

计算机系列教材

计算机逻辑与基础

朱玉成 编著

清华大学出版社



计算机系列教材

朱玉成 编著

计算机逻辑与基础

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书按照计算机发展的时间和历史,从理论到器件,从简单器件到复杂器件,由浅到深,详细描述计算机内部各种部件的原理和应用。本书学术思想新颖全面,很多内容是国内书上第一次出现,主要描述计算机数字和逻辑的基本原理及理论,如数字与逻辑的概念,数制、运算、编码和数字系统,逻辑门,布尔代数和逻辑化简,组合逻辑,组合逻辑电路函数,触发器和相关器件,计数器,移位寄存器,内存和外存,微处理器、计算机和总线,数字信号处理,集成电路技术,单片式计算机,计算机的发展与理论,错误检测与纠错代码。另外本书还有附录,包括本书关键术语、2 的幂次表、数量级表等,本书的最后是参考文献,以便读者今后在程序设计和计算机及处理器的设计时查阅。

本书适合作为高等院校计算机专业及相关专业本科生及研究生的教材,也可以作为自学者和开发者的参考用书。

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

计算机逻辑与基础/朱玉成编著. —北京:清华大学出版社,2016

计算机系列教材

ISBN 978-7-302-42265-5

I. ①计… II. ①朱… III. ①电子计算机—逻辑设计—高等学校—教材 IV. ①TP302.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 283645 号

责任编辑:白立军

封面设计:常雪影

责任校对:焦丽丽

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 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

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者:清华大学印刷厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:42.25

字 数:1029 千字

版 次:2016 年 1 月第 1 版

印 次:2016 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~1500

定 价:69.00 元

产品编号:057157-01

电子计算机从发明到现在已经跨越了 60 多年的时间,在此期间计算机的设计理论、电子元器件和软件都经历了一次又一次的改进,产生了翻天覆地的变化。计算机从多柜式计算机发展到单柜式计算机,再发展到单箱式计算机,又发展到单板式计算机,直至发展到单片式计算机。计算机的制造技术和工艺,从电子管发展到晶体管,从晶体管发展到小规模集成电路,再从小规模发展到中大集成电路,到现在发展成线宽只有 $20\sim 30\text{nm}$ 的超大规模集成电路。计算机结构也从控制器、指令译码器、运算器分开的分列式结构发展到以中央处理器(CPU)为中心的集中式结构,现在又发展到以内存为中心,多核处理器的结构,以提高计算机的速度和处理能力,有的发展成阵列式处理器结构以进一步提高计算机的处理能力,也有的发展成为以存储器为中心多处理器的网络结构以满足日益增长网络应用需要。要学习这些现代计算机的设计与编程,学好计算机逻辑与基础是必需的,本书正是为此目的而编写。

本书是为高等院校大学本科生和研究生或高等专科学校计算机科学与技术专业必修课“计算机逻辑与基础”而编写的教材。本书内容,基本上按时间顺序由浅入深,从简单到复杂,详细描述现代计算机中所采用逻辑理论与方法。从二值数字逻辑理论到逻辑器件,从真值表到逻辑函数化简,从组合电路到时序电路,从触发器和相关器件、计数器、移位寄存器到计算机基本运算部件和结构,内存和外存,微处理器、计算机总线,数字信号处理,集成电路技术,单片式计算机,计算机的发展与理论,错误检测与纠错代码,本书都一一加以详细描述。

全书共分 16 章。第 1 章,数字与逻辑的概念。描述数字和逻辑的概念,算盘和计算机的发明,数字量和模拟量,二进制数,逻辑电压与波形,基本逻辑运算,逻辑函数,固定逻辑集成电路,可编程集成电路。第 2 章,数制、运算、编码和数字系统。描述十进制数、二进制数,十进制与二进制数的变换,二进制算术、反码和补码,带符号数的算术运算,十六进制数,八进制数,四进制数,二-十进制编码,数字编码与奇偶校验,数字系统应用。第 3 章,逻辑门。介绍单变量逻辑门非门和跟随器,双变量与门、或门、与非门、或非门、异或门、同或门、大于门、小于等于门、小于门、大于等于门,固定功能逻辑 IC 门和可编程逻辑器件。第 4 章,布尔代数和逻辑简化。介绍布尔运算和表达式,布尔代数的定律和法则,逻辑电路的布尔分析,用布尔代数进行化简,布尔表达式标准形式,布尔表达式和真值表,卡诺图化简法,奎恩-马克柯劳斯基(Quine-McCluskey)计算机编程化简算法,线性逻辑空间化简法,可编程逻辑,数字系统应用。第 5 章,组合逻辑。介绍基本组合逻辑电路,与非门和或非门的通用特征,脉冲波形的逻辑电路运算,可编程逻辑与数字系统应用。第 6 章,组合逻辑电路函数。介绍基本加法器、基本减法器、并行减法器、并行加减器、并行乘法器、并行除法器、比较器、

解码器、编码器、代码转换器、多路转换器、多路复用器、奇偶发生器、校验器及数字系统应用。第7章,触发器和相关器件。介绍锁存器、边沿触发器、主从触发器、触发器运算特征与应用、单次振荡器和555计时器。第8章,计数器。介绍异步计数器、同步计数器、递增或递减同步计数器、同步计数器的设计、级联计数器、计数器译码和计数器应用。第9章,移位寄存器。介绍基本移位寄存器的功能,串行输入-串行输出移位寄存器、串行输入-并行输出移位寄存器、并行输入-串行输出移位寄存器、并行输入-并行输出移位寄存器、双向移位寄存器、移位寄存器计数器、移位寄存器应用和关联标注的逻辑符号。第10章,内存和外存。介绍半导体内存、随机存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、可编程ROM(PROM和EPROM)、闪存(Flash)、内存扩充、特殊类型的内存、磁性存储器和光学存储器。第11章,微处理器、计算机和总线。介绍微处理器和计算机、微处理器的历史、8086/8088微处理器和奔腾处理器的软件模型、微处理器的指令和编程、中央处理单元(CPU)、存储器、输入输出端口、中断、直接存储器访问(DMA)、内部系统接口、标准总线。第12章,数字信号处理。数字信号处理基础,将模拟信号转换为数字信号,模数转换方法,数字信号处理器(DSP),数模转换方法。第13章,集成电路技术。介绍集成电路基本的操作特性和参数,CMOS电路,TTL电路,CMOS和TTL的性能比较,发射极耦合逻辑(ECL)电路,PMOS、NMOS和E²CMOS。第14章,单片式计算机。介绍单片式计算机的诞生,单片式计算机的体系结构,中央处理单元,代码内存,数据内存(RAM),操作控制,周边设备,振荡器、频率倍乘器和时钟生成器,单片式计算机的分类,单片式处理器的主要用途,单片式处理器的主要生产厂家。第15章,计算机的发展与理论。介绍单用户计算机和多用户计算机,CPU中心论。内存中心论,存储器中心论,操作系统的发展,操作系统的分类,计算机的运算指令结构理论,中央处理器集成电路引脚理论。第16章,错误检测与纠错代码。介绍错误检测代码,Hamming平均错误检测代码,CRC校验码,MD5算法,SHA算法,Reed和Solomon编码解码。附录部分包括本书的关键术语和相关资料介绍。

本书的每一章末尾都提供本章主要内容的小结,供学生复习回顾,并提供一定数量的习题,供学生练习,教师可以根据情况选择布置作业。书中的附录中有各章的技术术语和相关的数量级表和编码表,供学生计算机编程和计算机设计时使用及参考。

使用本书教学,建议每学期讲课时间为48学时到64学时,即每周3节课到4节课,按每学期20周计算,如每周只有2节课,只能由教师根据需要选择讲述,自行决定。

在本书的编写过程中,得到了浙江大学计算机科学与技术学院各级领导的支持和关怀,在此表示深深的感谢。另外,感谢浙江大学网络中心,为网上资料的查寻提供方便。感谢Intel公司提供相关的技术资料。感谢Microsoft公司提供的Office编辑软件Word和绘图软件Visio。感谢清华大学出版社为本书的出版做出的努力。

本书如有错误或不当之处,欢迎读者不吝指正。

作者 朱玉成

2015年8月 于浙江大学 玉泉校区

F O R E W O R D

第 1 章 数字与逻辑的概念	/1
1.1 数字的概念	/1
1.2 算盘的发明	/1
1.3 逻辑的概念	/2
1.4 计算机的发明	/2
1.5 数字量与模拟量	/3
1.6 二进制数的表示形式	/5
1.7 逻辑电平与数字波形	/6
1.8 基本逻辑运算	/10
1.9 逻辑函数	/12
1.10 固定函数集成电路	/17
1.11 可编程逻辑集成电路	/22
1.12 小结	/23
1.13 习题	/24
第 2 章 数制、运算、编码和数字系统	/26
2.1 十进制数	/26
2.2 二进制数	/27
2.3 十进制数与二进制数的变换	/29
2.4 二进制算术	/31
2.5 二进制数的反码与补码	/34
2.6 带符号的数	/36
2.7 带符号数的算术运算	/41
2.8 十六进制数	/47
2.9 八进制数	/51
2.10 四进制数	/53
2.11 二-十进制编码	/55
2.12 数字编码和奇偶校验	/57
2.13 数字系统应用	/67
2.14 小结	/68
2.15 习题	/69

第3章 逻辑门	/72
3.1 逻辑门简介	/72
3.2 非门	/74
3.3 跟随门	/76
3.4 与门	/77
3.5 或门	/82
3.6 与非门	/85
3.7 或非门	/89
3.8 异或门	/92
3.9 同或门	/93
3.10 大于门	/95
3.11 小于等于门	/96
3.12 小于门	/97
3.13 大于等于门	/98
3.14 固定功能逻辑 IC 门	/99
3.15 可编程逻辑器件	/105
3.16 小结	/107
3.17 习题	/108
第4章 布尔代数和逻辑化简	/111
4.1 布尔运算和表达式	/111
4.2 布尔代数的定律和法则	/112
4.3 逻辑电路的布尔分析	/120
4.4 用布尔代数进行化简	/121
4.5 布尔表达式的标准形式	/123
4.6 布尔表达式和真值表	/127
4.7 卡诺图	/129
4.8 卡诺图 SOP 最小化	/131
4.9 卡诺图 POS 最小化	/138
4.10 5 变量卡诺图	/140
4.11 逻辑代数的计算机程序化简——奎恩-马克柯 劳斯基算法	/142
4.12 线性逻辑空间化简法	/147

4.13	可编程逻辑	/148
4.14	数字系统应用	/152
4.15	小结	/157
4.16	习题	/158
第5章	组合逻辑	/160
5.1	基本组合逻辑电路	/160
5.2	实现组合逻辑	/164
5.3	与非门和或非门的通用特性	/168
5.4	使用与非门和或非门的组合电路	/170
5.5	具有脉冲波形的逻辑电路运算	/174
5.6	可编程逻辑	/176
5.7	数字系统应用	/179
5.8	小结	/183
5.9	习题	/184
第6章	组合逻辑电路函数	/186
6.1	基本加法器	/186
6.2	并行二进制加法器	/189
6.3	基本减法器	/195
6.4	并行减法器	/197
6.5	可控加减器	/199
6.6	并行(阵列)乘法器	/200
6.7	并行(阵列)除法器	/201
6.8	比较器	/202
6.9	解码器	/207
6.10	编码器	/214
6.11	代码转换器	/218
6.12	多路转换器	/220
6.13	多路复用器	/227
6.14	奇偶发生器/校验器	/228
6.15	数字系统应用	/231
6.16	小结	/236

6.17 习题	/237
第7章 触发器和相关器件	/239
7.1 锁存器	/239
7.2 边沿触发的触发器	/244
7.3 主从触发器	/254
7.4 触发器运算特征	/255
7.5 触发器应用	/258
7.6 单次振荡器	/261
7.7 555 计时器	/266
7.8 小结	/271
7.9 习题	/272
第8章 计数器	/273
8.1 异步计数器运算	/273
8.2 同步计数器运算	/280
8.3 递增/递减同步计数器	/287
8.4 同步计数器的设计	/290
8.5 级联计数器	/298
8.6 计数器译码	/302
8.7 计数器应用	/305
8.8 小结	/309
8.9 习题	/309
第9章 移位寄存器	/311
9.1 基本移位寄存器功能	/311
9.2 串行输入-串行输出移位寄存器	/312
9.3 串行输入-并行输出移位寄存器	/314
9.4 并行输入-串行输出移位寄存器	/316
9.5 并行输入-并行输出移位寄存器	/319
9.6 双向移位寄存器	/321
9.7 移位寄存器计数器	/323
9.8 移位寄存器应用	/326

9.9	关联标注的逻辑符号	/332
9.10	小结	/333
9.11	习题	/333
第 10 章	内存和外存	/335
10.1	半导体内存基础	/335
10.2	随机存储器	/338
10.3	只读存储器	/350
10.4	可编程 ROM(PROM 和 EPROM)	/354
10.5	闪存	/357
10.6	内存扩充	/361
10.7	特殊类型的内存	/365
10.8	磁性存储器和光学存储器	/371
10.9	小结	/376
10.10	习题	/377
第 11 章	微处理器、计算机和总线	/379
11.1	微处理器和计算机	/379
11.2	微处理器的历史回顾	/383
11.3	8086/8088 微处理器和奔腾处理器的 软件模型	/387
11.4	微处理器的指令和编程	/394
11.5	中央处理单元	/419
11.6	存储器	/425
11.7	输入输出端口	/427
11.8	中断	/430
11.9	直接存储器访问	/432
11.10	内部系统接口	/433
11.11	标准总线	/436
11.12	小结	/443
11.13	习题	/445

第 12 章	数字信号处理	/447
12.1	数字信号处理基础	/447
12.2	将模拟信号转换为数字信号	/448
12.3	模数转换方法	/453
12.4	数字信号处理器	/462
12.5	数模转换方法	/467
12.6	小结	/473
12.7	习题	/474
第 13 章	集成电路技术	/475
13.1	基本的操作特性和参数	/475
13.2	CMOS 电路	/481
13.3	TTL 电路	/485
13.4	TTL 在实际使用中的注意事项	/489
13.5	CMOS 和 TTL 的性能比较	/495
13.6	发射极耦合逻辑电路	/495
13.7	PMOS、NMOS 和 E^2 CMOS	/497
13.8	小结	/498
13.9	习题	/499
第 14 章	单片式计算机	/500
14.1	单片式计算机的诞生	/500
14.2	单片式计算机的体系结构	/500
14.3	中央处理单元	/501
14.4	代码内存	/501
14.5	数据内存	/502
14.6	操作控制	/502
14.7	周边设备	/502
14.8	振荡器、频率倍乘器和时钟生成器	/502
14.9	单片式计算机的分类	/503
14.10	单片式处理器的主要用途	/505
14.11	单片式处理器的主要生产厂家	/505
14.12	小结	/508

14.13 习题	/508
第 15 章 计算机的发展与理论	/509
15.1 单用户计算机和多用户计算机	/509
15.2 CPU 中心理论	/509
15.3 内存中心理论	/509
15.4 存储器中心论	/512
15.5 操作系统的发展	/512
15.6 操作系统的分类	/515
15.7 计算机的运算指令结构理论	/516
15.8 中央处理器集成电路引脚理论	/519
15.9 小结	/519
15.10 习题	/520
第 16 章 错误检测与纠错代码	/521
16.1 错误检测代码	/521
16.2 Hamming 平均错误检测代码	/522
16.3 检错和纠错	/525
16.4 CRC 校验码	/529
16.5 MD5 算法	/538
16.6 SHA 算法	/543
16.7 Reed 和 Solomon 编码	/545
16.8 小结	/592
16.9 习题	/593
附录 A 本书关键术语	/595
附录 B 2 的幂次表	/605
附录 C 数量级表	/614
附录 D 国标区位码表 GB2312—80 生成程序 (QBASIC)	/616

附录 E 国标区位三级字库码表 GB3 生成程序 (QBASIC)	/617
附录 F Unicode 编码表生成程序(QBASIC)	/618
附录 G Verilog HDL 快速参考中英文版	/619
附录 H VHDL 快速参考	/625
附录 I Verilog HDL 和 VHDL 的技术术语	/632
附录 J 英特尔 Pentium 4 指令参考	/639
附录 K 二值逻辑三变量全逻辑公式表	/651
参考文献	/661

第 1 章 数字与逻辑的概念

1.1 数字的概念

数字(Digit)的概念可以追溯到人类的早期,人们为了计数发明了数字。人们用手来数数,就用手来计数,人用十个手指数数,就发明了十进制(Decimal)。

古代人用刻石板、刻泥板和刻龟板的方法来记录数字,后来发明了纸张,就用纸张来记录数字和传递数字。

现代人用现代的方法来记录数字,如用纸张、纸带、磁带、硬磁盘、软磁盘、光盘和 U 盘来记录数字,用网络、光纤、无线电波和光波来传递数据。

1.2 算盘的发明

算盘(Acubas)起源于中国的原始社会晚期,当时为了商业计数,计算较大的数,用算盘替代数手指计算。

当时的算盘,每一位有 10 个算子,分上档和下档,各有 5 个算子,分别表示人的两只手和每只手的 5 个手指。如图 1-1 所示,这种算盘主要用于加法(Add)和减法(Sub)的计数。

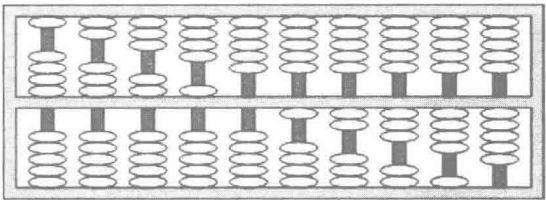


图 1-1 10 子算盘(五加五算盘)

大约在几千年前,由于规划的需求而发明了乘法(Multiply),由于分配的需要而发明了除法(Divide)。还有对天文月历和星期进行计数的需求,改进了每位 10 个算子的算盘,发明了每位 7 个算子的算盘。上档有两个子,表示人有两只手,下档有 5 个子,表示一只手的五个手指。如图 1-2 所示,这种算盘既可以进行加减运算,也可以进行乘除运算,还可以对天文月历和星期进行计数。

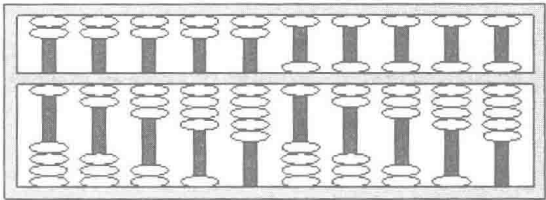


图 1-2 7 子算盘(二乘五算盘)

1.3 逻辑的概念

公元 1850 年,英国的逻辑学家、数学家乔治·布尔(George Boole,1815—1864 年,见图 1-3)发明了一种用符号明确叙述命题的数学系统,以类似于代数的方式书写和解答是非相关问题,即人们今天所熟知的布尔代数(Boole Algebra),技术上称为二进制逻辑代数(Binary Algebra)。

用 1 表示确定(Yes),用 0 表示否定(Not),用下列公式表示确定和否定(二进制)的逻辑关系。

单变量逻辑关系:

$$f(a) = f(1) \cdot a + f(0) \cdot \text{Not}(a)$$

双变量逻辑关系:

$$\begin{aligned} f(a,b) &= f(1,b) \cdot a + f(0,b) \cdot \text{Not}(a) \\ &= (f(1,1) \cdot b + f(1,0) \cdot \text{Not}(b)) \cdot a + (f(0,1) \cdot b \\ &\quad + f(0,0) \cdot \text{Not}(b)) \cdot \text{Not}(a) \end{aligned}$$



图 1-3 乔治·布尔

1.4 计算机的发明

1945 年,美国数学家、计算机学家约翰·冯·诺依曼(John Von Neumann,见图 1-4)提出了现代计算机的理论和结构,参见图 1-5。



图 1-4 约翰·冯·诺依曼

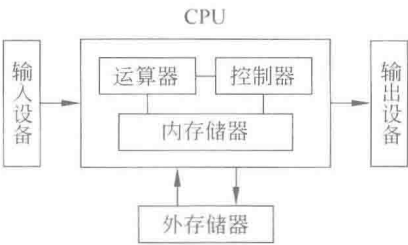


图 1-5 冯·诺依曼体系结构

现代计算机的理论和结构主要内容如下。

- (1) 计算机指令和数据同存于内存,不加区别。
- (2) 计算机采用线性内存,每个单元的位数是固定的。
- (3) 计算机按照程序的指令顺序执行,控制操作,指令组成的程序是可以修改的。
- (4) 指令由操作码、操作数和地址码组成。
- (5) 以运算器为中心。
- (6) 计算机的数据采用二进制表示。

1.5 数字量与模拟量

电路可以分为两大类,即数字电路和模拟电路。数字电路(Digital Circuit)处理离散表示的量,模拟电路(Analog Circuit)处理连续表示的量。

模拟量(Analog Value)是以连续值表示的数据。数字量(Digital Value)是以离散值表示的数据。

自然界中大部分的量都可以用模拟量来表示。例如,温度、湿度、压力、声音、光强、电压和电流等。

例如,热温度计测得的一天时间内温度变化的模拟量表示的数据,每个温度间隔之间有无数个温度值,每个时间间隔间有无数个温度值,图 1-6 所示的是用模拟量表示的时间-温度平滑曲线模拟量图。

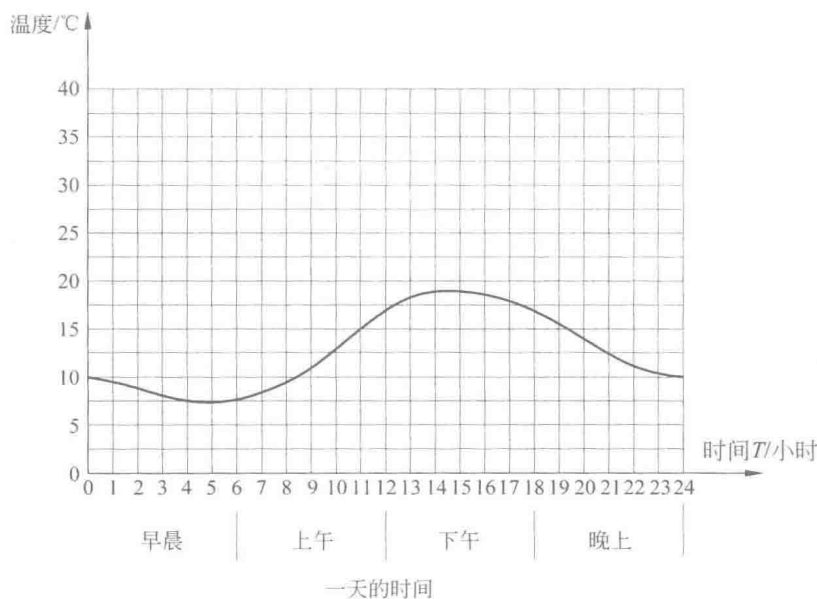


图 1-6 模拟量图(模拟式时间-温度)

用离散值的方法也可以表示温度数据。例如,用数字温度计测得的时间温度表,一天有 24 个小时,每一小时测得一个温度值,用编码表示每一个温度值,绘制成图表,如图 1-7 所示,这是一张数字式时间-温度的数字量表。

数字量的优点

数字表示法较模拟量表示法在电子应用方面有一定的优势。首先,数字数据比模拟数据在处理和传输方面更有效,更可靠。其次,数字数据更便于存储。最后,数字量较模拟量有较高的抗干扰能力。

例如,当音乐转换成数字形式后,比相同情况下转换成模拟形式更完整,复制效果会更精确,更清晰。噪音(不必要的电压波动)不会影响数字数据,但会影响模拟信号。

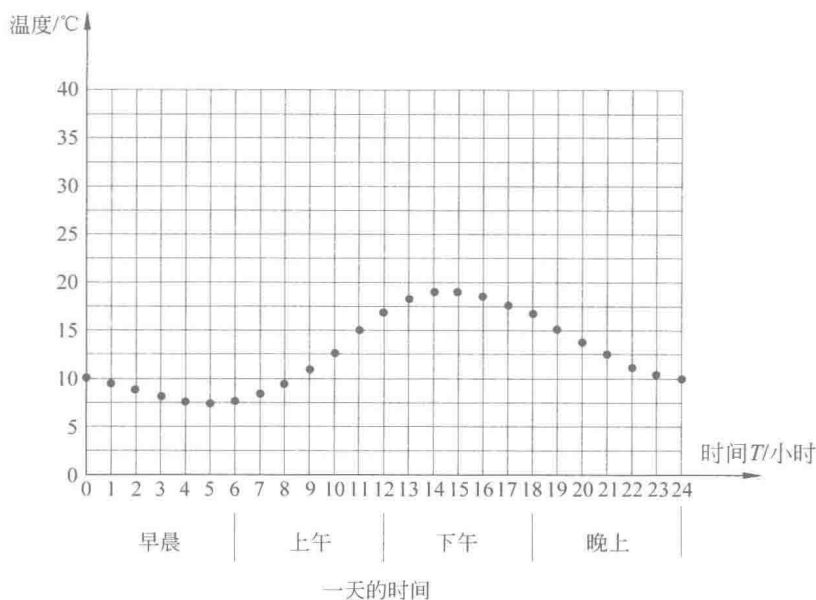


图 1-7 数字量图(数字式时间-温度)

模拟电子系统

只使用模拟电子器件处理模拟信号的电子系统称为**模拟电子系统 (Analog Electronic System)**,或称为**模拟系统**。例如,模拟广播、模拟收音机、模拟电视广播、模拟电视接收机和模拟电话系统等。收音机的模拟电子系统如图 1-8 所示。

数字电子系统

只使用数字电子器件处理数字信号的电子系统称为**数字电子系统 (Digital Electronic System)**,或称为**数字系统**。

例如,数字式计算器、数字计算机和学习机等。学习机的数字电子系统方框图如图 1-9 所示。

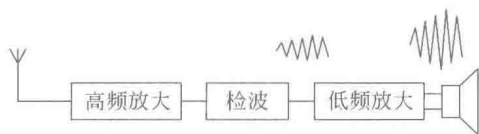


图 1-8 收音机的模拟电子系统

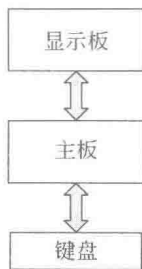


图 1-9 学习机的数字电子系统

模拟数字混合电子系统

既使用模拟电子器件,又使用数字电子器件,同时处理模拟信号和数字信号的电子系统称为**模拟数字混合电子系统 (Analog-digital Hybrid Electronic System)**,或称为**模数混合系统 (Hybrid Electronic System)**。

例如,数字音频视频播放器、数字录音机、数字摄录像机、数字收音机和数字电视机等。