

电子数字计算机原理

第四册

北京大学计算机科学技术系 编著
中国科学院计算技术研究所六室

科学出版社

1036.1
51/17

电子数字计算机原理

第 四 册

北京大学计算机科学技术系 编著
中国科学院计算技术研究所六室



科学出版社

1984

内 容 简 介

本书介绍计算机的输入输出系统和外围设备。第一章以典型的机器为背景介绍了输入输出方式及其实现。第二章至第七章介绍了数据输入设备、打印设备、终端显示、磁盘存储器、磁带存储器和汉字输入输出设备。重点介绍国内外常用的和较为先进的设备，侧重于它们的原理和特点。

本书是计算机硬、软件工程设计和维护人员的基础读物，也可供计算机使用者和高等院校的大学生参考。

J5580/13

电 子 数 字 计 算 机 原 理 第 四 册

北京大学计算机科学技术系 编著
中国科学院计算技术研究所六室

责任编辑 黄岁新

科学出版社出版
北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1984年10月第 一 版 开本：850×1168 1/32
1984年10月第一次印刷 印张：17 1/8
印数：0001—37,100 字数：449,000

统一书号：15031·593
本社书号：3690·15-8

定价：~~6.00~~元
5.70

编者的话

计算机外围设备种类繁多，涉及的知识面很广，本书重点介绍的是国内外常用的和较为先进的设备，并且侧重于介绍它们的工作原理和特点，而不过细于物理机制和电路。

在编写过程中我们立足于硬件，但密切注意它和计算机软件的联系，例如对于通道程序、磁盘磁带的记录格式、显示控制程序都有具体说明。我们希望它能成为计算机硬、软件工程设计人员和维护人员的一本基础读物，也能成为广大计算机使用者和有关大学生的参考书。

全书共分七章：

第一章以几种典型的机器为背景，介绍了计算机输入输出原理及其实现。

第二章介绍了在批处理中常用的数据输入设备。

第三章介绍了计算机广泛使用的行式打印机和点阵式打印机，以及先进的激光和喷墨技术。着重介绍了它们的结构和工作原理。

第四章介绍了计算机终端显示设备的组成及工作原理，其内容包括字符显示、图形显示和图象显示。

第五章详细介绍了磁盘存储器的设备结构，记录格式和控制原理，对于软盘和法尔码校验也做了简要的介绍。

第六章介绍了几种典型的磁带机，并且重点介绍了三种磁带记录方式及其实现，对CRC码也进行了讨论。

第七章简要地讨论了计算机中的汉字输入输出设备。

本书第一、二、六章由余娟芬（北京大学）编写，第三章由金国培、胡靖宇（计算所）编写，第四章由贾沛长（计算所）编

写，第五章由贾秉文（北京大学）编写，第七章由倪光南（计算所）编写，余娟芬审阅了全书手稿。

由于我们水平有限，错误和不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

1982年11月

目 录

第一章 计算机的输入输出系统	1
第一节 程序控制 I/O 方式	3
一、设备编址和 I/O 指令	4
二、I/O 设备接口	6
三、程序询问方式	8
四、状态标志——询问方式的改进	11
第二节 总线和总线控制	12
一、总线控制	13
二、总线通讯	17
三、两个实例	20
第三节 程序中断方式	30
一、单级中断	32
二、多级中断	39
第四节 DMA 方式	48
一、什么是 DMA 方式	48
二、DMA 的数据传送	50
三、基本的 DMA 控制器及其操作过程	54
四、选择型和多路型 DMA 控制器	57
第五节 通道方式	65
一、概述	65
二、输入输出指令和通道控制字	69
三、通道类型及工作原理	78
四、输入输出中断和通道状态字	94
五、通道-设备控制器的标准接口	100
第二章 输入设备	111
第一节 纸带输入机	114
一、纸带	114
二、纸带输入机	116
第二节 卡片输入机	124
一、卡片	125
二、卡片输入机	127
第三节 数据输入系统	131

一、功能和特点	131
二、输入系统工作流程	133
三、输入系统的工作方式	135
第三章 打印输出设备	138
第一节 引言	138
一、打印机的分类	138
二、打印机的一般评价	141
第二节 行式打印机	143
一、打印机的结构及其驱动系统	143
二、控制器	164
第三节 串行打印机	178
一、菊花瓣式打印机	179
二、针式打印机	196
第四节 非击打式打印机	210
一、感热打印机	210
二、激光打印机	216
三、墨水喷射打印机	221
第四章 显示设备	231
第一节 显示器件	232
一、CRT 的构造	232
二、电子枪	233
三、电子束的聚焦	234
四、电子束的偏转	237
五、荧光屏	239
六、CRT 的类型及其应用	242
第二节 字符显示	246
一、电视和字符的显示	246
二、字符发生器	250
三、字符显示器的设计	263
四、彩色字符显示原理	269
第三节 图形显示	271
一、图形的逐点显示	271
二、矢量发生器	274
三、图形显示器的结构	287
四、彩色图形显示原理	291
第四节 图象显示	293
一、数字图象基础	293
二、图象显示的方法	294

三、图象显示器的设计	295
四、彩色图象显示原理	302
第五节 显示控制台	303
一、键盘的组成和布局	304
二、键盘的编码	305
三、游标和字符编辑功能的实现	311
四、光笔的结构	316
五、光笔的功能	318
第五章 磁盘存贮器	324
第一节 磁记录原理和记录方式简介	324
一、磁记录原理	324
二、记录方式	327
第二节 磁盘机的主要部件	333
一、磁头部件	333
二、盘片或盘组	335
三、磁头定位装置——直线电机和小车	336
四、磁盘机的种类	338
五、磁盘机的主要技术指标	340
第三节 磁头定位系统工作原理	341
一、圆柱传感器	341
二、圆柱差值逻辑	348
三、伺服控制系统	348
四、粗定位	349
五、精定位	351
六、初寻和复位	354
七、定位系统的控制逻辑	355
第四节 读、写电路	359
一、磁头选择	359
二、信息写入电路	363
三、信息读出电路	366
第五节 同步信号和地址标志脉冲	368
一、同步信号的作用	368
二、同步信号的产生	369
三、同步与数据分离电路	374
四、地址标志信号	376
第六节 地址标志、数据标志和检测电路	379
一、地址标志和数据标志	379
二、标志检测	382
三、标志检测简要过程	388

第七节 磁盘控制器命令和框图	390
一、磁道记录格式	390
二、磁盘控制器命令	393
三、控制器框图	398
第八节 法尔码校验	407
一、编码和编码电路	408
二、译码和纠错	414
三、缩短法尔码	417
四、缩短法尔码的应用实例	419
第九节 软磁盘存贮器	425
一、软磁盘驱动器	426
二、软磁盘控制器	434
第六章 磁带存贮器	443
第一节 数据在磁带上的记录	444
一、磁带记录方式	444
二、磁带记录格式	448
三、数据在磁带上的分布	456
第二节 磁带机	459
一、双主动轮积带箱缓冲磁带机	460
二、单主动轮积带箱缓冲磁带机	466
三、单主动轮摆杆缓冲磁带机	469
第三节 磁带控制器	472
一、磁带控制器	472
二、NRZI 方式的读写逻辑	476
三、PE 方式读写逻辑	482
第四节 循环冗余校验 (CRC)	492
一、磁带出错特征	492
二、用 CRC 码纠错	494
三、CRC 码的纠错能力	506
第七章 汉字处理	509
第一节 汉字信息处理的一般问题	510
一、汉字频度分布和汉字字数	510
二、汉字的信息量和中文的冗余度	511
三、汉字的字形和语音	513
四、汉字标准码和汉字库	515
第二节 汉字输入	516
一、各种汉字输入方法	516
二、汉字输入的一般性问题	521

第三节 汉字字形存贮.....	524
一、汉字文字发生器	524
二、字形信息的压缩方法	528
第四节 汉字输出和显示.....	530
一、汉字印刷机的主要类型	530
二、汉字显示器	531
第五节 汉字信息处理系统构成.....	532
一、大型照排系统	532
二、大、中型通用系统	533
三、小型通用系统	533

第一章 计算机的输入输出系统

输入输出系统是计算机必不可少的组成部分。粗略地说,除了中央处理机和存贮器之外,计算机的其它部件都属于计算机的输入输出系统——I/O系统。它包括I/O设备、设备控制器和I/O管理部件。

I/O系统除了上述硬件之外还应该包括有关的软件,鉴于本书的范围,本章重点仍是介绍硬件I/O系统,对必要的软件知识也穿插着进行介绍。

随着计算机系统的飞速发展和应用领域的日益扩大,系统要求的数据输入输出量越来越大,数据传输速度也越来越高,输入输出设备的类型越来越多。这就导致输入输出系统在计算机中占有非常重要的地位。一个计算机系统的综合处理能力,系统的可扩展性、兼容性和性能价格比都与I/O系统有密切的关系。

本章的重点是以输入输出方式为纲,介绍几种典型的计算机输入输出系统的结构、工作原理及其操作过程。

计算机的种类繁多,各类机器的I/O系统的结构和操作也各不相同,综合起来其输入输出方式可用图1.1表示。

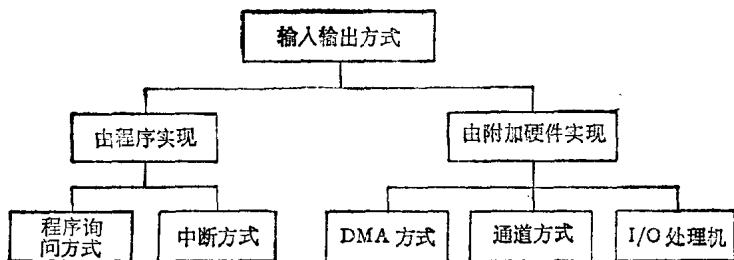


图1.1 I/O数据传送方式

I/O数据传送方式大致可分为两类：一类主要由程序实现，另一类主要由硬件实现。主要由程序实现一个数据传送是指在CPU控制下进行传送，即CPU执行一条或几条指令以实现数据的输入或输出。这种情况下的数据输入输出和CPU中原来运行的主程序是串行工作的。这种方式所需要的硬设备很少，缺点是数据的输入输出对CPU的打扰太多。

主要由硬件实现数据传送的方法是增加硬设备，使得数据输入输出不经过CPU，直接在I/O设备和内存贮器之间进行传送，而CPU只是在开始启动设备或者一批数据传送完毕后参与输入输出的管理工作。采用这种方式的好处是CPU中的主程序的运行和数据的输入输出可以同时进行。这种方式为多道程序的运行提供了物质基础。比如说，当一道程序运行时，另一道程序可以进行输入输出。这种提高CPU工作效率的办法是以花费硬件为

表1.1 典型设备的数据传输率

设 备	速 率 范 围	最大数据传输率 字符/秒
纸带		
纸带输入机	10—1,000字符/秒	1,000
纸带穿孔机	10—150字符/秒	150
卡片 (80列和96列)		
卡片输入机	100—2,000卡片/分	3,200
卡片穿孔机	100—250卡片/分	400
输出设备 (80—132列)		
击打式打印机	100—3,000行/分	6,600
静电印刷机	100—40,000行/分	88,000
交互式终端		
电传打字机	10—120字符/秒	120
CRT	10—960字符/秒	960
绘图仪		
增量式	<1,000增量/秒	2,000
矢量式	<200矢量/秒	400
磁带 (7.9道)	15K—1.25M字符/秒	250,000
磁盘	30K—1.5M字符/秒	1,500,000
磁传机	300—9,600位/秒	1,200

代价的。

程序实现的 I/O 方式又可分为程序控制 I/O 方式和中断方式两种，它们适用于数据传输率比较低的 I/O 设备(数据传输率定义为每秒钟能传送的字节数，见表 1.1)。大多数小型机和微型机都采用了这些方式。

主要由硬件实现的 I/O 方式也可进一步分为直接存储器存取(DMA)方式、通道方式和 I/O 处理机三种。它们适用于数据传输率比较高的 I/O 设备(如表 1.1 中的磁带、磁盘等)。现在一些小型机和微型机也采用 DMA 方式。一般讲许多计算机系统同时配有多种 I/O 方式，所以本章对四种 I/O 方式逐个进行介绍，但重点是通道方式。

第一节 程序控制 I/O 方式

程序控制 I/O 方式是指 CPU 与外围设备之间的数据传送是在 CPU 主动控制下进行的。在输入输出时要暂时停止 CPU 中的主程序运行，由 CPU 执行 I/O 指令或输入输出的服务程序，根据服务程序中的 I/O 指令进行数据传送。

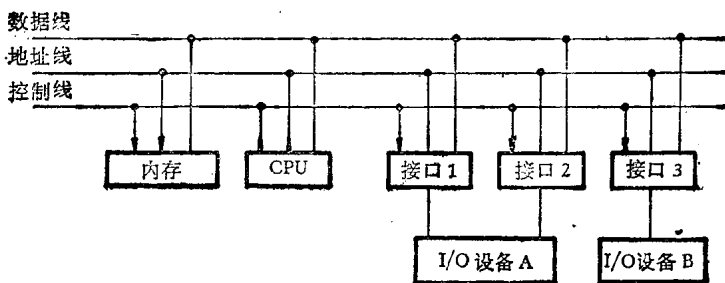
这是一种最简单、最经济的 I/O 方式。它只需要很少的硬件便可实现输入输出，所以几乎所有的机器都具有程序控制 I/O 方式。采用中断方式、DMA 方式和通道方式的机器也都有 I/O 指令，但是 I/O 指令的用途不同，在程序控制 I/O 方式和中断方式中 I/O 指令用于传送数据；而在 DMA 方式和通道方式中 I/O 指令用来传送控制参数和状态信息(如要启动的设备号、数据传送的长度、数据在内存中的地址、通道状态、设备状态等)。

在小型机和微型机中用程序控制 I/O 方式实现低速设备的输入输出的管理，如电传打字机、盒式磁带等设备的输入输出，还可以用来控制仪器和过程控制等实时系统。

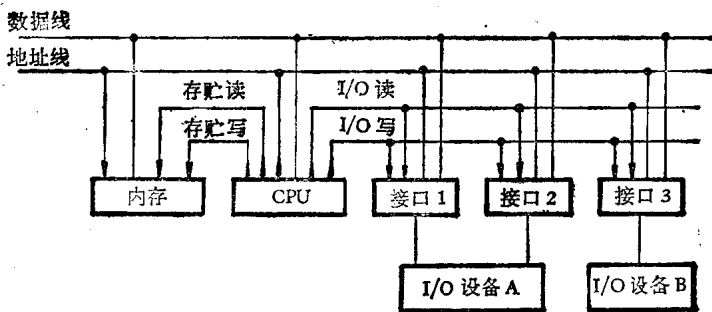
一、设备编址和 I/O 指令

1. 设备编址

用程序实现 I/O 传送的机器, 根据其结构特点, I/O 设备有两种不同的编址方法: 统一编址和单独编址。



(a) 可统一编址的单总线结构



(b) 单独编址的单总线结构

图 1.2

图 1.2(a) 是可统一编址的单总线结构, 若干 I/O 设备、内存、CPU 共用一条总线, 这条总线包括三部分:

地址总线, 传送 CPU 要访问主存的地址或 I/O 设备的设备地址。

数据总线, 传送数据、指令和状态。

控制总线, 传送定时信号和各种控制信号。

所谓统一编址是指 I/O 设备中的控制寄存器、状态寄存器、数据寄存器等也作为内存单元一样看待，把它们和内存单元联合在一起编排地址。这样就可用访问内存的指令（如读、写指令）去访问 I/O 设备的某个寄存器，因此不需要专门的 I/O 指令组，使得 I/O 程序设计十分灵活。比如，用访问存储器的读、写指令就能实现 I/O 设备与 CPU 之间的数据传送。又如，比较指令可以用来比较 I/O 设备中某个寄存器的值，以此判断输入输出操作的执行情况。微型机 M6800 和小型机 PDP-11 系列采用的就是统一编址，在 PDP-11 系列中把最高 4K 存储器地址作为 CPU 寄存器和 I/O 设备的寄存器的地址。

图 1.2(b) 的机器结构中，存储器地址和 I/O 设备的地址是分开的。当访问存储器时由内存贮读、内存贮写两条控制线来控制。当访问 I/O 设备时由 I/O 读、I/O 写两条控制线控制。微型机 Intel 8080 是这一类机器，它有专门的 I/O 指令组。

2. I/O 指令

机器用程序实现 I/O 传送时，其 I/O 指令一般具有以下功能：

(1) 置“1”或置“0”设备的某些控制触发器，用来控制设备进行某些动作，如启、停设备，让磁带转动等。

(2) 测试设备某些状态，以便决定下一步的操作。

(3) 输入数据，把 I/O 设备的数据寄存器内容送到 CPU 的某一寄存器。

(4) 输出数据，把 CPU 中某一寄存器内容送 I/O 设备的数码寄存器。

不同的机器采用的 I/O 指令格式和操作也不相同。Intel 8080 用以下两条指令实现上述功能。

IN (输入) 指令:

11011011	设备地址	寄存器地址
0	7 8	13 14 15

OUT (输出) 指令:

11010011	设备地址	寄存器地址
0	7 8	13 14 15

其中 0—7 位为操作码, 8—13 位为设备地址, 14—15 位为设备的寄存器地址。

IN, OUT 指令不仅用来传送数据, 也可用来控制设备和测试设备的状态。其中控制性操作是通过 OUT 指令把控制码送到指定的设备某控制寄存器来实现的。测试操作是由 IN 指令把某设备的状态码送到 CPU 的某寄存器来实现的。

又如 PDP-8 计算机有八种功能的 I/O 指令, 其中有一条“测试跳”(TSK) 指令, 它是程序控制 I/O 方式常用的指令。其功能是测试 I/O 设备的状态位, 若状态位是“1”则跳过下条指令; 若状态位为“0”则顺序执行下条指令。TSK 指令可以通过两条控制线来实现, 如图 1.3 所示。当 CPU 执行 TSK 指令时, 经“测试状态线”测试设备状态位 Ready, 通过地址总线指示要测试哪个设备。若测得指定设备的 Ready 为“1”, 就在 SKIP 线上送回一个回答信号, 该信号使程序计数器 (PC) 的值加 1, 即跳过下条指令; 若 Ready 为“0”, 则 CPU 顺序执行下条指令, 以后我们将用到这条指令。

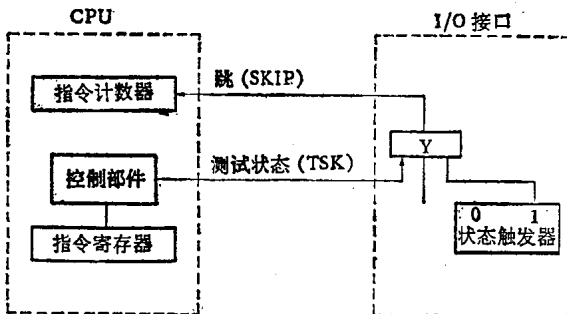


图1.3 测试跳指令的执行

二、I/O 设备接口

如图 1.2 所示, 每个 I/O 设备都通过一个 I/O 接口电路与计算机相连, 其功能是使性能不同的 I/O 设备能和系统总线连接。I/O 接口电路的种类很多, 有的可以接若干台 I/O 设备,

有的具有串-并转换功能，用来连接串行通讯设备如 CRT 终端或电话线等等。

在微处理机系统中 I/O 接口电路已做成各种单片集成电路。一个最简单的接口电路应具有的逻辑部件是：

1. 数码寄存器 当输入操作时用它来存放从 I/O 设备读出的数据，然后送 CPU。当输出时用它来存放 CPU 送来的数据，以便在适当时刻经 I/O 设备输出。数码寄存器长一般为 1—2 个字节。

2. 设备状态位 设备状态位 Ready 是接口中的一个触发器，用来标志设备是否已准备好一字节的数据。输入操作时 Ready 为“1”表示数码寄存器已准备好一个数据，可以输入；当输出操作时 Ready 为“1”表示数码寄存器已经腾空，可以从 CPU 输出数据。前面讲的 TSK 指令就是用来测试这个状态位的。

3. 设备选择电路 接到总线上的每个设备预先都给定了设备地址码。CPU 执行 I/O 指令时都要把指令中的设备地址送到地址总线上，用以指示 CPU 要选择的设备。每个设备接口电路

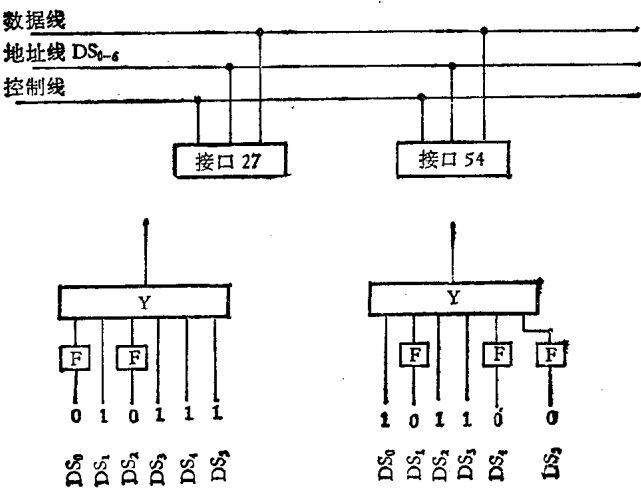


图1.4 设备选择器简图