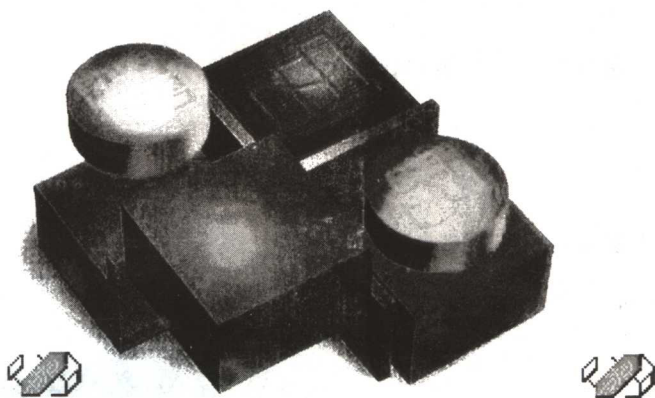
TP312
1914
:2

Visual C++ 实践与提高

——串口通信与工程应用篇

张筠莉 刘书智 主编

 **Visual C++**



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

本书系统地介绍了使用 Visual C++ 开发串口应用程序的方法。全书以串口应用为主线, 由浅入深, 详细讲解了使用 MSComm 控件和使用 WinAPI 两种方式开发串口应用程序的方法。对这两种方式的应用, 分别就不同的应用要求, 做了详细的剖析。在此基础上, 又介绍了计算机和各种设备之间进行串口通信的编程方法, 主要包括计算机与单片机、PLC、Modem、射频卡, 以及两台计算机之间的通信编程方法。

本书通俗易懂, 内容翔实, 实例丰富, 且书中实例均经过作者测试通过, 实例源代码可在 www.tqbooks.net 网站进行下载。对于串口程序开发的初学者, 通过本书的学习, 可以很快上手。另外, 书中对某些知识点的深入讨论, 对已经掌握串口开发的读者同样会起到一定的帮助。

图书在版编目 (CIP) 数据

Visual C++ 实践与提高. 串口通信与工程应用篇 / 张筠莉, 刘书智主编. — 北京: 中国铁道出版社, 2005. 11

ISBN 7-113-06816-2

I. V... II. ①张... ②刘... III. C 语言—程序设计
IV. TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 148143 号

书 名: Visual C++ 实践与提高——串口通信与工程应用篇

作 者: 张筠莉 刘书智

出版发行: 中国铁道出版社 (100054, 北京市宣武区右安门西街 8 号)

策划编辑: 严晓舟 郭毅鹏

责任编辑: 严 力 吴媛媛

封面设计: 薛 为

责任校对: 李 旸

印 刷: 北京市兴顺印刷厂

开 本: 787×1092 1/16 印张: 28.5 字数: 679 千

版 本: 2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 1~5 000 册

书 号: ISBN 7-113-06816-2/TP·1676

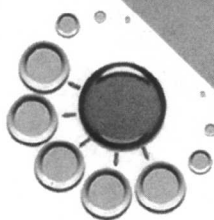
定 价: 40.00 元

版权所有 盗印必究

凡购买铁道版的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 请与本社计算机图书批销部调换。

编委会

主 编:	张筠莉	刘书智	高守传		
编 委:	郎显源	刘 斌	孙雄勇	余周军	陈艳华
	刘 萌	项宇峰	赵 凯	张金辉	袁海波
	赵艳铎	赵静一	秦 鹏	苏治中	石伟玉
	黄 东	黄荣升	罗 颂	曹广鑫	潘 力
	齐 林	王 豫	姚文浩	张建平	孙 逊
	叶顺源	韦 韩	张增强	李 雷	解绍伟
	韩中领	黄 峰	高守传	刘书智	张金霞
	张路平	罗皓菡	赵正坤	公芳亮	程明雷
	梁文建	马 斗	邱 哲	宋 昕	王俊标
	陈 晨	李卓龙	程鹏辉	吕 静	贺广治
	原 奕	姚领田			



前言

串口应用是一种常见的应用技术。无论是在工业控制领域，还是其他行业，其应用都屡见不鲜，开发串口应用的编程语言也有多种选择。在诸多编程语言中，使用 Visual C++ 进行串口开发无疑是性能最佳的方式，然而由于 Visual C++ 本身难于掌握，限制了它的应用。本书力图将使用 Visual C++ 进行串口程序开发的方法，以简洁的形式呈现给广大读者。

使用 Visual C++ 进行串口应用开发，不外乎两种方法。一种是使用微软的 MSComm 控件，另一种就是使用 WinAPI。前者应用简单快捷，但缺点是灵活性差，而且最多只支持 16 个串口；后者功能强大，针对不同的要求，有多种应用方式，但缺点是不易掌握。

本书围绕以上两种基本方法，对串口应用从多角度、多层面进行了广泛的讨论。针对各种应用，穿插使用这两种方式讲解编程的具体步骤和方法，在讲解程序时，做到了图文并茂。全书知识面广泛，内容涵盖了串口应用的方方面面。书中所介绍的代码均由编者在 Windows 2000+SP4/XP+SP2、Visual C++ 6.0 下调试通过。读者只要领会其编程思路，按照书中所述步骤进行操作，均能完成程序的编写和调试，最终掌握 Visual C++ 开发串口应用程序这一技术。

为了便于读者学习，编者总结多年工作实践经验，以独到的角度进行串口讲解。主要从以下 3 个方面进行串口讲解。

- 书中首次引入虚拟串口软件来协助调试。该软件可以在一台计算机中虚拟出多个串口，有效地解决了目前计算机普遍只有一个串口，无法单机进行调试串口通信的情况。
- 对于目前串口调试软件纷纭复杂的功能，提出了一种新颖的调试方法，对其进一步的完善，便可大大增强调试的效果。
- 书中还广泛地使用程序流程图，以理清程序执行的次序。使用函数导向图，使读者能够轻松地理顺 Visual C++ 各类间复杂的调用关系。

第 1 章主要讲解串口的基本概念。这些内容是串口通信程序开发的基础，若读者已熟练掌握，则可跳过本章内容。

第 2 章主要介绍使用 MSComm 控件开发串口通信程序的方法。首先介绍了该控件的属性和方法，注意与在 VB 中应用该控件的区别，然后按照通信数据的两种类型，文本和二进制数据，分别介绍了发送和接收数据的编程方法。

第 3 章主要介绍使用 WinAPI 开发串口程序。在介绍了 WinAPI 开发串口程序的基本知识的基础上，详细讲解了同步方式、异步方式及事件驱动方式下编写串口应用程序的方法。

第 4 章主要介绍了多线程技术在串口程序开发中的应用。

第 5 章介绍了使用 TAPI 开发电话应用程序的方法。

第 6 章详细介绍了计算机与单片机间的串口通信。分别讲述了单片机的编程方法和计算机的编程方法。

第 7 章介绍了计算机与 PLC 进行串口通信的程序设计。以 S7-200 PLC 为例，详细介绍了二者的程序设计思路和方法。

第 8 章介绍了 Modem 的应用。讲述了通过串口，使用 AT 指令控制 Modem 的方法，并

介绍了利用 PSTN 进行文件传输的方法。

第 9 章介绍了两台计算机间通过串口进行通信的编程方法。以两台计算机间进行文件传输为例，详细介绍了通信程序的编制过程。

第 10 章主要介绍了软件传真机。通过调用一个传真精灵 DLL，实现了通过软件进行传真的功能。

第 11 章围绕目前流行的射频卡，介绍了通过串口进行读卡器设计的方法。

第 12 章通过一个工程实例，介绍了组态王工控软件与计算机进行串口通信的编程方法。

第 13 章以一个实际解码器为例，介绍了通过串口控制云台的编程方法。

最后的附录部分向读者展示了串口调试的基本方法，并提出了一种崭新的调试软件的设计思路。

书中除个别章节外，大部分章节都配备了详尽的实例，该实例将放在 <http://www.tqbooks.net> 网站，请读者进行下载。通过对这些实例深入浅出地讲解，使读者能够在最短的时间内掌握开发串口程序的基本方法。

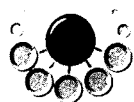
本书系统、翔实地讨论了使用 Visual C++ 开发串口程序的编程方法。其中第 1~5 章由张筠莉同志编写，第 6~13 章由刘书智等同志编写。通过对本书的学习，能使读者对串口开发有一定帮助，那是编者最大的欣慰。但由于编写时间较为仓促，书中难免会有疏漏和不足之处，还望广大读者提出宝贵意见。

编 者

2005 年 10 月

目 录

第 1 章 串行通信原理与设计	1
1.1 串行通信基本概念	1
1.1.1 串行通信特点	1
1.1.2 串行通信传输方式	2
1.1.3 数据纠错与检错	2
1.1.4 传输速率与距离	3
1.2 串行传输协议	4
1.2.1 异步传输协议	4
1.2.2 面向字符的同步传输协议	5
1.2.3 面向比特的同步传输协议	7
1.3 串行接口标准	9
1.3.1 EIA RS-232C 标准	9
1.3.2 RS-423A、RS-422A 和 RS-485 标准	12
1.3.3 USB 接口标准	14
1.4 串口硬件设计	15
1.4.1 串口应用设计流程	15
1.4.2 Windows 下的串口资源	15
1.4.3 DCE 与 DTE 设备的识别方法	16
1.4.4 握手处理	16
1.4.5 RS-232C 与 RS-485 接口转换	17
1.4.6 接地及隔离技术	17
1.5 小结	20
第 2 章 使用 MSComm 控件编程	21
2.1 MSComm 控件属性及事件	21
2.1.1 MSComm 最常用的属性	21
2.1.2 与输入操作有关的属性	23
2.1.3 与输出操作有关的属性	24
2.1.4 与传输控制有关的属性	25
2.1.5 MSComm 控件的事件	26
2.2 对不同类型数据的处理方法	26
2.2.1 使用 MSComm 控件发送与接收字符串	27
2.2.2 使用 MSComm 控件发送与接收二进制数据	27
2.3 MSComm 错误处理方法	28
2.3.1 关于发送缓冲区	28



2.3.2	关于接收缓冲区.....	29
2.3.3	接收数据的实际处理方法.....	29
2.4	控件编程.....	30
2.4.1	加载及使用控件.....	31
2.4.2	初始化及打开串口.....	36
2.4.3	串口事件处理.....	37
2.4.4	关闭串口.....	38
2.4.5	关于协议的问题.....	38
2.5	通信编程实例.....	38
2.5.1	程序功能.....	38
2.5.2	界面设计.....	38
2.5.3	变量声明.....	40
2.5.4	创建串口.....	41
2.5.5	设置串口.....	42
2.5.6	打开串口.....	43
2.5.7	关闭串口.....	43
2.5.8	接收数据处理.....	44
2.5.9	实际传输文件截图.....	45
2.6	程序发布问题.....	45
2.7	小结.....	45
第3章	使用 WinAPI 串口编程.....	47
3.1	API 串口编程概述.....	47
3.2	采用同步查询方式的编程方法.....	47
3.2.1	创建串口.....	48
3.2.2	关闭串口.....	53
3.2.3	发送数据.....	53
3.2.4	接收数据.....	53
3.2.5	定时接收数据的方法.....	54
3.3	采用重叠 I/O 方式的编程方法.....	55
3.3.1	定义全局变量.....	55
3.3.2	创建串口.....	55
3.3.3	发出读写操作.....	56
3.3.4	读写线程函数的建立.....	57
3.3.5	关闭串口.....	61
3.4	采用事件驱动方式的编程方法.....	61
3.4.1	定义全局变量.....	61
3.4.2	打开串口及开启事件线程.....	62
3.4.3	发送数据.....	64



3.4.4	自定义消息函数读取数据.....	65
3.4.5	关闭串口及关闭事件线程.....	67
3.5	编程实例.....	67
3.5.1	程序功能.....	67
3.5.2	界面设计.....	68
3.5.3	变量声明.....	69
3.5.4	设置串口.....	70
3.5.5	打开串口.....	72
3.5.6	关闭串口.....	73
3.5.7	发送字符.....	73
3.5.8	命令的有效性处理.....	74
3.5.9	实际字符传送截图.....	75
3.6	小结.....	76
第 4 章	多线程编程.....	77
4.1	多线程基本概述.....	77
4.1.1	线程与进程.....	77
4.1.2	何时使用多线程.....	78
4.1.3	多线程串口的应用.....	78
4.2	线程的操作.....	78
4.2.1	创建线程.....	78
4.2.2	终止线程.....	80
4.2.3	关于内存泄漏.....	81
4.3	线程间通信.....	81
4.3.1	使用全局变量.....	81
4.3.2	使用自定义消息.....	81
4.4	线程同步.....	82
4.4.1	使用临界区 (Critical Section)	82
4.4.2	使用互斥对象 (Mutex)	83
4.4.3	使用信号量 (Semaphore)	84
4.4.4	使用事件 (Event)	84
4.4.5	各种方法的比较.....	85
4.5	多线程串口程序设计.....	85
4.5.1	多线程的应用框架.....	85
4.5.2	相关的声明.....	86
4.5.3	创建线程.....	87
4.5.4	编写线程函数.....	87
4.5.5	编写消息响应函数.....	88
4.5.6	线程的结束.....	88



4.6 小结	89
第5章 TAPI 编程	91
5.1 关于 TAPI	91
5.1.1 什么是 TAPI	91
5.1.2 Windows 中的 TAPI 系统架构	91
5.1.3 Windows 中的 TAPI 电话服务类型	92
5.2 TAPI 2.X 介绍	93
5.2.1 基本概念	93
5.2.2 TAPI 应用程序结构	93
5.2.3 常用函数介绍	94
5.3 CTapi14 类介绍	98
5.3.1 变量/函数声明	98
5.3.2 初始化操作	100
5.3.3 创建函数	100
5.3.4 呼叫函数	101
5.3.5 回调函数处理方式	103
5.3.6 与回调相关的函数	103
5.3.7 处理呼叫状态的函数	105
5.3.8 处理连接状态的函数	108
5.3.9 挂机函数	109
5.3.10 通信状态显示函数	110
5.3.11 延时函数	111
5.4 使用 CTapi14 类的编程实例	111
5.4.1 程序功能	111
5.4.2 界面设计	111
5.4.3 CTapi14 类的使用方法	112
5.4.4 变量/函数声明	113
5.4.5 电话操作函数	114
5.4.6 消息处理函数	115
5.4.7 显示信息函数	117
5.4.8 实际使用截图	117
5.5 小结	118
第6章 计算机与单片机通信	119
6.1 单片机的串口原理	119
6.1.1 串口结构	119
6.1.2 串口寄存器及中断	120
6.2 串行通信硬件设计	121



6.2.1 常用接口芯片介绍.....	121
6.2.2 接口电路.....	121
6.3 串行口通信参数设置.....	122
6.3.1 波特率的设置.....	122
6.3.2 奇偶校验位的使用方法.....	123
6.3.3 通信协议约定.....	123
6.4 单片机的串口编程方法.....	124
6.4.1 功能描述.....	124
6.4.2 通信协议.....	124
6.4.3 初始化串口及寄存器.....	124
6.4.4 编写中断服务程序.....	125
6.5 计算机界面设计.....	128
6.5.1 功能描述.....	128
6.5.2 界面设计.....	128
6.6 计算机端程序设计.....	129
6.6.1 头文件引用及变量声明.....	129
6.6.2 初始化控件.....	131
6.6.3 向单片机发出请求.....	132
6.6.4 在控件事件中接收数据.....	133
6.6.5 超时定时器的编程.....	140
6.6.6 关闭串口.....	141
6.7 小结.....	142
第7章 计算机与 PLC 通信.....	143
7.1 PLC 的串口通信.....	143
7.1.1 PLC 的通信方式.....	143
7.1.2 计算机与 PLC 通信流程.....	144
7.1.3 与通信相关的寄存器.....	144
7.1.4 与通信相关的指令.....	148
7.1.5 通信中断事件.....	149
7.1.6 通信中断指令.....	150
7.1.7 硬件连线及设置.....	151
7.1.8 PC/PPI 电缆切换时间的影响.....	151
7.2 PLC 通信编程.....	152
7.2.1 功能描述.....	152
7.2.2 通信协议.....	152
7.2.3 程序结构及变量说明.....	153
7.2.4 主程序.....	154
7.2.5 初始化.....	154



7.2.6	发送与接收处理.....	155
7.3	计算机界面设计.....	158
7.3.1	主界面设计.....	158
7.3.2	设置对话框设计.....	159
7.4	计算机程序设计.....	160
7.4.1	功能描述.....	160
7.4.2	变量/函数声明.....	160
7.4.3	初始化代码.....	161
7.4.4	参数配置.....	162
7.4.5	读串口操作.....	166
7.4.6	写串口操作.....	169
7.4.7	接收数据处理.....	172
7.4.8	命令有效性处理.....	178
7.4.9	实际传输数据截图.....	179
7.5	小结.....	180
第 8 章	计算机与 Modem 的通信.....	181
8.1	Modem 的工作原理.....	181
8.1.1	Modem 的基本工作原理.....	181
8.1.2	Modem 的功能介绍.....	182
8.1.3	内置 Modem 与外置 Modem.....	182
8.2	Modem 的通信标准.....	183
8.2.1	调制协议.....	183
8.2.2	差错控制协议.....	184
8.2.3	数据压缩协议.....	184
8.2.4	文件传输协议.....	184
8.3	Modem 的 AT 命令.....	185
8.3.1	Modem 工作状态切换.....	185
8.3.2	AT 命令串简介.....	187
8.3.3	常用基本 AT 命令分类.....	187
8.3.4	呼叫与应答相关命令.....	187
8.3.5	状态切换命令.....	190
8.3.6	握手相关命令.....	191
8.3.7	基本 AT 命令的简单测试方法.....	192
8.3.8	常用寄存器命令及寄存器含义.....	194
8.3.9	使用 PSTN 进行串行通信的工作流程.....	195
8.4	使用 Modem 远程传输文件程序设计.....	196
8.4.1	功能描述.....	196
8.4.2	通信流程.....	197



8.4.3	XModem 通信协议	198
8.4.4	界面设计	199
8.4.5	变量声明	200
8.4.6	初始化	201
8.4.7	串口配置与操作	202
8.4.8	发送文件	204
8.4.9	接收文件	205
8.4.10	OnComm 事件函数	206
8.4.11	建立超时定时器	228
8.5	小结	230
第 9 章	两台计算机间通信	231
9.1	通信方式介绍	231
9.2	通信协议	232
9.2.1	通信流程	233
9.2.2	数据包格式	233
9.3	通信实现思路	234
9.3.1	功能描述	234
9.3.2	通信事件的处理方法	235
9.3.3	各种操作状态的含义	235
9.4	界面设计	237
9.4.1	主界面设计	237
9.4.2	设置对话框设计	238
9.5	程序设计	239
9.5.1	变量/函数声明	239
9.5.2	初始化代码	241
9.5.3	参数配置	242
9.5.4	发送文件	246
9.5.5	事件消息响应函数	248
9.5.6	命令的有效性处理	267
9.5.7	自定义功能函数	269
9.5.8	程序测试	274
9.6	小结	274
第 10 章	软件传真机	275
10.1	传真的基本知识	275
10.1.1	工作原理	275
10.1.2	传真机的分类	276
10.1.3	传真机通信规程	277



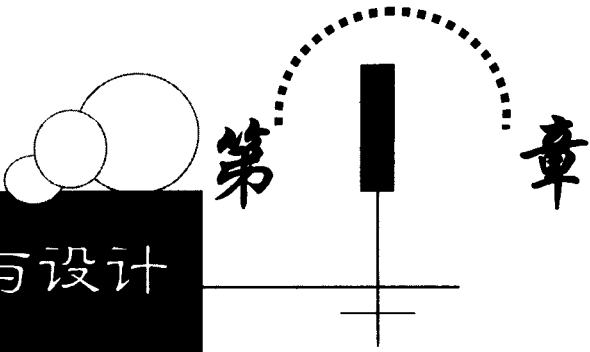
10.2	关于传真精灵 SmartFax	278
10.2.1	主要功能	278
10.2.2	发送传真函数	278
10.2.3	接收传真函数	281
10.2.4	其他功能函数	283
10.2.5	如何使用传真精灵	284
10.3	软件传真机程序设计	285
10.3.1	功能介绍	285
10.3.2	界面设计	286
10.3.3	关于头文件的引用	289
10.3.4	变量/函数声明	289
10.3.5	初始化操作	291
10.3.6	程序流程分析	293
10.3.7	关于 TAPI 操作的函数	296
10.3.8	发送传真相关函数	304
10.3.9	接收传真相关函数	306
10.3.10	传真消息响应函数 OnSmartFax()	309
10.3.11	传真参数相关操作函数	317
10.3.12	其他功能函数	322
10.4	小结	324
第 11 章	计算机与射频卡通信	325
11.1	射频卡简介	325
11.1.1	射频卡工作原理	325
11.1.2	射频卡的分类	326
11.1.3	射频卡的优点	327
11.1.4	射频卡的应用	327
11.2	射频卡的应用框架	327
11.3	MIFARE 卡介绍	328
11.3.1	TYPE A 与 TYPE B	328
11.3.2	TYPE A 卡的初始化与防冲突	329
11.3.3	MIFARE 1 型卡的存储结构	333
11.3.4	MIFARE 1 型卡存取控制与数据区的关系	334
11.4	射频卡模块介绍	336
11.4.1	MCM200/MCM500 概述	336
11.4.2	MCM200/MCM500 接口简介	337
11.4.3	MCM200/MCM500 读写操作过程	338
11.4.4	ZLG500A 读写模块介绍	339
11.5	射频卡应用的设计	340



11.5.1	读写器成品的设计方法.....	340
11.5.2	使用射频卡模块的设计方法.....	340
11.6	小结.....	340
第 12 章	组态王的应用	341
12.1	组态王参数设置.....	341
12.1.1	RS-485 板卡的使用方法.....	341
12.1.2	串口通信方式.....	342
12.1.3	串口参数设置.....	346
12.2	组态王通信协议.....	346
12.2.1	寄存器定义.....	346
12.2.2	读命令格式.....	347
12.2.3	写命令格式.....	347
12.2.4	命令格式中的符号说明.....	348
12.2.5	命令举例说明.....	349
12.3	组态王端的程序设计.....	350
12.3.1	程序功能.....	350
12.3.2	界面设计.....	350
12.3.3	KingComClient 设备的设置	352
12.3.4	变量定义.....	352
12.3.5	命令语言.....	353
12.4	计算机端的程序设计.....	353
12.4.1	功能描述.....	353
12.4.2	界面设计.....	354
12.4.3	变量/函数声明.....	355
12.4.4	初始化代码.....	356
12.4.5	串口配置与操作.....	357
12.4.6	串口事件响应函数.....	361
12.4.7	自定义功能函数.....	368
12.4.8	模拟数值的产生.....	372
12.4.9	实际通信截图.....	372
12.5	小结.....	374
第 13 章	云台及镜头控制系统.....	375
13.1	云台及镜头的应用概况.....	375
13.1.1	数字监控系统概述.....	375
13.1.2	监控系统组成.....	375
13.2	如何控制云台与镜头.....	376
13.2.1	云台及镜头的设备简介	376



13.2.2	云台及镜头的控制原理.....	377
13.2.3	解码器概述.....	377
13.2.4	常用通信协议.....	377
13.3	串口控制云台和镜头程序设计.....	378
13.3.1	硬件接线说明.....	378
13.3.2	通信协议介绍.....	379
13.3.3	程序功能.....	380
13.3.4	界面设计.....	380
13.3.5	变量/函数声明.....	383
13.3.6	初始化操作.....	386
13.3.7	按下与弹起控制的实现方法.....	388
13.3.8	串口操作.....	407
13.3.9	发送数据.....	408
13.3.10	程序测试截图.....	417
13.4	小结.....	417
附录	串口调试.....	419



串行通信原理与设计

这一章将介绍串行通信的基本概念，包括串行通信的原理、传输协议以及各种串行传输的接口标准，然后讨论串行通信时的硬件电路设计基础。

1.1 串行通信基本概念

介绍串行通信，有必要先介绍一下并行通信。所谓并行通信，是在一些联络信号的控制下，一次将 8 位、16 位或 32 位数据同时进行传送的通信方式。在并行通信中，传输线数量没有限制，除了数据线之外还应设置有通信联络控制线。这种通信方式的优点是通信速率高，适用于高速的通信场合，但缺点也很明显，首先随着通信联络控制线数量的增加，通信的成本越来越高；其次随着通信距离的增加，受到通信联络控制线间及外界的电磁干扰越趋严重，通信的质量明显下降。为解决这些问题，可以采用串行通信的方式。

串行通信，只需一对传输线，数据的各位按照时间顺序依次传送，如 8 位数据分 8 次传送。显然，串行通信的速度要比并行通信慢得多，但其优点也很明显，通信成本低，距离远。

1.1.1 串行通信特点

串行通信之所以被广泛采用，其中一个主要原因是可以在现有的电话网络上进行信息的远距离传输。只需要增加 Modem，便可以在电话网络上实现远程通信。一般来说，串行通信具有如下 4 个特点：

- 由于在一条传输线上既传输数据信息，又传输控制联络信息，这就需要一系列约定，从而识别一条线上传送的信息流中，哪一部分是数据信号，哪一部分是联络信号。
- 串行通信的信息格式有异步和同步信息格式。与此对应，有异步串行通信和同步串行通信两种方式。
- 由于串行通信中信息逻辑定义与 TTL 不兼容，故需要逻辑电平转换，以提高信息传输的可靠性。
- 为了降低通信线路的成本和简化通信设备，可用现存信道（如电话、电报信道等），配以适当的通信接口，在任意两点之间实现串行通信。实践证明，微型计算机通过 Modem 和电话线进行远程串行通信，是当今很受欢迎的廉价的一种通信方式。