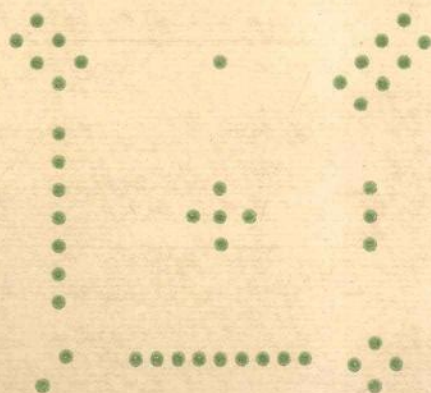


高等学校试用教材

FORTRAN 77

与结构编程

饶材滨 艾应舫 吴仁民 编著



```
PRINT A, ((M(I,J), J=1,9), I=1,9)
```

武汉大学出版社

高等学校试用教材

FORTRAN⁷⁷ 与结构编程

饶材滨 艾应舫 吴仁民 编著

武汉大学出版社

内 容 提 要

本书从程序设计方法学的角度,以结构化程序设计为主线,系统介绍 FORTRAN77 语言。除充分展示该语言的科学计算特长和字符处理功能外,尤其注重程序设计方法。该书结构严谨,层次分明,选材适中,有丰富的例题和习题,便于自学。

本书可作为高等院校理工科非计算机专业的语言教材。也可作为一般工程技术人员和有关管理人员的参考书,还可作为有志自学成才者的实用读本。

高等学校试用教材

FORTRAN77与结构编程

饶材滨 艾应舫 吴仁民 编著

*

武汉大学出版社出版发行

(430072 武昌 珞珈山)

722所印刷厂印刷

*

787×1092毫米 1/16 17.375印张 437千字

1990年9月第1版 1990年9月第1次印刷

印数: 1—3000

ISBN 7-307-00627-8/TP·22

定价: 3.45元

前 言

FORTRAN是一种适用于科学计算的高级语言。它接近于自然语言和数学语言,较易掌握,是国内外使用最广泛的程序设计语言之一。

FORTRAN有多种文本,FORTRAN77是其中版本最新、功能最强的一种。与其它版本相比,它有两个重大改进,一是扩充了语言的功能,二是规范了程序的结构。它擅长科学计算,又能从事事务处理,还可实现结构化程序设计。利用它,人们可以方便地设计出结构清晰、容易阅读、容易调试和容易修改的漂亮程序。

FORTRAN77已在国外广泛使用。近些年来,国内也在积极推广。目前,不论大、中型机还是小、微型机,一般都配备了FORTRAN77。随着现代化建设的不断发展,FORTRAN77必将得到日益广泛的应用,成为理工科大学学生的必修课程和科技工作者与管理人员不可缺少的重要工具。

FORTRAN书刊种类繁多,随手可得。但介绍FORTRAN77者,国内为数较少,所见读物,虽然各具特色,但毕竟难在诸多方面均能见长。例如,有的仅注意语言本身的介绍,而对程序设计的讨论却着力不够,以致程序设计仍然停留在手工艺方式的水平上。有的虽然注意到了工程化的设计方法,但在内容编排上却又往往把语言的介绍和方法的讨论,人为地割裂开来,使人难以从二者的结合上去把握程序设计。有的虽然注意到了语言和方法的有机结合,但涉及的数学知识偏深,或对计算机的一般知识顾及不够,或所选程序过于繁冗,以致既难以自学又不便于讲授。

本书试图为弥补这些不足作点尝试,以使其成为一本适用于理工科非计算机专业的算法语言教程,一般工程技术人员、有关管理人员的参考书和一切有志自学成才者的实用读本。为此,本书力求突出以下各点:

从程序设计方法学的角度介绍FORTRAN77语言

介绍语言的着眼点在程序设计,并非语言本身。本书努力避免单纯的语句罗列和规则堆砌,始终把着重点放在程序设计能力的培养和训练上。

结构化程序设计思想始终贯穿全书各个章节。程序结构规范化和程序设计工程化,是本书的特点之一。除语句外,本书将给出程序系统的一般结构和基本模式,介绍程序设计的基本原则和方法。同时,还注重设计思路的分析和技巧的讨论。因此,本书能为读者较快地转向大型实用程序的设计,打下良好的基础。

鉴于目前人们所接触的FORTRAN程序,大多是非结构化的,本书除突出结构化语句和结构图外,还集中介绍了影响程序结构化的语句和一般流程图,讨论了非结构化程序向结构化转换的问题,以便读者能顺利地阅读任何FORTRAN文献,并使其程序结构化。

结构严谨,层次分明,通俗易懂,便于自学

本书按结构化程序设计的需要和循序渐进的原则,安排所有章节。考虑到有些读者可能初次接触计算机,首先在第一章专门介绍计算机的一般知识,以减少学习本书主要内容时可能遇到的困难。该章伸缩性较大,可酌情选用。第二~七章和第十章的第一、二节,

为本书的基本内容，自成独立体系。这一部分可使读者对结构化程序和其设计方法以及有关的 FORTRAN77 语句，有个系统的认识。第八、九、十一章和第十章第三节，是前一部分的扩充。其内容，专科生可酌情删略。

概念的引入、语句的介绍和法则的叙述，力求深入浅出。易混概念、常用算法和常犯错误，均尽量分析比较。书中集中了较多的实例和习题。凡接触过高等数学者，只要坚持边读书边上机，都不难掌握。其程序全部上机通过，选编时坚持典型性、代表性和可授性相结合，可使读者就解线性方程组、求函数导数和计算定积分等范围较为广泛的基本数值计算问题，自如地编写出相应的程序。

充分展示FORTRAN77的字符处理能力

书中首先把字符数据和数值数据并行地加以介绍，然后开辟专章介绍字符函数、字符数据的传递和应用。希望通过这些介绍和其后文件部分的学习，读者不仅会用该语言进行一般的事务处理，还将为日后学习专门的数据处理语言打下一定的基础。

本书在编写过程中，得到武汉大学计算机科学系黄俊杰教授的热情指导。黄教授详细地审阅了全稿，并提出许多宝贵意见。武汉大学计算中心各位领导和有关同志，武汉工业大学龙其豪高级工程师，武汉大学陈礼榕副教授、甘良才副教授，武汉测绘科技大学刘明华副教授，都给予了热情鼓励和大力支持。武汉大学张鹏章同学，在书稿的整理和校对中付出了辛勤的劳动。此外，本书还从徐光、余启绪、王祖祥和曾庆音等同志的有关文献中，得益匪浅。趁该书出版之际，谨向上述各位致以热诚的谢意。

受水平所限，加之时间仓促，书中缺点错误在所难免，恳请诸位同行和读者不吝赐教。

编 者

一九九〇年元旦于武昌东湖

目 录

第一章 电子计算机的一般知识	(1)
§1.1 计算机的发展	(1)
§1.2 计算机系统	(5)
§1.3 计算机语言	(7)
§1.4 数据的机器表示	(9)
§1.5 算法和程序设计	(15)
§1.6 计算机的工作原理和解题过程	(19)
习题一.....	(22)
第二章 FORTRAN77 程序基础	(23)
§2.1 源程序的组成	(23)
§2.2 数据	(26)
§2.3 表达式	(32)
§2.4 内部函数	(38)
习题二.....	(41)
第三章 数据的输入与输出	(44)
§3.1 语句简介和赋值语句	(44)
§3.2 PARAMETER 语句和DATA语句.....	(48)
§3.3 表控输入/输出语句.....	(50)
§3.4 基本格式输入/输出语句.....	(55)
§3.5 常用格式码	(57)
§3.6 输入/输出的格式控制.....	(66)
习题三.....	(69)
第四章 程序的选择结构	(73)
§4.1 STOP、PAUSE、END和GOTO 语句.....	(73)
§4.2 逻辑IF语句.....	(75)
§4.3 块IF的 语句.....	(78)
§4.4 块IF的 结构.....	(81)
§4.5 块IF的 应用.....	(84)
习题四.....	(91)
第五章 程序的循环结构	(96)
§5.1 文件尾部 记录循环.....	(96)
§5.2 迭代循环.....	(99)

§5.3 计数循环	(103)
§5.4 嵌套循环	(110)
§5.5 循环结构的应用	(115)
习题五	(125)
第六章 数组	(127)
§6.1 数组的基本概念	(127)
§6.2 数组的定义	(130)
§6.3 数组的输入/输出	(134)
§6.4 数组的应用	(140)
习题六	(146)
第七章 FORTRAN77 过程	(149)
§7.1 语句函数	(149)
§7.2 函数子程序	(156)
§7.3 子例程子程序	(162)
§7.4 虚实结合	(168)
§7.5 公用结合	(178)
习题七	(183)
第八章 字符处理	(187)
§8.1 字符函数	(187)
§8.2 字符数据的虚实结合	(193)
§8.3 字符数据的应用	(200)
习题八	(205)
第九章 结构编程中的非常用语句	(208)
§9.1 算术IF 和 GOTO类语句	(208)
§9.2 ENTRY、RETURN <i>i</i> 和 SAVE	(210)
§9.3 EQUIVALENCE 和 BLOCK DATA	(216)
第十章 结构化程序设计	(224)
§10.1 基本概念	(224)
§10.2 基本原则和基本方法	(227)
§10.3 程序的非结构化向结构化的转换	(234)
习题十	(248)
第十一章 文件	(251)
§11.1 文件的基本概念	(251)
§11.2 顺序文件和直接文件	(255)
§11.3 无格式文件和内部文件	(261)
习题十一	(266)
附录I 字符的ASCII码和EBCDIC码	(267)
附录II FORTRAN77内部函数表	(268)
参考文献	(271)

第一章 电子计算机的一般知识

电子计算机到底是何物，何以能算题，又是怎样算题的？为弄清这些问题，有必要在正式学习FORTRAN 语言之前，先了解一下电子计算机的一般知识。

§1.1 计算机的发展

1.1.1 什么是计算机

这里所说的计算机，是电子计算机（Computer）的简称。

众所周知，计算机是一种计算工具。当然，若把它仅仅理解为一种比一般的计算工具速度快一些的电子仪器，那是不够的。但是计算机也并不神秘。它不过是按人的意志办事的一种电子计算装置。较一般计算工具它有如下特点：

① 是电子的。它通过电子线路产生的脉冲传递数据，进行计算。电子线路决定了计算机具有较高的运算速度，以致每秒钟可以进行几百亿次运算。这正是计算机能控制瞬息万变的动作过程的奥秘所在。有了这个特点，计算机才能在宇宙飞船、航天飞机等控制指挥上大显神通。

② 具有记忆功能和判断能力。计算机的存贮器，能存贮（记忆）各种电讯号。不仅数据，且人们要机器进行操作的各命令（指令），即使百万条，千万条，以致更多，它都能一一记住，半点不差。正是有了这种功能，计算机的自动运算和自动控制才成为可能。

判断能力是迄今为止任何其它机器所没有的。这一特点使计算机有可能模仿人脑进行智能活动，而进入仿脑时代。如今的计算机，一般都具有这种功能，因此，又被人们称为“电脑”。

③ 程序控制，自动工作。人们要机器完成的千头万绪的操作，都可以编写为程序，存放在机器里面。机器启动以后，就可以脱离人的干预，自动完成全部操作。

④ 精度高。机器输出的数据，一般可达七位有效数字，也可达到十几位，甚至更多。这可充分满足科学计算上的精度需要。

总之，计算机是一种具有存贮能力、能由程序控制而高速操作的自动电子装置。

依据不同的标准，计算机划分为各种不同的类型。例如，按原理有数字式和模拟式；按用途有通用机和专用机；按元器件有电子管、晶体管、集成电路和大规模集成电路计算机；按结构有单板机、单片机；按规模有微型机、中小型机和巨大型机；按字长有8位机、16位机、32位机和48位机等等。

1.1.2 计算机的发展

电子计算机只有四十多年的历史，但其发展速度却十分惊人。

(1) 世界上第一台计算机

世界上第一台电子计算机是1946年问世的。由美国的科学家们发明。其元件是电子管，速度每秒5000次。这台计算机占地170平方米。现在看来很落后，但它是本世纪最卓越的科学成就之一，它的出现被誉为“新的工业革命的开始”。

(2) 四十年的飞跃

随着元器件的发展，计算机四十年来经历了四个世代的演进：

世 代	所 用 元 件	大 致 时 间
一	真空管	1946~1958
二	晶体管	1959~1964
三	集成电路	1965~1970
四	大规模集成电路	1971~

据统计，世界上每5~8年，计算机的速度提高10倍，体积缩小10倍，成本降低10倍。四十年来，计算机的速度约提高 10^6 倍，内存扩大 10^6 倍。数量也一直在迅猛地增加，大约每十年增加1~2个数量级：

年 份	1950	1960	1970	1980
数 量	25	5000	100000	1100000

(3) 我国的计算机事业

我国计算机的研制工作，虽然1956年才开始起步，但是三十多年来也取得了长足的进步。1958年试制成功了第一代计算机，在当时的亚洲地区占领先地位。1965年试制成功第一台晶体管计算机。六十年代，我国有了自己的X2、121和320等第二代计算机。其速度，有的每秒近30万次。七十年代，我国研制成功了150和130等第三代的中型和小型计算机。八十年代，我国在研制第四代机方面取得了可喜的成绩，既能生产长城0520等微型机，又能生产象“银河”这样的亿次巨型机。

有数字表明，几年前我国已有通用机3000多台，微型机约十多万台。经过近几年的发展，数量更加可观。仅微机，目前已达38万多台。计算机在我国四个现代化建设事业中，尤其在卫星发射、核武器试验和石油勘探等方面作出了重大贡献。

1.1.3 计算机的应用

计算机作为一种现代计算工具，在全世界得到异常广泛的应用。可以说，如今世界各国的一切领域，大至宇宙飞船，小至家用电器，几乎都有计算机的足迹。它既可帮助人类创造宏观世界的奇迹，又能代替人类探索微观世界的奥秘。要全面概括计算机的应用是困难的，这里只能粗略提几个方面。

(1) 数值计算

数值计算也称科学计算。它着重研究自然科学与技术科学的数量关系。现代科学技术提出的各种计算问题，仅靠人工难以凑效，甚至无能为力。用计算机解决这些计算问题，是计

算机最重要、最基本的应用。

数值计算的基本问题包括，线性和非线性代数方程组的数值解法、常微分方程和偏微分方程的数值解法、代数特征值的数值解法、数值积分、插值与逼近等等。这些问题在科研、军事和工程设计部门经常遇到。例如，计算火箭与周围气流的关系，要求解空气动力学方程组；计算人造卫星的轨道，要求解常微分方程组；作天气预报要求解流体力学方面的微分方程组。

早在1948年，美国利用一台初期的计算机，用150小时完成了某项原子能研究计划中的900万道运算。这些计算如用人工，则需1500个工程师工作一年。四十多年前，计算某地区三小时后的气象变化，需6万多人参加；而今天，作一地区四天内的天气预报，一般水平的计算机只需十几分钟。

可以这么说，如今凡人类能够提出来的数值计算问题，计算机几乎都可以给出满意的解答。

（2） 数据处理

当今的社会是信息社会。如同“物质”、“能量”一样，信息已成为一种重要的社会资源。如何充分发挥信息的作用，是现代化建设中的重要课题。

数据是信息的表现形式。它不单指数值量，更重要的还包括那些对事物进行描述的文字、图象和声音等符号。所谓数据处理，就是对数据进行收集、整理、加工、存贮、检索以及传播等操作。计算机的出现使数据处理打破了手工和机械的局限，进入到全自动化的电子数据处理时代。

现在国内外大型企业、政府部门、机关学校的各种事务管理都少不了计算机。计算机已进行的数据处理，包括人事管理、工资发放、人口普查、库房管理、市场分析、帐目管理、图书管理、情报检索和图片处理等等。数据处理已成为计算机应用的一个范围十分广阔的领域。据统计，在这方面的应用占计算机整个应用的90%。如今的计算机不仅从事计算，而且还和“处理”紧紧地联系在一起。

（3） 实时控制

对瞬息万变的动作过程，计算机能自动快速地作出准确的反应。因此，它不仅在炼钢轧钢、配电送电、石油提炼和交通指挥上，而且还在洲际导弹、地球卫星、登月火箭和航天飞机的设计制造和自动控制上，都显示了巨大的神通。

近些年来，微机的进一步发展，大大扩大了计算机在自动控制方面的应用。

（4） 人工智能

计算机在人工智能方面的应用，可算是个崭新的领域。计算机模拟人脑的智能，已经取得了惊人的成就。如今的计算机已经可以做到：能听、能说、能写、会思维、会推理、会学习。博弈、定理证明、医疗诊断、语言翻译、军事决策、乃至艺术创作这些只有人类专家才能从事的工作，计算机都能出色地进行。例如：

计算机下棋，能在五分钟内把每一步的上千种走法都算出来，并能选出其中最好的一步。第一流的特级大师，在计算机面前也会败北。

四色问题，已提出一百多年，是世界上著名的数学难题之一。最后由美国学者于1977年通过计算机1200小时的运算，使结论终于得到了证明。

1978年美国开发的名叫“Bacan”的专家系统，在没有任何预备知识的情况下，对十

七世纪得到的行星观察数据，独立进行分析，不到三分钟时间就推出了开普勒第三定律。

现已在美国的化学研究中普遍使用的专家系统SYNCHEM₂和DENDRAL，分别能合成复杂的有机化合物分子和推断未知化合物的分子结构。

计算机看病已不是新鲜事。美国有个名叫MYCIN的专家系统为人类看病就是一例。有的国家已开始创办智能医院。

在自然语言的处理方面，科技文献标题的翻译系统也已问世，并交付使用。

计算机代替艺术家作曲，代替法官办案已有突破性进展。

目前世界上已有的智能机器人和智能机器手，除能对周围环境作出简单判断之外，还有适应环境、自动确定行动方向的功能。

(5) 计算机辅助设计

这是最近十年来才形成的一个新的重要领域。计算机辅助设计简称CAD (Computer Aided Design) 技术。它利用计算机帮助人们对各种产品和各项工程开展设计工作。如服装、电路、机械、房屋、船舶、飞机以及计算机等等的的设计。

使用CAD技术设计，可以解决人力无法处理的难题，可以大大提高设计精度，缩短设计周期。据知，在飞机设计方面，英国的三叉戟比美国的波音727早三年开始，但它们却同时飞上蓝天。原因是后者使用了CAD技术设计，设计周期缩短了两年。

1.1.4 计算机的发展趋势

计算机的发展趋势，主要有三个方面：

① 现行体系结构的计算机朝着网络化、微小型化和超大型化几个方面发展。联网会更加普遍，微机将进一步普及。

② 新型体系结构的人工智能机正在紧张研制之中，可望在最近的将来有突破性进展。

现有的计算机都是按照美国科学家冯·诺依曼 (Von Neumann) 的结构思想设计的。这个思想的核心是以二进制和程序存贮进行控制。按这个思想设计的所有前四个世代的计算机都是线性存贮结构，其工作原理都一样，统称为冯·诺依曼型机。

冯·诺依曼型机，硬件比较简单。要使它解决现代社会提出来的各种复杂问题，其软件势必会变得非常庞杂。而且随着所处理的问题的难度不断增加，软件的复杂性将会成百倍成千倍地增加。这就必然使软件的生产率和可靠性大大下降，甚至无法保证。

为了从根本上克服这种软件危机，世界上已经开始了第五代计算机的研究。第五代计算机采用全新的工作原理和体系结构。它不仅在技术上，而且在概念和功能上都不同于前面四个世代的计算机，而被称为非诺依曼型机。这种计算机更接近于人类思考问题的方式。其功能将从单纯的数据处理发展到知识的智能处理。

这种人工智能计算机的核心功能有四个方面。一是解题——推理功能。能从已存的知识信息中，自动推测出解题方法并得出正确结论。二是知识库管理功能。即不仅对数据而且能对知识（如规则、语义等信息）进行存贮和检索。三是智能接口功能。这是指通过自然语言（文章或声音）、图形、图象实现人机对话。四是智能程序设计功能。即能把人类给定的题目自动变成计算机程序。

显然，这些划时代的功能如被实现，将给社会的各个领域带来不可估量的影响。例如，可能用本国语言收听世界各国的电视广播节目；可能不需要编写文章，传递报纸，而得到一

切最新的新闻信息；甚至可能用念题目取代艰巨的程序设计工作。

在第五代计算机的研制上，美国和日本做了少的工作，已有了良好的开端。我国也正在努力奋斗。第五代计算机可望在不久的将来问世。

③ 光能计算机的研制。现有的计算机都叫电子计算机。它们的运算过程都依赖于电能。光能计算机是一种不用电而用光的计算机。这种借助光脉冲算题的计算机的运算速度有可能比普通的电子计算机快1000倍，甚至快10000倍。美、英等国正在积极研制之中，有的还取得了可喜的进展。

§1.2 计算机系统

现在我们来分析计算机本身的结构。

任何一台有实用价值的计算机，总是以系统的形式出现，称为计算机系统。计算机系统又分为软件和硬件两大部分。

所谓硬件，是指组成计算机的电子、磁性和机械等物理设备。它们是看得见摸得着的硬东西，故有硬件和硬设备之称。

所谓软件，是为充分发挥硬件效能而配制的各种程序。相对于硬设备，它们是“软”的，因此得“软件”之名。软件也叫软设备。

1.2.1 硬件系统

一个会计用算盘算帐，实际需要四类装置。一是进行运算的算盘，二是起控制作用的人脑，三是用作存贮的纸笔，四是把数据送进取出的人手。

电子计算机看上去似乎很复杂，其实它的结构也比较简单。它由类似于算盘的运算器、类似于人脑的控制器、类似于纸笔的存贮器和类似于人手的输入/输出设备这四大部件组成。

(1) 控制器

控制器相当于人的神经中枢。它按程序的要求，从事下列工作：

- ① 按照规定的顺序取指令；
- ② 分析指令；
- ③ 发出命令。即对于从何处取数，送往何处，做何运算和结果送到何处等发出讯号，以实现操作。

(2) 运算器

其主要部件是加法器和寄存器。主要任务是进行算术运算和逻辑运算。它根据控制器发出的命令进行工作。一般的工作过程是，从存贮器取数到运算器；在运算器内进行运算；把结果送入存贮器。

控制器和运算器是硬件系统的核心。它们合称为中央处理器(器)，简称CPU (Central Processor Unit)。

(3) 存贮器

存贮器是存放数据和程序指令的装置，有内存贮器(简称内存)和外存贮器(简称外存)之分。

内、外存贮器的功能都是存贮信息。二者不同之处在于：内存贮器和CPU紧密相连，

合称**主机**。内存贮器是主存贮器,在机器内部,直接受 CPU 的控制,存取速度快,但容量有限。外存贮器是辅助存贮器,在机器外部,不受 CPU 的直接控制,存取速度慢,但其容量不限。常用的磁盘和磁带就是外存贮器。

下面着重介绍内存贮器。

内存贮器由存贮元件构成的存贮体组成。它分成一系列存贮单元。单元与单元之间形成线性结构。

每个单元都编有序号(称为**地址**)。它又分成若干**位**(bit)。每位能存贮一个二进制数码0或1。

每个存贮单元所含位的个数称为**字长**。也就是说,字长是存贮单元的长度。各种机器字长不一定相同。如,8位、16位、32位和48位等等。字长决定运算精度,字长越长,精度越高。

通常把8位相连的二进制数码称为一个**字节(Byte)**。它是构成信息的基本单位。

图1.1示意字长为32的内存结构。

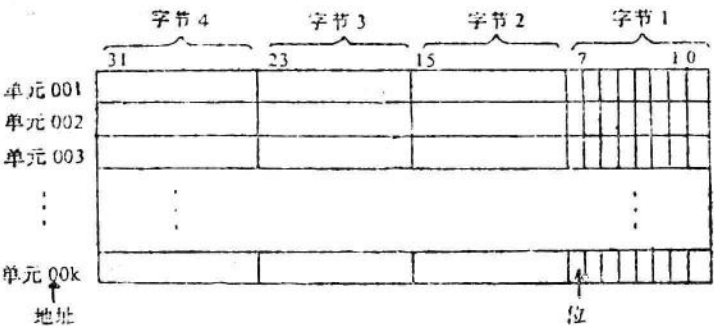


图 1.1 内存结构

内存所能存贮的最大信息量,称为内存容量。容量以字节(B)为单位,但有的以KB或MB计。 $1K=1000$ (实际应为 2^{10}), $1M$ (兆) $=1000K=10^6$ (实际应为 2^{20})。

存贮器有如下特点,即从中取出信息后,其原内容不会破坏,只有向它送进新的信息时,原有信息才被新的取代。

(4) 输入/输出设备

输入/输出设备合称为计算机的外部设备。输入设备的作用是把数据、程序及其他有关信息由外部输入到内存。输出设备的作用是把运算结果及有关信息,以人们容易识别的形式显示或打印出来。

常见输入/输出设备有行式打印机、终端显示器、电传打字机、磁盘(带)机和绘图机等。

关于计算机硬件,衡量其技术性能有三项重要指标:

- 运算速度。通常指每秒钟做加法的次数。
- 内存容量。指机器本身所能存贮的最大信息量。
- 字长。

一般,速度高,容量大,字长长者,技术性能较好。

1.2.2 软件系统

硬件只有配备了足够的软件,才能发挥作用;否则将是无用之物。软件是程序的总称,

也叫程序系统。它又有系统软件和应用软件之分。

(1) 系统软件

系统软件，一般是指与硬件配套出售的基本软件。它包括：

- 语言翻译程序。计有汇编程序、解释程序和编译程序。
- 操作系统。即控制整个计算机系统的程序。
- 各种服务性程序。如诊断程序和检查程序等。

(2) 应用软件

指计算机公司为便利用户而另行开发的程序。它们通常以软件包的形式出售。如，

- 数学计算软件包。
- 企业管理软件包。
- 工程设计软件包。
- 绘图软件包。

一些计算中心为自己用户编写的专用程序，也属于应用软件的范畴。

§1.3 计算机语言

要计算机算题，用户就得给它下命令。这些命令机器务必“听”得懂。运算之后，它又把结果以人们看得懂的形式告诉用户。显然，人与机器之间需要彼此都能理解的交流语言，即所谓的计算机语言。

但是，到底什么叫计算机语言，至今尚无统一的标准定义。我们只能粗略地理解为一些可用符号和严格规则的总和。

计算机语言，作为人、机交流的工具，经历了三个发展阶段，形成了机器语言、汇编语言和算法语言这三大种类。

1.3.1 机器语言和汇编语言

这两种语言出现较早，但至今仍然很有用处。

(1) 机器语言

机器语言又称低级语言，以二进制数码作为基本符号。在这种语言里，不仅数据，而且每一个操作都用二进制数码表示。

数码化的操作符称为操作码。操作码与操作数构成机器指令。有一定逻辑关系的指令集合就是手编程序。

假设某机器规定：1、2、3、4分别代表取、乘、加、存，101、102、103、104分别表示存放数据A、B、C、X的存贮单元的地址。那么下表就组成一个计算“ $x=ab+c$ ”的手编程序段。

操作码	地址码	含义
0 0 1	0 1 0 1	取 A
0 0 2	0 1 0 2	乘 B
0 0 3	0 1 0 3	加 C
0 0 4	0 1 0 4	存 X

其中，每一横行的数码都是一条指令。为书写方便，这里的数码都是十进制的。下节会看到，它们都很容易化成二进制数码。

机器语言面向机器，因机而异。用它编写程序，程序冗长，难写难记，易出错，效率低。但它能直接被机器理解和执行，无需翻译。用下面将介绍的高级语言编写的程序，最终还是要变成机器语言，才能被执行。

(2) 汇编语言

这是一种用助记符代替操作码的语言。如，有的规定用拼音和运算符表示操作；有的规定用英语字母和运算符表示操作；还有的用其它易记符号和运算符表示操作。例如，上面四条机器指令，用助记符可以表示为

← A
• B
+ C
→ X

这便是汇编语言程序段，含四条指令。

汇编语言又叫符号语言。用汇编语言编的程序叫汇编语言程序，又叫符号程序。

汇编语言也面向机器，因机而异。其程序不仅冗长繁琐，缺乏通用性，而且不能被机器直接理解和执行，需要翻译。译员是汇编程序。不过，汇编语言向自然语言靠拢了一步，容易阅读，所编程序运行速度快。因此，仍被广泛使用，尤其在实时控制方面。

1.3.2 算法语言

前面计算“ $x=ab+c$ ”的全部机器指令和汇编指令都可以简单地写成：

$$X=A*B+C \quad (a)$$

再如，为使机器计算 $86-25 \times 3$ ，并将结果输出可用

$$\text{PRINT}*, 86-25 \times 3 \quad (b)$$

这里的(a)和(b)是用算法语言编写的程序语句。在算法语言里一个语句可包含多个操作。

(1) 算法语言的特点

算法语言是更接近于自然语言和数学语言的一种计算机语言。它面向用户，便于编程，容易阅读。因此，也叫高级语言。用算法语言编的程序叫源程序。源程序通用性强，但不能被机器直接理解和执行，需要翻译成机器语言。翻译的方式有两种。一是逐条翻译。译一条执行一条，翻译工具是解释程序。二是整体翻译。先把源程序整个地译成用机器指令表示的目标程序，然后再执行目标程序。执行这种翻译任务的是编译程序。

算法语言的出现，是计算机发展史上一项惊人的成就。有了它，人们可以不考虑机器语言，不熟悉机器的内部结构和工作原理，就能方便地使用电子计算机。算法语言大大地推动了计算机的推广和普及，使之能由少数人手里的高精尖设备变成大众化的现代工具。

(2) 几种常用算法语言

目前世界上已有上千种算法语言，用得较多的有几百种，最主要的有十几种。如：

FORTRAN (FORMula TRANslation)，1956年问世，适用于科学计算

ALGOL60 (ALGOrithmic Language 1960)，1960年问世，适用于科学计算

COBOL (COMmon Business Oriented Language)，1960年问世，适用于数据处理

PL/1 (Programming Language/1)，1964年问世，大型通用语言

ALGOL68 (ALGOrithmic Language 1968), 1968年问世, 大型通用语言

C语言, 1972年问世, 系统描述语言和实用程序设计语言

PASCAL (17世纪法国科学家名), 1971年问世, 结构化程序设计语言

LISP (LISt Processing Language), 1960年问世, 人工智能语言 (表处理)

BASIC (Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code), 1964年问世, 会话式

PROLOG (PROgramming in LOGic) 1972年研制成功, 逻辑程序设计语言

(3) FORTRAN版本

FORTRAN语言, 1954年研制成功, 1956年开始使用。三十年来不断发展形成了多种版本。目前, 世界上用得较多的有

FORTRAN IV, 1962年出现, 是美国1964年标准化后的FORTRAN。

FORTRAN 66, 美国标准协会1966年公布的标准FORTRAN。

FORTRAN 77, 1966年公布, 1977年修改, 1988年标准化的FORTRAN。

这些版本都有向上兼容性。用前两版本编的程序, 基本上不加修改, 就能用FORTRAN 77编译系统编译和运行。

FORTRAN 77对其先前版本有较大的发展, 能方便地用于结构化程序设计。它比其它FORTRAN有更强的功能, 主要表现在:

- ① 允许对不同类型的数据进行混合运算。
- ② 增加了字符变量和字符数组, 允许字符串运算。
- ③ 增加了块IF语句, 有利于结构化程序设计。
- ④ 输入/输出语句更加丰富, 如增加了表控格式和出错处理等。

此外, 还对其前版本作了许多改进。

从发展看, 学习 FORTRAN 77版本, 采用结构化程序设计方法, 更有助于培养良好的程序设计习惯和设计风格, 能大大提高程序设计的效率和质量, 增强程序的可读性。

§1.4 数据的机器表示

FORTRAN 77语言允许使用的数据有三种类型, 即数值型、字符型和逻辑型。由于仅含0和1这两个数码的二进制数在电气元件中便于表示, 容易计算, 因此, 各种类型的数据在计算机内部都用二进制数码表示。

1.4.1 数值数据的机器表示

(1) 几种数制及其相互转换

处理数值型数据, 免不了要与二进制数、八进制数、十进制数以及十六进制数打交道。因此, 必须弄清这些数制的特点和它们之间的相互转换。

众所周知, 十进制数1989.99可表成

$$1 \times 10^3 + 9 \times 10^2 + 8 \times 10^1 + 9 \times 10^0 + 9 \times 10^{-1} + 9 \times 10^{-2}.$$

其中, 1, 8, 9为数码, 10为基底 (十进制数码的个数), 0, ± 1 , ± 2 , 3为阶码 (即指数, 表示数码所处的位置)。

任何一个十进制数的表示, 一要数码, 二要基底, 三要阶码。

不同的数制，阶码和基底不同。如下表：

数制	基数	数 码	进 位
十	10	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	逢十进一
二	2	0, 1	逢二进一
八	8	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	逢八进一
十六	16	0, 1, 2, ..., 9, A, B, C, D, E, F	逢十六进一

任何数制的数(N)，都可用统一的形式表示成

$$N = k_n J^n + k_{n-1} J^{n-1} + \cdots + k_0 J^0 + k_{-1} J^{-1} + \cdots + k_{-m} J^{-m}$$

其中， J 为基数(2, 8, 10或16)， i 为阶码($-m, \cdots, -1, 0, 1, \cdots, n$)， k_i 为数码。

下面看看各数制之间的转换。

① 十进制数转换成二、八或十六进制数

把十进制数 D 转换成其它各种数制的办法是：若 D 为整数，则除基取余；若 D 为小数，则乘基取整。

十 $\Rightarrow$ 二 例如：

$$\begin{array}{r|l} 2 & 13 \\ \hline 2 & 6 \\ 2 & 3 \\ 2 & 1 \\ & 0 \end{array} \begin{array}{l} \cdots k_0 \\ \cdots k_1 \\ \cdots k_2 \\ \cdots k_3 \end{array}$$

$$(13)_{10} = (1101)_2$$

$$\begin{array}{r} 0.25 \\ \times 2 \\ \hline 0.50 \\ \times 2 \\ \hline 1.00 \end{array}$$

$$(0.25)_{10} = (0.01)_2$$

从而， $(13.25)_{10} = (1101.01)_2$

十 $\Rightarrow$ 八 例如：

$$\begin{array}{r|l} 8 & 654 \\ \hline 8 & 81 \\ 8 & 10 \\ 8 & 1 \\ & 0 \end{array} \begin{array}{l} \cdots k_0 \\ \cdots k_1 \\ \cdots k_2 \\ \cdots k_3 \end{array}$$

$$(654)_{10} = (1216)_8$$

$$\begin{array}{r} 0.125 \\ \times 8 \\ \hline 1.000 \end{array}$$

$$(0.125)_{10} = (0.1)_8$$

从而， $(654.125)_{10} = (1216.1)_8$

十 $\Rightarrow$ 十六 例如：

$$\begin{array}{r|l} 16 & 1375 \\ \hline 16 & 85 \\ 16 & 5 \\ & 0 \end{array} \begin{array}{l} \cdots k_0 \\ \cdots k_1 \\ \cdots k_2 \end{array}$$

所以， $(1375.15625)_{10} = (55F.28)_{16}$

$$\begin{array}{r} 0.15625 \\ \times 16 \\ \hline 2.50000 \\ \times 16 \\ \hline 40.00000 \end{array}$$

转换十进整数时，做除法的步骤，只要进行到整数部分为零便可停止。但转换十进小数时，做乘法的步骤，却不一定都进行到小数部分为零，因为当小数部分不能表成 2^{-1} ， 2^{-2} ， $\cdots$ 2^{-m} 的线性组合时，即使做乘法的次数再多，也永远达不到零，此时，只能取近似值。如，