

第一章 绪 论

一台完整的计算机系统由计算机主机硬件（裸机）、软件（包括系统软件、应用软件等）以及外部设备及其接口构成。只有由外部设备通过总线接口连接主机才能构成一个实际的、有特点的计算机系统。外部设备及接口是整个电子计算机系统的重要组成部分。

由于大规模和超大规模集成电路技术的迅速发展，计算机系统的主机体积缩小，重量减轻，价格不断下降。而外部设备及其接口则由于系统功能的增强和用户的需要，所配置的品种和数量却在不断增加。据概率估计，外部设备已占整个计算机系统所需成本的75%以上。如果系统超大，其百分比还要上升，可见外部设备及接口在整个系统中所占比重之大。而且，计算机外部设备是每位使用、维护和开发计算机系统的人员首先必须接触和了解的对象。况且外部设备及接口的种类繁多，发展又快，这就更加要求使用与开发计算机系统的计算机专业或非计算机专业的科研、技术以及管理人员应具备外部设备与接口技术的知识。从维护的角度来说，外部设备及其接口的可靠性比主机差，大量硬件维护工作集中在外部设备和接口。因此掌握有关外部设备、接口原理及其维修技术的知识就显得更为必要，特别是微机达到高度普及的现在更是如此。

§ 1-1 计算机外部设备与接口资源开发

本书介绍的内容以第三代即近代发展的智能化外部设备为主；也涉及很少部分目前尚在使用的第二代外部设备。同时，也介绍外部设备与主机进行信息交换的通道即输入/输出总线接口。通过对它们的了解，可以设计和开发有特点的、功能很强的计算机系统，尤其是微机系统。

一、外部设备分类

计算机外部设备的种类繁多，数量极大，而且涉及的学科与技术十分广泛。如果就其功能和用途，可将外部设备分为四大类。

1. 输入输出设备 (I/O Device)

输入设备是指那些将数据信息或程序输入计算机的专用设备，如纸带或卡片读入机、键盘/磁盘输入机、图形/声响或文字识别输入装置，以及光符阅读机、光标阅读机等。输出设备则是将计算机处理的结果以人们可以识别的形式记录下来的各种设备，诸如输出穿孔机（纸卡、磁卡穿孔）、彩色/图形显示器、行式/点阵式打印机、激光打印机、函数记录仪、绘图输出机及缩微胶卷输出机等。还有具有输入/输出功能的I/O设备，如键盘/显示器、计算机系统中配置的中心控制台。它包括键盘、显示器、磁盘、光笔和打印机等多功能组合设备。

2. 外部存储器 (External Storage)

外部存储器简称外存。它是除内存（Memory）以外的、能将所有计算机程序和数据进行存储的设备，诸如磁带机、磁鼓、磁盘机、光盘存储器以及现代开发的磁泡、电荷耦合器件、磁全息照相、磁光存储器件等等。

3. 模/数、数/模转换设备 (A/D、D/A Converter)

A/D、D/A 转换设备是过程控制系统以及现代计算机控制系统的专用器件,例如具有采样/保持功能的光电转换器、各种数字传感器、数字仪表检测器以及多路传输转换输入/输出系统等等。近代几乎所有计算机控制系统都通过 A/D、D/A 转换设备实现对过程的实时控制和超前检测。

4. 数据通信和数据终端设备 (Data Communication/Data Terminal)

数据通信和数据终端设备是指计算机网络或远程分时系统中数据传输、数据交换的各种设备以及通信控制与连在远程通信线路上的种种终端设备,如远程通信用的调制解调器(MODEM)、重发器(Repeater)、会话终端、远程批处理终端以及智能终端等。

二、外围接口

输入/输出接口是 CPU 与外部设备进行信息交换的通道。在系统环境的意义上来说,接口又是实现人一机通信的界面。由于数字集成电路技术的发展,各种功能的接口电路都分别集成在各种单一芯片之中,昔日绝大多数数字电路和用于支持 CPU 的随机逻辑已为中规模或大规模、超大规模集成电路芯片所取代,不仅体积大为减小,应用灵活可靠,而且功能增强。根据其用途和功能,外围接口可分为三大类。

1. 专用外围控制功能接口

它是具有特定功能的一类接口,专用于对某种外部设备实现控制的接口控制器和接口适配器。我们将在以后的章节中介绍各种外部设备时,对其接口的功能、原理和应用一一进行说明和介绍。

2. 通用外围接口

它可以用于多种场合。这类接口又分为由中规模集成电路并以总线形式的硬线连接而构成的接口电路,和可编程的接口电路两种。近来,随着集成电路技术的迅速发展,出现了可编程阵列逻辑(PAL)和通用可编程阵列逻辑(GAL),在设计上的灵活性上它介于门阵列与定做单元之间,是一种非常适合于现场设计的可编程逻辑器件(PLD)。

3. 与主机系统配套功能接口

它用于系统的从逻辑地址到物理地址映像的存储器管理部件 MMU、高速数字运算的数字处理机以及多处理机对总线“争执”的总线裁决部件等等。

现代外部设备及其接口技术的发展方向是趋于设备与接口智能化。外部设备有自己的处理器作 I/O 处理和操作控制。对于大多数系统设计者来说,不再过多地集中在中央处理机上作文章,他们往往只在几种流行的主处理机中选用一个或几个而已。不同系统的特点则主要体现在外部设备及其外围接口与它们的开发方面。设计者的注意力转向于如何扩展接口功能,配置现代外部设备,结合当前集成电路的技术水平,设计出合理的、较高的性能/价格比的计算机系统,特别是微型机系统。系统设计者将会比较多地根据不同应用领域的需要,设计各种不同的接口电路,并开发相应的外部设备资源,以完成有特点的系统设计。

§ 1-2 计算机外部设备与接口实用维修技术

计算机,特别是投入应用领域运转的计算机,实际上是一个应用系统。使用的计算机即是运行的计算机应用系统。而运行系统或开发系统都必须经过系统分析、系统设计、系统实施与系统维修、投入正常运行等几个重要阶段。所以计算机系统的维护工作是计算机系统实

际运行的重要组成部分。而且，计算机系统进入正常工作以后，还要进行维护与检修，以保证系统的运行和程序的正确执行，不然，就失去了计算机的实际应用价值。

电子计算机的维护与检修是一门很重要的维修技术，也是一项十分复杂而专业性、实用性很强的技术。这项技术（不包括软件维修）从过去的简单电子器件的检修到现在已经历了人工检查、仪器检测与原理分析、现代的程序自动诊断等几个发展过程。本书将以原理分析检测与程序自动诊断为基础，结合 IBM 微机故障维修的实例，讲述计算机系统的故障诊断方法和系统配置的硬件维修知识。

一、计算机外部设备及接口的故障诊断

计算机的重要特点是程序存储式，就是说计算机系统的所有资源，包括硬件资源和软件资源都由程序来管理。系统配置的所有设备及接口和应用软件只有通过系统软件即操作系统的指挥与调度才能正常工作和运行。这里，所编制的对外部设备及接口的各种诊断测试程序也是建立在操作系统的设备输入输出（I/O）管理模块之上的。因此只要了解系统的外部设备及接口的工作原理，借助诊断程序，可以方便地分析故障原因。而且，排除接口电路逻辑故障，特别是智能化可编程接口的故障，还必须熟悉操作系统及其它的设备 I/O 管理模块。例如 IBM PC/XT 与 AT286 型计算机设备接口适配器的检修就要掌握并使用它的操作系统 PC-DOS 及其基本设备 I/O 管理模块——ROM·BIOS。

与所有操作系统的设备 I/O 管理模块一样，ROM·BIOS 提供了各种 I/O 驱动程序。此驱动程序直接管理和驱动硬件设备，以软中断的方法供系统和用户调用。同样它也可以用来检查相应的 I/O 接口适配器及其设备管理功能的正确性与完整性。所以了解并很好地使用这些 I/O 驱动程序，对机器故障的诊断是十分有利的。

在常驻于机器的程序自诊断测试中，每个被测部件均有相应的测试码来表示。对 PC/XT 与 AT286 机来说，如果所显示编码的最后两位不是零，则指出当前被测的部件有问题，存在故障源；如果编码的最后两位数字为零，即表示被测部件没问题，是一个完好的部件。

PC/XT 与 AT286 为用户全面诊断该微机系统的所有配置可能出现的故障，各提供了一张高级诊断程序的盘片。高级诊断程序的各种功能以菜单方式显示在控制台显示屏上。这些菜单又可提供多种测试部件项目的选择，帮助用户对某个或更多的部件作单次或循环测试，找出系统存在故障的部位。在高级诊断中，若发现机器有问题，程序将通过屏幕自动显示出错码，由这些编码指出故障的部位及可能产生异常现象的原因，使问题明朗化，以便于迅速修复，使机器马上投入正常运行，从而在很大程度上提高了维修工作的效率。

二、计算机外部设备及接口的维护与检修

计算机外部设备包括它本身的接口，主要由电气与机械两大部分组成。当计算机系统的运行出现故障时，设备机械部分的故障诊断比较直观，而电气电路部分的故障则较为隐蔽。这儿对系统故障的程序自动诊断，恐怕多是侧重于设备电子电路部分的故障检测。但是，计算机系统配置的外部设备及接口是一个整体系统，因此对这些设备的检修就是整体的维修。当分析故障原因的时候，既要有侧重点，又要作全面整体的考虑。

计算机系统是一个较为复杂的、动态的运行系统，特别是计算机应用系统更是如此。所以对计算机系统的检修和故障排除就是对一个复杂系统进行维护的过程。当然要求每一位计算机高级维护人员不但具有丰富的电路知识，而且熟练“场一路”结合的电气知识，诸如系统连接、信号传输与传输线技术、系统可靠性与抗干扰、供电电源、光学，以及磁学与磁记录原理等等。这些本书也将会一一说明和介绍。而且，外部设备已经进入微处理机与机电相

结合的智能机器发展阶段。它要求维护人员不仅具有设备的机械部分与电气部分的知识，还要求他们掌握智能机器的特点，对微处理机的应用十分熟习，并对现代电子机械的工作原理与基本结构十分了解。一位好的计算机维护人员一定是知识面广，又有深度，而且能不断更新知识，有实际能力的专家。他在多年的工程实践中善于总结经验，并成为理论与实际结合，能解决实际问题的天才。

总而言之，本书在内容方面着眼于计算机外部设备和接口原理、及其维修技术的介绍，在此基础上，将以 IBM PC/XT、AT286 机型为主要实例说明它们的功能原理、开发、维修与实际应用。一方面能使读者在了解有关计算机基本知识的同时用好计算机，发挥计算机系统的高效率，并维护好系统，保证计算机系统的正常运行。另一方面，外部设备、接口原理及维修技术是一门实践性很强的课程，新技术、新产品的发展快，今天学到的东西过几年可能由于落后而被更新换代。因此读者学习本书的内容不仅仅是知识和资料的积累，还应该借助于它提高自己分析问题、解决实际问题的能力。

第二章 计算机与外部设备的连接技术

世界上第一台电子计算机的设计成功是1946年在美国实现的。它的设计思想和数学模型由美籍匈牙利数学家冯·诺依曼(V. Neumann)提出,故称为诺依曼型计算机。从第一台电子计算机的问世到现在,所有投入使用的电子计算机都是遵循冯·诺依曼模型设计制造出来的。这种计算机模型之所以至今久而不衰,而且越来越发展,是由于诺依曼的思想核心——程序存储,具有强有力的生命力和不断发挥的扩展性。冯·诺依曼系统模型要求整个计算机系统及其硬件资源都必须由所存储的程序来控制和管理。存储的程序是可以存取的,因而又是可以开发和扩展的。

主机与外部信息实现交换是通过总线型集中处理器通道进行的。这些总线集中处理器与公共通道是数据信息在起源地与目的地之间进行传送的连接线的集合。它即是CPU与内存以及外部设备通过接口进行信息交换的通道。总线BUS通常由数据总线DATA BUS、地址总线ADDRESS BUS和控制总线CONTROL BUS组成。它有内部总线与外部总线之分。

从结构上来说,集中处理器通道是由内部I/O公共通道(或称内部总线)参与到集中处理器(包括CPU与内存)作为主机的一部分,而使主机系统构成一个整体。它通过接口单元缓冲器、外部总线连接外部设备,来实现计算机与外部世界之间的信息交换,如图2-1所示。

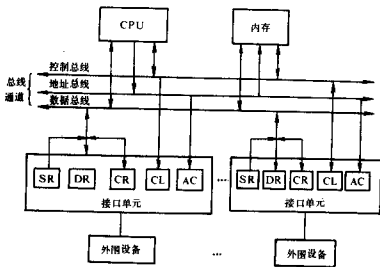


图2-1 外设接口单元到计算机总线通道连接
SR: 状态寄存器 DR: 数据寄存器 CR: 控制寄存器
CL: 控制逻辑 AC: 地址比较器

图中,外部设备通过接口单元连接到主机总线型公共通道上,公共通道是双向工作的。外部设备与主机CPU之间的信息交换均采用寻址方式来进行。具体说,它们通过地址线、数据

线从主存取出指令和数据,而由数据线、控制线传送执行的指令和控制信号。CPU 执行指令,按照时序,根据程序的规定,完成某项操作任务。这里,外部设备通过接口单元到公共通道与主机 CPU 和内存进行信息交换,而 CPU 与内存之间的寻址和存取指令也通过公共通道按序取指令、执行程序、指令执行完后又由公共通道送回内存单元保存。

总线型集中处理器通道是近代计算机与外部设备实现连接的重要方法之一。它的应用十分普遍。现代的高档微机系统就采用它。

目前计算机体系结构发展趋势是,主机 CPU 由控制与运算为中心发展为以主存储器为中心。我们认为,这是冯·诺依曼程序存储式计算机系统模型设计思想的进一步发展。这种设计思想所设计的计算机系统的先进性,体现在计算机的输入输出操作上是既具有并行性,又具有独立性。十分清楚,早期计算机系统的输入输出不具有并行性,而且独立处理的功能也不强。近代计算机采用通用性很强的总线结构,外部设备通过模块结构的接口挂上总线,实现主机与外部设备之间的通信。这种集中处理器通道控制的输入/输出的典型计算机系统是著名的 IBM 370 机。当前开发的外围处理机控制输入输出的计算机系统,使输入/输出操作的计算机系统与输入/输出操作的并行性、独立性大为提高。例如 HP-3000 型计算机系统,它的特点即是主机 CPU 以主存储器为中心,采用外围处理机控制输入输出操作。

§ 2-1 输入/输出操作方式

计算机与外部设备之间进行信息交换,从硬件结构上来看是通过接口单元缓冲器及其总线通道实现输入/输出的。但由于外部世界信息的多样性、复杂性和随机性,使得计算机系统完成输入/输出(I/O)操作也是多种多样的。这里主要有程序查询、中断、数据块传送和直接存储器存取(I/O)操作方式。

一、接口单元方法

电子计算机与外部设备连接的接口是计算机 I/O 系统的一个重要结构。从硬件的角度来说,接口单元具有两个重要功能:第一,接口单元是计算机与外部设备之间传递数据信息的缓冲器与中途站;第二,它提供了计算机与外部设备之间传递数据信息的控制逻辑和控制信号,以保证外部信息与计算机内部数据信息流的匹配,有效地实现信息交换。

输入和输出接口与存储器接口一样,它能实现主机与存储器、以及主机与外部设备(包括内存与外部存储器)之间的通信和数据交换。同时设置接口单元应该保证计算机通过内部通道与外部设备连接的兼容性。接口单元的硬件电路不仅与多种类型的机器兼容,而且具有相同 I/O 总线的特点。

由于大规模和超大规模集成电路技术的发展,接口单元电路已实现集成化,被做成各种接口的集成电路芯片。为了能实现接口单元上述几个重要功能,几乎各种接口芯片结构都包括以下几个部分的寄存器或缓冲器。

(1)发送/接收数据寄存器 它有数据缓冲器的作用,是一种能锁存或存储数据位的电路,故用来保持或通过从外部设备来的和从主机到外部设备去的数据。如果是双向的,则可由控制寄存器决定传送方向。

(2)控制寄存器 它根据 CPU 规定的控制条件以寄存器中各位设立的相应的控制标志或控制字,指明控制条件建立与否。通常控制条件与对外部设备的 I/O 操作和控制有关,例如,用于启动或停止外部设备操作的“启/停”标志、设定双向数据寄存器缓冲器是“读数

据”还是“写数据”的数据传送方向或操作模式等等。

(3) 状态寄存器 它设立主机 CPU 所能识别的状态标志。它用寄存器的各位来表示各种状态建立与否,如打印机与计算机连接时的准备好接收数据的“准备好”状态,或输出数据,进行打印的“工作忙”状态等等,以决定是否进行输入/输出或其他操作。

(4) 地址比较器 通过它 CPU 可以对接口单元的各个寄存器有目标地进行访问和选取信息。地址比较器根据鉴别地址码选址或进行地址译码,由它指定的寄存器缓冲器与数据总线接通,在数据总线上进行数据信息的存取操作。

(5) 内部逻辑门或门阵列控制逻辑 它以控制标志作条件,监控上述寄存器和比较器的操作,如监控某寄存器出现“出错标志”而作出相应的出错处理。

上述寄存器和控制逻辑是构成接口电路的基本结构,用这种结构组成的接口能够方便地实现接口单元的各种功能。例如接口电路中的数据寄存器可以作为数据缓冲器、锁存器,完成数据信息传递的缓冲与中途站的功能。控制寄存器和控制逻辑则为主机与外设之间传送数据提供了控制信号和控制逻辑。而由于有了地址比较器(或者相应的地址译码电路),使接口单元可以作为存储器的存储单元一样来处理。主机可通过接口读取设备状态,以决定操作进程,对接口单元的缓冲器与寄存器等就象对存储单元那样能方便地进行存取方向。

最典型的实现对外部设备管理的 I/O 方式是存储器映像 I/O 方式。这种方法即是从整个内存地址空间中分出一部分内存地址码,用它为 I/O 设备的寄存器编址,使部分存储空间与 I/O 端口之间地址映像。主机 CPU 可以象对待内存单元的内容一样,使这些设备寄存器的内容参与相应的运算和控制,从而实现存储器映像 I/O 操作。

存储器映像 I/O 的各种 I/O 设备都可以接到总线 BUS 上。相应的设备由地址比较器通过地址译码鉴别出来,将指令操作的对象引向相应的设备寄存器。例如,将某一地址码映射为设备的数据寄存器缓冲器,以进行数据的输入/输出。这样,可以象对待内存单元一样,使这些设备寄存器内容参与各种运算和控制指令的操作。接口单元可以像访问内存单元那样被存取访问,同时系统所具有的 I/O 指令,对于存储器映像输入输出来说完全能满足操作要求,而且使指令系统的指令功能加强,使用更为灵活。当然,从存储空间的利用来看,这种存储器映像 I/O 方式要为主存空间的缩小而付出代价。

如前所述,接口单元的另一功能是它为外部设备与主机 CPU 进行信息交换时提供了控制信号。使接口单元接受主机 CPU 管理时,机器具有“地址切换”功能,以实现主机与外设之间的输入/输出操作。

所谓地址切换输入/输出方式是通过控制总线(Control Bus)及主机 CPU 设定的 I/O 控制信号,当内存区域的存储单元和 I/O 接口的接口单元分配同一地址时,由相应的控制信号进行地址切换,引向设备(中断)矢量或设备管理程序功能块的入口,从而转向对该设备的输入输出服务。地址切换方式的输入/输出较为典型的是中断请求方式 I/O。外部设备通过其接口由 CPU 所能识别的中断请求线 IRQ 提出申请,当主机 CPU 由 IACK 控制线响应中断请求后,保护现场并屏蔽其他外设请求,通过中断矢量进入中断服务,使外部设备接受中断服务程序的管理和控制,完成 I/O 操作。

二、操作系统管理设备 I/O

操作系统是外部世界与计算机的界面,是人—机联络的友好界面。实际上它是计算机系统资源中重要的系统软件。

通常在计算机的操作系统中,都有输入输出管理程序模块及其相应的设备控制管理表。I/

O 管理程序模块包括系统对所有物理设备实现控制的程序块。它根据 I/O 字节的内容在系统调用逻辑设备时,立即转移到相应物理设备的管理程序块中,控制和管理该物理设备。

例如,最简单而典型的模块层次结构的操作系统包括:BIOS——基本 I/O 系统、BDOS——磁盘操作系统、CCP——命令处理器程序块,TPA——过渡程序区等四大功能程序模块。如果该模型机采用 64K 内存空间,操作系统由存储器映象将磁盘上操作系统内容取到内存 64K RAM,按当前 RAM 的容量重新定位地址空间,它重新定位后操作系统在内存分区如图 2-2 所示。这是一个微型计算机的典型系统软件。

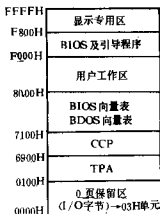


图 2-2 操作系统内存分区图

其中 BIOS 基本输入输出系统的程序块是操作系统对外部设备实现基本管理的功能程序模块。对它的分析可以使我们大致了解系统软件对外部设备进行输入输出操作的处理,以及对设备的管理与驱动方式。在以后章节中,当谈到某种设备时,还要逐一介绍该设备的驱动方式和控制程序。

内存空间的最低层零页保留区存放 I/O 字内容。它定义输入输出的物理设备与系统逻辑设备的对应关系。如模型机由 0003H 地址单元写入 I/O 字节的内容。该系统定义的逻辑设备有 CONSOLE、READER、PUNCH、LIST 等四种。I/O 字节中每两位定义一种外部设备。系统物理设备与逻辑设备之间的对应关系如表 2-1 所示。

例如, I/O 字节的内容为 C1H=11000001B, 则系统的基本配置如下:

CONSOLE	CRT 显示器
READER	键盘
PUNCH	TTY 电传打字机
LIST	并行打印机

系统的程序模块中零页保留区 (00FFH~0000H 地址单元) 的地址分配为:

- 0000H~0002H 单元, 存放热启动向量;
- 0003H 单元, I/O 字节定义物理设备/逻辑设备名;
- 0004H 单元, 定义当前使用磁盘的盘号;
- 0005~0007H 单元, 存放 BDOS 入口向量;
- 0008~003FH 单元, 存放中断矢量;
- 0040~004FH 单元, 是 BIOS 的参数区;
- 005C~007CH 单元, 存放文件控制块;
- 0080~00FFH 单元, 磁盘读/写及控制台命令输入缓冲区。

由于用系统软件——操作系统实现对系统配置的外部设备的管理,当系统需要使用设备时可以方便地以适当的方式向 I/O 控制管理模块输送下列基本控制参数及调用相应驱动程序:

- ①设备类型或类型地址, 如设备的逻辑设备号、物理设备号和它们的对应关系等;
- ②被交换的数据在数据媒体上的位置, 如文件号、记录号、标志等;

表 2-1 I/O 字节位中逻辑设备与物理设备

I/O 字节位	逻辑设备	二位取值	物理设备
bits bit ₁	CONSOLE	b ₁ b ₀	
		0 0	TTY 输出, 键盘输入
		0 1	CRT 显示
		1 0	列表设备或 CRT
bit ₂ bit ₃	READER	1 1	未用
		b ₃ b ₂	
		0 0	键盘输入
		0 1	均未用
bit ₁ bit ₄	PUNCH	1 0	
		1 1	
		b ₃ b ₄	
		0 0	TTY
bit ₅ bit ₇	LIST	0 1	均未用
		1 0	
		1 1	
		b ₇ b ₆	
bit ₅ bit ₇	LIST	0 0	TTY
		0 1	CRT
		1 0	未用
		1 1	并行打印机

③操作性质, 如指令操作是控制码还是逻辑运算码;

④被交换的数据在内存空间的存储地址即数据地址;

⑤被交换数据的长度, 如计数值, 首地址与尾地址等;

⑥其他控制特性, 诸如说明控制的特征位, 及其他控制所对应设备的某种操作含义等等。设备管理程序功能模块根据上述参数, 组织安排对系统所配置的设备进行输入输出操作的控制和管理。

更改物理设备, 扩展系统配置, 必须修改 BIOS 模块并在内存重新定位系统软件。修改 BIOS 的步骤如下:

①调出 BIOS 源程序及 BIOS 入口向量表。这时可用测试程序 (DDT) 将操作系统的所有文件从盘上装入内存 TPA 区, 然后用显示内存内容和反汇编 (若操作系统由汇编语言写成) 两种命令查看 BIOS 及其入口向量。

②编写新的 BIOS, 装入内存进行调试。

③调用测试程序 (DDT) 修改 BIOS 入口向量, 然后退出 DDT。

④调用系统生成程序包 (SYSGEN), 将内存中已更改的操作系统 (包括新 BIOS 及引导程序等等所有文件) 存盘。

⑤调试更改的物理设备, 包括所有系统配置, 同时进一步修改 BIOS, 直到系统工作完全正常。

三、程序查询与中断方式 I/O

在外部世界的各种设备与主机通信时，由于传送数据信息的速率大不相同，获取数据信息的方式也各有差异，因此计算机主机本身不能直接地与外部设备进行输入输出操作。但是，各种外部设备的速率虽然不同，可以采取各种相应的 I/O 接口缓冲器来实现外部设备与主机 CPU 同步匹配，进行有效的通信。而对不同的外部设备，CPU 获取信息也采取不同的方式，即计算机根据需要采取多种 I/O 方式进行有效的输入输出操作。所以，具有多种多样的 I/O 接口及丰富的输入/输出方式，是衡量计算机系统功能齐全的重要标志之一。

1. 程序查询方式

对于程序查询输入/输出方式，所有数据信息在 CPU 与外部设备之间的传送均在程序控制下进行。这时 CPU 的指令系统包含四种类型的 I/O 指令：①从外部设备输入数据到 CPU 的指令；②从 CPU 输出数据到外部设备；③在 I/O 接口单元设置控制标志；④在 I/O 接口单元测试所设立的各种标志的指令等。

输出一个数据字到某个指定的外部设备是直接进行的。CPU 访问接口单元，并测试接口单元的状态寄存器。如果状态寄存器有关标志位表示该设备“准备就绪”（或者忙于处理原先留下的部分数据则表示没有准备好），接着 CPU 通过数据总线把数据输出到接口单元的发送数据寄存器，同时引起一个控制标志的设立，向外部设备表示接口单元的数据寄存器有了新的数据，可以输出该数据到外部设备。

另一方面，输入数据到 CPU 则要稍微复杂一些。这时外部设备将所接收的数据放在数据寄存器里并建立“准备好”状态标志；CPU 则通过输入设备地址周期性地依次检测每个设备“准备好”标志，以查到“准备好”的外部设备地址。这就是所谓 CPU 对设备的“软件查询”。CPU 可以利用该地址和 I/O 指令从接口单元把数据传送到 CPU。我们称能完成这种功能的程序为设备管理程序（Device handlers）或服务程序（Service routine）。这里，查询外部设备的顺序是按其优先等级进行的。如果给某个设备连接到接口单元有较高的优先级别，则在对外部设备的访问列中具有访问较早的地址。另一种精心安排的方法是使用所谓内存的软件查询表。它包含了以某种方式指出外部设备次序的接口单元的地址表。为了查询外部设备则顺序地选取这个表的内容。而且它可以使设备的优先等级在软件控制下容易作出与优先级相应的改变。

软件查询存在的缺点是当被查询的设备较多时，用于查询而花去了大量时间。而这段时间如果利用下来，CPU 可以做其他的许多工作。

2. 中断方式 I/O

中断处理是一种对程序控制 I/O 进行了改进的 I/O 方式。这里准备好数据进行传送的外部设备地址可以很快地接到主机 CPU，而无需程序查询。

当外部设备要传送当前数据信息时，接口单元便设立一个标志。在程序查询方式下要暂停该设备，看它是否已经“准备好”，而在中断方式下 CPU 则将设立标志看作有某个设备申请中断请求（IRQ）服务。这时，如外部设备“未准备好”，中断方式下 CPU 可以做其他更重要的操作任务；而准备就绪时，CPU 响应中断请求（IACK）。与此同时，CPU 工作寄存器的内容和执行程序的当前地址被保持，这里常在内存空间开辟一个先进后出（或后进先出）的寄存器堆栈进行现场保持。接口单元则通过接受中断响应的逻辑门，在数据总线上建立中断请求设备的地址，并通过它将地址码复制到主机 CPU 和内存，然后使用适当的软件服务程序对内存进行存取操作，驱动设备输入数据。此后，服务程序调整接口单元控制寄存器，并从堆栈中取回原工作寄存器的内容，以便从中断点（地址）起继续执行原来的主程序。而且，当

设备的接口单元收到 IACK 响应时,以接口单元返回中断服务子程序的起始地址,取代它自己的地址,以作进一步的保护,为再次进入服务程序提供入口条件。这种以响应中断请求来程序控制数据完成自动的传送称之为“矢量地址中断”(Vectored Interrupt)。

中断处理也用于数据输出,特别是当外围设备以比较慢的速率采集数据信息时常常使用中断方式。在此情况下,CPU 装入数据字到接口单元,然后释放,CPU 则可去做其他的作业。在这个期间数据传送到外部设备,而在该操作完成的同时,CPU 设立 IRQ 信号标志。于是 CPU 又装入另一个数据字,如此这般继续进行数据输出。

对于只具有少量外部设备的计算机系统来说,采用程序查询 I/O 方式是完全适用的。然而数量较多的外部设备系统,如多路多用户计算机系统,采用中断方式进行 I/O 处理则是较为常用的方法。中断方式的 I/O 处理程序称之为中断驱动程序。

3. 关于中断优先权处理

中断方式 I/O 中需要优先权处理有两个重要原因。第一,在上述简单的中断处理中,如果有多个外部设备同时请求中断服务,这时必须做到停止从某些单元来的请求响应 IACK,而致力于设置它们的地址到 CPU 的某个寄存器或内存映象的某个存储单元中去。第二,在某个中断服务程序对某设备进行服务期间有一个更加重要的外部设备请求服务。这时立即响应中断请求是十分必要的,不然有丢失重要数据的危险。于是要求有中断优先权处理。外部优先权硬件逻辑电路原理如图 2-3 所示。在开始说明电路功能时,我们暂时忽略图中的屏蔽寄存器的作用。这样,同时发生的中断请求可以被指定为从计算机内部来的内部中断请求 (IREQ) 以及

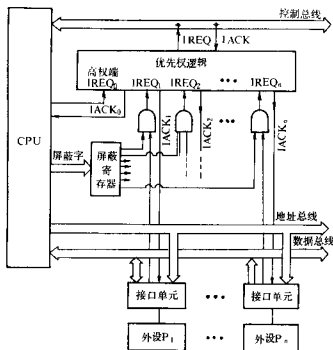


图 2-3 中断优先权电路原理图。

从任何其他外部设备发来的中断请求 ($IREQ_0 \sim IREQ_n$)。因为内部中断具有最高中断优先权, 所以常被用作对突然掉电、内存出错、实时时钟等情况的立即响应的中断处理。图中, 发生同时请求中断时, 由优先权逻辑选择具有最高优先权的中断请求。这就是说, 在外部设备系统 $IREQ$ 编号为 $0 \sim n$ 系列中看哪一个外部设备发出 $IREQ$ 信号到 CPU 的 $IREQ$ 的编号最小, 则它具有最高的中断优先权。

另一方面, 当准备好接受中断请求时, CPU 以 $IACK$ 响应它的请求。这时中断优先权逻辑清除其 $IREQ$ 信号 (该信号的清除使得得到 CPU 的请求序列为较高的优先权提供可能, 或者是表明已经完成了当前的中断服务程序), 并对请求中断处理的外部设备接口单元传送相应的中断响应 ($IACK_0 \sim IACK_n$)。接着该接口单元建立它自己的地址, 或者将服务程序的矢量地址放置在数据总线上, 然后马上转去执行对外部设备的服务程序。而且中断处理时, 每接受一次中断, 都把 CPU 工作寄存器的内容保持在堆栈中。这样使得许多中断级别的嵌套成为可能。典型中断程序序列的图解说明如图 2-4。图中假设 A 的中断优先权高于 B。

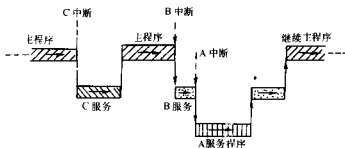


图 2-4 程序中断嵌套

也可以外部设备连接到接口单元的位置次序来决定设备的优先等级。而某些程序控制的优先等级采取对屏蔽寄存器赋值来实现。CPU 可设置任何希望的 0 或 1 的位模式字装入屏蔽寄存器。如果用每个锁入到“与门”的零禁止中断, 这样便屏蔽了要进入优先权的逻辑门, 并屏蔽与该寄存器某位有关的中断请求。这种方式中, 若需要还可以悬置某些特定设备来的中断。设这种屏蔽寄存器的字长与 CPU (16 位) 的字长一样, 则可以在一个小型机中处理十六个优先等级的中断。

更大数量的外部设备的中断优先权等级可以由具有两层等级体系的优先权逻辑获得。这里, 一对 $IREQ$ 与 $IACK$ 信号不直接连到图 2-3 所示的某个接口单元, 而与另一个十六逻辑门的优先权逻辑单元的顶部相连。即是说外部设备的信息直接锁入到优先权逻辑中去。这样中断线上所能做到的中断处理可以达到 256 (即 16^2) 个等级。它符合小型计算机系统的需要。

另一种以一对 $IREQ/IACK$ 信号来联系外部设备的可供选择的方法如图 2-5 所示, 即硬件“菊花链”连接方式。所有在这个硬件菊花链上的中断请求都是并行平等的, 并能将连接的中断请求发送到 CPU。于是, 若接受了中断请求, 则以 $IACK$ 信号响应并返回到第一个链上的外部设备 A。与此同时, 每个接口单元中的外部逻辑电路检测它自己的 $IREQ$ 标志。如果没设标志, 则将收到的通知送到链上的下一个外部设备, 如此这样通知 (及响应), 在菊花链上一个接一个地通过, 直到被某个有中断请求的外部设备接口单元抓住为止, 然后启动中断服务程序, 进入中断服务。这时接口单元要发一个地址到 CPU, 以作为服务程序的入口。

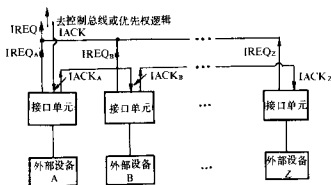


图 2-5 中断菊花链电路原理图

菊花链硬件中断响应速度很快,但缺点是处于链尾端的设备可能难以得到中断请求的响应而出现恐慌。

PC/XT 与 AT286 机的设备驱动几乎都以中断方式实现。

四、数据块传送与 DMA

对一台小型微型计算机来说,在内存存储器与外部设备之间传送一个数据字,大约需要十条机器指令,或者花 $20\mu\text{s}$ 的时间。数据的传送速率为 50000 数据字/s,这可能是一个较般的极限。但是,在许多情况下,不论从内存中取出顺序的连续地址单元的内容,还是向内存地址单元输入连续数据序列而进行所谓数据块的传送,它要求有更高的数据传送速率。为了完成高速的数据块传送,例如从磁盘上取出文件送到内存中去等,可以采取种种方式进行数据块的传送。不过,每种方式均要求具有如下几个条件:①外部设备地址;②指定内存中某数据块的起始地址;③块中数据字的个数(即数据块长度);④传送的方向(传送数据从内存到外部设备还是相反)。

1. CPU 控制成块数据传送

在这里, 提供给 CPU 的指令系统中包括有进行数据块传送的指令。使用这些指令减少一个传送数据字所需的平均时间。它能够以一种所谓“块数据中断 I/O (Data Break)”的特定方式对逐字进行数据传送的方式作出改进。启动数据块传送, 不会使 CPU 工作寄存器受到影响, 因为这种成块数据的中断服务如同标准中断方式一样。它使用一次 CPU 工作寄存器的内容进堆栈保持, 而不是每传送一个数据字保持一次。这样减少了整个数据传送所需的时间, 所以成块地提高了数据传送的速率。

它的一个不足之处在于整个传送过程中, CPU 没有被释放去执行其他的作业。这种块传送的方式也不像我们将要讨论的 DMA 方式那样直接快速地存取数据信息。

2. 直接存储器存取 (DMA)

一般我们宁愿采取 DMA 方式进行数据块传送,而不采用上述 CPU 控制成块数据传送。在直接存储器存取方式中要求有一个 DMA 控制器硬件。这个控制器可以认为是一种具有工作寄存器、锁存器和逻辑门电路的接口单元或处理器。为了响应 CPU 的某个指令或来自外部的中断请求, DMA 控制器首先被装入上述传送条件①~④,以及所需要的参数与数据信息。接着, DMA 取回命令,并且每当 DMA 与 CPU 两者竞争总线时使 CPU 控制总线失效。这种

引起 CPU 暂时失控的过程叫做“周期窃用 (Cycle Stealing)”。对单总线结构的计算机来说, DMA 在传送干涉性数据字时 CPU 不能使用总线, 而由 DMA 占用总线, 完成外部设备与内部存储器之间的直接存取访问。一种改进方案是将 DMA 控制器置于存储器总线上, 当然这种计算机应该具备单独的存储器总线 and 输入/输出总线。某些机器还采用一种 DMA 与可供选择的存取部分相连的两个主存储器, 来实现数据在外部设备与主存储器之间的直接传送。

实际上, DMA 控制器可看作是独立于 CPU 的小处理器, 因此有时把它设计成既可作数据算术逻辑运算, 也可以进行数据块传送的处理器。在那些具有多个高速外部设备又分别需要自己的 DMA 控制器控制的地方, 还采用 DMA 优先权控制系统。

§ 2-2 接口方法的连接技术

计算机 I/O 端口与外部设备之间的数据传送有三种方式:

- ①全双工 (FDX), 数据信息同时以两个方向进行传送;
- ②半双工 (HDX), 数据信息以双向传送, 但每次只以一个方向进行传送;
- ③单工, 数据只以一个方向传送。

显然, 全双工方式要求双通道, ②和③两种方式有一个通道传送数据就够了。

对于中小型计算机系统来说, CPU 与外部设备的连接可以通过接口单元和总线, 以多种方式实现数据的传送, 如图 2-6 所示。当然, 在一个系统中并不需要使用所有的方法。小型微型计算机系统只要求两个串行和两个并行 I/O 端口便能实现最低限度的连接, 而较大的机器则需要成百个 I/O 端口。

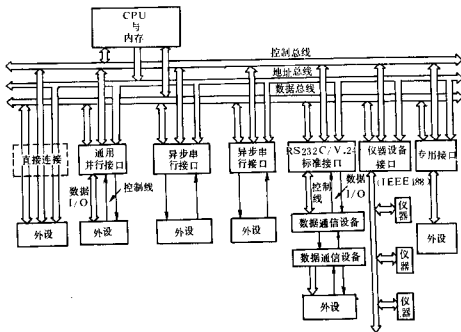


图 2-6 计算机接口方法连接

所有连接方式中最简单的是外部设备直接与计算机主机总线相连，而无需接口单元的连接。不过连接总线的外部设备，如果在总线的连接线上设置了电气负载，则应该设置总线扩展器的逻辑门缓冲器。例如，简单易行的 S100 总线即是当前单板机、微型机经常采用的一种直接连接的总线。

值得注意的是每个计算机制造厂家有他们自己接口连接方式。但是目前多采用通用集成电路的接口芯片，所以接口电路也具有通用性。通常根据传送方式和数据结构的特点，接口分为并行和串行两种；而按照接口中传送数据的性质的特点，又可分为简单接口和选通方式接口。

一、选通方式接口与时序

在传送数据的接口电路中，数据类型为有序的数据组进行传送时，它传送的是一系列连续的数据，并在前一个数据可靠地发送和接收以后才传送下一个数据。在这种情况下采用选通方式的接口。选通方式接口的特点是用中断请求信号（INT）与读/写信号（RD/WR）实现接口与 CPU 之间的联络；而用准备好信号（READY）与选通信号（STB），由外部设备选通接口，从而控制数据的传送。我们下面结合时序图分别说明选通输入和选通输出两种方式的数据传送过程。

图 2-7 描述了外部设备通过接口传送数据到主机 CPU 的选通输入方式接口时序。

①准备好接收数据是选通输入的第一步。它的条件为：数据缓冲器空，接口可接收外部设备来的数据，并用准备好信号线的 $READY=1$ 通知外部设备，允许输入。

②将外部设备数据选通装入接口。当外部设备准备好数据并收到 $READY=1$ 的信号时，外部设备产生并发出选通信号 $STB=0$ ，使数据选通输入到接口。

③接口收到数据，由准备好信号 $READY=0$ 表示接口缓冲器收到一个数据，使输入缓冲器满，禁止再来下一个数据。

④通知 CPU 从接口中取走数据。这时接口产生请求信号 INT，以便采用中断方式或其他方式使 CPU 从接口读取数据。

⑤CPU 取走数据。此时数据送到数据总线，CPU 产生读信号 IOR 有效，取走数据。然后封锁中断 INT 变为 1，数据缓冲器空使 $READY$ 变为 1，允许外部设备输入下一个数据。

此后重复①~⑤过程，直至数据组的数据传送完毕。

选通方式输出的接口与时序如图 2-8 所示。它是 CPU 通过接口输出数据到外部设备的过程，可由 4 个步骤完成。

①CPU 通过输出指令把数据装入接口。因为输出指令的操作实际为写操作，故此时写信号 IOW 有效，CPU 有目的地将数据通过接口送到相应外部设备接口的端口。

②选通接口将数据输出给外部设备。此时接口用准备好信号 $READY=1$ 向外部设备表示数据缓冲器满，接口已有准备好的数据输出到外部设备。

③外部设备收到接口送来的数据并以 $STB=0$ 作应答，通知接口接收完毕。

④接口收到外部设备发来的应答信号，为下一个数据的输出作好准备。此时接口用 $READY=0$ 表示数据缓冲器空，同时产生 INT 请求信号以便系统采用中断方式或其他方式通知 CPU 再次输出下一个数据。

重复①~④的过程，以选通输出方式传送数据。

至于简单接口，它所传送的数据的性质是状态信息一类的数据。状态信息类型的数据是一些在较长时间内不变的开关量，即在与 CPU 交换以前之前处于准备好了的稳定状态。这类

型数据可以无条件传送，无须作选通输入输出。简单接口的结构也较为简单，它主要由寄存器缓冲器、锁存器、地址译码和中断逻辑组成。所以，状态信息一类数据信息，诸如开关的通断、继电器的吸合与释放，阀门的打开与闭合等等操作，采用简单接口便可以实现数据信息的传送。

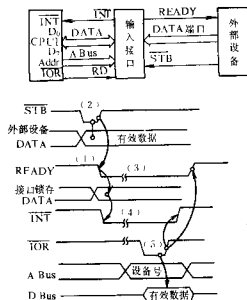


图 2-7 选通方式输入接口时序

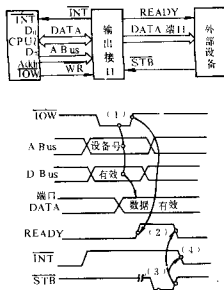


图 2-8 选通方式输出接口时序

二、通用并行接口

经过简化的通用并行接口框图如图 2-9 所示。这里的并行 I/O 端口一般应包括 8 或 16 条数据线。至于输入或输出端口的设定则通过控制逻辑来实现，即在控制寄存器中设立读/写位，并对双向数据寄存器选定方向。

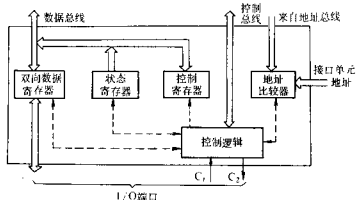


图 2-9 通用并行接口

图 2-9 中两条外部设备控制线为 C_1 、 C_2 。数据输出使用 C_1 ，指示“输出数据准备好”，表示数据寄存器有从 CPU 来的新的数据；数据输入则使用 C_2 ，指出在数据总线上具有从外部设备来的下一个数据字节。它们在装入数据到数据寄存器的同时，在状态寄存器中建立标志。在此如果用程序查询方式 I/O 进行操作，则状态标志应为“Ready”标志；而在中断驱动 I/O 方式下则是“IREQ”信号。

目前通用并行接口多采用可编程的大规模集成电路（LSI）的芯片形式。由于集成电路技术的发展使它具有更多的内部寄存器和控制电路逻辑，增强了接口的功能。例如，数据通过接口以前，使用某些器件来表征状态条件，即在 CPU 控制下设立多种状态以供多种功能的选择，如选取单独的数据位决定是输入还是输出等等。还有，在出现多路 I/O 端口时，接口还增设了对端口的判断能力。

一般来说，LSI 并行接口芯片中并未设置地址比较器，而用所谓片选输入端取而代之。它与地址译码端一起选定某个多路的 I/O 端口，并通过寻址选取内部寄存器的数据信息。这就是我们通常使用计算机 CPU 总线中部分地址线的译码后连接片选信号端来对接口单元进行选址的原因。不过，这对于数量较多的接口来说则是难以实现的，这时使用与接口芯片分离的地址比较器组成完整的接口单元地址系统比较理想，同样，用它作分离中断处理逻辑也是可行的。

三、异步串行接口

在数据串行传送时，数据字位是在一条单独的传输线上按位一个接一个地进行传送的。运行标准 ASCII 码的位顺序是从 b_7 到 b_0 位，接着是奇偶位，而 EBCDIC 码则是位 b_0 到 b_7 。

某些外部设备是以串行形式移动数据进行传送的，如电传打字机。还有些设备虽可作并行数据传送，但传输的距离较远，这时与其作并行多路传输倒不如使用单总线进行串行传送。特别是当外部设备需要通过电话线与计算机实现连接的时候，常使用异步串行传送的方式。

因是有次序的按位在传输线上一个接一个的传送数据，所以串行传送比并行慢。不过现在计算机内部多以并行形式移动数据，故并行到串行和串行到并行的转换器在串行接口单元中设置是必要的。图 2-10 (a) 作了形象的图解说明。这里进行数据传送，并行数据字首先装入移位寄存器中。移位寄存器在脉宽一定的时钟脉冲序列驱动下，该寄存器中的数据字按位向左移位。数据字在寄存器的最左端输出。因此一个 n 位数据可以用 n 个时钟脉冲，脉冲触发一次移位一位，实现串行的数据输出。当接收串行数据时，则把进来的数据输入到移位寄存器的右端，接着按时钟节拍连续输入数据。接受器的时钟时序应接近到等于原来传送使用的时钟，以保证数据不致丢失（时钟太慢）或者发生二次进入（时钟太快）的情况。

通常使用的串行字符格式如图 2-10 (b) 所示。在传输线上字符字节与字节之间是空状态或“MARK”全“1”状态，以便于对数据的识别和迅速地侦查错误。字符字节的第一位是起始位 START，为了启动接受器时钟，使用“1”到“0”状态作为数据传送的开始。注意，数据的第一位不能用来作起始位，因为以“1”到“0”启动时它不能识别空闲状态，也不能为接受器所理解。传送字的数据部分实际上使用 5、6、7 到 8 位。被传送字符至少有一个传送开始的信号位，以及检测传送期间可能发生错误的奇偶校验位。而且在字符与字符之间还要添加 1 个或 1 个半或者两个停止位作间隔。这个间隔能满足较慢的响应设备的复位要求，以便在下一个字符到来以前有短暂停息的准备。这种串行传送形式称之为“启-停”传送。

键盘输入一般采用“启-停”传送格式。这里，字符传送的位时序必须按适当的规则进行。位传送速率有如下几个等级：110、150、300、600、1200、2400、4800 及 9600bit/s。比较慢