程序实习

复旦大学数学系　编著

上海科学技术出版社

程 序 实 习

（試 用 本）

复旦大学数学系　編著

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本书系复旦大学数学系計算数学专业革新教材之一。內容包括 M-3 机器一般描述，邏輯图，框图，循环，子程序，程序組織及計算方法与程序相結合的內容。可作綜合大学計算数学专业程序实习課程的教材，亦可作高等院校有关专业的参考书。

程 序 实 习

(試 用 本)

复旦大学数学系 編著

*

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

上海市书刊出版业营业許可証出 093 号

新华书店上海发行所发行 各地新华书店經售

上海新华印刷厂印刷

*

开本 850×1168 1/32 印张 3 16/32 字数 80,000

1960年8月第1版 1961年3月第2次印刷

印数 6,001—10,000

統一书号：13119 · 384

定 价：(十) 0.42元

編 輯 說 明

我們受到全国持續跃进的大好形势的鼓舞和推动，积极响应了党的号召，在两年来教育大革命已經取得偉大成績的基础上，掀起了一个声势浩大的教学改革的群众运动。通过这个运动，我們揭露了現在教学体系、教学内容和教学方法上陈旧落后的状况，抓住訂方案、編大綱、写教材、搞試驗等重要环节，試图建立一套以馬克思列宁主义、毛澤东思想为指导的，反映現代科学发展水平的，理論联系实际的新的教学体系和內容，以及与之相适应的教学方法，使培养人才的工作更好地貫徹党的社会主义建設总路綫的精神。

作为这种新的探索和尝試，我們在教学改革运动中，师生結合編写了一套数学专业試用的基础課程教材。在这个基础上，我們又編写了計算数学专业試用的基础課程教材，这套教材包括計算方法、程序設計、綫性代数、程序实习四种。我們在編写这套教材的过程中力求遵循以下几个原則：

一、根据我国社会主义建設和現代科学发展的需要选取材料。例如在計算方法中选取了最近随着力学等方面发展而产生的一些新的非綫性方程計算方法；程序設計中选取了标准程序及自动程序等內容。

二、在材料的选取和闡述上注意到"实践——理論——实践"的原則。例如在計算方法及程序設計中，新概念的引进一方面注意到它的实践来源，同时又尽可能指出所得結果的实践意义。在材料的选取上还注意到学科間的相互联系。例如在計算方法課程

中注意到与数学分析、高等代数、程序实习等課程的相互配合；又如在程序实习課程中注意到与程序設計、数学物理方程、計算方法等課程內容的衔接。

三、根据各課程特点，在編写时也注意到教学方法，使更有利于同学掌握与运用。例如在程序实习中，强調同学自己动手編制程序，幷进行群众性的課堂討論和总結提高的教学方式。

由于我系計算数学专业成立于1958年，絕大部分同志缺乏教学和实际工作的經驗，因此这套教材一定有很多不足之处，我們恳切地希望讀者提出批評与指正。

上海科学技术出版社和商务印书館上海印刷厂对这套教材的迅速出版，給了极大的支持，我們在这里表示衷心的感謝。

复旦大学数学系

1960年5月

序

程序实习是一門新开設的基础課程(安排在一下或二上)。其目的是使同学們在学了数学分析、綫性代数、微分方程中的若干計算方法之后，能运用这些方法，在电子計算机上解題，具有上机器解題的組織能力，并为解决生产实际問題及进一步学习程序設計理論打下基础。

根据本課程的开設目的，在取材上是以程序設計基础与計算方法相結合。在教学方式上則是在教师指导下，講課、課堂討論和課外实习相結合。在課程时間的安排上，教师講授只占本課程总学时的 $^1/_4$ 左右，其他时間用来作課堂討論和实习。

由于編者水平有限，这方面知識掌握不多，尤其缺乏实际經驗，而形勢迫切需要，編写时間短促，不免有錯漏之处，望讀者批評指正。

复旦大学数学系程序实习編写小組

1960年5月

目　录

第一章 机器的一般描述与 M-3 指令系統

近代科学与技术的发展給数学提出了旣复杂又繁重的計算任务，这样的任务已經不能用台式計算机来解决了。由于現代无綫电电子学、脉冲技术等成就在技术上提供了条件，使人們能制成每秒鈡进行成千上万次高速度运算、并能代替部分脑力劳动的計算工具——快速数字电子計算机。这种机器的出現，又进一步促进了科学技术的发展。

电子計算机一般分模拟机和数字計算机两类。模拟机的計算原理，是利用物理上电压、电流与时間的依賴关系，来模拟数学方程中自变量与函数的依賴关系，这是一个連續的表示方法，它的精确度較低。一般数字計算机是利用自变量和函数的依賴关系，把解数学問題归結为四則运算，它是按預先給定的程序进行工作的，精确度高，是近代解决生产实际問題的有力工具。因此下面我們将数字計算机的基本結构、性能作扼要的介紹。

§1 数　制

現代数字电子計算机是用电子管或磁性材料构成的，用物理的电磁状态来表示数。例如一个电子管在导电状态表示 1，在不导电状态表示 0；一个灯泡在亮的状态表示 1，不亮的状态表示 0；磁性材料磁化后有两种方向，阳极或者阴极，两种方向中取一种表示 0，另一种表示 1。显然，数量用二进制数来表示，特別适宜于在

电子計算机上进行运算。这一节将介紹二进制以及有关的数制，各种数制間的轉換方法。

一、十进制，二进制，八进制

数量 x 可用十进制数表示为

$$x=\alpha_1 10^m+\alpha_2 10^{m-1}+\cdots+\alpha_n 10^{m-n+1}+\cdots,$$

其中 α_i $(i=1, 2, \cdots,)$ 为 0, 1, …, 9 中的某一个数，m 为整数。

x 也可以用二进制数表示则为

$$x=\beta_1 2^p+\beta_2 2^{p-1}+\cdots+\beta_n 2^{p-n+1}+\cdots,$$

其中 β_i $(i=1, 2, \cdots,)$ 取 0 或 1，p 为整数。

用 R 进制数来表示 x 也可写成

$$x=\gamma_1 R^q+\gamma_2 R^{q-1}+\cdots+\gamma_n R^{q-n+1}+\cdots,$$

其中 γ_i $(i=1, 2, \cdots,)$ 取 0, 1, …, $R-1$ 中的某一个数，q 为整数。

[例 1] x＝二百五十六，則有

$$x_{(10)}=256=2\cdot 10^2+5\cdot 10+6\cdot 10^0,$$

$$x_{(2)}=100,000,000$$

$$=1\cdot 2^8+0\cdot 2^7+0\cdot 2^6+0\cdot 2^5+\cdots+0\cdot 2^1+0\cdot 2^0,$$

$$x_{(8)}=400=4\cdot 8^2+0\cdot 8^1+0\cdot 8^0.$$

本例中把数量 x 用不同的数制表示，因而有不同的数形。$x_{(10)}$ 較簡短，看来容易理解，人們也习惯这一形式。$x_{(2)}$ 数形很长，人們不习惯，但每一个数位上只出現 0 或 1 两种状态，物理实現极为容易。$x_{(8)}$ 数形較短，把 $x_{(2)}$ 三位一撇，撇好后每三位用 0～7 之間某一整数表示出来就得到 8 进位。三位二进位与 0～7 的对应关系是

000	001	010	011	100	101	110	111	(1-1)
0	1	2	3	4	5	6	7	

从上例看到八进位数兼有十进及二进的优点，数形短，与二进位接近，以后我們把八进制作为过渡数制。如果我們取得了八进

制，只要按(1-1)对照表逐位展开成二进制就能取得二进制数。

[例 2]　$x_{(8)}=237$，

$x_{(2)}=010\ 011\ 111$.

（讀者可驗証一下）

二、各种数制間的轉換关系

在編程序时常用八进制数，已知十进制数，化为八进制的化法也是常用的。所以下面就对各种数制間的轉換关系如 10→8，10→2，2→10 进行討論。

1．整数 10→8．設已知正整数 $x_{(10)}$，求 $x_{(8)}$．因

$$x_{(10)}=x_{(8)}=\alpha_0 8^0+\alpha_1 8^1+\cdots+\alpha_r 8^r$$
$$=\alpha_0+(\alpha_1+\alpha_2 8+\cdots+\alpha_r 8^{r-1})8,$$

故 α_0 为 $x_{(10)}$ 用 8 整除后的余数。一般公式为

x 除 8，余数为 α_0，商为 q_1；

q_1 除 8，余数为 α_1，商为 q_2；

……

商为 0 时余数为 α_r，即最高一位 8 进位。

2．小数 10→8．設已知正小数 $x_{(10)}$，求 $x_{(8)}$．因

$$x_{(10)}=x_{(8)}=\alpha_1 8^{-1}+\alpha_2 8^{-2}+\cdots+\alpha_r 8^{-r},$$
$$8x_{(10)}=\alpha_1+(\alpha_2+\cdots+\alpha_r 8^{-r+2})8^{-1},$$

故 α_1 为 $8x_{(10)}$ 的整数部分．因此

$$\alpha_1=[8x_{(10)}],\quad \beta_1=8x_{(10)}-\alpha_1=(\alpha_2+\cdots+\alpha_r 2^{-r+2})8^{-1};$$
$$\alpha_2=[8\beta_1],\quad \beta_2=8\beta_1-\alpha_2=(\alpha_3+\cdots+\alpha_r 2^{-r+3})8^{-1};$$

……

一般我們要求有限位小数，所以上述 α 取了若干位后（注意 3 舍 4 入）停止。

3．10→2．先 10→8，而后 8→2．8→2 只要按公式 (1-1) 逐位展开就好了（証明从略）。

三、八进制的运算

編程序时須很熟練地用八进制运算，故要求熟練一些規則（尽管这些規則和十进制时相类同）。例如乘法口訣，加法口訣，舍入口訣（3 舍 4 入）等。

乘法口訣，加法口訣可参考下表：

× +	1	2	3	4	5	6	7
1	1	2	3	4	5	6	7
2	3	4	6	10	12	14	16
3	4	5	11	14	17	22	25
4	5	6	7	20	24	30	34
5	6	7	10	11	31	36	43
6	7	10	11	12	13	44	52
7	10	11	12	13	14	15	61

四、邏輯乘法

除了一般四則运算外，另外介紹一种运算，称为邏輯乘法，它在程序設計中有很重要的作用，运算用記号 ∧ 表示。邏輯乘法表为：

∧	0	1
0	0	0
1	0	1

［例 3］ $1011 \wedge 1101 = 1001$.

$$\begin{array}{r} 1011 \\ \wedge 1101 \\ \hline 1001 \end{array}$$

这一算法是按位进行的(不斜角乘)。

[例 4]　有一个 30 位的二进数 x. 要設法把头六位取下来。

[解]　令 $\alpha=111,111,000,000,000,000,000,000,000,000$
$=77\ 0000\ 0000$,

于是,等式

$$y=\alpha\wedge x$$

中的 y 只留 x 的头六位了。

五、(10-2)进制

如果人們由于时間問題,来不及将十进位数化成八进位数,则可用(10-2)进制来表示数。所謂(10-2)进制可由下例說明。

[例 5]　$x_{(10)}=159$.

因 $1\longleftrightarrow0001$, $5\longleftrightarrow0101$, $9\longleftrightarrow1001$,

所以　$x_{(10-2)}=0001,0101,1001$.

一般而言,一位十进制数用四位二进制数表示,数的外形是二进制,但又不是眞二进制,上例 159 的眞二进制为

$$x_{(2)}=010\ 011\ 111\quad(因\ 159_{(10)}=237_{(8)}).$$

所以数量的表示形式对初学程序設計者来說是复杂的,容易发生錯覚的問題。(10-2)进制的作用仅便于使十进数进入机器,但不能作为二进数参与运算,一定要化成象 $x_{(2)}$ 那样眞二进制才能运算。

六、二进制数的运算例

要使用电子計算机,必須对机器的运算有所了解,遇有問題时我們才能分析問題的实质,找出是机器的故障,还是人們弄錯了。現在举一例以描述二进位数的运算概況,从而設想机器是怎样运算的。

[例 6]　在二进制系統下把例 5 的 $x_{(10-2)}$ 化为 $x_{(2)}$.

[解]　設

$$\alpha_1 = 1111\ 0000\ 0000,$$
$$\alpha_2 = 0000\ 1111\ 0000,$$
$$\alpha_3 = 0000\ 0000\ 1111,$$
$$r_1 = 0.00000001 = 2^{-8}{}_{(10)},$$
$$r_2 = 0.0001 \quad = 2^{-4}{}_{(10)},$$
$$c_1 = 001100100 \quad = 10^2_{(10)},$$
$$c_2 = 1010 \quad = 10_{(10)}.$$

因为

$$x = a_1 10^2 + a_2 10 + a_3, \quad a_1 = 1, \quad a_2 = 5,\ a_3 = 9,$$

所以

$$a_1 = (x \wedge \alpha_1) \cdot r_1, \quad a_2 = (x \wedge \alpha_2) \cdot r_2, \quad a_3 = x \wedge \alpha_3,$$
$$x = (x \wedge \alpha_1) \cdot r_1 \cdot c_1 + (x \wedge \alpha_2) \cdot r_2 \cdot c_2 + (x \wedge \alpha_3).$$

或者改为

$$x = [(x \wedge \alpha_1) \cdot \frac{10}{16} + (x \wedge \alpha_2)] \cdot \frac{10}{16} + (x \wedge \alpha_3).$$

令

$$c = 0.1010 = \frac{10}{16}{}_{(10)},$$

则

$$x = [(x \wedge \alpha_1) \cdot c + (x \wedge \alpha_2)] c + (x \wedge \alpha_3)$$

$$\begin{array}{rr}
x & 0001\ 0101\ 1001 \\
\alpha_1 \wedge & 1111\ 0000\ 0000 \\ \hline
 & 0001\ 0000\ 0000 \\
c\ \times & 101\ 0000\ 0000 \\ \hline
 & 0001\ 0000\ 0000 \\
 & 000100\ 0000\ 0000 \\ \hline
 & 0101\ 0000\ 0000
\end{array}$$

$$
\begin{array}{lrl}
x & 0001\ 0101\ 1001 & \\
\alpha_2\wedge & 0000\ 1111\ 0000 & \\
\hline
 & 0000\ 0101\ 0000 & \\
+ & 1010\ 0000 & \\
\hline
 & 1111\ 0000 & \\
c\ \times & 101\ 0000 & \\
\hline
 & 1111\ 0000 & \\
 & 111100\ 0000 & \\
\hline
 & 1001011\ 0000 & =\delta \\
x & 0001\ 0101\ 1001 & \\
\alpha_3\wedge & 0000\ 0000\ 1111 & \\
\hline
 & 0000\ 0000\ 1001 & \\
+ & 1001\ 0110 & =\delta \\
\hline
 & 010,\ 011,\ 111 & \\
 & 2\quad\ 3\quad\ 7 &
\end{array}
$$

习　题

1. 把 $385_{(10)}$ 化为二进位。
2. 把 $0.0512_{(8)}$ 化为十进位。
3. 把 3.9458 化为八进位。
4. 把 $0.252525\cdots_{(8)}$ 化为十进位。
5. 把 $1777_{(8)}$ 化为十进位。
6. 把 2^{-12}, 2^{-18}, 2^{-24}, 2^{-30} 写成八进位。
7. 把 $0.1_{(10)}$ 化成八进位。
8. $0.4_{(8)}$, $0.2_{(8)}$, $0.1_{(8)}$, $0.04_{(8)}$ 的十进位是多少?
9. 写出 $0.5_{(10)}$ 的 (10-2) 进位 x_1, 算出 $0.5_{(10)}$ 的八进位 x_2; 把 x_1, x_2 都当作二进位看待誰大?

§2 机器一般描述

数字电子計算机一般由存儲器、运算器、控制器、人工控制器、

外存儲器、輸入器、輸出器等部分組成，它們之間的联系概要地由图 1-1 所表示。图 1-1 中→表示代碼綫路，即傳送数碼的信号的綫路；⇢表示控制綫路，即傳送控制信号的綫路。

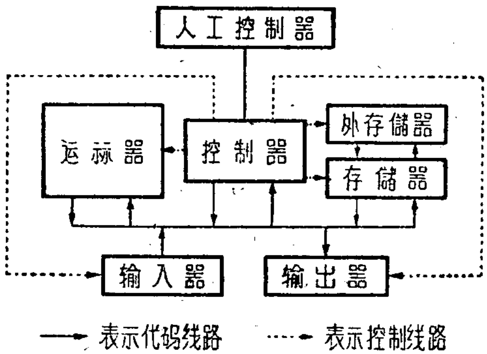

图 1-1

下面分别介紹这些組成部分的作用。

1. 存儲器：我們把数、指令或一組数字記号称为代碼。机器的存儲器是一个記忆装置，它用来存儲代碼，由一些編了号的单元組成。单元的編号称为該单元的地址。通常一个单元中存放一个代碼，但也不尽然，有时問題要求有較高的精确度，可以把一个数存放在两个单元中；有时对精确度要求不高，而又需要很大存儲量的計算，也可以在一个单元中存放 2～3 个数。

存儲器的任一单元的內容（即存于此单元中的代碼），可以作为运算的对象。它的一个最大特点是从存儲器的任意单元中讀出数后，并不改变該单元的內容。但是往存儲器的单元送入代碼时，該单元原来代碼就会消失，故必須十分注意单元的代碼是否允許破坏，如果是允許的，那就可以送入新的代碼，否則就严格禁止送入新的代碼。

2. 运算器：它的功能是将送入运算器中的代碼进行各种运算，并把运算的結果送到指定的地方去。

3. 控制器：用来实現机器的各部分間的联系，这种联系的性质是由程序决定的。

4. 人工控制器：它按照人的意图使机器开始計算或停止工作，可以破坏机器的自动工作、改变存儲内容及工作順序。

5. 外存儲器：是机器附加的存儲器，存儲量很大，它通常是磁性存儲器(磁鼓或磁带)。

6. 輸入器及輸出器：分别用来輸入問題的初始信息(数及程序)，輸出机器工作的結果。

在机器上解决問題时，必須把解法写成机器能完成的一系列基本运算，然后在此基础上給出一系列信息(如指出运算性质及参加运算代碼的地址)，最簡单的信息称为指令。其形式为

$$\theta\ A_1\quad A_2\quad A_3\cdots A_k.$$

其中 θ 为操作碼，A_1，A_2，$\cdots A_k$ 分别称为第 1，2，…，k 地址，它能指出参加运算代碼的地址及送出运算結果的地址，也可能指出下一条工作指令的地址。在指令中包含 k 个地址的机器，称为 k 地址机器。

M-3 机器是二地址的机器，每个存儲单元有 31 位，所存放的数为 $|x|<1$，磁鼓上可存放 2048 个代碼，机器运算的平均速度每秒达 30 次。如果用快速存儲器，机器的工作速度为每秒鐘做 1500～2000 次运算。

§3 M-3 机器的指令系統

为了使机器能按照人的意图进行工作，須要用指令来描写我們的意图，利用指令控制机器工作。每一条指令，要交待四項任务：

1. 取哪些单元里的数进行运算；

2．进行什么运算或操作；

3．运算結果送到哪里去；

4．下一步应做哪一条指令。

[例 7] $\frac{1}{2}+\frac{1}{4}=?\Rightarrow 0004$。

0003	+40	0000	0000	$\frac{1}{2}$
0004	+20	0000	0000	$\frac{1}{4}$
→0005	+00	0003	0004	$\frac{1}{2}+\frac{1}{4}=\frac{3}{4}\Rightarrow 0004$
0006	+77	0000	0000	Ω

上面的数表就表示一个程序，第一列的数是单元的地址数，每一地址右面的一行是一条指令，或一个数。

第一行，表示 0003 号单元中放着数 $\frac{1}{2}=\frac{4}{8}=+0.4_{(8)}$；

第二行，表示 0004 号单元中放着数 $\frac{1}{4}=\frac{2}{8}=+0.2_{(8)}$；

第三行，表示 0005 号单元中放着数+00 0003 0004；这一行开头有一个 →，表示这一单元放的数是指令，并且表示运算从这一条指令开始(以后逐条向下做)；

第四行，表示 0006 号单元中放着数+77 0000 0000，但 0006 的前一个单元 0005 中是运算指令，所以这一单元中的数表示一条指令。

一条指令的开头二位的八进位叫做操作碼，第三、四、五、六的四位八进位叫第一地址，第七、八、九、十的四位八进位叫第二地址。以第三行为例，00 为操作碼，0003 为第一地址，0004 为第二地址。第三行整条指令是“把 0004 中数加 0003 中数送到 0004 中