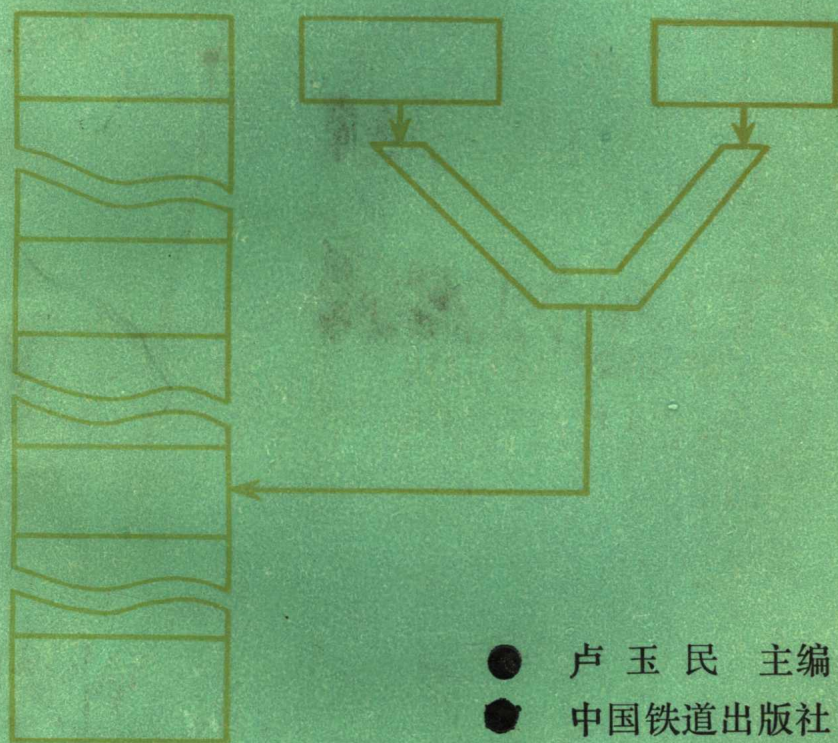


PDP-11/23

微型计算机及其应用



● 卢 玉 民 主 编
● 中 国 铁 道 出 版 社

PDP-11/23 微型计算机 及其应用

卢玉民 主编

中 国 铁 道 出 版 社

1987年·北京

内 容 简 介

本书比较系统地介绍了PDP-11/23微型机的结构、系统及多种语言的程序开发。

全书共分十三章。第一章至第八章介绍了PDP-11/23微型机的硬件部分；第九章至第十三章介绍了微型机操作系统的基本原理，内容包括：RT-11操作系统及其程序开发；操作系统下的数据文件；RSX-11M操作系统；RSX-11M操作系统的程序开发。

本书既可作为大专院校计算机和计算技术专业教学参考书和实验课教材，也可作为广大微型机用户的工具书。

PDP-11/23微型计算机及其应用

卢玉民 主编

中国铁道出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：850×1168毫米 1/32 印张：15.5 插页：1 字数：402 千

1987年7月 第1版 第1次印刷

印数：0001—5,000册 定价：3.40元

前 言

随着我国社会主义建设事业的发展,微型计算机在我国各个领域中的应用日益普及。PDP-11系列微型机在全国,特别是铁路和石油化工系统的应用越来越广泛,它在四个现代化的进程中正起着日益显著的作用。为了使广大科技工作者、教师、研究人员及学生等更好地学习和使用PDP-11系列微型机,并在各个领域中发挥更大的作用,我们编写了这本《PDP-11/23微型计算机及其应用》。本书的特点是:

1. 本书既有一般微型机的理论介绍,又有专门的PDP-11/23微型机的详细论述,并注意了理论与实践的紧密结合。

2. 因为本书是以PDP-11/23微型机为主要背景编写的,所以,它又是一本普及PDP-11/23微型机的参考书。

3. 本书在编写上力求深入浅出,通俗易懂。在关于高级语言程序开发方面列举了例题和上机操作步骤,便于读者上机时直接采用或参考。

4. 本书所介绍的内容尽管大都是PDP-11/23微型机的基本问题,但又是所有微型机的共性问题。

本书是编者长期从事PDP-11/23微型机的学习、教学、科研以及实验的经验总结。因此,本书内容比较实用。

本书由卢玉民主编。参加本书编写的有时庆国、卢玉民(第十章),王建新(第十一章),张菊珍、王建新、宋泽海(第十二章),张菊珍、卢玉民(第十三章),其余由卢玉民编写。北方交通大学计算机科学技术系微型机实验室的一些同志也作了一些工作。

本书由关英春副教授(第一章到第八章)和张全寿副教授(第九章到第十三章)审阅。他们对本书提出了不少宝贵意见,

在此表示感谢。

由于编者水平有限，书中不妥之处，请广大读者批评指正。

编 者

1985年10月于北京

目 录

第一章 微型机概况	1
第一节 微型机发展简史.....	1
第二节 微型机的应用.....	3
第三节 微型机未来的发展.....	4
第四节 微型机的特点.....	5
第五节 微型机的类型.....	10
第二章 PDP-11/23微型机	12
第一节 PDP-11/23微型机的特点	12
第二节 PDP-11/23微型机的结构	14
第三节 PDP-11/23微型机外围接口	17
第四节 PDP-11/23微型机技术指标	19
第五节 PDP-11/23微型机系统	20
第六节 PDP-11/24微型机简介	26
第三章 LSI-11/23微处理机	30
第一节 LSI-11/23微处理机的特点及技术指标	30
第二节 LSI-11/23微处理机结构	32
第三节 微程序控制器.....	40
第四节 时钟发生器电路.....	47
第五节 单总线概念	53
第六节 工作方式.....	55
第四章 编址方式	67
第一节 单、双操作数的编址方式.....	68
第二节 直接编址方式.....	69
第三节 间接编址方式.....	75
第四节 特殊编址方式.....	77

第五章 指令系统	81
第一节 定点指令系统	82
第二节 浮点数据格式	130
第三节 浮点微处理机的两个寄存器	131
第四节 浮点微处理机编址方式	134
第五节 浮点指令	134
第六章 存贮器	149
第一节 概 述	149
第二节 MSV11随机存贮器	152
第三节 MRV11-AA只读存贮器	162
第四节 磁盘存贮器	164
第七章 输入/输出设备	181
第一节 输入输出设备	181
第二节 VT100和L _{A34} 终端使用方法	193
第八章 外围接口	203
第一节 外围接口部件	203
第二节 数/模转换器	209
第三节 模/数转换器	214
第四节 四通道异步串行接口	222
第九章 微型机操作系统基本原理	231
第一节 计算机软件的基本概念	232
第二节 处理机管理	236
第三节 存贮管理	239
第四节 文件管理	245
第五节 输入输出管理	251
第十章 RT-11操作系统	256
第一节 系统组成与内存分配	256
第二节 监控命令	262
第三节 KED小键盘编辑程序	276
第四节 FORTRAN语言程序开发	282

第五节	MACRO-11语言程序开发	289
第六节	PASCAL语言程序开发	297
第七节	BASIC语言程序开发	301
第十一章	RT-11操作系统支持下的数据文件	312
第一节	FORTRAN语言所支持的数据文件	312
第二节	BASIC语言所支持的数据文件	334
第十二章	RSX-11M操作系统	354
第一节	RSX-11M操作系统简介	354
第二节	监控命令	365
第三节	文本编辑程序	378
第四节	任务建立程序	395
第五节	文件转换程序	409
第六节	外围设备交换程序	414
第十三章	RSX-11M操作系统中的程序开发	425
第一节	FORTRAN语言程序开发	425
第二节	MACRO汇编语言程序开发	435
第三节	BASIC语言程序开发	439
附录		445
附录一	LSI-11/23微处理机指令时间	445
附录二	集成电路	448
附录三	FORTRAN错误诊断	451
附录四	MACRO-11错误信息对照表	474
附录五	BASIC-11的出错报文	477
附录六	EDT错误信息	482
参考资料		488

第一章 微型机概况

第一节 微型机发展简史

任何新技术、新设备、新系统的产生和发展都是在“需要”和“可能”的条件下实现的，微型机的诞生和发展也是合乎了这样一个客观的发展的规律。

六十年代末期，尽管小型计算机正处于兴旺发展时期，但人们仍希望生产一种比小型计算机的体积更小，而且具有专业化强、价格便宜，耗电少等优点的计算机，以适应社会发展的需要。在当时，大规模集成电路的新工艺发展水平已经有可能把计算机的主要部件集成在一块大规模集成电路芯片上。在这种情况下，于1971年世界上第一台微处理机Intel4004诞生了。Intel 4004微处理机（微型机的核心部份）的出现开创了电子计算机的新纪元。从1971年至今，在短短的十几年里微处理机经历了四代。

第一代代表性产品是Intel4004和Intel8008。其特点是：使用了PMOS工艺；字长4~8位；每条指令执行时间4~6 μ s；时钟频率1MHz；数据地址线4~8根。

第二代的代表性产品是Intel8080、Intel8085、Z-80、M6800和LSI-11等。其特点是：使用了NMOS工艺；字长8~16位；有数量较多的输入/输出（I/O）接口；时钟频率2MHz；指令周期1 μ s；数据地址线8~16根。

第三代的代表性产品是Intel8086、Z-8000、M68000和LSI-11/23等。其特点是：使用了N/HMOS工艺；字长16~32位；时钟频率4~10MHz；指令周期0.5~0.1 μ s；数据地址线16~24根；配置了高级语言和操作系统，初步实现了中、小型机微型化。

表 1-1
三代微处理机的性能比较

类型		一代			二代		三代			代
比较项目	4004	4040	8008	8080/8085	Z-80/2-80 A	M6800	LSI-11/23	8086	Z-8000	M68000
典型微处理机										
出厂时间		1971		1972/1976	1976/1977	1977	1979	1978	1979	1979
MPU的晶体管数		/		4800/—	8200	—	—	29000	17500	2000
MPU的门数		/		1600/—	2733	—	—	—	5833	—
字长位数(bit)	4	8			8		16	16	16	16/32
指令条数	46	46	48	78/80	158	72	400	133	414	59
时钟频率(Hz)	740K	740K	1.25M	0.5M/2M	2.5M	1M	4M	5M/8M	4M	250(ns)
芯片工艺	PMOS			NMOS			NMOS	HMOS	NMOS	HMOS
寄存器数	17	17	10	10	22	6	16	13	24	—
寄存器加法速度(μs)	10	10	12.5	2/1.2	1.6	2	—	—	—	—
存储空间(byte)	—			—			128K	1M	16M	16M

以上三代微处理机的性能比较见表 1—1。

1981年以后,微处理机发展进入了第四代。其特点是:采用了超大规模集成电路,开发了32位高档微处理机,如NS16000系列机、iAPX432、MicroVAX II等。它们除了具有微处理机的特点之外,还具有跟中、小型计算机同等的功能,有的甚至具有大型机的同等功能。它们都属于超大规模集成电路式的微处理机。

第二节 微型机的应用

回顾十几年来微型机的发展,它不仅对计算机本身的发展和普及具有重要的意义,而且更重要的是对整个社会的发展起着推动作用。由于微型机具有体积小、灵活性大、耗电少、价格便宜等特点,而广泛用于科学计算,数据处理以及工程控制方面,甚至于家庭和个人也可以使用微型机了。

值得提出的是六十年代末期发展起来的计算机网络。计算机网络是以共享资源(包括硬件、软件和数据)为目的,通过通信线路将多台具有独立功能的计算机互连而成的系统。多台计算机,在地理位置上通常是分布的很广,其连接的方式有集中式、分布式和环式等多种。如果将有限范围内(一般在10km以下)的一些计算机连接成网络就称为局部网络。局部网络发展的背景是微型机的迅速发展和广泛应用。随着各个领域微型机应用的发展,用户希望能增强微型机性能,为此,将多个性能较弱的微型机连接成一个较大的系统,既扩大了机器的功能,又可以达到资源共享。从而担负起大、中、小型计算机的处理功能。目前所提到的局部网络多数是指的微型机网络。微型机网络对于实现分布式数据处理和办公室自动化,对于节省人力、物力、财力、提高劳动生产率和工作效率等方面发挥着越来越大的作用。

可喜的是,近年来汉字信息处理技术有了突破性的进展,各种微型机汉字系统应运而生,这就使微型机更加合乎我国国情,

从而大大地促进了我国微型机的发展和广泛应用。

总之，微型机的发展和应用，将给人类社会带来广泛而又深刻的影响。微型机的发展和应用是一场技术革命，一切领域都要受到这场革命的影响。我们只有掌握计算机特别是微型机知识，才能适应世界新技术革命的形势，为祖国四化建设作出更大的贡献。

第三节 微型机未来的发展

随着微型机的不断发展，许多计算机专家预言，未来的计算机生产将向两极分化，即生产物美价廉的微型机和价格昂贵、功能优越的巨型计算机。但是，这两极分化还有着必然的联系，即微处理机有可能成为未来计算机世界的基本单元（细胞），用这些基本单元来构成巨型机，将是一个重要的途径。

在当代微型机正向着系列化、多机化和软件固化等方面发展。例如，英特尔公司最近宣布的iAPX系列就是微处理机系列化的一个典型。系列化产品都具有向下兼容性。例如，英特尔公司有Intel8008←8080←8084←8085←8086/8088；莫托洛拉公司有6801/5←6800←6809←68000；数字设备公司有LSI-11←LSI-11/2←LSI-11/23←LSI-11/24←MICRO VAX I←MICRO VAX II等，它们都具备了这种兼容性。多机化可大大增强系统功能。例如，用五台iAPX432微处理机构成的多机系统，比PDP-11/70和VAX780计算机功能还要强得多。若利用多台微机系统联成网络，则可以取代大、中型计算机系统（如PDP-11/70和IBM370/158），不仅价格可以降低一个数量级，而且还能够克服由于集中控制而带来的弱点。

目前，微型机正处于由16位向32位过渡的阶段，32位微型机正成为八十年代微型机研制的中心课题。1981年以来，美国的英特尔、国际商业机器、贝尔、数字设备公司等先后宣布研制出32位微型机。有人说：1984年是32位微型机年。展望未来，微型机

将显示出强大的生命力。

第四节 微型机的特点

为了弄清楚微型机和其他中、小型计算机的差别，首先简要介绍一下关于微型机的基本组成，然后介绍微型机与常规计算机之间的差别，最后集中介绍微型机的特点。

一、微型计算机

目前人们在谈论微型计算机时，往往被名目繁多的名词术语所困扰。本书不可能对每一名词术语作一种标准化的定论，但为了便于读者对本书内容的理解，这里有必要首先作些解释。

(一) 处理机

处理机 (Processor) 又称为处理部件 (Processing Unit)，它往往是中央处理机 (Central Processing Unit缩写是CPU) 的简称。处理机是能执行指令序列的硬设备。它是计算机硬件的一个重要组成部分。处理机包括计算机系统的两个基本部件：运算器 (又称算术和逻辑运算部件，即ALU) 和控制器(CU)。计算机系统的其余三个基本部件是存储器、输入和输出装置。在常规计算机中，通常又把CPU和主存储器 (main internal memory) 二者的组合统称为主机 (main frame)。

(二) 微处理机

微处理机 (Microprocessor) 又称微处理器。其缩写为MP或 μP 。国内对这两种说法尚未作出标准化的解释。比较流行的解释是：微处理机是具有中央处理机功能的一片或几片大规模集成电路的处理机。实际上，有的微处理机本身就是微型计算机的中央处理机 (CPU)，有的微处理机还要加时钟发生器和系统控制电路才能构成微型计算机的CPU。

(三) 微型计算机

微型计算机 (Microcomputer) 又简称微计算机。其缩写为

MC或 μ C。微处理机本身还不是微型计算机，但它是微型计算机的核心部分。而微型计算机则是具有完整运行功能的计算机，它除了包括微处理机（作为它的CPU）之外，还包括程序存贮器（一般是只读存贮器，缩写为ROM）、数据存贮器（即随机存取存贮器，缩写为RAM）、输入输出接口电路（I/O）等。总之，微型计算机具有常规的计算机的基本功能，仅仅是功能的强弱程度不同而已。实际上，目前已涌现不少超级微型机，

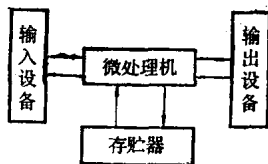


图 1-1 微型机的结构框图

其中有些功能已能跟小、中型、甚至大型机相媲美。微型计算机的结构框图如图 1-1。

（四）微型机系统

一台微型机，除了再配上用户存贮器（如磁盘、磁带、辅助存贮器）、电源、输入/输出设备（如控制打字机、视频显示器等）硬件外，更重要的是还要配上相应的软件，这样才能构成一个微型机系统。所谓硬件（hardware）是指计算机系统在实际装置的总称。它可以是电子的、电磁的、机械的、光的元件或装置，或由它们组成的计算机部件或计算机。仅有硬件的微型机（裸机）是不能发挥作用的。为了使其正常运行，还必须配上软件。软件（Software）是相对于硬件而言的。它包括机器运行所需要的各种程序及其有关资料。软件有时也称为软设备，早先有人称其为程序系统。应该指出的是，过去有人只把各种程序设计语言、各种程序（包括汇编程序、编译程序、操作系统等系统软件以及各种应用程序）称之为软件，这并不全面。除了上述内容之外，各种维护使用手册、程序说明和框图等都应属于软件的范畴。图 1-2 所示为微型机系统组成概貌。

二、微型机同常规计算机的差别

早期的微型机与计算机之间存在着明显的差别，主要表现在微型机的处理能力比较弱。如早期的微型机一般字长只有 4 位、

8 位，而小型计算机则为16位、32位；在存储器容量方面微型机比小型计算机小一个数量级；在运算速度上，微型机比小型计算机慢一个数量级；在小型计算机中大都配置有高级语言，而微型机则只有机器语言、汇编语言或是简单的BASIC语言。尽管在上述方面微型机不及小型计算机，但是由于微型机采用了大规模集成电路，将传统的磁心存储器改为半导体存储器，使之具有体积小、灵活性大、耗电少等特点，因此，它在控制系统中得到了应用。随着大规模集成电路制造工艺的不断发展，微型机在设计 and 制造中不仅注意了 in 体积和灵活性等方面的进一步改善，而且也充分地注意到在功能上的提高。因此，在第三代微型机中，使它在性能上达到和超过了某些小型计算机。目前，从计算技术和集成电路处理工艺上来看，微型机和小型机之间的差别甚微。但是，从使用的角度来看，微型机和小型计算机之间还是存在着一些差别，其主要差别见表1—2。

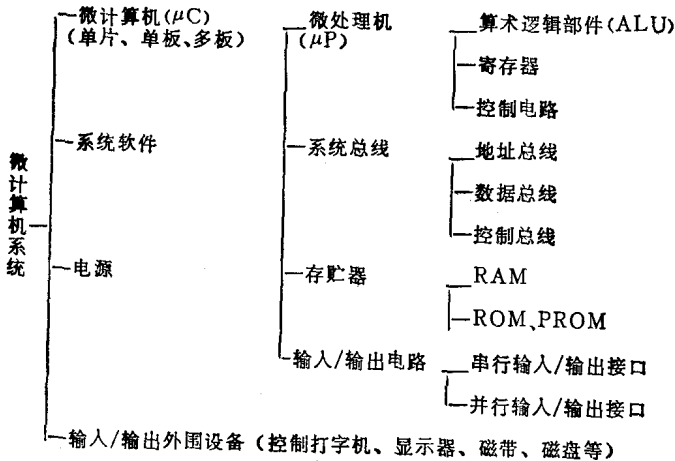


图1—2 微型机系统的组成概貌

大型计算机和小型机在计算性能、存储容量、软件等方面都比微型机的指标高。现以IBM370/168作为大型计算机的代表，

以PDP-11/45作为小型计算机的代表，以PDP-11/23作为微型机的代表。三者之间的主要性能比较见表1—3。

小型计算机和微型机的区别

表1—2

小 型 计 算 机	微 型 机
可以自成系统独立工作 集中形式处理 分时或实时处理 强调整机使用效率 数值计算速度快 存贮容量基本固定	作为控制系统中的一个处理部件 分散形式处理 智能化 强调功能，而不是效率。 数值计算速度慢 存贮容量可变性大

大型、小型机同微型机的性能比较

表1—8

比较项目 \ 机 型	IBM370/168	PDP-11/45	PDP-11/23
价格(美元/台)	450万	15万	3万
字长(bit)	32位	16位	16位
存贮容量(byte)	8.4M	256K	128K
加法时间(μ s)	0.13 μ s	0.9 μ s	1.7 μ s
输入/输出最大速率 (byte/s)	16M	4M	0.5M
通用寄存器数	64	16	8
外部设备	全 部	大 部 分	部 分
软 件	全 部	大 部 分	部 分

三、微型机的特点

微型机其所以能够在国民经济的各个领域中得到广泛的应用，主要是因为它具有下列特点：

(1) 体积小重量轻。由于微型机是由大规模或超大规模集成电路组成的，所以它具有体积小、重量轻等特点。例如，小型计

算机NOVA01的CPU是组装在 $380 \times 380\text{mm}$ 的基板上的;而微型机Intel8080的CPU只用了2~3片大约 $1.5 \times 5.3\text{mm}$ 的芯片。

(2) 灵活性大。利用几台微型机联成网络,可以代替一台大型计算机的操作功能。也就是说,可把大型计算机的集中方式的数据办理任务,分给微型机网络中若干台微型机进行分散方式的数据办理。因此,若干台微型机工作起来要比使用一台大型计算机灵活得多。另外,在微型机中都装有存放固定程序的只读存贮器(ROM),还有用户可以修改程序的可编程只读存贮器(PROM)。这些固定程序的存贮器装在微型机中,为用户使用提供了方便。

(3) 可靠性高。微型机采用大规模集成电路,可大大减少元件、设备、部件之间的相互连线,可减少因连线而造成错误的几率。另外,由于微型机使用了只读存贮器(ROM),故无论是加电和去电以及突然的电源变化,都不会破坏只读存贮器中的固定程序。

(4) 价格便宜。目前国际计算机市场上,微型机的价格最便宜。随着大规模集成电路技术的发展,其价格下降幅度日益增大。

(5) 功耗低。由于微型机中使用的是大规模集成电路芯片,其电源大都是+5V或+12V,故其功耗只有小型计算机的 $1/3 \sim 1/4$ 。如果采用CMOS工艺集成电路,则其功耗还会降低。

(6) 研制周期短、见效快。一般地说,研制一种微型机大约需要6~12人年。因此,改进和采用一种新型微型机比较方便,且见效快。例如,6字节先行取指技术,当时只是在大型计算机的操作中采用,而基于Intel8086的微型机就抢先在小型计算机之前移植了这种新技术。

微型机虽然有上述一些优点,但是也存在着一些不足之处。从全面考虑,跟小型计算机相比,其运算速度低一个数量级;其操作功能也不如小型计算机强。但是,今后随着大规模集成电路工艺的不断发展和完善,微型机也会有新的改进。