

直接指出该设备的设备号。通过接口电路中的设备选择电路,便可选中要交换信息的设备。

### 3. 传送方式

在同一瞬间, $n$ 位信息同时从 CPU 输出至 I/O 设备,或由 I/O 设备输入 CPU,这种传送方式称为并行传送。其特点是传送速度较快,但要求数据线多。例如,16 位信息并行传送需要 16 根数据线。

若在同一瞬间只传送一位信息,在不同时刻连续逐位传送一串信息,这种传送方式称为串行传送。其特点是传送速度较慢,但只需一根数据线和一根地线。当 I/O 设备与主机距离很远时,采用串行传送较为合理,例如远距离数据通信。

不同的传送方式需配置不同的接口电路,如并行传送接口、串行传送接口或串并联用的传送接口等。用户可按需要选择合适的接口电路。

### 4. 联络方式

不论是串行传送还是并行传送,I/O 设备与主机之间必须互相了解彼此当时所处的状态,如是否可以传送、传送是否已结束等。这就是 I/O 设备与主机之间的联络问题。按 I/O 设备工作速度的不同,可分为三种联络方式。

#### (1) 立即响应方式

对于一些工作速度十分缓慢的 I/O 设备,如指示灯的亮与灭、开关的通与断、A/D 转换器缓变信号的输入等,当它们与 CPU 发生联系时,通常都已使其处于某种等待状态,因此,只要 CPU 的 I/O 指令一到,它们便立即响应,故这种设备无须特殊联络信号,称为立即响应方式。

#### (2) 异步工作采用应答信号联络

当 I/O 设备与主机工作速度不匹配时,通常采用异步工作方式。这种方式在交换信息前,I/O 设备与 CPU 各自完成自身的任务,一旦出现联络信号,彼此才准备交换信息。图 5.6 示意了并行传送的异步联络方式。

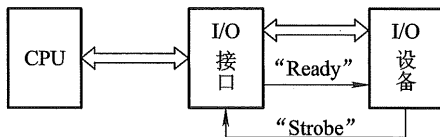


图 5.6 异步并行“应答”联络方式

如图 5.6 所示,当 CPU 将数据输出到 I/O 接口后,接口立即向 I/O 设备发出一个“Ready”(准备就绪)信号,告诉 I/O 设备可以从接口内取数据。I/O 设备收到“Ready”信号后,通常便立即从接口中取出数据,接着便向接口回发一个“Strobe”信号,并让接口转告 CPU,接口中的数据已被取走,CPU 还可继续向此接口送数据。同理,倘若 I/O 设备需向 CPU 传送数据,则先由 I/O 设备向接口送数据,并向接口发“Strobe”信号,表明数据已送出。接口接到联络信号后便通知 CPU 可以取数,一旦数据被取走,接口便向 I/O 设备发“Ready”信号,通知 I/O 设备,数据已被取走,尚可继续送数据。这种一应一答的联络方式称为异步联络。

图 5.7 示意了串行传送的异步联络方式。

I/O 设备与 CPU 双方设定一组特殊标记,用“起始”和“终止”来建立联系。图中 9.09 ms 的低电平表示“起始”,又用  $2 \times 9.09$  ms 的高电平表示“终止”。

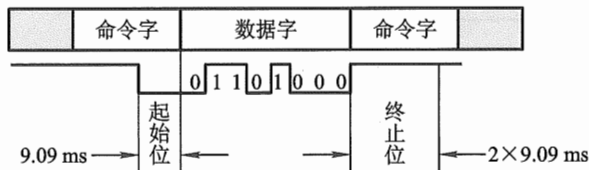


图 5.7 异步串行联络方式

### (3) 同步工作采用同步时标联络

同步工作要求 I/O 设备与 CPU 的工作速度完全同步。例如,在数据采集过程中,若外部数据以 2 400 bps 的速率传送至接口,则 CPU 也必须以 1/2 400 s 的速率接收每一位数。这种联络互相之间还得配有专用电路,用以产生同步时标来控制同步工作。

### 5. I/O 设备与主机的连接方式

I/O 设备与主机的连接方式通常有两种:辐射式和总线式。图 5.8 和图 5.2 分别示意了这两种方式。

采用辐射式连接方式时,要求每台 I/O 设备都有一套控制线路和一组信号线,因此所用的器件和连线较多,对 I/O 设备的增删都比较困难。这种连接方式大多出现在计算机发展的初级阶段。

图 5.2 所示的是总线连接方式,通过一组总线(包括地址线、数据线、控制线等),将所有的 I/O 设备与主机连接。这种连接方式是现代大多数计算机系统所采用的方式。

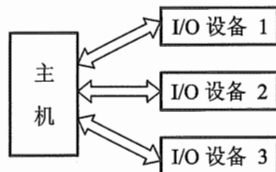


图 5.8 I/O 设备与主机的辐射式连接示意图

## 5.1.4 I/O 设备与主机信息传送的控制方式

I/O 设备与主机交换信息时,共有 5 种控制方式:程序查询方式、程序中断方式、直接存储器存取方式(DMA)、I/O 通道方式、I/O 处理机方式。本节主要介绍前 3 种方式,后两种方式在 5.1.1 节已进行了一般介绍,更详尽的内容将由“计算机体系结构”课程讲述。

### 1. 程序查询方式

程序查询方式是由 CPU 通过程序不断查询 I/O 设备是否已做好准备,从而控制 I/O 设备与主机交换信息。采用这种方式实现主机和 I/O 设备交换信息,要求 I/O 接口内设置一个能反映 I/O 设备是否准备就绪的状态标记,CPU 通过对此标记的检测,可得知 I/O 设备的准备情况。图 5.9 所示为 CPU 从某一 I/O 设备读数据块(例如从磁带上读一记录块)至主存的查询方式流程。当现程序需启动某 I/O 设备工作时,即将此程序流程插入运行的程序中。由图中可知,CPU 启动 I/O 设备后便开始对 I/O 设备的状态进行查询。若查得 I/O 设备未准备就绪,就继续查询;若查得 I/O 设备准备就绪,就将数据从 I/O 接口送至 CPU,再由 CPU 送至主存。这样一个字一个字地传送,直至这个数据块的数据全部传送结束,CPU 又重新回到原现程序。

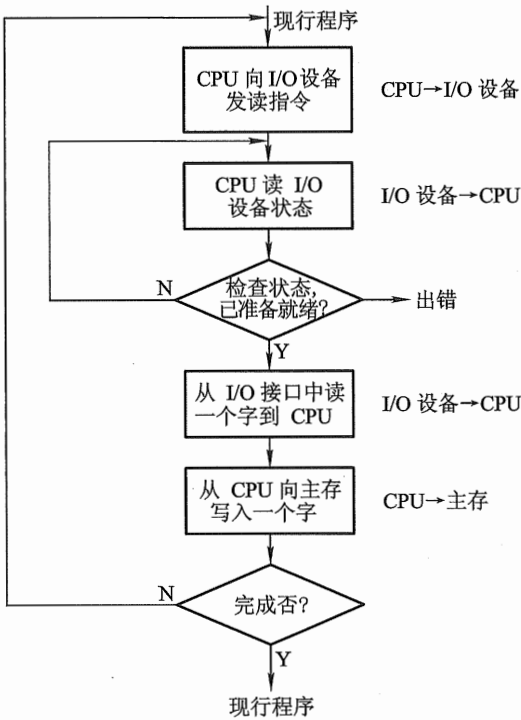


图 5.9 程序查询方式流程

由这个查询过程可见,只要一启动 I/O 设备,CPU 便不断查询 I/O 设备的准备情况,从而终止了原程序的执行。CPU 在反复查询过程中,犹如就地“踏步”。另一方面,I/O 设备准备就绪后,CPU 要一个字一个字地从 I/O 设备取出,经 CPU 送至主存,此刻 CPU 也不能执行原程序,可见这种方式使 CPU 和 I/O 设备处于串行工作状态,CPU 的工作效率不高。

2. 程序中中断方式

倘若 CPU 在启动 I/O 设备后,不查询设备是否已准备就绪,继续执行自身程序,只是当 I/O 设备准备就绪并向 CPU 发出中断请求后才予以响应,这将大大提高 CPU 的工作效率。图 5.10 示意了这种方式。

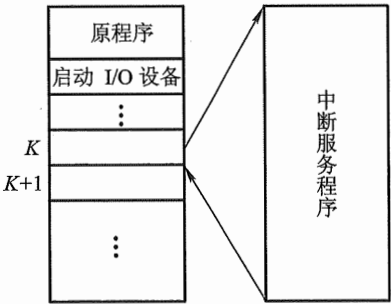


图 5.10 程序中中断方式示意图

由图中可见,CPU 启动 I/O 设备后仍继续执行原程序,在第  $K$  条指令执行结束后,CPU 响应了 I/O 设备的请求,中断了现行程序,转至中断服务程序,待处理完后又返回到原程序断点处,继续从第  $K+1$  条指令往下执行。由于这种方式使原程序中断了运行,故称为程序中断方式。

图 5.11 示意了采用程序中断方式从 I/O 设备读数据块到主存的程序流程。

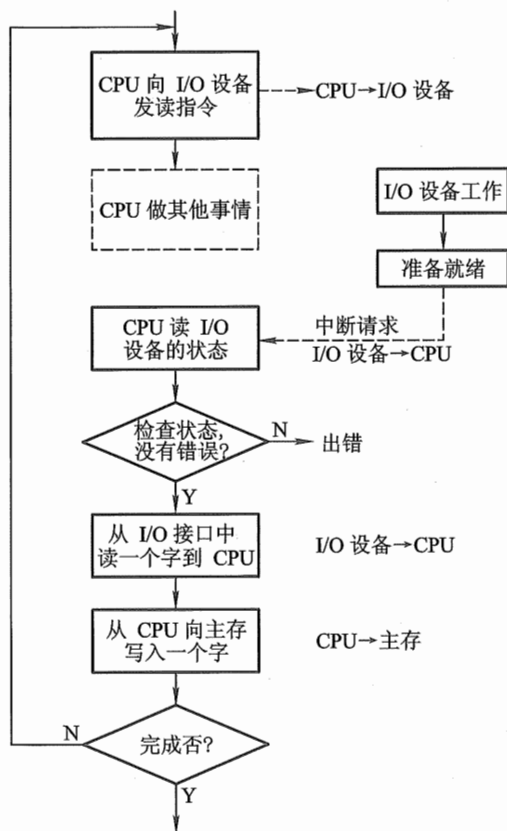
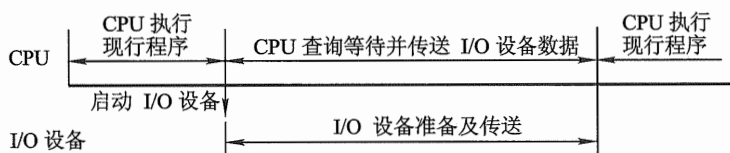


图 5.11 程序中断方式流程

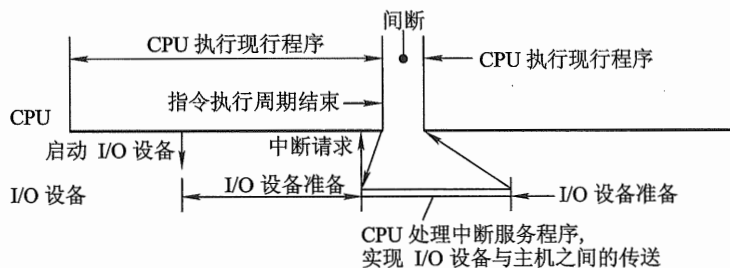
由图中可见, CPU 向 I/O 设备发读指令后, 仍在处理其他事情(如继续在算题), 当 I/O 设备向 CPU 发出请求后, CPU 才从 I/O 接口读一个字经 CPU 送至主存(这是通过执行中断服务程序完成的)。如果 I/O 设备的一批数据(一个数据块的全部数据)尚未传送结束时, CPU 再次启动 I/O 设备, 命令 I/O 设备再做准备, 一旦又接收到 I/O 设备中断请求时, CPU 重复上述中断服务过程, 这样周而复始, 直至一批数据传送完毕。

显然, 程序中断方式在 I/O 设备进行准备时, CPU 不必时刻查询 I/O 设备的准备情况, 不出现“踏步”现象, 即 CPU 执行程序与 I/O 设备做准备是同时进行的, 这种方式与 CPU 与 I/O 设备是串行工作的程序查询方式相比, CPU 的资源得到了充分的利用。图 5.12(a)、(b)分别示意了这两种方式 CPU 的工作效率。

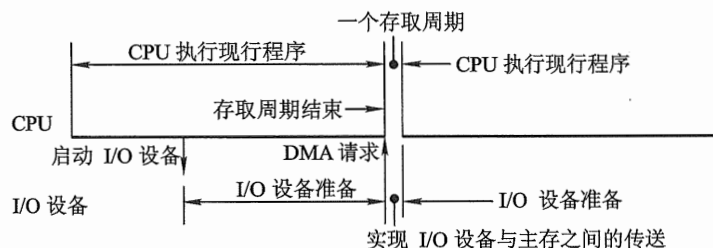
当然, 采用程序中断方式, CPU 和 I/O 接口不仅在硬件方面需增加相应的电路, 而且在软件方面还必须编制中断服务程序, 这方面内容将在 5.3 和 5.5 节中详细讲述。



(a) 程序查询方式



(b) 程序中断方式



(c) DMA 方式

图 5.12 三种方式的 CPU 工作效率比较

### 3. DMA 方式

虽然程序中断方式消除了程序查询方式的“踏步”现象,提高了 CPU 资源的利用率,但是 CPU 在响应中断请求后,必须停止现行程序而转入中断服务程序,并且为了完成 I/O 设备与主存交换信息,还不得不占用 CPU 内部的一些寄存器,这同样是对 CPU 资源的消耗。如果 I/O 设备能直接与主存交换信息而不占用 CPU,那么,CPU 的资源利用率显然又可进一步提高,这就出现了直接存储器存取(DMA)的方式。

在 DMA 方式中,主存与 I/O 设备之间有一条数据通路,主存与 I/O 设备交换信息时,无须调用中断服务程序。若出现 DMA 和 CPU 同时访问主存,CPU 总是将总线占有权让给 DMA,通常把 DMA 的这种占有称为窃取或挪用。窃取的时间一般为一个存取周期,故又把 DMA 占用的存取周期窃取周期或挪用周期。而且,在 DMA 窃取存取周期时,CPU 尚能继续做内部操作(如乘法运算)。可见,与程序查询和程序中断方式相比,DMA 方式进一步提高了 CPU 的资

源利用率。

图 5.12(c) 示意了 DMA 方式的 CPU 效率。当然,采用 DMA 方式时,也需要增加必要的 DMA 接口电路。有关 DMA 方式的详细内容将在 5.6 节讲述。

## 5.2 I/O 设备

### 5.2.1 概述

中央处理器和主存构成了主机,除主机外的大部分硬件设备都可称为 I/O 设备或外部设备,或外围设备,简称外设。计算机系统没有输入输出设备,就如计算机系统没有软件一样,是毫无意义的。

随着计算机技术的发展,I/O 设备在计算机系统中的地位越来越重要,其成本在整个系统中所占的比重也越来越大。早期的计算机系统主机结构简单、速度慢、应用范围窄,配置的 I/O 设备种类有限,数量不多,I/O 设备价格仅占整个系统价格的几个百分点。现代的计算机系统 I/O 设备向多样化、智能化方向发展,品种繁多,性能良好,其价格往往已占到系统总价的 80% 左右。

I/O 设备的组成通常可用图 5.13 点画线框内的结构来描述。

图 5.13 中的设备控制器用来控制 I/O 设备的具体动作,不同的 I/O 设备完成的控制功能也不同。机、电、磁、光部件与具体的 I/O 设备有关,即 I/O 设备的具体结构大致与机、电、磁、光的工作原理有关。本节主要介绍有关设备控制器的内容,要求读者能理解 I/O 设备的工作原理。现代的 I/O 设备一般还通过接口与主机联系,至于接口的详细内容将在 5.3 节中讲述。

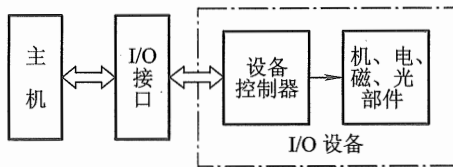


图 5.13 I/O 设备的结构框图

I/O 设备大致可分为三类。

#### (1) 人机交互设备

它是实现操作者与计算机之间互相交流信息的设备,能将人体五官可识别的信息转换成机器可识别的信息,如键盘、鼠标、手写板、扫描仪、摄像机、语音识别器等。反之,另一类是将计算机的处理结果信息转换为人们可识别的信息,如打印机、显示器、绘图仪、语音合成器等。

#### (2) 计算机信息的存储设备

系统软件和各种计算机的有用信息,其信息量极大,需存储保留起来。存储设备多数可作为计算机系统的辅助存储器,如磁盘、光盘、磁带等。

(3) 机-机通信设备

它是用来实现一台计算机与其他计算机或与其他系统之间完成通信任务的设备。例如,两台计算机之间可利用电话线进行通信,它们可以通过调制解调器( Modem)完成。用计算机实现实时工业控制,可通过 D/A、A/D 转换设备来完成。计算机与计算机及其他系统还可通过各种设备实现远距离的信息交换。

表 5.1 列出了现代常用的 I/O 设备的名称及用途。

表 5.1 常用的 I/O 设备

输入 输出 设备	输入 设备	键盘 图形输入设备(鼠标、图形板、跟踪球、操纵杆、光笔) 图像输入设备(摄像机、扫描仪、传真机) 条形码阅读器 光学字符识别 语音和文字输入设备
	输出 设备	显示器(字符、汉字、图形、图像) 打印设备(点阵式打印机、激光打印机、喷墨打印机) 绘图仪(平板式、滚筒式) 音箱
	终端设备(键盘+显示器) 汉字处理设备 A/D、D/A 转换设备 多媒体设备 脱机输入输出设备(软磁盘数据站)	

本节主要介绍人机交互设备,可分为输入设备和输出设备两种,并且有的设备既具有输入功能,又具有输出功能。关于存储设备已在第 4 章介绍过,有关机-机通信设备将在“计算机网络”课程中讲述。

5.2.2 输入设备

输入设备完成输入程序、数据和操作命令等功能。当实现人工输入时,往往与显示器联用,以便检查和修正输入时的错误。也可以利用软盘、磁带等脱机录入的介质进行输入。目前已可以实现语音直接输入。

1. 键盘

键盘是应用最普遍的输入设备。可以通过键盘上的各个键,按某种规范向主机输入各种信

息,如汉字、外文、数字等。

键盘由一组排列成阵列形式的按键开关组成,如图 5.14 所示。键盘上的按键分字符键和控制功能键两类。字符键包括字母、数字和一些特殊符号键;控制功能键是产生控制字符的键(由软件系统定义功能),还有控制光标移动的光标控制键以及用于插入或删除字符的编辑键等。

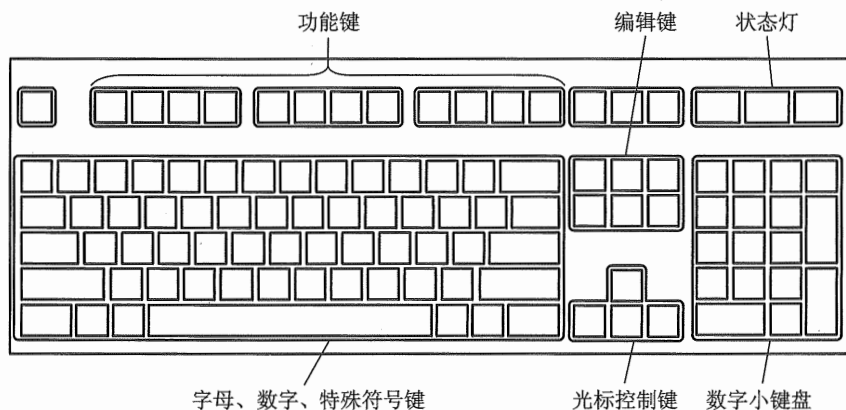


图 5.14 计算机键盘示意图

键盘输入信息分为以下 3 个步骤。

- ① 按下一个键。
- ② 查出按下的是哪个键。
- ③ 将此键翻译成 ASCII 码(参见附录 5A),由计算机接收。

按键是由人工操作的,确认按下的是哪一个键可用硬件或软件的方法来实现。

采用硬件确认哪个键被按下的方法称为编码键盘法,它由硬件电路形成对应被按键的唯一编码信息。为了便于理解,下面以  $8 \times 8$  键盘为例,说明硬件编码键盘法是如何通过对键盘扫描来识别按键所对应的 ASCII 码的,其原理如图 5.15 所示。

图 5.15 中的 6 位计数器经两个八选一的译码器对键盘扫描。若键未按下,则扫描将随着计数器的循环计数而反复进行。一旦扫描发现某键被按下,则键盘通过一个单稳电路产生一个脉冲信号。该信号一方面使计数器停止计数,用以终止扫描,此刻计数器的值便与所按键的位置相对应,该值可作为只读存储器(ROM)的输入地址,而该地址中的内容即为所按键的 ASCII 码。可见只读存储器存储的内容便是对应各个键的 ASCII 码。另一方面,此脉冲经中断请求触发器向 CPU 发中断请求,CPU 响应请求后便转入中断服务程序,在中断服务程序的执行过程中,CPU 通过执行读入指令,将计数器所对应的 ROM 地址中的内容,即所按键对应的 ASCII 码送入 CPU 中。CPU 的读入指令既可作为读出 ROM 内容的片选信号,而且经一段延迟后,又可用来清除中断请求触发器,并重新启动 6 位计数器开始新的扫描。

采用软件判断键是否按下的方法称为非编码键盘法,这种方法利用简单的硬件和一套专用



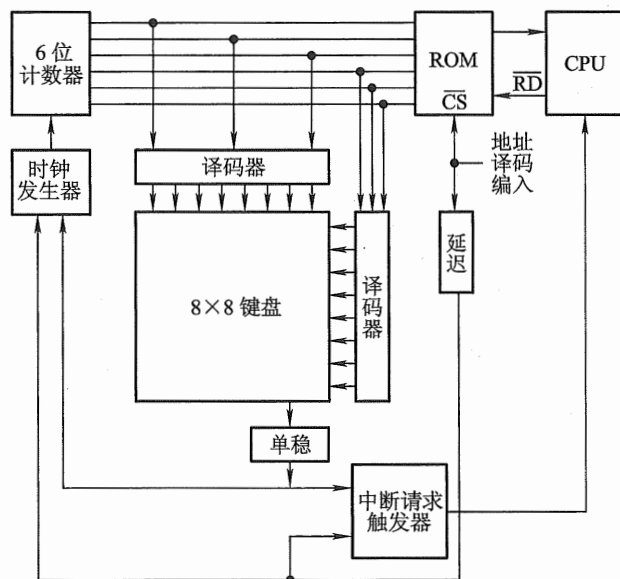


图 5.15 带只读存储器的编码键盘原理图

键盘编码程序来判断按键的位置,然后由 CPU 将位置码经查表程序转换成相应的编码信息。这种方法结构简单,但速度比较慢。

在按键时往往会出现键的机械抖动,容易造成误动。为了防止形成误判,在键盘控制电路中专门设有硬件消抖电路,或采取软件技术,以便有效地消除因键的抖动而出现的错误。

此外,为了提高传输的可靠性,可采用奇偶校验码(见附录 5C)来验证信息的准确性。

随着大规模集成电路技术的发展,厂商已提供了许多种可编程键盘接口芯片,如 Intel 8279 就是可编程键盘/显示接口芯片,用户可以随意选择。近年来又出现了智能键盘,如 IBM PC 的键盘内装有 Intel 8048 单片机,用它可完成键盘扫描、键盘监测、消除重键、自动重发、扫描码的缓冲以及与主机之间的通信等任务。

## 2. 鼠标

鼠标(Mouse)是一种手持式的定位设备,由于它拖着一根长线与接口相连,外形有点像老鼠,故取名为鼠标。常用的鼠标有两种:一种是机械式的,它的底座装有一个金属球,球在光滑表面上摩擦使球转动,球与 4 个方向的电位器接触,可测得上下左右 4 个方向的相对位移量,通过显示器便可确定欲寻求的方位。另一种是光电式鼠标,它需要与一块画满小方格的长方形金属板配合使用。安装在鼠标底部的光电转换器可以确定坐标点的位置,同样由显示器显示器所寻找的方位。光电式鼠标比机械式鼠标可靠性高,但需要增加一块金属板。机械式鼠标可以直接在光滑的桌面上摩擦,但往往因桌面上的灰尘随金属球滚动带入鼠标内,致使金属球转动不灵。

### 3. 触摸屏

触摸屏是一种对物体的接触或靠近能产生反应的定位设备。按原理的不同,触摸屏大致可分为5类:电阻式、电容式、表面超声波式、扫描红外线式和压感式。

电阻式触摸屏由显示屏上加一个两层高透明度的、并涂有导电物质的薄膜组成。在两层薄膜之间由绝缘支点隔开,其间隙为0.000 1英寸,如图5.16所示。

当用户触摸塑料薄膜片时,涂有金属导电物质的第一层塑料片与挨着玻璃罩上的第二层塑料片(也涂有金属导电物质)接触,这样根据其接触电阻的大小求得触摸点所在的 $x$ 和 $y$ 坐标位置。

电容式触摸屏是在显示屏上加一个内部涂有金属层的玻璃罩。当用户触摸此罩表面时,与电场建立了电容耦合,在触摸点产生小电流到屏幕4个角,然后根据4个电流大小计算出触摸点的位置。

表面超声波式触摸屏是由一个透明的玻璃罩组成的。在罩的 $x$ 和 $y$ 轴方向都有一个发射和接收压电转换器和一组反射器条,触摸屏还有一个控制器发送5 MHz的触发信号给发射、接收转换器,让它转换成表面超声波,此超声波在屏幕表面传播。当用手指触摸屏幕时,在触摸位置上的超声波被吸收,使接收信号发生变化,经控制分析和数字转换为 $x$ 和 $y$ 的坐标值。

可见,任何一种触摸屏都是通过某种物理现象来测得人手触及屏幕上各点的位置,从而通过CPU对此做出响应,由显示屏再现所需的位置。由于物理原理不同,体现出各类触摸屏的不同特点及其适用的场合。例如,电阻式能防尘、防潮,并可戴手套触摸,适用于饭店、医院等。电容式触摸屏亮度高,清晰度好,也能防尘、防潮,但不可戴手套触摸,并且易受温度、湿度变化的影响,因此,它适合于游戏机及供公共信息查询系统使用。表面超声波式触摸屏透明、坚固、稳定,不受温度、湿度变化的影响,是一种抗恶劣环境的设备。

### 4. 其他输入设备

在此主要介绍图形、图像的输入设备,有关语音和文字的输入设备不做介绍。

#### (1) 光笔

光笔(Light Pen)的外形与钢笔相似,头部装有一个透镜系统,能把进入的光会聚成一个光点。光笔的后端用导线连到计算机输入电路上。光笔头部附有开关,当按下开关时,进行光检测,光笔便可拾取显示屏上的绝对坐标。光笔与屏幕的光标配合,可使光标跟踪光笔移动,在屏幕上画出图形或修改图形,类似人们用钢笔画图的过程。

#### (2) 画笔与图形板

画笔(Stylus)同样为笔状,但必须配合图形板(Tablet)使用。当画笔接触到图形板上的某一位置时,画笔在图形板上的位置坐标就会自动传送到计算机中,随着画笔在板上的移动可以画出图形。图形板和画笔构成二维坐标的输入设备,主要用于输入工程图等。将图纸贴在图形板上,画笔沿着图纸上的图形移动,即可输入工程图。

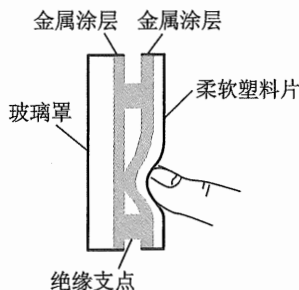


图 5.16 电阻式触摸屏原理

图形板是一种二维的 A/D 变换器,又称为数字化板。坐标的测量方法有电阻式、电容式、电磁感应式和超声波式几种。

画笔与光笔都是输入绝对坐标,而鼠标只能输入相对坐标。

### (3) 图像输入设备

最直接的图像输入设备是摄像机(Camera),它能摄取任何地点、任何环境下的自然景物和各类物体,经数字量化后变成数字图像存入磁带或磁盘。

如果图像已记录在某种介质上,则可用读出装置来读出图像。例如,记录在录像带上的图像可用录放机读出,再将视频信号经图像板量化输入计算机中。记录在数字磁带上的遥感图像可直接从磁带输入计算机中。如果把纸上的图像输入计算机内,则可用摄像机直接摄入,或用装有 CCD(电荷耦合器件)的图文扫描仪(Scanner)或图文传真机送入计算机。还有一种专用的光机扫描鼓,也可把纸上的图像直接转换成数字图像存入计算机。

## 5.2.3 输出设备

### 1. 显示设备

#### (1) 概述

以可见光的形式传递和处理信息的设备称为显示设备。它是应用最广的人机通信设备。显示设备种类繁多,按显示器件划分,有阴极射线管(Cathode Ray Tube, CRT)显示器、液晶显示器(Liquid Crystal Display, LCD)、等离子显示器(PD)等;按显示内容分有字符显示器、图形显示器和图像显示器;按显示器功能分有普通显示器和显示终端(终端是由显示器和键盘组成的一套独立完整的输入输出设备,它可以通过标准接口连接到远程主机,其结构比显示器复杂得多)两类。在 CRT 显示器中,按扫描方式不同,可分为光栅扫描和随机扫描两种;按分辨率不同,又可分为高分辨率和低分辨率的显示器。

CRT 是目前应用最广泛的显示器件,既可作为字符显示器,又可作为图像、图形显示器。CRT 是一个漏斗形的电真空器件,由电子枪、荧光屏及偏转装置组成,如图 5.17 所示。

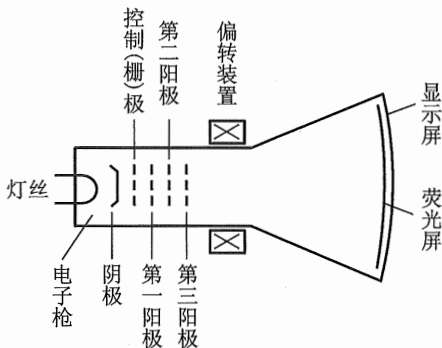


图 5.17 CRT 结构示意图

电子枪包括灯丝、阴极、控制(栅)极、第一阳极(加速阳极)、第二阳极(聚焦极)和第三阳极。当灯丝加热后,阴极受热而发射电子,电子的发射量和发射速度受控制极控制。电子经加速、聚焦而形成电子束,在第三阳极形成的均匀空间电位作用下,使电子束高速射到荧光屏上,荧光屏上的荧光粉受电子束的轰击产生亮点,其亮度取决于电子束的轰击速度、电子束电流强度和荧光粉的发光效率。电子束在偏转系统控制下,可在荧光屏的不同位置产生光点,由这些光点可以组成各种所需的字符、图形和图像。

彩色 CRT 的原理与单色 CRT 的原理是相似的,只是对彩色 CRT 而言,通常用 3 个电子枪发射的电子束,经定色机构,分别触发红、绿、蓝三种颜色的荧光粉发光,按三基色迭加原理形成彩色图像。

CRT 荧光屏尺寸大小是按屏幕对角线长度表示,普通字符显示器的 CRT 有 12 英寸和 14 英寸两种,图形、图像显示器的 CRT 有 15 英寸、17 英寸和 19 英寸,目前还出现了 21 英寸大屏幕 CRT。

分辨率和灰度等级是 CRT 的两个重要技术指标。分辨率是指显示屏面能表示的像素点数,分辨率越高,图像越清晰。灰度等级是指显示像素点相对亮暗的级差,在彩色显示器中它还表现为色彩的差别。

CRT 荧光屏发光是由电子束轰击荧光粉产生的,其发光亮度一般只能维持几十毫秒。为了使人眼能看到稳定的图像,电子束必须在图像变化前不断地进行整个屏幕的重复扫描,这个过程称为刷新。每秒刷新的次数称为刷新频率,一般刷新频率大于 30 次/秒时,人眼就不会感到闪烁。在显示设备中,通常都采用电视标准,每秒刷新 50 帧(Frame)图像。

为了不断地刷新,必须把瞬时图像保存在存储器中,这种存储器称为刷新存储器,又称帧存储器或视频存储器(VRAM)。刷新存储器的容量由图像分辨率和灰度等级决定。分辨率越高,灰度等级越多,需要的刷新存储器容量就越大。例如,分辨率为  $512 \times 512$  像素,灰度等级为 256 的图像,其刷新存储器的容量需达  $512 \times 512 \times 8$  b,即为 256 KB。此外,刷新存储器的存取周期必须与刷新频率相匹配。

计算机的显示器大多采用光栅扫描方式。所谓光栅扫描,是指电子束在荧光屏上按某种轨迹运动,光栅扫描是从上至下顺序扫描,可分为逐行扫描和隔行扫描两种。一般 CRT 都采用与电视相同的隔行扫描,即把一帧图像分为奇数场(由 1、3、5 等奇数行组成)和偶数场(由 0、2、4、6 等偶数行组成),一帧图像需扫描 625 行,则奇数场和偶数场各扫描 312.5 行。扫描顺序是先扫描偶数场,再扫描奇数场,交替进行,每秒显示 50 场。

## (2) 字符显示器

字符显示器是计算机系统中最基本的输出设备,它通常由 CRT 控制器和显示器(CRT)组成,图 5.18 示意了它的原理框图。

### 1) 显示存储器(刷新存储器)VRAM

显示存储器存放欲显示字符的 ASCII 码,其容量与显示屏能显示的字符个数有关。如显示屏上能显示  $80 \text{ 列} \times 25 \text{ 行} = 2\,000$  个字符,则显示存储器的容量应为  $2\,000 \times 8$  (字符编码 7 位,闪烁

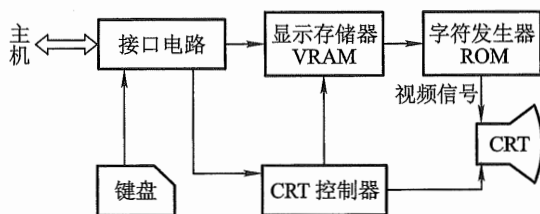
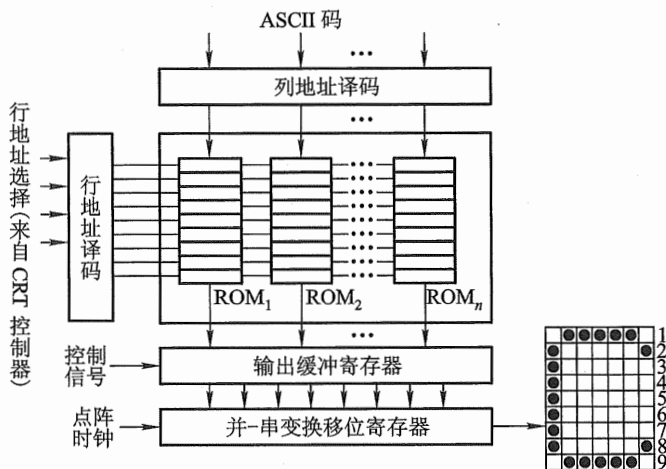


图 5.18 字符显示器原理框图

1 位), 每个字符所在存储单元的地址与字符在荧光屏上的位置一一对应, 即显示存储器单元的地址顺序与屏幕上每行从左到右, 按行从上到下的显示器位置对应。

## 2) 字符发生器

由于荧光屏上的字符由光点组成, 而显示存储器中存放的是 ASCII 码, 因此, 必须有一个部件能将每个 ASCII 码转变为一组  $5 \times 7$  或  $7 \times 9$  的光点矩阵信息。具有这种变换功能的部件称为字符发生器, 它实质是一个 ROM。图 5.19 是一个对应  $7 \times 9$  光点矩阵的字符发生器原理框图。

图 5.19 对应  $7 \times 9$  光点矩阵的字符发生器原理图

图中  $ROM_i$  的个数与显示器所能显示的字符种类有关, 例如, 能显示 97 个字符, 则  $i=1 \sim 97$ 。每个  $ROM_i$  共有 9 个单元(对应 9 行), 每个单元中存放 7 位光点代码。如“C”的 9 个单元中, 所存储的 9 组光点代码分别为 0111110、1000001、1000000、1000000、1000000、1000000、1000000、1000001、0111110(设“1”对应亮点, “0”对应暗点)。字符发生器工作时, 由显示存储器输出的 ASCII 码作为 ROM 的高位地址(列地址), 而 ROM 的低位地址(行地址)来自 CRT 控制器的光栅地址计数器。ROM 的输出并行加载到移位寄存器中, 然后在点阵时钟控制下, 移位输出形成视

频信号,作为 CRT 的亮度控制信号。显示器在水平同步、垂直同步(来自 CRT 控制器)和视频信号(来自字符发生器)的共同作用下,连续不断地进行屏幕刷新,就能显示稳定而不消失的字符图像。

### 3) CRT 控制器

CRT 控制器通常都做成专用芯片,它可接收来自 CPU 的数据和控制信号,并给出访问显示存储器的地址和访问字符发生器的光栅地址,还能给出 CRT 所需的水平同步和垂直同步信号等。该芯片的定时控制电路要对显示每个字符的点(光点)数、每排(字符行)字( $7 \times 9$  点阵)数、每排行(光栅行)数和每场排数计数。因此,芯片中需配置点计数器、字计数器(水平地址计数器)、行计数器(光栅地址计数器)和排计数器(垂直地址计数器),这些计数器用来控制显示器的逐点、逐行、逐排、逐屏的刷新显示,还可以控制对显示存储器的访问和屏幕间扫描的同步。

点计数器记录每个字的横向光点,因每个字符占 7 个光点,字符间留一个光点作间隙,共占 8 个光点,故点计数器为模 8 计数器,计满 8 个点向字计数器进位。字计数器用来记录屏幕上每排的字数,若每排能显示 80 个字,考虑到屏幕两边失真较大,各空出 5 个字符位置,再加上光栅回扫消隐时间(此段时间屏幕不显示)的需要,占 20 个显示字符的时间,总共  $80+10+20=110$ ,则字计数器计满 110 就归零,并向行计数器进位。行计数器用来记录每个字( $7 \times 9$  点阵)的 9 行光栅地址,外加每排字的 3 行间隔,总共  $9+3=12$ ,即行计数器计满 12 归零,并向排计数器进位。排计数器用来记录每屏字符的排数,若能显示 25 排,再考虑到屏幕上下失真空一排,则共 26 排,即排计数器计满 26 归零,表示一场扫描结束。

字计数器反映了光栅扫描的水平方向,排计数器反映了光栅扫描的垂直方向,将这两个方向的同步信号输至 CRT 的  $x$  和  $y$  偏转线圈,便可达到按指定位置进行显示的要求。

值得注意的是,CRT 的扫描方式不是一个字符一个字符地扫描,而是每次对一排字符中所有字符的同一行进行扫描,并显示亮点。例如,某排字符为 WELCOME,其显示次序是:先从显示存储器中读出“W”字符,送至字符发生器,并从字符发生器中扫描选出“W”字符的第一行光点代码,于是屏幕上显示出“W”字符第一行的 7 个光点代码;再从显示存储器中读出“E”字符并送字符发生器,又选出“E”字符的第一行 7 个光点代码……直到最后一个字符“E”的第一行 7 个光点代码显示完毕。接着进行每个字符点阵的第二行 7 个光点代码的扫描……直到该排每个字符的第 9 行光点代码扫描完毕,则屏幕上完整地显示出 WELCOME 字符。

### (3) 图形显示器

图形显示器是用点、线(直线和曲线)、面(平面和曲面)组合成平面或立体图形的显示设备,并可作平移、比例变化、旋转、坐标变换、投影变换(把三维图形变为二维图形)、透视变换(由一个三维空间向另一个三维空间变换)、透视投影(把透视变换和投影变换结合在一起)、轴侧投影(三面图)、单点透视、两点或三点透视以及隐线处理(观察物体时把看不见的部分去掉)等操作。主要用于计算机辅助设计(CAD)和计算机辅助制造(CAM),如汽车、飞机、舰船、土建以及大规模集成电路板等的设计制造。

图形显示器经常配有键盘、光笔、鼠标及绘图仪等。

利用 CRT 显示器产生图形有两种方法:一种是随机扫描法,另一种是光栅扫描法。

随机扫描法在随机扫描时,电子束产生图形的过程和人用笔在纸上画图的过程相似,任何图形的线条都被认为是由许多微小的首尾相接的线段来逼近的,这些微小的线段称为矢量,故这种方法又称为矢量法。与此法相对应的显示器称为随机扫描图形显示器,其缺点是在显示复杂图形时,会出现闪烁现象。

与光栅扫描法对应的显示器称为光栅扫描图形显示器。其特点是把对应于屏幕上的每个像素信息都存储在刷新存储器中。光栅扫描时,读出这些像素来调制 CRT 的灰度,以便控制屏幕上像素的亮度。同样也需不断地对屏幕进行刷新,使图形稳定显示。图 5.20 示意了光栅扫描图形显示器的硬件结构框图。

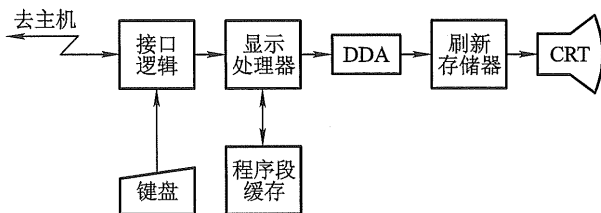


图 5.20 光栅扫描图形显示器的硬件结构框图

图 5.20 中的程序段缓存用来存储计算机送来的显示文件和图形操作命令,如图形的局部放大、平移、旋转、比例变换以及图形的检索等。这些操作直接由显示处理器完成。刷新存储器存放一帧图形的形状信息,它与屏幕上的像素一一对应。例如,屏幕的分辨率为  $1\,024 \times 1\,024$  像素,且像素的灰度为 256 级,则刷新存储器就需要有  $1\,024 \times 1\,024$  个单元,每个单元的字长为 8 位。可见刷新存储器的容量与分辨率、灰度都有关。

图 5.20 中的 DDA(Digital Difference Analyses)是数字差分分析器,它能将显示文件变换成图形形状,是一种完成数据插补的部件,能够根据显示文件给出的曲线类型和坐标值,生成直线、圆、抛物线甚至更复杂的曲线。插补后的数据存入刷新存储器用于显示。此外,对于数字化的图像数据也可直接输入刷新存储器,不经 DDA 等图形控制部分便可用来显示图像。

光栅扫描显示器的通用性强,灰度层次多,色调丰富,显示复杂图形时无闪烁,所形成的图形可以有消除隐藏面、阴影效应和涂色等功能。

#### (4) 图像显示器

图形显示器所显示的图形是由计算机用一定的算法形成的点、线、面、阴影等,来自主观世界,故又称为主观图像或计算机图像。

图像显示器所显示的图像(如遥感图像、医学图像、自然景物、新闻照片等)通常来自客观世界,故又称为客观图像。图像显示器是把由计算机处理后的图像(称为数字图像)以点阵的形式显示出来。通常采用光栅扫描方式,其分辨率为  $256 \times 256$  像素或  $512 \times 512$  像素,也可与图形显