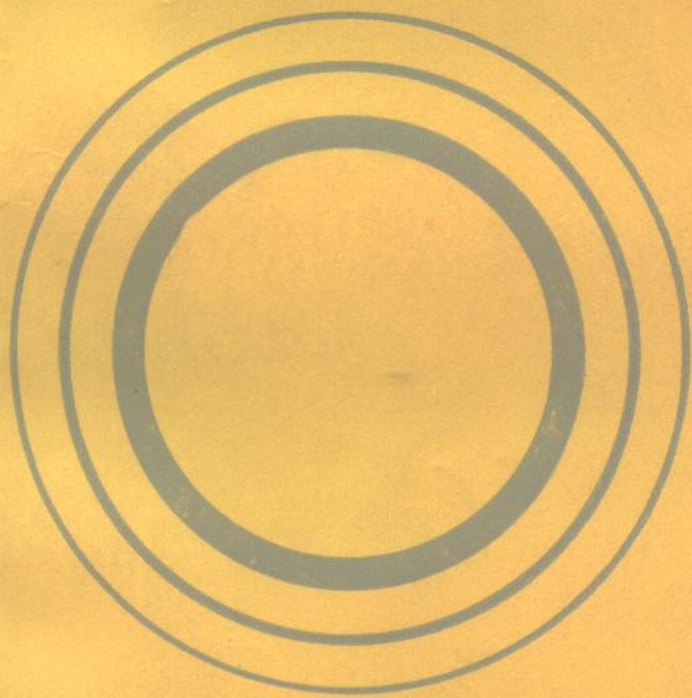


小型计算机系统

组织、程序设计及应用(PDP-11)



中国铁道出版社

T136
AKH/1

XIAOXING JISUANJI XITONG
ZUZHI CHENGXUSHEJI JI
YINGYONG (PDP-11)

小 型 计 算 机 系 统

组织、程序设计及应用 (PDP-11)

[美] 小理查德·H·埃克豪斯 L·罗伯特·莫里斯 著
天津大学计算机工程与科学系 译 许镇宇 校



000980
中 国 铁 道 出 版 社

1984年·北京

内 容 简 介

本书是一本介绍小型计算机系统的组织、程序设计和应用的书。书中主要介绍了计算机硬件和软件结构的基本概念,并根据这些基本概念编制了数据采集程序和数据操作程序。本书对一些较深入而且日益重要的内容,如微程序技术、数据结构、实时交互计算、多道程序等作了较详细的叙述,并附有大量的应用实例。

本书并不仅仅是为使用PDP-11系列计算机的人员编写的,书中介绍的每一种概念或思想,对不直接接触计算机或使用其他类型计算机的人员都是能够理解和接受的,并可以根据自己的经验举一反三。

本书可供从事计算机生产、科研、教学和应用的技术人员使用,也可作为高等院校计算机课的教学参考书。

JSS32/26

MINICOMPUTER SYSTEMS

Organization, Programming, and Applications(PDP-11)

Richard H.Eckhouse, Jr. L.Robert Morris

Prentice-Hall, Inc 1979

小型计算机系统组织、程序设计及应用 (PDP-11)

〔美〕小理查德·H·埃克豪斯 L·罗伯特·莫里斯 著

天津大学计算机工程与科学系 译 许镇宇 校

责任编辑 郭宇 封面设计 王毓平

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 1/32 印张: 18 字数: 468 千

1984年10月 第1版第1次印刷

印数: 0001—31,000 定价: 2.70元

前 言

使用独立的小型计算机的人，会有某种陶醉感。这是因为他完全控制着全部的计算机系统，自认为什么事都能干，什么事都能试一试。研制使用第一批计算机的先驱者一定有过这种感觉，而在今天的系统程序员中也仍然存在这种感觉。

也许有人要提出异议，认为上述感情只不过是一种怀旧病，在今天隔绝的工作室里上机操作，是不会有这种感情的。他们可能指出，一般的计算机用户很满足于用高级语言编程序，还可能进一步说用户是主要关心程序设计，至于计算机的硬件、软件 and 系统设计如果能够完全不管，将是件大快人心的事。

本书不是为上述的人编写的，而是为因陶醉于计算机而要求了解设备奥秘的那些人编写的。

本书是一本介绍小型计算机系统的组织、程序设计和应用的书。它和本书第一版基本相同，主要介绍了计算机硬件、软件的结构和这种构造的基本概念，以及在编制数据采集程序和数据操作程序中如何应用这些概念。在这一版(第二版)中，对上一版所介绍的某些方面进行了补充，并把它扩展到去研究算法、程序和数据结构的相互作用以产生高效软件。新增加的内容包括：执行计算机指令的各阶段（涉及微程序机的实现和操作）、扩充了定点和浮点计算、存储层次和计算机系列的概念。着重讲述了汇编程序、编辑程序、连接装入程序和其他系统软件在有效地产生模块化程序中所起的作用。输入/输出程序中软、硬件合作的某些方面在本版中也得到说明，包括中断和直接存储器访问。最后，本书还介绍了操作系统的地位与功能，并用一个中等规模多道程序系统（已全部文件化了的软件）作为结束。

本版的一个重要特点即上述概念的增强并以大量程序做为范

例，例中包括用于科学数据处理的硬件（模/数转换器、交互制图处理器）和算法（自相关、快速富里埃变换）。本版中还包括了一个高度模块化了的数字示波器软件包，实时语言和音乐综合程序，并对用微程序增强软件功能进行了讨论。这一版所增加的内容可能超出了某些人的需要，但介绍原则仍同第一版，即大量的新思想和新概念都是最适宜在汇编语言这一级上解释的。我们的信念是：熟悉最终导致理解。

我们曾用不同型号的计算机为各类学生讲授过“计算机组成和汇编语言”课程。我们认为，重要的是阐明计算机硬件和软件的基本概念，尤其是对计算机系统和组成影响面大的那些概念。为此目的，经过多种尝试，我们发现用一个实际计算机解释这些概念比用一个假想计算机要好得多。

小型机价格便宜，容易买到，用做本书样机似乎是最好的选择了。这种小型计算机具有以前只在较大型机器中才具备的特性（如重叠操作、中断、多寄存器、乘除硬件等），它们很受欢迎，成为多种系统中不可分割的部分。选用PDP-11系列计算机很适合本书目的，用它足以说明计算机组成和汇编语言程序中的各种问题。

我们假定本书读者都学完了一种面向过程语言的基本课程。因为FORTRAN语言已普遍使用并已成为普通常识，所以本书的很多例题是用FORTRAN语言来说明的。实际上用一种高级语言（FORTRAN）去解释一种低级语言（MACRO），其目的并不限于彼比例证。因为程序设计的基本原理和技巧大部分不依赖于所使用的语言，所以用各种不同级别的不同语言都能有效地说明新的思想。对于本书读者，可使他们在学习PDP-11程序设计某些细节的同时，能够十分自然地建立起数字计算机和程序设计的基本概念。

学习机器语言和汇编语言只需一次，所以研究计算机实际结构通常只有一次机会，以后经常是学习或使用在操作系统管理下的逻辑机，所以观察不到它的构造和一些基本性能。本书在实体

机这一级上要阐明构成一个灵巧的逻辑机所需要的主要操作特性。我们力图使叙述具有一定的深度和广度。

我们当初选用PDP-11做为本书的实际机器，原因是很多的。PDP-11有很多特色，如丰富的指令系统，通过寄存器寻址的高度灵活性和输入/输出操作的方便性，等等。另外，PDP-11发展成很多型号，可以使用多种外围设备，现有软件也丰富多彩，这些特点在计算机领域中可能是绝无仅有的。此外，为用户欢迎这一事实以及结构评价方面的研究都证实了PDP-11是优秀的。最后还要指出，其他厂家生产的计算机也模仿PDP-11的一些优点，并且DEC公司自己还把PDP-11的体系结构向上发展成为VAX-11机，该机的一些特点本版中也做了介绍。

简言之，我们总是试图先介绍一种概念或思想，然后说明如何在PDP-11上实现它，而不是把顺序颠倒。我们不打算使本书成为完全讲数据结构或计算机结构的书，所以经常是为了说明一种程序概念才介绍一种结构原理。我们希望，不直接接触计算机或使用其他类型计算机的人们也能理解这些概念，并能根据自己的经验举一反三。

下面将按顺序列出各章的主要内容。

第1章，简短地介绍计算机革命所产生的影响和引起的问题。

第2章，介绍计算机的基本知识。这一章不依赖于任何特定的机器，它的主要内容包括：计算机和它的组成、程序设计基础（如编制流程图、编程序、编符号程序和指令类型）、操作数的寻址结构和在一般机器中采用的地址规定与运算（如指令加工基础、作为符号汇编程序的功能以及利用程序本身进行程序设计等）。

第3章，介绍PDP-11的组成和构造。这一章的主要内容包括：数据表示法、指令格式、寻址方式、用简单例子说明在该机上如何实现基本操作、在MACRO-11中介绍汇编程序的扩充属性（如命令）以及机器结构的系列化概念，包括存储器组成与指令

执行效率之间的相互关系。存储器的扩充和管理、程序保护。

第4章，进一步讨论程序技术和程序结构，尤其是做为模块化基础的那些程序组成（如子程序、协同程序、宏功能等）概念。然后把它扩充到位置独立码、再入性、递归。本章列举很多例题以加深理解。

第5章，数据处理和数据结构。本章介绍了字节处理和逻辑操作技术，以及整数乘除、多重精度运算和浮点运算的基本算法。用很多例题解释了为扩充算术运算功能的PDP-11加强型结构，其中一些例题在以后一些章中还要用到。解释了内部数据和外部数据形式之间的关系。算法经常蕴含着便利此算法的一种数据结构，因此本章用大量篇幅描述象数组、堆栈、队列、解队（*deque*）和列表等数据结构的表示、存储和运算等技术。用了很多例题说明了计算机结构，特别是寻址技术，和用软件实现数据结构二者间的相互作用。解释以上概念时仍用符号汇编程序为工具。

第6章，在微机器级上描述计算机的结构和组成。本章介绍了计算机的最基本模块，表明如何用它们组成和互连成寄存器与运算器。然后以PDP-11的数据通路为实例，介绍如何用程序来控制这些部件，介绍时对PDP-11/60微机器级的主要资源做了较详细的描述。随后，说明如何用微程序去控制这些部件以执行现有的和新增的PDP-11机器语言指令，以及如何控制指令的执行顺序。PDP-11/60是个实际机器，它的设计考虑了用户可自己编制微程序。因此它的微结构既简单、易于理解，而其功能又强有力能实现象并行处理这类概念。虽然本章中介绍的概念仅只在下一章中才略有引用，从这意义上说本章可做为选读，但读者会发现它的内容是有益的，用它可以加强诸如汇编程序中的宏汇编等概念。同样，为理解所介绍的概念并不一定非通过PDP-11/60不可。

学会了编程序以后，如果不能往计算机中输入数据，或不能从计算机中取出结果，也是毫无价值的。因此第7章介绍了I/O

程序，从基础到中断。本章中还介绍了一些系统软件，这些系统软件是由生产厂家提供的，目的是为了有效地利用 I/O 设备，并可帮助程序员编制涉及到输入/输出的程序。以实际系统 (RT-11) 为例，既有实用价值又相当简单，并且具有代表性。本章最后一节自然地引导读者到下一章内容，系统软件。

宏汇编程序的性质和操作在第 2、3 和 4 章中已做过一些介绍，第 8 章则介绍在大多数小型机中都能遇到的其他系统软件资源。题目包括一个编辑程序（显示终端“窗口”的编辑程序）、链接和装入过程，和一个在线动态排错程序的软件包。

此后，本书分为平行而又稍具独立性的两个渠道，二者具有相同的目标：第一，进一步介绍小型机用户关心的一些题目；第二，从更高的水平加强说明所讨论过的题目。

第 9 章，介绍算法、计算机结构和计算机程序三者间的相互作用，制图采样算法和科学数据处理方面的程序。介绍了两种有用而又比较容易编程序的算法：自相关和富里埃变换（通过 FFT 技术）。然后检查了不同程序结构的时、空效率。列出了一个用 PDP-11 扩充指令集 (EIS) 编写的 FFT 程序，并加以说明。最后还举出了用不同算法和用 PDP-11 增强型结构浮点处理器 (FPP) 编出的 FFT 程序，并与 EIS 的 FFT 程序进行了比较。在学习第 9 章的内容时并不要求对算法的物理意义和应用完全了解。在第 10 章中则特别解释了 DFT/FFT 的物理意义和应用，同时加深对模块化程序、中断处理、并行处理和微程序功能等概念的理解。在这一章中还介绍了模/数转换器和实时时钟程序，并说明如何用于制图。然后说明自动更新的图形处理器如何产生更复杂的图象，同时可减轻主处理机的计算工作量。用子图形结构和光笔来说明图形处理器和中央处理机是怎样合作的。用一种显示灰度图象的技术去介绍语言（说话）和语言处理。用字符串处理技术可以把英文书翻译成各种命令，然后用一个能买到并且价格不贵的语言综合器去读这本英文书。字符串处理是 PDP-11 的系统子程序，在新近的机种（如 VAX-11）中它是一条指令。

最后，以简短的程序为例，说明计算机只用软件就能产生高质量的实时语言和音乐。

在讲述过计算机组成、汇编语言程序、硬件特性和系统软件以后，第11和12章则把它们综合、统一起来。首先在第11章中解释了为什么需要操作系统，考虑它的要求和如何提供这些要求，给出了一个通用的操作系统。

最后介绍给读者一些小型机系统操作环境的其他应用领域。第12章描述了一个中规模多道程序系统，这系统简单易懂，但却包含了较大的实时操作系统中所遇到的大部分概念。这系统代表着一个应用环境，读者通过对它全部组成的详细分析，可以学会把这个基本的系统用于扩大了的特殊用途。

为了帮助读者学习，本书收集了很多逐步加深的例题、思考题。因为有些题目可能需要进一步的资料，所以象数制、逻辑操作导论、控制台等附录就是为此要求而设的。本书中不论是详细列出或简单提到的软件模块，大部分都以计算机可读的形式能从DECUS（DEC公司用户协会）的程序库中获得。

希望这本书能成为走向计算机科学一些高级论题的阶梯。为此，我们力图介绍给读者一些为进一步理解计算机系统所必需的（和充分的）技巧。我们的目标并不在于教会读者使用PDP-11和为它编程序，虽然我们也希望读者能获得对该机的充分工作知识。我们更期望的是在读本书时，读者意识到是在学习计算机部件的基本概念和计算机系统的组成原理。

译者的话

《小型计算机系统》是为学习计算机工作原理而编写的一本书。它以小型系列机PDP-11为样机，全面地描述了计算机软、硬件的构造、程序的编制和一些具体应用。该书第一版曾受到广大读者的欢迎。本书是根据1979年出版的增订第二版翻译的。

本书比较全面地介绍了小型计算机系统，其中很大篇幅用于系统软件。对一些较深入而日益重要的内容，如微程序技术、数据结构、实时交互计算、多道程序等也都有较详细的叙述，并附有大量实例。因而使本书内容具有一定的深度和广度。

我们认为这是学习计算机原理的一本较好的书籍。原书作者对编辑本书的一些想法，在前言中已做了说明。

参加本书翻译的有：严武（前言、第1和第6章）、何莉（第2章）、姚文庆（第3章）、王同胜（第4章）、韩伯韵（第5章）、皮大鹏（第7章）、王世媛（第8、9章）、翁瑞琪（第10章和附录）、来珠（第11章）、杨丽英（第12章）。全书由许镇宇校阅。

译者殷切希望广大读者对译文不妥之处提出批评和指正，并谨先致谢。

译者

1983年7月

目 录

1. 结 论	1
1.1. 计算机的要求	1
1.2. 计算机应用	2
1.3. 计算机的能力和局限性	4
1.4. 计算机的结构、组成和实现	4
2. 计算机构造: 硬件和软件	7
2.1. 计算机硬件: 基本部件	7
2.1.1. 运算器	8
2.1.2. 控制器	8
2.1.3. 存储器	8
2.1.4. 输入/输出设备	9
2.1.5. 存储器的构成	9
2.2. 计算机软件: 从指令到程序	11
2.2.1. 程序设计阶段	11
2.2.2. 程序的定义和文件编制	12
2.2.3. 程序的编写	16
2.2.4. 存储程序的概念	17
2.2.5. 指令的类型	17
2.3. 操作数地址的结构	18
2.3.1. 三加一地址和三地址机	18
2.3.2. 二地址机	20
2.3.3. 一地址机	21
2.3.4. 寄存器通用机	22
2.3.5. 零地址机	23
2.4. 地址的规定和操作	25
2.4.1. 基本的地址规定	26
2.4.2. 地址的修改	28
2.4.3. 通用寄存器	30
2.4.4. 立即方式	32
2.4.5. 自动变址	33
2.4.6. 间接寻址	33
2.5. 计算机处理一条指令的步骤	35

2.5.1.	指令、操作数及执行阶段	36
2.6.	符号汇编程序：一种程序设计工具	39
2.6.1.	汇编过程	39
2.6.2.	位置计数器	40
2.6.3.	符号地址	40
2.6.4.	符号程序设计语法	41
2.6.5.	控制语句	43
练 习		43
附 录		46
3.	PDP-11系列机	47
3.1.	PDP-11的结构	48
3.1.1.	单总线概念	48
3.1.2.	运算器	49
3.1.3.	快速运算处理	49
3.1.4.	控制器	50
3.1.5.	随机存取存储器和输入/输出页	52
3.2.	数据表示	53
3.2.1.	数制	54
3.2.2.	计算机中数的表示方法	55
3.2.3.	负数	56
3.2.4.	定点(整数)数	56
3.2.5.	浮点数	57
3.2.6.	字母数字字符	60
3.3.	PDP-11指令格式和地址形式	60
3.3.1.	操作组指令	61
3.3.2.	单操作数指令	62
3.3.3.	双操作数指令	68
3.3.4.	条件转移	70
3.3.5.	PC用作通用寄存器	71
3.4.	MACRO-11汇编程序	78
3.4.1.	抽样程序	80
3.5.	PDP-11计算机和存储器结构	83
3.5.1.	系列的概念	83
3.5.2.	技术实现	84
3.5.3.	兼容性	85
3.5.4.	指令加工阶段	86
3.5.5.	程序执行速度：UNIBUS、FASTBUS和高	

速缓存	87
3.5.6. 存储器管理及保护	90
练 习	92
附 录	95
4. 程序设计技术和程序结构	96
4.1. 跳转指令	96
4.1.1. 跳转表问题	96
4.2. 子程序	97
4.2.1. 堆 栈	98
4.2.2. 子程序的调用和返回	99
4.2.3. 变量的传送	102
4.2.4. 在子程序中寄存器的用法	105
4.3. 与位置无关的程序设计	106
4.3.1. 与位置无关的地址方式	106
4.3.2. 绝对方式	108
4.3.3. 编写自动的PIC	109
4.3.4. 编写非自动的PIC	110
4.4. 高级子程序的概念	112
4.4.1. 重入性	112
4.4.2. 递归	114
4.4.3. 协同程序	116
4.5. 宏指令和宏汇编程序	117
4.5.1. 定位和生成符号	119
4.5.2. 宏指令的嵌套	120
4.5.3. 宏定义内部的宏调用	121
4.5.4. 递归调用和条件汇编	122
4.5.5. 重复块、链结和数值变量	125
4.5.6. 宏汇编程序的能力	126
练 习	131
附 录	135
5. 数据操作和数据结构	136
5.1. 字节处理和字符代码	136
5.2. 定点运算	137
5.2.1. 进位和溢出	137
5.2.2. 多精度加/减法	139
5.2.3. 移位	142
5.2.4. 乘法	144

5.2.5.	除法	151
5.2.6.	扩展的转移指令集	154
5.3.	逻辑操作	156
5.4.	浮点运算	157
5.4.1.	乘/除法	158
5.4.2.	加/减法	158
5.4.3.	浮点指令集 (FIS)	159
5.4.4.	浮点处理器 (FPP) 的结构和指令集	162
5.5.	内部和外部的数据形式	166
5.6.	数据结构介绍	167
5.6.1.	数 组	168
5.6.2.	堆栈、堆架和队列	174
5.6.3.	列 表	181
5.6.4.	汇编过程	187
5.6.5.	实践中的数据结构	193
练 习		195
附 录		196
6.	PDP-11微机器结构和微程序	197
6.1.	布尔代数、逻辑函数和计算机部件	197
6.1.1.	简单逻辑电路	198
6.1.2.	计算机部件	202
6.2.	微程序机概述	206
6.2.1.	结构与组成	206
6.2.2.	PDP-11/60微机器的结构	207
6.3.	PDP-11/60的数据通路	207
6.3.1.	算术及逻辑运算部件	210
6.3.2.	A、B便笺	211
6.3.3.	C便笺	213
6.3.4.	ALU的输入/输出部件	213
6.4.	微循环	214
6.4.1.	多操作微指令	214
6.5.	移位树和移位寄存器的构造和应用	216
6.5.1.	移位树	216
6.5.2.	移位寄存器	218
6.5.3.	移位小结: 移位树和移位寄存器	219
6.6.	数据通路的输入/输出	219
6.7.	剩余控制概念	226

6.8.	微指令顺序和转移的微测试 (BUTS)	220
6.8.1.	微转移	220
6.8.2.	正规的 BUT	221
6.8.3.	活动的 BUT, 计数器	222
6.9.	微指令的并行性: MUL 指令	222
6.9.1.	通过 D 寄存器、SR 寄存器和移位树实现乘法	222
6.9.2.	通过 D 寄存器和移位树进行乘法	224
6.10.	在 PDP-11/60 机上实现 PDP-11 指令集	225
6.10.1.	I 阶段	225
6.10.2.	O 阶段	226
6.10.3.	E 阶段	226
6.11.	结束语	226
练 习		227
附 录		228
7.	输入/输出程序设计	229
7.1.	基本 I/O 程序设计 with 操作	230
7.1.1.	设备寄存器	231
7.2.	主要外部设备的工作原理	231
7.2.1.	键盘/读出机终端	232
7.2.2.	打印/穿孔终端	234
7.2.3.	简单的程序设计一例	235
7.2.4.	一个八进制的转储程序	236
7.2.5.	高速读出/穿孔机	241
7.3.	初始装入问题	243
7.3.1.	软件自引	243
7.4.	磁带和磁盘存储设备	247
7.4.1.	DEC 带的操作	247
7.4.2.	DEC 带程序设计举例	251
7.4.3.	磁盘操作	253
7.4.4.	一个 DEC 盘的程序设计	255
7.5.	中 断	258
7.5.1.	中断连接	259
7.5.2.	中断期间的机器状态	259
7.5.3.	中断的堆集	259
7.5.4.	中断优先权	260
7.5.5.	自动优先中断	261
7.5.6.	读出机的中断服务程序	262

7.5.7.	优先级与中断屏蔽.....	264
7.5.8.	中断向量和设备的绝对或相对编址方式的比较.....	272
7.6.	记录和缓冲.....	273
7.6.1.	计算同I/O处理的重叠.....	274
7.7.	I/O程序设计系统.....	274
7.7.1.	RT-11IOPS的例子.....	275
7.7.2.	IOPS的连接问题.....	277
7.7.3.	其他中断与陷阱.....	278
7.7.4.	陷阱指令的系统处理.....	279
7.7.5.	使用RT-11系统宏指令的协同程序举例.....	279
7.8.	存储管理与PSW.....	281
7.8.1.	PSW 扩展.....	281
7.8.2.	存储管理和处理器方式.....	282
练习		285
附录		286
8.	系统开发软件.....	287
8.1.	编辑程序.....	287
8.1.1.	RT-11编辑程序的使用.....	290
8.1.2.	窗式编辑程序.....	291
8.2.	装入程序.....	293
8.2.1.	程序的浮动.....	295
8.2.2.	连接和装入.....	296
8.3.	排错技术.....	300
8.3.1.	一个排错会话的例子.....	302
8.4.	应用软件和操作环境.....	303
练习		304
附录		304
9.	算法实现的高级程序设计技术.....	305
9.1.	程序分析程序.....	305
9.1.1.	活动与指令分析.....	306
9.1.2.	一个初步的指令跟踪程序.....	306
9.2.	在科学程序设计中时间/空间的权衡.....	308
9.2.1.	与数据有关和与数据无关算法.....	309
9.3.	算术数据处理的算法结构.....	312
9.3.1.	自相关.....	312
9.3.2.	离散富里埃变换(DFT).....	315
9.3.3.	快速富里埃变换(FFT): 推导和实现.....	316

9.4.	时效数字信号处理软件的自动生成	321
9.4.1.	软件生成	321
9.5.	实现计算核的程序结构	322
9.5.1.	直接插入程序	322
9.5.2.	子程序	323
9.5.3.	线索代码	325
9.5.4.	连结代码	326
9.5.5.	自相关结果: 时间、空间和硬件	329
9.6.	快速富里埃变换: 一个时效的EIS的实现	330
9.6.1.	蝶形计算模块	332
9.6.2.	FFT 结果: 时间、空间和硬件	340
9.7.	高级语言输出代码的另一种形式	341
9.7.1.	线索代码	342
9.7.2.	直接插入程序(EIS/FIS)	345
9.7.3.	直接插入的优化代码(EIS/FPP)	348
9.7.4.	直接插入的优化代码 (VAX-11 FIV PLUS)	351
9.7.5.	高级语言与汇编语言的对比	353
附 录		355
10.	实时交互式计算	356
10.1.	模/数转换器: 结构和程序设计	356
10.1.1.	D/A转换器	357
10.1.2.	A/D转换器	359
10.1.3.	取样要求: 位数/样值和取样率	360
10.1.4.	A/D、D/A和实时时钟的程序设计	360
10.2.	交互式图示处理机	366
10.2.1.	刷新管显示处理机 (DPU)	366
10.2.2.	VT-11图示处理机指令和数据字格式	367
10.2.3.	动态显示文件的处理	374
10.2.4.	CPU/DPU协作的图示子程序	375
10.2.5.	光笔的交互作用	377
10.3.	通过CPU、DPU和A/D的交互作用的联机数字式信号处理	379
10.3.1.	通过快速富里埃变换的频谱分析	381
10.3.2.	PDP-11/VT-11数字式示波器: 软件结构的模块法	382
10.4.	快速数字式语音频谱图的生成和显示	396