

高等学校教材

数字系统设计

应振澍 主编

大连理工大

高等学校教材

数字系统设计

应振澍 主编

大连理工大学出版社

内 容 提 要

本书由全国计算机与自动控制教材编审委员会审定并推荐出版,全书深入浅出、系统地介绍了数字系统的基本模型、自顶向下的结构化设计思想和形式化描述技术、数字系统的基本构成、控制部件的硬件和微程序实现方法,输入/输出控制技术和CAD技术在数字系统设计中的应用,内容丰富、通俗易懂,并附有大量的思考题和习题,可作为高等学校计算机及应用、计算机控制类本科学生的教材,也可以作为从事计算机控制和计算机应用研究的工程技术人员的重要参考书籍。

高等学校教材

数 字 系 统 设 计

Shuzi Xitong Sheji

应振澍 主编

大连理工大学出版社出版(大连市凌水河)

辽宁省新华书店经销

辽宁省清原县印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 22.875 字数: 553千字

1989年5月第一版 1989年5月第一次印刷

印数: 0001—3000册

责任编辑: 陆斐子 责任校对: 田韦

封面设计: 葛明

ISBN 7-5611-0100-7/TP·5 定价: 4.51元

前 言

本教材系按电子工业部的工科电子类专业教材1986~1990年编审出版规划,由计算机与自动控制教材编审委员会计算机编审小组征稿,推荐出版,责任编辑张吉锋。

本教材由上海工业大学应振澍担任主编,国防科技大学李勇担任主审。

本课程的参考学时数为72学时,其主要内容为:从体系结构的观点,通过数据流和控制流的概念到系统的逻辑和物理实现,着重介绍数字系统设计的基本原理和基本方法。全书共分九章。第一章概要介绍数字系统的基本模型,数字系统设计的基本过程和制约因素;第二章介绍自顶向下的结构化设计思想,性能级—功能级—结构级—物理级的细化求精过程,以及在系统设计、逻辑设计和物理设计过程中采用的技术;第三章除概要介绍常用的方框图和定时图外,着重介绍数字系统设计中使用的两种形式化描述技术:算法状态机(ASM)和寄存器传送语言(RTL);第四章介绍了数字系统基本构件和功能部件的设计和实现方法,微操作的概念以及组织和安排微操作序列时的两个重要概念——定时和控制;第五章从完整的数字系统设计角度介绍机器的基本构成、指令系统、寻址方式、指令周期和指令执行,主存贮器及总线的构造和操作;第六章介绍控制部件的硬件设计和实现方法;第七章介绍控制部件的微程序方法和微程序设计中编码和优化技术;第八章讨论了程序控制、中断驱动,DMA和IOP四种不同的输入/输出控制方法以及I/O同步技术和中断功能的实现;第九章概要介绍CAD技术在数字系统设计中的应用以及VLSI技术对数字系统设计思想的影响。

使用本教材时应注意:本教材以读者已经具有必要的数字逻辑设计和计算机数学基础知识为出发点;要求在学习时注重基本原理和基本方法的掌握,重视习题练习。本教材可以作为计算机及应用、计算机控制类专业本科学生的教材,也可作为从事计算机控制和计算机应用研究的工程技术人员的参考书籍。

本教材由应振澍编写第一至第六章,沈秀莲编写第七章和第八章,朱秀珍、贾洁元和廖海方编写第九章。应振澍统编全稿。参加审阅工作的还有国防科技大学杨超群和刘恩林同志,他们为本书提出许多宝贵意见,陈素云同志在本书编写过程中做了许多有益的工作,这里表示诚挚的感谢。由于编者水平有限,书中难免还存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

1988年3月

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定，我部承担了全国高等学校、中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力，有关出版社的紧密配合，从1978年至1985年，已编审、出版了两轮教材，正在陆续供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要，贯彻“努力提高教材质量，逐步实现教材多样化，增加不同品种、不同层次、不同学术观点、不同风格、不同改革试验的教材”的精神，我部所属的七个高等学校教材编审委员会和两个中等专业学校教材编审委员会，在总结前两轮教材工作的基础上，结合教育形势的发展和教学改革的需要，制订了1986~1990年的“七五”（第三轮）教材编审出版规划。列入规划的教材、实验教材、教学参考书等近400种选题。这批教材的评选推荐和编写工作由各编委会直接组织进行。

这批教材的书稿，是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中经院校推荐，由编审委员会（小组）评选择优产生出来的。广大编审者、各编审委员会和有关出版社为保证教材的出版和提高教材的质量，作出了不懈的努力。

限于水平和经验，这批教材的编审、出版工作还会有缺点和不足之处，希望使用教材的单位，广大教师和同学积极提出批评建议，共同为不断提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

目 录

第一章 概 论	(1)
1.1 数字系统的基本模型	(1)
1.1.1 数字系统的基本模型	(1)
1.1.2 信息处理单元模型和组成	(3)
1.1.3 控制单元的模型	(5)
1.2 数字系统的设计过程	(7)
1.3 影响和制约数字系统设计的若干要素	(9)
第二章 数字系统设计的基本原理	(14)
2.1 自顶向下设计和自底向上的集成	(14)
2.1.1 性能级	(14)
2.1.2 功能级	(16)
2.1.3 结构级	(17)
2.1.4 物理级	(19)
2.1.5 自底向上的集成	(20)
2.2 模块技术	(21)
2.2.1 系统结构图的导出	(22)
2.2.2 模块结构的块间联系和块内联系	(23)
2.3 逻辑设计技术及应用实例	(24)
2.4 分解技术及应用实例	(35)
2.4.1 相交分解和不相交分解	(35)
2.4.2 简单的不相交分解	(37)
2.4.3 复杂的不相交分解	(43)
2.5 迭代技术的原理及应用实例	(47)
2.5.1 迭代的基本概念	(48)
2.5.2 迭代网络基本模型	(50)
2.5.3 迭代网络的设计方法	(53)
2.5.4 二维迭代网络	(56)
习 题	(58)
第三章 用于数字系统设计的描述技术	(60)
3.1 方框图和定时图	(60)
3.1.1 方框图	(60)
3.1.2 定时图	(63)
3.2 算法状态机 (ASM) 及其在逻辑设计中的应用	(64)

3.2.1	算法状态机 (ASM) 图的结构和使用的符号	(64)
3.2.2	运用ASM图方法进行数字系统的设计	(70)
3.3	寄存器传送语言RTL及其应用实例	(75)
3.3.1	寄存器传送语言 (RTL) 的符号	(76)
3.3.2	采用RTL语言描述数据处理单元的结构	(79)
3.3.3	连接和传送的定时	(81)
3.3.4	控制的定序	(83)
3.3.5	组合逻辑和条件传送	(84)
3.3.6	RTL语言的总线符号	(87)
3.3.7	采用RTL描述进行设计的实例	(88)
习 题		(91)
第四章	数字系统基本设计技术	(96)
4.1	基本数字部件和构件的设计	(96)
4.1.1	总线的选择	(96)
4.1.2	移位器的设计	(100)
4.1.3	寄存器选择和设计	(101)
4.1.4	算术逻辑单元 (ALU) 的设计	(109)
4.1.5	控制变量的设计和选择	(115)
4.2	控制的基本概念	(119)
4.2.1	控制的基本内容	(119)
4.2.2	微操作和微操作序列	(119)
4.2.3	事件的概念	(123)
4.2.4	微操作的条件执行	(125)
4.2.5	控制函数的生成	(126)
4.3	数字系统的定时	(128)
4.3.1	数字系统定时考虑的相关因素	(128)
4.3.2	定序的概念	(131)
4.3.3	时滞、竞争和冒险	(132)
习 题		(138)
第五章	基本数字系统的构成	(141)
5.1	指令系统	(141)
5.1.1	指令系统的基本要求	(141)
5.1.2	指令的分类	(142)
5.1.3	指令的格式	(143)
5.1.4	指令格式的选择	(147)
5.1.5	基本的指令类型	(149)
5.2	寻址方式	(152)
5.2.1	直接寻址	(153)

5.2.2	立即数寻址	(153)
5.2.3	短缩寻址	(154)
5.2.4	间接寻址	(154)
5.2.5	自动变址寻址	(155)
5.2.6	变址寻址	(155)
5.2.7	基址寻址	(157)
5.2.8	相对寻址	(158)
5.2.9	通用寄存器寻址	(159)
5.3	指令周期和指令执行	(160)
5.3.1	基本机器的模型	(160)
5.3.2	指令周期	(162)
5.3.3	指令的执行	(163)
5.3.4	模型机的实现	(169)
5.4	主存贮器的构成及操作	(172)
5.4.1	存贮器的类型和选择	(172)
5.4.2	主存贮器的设计和实现	(173)
5.4.3	存贮器操作	(184)
5.5	总线结构	(186)
5.5.1	总线的概念	(186)
5.5.2	总线操作	(189)
5.5.3	总线的转换和分配	(194)
	习 题	(197)
第六章	控制部件的硬件实现	(200)
6.1	控制部件功能概述	(200)
6.2	采用ASM方法进行控制部件设计	(201)
6.3	采用状态表法进行控制部件的设计	(210)
6.4	基于移位寄存器/计数器的硬件实现方法	(215)
6.4.1	基于移位寄存器/环形计数器的实现方法	(215)
6.4.2	延时元件法	(220)
6.4.3	基于顺序计数器的实现方法	(223)
6.5	基于PLA的硬件实现方法	(227)
6.5.1	PLA的基本概念	(227)
6.5.2	基于PLA的控制部件实现	(231)
	习 题	(236)
第七章	控制部件的微程序实现	(238)
7.1	微程序控制器的基本结构	(238)
7.2	微指令编码和微指令格式	(240)
7.2.1	微指令的编码方法	(240)

7.2.2	水平微指令和垂直微指令	(243)
7.3	微程序的执行	(247)
7.3.1	微程序流程	(247)
7.3.2	增量方式后继微地址的生成	(249)
7.3.3	断定方式后继微地址的生成	(253)
7.4	微指令字最小化技术	(256)
7.4.1	微指令字最小化的基本过程	(256)
7.4.2	冲突组和冲突分解算法	(257)
7.4.3	相容类算法	(260)
7.4.4	覆盖算法	(261)
7.5	微指令的定序	(267)
7.5.1	与定序有关的各种时间概念	(267)
7.5.2	串行微程序控制	(268)
7.5.3	并行微程序控制	(269)
7.5.4	快速微程序转移	(272)
7.6	微程序控制器设计举例	(273)
7.7	控制部件硬件实现和微程序方法的比较	(281)
	习 题	(282)
第八章	输入/输出控制和接口技术	(286)
8.1	输入/输出控制方法	(286)
8.1.1	程序控制输入/输出方法	(287)
8.1.2	中断驱动的输入/输出方法	(292)
8.1.3	直接存取器访问(DMA)的输入/输出方法	(295)
8.1.4	输入/输出处理器(IOP)	(297)
8.1.5	软件在输入/输出控制中的作用和地位	(303)
8.2	输入/输出同步	(304)
8.2.1	同步总线方法	(305)
8.2.2	异步握手方法	(306)
8.2.3	半同步总线方法	(308)
8.2.4	输入/输出同步举例	(309)
8.3	中断处理的实现	(311)
8.3.1	中断响应	(312)
8.3.2	中断源的识别	(313)
8.3.3	中断处理	(315)
8.4	输入/输出接口举例	(316)
8.4.1	并行接口的结构和功能	(316)
8.4.2	串行接口的结构和功能	(318)
	习 题	(320)

第九章 数字系统CAD技术 概述.....	(322)
9.1 采用CAD技术进行数字系统设计的一般过程.....	(322)
9.1.1 概述.....	(322)
9.1.2 数字系统设计的过程和任务.....	(323)
9.1.3 数字系统计算机辅助设计中采用的技术.....	(325)
9.2 数字系统设计要求的表述和实现.....	(327)
9.2.1 硬件描述语言的意义和种类.....	(327)
9.2.2 数字系统CAD技术的实现.....	(339)
9.3 VLSI技术的发展对数字系统设计的影响.....	(350)
9.3.1 VLSI技术的发展与应用.....	(350)
9.3.2 VLSI技术对数字系统设计的影响.....	(350)
参考文献.....	(353)

第一章 概 论

根据对1983年度诺贝尔科学奖获得者的调查表明,计算机、人工智能和机器人技术是对下个世纪人类生活产生最深刻影响的几种新技术。不难发现,这些技术的共同基础是通常所说的数字系统技术。本章将概要介绍数字系统基本结构、设计的一般过程和制约因素,使读者对数字系统的设计有初步的了解。

1.1 数字系统的基本模型

1.1.1 数字系统的基本模型

随着社会生产力的空前提高和科学技术的迅猛发展,人类社会已从工业化社会向信息社会过渡,在生产、管理、科学研究和社会生活各个领域内产生的大量信息,需要进行采集、转换、传输、存贮、加工处理和利用,使之成为进一步提高社会生产力、促进科学文化技术繁荣和社会进步的强大动力,数字系统就是用以对信息进行采集、转换、传输、存贮、加工处理和利用的一组相互联系、相互作用的部件所组装成的一个有机整体。尽管信息具有各种各样的形态和特征,可以是离散的,也可以是连续的;可以是机械运动的位移、速度,也可以是温度、压力、电流、电压等各种物理量;可以是市场趋势、商品行情等经济信息,也可以是人事档案、情报资料;可以是曲线、图表,也可以是景物、语言文字。但是,所有这些信思都可以经过恰当的变换,转换成为数字系统所能接受的、离散的数字信息,加以存贮和处理。反过来,数字系统加工处理后的信息经过相应的逆变换,成为对要求的控制对象进

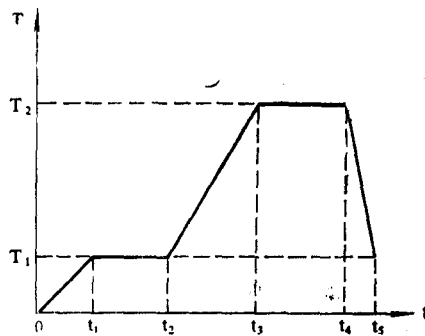


图1.1 一个化学反应炉的工作过程

行有效控制的控制信息或进行管理和决策的可靠依据。图1.1示出了一个化学反应炉的工作过程,它要求在 $0-t_1$ 时间内从常温升温至 T_1 ,随后加入原料A并保温至 t_2 ,紧接着在 t_2-t_3 时间内以一定速率将炉温从 T_1 升至 T_2 并加入第二种原料B,随后在 t_3-t_4 时间内保温使之反应生成产品,在 t_4-t_5 时间内将炉温降至 T_1 并出料。用来控制该化学反应炉的

数字系统必须按确定的时标巡回检测炉温、炉压、原料或产品的化学成份，并根据预定的控制规律（数学模型）确定各种参量调整值，控制执行机构进行调温、调压、进出料等各种操作。对于可能出现的危急情况进行报警，并为日常管理输出各种报表和统计信息。

控制图1.1所示的一台化学反应炉的数字系统，首先必须将传感器采样所得的炉温、炉压、原料成份的信息转换成数字系统可以接受的数据形式，然后将采样数据与标准工艺参数进行比较计算，根据即时误差和数学模型，计算出所需要的调整量，这些调整量必须变换成电流、电压等模拟量才能控制执行机构的动作。此外，对采样得来的数据还必须进行必要的变换和组织，才能按一定的格式进行显示或打印输出。所以，整个控制过程是一个连续不间断的信息传送和加工处理过程。在数字系统中，用来实现信息传送和加工处理的功能部件称为信息处理单元，它是数字系统的基本部件之一。但是信息处理单元究竟在什么时候可以采样、按什么样的频率进行采样、依照怎样的顺序进行误差和调整量的计算、调整量和统计报表按怎样的次序输出等等，要求在数字系统中有一个专门的部件，输出相应的控制序列，控制信息处理单元严格按照时间上和空间上预先规定的先后次序操作执行。用来产生控制信号序列的功能部件通常称为控制单元。信息处理单元和控制单元是一个数字系统中最基本的两大部件，尽管各种数字系统可能具有完全不同的功能和形式，但是都可以用信息处理单元和控制单元所构成的基本数字系统模型来描述它们的基本结构。从图1.2可见，在任何一个数字系统中，信息处理单元定义了系统中基本的信息传送以及信息通过系统时所形成的数据流上执行的操作，而为了执行希望的计算，使信息处理单元的操作能按规定的顺序执行，必须由控制单元决定并提供整个过程的操作序列。当一个计算过程达到某一步时，由控制单元发送出适当的控制信号控制信息处理单元执行特定的一组操作。当与这些操作相关的事件完成时，控制单元自动转入下一个处理步骤并发出下一步计算的控制信号。通过控制单元不断地生成和发送出的控制信号序列，控制信息处理单元不断地、有条不紊地执行

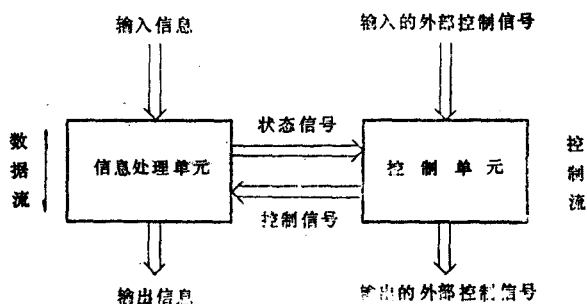


图1.2 数字系统基本模型

信息的传送和处理，直到整个任务完成。在某些情况下，下一个处理步骤取决于目前正在处理的信息的状态，为了决定下一步执行哪一个处理步骤，控制单元必须接收来自信息处理单元的状态信息，并利用这些信息去选择计算序列中下一个需要执行的步骤。控制单元除接收信息处理单元的状态信息外，还接收外部控制信息，并根据这些信息改变正在执行的计算序列。同样，控制单元也产生发送到别的控制单元的输出信息，这类输出信号影响着其它控制单元的操作。数字系统中就是这样通过信息处理单元和控制单元之间的密切配合、协调工

作, 成为一个自动的有机统一的信息处理机器。

1.1.2 信息处理单元模型和组成

信息处理单元的结构取决于要求执行的处理功能。如果希望一个信息处理单元执行的功能是将M个二进制数累加, 部分和的高n位作为系统的输出, 那么, 应做如下工作。设输入矢量X是由二进制变量 $X_1 X_2 \dots X_k$ 组成, 输出矢量Z是由二进制变量 $Z_1 Z_2 \dots Z_n$ 组成。这样一种典型的处理过程是: 将寄存在内部寄存器(或触发器)组 $Q_1 \dots Q_m$ 内的部分和(初值为0), 在控制信号T的控制下, 与输入矢量X相加, 得到新的部分和存放在内部寄存器(或触发器)组 $Q_1, \dots, Q_m$ 中, 部分和的高n位作为矢量Z输出。设信息处理单元中所有寄存器都是由主-从触发器所构成, 在累加前寄存器中的部分和为寄存器的现行值, 累加后新存入的部分和为寄存器的次态值, 那么, 寄存器(触发器) Q_i 的第j次相加后的次态值 Q_i^{j+1} 应该是现行的输入 $X_1 X_2 \dots X_k$ 、寄存器现行值 $Q_1^j Q_2^j \dots Q_m^j$ 和控制信号 T_j 的函数。这种处理过程可以用传送方程式

$$Q_i^{j+1} \leftarrow F_i(X_1^j, X_2^j \dots X_k^j, Q_1^j, Q_2^j \dots Q_m^j, T_j) \quad (1.1)$$

来表示。式中 F_i 为寄存器和输入的现行值在控制信号 T_j 控制下执行的处理和操作, Q_i^j 的次态 Q_i^{j+1} 将一直保持到下一次处理执行结束前。

同样, 输出变量 Z_i^j 也应该是内部寄存器和输入的现行值、以及控制信号 T_j 的函数, 可用输出方程

$$Z_i^j := G_i(X_1^j, X_2^j \dots X_k^j, Q_1^j, Q_2^j, \dots Q_m^j, T_j) \quad (1.2)$$

来表示。 G_i 则是根据寄存器和输入信号的现行值, 在控制信号 T_j 控制下生成输出量过程中所作的处理。

在生成寄存器的次态值和输出量的过程中, 信息处理单元通常根据寄存器和输入现行值生成某些状态信息, 如溢出、结果为0等等标志。这样的状态信息若用S来表示, 则S应该是寄存器和输入现行值的函数, 可用状态方程式

$$S_i^j := R_u(X_1^j, X_2^j \dots X_k^j, Q_1^j, Q_2^j \dots Q_m^j, F_i) \quad (1.3)$$

来表示。 R_u 通常是根据寄存器和输入的现行值以及信息处理单元处理的结果而作出的判定。这些状态信息是控制单元生成下一次控制信号的重要依据。

从上面的分析可知, 典型的信息处理单元应该包括三个基本组成部分:

(1) 一个是由控制信号T控制的组合逻辑网络。这个组合逻辑网络的作用是根据内部寄存器和输入量的现行值生成寄存器的次态值、输出信号和状态信息, 实现要求的数据处理操作。

(2) 由m个内部寄存器组成的寄存器组, 可以根据实际需要用以暂存操作处理过程中的源数据和中间结果数据。

(3) 一个专用的控制网络, 它的作用是根据来自控制单元的控制信号T和传送脉冲 τ , 生成内部寄存器传送信号 $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_m$, 由这些传送信号决定信息处理单元执行的传送操作。由这三个基本部件组成的信息处理单元如图1.3所示。

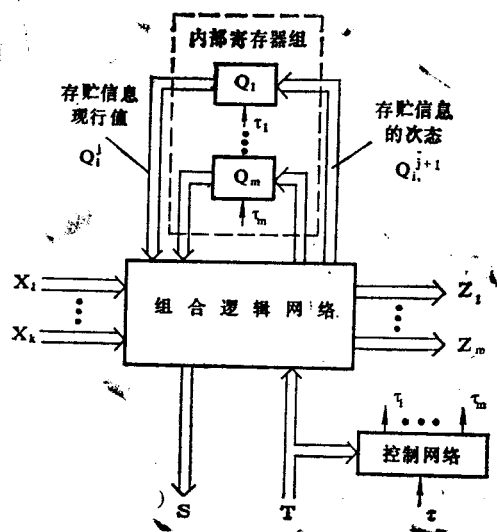


图1.3 信息处理单元模型

应该指出的是，输入 x_i 不一定是由一个二进制位表示的输入变量，它本身就可以是由若干个二进制位组成的输入矢量。同样，输出 Z_i 、内部寄存器 Q_i 的值、状态信息 S 和控制信号 T 通常都是由多个二进制位组成的矢量。例如，状态信息 S 可以由 $S_1 S_2 S_3 \dots S_n$ 组成的矢量，每一位定义为

$$s_1 := (X > 0), s_2 := (X = 0), s_3 := (X < 0) \dots$$

那么，当 $S = 1100 \dots 0$ 时，表示输入信号 $X \geq 0$ 。这种状态信息的定义可以用表1.1所示的状态信息表来表示， S 中的 n 位可以分别赋予 n 种不同的状态含义，从而组合成 2^n 种不同的状态信息。

同样，控制信号 T 可以由 $t_1 t_2 \dots t_m$ 组成的矢量，设每一位定义为

$$t_1 := \text{CLR}, t_2 := \text{ADD}, t_3 := \text{SUB}, \dots, t_m := \text{INC}$$

时，其中每一位可以表示控制信息处理单元执行的一种处理或操作。例如，当信息处理单元

表1.1 说明表的状态信息表示例

S 的编码位	该编码位定义的状态标志
s_1	$s_1 := (X > 0)$
s_2	$s_2 := (X = 0)$
s_3	$s_3 := (X < 0)$
$\vdots$	$\vdots$
s_n	$s_n := (Q_1 = X) \vee (Q_2 = X)$

只有一路输入 X 且 $T = 0100 \dots 00$ 时，信息处理单元在控制信号 T 的控制下执行加操作

$$Q_1 \leftarrow Q_1 + X$$

将输入量 X 与内部寄存器 Q_1 的内容相加, 并将相加的结果存入寄存器 Q_1 中。这种控制信号的定义可以用表 1.2 所示的操作表来表示, 控制信号 T 中的 m 位分别表示 m 种不同的基本操作。不同的信息处理单元, 可以有不同的基本操作门类。在 m 种基本操作中, 某些基本操作之间可能是互斥的, 可是也有可能另外一些基本操作是可以并发执行的, 每个控制信号 T 控制信息处理单元完成一种或几种基本操作。控制单元产生的控制信号 T 的序列控制了信息处理单元依次执行基本操作的序列, 使信息处理单元完成特定的处理任务。虽然, 控制信号 T 是由控制单元产生的, 但它所控制的操作是信息处理单元执行的。所以, 在信息处理单元设计时, 人们往往将表 1.1 所示的状态信息表和表 1.2 所示的操作表组合在一起, 用来定义和描述信息处理单元的功能。这样一种表格统称为信息处理单元的功能说明表, 有时还在说明表中给出某些内部传送信号或输出变量的表示形式, 为信息处理单元的设计提供所需要的信息。

表 1.2 说明表的操作表示例

控制信号 T	执行的 操作
$t_1 : = \text{CLR}$	$Q_1 \leftarrow 0$
$t_2 : = \text{ADD}$	$Q_1 \leftarrow Q_1 + X$
$t_3 : = \text{SUB}$	$Q_1 \leftarrow Q_1 - X$
$\vdots$	$\vdots$
$t_{m-1} : = \text{DEC}$	$Q_1 \leftarrow Q_1 - 1$
$t_m : = \text{INC}$	$Q_1 \leftarrow Q_1 + 1$

在信息处理单元中, 为了保证处理的正确执行, 输入信息和寄存器值的传送、状态信息和输出信息的生成都必须与控制信号之间保持时间上的严格次序。用来描述各种信号时序关系的最有效手段是定时图, 我们将在以后的各章中结合功能部件的设计讨论定时图的有关概念和应用。

1.1.3 控制单元的模型

如前所述, 为了利用数字系统执行复杂的计算任务 $y = F(x)$, 必须将这个任务转化成一个操作和测试序列, 这种操作和测试序列, 通常称为算法。信息处理单元按预定的顺序执行这些操作和测试, 最终形成要求的结果。控制单元的功能就是用来产生与操作序列相对应的控制信号序列, 每一个控制信号控制信息处理单元执行与算法相关的一个操作。图 1.4 示出了控制单元的系统级模型。状态寄存元件 Q 用来记录算法执行过程中的当前位置, 由算法的现行状态提供的控制信息和来自信息处理单元的状态信息 S , 通过组合逻辑网络生成要求的控制信号 T 。在信息处理单元, 由控制信号 T 和传送脉冲 τ 决定了信息处理单元执行的操作。同时, 在控制单元中, 组合逻辑网络根据算法的现行状态和信息处理单元来的状态信息生成算法的次态信息, 在传送脉冲控制下, 寄存到状态寄存器 Q 中, 使系统的控制转入算法的下一步。所以, 控制信号 T 和算法次态是 Q 现行值与状态信息 S 的函数, 可以用控制信号方程式 (1.4) 和次态方程式 (1.5) 描述这种函数关系:

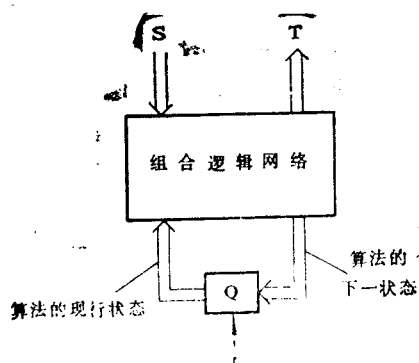


图1.4 系统级控制单元模型

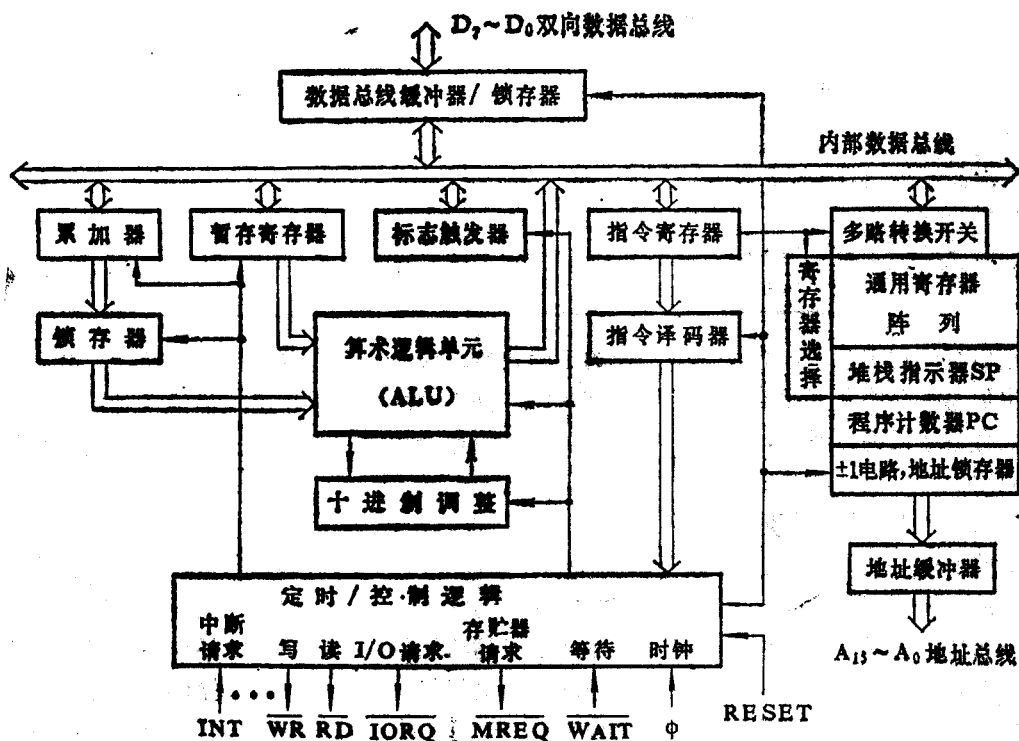


图1.5 一个典型的CPU内部结构图

$$T := F(S, Q) \quad (1.4)$$

$$Q \leftarrow G(S, Q) \quad (1.5)$$

在设计控制单元时必须定义上述两个方程式和下面三组信号：

信息处理单元来的状态信息 $\{[s_1, \dots, s_n]\}$

要求产生的控制信号 $\{[t_1, \dots, t_m]\}$

由算法定义的内部状态 $\{[g_1, \dots, g_n]\}$

然后,采用第6、7两章介绍的设计技术进行控制单元的设计。

电子数字计算机是典型的通用数字系统,计算机的信息处理单元称为运算器,运算器中完成各种算术和逻辑运算的组合逻辑网络通常称为算术逻辑单元(简称为ALU),算术逻辑单元、内部寄存器与计算机的控制单元相结合,构成了计算机的中央处理单元(即CPU)。图1.5示出了一个典型的CPU的内部结构,带箭头的双划线表示了CPU内部的数据流通路,带箭头的单划线则表示相应的控制流通路,CPU通过数据总线,地址总线和控制总线与信息存贮单元(存贮器)、输入/输出设备相联结,构成了完整的计算机,从而可以在控制器(图中包括程序计数器、指令寄存器、指令译码器和定时/控制逻辑等部件)的控制下,不断从存贮器中获得由程序提供的处理命令,由控制器将这些处理命令转换成各种控制信号的序列,控制信息处理单元完成特定的计算,或与外部世界进行信息交换。

1.2 数字系统的设计过程

Asimow在《设计引论》一书中将工程设计分为两种形式:基于评价的设计和基于发明的设计。数字系统的设计基本上是一种基于评价的设计过程,设计过程如图1.6所示。

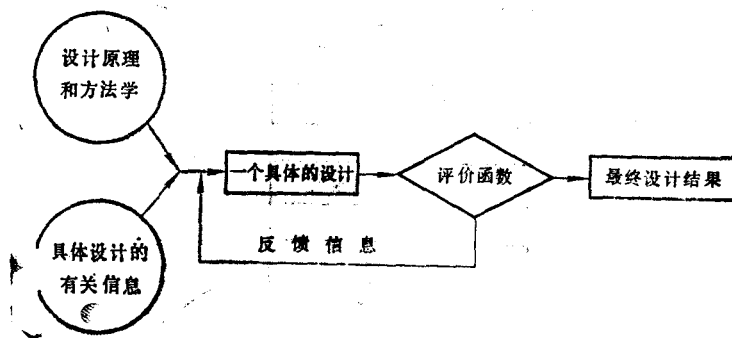


图1.6 基于评价的设计过程

(1) 设计人员根据设计的一般原理和设计方法学,以及一个具体设计的有关信息,作出一个初步设计;

(2) 根据需求和可能,确定评价函数,对该设计作出评价;

(3) 汇集评价过程中产生的反馈信息,对原设计进行修改和补充;

(4) 不断重复执行(2)、(3)两个步骤,直到产生一个满意的最终结果。

Asimow从新产品试制角度将设计过程分为七个阶段:

(1) 可行性研究。可行性研究的目的在于选择和决定实现设计要求的某些有用的方法,论证和判定设计的原始要求是否可以实现。同时,必须充分阐明设计的一般原理和方法学,进行必要的模拟和试验。

(2) 初步设计。列出所有可供选择的方案,通过调查研究和比较分析,以便找到一种有用的方案作为详细设计的基础。