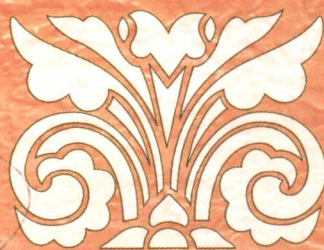


高等院校信息管理与信息系统专业系列教材

计算机组成原理教程 习题解析

张基温 孙仲美 李爱军 编著



清华大学出版社





高等院校信息管理与信息系统专业系列教材

计算机组成原理教程 习题解析

张基温 孙仲美 李爱军 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是《计算机组成原理教程(第4版)》(张基温 编著,清华大学出版社2007年出版,以下简称《教程(第4版)》)的姊妹篇,并按照《教程(第4版)》的章结构组织。每一章的内容都由如下4部分组成:《教程(第4版)》对应章中包含的知识要点、全部习题的解析、自测练习题目和自测练习参考答案。

本书习题丰富、解析详尽,既有知识要点,又有供自测的习题,可以作为计算机组成原理学习者的课后参考教材,也可以供考研者复习参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成原理教程习题解析/张基温,孙仲美,李爱军编著. —北京:清华大学出版社, 2008.5

(高等院校信息管理与信息系统专业系列教材)

ISBN 978-7-302-16995-6

I. 计… II. ①张… ②孙… ③李… III. 计算机体系结构—高等学校—解題
IV. TP303-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 017157 号

责任编辑:范素珍

责任校对:时翠兰

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京市昌平环球印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:9.75

字 数:229 千字

版 次:2008 年 5 月第 1 版

印 次:2008 年 5 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:16.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。
联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:023230-01

出版说明

20 世纪三四十年代,一直摸索着前进的计算技术与刚走向成熟的电子技术结缘。这一结合,不仅孕育了新一代计算工具——电子计算机,还产生了当时谁也没有料到的巨大效应:电子计算机——这种当初为计算而开发出来的工具,很快就超出计算的范畴,成为“信息处理机”的代名词。

信息能促成管理系统的优化,促进组织创新,绩效不断上升;信息能提高计划与决策的科学性和及时性,是信息时代组织生存、发展、竞争制胜的有力武器;信息能革新企业内部的生产力要素结构,使资源转换系统的生产率大幅度提高,并同时以不断增加的柔性适应市场需求结构和消费结构的快速变化。

随着信息技术的发展与广泛应用,人类开始能够高效率地开发并利用信息,信息资源对人类社会的作用得以有效的发挥,并逐步超过材料和能源成为人类社会的重要支柱,信息化成为一个时代的口号。与此同时,信息资源开发与管理人才越来越广受社会青睐。

信息管理与信息系统专业是一个培养信息化人才的专业,是一个培养信息资源开发与管理方面的专门人才的专业。从知识结构上看,它处在管理学、信息科学与技术 and 有关专业领域的交叉点上。它对技术有极高的要求,又要求对组织有深刻的理解,对行为有合理的组织,反映了科学与人本融合的特点。这种交叉与融合正是信息管理与信息系统专业最重要的特征,是别的学科或专业难以取代和涵盖的。但是,它从 20 世纪 70 年代末开始创办到 90 年代初,尽管国内专业数量已经上升到 150 多所,但还没有形成很好反映自己特色的一个教材体系。1991 年全国 10 所院校的信息管理专业的负责人在太原召开第一次研讨会,异口同声地谈起创建一套符合专业需要的教材体系话题。以后,又经过 1993 年在大连、1995 年在武汉,又有更多的院校加入了这一研讨之中。这些研讨活动得到了国家教委有关部门的赞许和支持。通过研讨,大家在建设具有专业特点的教材体系、改变简单照搬其他专业教材上取得了共识。1996 年正式启动这个项目,协商由张基温教授担任主编,由魏晴宇教授、陈禹教授担任顾问。在清华大学出版社的大力支持下,从 1997 年起这套我国信息管理与信息系统专业的第一套系列教材陆续问世。迄今已经 10 年多,当初规划的七八本教材已经扩展到 30 多本,形成了一套品种多样、影响面广的系列教材,不仅为信息管理和信息系统专业建设作出了贡献,而且也被许多计算机专业所选用。这些都是编委会全体同仁和作者、广大使用本系列教材的师生以及出版社的编辑们辛勤劳动的结果。

同时,我们也欣喜地看到,10 年来,信息管理与信息系统专业也有了较大的发展,不仅其规模已经发展到 500 多个点,而且随着信息化的纵深推进,随着电子商务、电子政务和企业信息化的发展,专业的教学内容也与时俱进地深化和更新,从过去的围绕信息系统分析与设计,已经延伸到信息资源的开发与管理;专业的定位也逐步明晰,即为信息化建设与管理培养人才。同时,近年来围绕提高教学质量,许多学校开展了精品课程建设和教材建设。这些都标志这个专业正在走向成熟。

成熟的专业,需要优秀教材的支持。我们重新审视并修订这套教材。在这套教材问世10周年之际,我们再一次表示一个心愿:希望与全国的同行共勉,在教材和专业建设上齐心协力,作出更大贡献。我们将在原来的基础上,重新审视,不断补充,不断修改,不断完善。对于它的任何建设性意见,都是我们非常期盼的。为此,这一套教材将具有充分的开放性:每一本教材都是一个原型,每一位有志者对它的建设性意见都将会被采纳,并享有自己的知识产权,以使它们逐步成为精品。

《高等院校信息管理与信息系统专业系列教材》编委会

前 言

《计算机组成原理教程》第1版在1998年出版后,曾经应广大读者要求编写了《计算机组成原理教程题解与实验指导》一书,由清华大学出版社于2001年1月出版。之后《计算机组成原理教程》几经改版,由于每次改版时修改的内容都比较多,习题也变化较大,不少读者希望能有一本习题解析。但由于事情繁多,一直没有做。

2008年,第4版又面世。孙仲美高级工程师和李爱军教授愿意承担编写习题解析的任务,才使我释去重负。在我们3人的合作下,完成了针对第4版的习题解析。

考虑到读者的实际需要,这本书的每章都由4部分组成:知识要点、习题解析、自测练习和自测练习参考答案。我主要写作了“知识要点”,孙仲美和李爱军一起完成了“习题解析”,孙仲美整理了“自测练习题目”并提供了“自测练习参考答案”。

孙仲美高级工程师和李爱军教授都有丰富的实践经验和教学经验。对于他们的辛勤劳动,本人深表谢意。

由于本书涉及了许多最新知识,可以参考的书籍较少。所以,尽管孙仲美高级工程师和李爱军教授付出了艰辛劳动,但不足和错误之处难免。希望广大读者在使用中,如果发现问题和改进的意见,请无保留地反馈给我们。我们将衷心感谢。

张基温

2008年3月

目 录

第 1 章 计算机系统结构概述	1
1.1 知识要点	1
1.1.1 计算工具及其进步	1
1.1.2 二进制与数值数据的 0、1 编码	2
1.1.3 电子数字计算机工作原理	7
1.1.4 现代计算机系统结构与发展	10
1.2 习题解析	12
1.3 自测练习	25
1.3.1 选择题	25
1.3.2 填空题	28
1.3.3 简答题	29
1.4 自测练习参考答案	31
1.4.1 选择题参考答案	31
1.4.2 填空题参考答案	31
1.4.3 简答题参考答案	32
第 2 章 存储系统	36
2.1 知识要点	36
2.1.1 主存储器	36
2.1.2 辅助存储器	37
2.1.3 存储体系	40
2.2 习题解析	44
2.3 自测练习	57
2.3.1 选择题	57
2.3.2 填空题	59
2.3.3 简答题	59
2.4 自测练习参考答案	61
2.4.1 选择题参考答案	61
2.4.2 填空题参考答案	61
2.4.3 简答题参考答案	62

第 3 章 输入输出及其控制	66
3.1 知识要点	66
3.1.1 外部设备	66
3.1.2 输入输出中的数据传送控制	66
3.1.3 设备接口	68
3.1.4 串行通信和串行接口	69
3.1.5 I/O 设备管理	70
3.2 习题解析	71
3.3 自测练习	81
3.3.1 选择题	81
3.3.2 填空题	83
3.3.3 简答题	85
3.4 自测练习参考答案	86
3.4.1 选择题参考答案	86
3.4.2 填空题参考答案	86
3.4.3 简答题参考答案	87
第 4 章 总线系统	92
4.1 知识要点	92
4.1.1 总线工作原理	92
4.1.2 总线特性	92
4.1.3 总线分类	93
4.1.4 总线标准	94
4.2 习题解析	94
4.3 自测练习	97
4.3.1 选择题	97
4.3.2 填空题	99
4.3.3 简答题	99
4.4 自测练习参考答案	100
4.4.1 选择题参考答案	100
4.4.2 填空题参考答案	101
4.4.3 简答题参考答案	101
第 5 章 处理器	105
5.1 知识要点	105
5.1.1 处理器的外特性——指令系统	105
5.1.2 指令的时序	107

5.1.3	控制器设计	107
5.2	习题解析	108
5.3	自测练习	124
5.3.1	选择题	124
5.3.2	填空题	126
5.3.3	简答题	126
5.4	自测练习参考答案	127
5.4.1	选择题参考答案	127
5.4.2	填空题参考答案	128
5.4.3	简答题参考答案	128
第 6 章	计算机系统结构的发展	133
6.1	知识要点	133
6.1.1	计算机并行技术	133
6.1.2	指令级并行技术	134
6.1.3	向量处理机	135
6.1.4	线程级并行技术	136
6.1.5	非 Neumann 体系的计算机系统	136
6.1.6	计算机元器件技术展望	136
6.2	习题解析	136
6.3	自测练习	139
6.3.1	选择题	139
6.3.2	填空题	140
6.3.3	简答题	140
6.4	自测练习参考答案	141
6.4.1	选择题参考答案	141
6.4.2	填空题参考答案	141
6.4.3	简答题参考答案	142

第1章 计算机系统结构概述

1.1 知识要点

1.1.1 计算工具及其进步

这一部分通过介绍计算工具的演变过程,启发学习者理解计算机实现自动工作的必要条件、现代计算机各部件存在的必要性及其作用,建立计算机系统的基本概念。

1. 算盘

用算盘进行计算有两个过程:根据解题要求编出口诀和按照口诀操作算珠。要特别注意理解口诀的意义。没有口诀,算盘只能进行简单的加减;有了口诀,算盘就可以进行比较复杂的计算。或者说,珠算是使用硬件(算盘)和软件(口诀)一起完成计算过程。

同时要分析算盘的不足:算珠不会自己拨动,记不住口诀,无法自己控制计算过程。由此引出自动计算工具的两个条件:内动力和自我控制。而自我控制也有两个条件:有记忆能力和控制能力。

2. 从 Pascal 加法器到 ENIAC

这一段历史表明计算机工具中的内动力发展过程——从发条到继电器,再到电子器件。

3. 提花机-Babbage 分析机-EDVAC-实现自控计算

从人控到自控是计算工具走向自动的另一条线索。从这一发展过程可以得到结论:实现自我控制,必须有记忆功能,能够记住程序和要计算的数据,然后按照程序的要求自己控制自己完成一个计算过程。为此,自动工作的计算机必须有 5 个部件:输入、存储(记忆)、控制、运算和输出。这一工作原理加上内动力,就实现了计算机过程的自动化,建立了 Neumann 体系计算机。自控要以内动力为基础,决定了只有到了电气时代自动计算机才有可能实现。

4. 操作系统——计算机实现自我管理并走向虚拟

操作系统的出现是计算机发展史上的又一里程碑,它在计算机实现了自动计算过程的基础上又实现了计算机系统自我管理,并走向虚拟。

操作系统最初的目的是管理计算机的作业过程,后来逐步实现了对于系统资源的管理,并向用户提供服务界面,扩大了计算机的功能。从此,计算机系统的概念从裸机发展到了虚拟机,计算机系统成为硬件和软件的统一体。

学习操作系统,要了解实现其功能的 5 个模块:

- 作业管理;
- 处理器管理;
- 存储管理;
- 设备管理;
- 文件管理。

这 5 部分与相关的硬部件一起工作,扩大了这些硬件部件的功能。

1.1.2 二进制与数值数据的 0、1 编码

电子计算机是一种极为复杂的电子机器,但是它的组成元件却是由极为简单的开关组成的,不过这些开关是电子的。计算机中所有的信息都是由开关状态的组合表示的。由于每个开关只有两种状态,所以开关状态的组合称为 0、1 编码。这一部分介绍了数值数据、字符(包括汉字)数据、图像数据、声音数据和指令的 0、1 编码方法。由此也可以得出一个结论:所有信息都可以用 0、1 进行编码。

1. 二进制及其运算

(1) 进位计数制及其相互转换

数值数据就是可以进行算术运算的数据。在进行算术运算时,数值的表示采用的是进位计数法。十进制是进位计数法中的一种,它有两个重要特征:

- 采用 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 这 10 个符号表示数,每个符号有不同的系数。
- 同一符号所在的位置不同,表示的值的大小也不同,其值为符号的系数与位置权(位权)之积,十进制中的位权如下:

…京、兆、亿、万、千、百、十、一、十分之一、百分之一…

即

… 10^7 、 10^6 、 10^5 、 10^4 、 10^3 、 10^2 、 10^1 、 10^0 、 10^{-1} 、 10^{-2} …

- 在一个位置上的数值达到 $10 \times$ 位权时,就用其左面位置上的 1 来代替,即进 1。

十进制采用了 10 个符号表示数。对于开关来说,由于只有两种状态,只能用两个符号表示数,所以只能采用二进制。因此电子计算机中采用的是二进制。二进制的特点:

- 采用两个符号 0、1 表示数;
- 位权分别为… 2^7 、 2^6 、 2^5 、 2^4 、 2^3 、 2^2 、 2^1 、 2^0 、 2^{-1} 、 2^{-2} …

为了人机交流,就需要解决十进制数与二进制数的转换问题。

十-二转换的规则如下:

- 整数部分连续“(向左)除 2 取余,直到 0”;
- 小数部分连续“(向右)乘 2 取整,直到 0”。

这两条规则也可以采用另一种简便的方法实现:首先估计十进制数所在的二进制位权区间($2^{i+1} \sim 2^i$),然后依次减从这个下限(2^i)开始的二进制位权。每次减时,够减就记一个 1,并将得到的差减下一个位权;若不够减,就记一个 0,再用这个数减下一个位权。减法运算一直到得到 0 为止。

二-十转换很简单,就是按照将二进制数中所有为 1 的位权相加。

• 2 •

(2) 二进制运算法则

- 加法规则——“逢 2 进 1”： $0+0=0, 1+0=1, 0+1=1, 1+1=10$ 。
- 减法规则——“借 1 当 2”： $0-0=0, 1-0=1, 1-1=0, 10-1=1$ 。
- 乘法规则——“无 0 为 1”： $0\times 0=0, 1\times 0=0, 0\times 1=0, 1\times 1=1$ 。

(3) 八进制(octal)、十六进制(hexadecimal)和二十进制

八进制和十六进制以及二十进制可作为二进制的助记符。

八进制记数符为 0、1、2、3、4、5、6、7。

十六进制记数符为 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A(a)、B(b)、C(c)、D(d)、E(e)、F(f)。

将二进制数由小数点起,向两侧分别以每 3 位划一组(最高位与最低位不足 3 位以 0 补),每一组便为一个八进制数。同理以 4 位为一组,每一组便为一个十六进制数。

二十进制(BCD)码也称为二进制编码形式的十进制数,即用 4 位二进制数表示 1 位十进制数,这种编码形式可以有多种,其中最自然、最简单的一种方式 8-4-2-1 码,也称压缩的 BCD 码,即这 4 位二进制数的权,从左往右分别为 8、4、2、1。

2. 机器数

使用“机器数”的概念,主要解决负数在机器中运算时出现的一些问题。

(1) 原码

一个数在机器内的表示形式称为机器数。它把一个数连同它的符号在机器中用 0 和 1 进行编码,这个数本身的值称为该机器数的真值。对于同样的字长,无符号数的最大值比有符号数要大 1 倍。

为了解决机器内负数的符号位参加运算的问题,引入了反码和补码两种机器数形式,而把一个数的直接二进制形式称为原码。

(2) 反码

对正数来说,其反码和原码的形式是相同的;对负数来说,反码要将其原码数值部分的各位变反。

反码运算要注意 3 个问题:

- 反码运算时,其符号位与数值一起参加运算。
- 反码的符号位相加后,如果有进位出现,则要把它送回到最低位去相加,这叫作循环进位。
- 反码运算具有性质: $[X]_{\text{反}} + [Y]_{\text{反}} = [X+Y]_{\text{反}}$ 。

(3) 补码

对正数来说,补码和原码的形式是相同的;对负数来说,补码为其反码(数值部分各位变反)的末位补加 1。

采用补码运算也要注意 3 个问题:

- 补码运算时,其符号位也要与数值部分一样参加运算。
- 符号运算后如有进位出现,则把这个进位舍去不要。
- 补码运算具有性质: $[X]_{\text{补}} + [Y]_{\text{补}} = [X+Y]_{\text{补}}$ 。

(4) 移码

移码是在补码的最高位加 1,故又称增码。

(5) 机器数的浮点表示法

浮点表示法用于存储实数。用浮点表示法时,一个数在计算机中要用约定的 4 部分表示,如图 1.1 所示。其中, E_f 、 S 分别称为阶码 E 和尾数 M 的符号位。

按照 IEEE 754 标准,常用的浮点数的格式如图 1.2 所示。

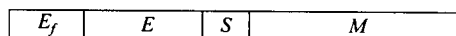


图 1.1 浮点数的机内表示

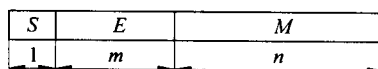


图 1.2 IEEE 754 格式的浮点数

IEEE 754 标准约定,在小数点的左边有一隐含位 M_0 。因而,短实数尾数部分实际上是 24 位,长实数尾数部分实际上是 53 位, S 的值只取 0 或 1。下面为真值以及 E 、 M 、 M_0 之间的关系。

- $E=0$ 且 $M=0$, 则 $N=0$, 即 $M_0=0$;
- $E=0$ 且 $M \neq 0$, 则为非规格化数, $N=(-1)^S \times 2^{-126} \cdot (0.M)$, 即 $M_0=0$;
- $1 \leq E \leq 254$, 则为规格化数, $N=(-1)^S \times 2^{-127} \times (1.M)$, 即 $M_0=1$;
- $E=255$ 且 $M=0$, 则为无穷大数, $N=(-1)^S \times \infty$;
- $E=255$ 且 $M \neq 0$, 则为非数值数。

采用浮点法进行数的乘法运算时,其尾数相乘除,其阶码相加减;进行加减运算时,必须使参加运算的数的阶码相同,即必须进行对阶处理,然后进行尾数的加减运算。

(6) 机器数的定点表示法

如果让机器中所有的数都采用同样的阶码 a^j ,就有可能将此固定的 a^j 略去不表示出来。这种表数方式称为数的定点表示法。其中所略去的 a^j 称为定点数的比例因子。因此一个定点数便简化为由 S_f (尾符)与 S (尾数)两部分来表示。

当字长一定时,浮点表示法能表示的数的范围比定点数大,而且阶码部分占的位数越多,能表示的数的范围就越大。但是,由于浮点数的阶码部分占用了一些位数,使尾数部分的有效位数减少,数的精度降低。为了提高浮点数的精度,就要采用多字节形式。

3. 字符数据的 0、1 编码

(1) ASCII 码

字符编码有两个标准:美国信息交换标准代码(ASCII)和扩展二十进制交换代码(EBCDIC)。所有小型计算机和微型计算机大都采用 ASCII 码。

(2) 汉字编码方案

汉字编码种类很多,有些是根据信息处理的需要不断发展出来的,有些是由不同的组织开发的。

(3) 汉字的输入——汉字外码

外码是解决利用英文键盘输入汉字而开发的。常见的输入法有以下几类:

- 按汉字的排列顺序形成的编码(流水码),如区位码;
- 按汉字的读音形成的编码(音码),如全拼、简拼、双拼等;

- 按汉字的字型形成的编码(形码),如五笔字型、郑码等;
- 按汉字的音、形结合形成的编码(音形码),如自然码、智能 ABC。

输入码在计算机中必须转换成机内码,才能进行存储和处理。

(4) 字符的字型库

字符(西文和汉字)有各种字型和字体,输出一个字符实际上相当于输出一个图形,只不过这个图形是有限的,可以事先保存在字型库中。不同的字体有不同的字型库。在输出一个字(字符)时,先确定是什么字体,再用内码对应的字库地址驱动字库输出相应的字型给输出设备。

字型在机器内部有两种存储形式:点阵法和矢量法。前者把一个字型看成由一些点组成的图形(位图),后者把一个字型看成是由一些计算机的绘图命令绘出的图形。前者放大之后会出现马赛克现象(像素变低),后者不会。

4. 图像的 0、1 编码

图像在计算机中有两种存储方法:矢量图(vector graphics)法和位图(bitmapmed graphics)法。位图图像通过离散化、采样和量化得到。

图像的离散化就是把连续的图像分割成不连续的点阵,看成一个由 $M \times N$ 的像素(pixel)点阵组成的图,每个像点都是一个单色的小方块。

采样(sampling)就是在每个小块中取它的颜色参数。通常,将它的颜色进行分解,计算出红、绿、蓝(R、G、B)3种基色分量的亮度值。将每个采样点的每个分量进行 0、1 编码,就称为量化。显然,各颜色分量划分得越细,即所描述的 0、1 码位数越多,色彩就越逼真。因为它能进一步把颜色划分得更细。为了描述颜色的逼真程度,将像素的所有颜色的 0、1 码的位数总和称为像素深度。

一幅数字图像常用一个文件存储,存储空间为:

$$\text{文件字节数} = (\text{位图宽度} \times \text{位图高度} \times \text{位图颜色深度}) / 8$$

5. 声音的 0、1 编码

声音是一种连续的波。要把连续的波用 0、1 进行编码,需要经过采样、量化两步完成。

- 采样:就是每隔一定的时间,测取连续波上的一个振幅值。
- 量化:就是用二个二进制尺子计量采样得到的每个脉冲。

在 A/D(模拟/数据)转换过程中,有两个基本参数:采样频率和量化精度。

采样频率,即一秒钟内的采样次数,它反映了采样点之间的间隔大小。间隔越小,丢失的信息越少,采样后的图形越细腻和逼真。H. 奈奎斯特(Harry Nyquist)提出:只要采样频率高于信号最高频率的两倍,就可以从采样准确地重现通过信道的原始信号的波形。

测量精度是样本在垂直方向的精度,是样本的量化等级,它通过对波形垂直方向的等分而实现。

6. 指令的 0、1 编码与计算机程序设计语言

(1) 指令、指令系统和指令格式

指令是计算机能够识别并执行的操作命令。计算机 CPU 所能执行的所有指令的集合

称为指令系统。指令系统是程序员进行程序设计的依据,也是进行 CPU 设计的依据。

描述一条指令的 0、1 码序列称为一个指令字。一个指令字由操作码和一些地址码组成。这些地址用来存放操作数或结果数。根据地址码的多少,指令可以分为 3 地址指令、2 地址指令和 1 地址指令。

- 3 地址指令: 2 个地址存储操作数, 1 个地址存储结果。
- 2 地址指令: 将计算结果放在一个操作数地址中, 可以节省一个结果数据存储空间。
- 1 地址指令: 在 2 地址指令的基础上, 一个操作数来自 CPU 中一个特定的寄存器(累加器), 结果又放回累加器, 只需从存储器取一个操作数。

(2) 计算机程序设计语言

按照编程所使用的语言是偏向机器还是偏向人, 可以将其分为如图 1.3 所示的类型。

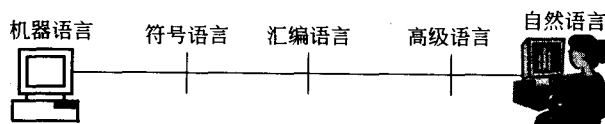


图 1.3 程序设计语言在机器与人之间的位置

7. 数据传输中的差错检验

差错检验是在数据传输过程中发现差错的技术。除了差错检验, 还有纠错技术。这两种技术都可以用编码的方式实现, 它们分别称为检错码和纠错码。纠错码是用于发现传输中错误的编码, 而纠错码不仅能发现差错, 而且能自动纠正差错的编码。一般来说, 检验码组越长, 其发现、纠正错误的能力就越强。

(1) 奇偶检验码

奇偶检验码是在信息码之外再加上一位检验位, 借奇偶检验电路来检测码字是否合法。通常奇偶检验以字符为单位进行分组。每传送 7 位的信息码组, 都要传送 1 位附加的冗余检验位, 使得整个字符码组(共 8 位)中 1 或 0 的数目为奇数或偶数。由此, 可以设计出检验逻辑:

$$P' = C_7 \oplus C_6 \oplus C_5 \oplus C_4 \oplus C_3 \oplus C_2 \oplus C_1 \oplus C_0 \oplus P \quad (P \text{ 为检验位值})$$

$P' = 0$, 无错; $P' = 1$, 有错。

这种检验方法能检测出传输中任意奇数个错误, 但不能检测出偶数个错误。

(2) 汉明码

汉明(Richad Hamming)于 1950 年提出一种很有效的检验方法。

假设检验码组为 r 位, 则它共有 2^r 个状态, 用其中一个状态指出“有无错”, 其余的 $2^r - 1$ 个状态便可用于错误定位。设有效信息码组为 k 位, 并考虑到错误也可能发生在检验位, 则需定位状态共有 $k + r$ 个。也就是说, 要能充分地进行错误定位, 应有如下关系式:

$$2^r - 1 \geq k + r$$

若编成的汉明码为 $H_m H_{m-1} \cdots H_2 H_1$, 则汉明码的编码规律如下:

- 在 m 位的汉明码中, 各检验位分布在位号为 2^{i-1} 的位置, 即检验位的位置分别为 1, 2, 4, 8... 其余为数据位。数据位按原来的顺序关系排列。如果有效信息码为

...D₅D₄D₃D₂D₁, 则编成的汉明码为...D₅P₄D₄D₃D₂P₃D₁P₂P₁, 其中 P_i 为第 i 个检验位。

- 汉明码的每一位 H_i 要有多个检验位检验。检验关系是被检验位的位号与检验位的位号之和。如 D₁ (位号为 3) 要由 P₂ 与 P₁ 两个检验位检验, D₂ (位号为 5) 要由 P₃ (位号为 4) 与 P₁ 两个检验位检验, D₃ (位号为 6) 要由 P₂ 与 P₃ 两个检验位检验, D₄ (位号为 7) 要由 P₁、P₂、P₃ 三个检验位检验……

(3) 循环冗余检验码(CRC)

循环冗余检验码(cyclic redundancy check)简称 CRC(循环码), 是一种能力相当强的检错、纠错码, 并且实现编码和检码的电路比较简单, 常用于串行传送(二进制位串沿一条信号线逐位传送)的辅助存储器与主机的数据通信和计算机网络中。

循环码是指通过某种数学运算实现有效信息与检验位之间的循环检验(而汉明码是一种多重检验)。

编码步骤如下。

步骤 1: 将待编码的 n 位信息码组 $C_{n-1}C_{n-2}\cdots C_1\cdots C_2C_1C_0$ 表达为一个 $n-1$ 阶的多项式 $M(x)$:

$$M(x) = C_{n-1}x^{n-1} + C_{n-2}x^{n-2} + \cdots + C_1x^1 + \cdots + C_1x^1 + C_0x^0$$

步骤 2: 将信息码组左移 k 位, 成为 $M(x)x^k$, 即成 $n+k$ 位的信息码组:

$$C_{n-1+k}C_{n-2+k}\cdots C_{1+k}\cdots C_{2+k}C_{1+k}C_k00\cdots00$$

步骤 3: 用 $k+1$ 位的生成多项式 $G(x)$ 对 $M(x)x^k$ 作模 2 除, 得到一个商 $Q(x)$ 和一个余数 $R(x)$ 。显然, 会有关系:

$$M(x)x^k = Q(x)G(x) + R(x)$$

生成多项式 $G(x)$ 是预先选定的。

步骤 4: 再将左移 k 位的待编码有效信息与余数 $R(x)$ 作模 2 加, 即形成循环冗余检验码。

1.1.3 电子数字计算机工作原理

1. Neumann 原理

(1) 电子数字要采用程序存储控制原理进行工作, 所以需要由存储器、计算器、控制器、输入设备和输出设备 5 部分组成。

(2) 在电子数字计算机中, 数据和程序要采用二进制代码方式存储和处理。

2. 计算机存储器的特点

计算机的存储器是用来存储数据和程序的部件。计算机的存储器有如下一些特点:

- (1) 按照地址进行存取。
- (2) 所存储的内容“取之不尽, 新来旧去”。
- (3) 分级存储。

3. 开关电路的逻辑运算与算术运算

(1) 3 种基本逻辑电路: “与”、“或”、“非”。

(2) 逻辑代数的基本定律:

(a) 关于变量与常量的关系

$$\begin{aligned} A+0 &= A & A+1 &= 1 & A+\bar{A} &= 1 \\ A\cdot 0 &= 0 & A\cdot 1 &= A & A\cdot \bar{A} &= 0 \end{aligned}$$

(b) 重复律

$$A\cdot A = A \quad A+A = A$$

(c) 吸收律

$$A+A\cdot B = A \quad A\cdot (A+B) = A$$

(d) 分配律

$$A(B+C) = A\cdot B + A\cdot C \quad A+B\cdot C = (A+B)\cdot (A+C)$$

(e) 交换律

$$A+B = B+A \quad A\cdot B = B\cdot A$$

(f) 结合律

$$(A+B)+C = A+(B+C) \quad (A\cdot B)\cdot C = A\cdot (B\cdot C)$$

(g) 反演律

$$\overline{A\cdot B\cdot C\cdot \dots} = \bar{A} + \bar{B} + \bar{C} + \dots \quad \overline{A+B+C+\dots} = \bar{A}\cdot \bar{B}\cdot \bar{C}\cdot \dots$$

(3) 一位加法电路——全加器

如表 1.1 所示,加法运算时某一位相加需要有下列 5 个变量:

表 1.1 全加器的真值表

X_i	Y_i	C_{i-1}	C_i	S_i	X_i	Y_i	C_{i-1}	C_i	S_i
0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
0	0	1	0	1	1	0	1	1	0
0	1	0	0	1	1	1	0	1	0
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1

• 输入: 被加数 X_i 、加数 Y_i 、低位进位 C_{i-1} ;

• 输出: 本位进位 C_i 、本位全和 S_i 。

在真值表中,将函数值(C_i 或 S_i)为 1 的各参数(X_i, Y_i, C_{i-1})的“与”项相“或”,就组成了与该函数的逻辑表达式。如全加器的本位和有 4 项,全加器的本位进位也有 4 项,即有:

$$\begin{aligned} S_i &= \bar{X}_i \cdot \bar{Y}_i \cdot C_{i-1} + \bar{X}_i \cdot Y_i \cdot \bar{C}_{i-1} + X_i \cdot \bar{Y}_i \cdot \bar{C}_{i-1} + X_i \cdot Y_i \cdot C_{i-1} \\ &= X_i \oplus Y_i \oplus C_{i-1} \\ C_i &= \bar{X}_i \cdot Y_i \cdot \bar{C}_{i-1} + X_i \cdot \bar{Y}_i \cdot C_{i-1} + X_i \cdot Y_i \cdot \bar{C}_{i-1} + X_i \cdot Y_i \cdot C_{i-1} \\ &= X_i \cdot Y_i + (X_i \oplus Y_i) \cdot C_{i-1} \end{aligned}$$

由这两个表达式很容易得到相应的组合逻辑电路,如图 1.4(a)所示。并且可以用图 1.4(b)所示的逻辑符号表示。

实质上,全加器是完成 3 个 1 位数相加、具有两个输出端的逻辑电路。对应于输入端的不同值,将在两个输出端上输出相应的值。

(4) 串行加法电路