

高等学校试用教材

计算机通信接口技术

长沙铁道学院 行治民 主编

计算机通信接口技术

中国铁道

375
60

中国铁道出版社

高等学校试用教材

计算机通信接口技术

长沙铁道学院 行治民 主编
西南交通大学 潘启敬 主审

中国铁道出版社

1995年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书共分七章。内容包括计算机通信的基本概念; RS-232-C、RS-449、电流环、V.24、X.21 等物理层协议; BSC、HDLC 等链路层协议和能实现这些协议的相应接口芯片 Intel8250、MC2661、Intel8273、8274 等的结构、性能、应用电路和程序; 调制解调器的原理及电路介绍; 计算机通信接口应用实例等内容。

本书适合于计算机技术、计算机应用、自动控制及工业电气自动化等专业用教材, 也可供上述专业的工程技术人员学习参考。

高等学校试用教材

计算机通信接口技术

长沙铁道学院 行治民 主编

*

中国铁道出版社出版发行

(北京市东单三条 14 号)

责任编辑 倪嘉寒 封面设计 马 利

各地新华书店经售

北京市燕山联营印刷厂印刷

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 13.25 字数: 323 千

1995 年 5 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 1—3000 册

ISBN 7-113-01902-1/TP·198 定价: 7.80 元

前 言

随着计算机技术的发展,在各计算机之间的信息传送及软硬件和数据的资源共享已成为现实,因此在高等院校中的计算机技术、计算机应用、自动控制和通信等专业中开设计算机通信接口技术这门课程日益显得必要。有鉴于此,铁道部高等院校计算机、自动控制和工业电气自动化专业教学指导委员会在1991年度会议上推荐编写此书,并经铁道部批准,作为高校计算机技术、计算机应用等专业的试用教材。

本书编写的主导思想是理论与实际应用相结合,学以致用。因此,在介绍计算机通信的有关理论及通信规程和协议外,还着重地介绍了实现这些通信规程和协议的有关具体接口芯片的结构性能和使用方法,并列举出这些接口芯片与主机连接的具体电路和相应软件编程实例。除此之外,还结合计算机通信在铁路运输设备中的应用,介绍了一些应用实例及教学中开设远程网络通信接口实验。此外,为了便于读者深入学习,还在每章之后均附有复习思考题和习题。本书适合于60学时的教学时数。

本书由长沙铁道学院行治民主编并编写第一、四、五章和第二、三章的部分内容,第六章由北方交通大学翁顺祺编写并编写了第二章部分内容,第七章由西南交通大学杨永高编写并编写了第三章的部分内容。

本书由西南交通大学潘启敬主审。参加审稿的有北方交通大学张思东、国防科技大学陈善思、兰州铁道学院时天保及西南交通大学、北方交通大学、华东交通大学等院校有关老师,他们对本教材的编写提出了许多宝贵意见,在此向他们表示感谢!

编 者
1993年10月

目 录

第一章 计算机通信的概述	1
第一节 计算机通信是计算机应用发展的客观需要.....	1
第二节 计算机通信的基本概念.....	2
第三节 数据传送的控制方式.....	5
第四节 串行 I/O 通信	9
第五节 并行 I/O	17
复习思考题和习题	19
第二章 RS-232-C 和其它物理层协议	20
第一节 计算机网络通信协议	20
第二节 物理层通信协议	22
第三节 串行通信标准 RS-232-C	22
第四节 RS-232-C 在计算机通信中的应用	31
第五节 与 RS-232-C 相兼容的改进方案 RS-449	37
第六节 几种常用的其它数据通信接口标准	43
第七节 20mA 电流环接口	49
复习思考题和习题	53
第三章 异步串行通信有关规定	54
第一节 美国的信息交换标准码 (ASCII 码)	54
第二节 速度匹配 (流控制) 规程	62
第三节 异步串行通信接口芯片 INS8250	66
复习思考题和习题	82
第四章 链路层协议及有关同步通信规程	83
第一节 通信协议或规程中的有关概念	83
第二节 链路层通信协议简介	84
第三节 校验方法	93
第四节 可编程通信接口 2661	97
复习思考题和习题.....	113

第五章 面向位的通信接口芯片	114
第一节 8273 可编程通信接口芯片	114
第二节 Intel8274 通信接口芯片	131
第三节 8274 的应用编程举例	158
复习思考题和习题.....	168
第六章 调制解调器	170
第一节 调制解调器的基本结构、功能及分类.....	170
第二节 调制解调器的工作原理.....	172
复习思考题和习题.....	184
第七章 计算机通信接口技术的应用	185
第一节 铁路运输中的计算机通信网络及其应用.....	185
第二节 计算机通信接口技术在铁路牵引供电远动系统中的应用.....	189
第三节 计算机通信接口技术在机车车载微机中的应用.....	191
第四节 计算机通信接口技术在工业自动监测系统中的应用.....	194
第五节 IBM-PC 远程数据通信实例	197
复习思考题与习题.....	205
参考文献	206

第一章 计算机通信的概述

第一节 计算机通信是计算机应用发展的客观需要

计算机技术在今天已经得到了极其广泛的应用。它不仅仅是应用于数字运算上,而且日益广泛的应用于数据及图像处理、生产过程控制、辅助设计、以及文字图像的排版印刷等各个方面。由于计算机技术的应用范围日益广泛,人们逐渐感觉到一个孤立的计算机单独的使用起来有很多不便,这是因为人们的工作场所是分散的,而人们所从事的工作相互之间往往又是互相联系的,在使用计算机时不可能都集中在一台计算机上。如果分散的使用多台计算机,而其使用的计算机又不可能构造太复杂(因为那样会使计算机造价太高,使人们无法负担其费用)因而也就使其性能不可能太完善。为了使多个用户共同使用同一台性能较好的计算机,于是便出现了多用户终端的分时系统。而这种多终端分时系统是每个用户都具有一个终端(包括键盘和显示器的一种输入输出设备)。每个终端都有线路接到主计算机上,主计算机分时的轮流为各个终端服务。这样的多用户终端分时计算机系统有两个主要缺点:第一,多个用户共同使用一台主计算机,而每个用户终端只有简单的输入输出功能,这样一旦主计算机出现故障,则所有的终端用户将都受到影响而无法工作,因此其可靠性较差;第二因为每个用户终端只有输入输出功能,故所有数据处理运算都要由主机来负担,而主机又只有一台,它要为多个用户共同服务,因此只能分时的轮流服务,这样当用户数目较多和用户的业务中运算处理量比较大时,就会出现处理速度慢、延时等待时间长的现象,因而使服务质量下降。为了克服上述多用户终端分时系统的不足,又出现了第二种方式即计算机网络。计算机网络是将多台有一定独立处理运算能力的计算机用通信线路连接起来以实现资源(包括硬件、软件和数据等资源)共享和增强系统的可靠性(如其中某一台计算机出了故障,除该机外,系统的其它部分可以照常工作,故对整个系统影响不大)。正因为计算机网络有以上优点,所以近年来,计算机网络技术的开发和应用得到了极大的发展。计算机网络可分为远程网和局域网两大类:局域网连接的地理范围较小,一般在0.1~10km的范围内,多安装在一个机关、学校或企业的范围内;而远程网的地理范围在10km至几百、几千公里以上,可跨接几个城市几个省或几个国家。局域网由于其距离短多使用专用线路,数据传输速率比较高,可由0.1Mbps到10Mbps以上;而远程网则速率多在0.1Mbps以下至几百、几千bps之间,其通信线路多使用公共电话网。由于计算机网络的发展,计算机间的通信日益频繁,因此计算机间通信技术的研究是一个十分重要的课题。由于各个计算机的型号和结构不同,计算机通信线路的长短不同,数据的传送速度也不相同,计算机间的通信必须通过一定的界面即“接口”来协调相互之间数据传送中有关的技术问题。这便是本课程所要讨论的内容。实际上计算机通信接口技术不只应用在计算机之间的数据传送与通信上,而且也应用在计算机主机与外设例如各种输入输出设备,如键盘、打印机及各种存储器(如磁带、磁盘)等之间的数据传送上,这是因为这些外部设备的运行速度也和CPU与主存储器的工作速度差别较大,也必须通过一定接

口来协调它们之间的不同数据传送速度等矛盾。从这方面来说，它们之间有共同性。但计算机的主机与外设之间的数据传送仍然是在一个计算机系统的内部来进行的数据传送，而和两台甚至多台计算机之间的数据传送也还是有许多不相同的地方的。因此开设一门专门论述计算机之间的通信接口技术的课程，显然是十分必要的。

第二节 计算机通信的基本概念

一、计算机通信与数据传输

计算机通信即计算机之间的通信，例如计算机 A 中的信息需要传送到计算机 B，或计算机 B 的信息要传送到计算机 A 这都属于计算机之间的通信。而数据传输则概念较为广泛，它所讨论的内容主要是数据由源地传送到目的地的问题，而不管源地或目的地是计算机或其它什么数据的发送或接收设备。由此可以看出，计算机通信和数据传输之间的共同性是二者均要涉及到数据由源地到目的地之间的传送问题，而不同之处在于计算机通信限定源地和目的地均是计算机而不包括其它数据接收或发送设备而已。因此有关数据由源地到目的地传送的一些基本概念也同样适用于计算机之间的通信。所以在进一步叙述计算机通信之前先叙述一下数据传送的有关概念和术语是很有必要的。

二、数据传输系统的组成

要进行任何数据传输必须具有下面四个部分：即数据的源地发送设备，目的地接收设备，传送数据的线路和控制传送的机构。而要进行一次成功的数据传输，还必须要知道下面三个内容即：传送的地址，传送的时间，和传送的内容。传送地址即数据发送的源地地址和要到达的目的地地址，传送的内容即要传送的数据本身及其表达方式，传送时间即数据传输在什么时候开始，什么时候结束，这就要涉及到为完成数据传输使收方与发方协调地进行工作的许多有关问题，下面我们逐一的讨论这些有关问题。

三、数据的传送方式

在计算机领域内，有两种数据传送方式：即并行传送和串行传送。现将并行传送和串行传送的含义说明如下：

在计算机领域内通常我们把不可能再分的数据项叫做位。但是在几乎所有的通用微型计算机里基本的数据通路和存储器寻址方式都是用位组作为其寻址的地址单元的。假若这个位组是八位一组，那么这个位组就称做一个字节 (BYTE)。并行和串行传送的差别就来源于这些位组从源地到目的地传送的方式的不同。假若数据是一次一位的在一位宽的通道上进行传送，那么这种传送方式叫做位串行传送或简称串行传送；假若位组是在多路并行的通道上每次一个位组一个位组的传送，那么这种传送方式就叫做并行传送。

1. 并行数据传送

在微机系统中，在处理机系统内部几乎所有的数据传送都是以并行方式传送的。在 8 位微机系统内，所有内部的数据传送都是在叫做数据总线的 8 位数据通路上（现在也有 16 位或 32 位的数据总线）进行传送在 8 位数据线之外，至少还需有两条附加线路，一条是信号地线；

一条是数据“就绪”线。典型的数据通路如图 1—1 所示。信号地线是确定 8 位并行数据线的逻辑状态的参考基点，而数据“就绪（准备好）”线则是告诉接收设备（目的地）何时去采样或读取 8 位数据线。关于何时读取的问题在控制数据传送的一节中再详细讨论。要注意 8 条并行数据线是同时被读取的，因此可以说 8 位数据总线支持一个字节接着一个字节的进行数据传送。某些大的计算机使用字节串行这个术语来描述 8 位并行数据传送。

在图 1—1 中示出并行数据通路的示意图，其控制信号只支持单方向的数据传输。假若要这个通路支持双向的数据传输，至少还需要再增加两条另外的控制线，即一个进入信号和一个送出信号以便来指明通道的哪一端进行发送和哪一端进行接收。

2. 串行数据传送

外部数据传输通常指的是与计算机系统不在同一机箱内的设备或计算机与计算机之间、计算机与距离其较远的设备之间的数据传输，这些数据传输绝大部分使用串行传送，现在我们来研究串行传送方式的有关问题。

典型的串行数据传送通路使用一条数据位流线和若干条用于信号地和控制用的线路，有几种串行标准和规程来规定传送电平和其控制信号。在下一章中将讨论几种重要的串行传送规程：即 TTL 级、EIA 标准 RS-232-C 和 20mA 电流环路等。

这些规程中有些也常常使用在微机系统内各部件间的数据传输，RS-232-C 还用于通过公共电话交换网的数据传输中。

3. 并行和串行传送方式的比较

上面已经讨论了并行和串行两种数据传送方式，现在对这两种方式的有关性能进行比较。

(1) 传送距离：并行数据传送的距离一般情况下小于 30m，而串行数据传送的距离可由几米到几千公里。

(2) 传送速度：并行数据传送速率在短距离内其速度是比较高的，因为它是多位同时进行传送的。并且受与具体的微机设备相联系的并行数据通路所支持。数据传送速率范围在零到几十 Mbps。

(3) 信号电平：并行接口通常使用 TTL 信号电平，即在并行线上代表逻辑“1”的为 +5V，“0”为 0V。TTL 信号也用于串行接口。但是在大部分情况下串行接口工作在 RS-232-C 信号电平或 20mA 电流环路电平。这些在下一章中再详细讨论。

(4) 信号的衰减和增益：当一个电信号发送到线路上时，总会有一定的信号衰减，信号衰减随着线路距离的增长而增大，为了补偿信号的衰减。可以用来保持信号性能的方法有两个：即增强信号发送功率或进行信号放大。串行信号的放大与多路并行信号放大相比其复杂性要小些。并行信号传送所遇到的另一个重要问题是信号传送中的歪扭。歪扭的产生是由于各个线路传播延时的不同，从而使被接收器采样的各个数据线路的定时有比较大的不一致性而引起的。当距离增大时，歪扭问题更加严重，这样对信号的正确接收造成很大困难，使远距离的并行传送，难以实现。

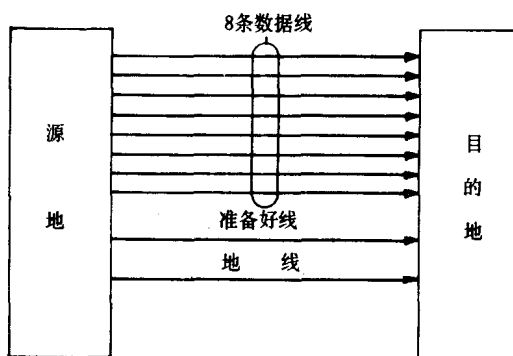


图 1—1 单向的位并行数据通路

(5) 费用：距离超过 20m 以上时采用多路数据线路的费用将显得十分昂贵。如将并行数据转换成在一条单独线路上传送的串行数据，而在到达目的地之后又恢复成并行数据其所需要增加的额外逻辑电路费用与在较长距离上进行并行传送所需要的硬件费用相比，前者还是比较便宜的。

(6) 长途通信：到目前为止，电话网是长途通信最普遍使用的设备，这个网络是为进行模拟量的声音通信而设计的。因此，发送到电话网上的二进制数字信息必须首先进行串行化，而后再转换成模拟量信号，以便适合电话系统的传送能力。这样，公共电话交换网就成为对串行数据进行长距离的数据通信的一个重要设备，在第六章中将详细介绍数据通信用于电话网的一些特征。

通过上述对并行的与串行的数据传送的比较，我们就可以得出它们各自适合应用于什么场合的结论：对于短距离、高速度的数据传送，并行传送常常是比较可取的；而对于远距离、低速度的通信，则串行传送是仅有可供选择的方式。

四、数据传送的工作方式

无论是数据的串行或并行传送，传送设备的一个重要性质就是它在传送方向方面的工作方式。现在就来讨论各种不同数据传送通路在它们传送方向性方面的工作方式：

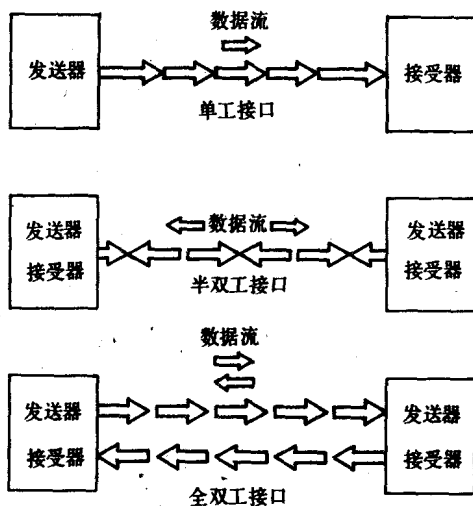


图 1—2 单工、半双工和全双工串行接口

图 1—2 示出具有三种在方向性方面的不同工作方式的数据通路：第一种是单工式的数据通路，它仅支持在一个方向上的数据传送，即由设备 A 到设备 B，在这种结构中，A 只作为发送器，而 B 只作为接收器。

第二种结构是一种半双工式的数据通路，它支持在设备 A 和设备 B 之间交替的数据传送，即设备 A 能发送数据到设备 B，而设备 B 也能发送数据到设备 A，但是，在同一时间内只能进行一个方向的传送，这种通信方式叫半双工通信方式。在半双工通信的各个端点的两个设备之间必须进行调节以控制线路传送方向的改变，这种调节和控制是采用通信接口所支持的控制信号方式来实现的。

第三种结构是一种全双工制的数据通路，它支持数据在两个方向的同时传送，即设备 A 能发送数据到设备 B，同时设备 B 也能发送数据到设备 A。显然，为了实现这种同时性，则设备 A 和 B 两者都必须均有独立的接收器和发送器，而且从 A 到 B 的数据通路与从 B 到 A 的数据通路也必须是完全各自分离的，这样，当 A 发送到 B 和 B 发送到 A 时，实际上所用的是两个逻辑上完全独立的单工通路。

在数据传送时经常使用的两个术语：即单向总线和双向总线。其意义如下：

所谓单向总线是一个单工数据通路，它支持数据流从一个特定的源地到几个可能的目的地中的一个。因此单向总线仅有一个发送器且至少有一个或者可能有多个接收器。双向总线

是一个半双工数据通路，它可能连接几个发送器和接收器。

第三节 数据传送的控制方式

不论是数据的串行传送或数据的并行传送，要进行一次成功而有效的数据传送，必须在数据的发送方和接收方，进行一定的联系和约定。这样发送和接收才能有效的进行。例如当在接收方还没有准备好去接收数据时，发送方就开始发送，或在发送方还没有准备好去发送数据时，接收方就去接收数据，在这样的情况下发送和接收均不能成功而又有效的进行。因此要进行一次成功而有效的数据传送，必须预先商定好一个程序来管理和控制发送器和接收器两者的动作，这种由 CPU 通过运行一定的相应程序来控制数据传送的叫做程序控制数据传送。除了这种控制方式外，还有一种是利用 DMA 控制器来进行数据传送的方式叫做直接存储器访问（即 DMA）数据传送。现在我们来分别叙述这两种数据传送方式。

一、程序控制数据传送

程序控制数据传送就是由 CPU 直接执行某些输入输出指令（即 I/O 指令）和访问存储指令来实现的。在这种通信软件中，用以启动进行数据传送的方法有两种：即轮询 I/O 方式和中断驱动方式。现在来说明这两种方式的概念。

1. 轮询 I/O 方式

这种方式是 CPU 用程序来查询输入/输出设备的状态，来查看其是否有数据需要 CPU 取走，或是否要求 CPU 将数据输出到输出设备中。当 I/O 设备有这种输入/输出要求时，即执行相应的 I/O 指令，将数据输出到相应的输出设备中，或将输入设备中的输入数据取走。因在通常情况下，I/O 设备的输入/输出数据与 CPU 执行程序的速率相比是很低的，因此多数的轮询是在 I/O 设备没有有效的数据输入或不需要 CPU 将数据输出的情况下进行的，因此这种不进行有效的输入/输出的轮询就叫做“空轮询。”“空轮询”即无用的轮询，或找不到准备好的字节来进行传送的轮询。与轮询相联系的另一个重要特性问题是轮询的速度和丢失数据的可能性问题。显然用比较低的轮询速率，可以减少由于空轮询而产生的浪费、减少轮询速率而节省下来的 CPU 资源可被用来完成其它工作；然而这需要非常小心的来组织 CPU 所要执行的任务。对大多数用轮询来进行数据传送的微机系统，CPU 是以它最大的速率来轮询 I/O 端口。这样，像对于键盘输入的情况来说，字符传送间的间隔是由许多空轮询来填充的。

假如 CPU 用轮询方式与多个 I/O 端口相联结的外设交换数据，那就必须有若干方案使轮询各个设备的速率快于各设备的数据速率，以保证没有数据丢失。最普遍的多设备轮询方案是环链技术。在这种方案中，各个设备被分配在一个（逻辑的）圆周排列中的一个位置上，而 CPU 沿着这个圆周依次逐个的轮询各个设备。在圆周中的设备优先级问题可以用给最高优先级设备在圆中一个以上的轮询位置来实现。图 1—3 中描述出圆环轮询技术，在其中设备 1 被给予较圆环中其它设备为高的优先级。

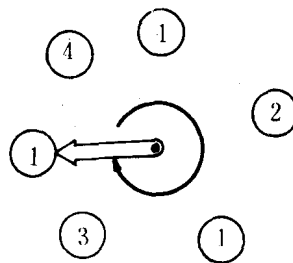


图 1—3 圆环轮询技术

轮询通常用在系统中有富裕的 CPU 资源可供进行轮询的情况。否则 CPU 将没有其它事情好做。所以单用户微机系统多使用轮询来控制 CPU 和控制台终端间的数据传送。一旦 CPU 资源成为一个问题, 则 I/O 驱动中断就成为较合适的选择。

2. I/O 驱动中断

在 I/O 驱动中断中, I/O 设备在数据传送过程中担任着比较主动的角色, 由它来通知 CPU 何时准备好接收或发送一个数据。当然, I/O 设备的驱动中断能力需要一定的附加硬件来支持它。

大部分微型计算机都支持可屏蔽和不可屏蔽的两种中断类型: 可屏蔽的中断, 是在软件控制下, CPU 对到来的中断可设置为进行处理或不去处理两种方式; 而不可屏蔽中断则不管在什么情况下都要对中断进行处理。I/O 设备可通过启动一个专门用以对 CPU 进行中断请求的信号 INT 来产生一个可屏蔽中断。要产生不可屏蔽中断的 I/O 设备要启动专用于不可屏蔽的中断请求信号 NMI。

CPU 处理中断的过程就是暂停目前正在处理的程序去执行 I/O 设备要求 CPU 要去执行的数据传送子程序, 在执行完这个子程序后, 又重新返回原来的中断点继续执行其原来的程序。

3. 轮询与中断驱动数据传送优缺点的比较

轮询技术有许多优点: 第一、它对硬件的需求比较简单, 在软件的实现上也比较简单, 而且对软件的调试也比较方便可由 CPU 直接进行。假若 CPU 没有其它工作要去完成的话, 轮询将是一种可用的方法, 它可使应用的硬件、软件资源简化。

另一方面, 由前面的说明也可看出轮询所存在的缺点: 第一、轮询占用了许多服务不需要的资源 (如 CPU 等)。其次被轮询的对象比较多时, 或轮询的时间比较长时, 则轮询对象的等候时间可能比较长。

对比起来, 中断处理是严格地按需要来分配资源。在中断驱动数据通信中没有空轮询这样的事情。所以与空轮询相联系的资源浪费的情况对于中断驱动数据传送来说是不存在的。此外, 中断服务在请求被检测之后可以立即开始。这样, 中断驱动数据传送方式具有较短的延时, 可较快的开始服务。

服务一个中断所花费的实际时间通常比用轮询方式情况下要长, 这是因为中断服务子程序必须保存和恢复 CPU 原来的工作状况而额外增加了直接与服务 I/O 设备相联系的指令的执行。

I/O 驱动中断还有一些其它缺点, 第一、中断处理需要专门的硬件支持。假如, 有多个 I/O 设备能产生中断时, 必须提供电路来识别正在中断的设备和解决潜在的相互冲突的资源要求。设备的识别对轮询数据传送来说是没有问题的, 因 CPU 知道它正在询问的是什么设备, 而在多个被轮询的设备间竞争时, 由于它们是依次被轮流询问的, 因而这个问题将自动地解决。可是中断驱动数据传送则需要解决设备识别和相互间的竞争, 这两者都是用硬件来完成的。对多个中断源来说最普通的解决竞争技术是设备的优先级化, 即各个设备分配以不同的优先级来确定中断选出的顺序。举例来说, 假如设备 1、2 和 3 被分配的优先级为设备 1 有最高优先级, 设备 3 为最低优先级, 那么设备 1 能够中断对设备 2 和 3 两者的服务, 设备 2 能够中断对设备 3 的服务但是不能中断设备 1, 设备 3 不能中断对设备 1 和 2 的服务。

注意上述优先级技术其意义是中断处理支持一个优先服务方案。因为中断可以在任何时候到达, CPU 可以被中断而去服务一个优先级高的中断, 在上面的例子中, 假若设备 2 现正在接受服务而设备 1 产生一个中断, CPU 将挂起对设备 2 的服务而去开始执行对设备 1 的中断服务程序, 一旦 CPU 完成对设备 1 的服务, 它将返回到对设备 2 服务的离开处重又对设备 2 服务。对比之下最普遍的轮询执行过程支持无优先的服务, 也就是说在圆环内的各个设备在完成对其服务之前不可能去轮询下一个服务设备。但是在轮询软件支持下的轮询过程中优先服务是存在的。

上述这些将导致中断驱动数据传送的第二个缺点: 逻辑方面的复杂性。支持中断处理所需要的软件是大大地复杂于实现轮询所需要的软件, 因为中断是随机事件, 它能够潜在地中断一个程序执行中的任何一个阶段。所以, 为了保持 CPU 和存储器状态的完整性, 以便使被中断执行的任务总是能够正确的恢复, 附加的软件逻辑常常是十分需要的。中断的随机性的另一个后果是间断性故障的发生, 而这样的故障是很难于再现, 隔离和修复的。这就造成使对中断驱动系统的软件开发需要较长的时间。

二、直接存储器访问 (DMA) 的数据传送

程序控制数据传送不论轮询或中断驱动都是利用 CPU 资源来建立和完成数据传送的。利用直接存储器访问 (DMA) 技术实现数据传送是利用增加一组强有力的新资源来完成这个工作的: 这一新资源名叫 DMA 控制器。CPU 要参与建立传送的初期工作, 如确定源地和目的地地址、传送字节数目和其它有关参数, 而实际的传送操作全部由 DMA 控制器进行管理。

利用 DMA 来传送数据, 除了能不依赖 CPU 而独立完成传送之外, 还有另一特性就是它是面向数据块的传送, 这些传送是发生在存储器和 I/O 设备之间。建立一个 DMA 传送需要开销, 故使用 DMA 传送少量的字节是不合算的。几乎所有的 DMA 传送都是用来移动大块的 (至少几百个字节) 数据。

1. DMA 传送的优点

DMA 传送有许多优点, 一个优点是 CPU 不需要束缚在长时间执行数据传送的软件上。在 DMA 环境中, CPU 建立 DMA 操作后便可去进行其它工作。当 DMA 操作刚被 CPU 建立, 而要实际开始工作时, CPU 必须与 DMA 控制器争夺对系统总线的控制权, 在有些 DMA 技术中, 一旦 DMA 控制器获得总线, 它将保持到数据传送全部完成, 在这种情况下, CPU 必须进入一个空闲状态, 因为它没有控制总线就不能取指令。在其它不那么极端的 DMA 控制技术中, DMA 和 CPU 交替地控制总线, 这样就允许 CPU 去完成它的工作而 DMA 去完成它的传送。在这后一种情况, CPU 和 DMA 两者各占取比完成他们的工作稍长一点的时间, 但是至少在作比较长的数据传送时, CPU 没有被捆绑起来。

有些 DMA 控制器支持窃取周期或透明的操作方式。在这种方式下, 当 CPU 对其最近读入的指令进行译码时, DMA 控制器强占总线, 在这种情况下, 由于连续不断的交换对总线的控制权而占用了一些时间 (但相对来说并不太多) 将使 CPU 的速度有所下降。

DMA 的另一个优点是速度快。作为一个例子让我们把 Z80 程序控制和 DMA 控制的数据传送的最大数据率加以对比。一个操作在 4MHz 的 Z80 微处理器, 程序控制数据传送的最大速率是每秒 0.2M 字节, Z80CPU 所以能如此快的原因是因它有专门的块传送指令, 这种块传送指令减少了与程序控制数据传送相联系的存储器读周期的开销。与 Z80 程序控制数据传送

的最大速率 0.2M 字节/s 相比, Z80DMA 传送 (仍用 4MHz 系统时钟) 能支持每秒 1M 字节的数据率。具有专用的外部电路时, 这个速率还可以加倍。

第三个优点是不需每次传送进行确认, 从而减少了传送响应时间。传送响应时间就是设备已准备就绪与传送第一个字节开始之间所需经过的时间, 假若块传送是由 I/O 设备的中断开始, 对于中断服务子程序的控制, 即使相当快的传送也要占用 $5\sim 10\mu\text{s}$, 对于许多数据通信的应用来说, 这样长的响应时间将导致数据的丢失。

所以一个计算机系统, 当下列情况之一存在时, 它将能从 DMA 控制数据传送的性能优点中获得好处:

- (1) CPU 花费太多的时间来进行数据传送以致不能跟上其工作负荷的其余部分。
- (2) 传送操作所必须达到的数据速率大于 I/O 程序控制所能支持的速率。
- (3) 传送响应时间必须快于程序控制 I/O 能够支持的传送响应时间。

2. DMA 传送的缺点

DMA 控制的数据传送也存在一些缺点, 这些缺点对系统的性能有较大的消极影响。这些缺点如下: 在 DMA 传送进行中 DMA 控制器是系统总线的主控者, 特别是当 DMA 占有总线时, CPU 就不可能占有总线, 这意味着 CPU 不能取指令和执行指令。假若 CPU 是负责控制动态存储器的刷新, 则 DMA 操作将妨碍存储器的刷新操作。此外, 当 DMA 占有总线时, CPU 还不能够检测和响应来自系统中其它设备的中断请求。

DMA 传送有两个重大的开销, 第一是总线访问时间, 这在查询 I/O 中是不存在的, 对于具有多个设备竞争 CPU 服务的中断驱动 I/O 来说, 类似的总线访问时间是 CPU 访问时间, 因为 DMA 必须同 CPU 和可能其它潜在的总线主控者竞争对系统总线的占用。为了解决对总线资源的竞争必须要有一个过程, 这个过程即使是用比较快的硬件来实现也要占用一定时间。第二个开销来源是 DMA 传送的建立时间。为了建立 DMA 传送, 首先要输出几十个字节到 DMA 控制器, 以便对 DMA 控制器进行工作方式的设置, 这要比建立程序控制传送只初始化少量寄存器要花费更多的时间。所以, 假若一个应用只需要传送较短的数据块, 或者需要多次的对 DMA 进行重新编程, 则进行传送的建立时间与传送数据本身所需时间的比值可能变得不利。

总之, 当把 DMA 加入一个系统时必须考虑上述两种开销, 以确定引入 DMA 是否有利。

3. DMA 的应用

DMA 适合如下几种数据传送:

- (1) 硬盘和软盘 I/O: 磁盘控制器能利用 DMA 来进行磁盘与存储器间的数据块传送。
- (2) 通信通道 I/O: 在计算机系统和快速的通信通道, 如像局部总线间的接口, 可以使用 DMA 来提高响应时间, 支持较高的数据速率, 以便腾出 CPU 去完成其它工作。
- (3) 多进程和多任务模块传送: 利用 DMA 对多处理器结构, 数据在专用的和共享的存储器之间传送是方便的。对多任务的应用, 编页和任务交换需要大量的数据块移动, 它适宜于 DMA 的性能优点。
- (4) 扫描操作: 需要经常扫描与某些外设有关的数据块的应用中使用 DMA 比较适合, 这种操作的例子是刷新 CRT 屏幕。面向屏幕和数据块的 CRT I/O。
- (5) 后备存储: 微处理机系统最多的应用是在固定温盘和磁带间的数据传送。
- (6) 数据的捕获: 在大量的、密集的而突发性的数据来到时, DMA 通常是能达到所需响

应时间和传输速率要求的仅有的方法。

以上这些应用仅仅是在微机系统中最常遇到的一些。

4. DMA 的硬件支持

一些半导体生产厂家出售实现 DMA 功能的专用集成电路。因为 DMA 控制器是作为一种专用的专门化器件来设计开发的。它们被专门做来处理各种数据传送功能的。ZILOG 公司为 Z80CPU 和其它 8 位微处理器所设计的 DMA 控制器就是这种电路的一个例子。

Z80-DMA 控制器所支持的数据传送功能可归纳为如下三种类型的操作：

(1) 在一个源（存储器或 I/O 端口）和一个目的（存储器或 I/O 端口）设备之间的数据传送。

(2) 对在存储器中或一个 I/O 端口中的一个特殊 8 位字节的查找检索。

(3) 传送并同时进行搜索的组合。

每个 DMA 产品有与其竞争者不同的特征，而其共同支持的特征是每个集成电路所包含的多 DMA 通道和与 CPU 共享系统总线的各种技术，如像周期宽度可变的定时选择。

第四节 串行 I/O 通信

前面我们讨论了串行数据传送的优点，在许多应用中，它在价值方面的有效性多于由于必须完成由并行变换到串行所带来的复杂性。而并行数据是计算机内部数据所固有的特征。

两个设备要成功的进行串行通信，有两个主要问题必须加以解决。第一个问题是在发送端并行数据的串行化和在接收端又变回为并行数据的机构。第二个问题是相互间的同步问题。发送器和接收器必须很好的调整它们的操作，以便保证发送时所采样的发送位与接收时所读出的接收位相同。

一、并行到串行的转换

在中规模和大规模集成电路（MSI 和 LSI）出现以前，由于有并行到串行转换的需要而使串行 I/O 通道的实现大大的复杂于并行通道的实现。并行到串行转换的功能主要是由一个移位寄存器来完成。对于输入操作，移位寄存器接受由进入线来的一个个位，并将这些位串移到寄存器的相应位中，直到所有的全部位被接收。图 1—4 描绘出这个过程。与此相反，与发送数据相联系的是在串行接口上发送数据由并行到串行的转换功能如图 1—5 中所示。

现在有专门的电路，它不仅加入有移位寄存器，而且还附加有一些有用的特性，如像直接连接到系统总线和可编程的选择速度，奇偶校验和字符格式等。常见的有如下几种用于串行数据通信的通信控制器：

(1) UART：通用异步接收发送器。

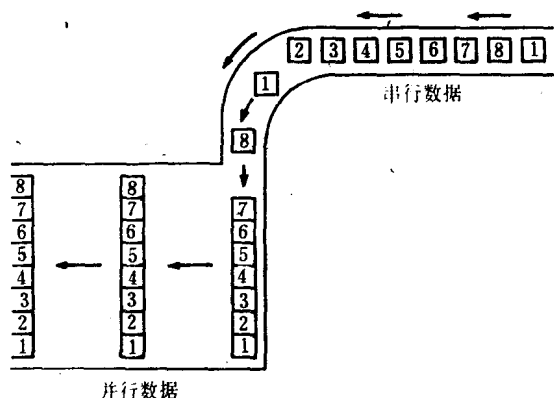


图 1—4 接收器串行到并行的转换

(2)USART:通用同步/异步接收发送器。

(3) SIO: 串行输入/输出电路

所有这些专用部件使用一个再同步检测逻辑(辨认发送的开始、字符或一个数据块的分界)和移位寄存器组合。该移位寄存器或者接受离开数据总线的并行数据,并一位接着一位的将它移到串行通道上,或者移动由串行通道来的位串到一个n位的并行接收寄存器上,这个接收寄存器是连接到数据总线上的。有关这些设备如何编程和其支持的选择项目的细节随

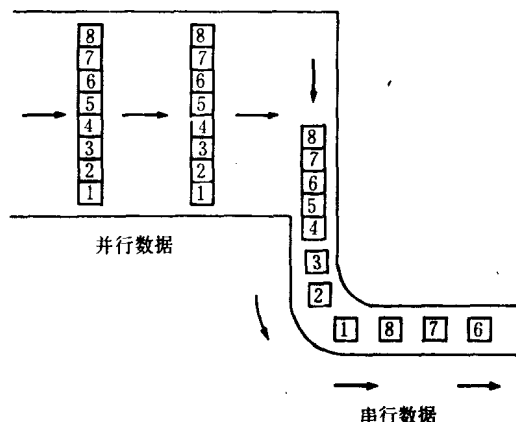


图 1—5 发送器并行到串行的转换

生产这些器件的厂家不同而不同,对一个具体的串行 I/O 电路通常的技术手册和元器件表提供有较具体的功能描述。UART、USART 和 SIO 电路的出现,已太大的缩短了开发时间,因而也就降低了串行 I/O 接口电路的价格。

二、设备的同步

由通信链路相互连接的两个设备仅仅是为了识别线路上的“0”和“1”逻辑电平而安装的。这样,假若设备 A 将逻辑 0 和 1 信号送到线路上(发话)而设备 B 主动的检测线路上的电平变化(听),那么通过线路传送数据是可能的。但是对一个有意义的通信来说,一个重要的先决条件是必须商定一个编码方案使逻辑 0 和 1 能代表有意义的信息。

在数据通信的应用中,这个编码方案通常表示成字符,例如将字母,数字和标点符号等表示为固定长度的位串。对于微机系统,最经常使用的编码方式是 ASCII 标准,现在我们假定源和目的设备已经商妥一种字符编码技术,在能进行成功的通信之前,在通信者之间仍然有几个必须解决的问题可能发生:

(1) 正或负逻辑问题:两种可观察的物理状态的哪一个代表逻辑“0”?哪一个代表逻辑“1”?对于某些通信链路,在线路上的两个电压电平是这两个可观察的物理状态。对其它一些接口,这个物理状态可能是有电流或无电流、或是两个音频频率、或几个其它的状态对。对于 TTL 接口,这个问题可以确定让地电位表示逻辑“0”,让+5V 表示逻辑“1”或者相反。

(2) 位发送顺序问题:一个字符的哪一位先发送?

(3) 定时问题:如何来区别一串相同的位串和一个刚刚空闲的通道?如何知道何时一位结束和另一位开始?如何知道何时一个字符结束和另一个字符开始?

所有这些问题可以通过商定一项协议或规程来解决,在前两个问题方面,商定一项协议来执行是直接了当的。第二个问题是将一个物理信号与一个逻辑值相联系,如前面所述,对于计算机应用来说,这个物理信号可以是一个电流,一个电压,或一个频率。在第二章和第三章中将会涉及到若干映射物理信号到逻辑值的若干公共标准和协议。发送位的顺序问题在广泛使用的串行通信协议中是以最低有效位为第一位。最复杂的问题是定时问题在下一段中将进行讨论。

三、定 时

关于定时问题需要解决的第一个问题是商定一个位发送速率,或者说一个位的持续时间。两个通信的设备可以商定一秒钟为一位时间,那么假若设备 A 维持一个逻辑“1”为 1s、逻辑“0”为 2s、和逻辑“1”为 3s,于是设备 B 将解释它检测到的 6 位位序列为 111001,因为最低有效位先发送。假若有某些误解,如像设备 B 把一位理解为等于 $\frac{1}{2}$ s 时间,那么它将设备 A 的信息读作 12 位序列 111111000011,所以发送者和接收者两者必须商定一个位传送速率。此外两者还必须设有一个时钟使它们能够测量位时间。

有关时钟的一个共同问题是其准确性问题。在设备 A 和 B 之间的数据传送中,假若设备 A 有一个时钟它每隔 1.05s 记录的时间 1s,再假定设备 B 有一个时钟每 0.95s 记录的时间为 1s,由图 1—6 可以看出,时钟的不精确或不一致性可能在发送 8 或 9 位之后将产生传送错误。时钟的一致性可以通过周期性的再同步来补偿。再同步可以通过几种与具体的传送协议有关的技术来实现。显然两时钟不一致性越严重,就越需要进行再同步。因为再同步是利用在信道上发送传送数据外的附加信息来实现的,所以它实际上降低了通道的传送效率,即所传送的位时间被用作内部调整,而代替了有效的数据传送,所以在串行通信中一个重要的折衷就是通道容量与通道对时钟的不一致性的容限间的折衷。

再同步机构除了对时钟的不一致性加入若干容限外,它还解决了上述其它的一些重要问题。具体的说,再同步可以被用来表示通信通道从空闲到使用间的过渡和字符之间的边界,这样一来,不同的再同步或起动机构,就是不同的串行链路级协议的一个主要特征。用在计算机通信系统中的两种主要的协议是异步和同步协议。异步协议是在微机系统中用得最多的协议。同步协议在计算机间的通信网络系统中得到极为广泛的应用。下面我们分别讨论这两种协议。

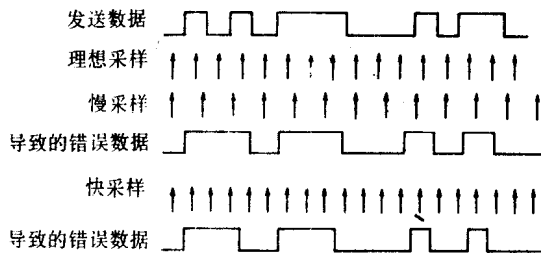


图 1—6 由于时钟不精确而引起的传输错误

在异步串行传送中,再同步发生在字符与字符之间,它是利用起始位和停止位来调整再同步的。起始位和停止位总称为帧位。起始位表示从源地送到目的地的一个信号,它的意义是表明跟在它后面的是一个数据字节,在同步传送中与数据相联系的是一个分离的时钟信号。对于本地的传送,时钟信号可以由与数据相分离的物理线路来传送,而对于长距离的通信,时钟信号与数据信号在传送源地被编码到一起,在目的地又被从数据信号中分离出来,被用来提供源地和目的地间完成数据传送所需要的同步调整。

同步协议除了提供一个与数据相分离的时钟信号外,它还提供数据块与数据块之间的再同步标志。一个数据块可以是很多数据字节或数据字符。实际上,同步协议并不非要面向字符不可,也就是说在这层协议对数据的管理可以是面向字符的,也可以是面向位的。面向位的协议把发送的数据看作一串位流,在这一级数据传送管理中,没有字符管理加在位流上。假若需对位流加以解释的话,那是高级协议处理的事。而面向字符的同步协议则承认在这级