

计算机基础与实训教材系列

计算机基础实例教程

(Windows 10+WPS Office)

(微课版)

于 洋 黄小明 编著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书由浅入深、循序渐进地介绍了 Windows 10 操作系统和 WPS Office 软件的使用方法以及计算机应用领域的新技术。本书共分 14 章, 分别介绍了计算机基础知识, Windows 10 操作系统, WPS Office 基础操作, 输入与编辑文字, 文档的图文混排, 文档的排版设计, 电子表格的基础操作, 使用公式与函数, 整理分析表格数据, 应用图表和数据透视表, 创建演示与制作幻灯片, 幻灯片动画设计, 放映和输出演示文稿, 计算机应用新技术等内容。

本书内容丰富、结构清晰、语言简练、图文并茂, 具有很强的实用性和可操作性, 适合作为高等院校相关专业的教材, 也可作为广大初、中级计算机用户的自学参考书。

本书对应的电子课件、实例源文件和习题答案可以到 <http://www.tupwk.com.cn/edu> 网站下载, 也可以通过扫描前言中的二维码下载, 读者扫描前言中的教学视频二维码可以观看教学视频。

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。举报: 010-62782989, beiqinquan@tup.tsinghua.edu.cn

图书在版编目(CIP)数据

计算机基础实例教程 : Windows 10+WPS Office :

微课版 / 于洋, 黄小明主编. — 北京 : 清华大学出版社,

2025. 2. — (计算机基础与实训教材系列).

ISBN 978-7-302-68219-6

I. TP316.7; TP317.1

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2025BB6812 号

责任编辑: 胡辰浩

封面设计: 高娟妮

版式设计: 妙思品位

责任校对: 马遥遥

责任印制: 丛怀宇

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <https://www.tup.com.cn>, <https://www.wqxuetang.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编: 100084

社 总 机: 010-83470000 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: 三河市人民印务有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 190mm×260mm 印 张: 20.5 插 页: 1 字 数: 538 千字

版 次: 2025 年 4 月第 1 版 印 次: 2025 年 4 月第 1 次印刷

定 价: 69.00 元

产品编号: 101892-01

《计算机基础实例教程(Windows 10+WPS Office)(微课版)》从教学实际需求出发,合理安排知识结构,由浅入深、循序渐进地讲解 Windows 10 操作系统和 WPS Office 软件的使用方法和技巧。全书共分 14 章,主要内容如下。

第 1 章和第 2 章介绍计算机的基础知识,Windows 10 操作系统的应用技巧。

第 3~6 章介绍 WPS Office 文字的操作方法,包括认识软件的操作界面、输入和编辑文字、文档的图文混排、文档的排版设计等内容。

第 7~10 章介绍 WPS Office 表格的操作方法,包括电子表格的基础操作、使用公式与函数、整理分析表格数据、应用图表和数据透视表等内容。

第 11~13 章介绍 WPS Office 演示的操作方法,包括创建和制作幻灯片、设计幻灯片动画、放映和输出演示文稿等内容。

第 14 章介绍计算机应用领域的新技术。

本书内容丰富、图文并茂、条理清晰、通俗易懂,在讲解每个知识点时都配有相应的实例,方便读者上机实践。同时,为了方便老师教学,本书免费提供对应的电子课件、实例源文件和习题答案。本书提供书中实例操作的教学视频,读者可通过扫描下方二维码观看本书对应的同步教学视频。



本书配套素材和教学课件的下载地址如下。

<http://www.tupwk.com.cn/edu>



本书同步教学视频的二维码如下。



扫一扫,看视频



扫码推送配套资源到邮箱

本书分为 14 章,由于洋和黄小明合作编写完成,其中于洋编写了第 1、2、3、6、10、11、13、14 章,黄小明编写了第 4、5、7、8、9、12 章。由于作者水平有限,本书难免有不足之处,欢迎广大读者批评指正。我们的邮箱是 992116@qq.com, 电话是 010-62796045。

编者

2024 年 11 月

推荐课时安排

章 名	重 点 掌 握 内 容	教 学 安 排 / 学 时
第 1 章 计算机基础知识	计算机的产生与发展、计算机的分类与应用、数据的表示和存储	3
第 2 章 Windows 10 操作系统	管理文件和文件夹、自定义任务栏、创建用户账户	4
第 3 章 WPS Office 基础操作	操作界面、设置界面元素、文件基础操作	3
第 4 章 输入与编辑文字	输入文本、设置文本、设置段落格式、设置项目符号和编号	4
第 5 章 文档的图文混排	插入图片 and 艺术字、添加文本框和表格	5
第 6 章 文档的排版设计	设置文档页面格式、添加目录和备注、插入页眉、页脚和页码、设置文档样式	6
第 7 章 电子表格的基础操作	工作簿的基础操作、工作表的基础操作、单元格的基本操作、设置表格格式	4
第 8 章 使用公式与函数	使用公式、使用函数、使用名称、常用函数的应用	5
第 9 章 整理分析表格数据	数据排序、数据筛选、数据分类汇总	6
第 10 章 应用图表和数据透视表	插入图表、设置图表、制作数据透视表、制作数据透视图	6
第 11 章 创建演示与制作幻灯片	创建演示、幻灯片基础操作、设计幻灯片母版、丰富幻灯片内容	4
第 12 章 幻灯片动画设计	设计幻灯片切换动画、添加对象动画效果、动画效果高级设置、制作交互式幻灯片	6
第 13 章 放映和输出演示文稿	应用排练计时、幻灯片放映设置、放映演示文稿、输出演示文稿	6
第 14 章 计算机应用新技术	云计算、移动互联网和物联网、大数据、人工智能、虚拟现实、区块链	3

注：1. 教学课时安排仅供参考，授课教师可根据情况进行调整；

2. 建议每章安排与教学课时相同时间的上机练习。

第 1 章 计算机基础知识..... 1

1.1 计算思维与算法概述	2
1.1.1 计算思维	2
1.1.2 算法	5
1.2 计算机的产生与发展	9
1.2.1 计算机的产生	9
1.2.2 计算机的发展	10
1.3 计算机的分类与应用	11
1.3.1 计算机的分类	11
1.3.2 计算机的应用	12
1.4 计算机系统的基本组成	13
1.4.1 计算机硬件系统	14
1.4.2 计算机软件系统	18
1.5 计算机中数据的表示和存储	19
1.5.1 常用数制	19
1.5.2 进制间的转换	21
1.5.3 二进制数的表示	23
1.5.4 数据的存储	31
1.6 多媒体技术的概念与应用	36
1.6.1 多媒体的几个主要概念	36
1.6.2 多媒体的关键技术	37
1.6.3 多媒体技术的应用	37
1.7 习题	38

第 2 章 Windows 10 操作系统..... 39

2.1 操作系统概述	40
2.1.1 操作系统的基本概念	40
2.1.2 操作系统的功能	40
2.1.3 操作系统的分类	44
2.1.4 Windows 10 操作系统简介	45
2.2 Windows 10 基本操作	46

2.2.1 认识桌面系统	46
2.2.2 操作窗口和对话框	49
2.2.3 管理文件和文件夹	53
2.2.4 使用汉字输入法	55
2.3 设置个性化系统环境	56
2.3.1 更改桌面图标	56
2.3.2 更改桌面背景	57
2.3.3 自定义鼠标指针的外形	57
2.3.4 自定义任务栏	58
2.3.5 设置屏幕保护程序	59
2.3.6 设置显示器参数	60
2.3.7 设置系统声音	61
2.3.8 创建用户账户	62
2.4 管理系统软硬件	65
2.4.1 卸载软件	65
2.4.2 查看硬件设备信息	66
2.4.3 更新硬件驱动程序	67
2.5 习题	68

第 3 章 WPS Office 基础操作..... 69

3.1 WPS Office 操作界面	70
3.1.1 【新建】界面	70
3.1.2 文字文稿工作界面	71
3.1.3 表格和演示的工作界面	72
3.1.4 稻壳儿模板	73
3.2 设置界面元素	76
3.2.1 添加功能区选项卡和命令按钮	76
3.2.2 在快速访问工具栏中 添加命令按钮	78
3.2.3 设置界面皮肤	79
3.3 文件基础操作	80
3.3.1 新建和保存文件	80
3.3.2 打开和关闭文件	83

3.3.3 设置文件密码	83
3.4 习题	84

第4章 输入与编辑文字..... 85

4.1 输入文本	86
4.1.1 输入基本字符	86
4.1.2 输入日期和时间	87
4.1.3 输入特殊符号	89
4.1.4 插入和改写文本	90
4.1.5 移动和复制文本	90
4.1.6 查找和替换文本	91
4.2 设置文本和段落格式	92
4.2.1 设置字体和颜色	93
4.2.2 设置字符间距	94
4.2.3 设置字符边框和底纹	94
4.2.4 设置段落的对齐方式	95
4.2.5 设置段落缩进	95
4.2.6 设置段落间距	97
4.3 设置项目符号和编号	98
4.3.1 添加项目符号和编号	98
4.3.2 自定义项目符号和编号	99
4.4 实例演练	101
4.5 习题	104

第5章 文档的图文混排..... 105

5.1 插入图片	106
5.1.1 插入计算机中的图片	106
5.1.2 调整图片大小	107
5.1.3 设置图片的环绕方式	108
5.1.4 为图片添加轮廓	109
5.2 插入艺术字	109
5.2.1 添加艺术字	110
5.2.2 编辑艺术字	110

5.3 添加形状	111
5.3.1 绘制形状	111
5.3.2 编辑形状	112
5.4 添加文本框	113
5.4.1 绘制文本框	113
5.4.2 编辑文本框	114
5.5 添加表格	115
5.5.1 插入表格	115
5.5.2 编辑表格	117
5.6 添加各种图表	121
5.6.1 插入图表	121
5.6.2 插入智能图形	122
5.6.3 插入流程图和思维导图	122
5.7 实例演练	124
5.8 习题	126

第6章 文档的排版设计..... 127

6.1 设置文档页面格式	128
6.1.1 设置页边距	128
6.1.2 设置纸张	129
6.1.3 添加水印	129
6.2 添加目录和备注	130
6.2.1 设置大纲级别	130
6.2.2 添加目录	131
6.2.3 添加脚注	132
6.2.4 添加批注	133
6.3 插入页眉、页脚和页码	134
6.3.1 插入页眉和页脚	134
6.3.2 插入页码	136
6.4 设置文档样式	137
6.4.1 选择样式	137
6.4.2 修改样式	138
6.4.3 新建样式	139

6.4.4 删除样式	140
6.5 设置特殊格式	141
6.5.1 首字下沉	141
6.5.2 设置分栏	142
6.5.3 带圈字符	143
6.5.4 合并字符	144
6.5.5 双行合一	144
6.6 实例演练	145
6.7 习题	148
第7章 电子表格的基础操作	149
7.1 工作簿的基础操作	150
7.1.1 认识工作簿、工作表和 单元格	150
7.1.2 创建和保存工作簿	151
7.1.3 加密工作簿	153
7.1.4 分享工作簿	154
7.2 工作表的基础操作	155
7.2.1 添加与删除工作表	155
7.2.2 重命名工作表	156
7.2.3 设置工作表标签的颜色	156
7.2.4 保护工作表	157
7.3 单元格的基本操作	157
7.3.1 插入与删除单元格	157
7.3.2 合并与拆分单元格	158
7.3.3 调整行高与列宽	159
7.4 输入数据	160
7.4.1 输入文本内容	160
7.4.2 输入文本型数据	161
7.4.3 填充数据	162
7.4.4 输入日期型数据	162
7.4.5 输入特殊符号	163
7.4.6 不同单元格同时输入数据	164
7.4.7 指定数据的有效范围	165

7.5 设置表格格式	166
7.5.1 突出显示重复项	166
7.5.2 设置边框和底纹	167
7.6 实例演练	168
7.7 习题	170
第8章 使用公式与函数	171
8.1 使用公式	172
8.1.1 认识公式和函数	172
8.1.2 使用运算符	173
8.1.3 单元格引用	174
8.1.4 输入公式	174
8.1.5 检查与审核公式	176
8.2 使用函数	177
8.2.1 函数的类型	177
8.2.2 输入函数	177
8.2.3 嵌套函数	179
8.3 使用名称	180
8.3.1 定义名称	180
8.3.2 使用名称进行计算	181
8.4 常用函数的应用	182
8.4.1 使用文本函数提取 员工信息	182
8.4.2 使用日期和时间函数 计算工龄	183
8.4.3 使用逻辑函数计算业绩 提成奖金	185
8.4.4 使用统计函数计算 最高销售额	186
8.4.5 计算个人所得税	187
8.4.6 计算个人实发工资	189
8.5 实例演练	189
8.6 习题	192

第9章 整理分析表格数据 193

- 9.1 数据排序 194
 - 9.1.1 单一条件排序 194
 - 9.1.2 自定义排序 194
 - 9.1.3 自定义序列 195
- 9.2 数据筛选 196
 - 9.2.1 自动筛选 197
 - 9.2.2 自定义筛选 197
 - 9.2.3 高级筛选 198
- 9.3 数据分类汇总 200
 - 9.3.1 创建分类汇总 200
 - 9.3.2 多重分类汇总 201
- 9.4 设置条件格式 202
 - 9.4.1 添加数据条 203
 - 9.4.2 添加色阶 203
 - 9.4.3 添加图标集 204
- 9.5 合并计算数据 205
- 9.6 实例演练 206
 - 9.6.1 通过筛选删除空白行 207
 - 9.6.2 模糊筛选数据 208
 - 9.6.3 分析与汇总商品销售数据表 209
- 9.7 习题 210

第10章 应用图表和数据透视表 211

- 10.1 插入图表 212
 - 10.1.1 创建图表 212
 - 10.1.2 调整图表的位置和大小 213
 - 10.1.3 更改图表数据源 213
 - 10.1.4 更改图表类型 214
- 10.2 设置图表 215
 - 10.2.1 设置绘图区 215
 - 10.2.2 设置图表标签 216
 - 10.2.3 设置数据系列颜色 217

- 10.2.4 设置图表格式和布局 218
- 10.3 制作数据透视表 220
 - 10.3.1 创建数据透视表 220
 - 10.3.2 布局数据透视表 221
 - 10.3.3 设置数据透视表 223
- 10.4 制作数据透视图 225
 - 10.4.1 插入数据透视图 225
 - 10.4.2 设置数据透视图 227
- 10.5 设置和打印报表 228
 - 10.5.1 预览打印效果 228
 - 10.5.2 设置打印页面 228
 - 10.5.3 打印表格 230
- 10.6 实例演练 230
 - 10.6.1 创建组合图表 231
 - 10.6.2 计算不同地区销售额
平均数 232
- 10.7 习题 234

第11章 创建演示与制作幻灯片 235

- 11.1 创建演示 236
 - 11.1.1 创建空白演示 236
 - 11.1.2 根据模板新建演示 236
- 11.2 幻灯片基础操作 237
 - 11.2.1 添加和删除幻灯片 237
 - 11.2.2 复制和移动幻灯片 238
 - 11.2.3 快速套用版式 239
- 11.3 设计幻灯片母版 240
 - 11.3.1 设置母版背景 240
 - 11.3.2 设置母版占位符 241
- 11.4 丰富幻灯片内容 243
 - 11.4.1 编排文字 243
 - 11.4.2 插入艺术字 245
 - 11.4.3 插入图片 246
 - 11.4.4 插入表格 247

11.4.5 插入音频和视频	249
11.5 实例演练	250
11.6 习题	254
第 12 章 幻灯片动画设计	255
12.1 设计幻灯片切换动画	256
12.1.1 添加幻灯片切换动画	256
12.1.2 设置切换动画效果选项	257
12.2 添加对象动画效果	258
12.2.1 添加进入动画效果	258
12.2.2 添加强调动画效果	259
12.2.3 添加退出动画效果	260
12.2.4 添加动作路径动画效果	261
12.2.5 添加组合动画效果	262
12.3 动画效果高级设置	264
12.3.1 设置动画触发器	264
12.3.2 设置动画计时选项	265
12.3.3 重新排序动画	267
12.4 制作交互式幻灯片	267
12.4.1 添加动作按钮	268
12.4.2 添加超链接	270
12.5 实例演练	271
12.5.1 设计动画效果	271
12.5.2 编辑超链接	276
12.6 习题	278
第 13 章 放映和输出演示文稿	279
13.1 应用排练计时	280
13.1.1 设置排练计时	280
13.1.2 取消排练计时	281
13.2 幻灯片放映设置	281

13.2.1 设置放映方式	281
13.2.2 设置放映类型	284
13.3 放映演示文稿	284
13.3.1 【从头开始】和 【当页开始】放映	284
13.3.2 【会议】和【手机遥控】 放映	285
13.3.3 使用【演示焦点】功能	286
13.3.4 添加标记	287
13.3.5 跳转幻灯片	289
13.4 输出演示文稿	289
13.4.1 打包演示文稿	290
13.4.2 将演示文稿输出为 PDF 文档	291
13.4.3 将演示文稿输出为视频	292
13.4.4 将演示文稿输出为图片	293
13.4.5 打印演示文稿	294
13.5 实例演练	295
13.5.1 将演示输出为 JPG 格式	295
13.5.2 打包并放映演示	296
13.6 习题	298
第 14 章 计算机应用新技术	299
14.1 云计算	300
14.1.1 云计算的概念	300
14.1.2 云计算的服务和部署模式	300
14.1.3 云计算的特点和应用	302
14.1.4 主流云服务商及其产品	302
14.2 移动互联网和物联网	303
14.2.1 移动互联网的概念和 业务模式	303
14.2.2 物联网的定义和特征	304
14.2.3 物联网的应用和发展趋势	305

14.3 大数据.....	307	14.5 虚拟现实.....	313
14.3.1 大数据的定义和特征.....	307	14.5.1 虚拟现实的概念和特性	313
14.3.2 大数据的处理技术	307	14.5.2 虚拟现实的分类和应用	314
14.3.3 大数据的应用	308	14.6 区块链.....	315
14.4 人工智能.....	310	14.6.1 区块链的定义和特点	315
14.4.1 人工智能的概念和发展.....	310	14.6.2 区块链的应用构想	315
14.4.2 人工智能的特点和应用	310	14.7 习题.....	316
14.4.3 人工智能的开发框架 和平台.....	312		



第1章

计算机基础知识

本章主要介绍计算思维与算法的基本概念，计算机的发展、类型及其应用领域，计算机软、硬件系统的组成及主要技术指标，计算机中数据的表示与存储，以及多媒体技术的概念与应用，为后面的学习打下基础。



本章重点

- 计算思维与算法
- 计算机的分类与应用
- 数据的表示和存储
- 计算机的产生与发展
- 计算机系统的基本组成
- 多媒体技术的概念与应用

1.1 计算思维与算法概述

计算机的产生是 20 世纪重大的科技成果之一。自第一台电子计算机诞生以来, 计算机学科已经成为 20 世纪以来发展最快的学科之一, 尤其是微型计算机的出现和计算机网络的发展, 极大地促进了社会信息化的进程和知识经济的发展, 引起了社会的变革。现在, 计算机已广泛应用于社会的各行各业, 正深刻地改变着人们工作、学习与生活的方式。在正式开始讲解计算机系统的基础理论、工作原理, 以及计算机作为工具的使用方法之前, 本章将首先从计算思维与算法的基础概念开始, 介绍计算机技术背后的思想和方法, 也就是计算机科学家在解决计算(机)科学问题时的思维方法, 阐明计算系统的价值实现。

1.1.1 计算思维

理论科学、实验科学和计算科学作为科学发展的三大支柱, 推动着人类文明进步和科技发展。与三大科学方法相对应的是三大科学思维, 即理论思维、实验思维和计算思维。

计算思维又称构造思维, 以设计和构造为特征, 以计算机学科为代表。计算思维的研究目的是提供适当的方法, 使人们借助现代和将来的计算机, 逐步实现人工智能的较高目标。例如, 模式识别、决策、优化和自控等算法都属于计算思维的范畴。

1. 什么是计算思维

计算机科学家迪科斯彻(Edsger Wybe Dijkstra)说过: “我们使用的工具影响着我们的思维方式和思维习惯, 从而也将深刻地影响我们的思维能力。” 计算的发展也影响着人类的思维方式, 从最早的结绳计数, 发展到目前的电子计算机, 人类的思维方式发生了相应的改变(如计算生物学改变着生物学家的思维方式, 计算机博弈论改变着经济学家的思维方式, 计算社会科学改变着社会学家的思维方式, 量子计算改变着物理学家的思维方式)。计算思维已经成为利用计算机求解问题的一种基本思维方法。

“计算思维”是美国卡内基·梅隆大学(CMU)周以真(Jeannette M. Wing)教授提出的一种理论。周以真教授认为, 计算思维是指运用计算机科学的基础概念来求解问题、设计系统和理解人类行为, 它涵盖了计算机科学的一系列思维活动。

国际教育技术协会(ISTE)和计算机科学教师协会(CSTA)在 2011 年对计算思维给出了一个可操作的定义, 即计算思维是一个解决问题的过程, 该过程包含以下几个特点:

- (1) 拟定问题, 并且能够利用计算机和其他工具来解决问题;
- (2) 符合逻辑地组织和分析数据;
- (3) 通过抽象(如模型、仿真等)再现数据;
- (4) 通过算法思想(一系列有序的步骤), 支持自动化的解决方案;
- (5) 分析可能的解决方案, 找到最有效的方案, 并且有效地应用这些方案;

(6) 对该问题的求解过程进行推广，并移植到更广泛的问题中。

2. 计算思维的特征

周以真教授在论文《计算思维》中，对计算思维的基本特征进行了如下描述。

(1) 计算思维是人的而不是计算机的思维方式。计算思维是人类求解问题的思维方法，而不是想要人类像计算机那样思考。

(2) 计算思维是数学思维和工程思维的相互融合。计算机科学在本质上源于数学思维，但是受计算设备的限制，迫使计算机科学家必须进行工程思考，而不能只是进行数学思考。

(3) 计算思维建立在计算过程的能力和限制之上。我们需要考虑哪些事情人类比计算机做得好？而哪些事情计算机比人类做得好？最根本的问题是：什么是可计算的？

(4) 为了有效地求解一个问题，我们可能要进一步问：一个近似解是否就够了呢？是否允许漏报和误报？计算思维要做的就是通过简化、转换和仿真等方法，把一个看似困难的问题，重新阐述成一个我们知道如何解决的问题。

(5) 计算思维能够采用抽象和分解的方法，将一个庞杂的任务分解成一个适合计算机处理的问题。计算思维再选择合适的方式对问题进行建模，使其易于处理，从而在我们不必理解系统每个细节的情况下，就能够安全地使用或调整一个大型的复杂系统。

由此可以看出：计算思维以设计和构造为特征。计算思维是运用计算机科学的基本概念，进行问题求解、系统设计的一系列思维活动。

3. 计算思维的基本概念

随着计算机的出现，机器与人类有关的思维与实践活动反复交替、不断上升，从而大大促进了计算思维与实践活动向更高层次迈进。计算思维的研究包含两层含义——计算思维研究的内涵以及计算思维推广与应用的外延。其中，立足于计算机学科本身，研究该学科中涉及的构造性思维就是狭义的计算思维。近年来，很多学者提出的各种说法，如算法思维、协议思维、计算逻辑思维、互联网思维、计算系统思维及三元计算思维，它们在实质上都是狭义的计算思维。

在不同层面、不同视角下，人们对狭义计算思维的认知观点有以下几个。

(1) 计算思维强调用抽象和分解来处理庞大、复杂的任务或者设计巨大的系统。计算思维关注分离，目的是选择合适的方法来陈述一个问题，或者选择合适的方式来对一个问题的相关方面进行建模，从而使其易于处理。计算思维能够利用不变量简明扼要且表述性地刻画系统的行为。计算思维让我们即使不了解系统的每个细节，也能有信心安全地使用、调整和影响大型复杂系统。计算思维就是为预期的多个用户而进行的模块化，是为预期的未来应用而进行的预置和缓存。

(2) 计算思维是通过冗余、堵错、纠错的方式，在最坏情况下进行预防、保护和恢复的一种思维。计算思维就是学习在协调同步或相互会合时如何避免竞争的情形。

(3) 计算思维利用启发式推理来寻求解答。计算思维就是不确定情况下的规划、学习和调度。计算思维利用海量数据来加快计算。计算思维就是在时间和空间之间、在处理能力和存储容量之间的权衡。

(4) 计算思维是一种用简化、建模、转化和模拟等手段,把复杂问题拆解成可操作解决步骤的思考方式。

(5) 计算思维像搭积木一样分层解决问题,同时处理多个任务。它能将代码与数据相互转换,并通过多角度分析建立系统化的自动验证机制。

我们已经知道,计算思维是人的思维,但并不是所有的“人的思维”都是计算思维。比如,一些我们觉得困难的事情,如累加和、连乘积、微积分等,用计算机来做就很简单;而一些我们觉得容易的事情,如视觉、移动、顿悟、直觉等,用计算机来做就比较困难。例如,让计算机分辨一只动物是猫还是狗可能就不太容易办到。

但在不久的将来,那些可计算的、难计算的甚至不可计算的问题也都会有“解”的方法。这些立足计算本身来解决问题,包括问题求解、系统设计以及人类行为理解等一系列“人的思维”就称为广义的计算思维。

狭义的计算思维基于计算机科学的基本概念,而广义的计算思维基于计算科学的基本概念。广义的计算思维显然是对狭义的计算思维概念的外延和拓展以及推广和应用。狭义的计算思维更强调由计算机作为主体来完成,而广义的计算思维则拓展到由人或机器作为主体来完成。不过,它们虽然是涵盖所有人类活动的一系列思维活动,但都建立在当时的计算过程的能力和限制之上。

4. 计算思维的应用

计算思维已渗透到社会的各个学科、各个领域,并正在潜移默化地影响和推动各领域的发展,成为一种发展趋势。

(1) 在生物学中,霰弹枪算法大大提高了人类基因组测序的速度,它不仅具有从海量的序列数据中搜索寻找模式规律的能力,而且能将这些数据转化为计算机能解析的蛋白质三维模型,为药物研发提供精准蓝图。

(2) 在神经科学中,大脑是人体中最难研究的器官。科学家可以从肝脏、脾脏和心脏中提取活细胞进行活体检查,唯独想要从大脑中提取活检组织是个难以实现的目标。无法观测活的大脑细胞一直是精神病研究的障碍。精神病学家目前重换思路,从患者身上提取皮肤细胞,转成干细胞,然后将干细胞分裂成所需的神经元,最后得到所需的大脑细胞,并首次在细胞水平上观测到神经分裂症患者的脑细胞。类似这样的新思维方法,为科学家提供了以前不曾想到的解决方案。

(3) 在物理学中,物理学家和工程师仿照经典计算机处理信息的原理,对量子比特(qubit)中包含的信息进行操控,如控制电子或原子核自旋的上下取向。与现在的计算机相比,量子比特能同时处理两个状态,这意味着量子计算机能同时进行两个计算过程,这将赋予量子计算机超凡的能力,远远超过今天的计算机。现在研究集中在使量子比特始终保持相干,使其不受周围环境噪声的干扰,如周围原子的“推搡”。随着物理学与计算机科学的融合发展,量子计算机走入人们的生活将不再是梦想。

(4) 在地质学中,“地球是一台模拟计算机”,地质学家用抽象边界和复杂性层次模拟地球与大气层,并且设置越来越多的参数来进行测试。地球甚至可以模拟成生理测试仪,从而跟踪测试生活在不同地区的人们的生活质量、出生和死亡率、气候影响等。



(5) 在数学中,人们发现了E8李群(E8 Lie Group)结构,这是18名世界顶级数学家凭借他们不懈的努力,借助超级计算机,计算了4年零77小时,处理了2000亿个数据后完成的世界上最复杂的数学结构之一。

(6) 在经济学中,自动设计机制在电子商务中被广泛采用(广告投放、在线拍卖等)。在社会科学中,社交网络是MySpace和YouTube等发展壮大原因之一,统计机器学习被用于推荐和声誉排名系统,如Netflix和联名信用卡等。

(7) 在工程领域,计算高阶项可以提高精度,进而减少质量、减少浪费并节省制造成本。波音777飞机没有经过风洞测试,而是完全采用计算机模拟测试。在航空航天工程中,研究人员利用最新的成像技术,重新检测“阿波罗11号”带回的月球上类似玻璃的沙砾样本,模拟后的三维立体图像放大几百倍后仍清晰可见。

(8) 在环境学中,大气科学家通过使用计算机模拟暴风雨的形成来预报飓风及其强度。最近,计算机仿真模型表明空气中的污染物颗粒有利于减缓热带气旋。因此,与污染物颗粒相似但不影响环境的气溶胶被研发并将成为阻止和延缓这种大风暴的有力手段。

(9) 在艺术领域,通过在音乐、戏剧、摄影等方面借助计算思维并应用计算工具,能让艺术家得到“从未有过的崭新体验”。

由此可见,当实验和理论思维无法解决问题时,我们可以使用计算思维来理解大规模序列。计算思维不仅提高了解决问题的效率,甚至可以延伸到解决经济问题和社会问题。大量复杂问题的求解、宏大系统的建立、大型工程的组织都可以通过计算来模拟,包括计算流体力学、物理、电气电子系统和电路,甚至和人类居住地联系在一起的社会和社会形态研究,此外还有核爆炸、蛋白质生成、大型飞机、舰艇设计等,都可应用计算思维并借助现代计算机进行模拟。

计算机科学家面临过什么样的问题?对于这些问题他们是怎样思考的?他们又是怎么解决问题的?从问题到解决问题的方案,其中蕴含着怎样的思想和方法?如果我们弄明白了计算机科学家是如何分析问题、解决问题的,并将它们借鉴到我们的工作生活中,那么我们就真正理解计算思维的意义了。

1.1.2 算法

通俗地讲,算法就是定义任务如何一步一步执行的一套步骤。在日常生活中,我们经常会碰到算法。例如,我们在刷牙的时候会执行如下算法:拿出牙刷,打开牙膏盖,持续执行挤牙膏的操作,直到足够量的牙膏涂抹在牙刷上,然后盖上牙膏盖,将牙刷放到嘴里,上下移动牙刷等。再比如,如果我们每天都需要乘坐地铁,那么乘坐地铁也是一种算法。诸如此类,都是“算法”的体现。

计算机与算法有着密不可分的关系。正如上面举例说明的算法会影响我们的日常生活一样,计算机上运行的算法也会影响我们的生活。例如,当我们使用GPS或“北斗”来寻找出行路线时,就会使用一种称为“最短路径”的算法以寻求路线;当我们在网上购物时,就会运行使用了加密算法的安全网站;当网上下单的商品发货时,快递公司使用算法将快递包裹分配给不同的

卡车,然后确定每个司机的发车顺序。算法运行在各种设备上,可能运行在台式计算机(或笔记本电脑)上、服务器上、智能手机上,也可能运行在车载电脑、微波炉、可穿戴设备上。总之,算法无处不在。

1. 算法的基本定义

算法(algorithm)被公认为计算机科学的灵魂。简单地说,算法就是解决问题的方法和步骤。在实际情况下,方法不同,对应的步骤也不一样。在设计算法时,首先应考虑采用什么方法,方法确定了,再考虑具体的求解步骤。任何解题过程都是由一定的步骤组成的,我们通常把关于解题过程准确而完整的描述称为求解这一问题的算法。

进一步说,程序就是用计算机语言表述的算法,流程图则是图形化之后的算法。既然算法是解决给定问题的方法,那么算法的处理对象必然是该问题涉及的相关数据。因此,算法与数据是程序设计过程中密切相关的两个方面。程序的目的是加工数据,而如何加工数据是算法的问题。程序是数据结构与算法的统一。著名计算机科学家、Pascal 语言发明者尼古拉斯·沃斯(Niklaus Wirth)教授提出了以下公式:

$$\text{程序} = \text{算法} + \text{数据结构}$$

这个公式的重要性在于表达了以下思想:既不能离开数据结构去抽象地分析程序的算法,也不能脱离算法去孤立地研究程序的数据结构,而只能从算法与数据结构的统一上认识程序。换言之,程序就是在数据的某些特定表示方式和结构的基础上,对抽象算法的计算机语言具体表述。

当使用一种计算机语言描述某个算法时,其表述形式就是计算机语言程序;而当某个算法的描述形式详尽到足以用一种计算机语言来表述时,“程序”不过是瓜熟蒂落、唾手可得的产品而已。因此,算法是程序的前导与基础。从算法的角度,可以将程序定义为:为解决给定问题的计算机语言有穷操作规则(低级语言的指令,高级语言的语句)的有序集合。当采用低级语言(机器语言和汇编语言)时,程序的表述形式为“指令(instruction)的有序集合”;当采用高级语言时,程序的表述形式为“语句(statement)的有序集合”。

2. 算法的基本特征

算法的基本特征有以下 5 个。

(1) 有穷性。一个算法必须在有穷步骤后结束,即算法必须在有限时间内完成。这种有穷性使得算法不能保证一定有解,结果包括以下几种情况:有解;无解;有理论解;有理论解,但算法运行后,没有得到解;不知道有没有解,但在算法执行有穷步骤后没有得到解。

(2) 确定性。算法中的每一条指令必须有确切含义,无二义性,不会产生理解偏差。算法可以有多个执行路径,但是对于某个确定的条件值,只能选择其中的一条路径执行。

(3) 可行性。算法是可行的,里面描述的操作都可以通过基本的有限次运算来实现。

(4) 输入。一个算法有零个或多个输入,输入取自某些特定对象的集合。有些输入在算法执行过程中输入,有些算法则不需要外部输入,输入已被嵌入算法中。

(5) 输出。一个算法有一个或多个输出,输出与输入之间存在某些特定的关系。不同的输入可以产生不同或相同的输出,但是相同的输入必须产生相同的输出。

需要说明的是,有穷性这一限制是不充分的。实用的算法不仅要求有穷的操作步骤,而且应该尽可能包含有限的步骤。

3. 算法的表示方法

算法可以用任何形式的语言和符号来表示,通常有自然语言、伪代码、流程图、N-S图、PAD图、UML等。

(1) 用自然语言表示算法。用自然语言描述算法的优点是简单,便于人们对算法进行阅读。但是,用自然语言描述算法时文字冗长,容易出现歧义;而且用自然语言描述分支和循环结构时不够直观。

下面用自然语言描述计算并输出 $z=x \div y$ 的流程:

- ① 输入变量 x 和 y ;
- ② 判断 y 是否为 0;
- ③ 如果 $y=0$,就输出出错提示信息;
- ④ 否则计算 $z=x/y$;
- ⑤ 输出 z 。

(2) 用伪代码表示算法。用编程语言描述算法过于烦琐,常常需要借助注释才能使人看明白。为了解决算法理解与算法执行之间的矛盾,人们常常采用伪代码进行算法思想的描述。伪代码忽略了编程语言中严格的语法规则和细节描述,使算法容易被人理解。伪代码是一种算法描述语言。用伪代码表示算法时并无固定的、严格的语法规则(没有标准规范),只要把意思表达清楚,并且书写格式清晰、易于读写即可。因此,大部分教材对伪代码做了以下约定。

- ✔ 伪代码可以用英文、中文、中英文混合表示算法。例如,在进行条件判断时,可使用 `if-then-else-end if` 语句,这种方法不仅符合人们正常的思维方式,而且在转换成程序设计语言时也比较方便。
- ✔ 伪代码中的每一行表示一个基本操作。每一条指令占一行(`if` 语句例外),语句末尾不需要任何符号(C语言以分号结尾),语句的缩进表示程序中的分支结构。
- ✔ 在伪代码中,变量名和保留字不区分大小写,变量在使用时也不需要事先声明。
- ✔ 伪代码用符号 $\leftarrow$ 表示赋值语句,例如 $x \leftarrow \text{exp}$ 表示将 `exp` 的值赋给 x ,其中 x 是变量,`exp` 则是与 x 同数据类型的变量或表达式。C/C++、Java 程序语言使用 `=` 进行赋值,如 $x=0$ 、 $a=b+c$ 、 $n=n+1$ 、 $ts=\text{"请输入数据"}$ 等。
- ✔ 在伪代码中,选择语句用 `if-then-else-end if` 表示;循环语句则一般用 `while` 或 `for` 表示, `end while` 或 `end for` 表示循环结束,语法与 C 语言类似。
- ✔ 在伪代码中,函数值用 `"return(变量名)"` 语句来返回,如 `return(z)`;方法则用 `"call 函数名(变量名)"` 语句来调用,如 `call Max(x,y)`。

下面通过键盘输入两个数，然后输出其中最大的那个数。这可以用伪代码描述如下。

Begin	#算法伪代码开始
input A,B	#输入变量 A 和 B
if A>B then Max ← A	#如果 A 大于 B，就将 A 赋值给 Max
else Max ← B	#否则将 B 赋值给 Max
end if	#结束 if 语句
output Max	#输出最大数 Max
End	#算法伪代码结束

(3) 用流程图表示算法。流程图由一些具有特定意义的图形、流程线及简要的文字说明构成，它能清晰地表示程序的运行过程。在流程图中，一般用圆边框表示算法开始或结束；用矩形框表示各种处理功能；用平行四边形框表示数据的输入或输出；用菱形框表示条件判断；用圆圈表示连接点；用箭头线表示算法流程；用文字 Y(真)表示条件成立，用文字 N(假)表示条件不成立。用流程图描述的算法不能直接在计算机上执行，为了将其转换成可执行的程序，我们还需要进行编程。

用流程图表示如下算法：输入 x 、 y ，计算 $z=x \div y$ ，输出 z (流程图如图 1-1 所示)。

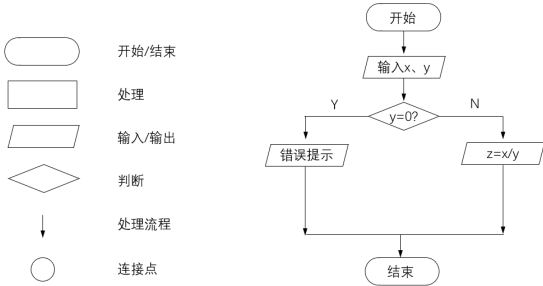


图 1-1

4. 算法的作用

一台机器(例如计算机)在执行任务之前，必须先找到与之兼容的执行任务的算法。算法的表示被称作程序(program)。为了方便人类读写，程序通常打印在纸上或显示在计算机屏幕上；为了便于机器执行，程序需要以一种与机器兼容的形式编码。开发程序并将其编码成与机器兼容的形式，然后输入机器中的过程就叫作编程(programming)。程序及其体现的算法共同被称为“软件”(software)，而机器本身则被称为“硬件”(hardware)。

可通过算法的方式捕获并传达智能(或者至少是智能行为)，从而使我们能够让机器执行有意义的任务。因此，机器表现出来的智能受限于算法本身可以传达的智能。只有当执行某任务的算法存在时，我们才可以制造出执行该任务的机器。换言之，如果执行某任务的算法还不存在，那么该任务就已经超出机器的能力范围了。

20 世纪 30 年代，库尔特·哥德尔(Kurt Gödel，美籍奥地利数学家、逻辑学家和哲学家)发表了有关不完备性理论的论文，算法能力成为数学领域的研究命题。这一理论从本质上阐述了在任何包含传统算术系统的数学理论中，总有通过算法方式不能确定真假的命题。简单来说，对算术系统的

任何完整性研究都超出了算法活动的的能力范围。哥德尔的发现虽然撼动了数学大厦的根基，却像播种机般催生了算法研究的萌芽。这些最初为修补数学漏洞而生的探索，最终在 1940 年图灵机的理论框架中生根发芽，逐渐成长为支撑整个计算机科学的参天巨树。

1.2 计算机的产生与发展

1946 年，世界上第一台电子计算机在美国宾夕法尼亚大学诞生。之后短短的几十年里，电子计算机经历了几代的演变，并迅速渗透到人类生活和生产的各个领域，在科学计算、工程设计、数据处理以及人们的日常生活中发挥着巨大的作用。电子计算机被公认为 20 世纪最重大的工业革命成果之一。

计算机是一种能够存储程序，并按照程序自动、高速、精确地进行大量计算和信息处理的电子机器。科技的进步促使计算机的产生和迅速发展，而计算机的迅速发展又反过来促进了科学技术和生产水平的提高。电子计算机的发展和应用水平，已经成为衡量一个国家科学技术水平和经济实力的重要标志。

1.2.1 计算机的产生

1946 年 2 月，在第二次世界大战期间，由于军事上的需要，美国宾夕法尼亚大学的物理学家莫克利和工程师埃克特等人为弹道导弹研究实验室研究出了著名的电子数值积分计算机 (electronic numerical integrator and calculator, ENIAC)，如图 1-2 所示。一般认为，这是世界上第一台数字式电子计算机，它标志着电子计算机时代的到来。

ENIAC 的运算速度可以达到 5000 次/秒加法运算，相当于手动计算的 20 万倍(据测算，最快的手动计算速度是 5 次/秒加法运算)或机电式计算机的 1000 倍。ENIAC 可以进行平方、立方运算，正弦和余弦等三角函数计算以及一些更复杂的运算。美国军方对炮弹弹道的计算，之前需要 200 人手动计算两个月，ENIAC 只需要 3 秒即可完成。ENIAC 之后被用于诸多科研领域，它曾在人类第一颗原子弹的研制过程中发挥重要作用。

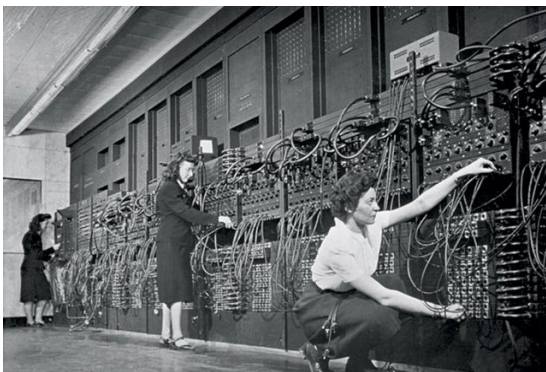


图 1-2

早期的ENIAC是一个重量达30吨、占地面积约170平方米的庞然大物,其使用了大约1500个继电器、18 000只电子管、7000多只电阻和其他各种电子元件,每小时的耗电量大约140千瓦。尽管ENIAC证明了电子真空技术可以极大地提高计算技术,但它本身存在两大缺点:一是没有真正的存储器,程序是外插型的,电路的连通需要手动进行;二是用布线接板进行控制,耗时长,故障率高。

在ENIAC诞生之前的1944年,美籍匈牙利科学家冯·诺依曼就已经是ENIAC研制小组的顾问。针对ENIAC设计过程中出现的问题,1945年,他以“关于EDVAC(electronic discrete variable automatic computer,离散变量自动电子计算机)的报告草案”为题起草了一份长达101页的总结报告。这份报告提出了制造电子计算机和进行程序设计的新思想,即“存储程序”和“采用二进制编码”;此外还明确说明了新型的计算机由5部分组成——运算器、逻辑控制装置、存储器、输入设备和输出设备,并描述了这5部分的逻辑设计。EDVAC是一种全新的“存储程序通用电子计算机方案”,为计算机的设计树立了一座里程碑。

1949年,首次实现了冯·诺依曼存储程序思想的EDSAC(电子延迟存储自动计算机)由英国剑桥大学研制并正式运行。同年8月,EDSAC交付使用,后于1951年开始正式运行,其运算速度是ENIAC的240倍。直到今天,不管是多大规模的计算机,其基本结构仍遵循冯·诺依曼提出的基本原理,因而被称为“冯·诺依曼计算机”。

1.2.2 计算机的发展

计算机的发展阶段通常以构成计算机的电子器件来划分,至今已经历四代,目前正在向第五代过渡。每一个发展阶段在技术上都是一次新的突破,在性能上都是一次质的飞跃。下面介绍计算机的发展简史。

1. 第一代电子管计算机(1946—1957年)

第一代计算机采用的主要元件是电子管,称为电子管计算机,其主要特征如下。

- (1) 采用电子管元件,体积庞大,耗电量高,可靠性差,维护困难。
- (2) 计算速度慢,一般为每秒一千次到一万次运算。
- (3) 使用机器语言,几乎没有系统软件。
- (4) 采用磁鼓、小磁芯作为存储器,存储空间有限。
- (5) 输入/输出设备简单,采用穿孔纸带或卡片。
- (6) 主要用于科学计算。

2. 第二代晶体管计算机(1958—1964年)

晶体管的发明给计算机技术的发展带来革命性的变化。第二代计算机采用的主要元件是晶体管,称为晶体管计算机,其主要特征如下。

- (1) 采用晶体管元件,体积大大缩小,可靠性增强,寿命延长。
- (2) 计算速度加快,达到每秒几万次到几十万次运算。
- (3) 提出了操作系统的概念,出现了汇编语言,产生了FORTRAN和COBOL等高级程序设计语言和批处理系统。

- (4) 普遍采用磁芯作为内存储器, 并采用磁盘、磁带作为外存储器, 容量大大提高。
- (5) 计算机应用领域扩大, 除科学计算外, 还被用于数据处理和实时过程控制。

3. 第三代集成电路计算机(1965—1969 年)

20 世纪 60 年代中期, 随着半导体工艺的发展, 人们已经制造出集成电路元件。集成电路可以在几平方毫米的单晶硅片上集成十几个甚至上百个电子元件。第三代计算机开始使用中小规模的集成电路元件, 其主要特征如下。

- (1) 采用中小规模集成电路元件, 体积进一步缩小, 寿命更长。
- (2) 计算速度加快, 每秒执行指令数可达几百万条。
- (3) 高级语言进一步发展, 操作系统的出现使计算机的功能更强, 计算机开始被广泛应用于各个领域。
- (4) 普遍采用半导体存储器, 存储容量进一步提高, 但体积更小、价格更低。
- (5) 计算机的应用范围扩大到企业管理和辅助设计等领域。

4. 第四代大规模集成电路和超大规模集成电路计算机(从 1970 年至今)

随着 20 世纪 70 年代初集成电路制造技术的飞速发展, 产生的大规模集成电路元件使计算机进入一个崭新的时代, 即大规模和超大规模集成电路计算机时代, 其主要特征如下。

- (1) 采用大规模集成(large scale integration, LSI)电路和超大规模集成 (very large scale integration, VLSI)电路元件, 体积与第三代计算机相比进一步缩小, 可在硅半导体上集成几十万甚至上百万个电子元件, 可靠性更好, 寿命更长。
- (2) 计算速度加快, 每秒可执行几千万条到几十亿条指令。
- (3) 软件配置丰富, 软件系统工程化、理论化, 程序设计部分自动化。
- (4) 出现了并行处理技术和多机系统, 微型计算机大量进入家庭, 产品更新速度加快。
- (5) 计算机在办公自动化、数据库管理、图像处理、语言识别和专家系统等各个领域大显身手, 计算机的发展进入以计算机网络为特征的时代。

1.3 计算机的分类与应用

计算机的种类很多, 从不同角度, 计算机有不同的分类方法。随着计算机科学技术的不断发展, 计算机的应用领域越来越广泛, 应用水平越来越高, 正在改变人们传统的工作、学习和生活方式, 推动人类社会不断进步。下面介绍计算机的分类和主要应用领域。

1.3.1 计算机的分类

科学技术的发展带动了计算机类型的不断变化, 形成了各种不同种类的计算机。不同的应用需要不同类型计算机的支持。计算机最初按照结构原理分为模拟计算机、数字计算机和混合式计算机

三类,按用途又可以分为专用计算机和通用计算机两类。专用计算机是针对某类应用而设计的计算机系统,具有经济、实用、有效等特点(如铁路、飞机、银行使用的就是专用计算机)。通常所说的计算机是指通用计算机,如学校教学、企业会计做账和家用的计算机。

对于通用计算机而言,又可以按照计算机的运行速度、字长、存储容量等综合性能进行分类。

(1) 超级计算机。超级计算机就是常说的巨型机,主要用于科学计算,运算速度在每秒亿万次以上,数据存储容量很大,结构复杂,价格昂贵。超级计算机是国家科研的重要基础工具,在军事、气象、地质等诸多领域的研究中发挥着重要的作用。目前,国际上对高性能计算机最权威的评测机构是世界超级计算机协会的 TOP 500 组织,该组织每年都会公布一次全球超级计算机 500 强排行榜。

(2) 微型计算机。大规模集成电路与超大规模集成电路的发展是微型计算机得以产生的前提。日常使用的台式计算机、笔记本电脑、掌上电脑等都是微型计算机。目前微型计算机已被广泛应用于科研、办公、学习、娱乐等社会生产和生活的方方面面,是发展最快、应用最为普遍的计算机。

(3) 工作站。工作站是微型计算机的一种,相当于一种高档的微型计算机。工作站通常配置有容量很大的内存储器和外部存储器,主要面向专业应用领域,具备强大的数据运算与图形图像处理能力。工作站主要是为了满足工程设计、科学研究、软件开发、动画设计、信息服务等专业领域而设计开发的高性能微型计算机。注意:这里所说的工作站不同于计算机网络系统中的工作站,后者是网络中的任一用户节点,可以是网络中的任何一台普通微型计算机或终端。

(4) 服务器。服务器是指在网络环境中为网上多个用户提供共享信息资源和各种服务的高性能计算机。服务器上需要安装网络操作系统、网络协议和各种网络服务软件,主要用于为用户提供文件、数据库、应用及通信方面的服务。

(5) 嵌入式计算机。嵌入式计算机需要嵌入对象体系中,是实现对象体系智能化控制的专用计算机系统。例如,车载控制设备、智能家居控制器以及日常生活中使用的各种家用电器都采用了嵌入式计算机。嵌入式计算机以应用为中心,以计算机技术为基础,并且软、硬件可裁剪,适用于对系统的功能、可靠性、成本、体积、功耗有严格要求的场合。

1.3.2 计算机的应用

计算机的快速性、通用性、准确性和逻辑性等特点,使其不仅具有高速运算能力,而且具有逻辑分析和逻辑判断能力。这不仅可以大大提高人们的工作效率,而且现代计算机还可以部分替代人的脑力劳动,进行一定程度的逻辑判断和运算。如今,计算机已渗透到人们生活和工作的各个层面,其应用主要体现在以下几个方面。

(1) 科学计算(或数值计算):是指利用计算机来完成科学研究和工程技术中提出的数学问题的计算。在现代科学技术工作中,存在大量且复杂的科学计算问题。利用计算机的高速计算、大存储容量和连续运算的能力,可以实现人工无法解决的各种科学计算问题。

(2) 信息处理(或数据处理):是对各种数据进行收集、存储、整理、分类、统计、加工、利

用、传播等一系列活动的统称。据统计,80%以上的计算机主要用于数据处理。这类工作量大面广,决定了计算机应用的主导方向。

(3) 自动控制(或过程控制):是指利用计算机及时采集检测数据,按最优值迅速对控制对象进行自动调节或自动控制。采用计算机进行自动控制,不仅可以大大提高控制的自动化水平,而且可以提高控制的及时性和准确性,从而改善劳动条件、提高产品质量及合格率。目前,计算机自动控制已在机械、冶金、石油、化工、纺织、水电、航天等领域得到广泛应用。

(4) 计算机辅助技术:是指利用计算机帮助人们进行各种设计、处理等过程,包括计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、计算机辅助教学(CAI)和计算机辅助测试(CAT)等。另外,计算机辅助技术还有辅助生产、辅助绘图和辅助排版等。

(5) 人工智能(或智能模拟):是指利用计算机模拟人类的智能活动,诸如感知、判断、理解、学习、问题求解和图像识别等。人工智能(artificial intelligence, AI)的研究目标是让计算机更好地模拟人的思维活动,从而完成更复杂的控制任务。

(6) 网络应用:随着社会信息化的发展,通信业也发展迅速,计算机在通信领域的作用越来越大,促进了计算机网络的迅速发展。目前全球最大的网络(Internet, 互联网),已把全球的大多数计算机联系在一起。除此之外,计算机在信息高速公路、电子商务、娱乐和游戏等领域也得到了快速发展。

1.4 计算机系统的基本组成

完整的计算机系统由硬件系统和软件系统两部分组成。现在的计算机已经发展成一个庞大的家族,其中的每个成员尽管在规模、性能、结构 and 应用等方面存在很大的差别,但它们的基本结构和工作原理是相同的。

计算机由许多部件组成,但总体来说,完整的计算机系统由两大部分组成,即硬件系统和软件系统,如图 1-3 所示。

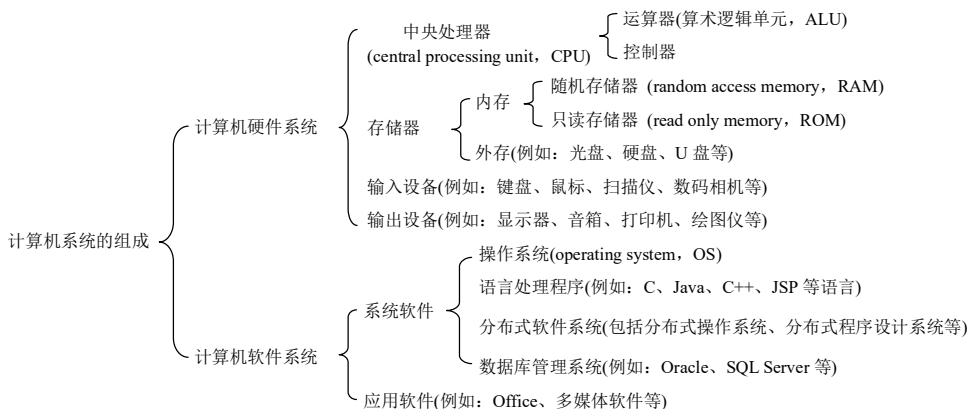


图 1-3

1.4.1 计算机硬件系统

所谓硬件，就是构成计算机的物理部件，硬件是计算机的物质基础。计算机无论在结构和功能上发生什么变化，究其本质而言，都仍然是以冯·诺依曼计算机结构为主体而构建的。

1. 冯·诺依曼计算机模型

根据冯·诺依曼的设想，计算机必须具有以下功能。

- ✔ 接收输入：所谓“输入”，是指送入计算机系统的任何东西，也指把信息送进计算机的过程。输入可由人、环境或其他设备来完成。
- ✔ 存储数据：具有记忆程序、数据、中间结果及最终运算结果的能力。
- ✔ 处理数据：数据泛指那些代表某些事实和思想的符号，计算机需要具备完成各种运算、数据传送等数据加工处理的能力。
- ✔ 自动控制：能根据程序控制自动执行，并能根据指令控制机器各部件协调操作。
- ✔ 产生输出：输出是指计算机生成的结果，也指产生输出结果的过程。

按照这一设想构造的计算机应该由4个子系统组成，如图1-4所示。

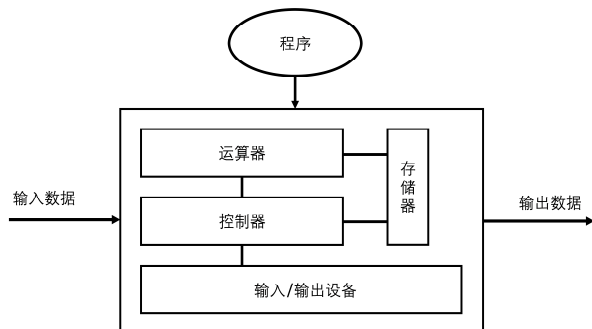


图 1-4

其中，各子系统承担的任务如下。

- ✔ 存储器：存储器是实现“程序内存”思想的计算机部件。冯·诺依曼认为，对于计算机而言，程序和数据是一样的，所以都可以被事先存储。把运算程序事先放在存储器中，程序设计人员只需要在存储器中寻找运算指令，机器就会自行计算，这样就解决了计算机需要每个问题都重新编程的问题。“程序内存”标志着计算机自动运算实现的可能。综上，存储器用来存放计算机运行过程中所需的数据和程序。
- ✔ 运算器：运算器是冯·诺依曼计算机中的计算核心，用于完成各种算术运算和逻辑运算，所以也被称为算术逻辑单元(arithmetic logic unit, ALU)。除计算外，运算器还应当具有暂存运算结果和传送数据的能力，这一切活动都受控于控制器。
- ✔ 控制器：控制器是整个计算机的指挥控制中心，主要功能是向机器的各个部件发出控制信号，使整个机器自动、协调地工作。控制器管理着数据的输入、存储、读取、运算、操作、输出以及控制器本身的活动。

▽ 输入/输出设备：输入设备用来将程序和原始数据转换成二进制串，并在控制器的指挥下将它们按一定的地址顺序送入内存。输出设备则用来将运算结果转换为人们所能识别的信息形式，并在控制器的指挥下由机器内部输出。

2. 计算机的基本组成

按照冯·诺依曼的设想设计的计算机，其体系结构分为控制器、运算器、存储器、输入设备、输出设备5大部分，如图1-5所示。

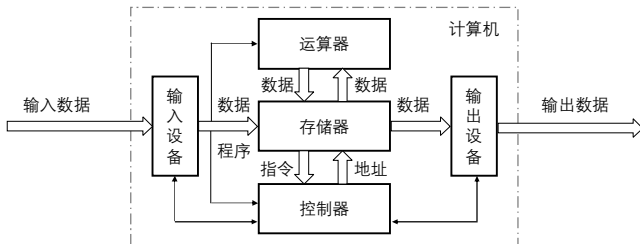


图 1-5

在图1-5中，双线表示并行流动的一组数据信息，单线表示串行流动的控制信息，箭头则表示信息流动的方向。当计算机工作时，这5大部分的基本工作流程如下：整个计算机在控制器的统一协调指挥下完成信息的计算与处理，而控制器进行指挥时依赖的程序则是人为编制的，需要事先通过输入设备将“程序”和需要加工的“数据”一起存入存储器。当计算机开始工作时，将通过“地址”从存储器中找到“指令”，控制器则按照对指令的解析进行相应的发布命令和执行命令的工作。运算器是计算机的执行部门，它将根据控制命令从存储器中获取“数据”并进行计算，然后将计算所得的新“数据”存入存储器。计算结果最终经输出设备完成输出。

(1) 中央处理器。在图1-5所示的体系结构中，控制器和运算器是计算机系统的核心，称为中央处理器(central processing unit, CPU)。CPU控制计算机发生的全部动作，安装在计算机主机内部，如图1-6所示。

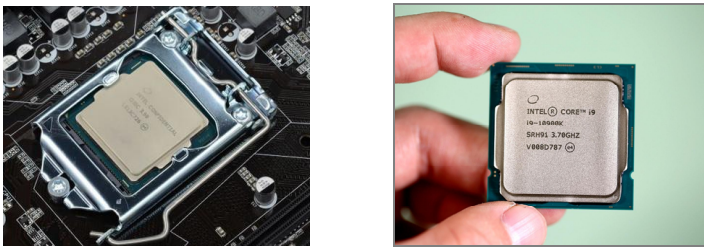


图 1-6

(2) 存储器。存储器的作用无疑是计算机自动化的基本保证，因为它实现了“程序存储”的思想。存储器通常由主存储器和辅助存储器两部分构成，由此组成计算机的存储体系。

主存储器又称为内存储器、主存或内存，它和运算器、控制器联系紧密，负责与计算机的各个部件进行数据传送。主存储器的存取速度直接影响计算机的整体运行速度，所以在计算机的设

计和制造上,主存储器和运算器、控制器是通过内部总线紧密连接的,它们都采用同类电子元件制成。通常,我们将运算器、控制器、主存储器三大部分合称为计算机的主机,如图 1-7 所示。

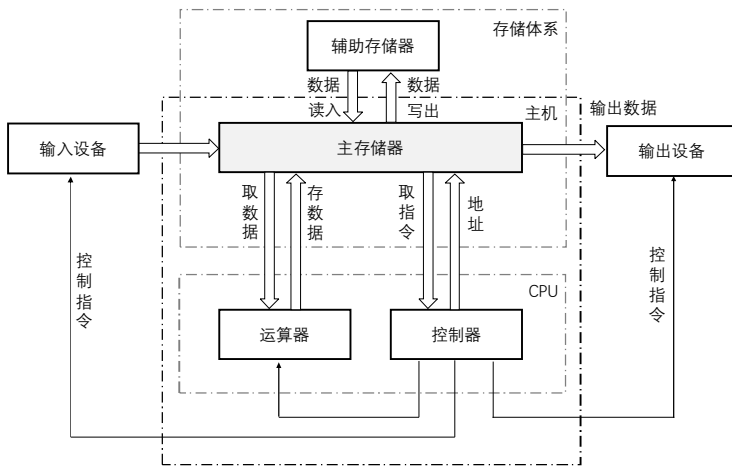


图 1-7

主存储器按信息的存取方式分为 ROM 和 RAM 两种。

- ▽ 对于 ROM(read only memory, 只读存储器)来说,信息一旦写入就不能更改。ROM 的主要作用是完成计算机的启动、自检、各功能模块的初始化、系统引导等重要功能,只占主存储器很小的一部分。在通用计算机中,ROM 指的是主板(如图 1-8 左图所示)上的 BIOS ROM(其中存储着计算机开机启动前需要运行的设置程序)。
- ▽ RAM(random access memory, 随机存储器)是主存储器的一部分。当计算机工作时,RAM 能保存数据,但一旦电源被切断,RAM 中的数据将完全消失。通用计算机中的 RAM 有多种存在形式,第一种是大容量、低价格的动态随机存取存储器(dynamic RAM, DRAM),作为内存(如图 1-8 右图所示)而存在;第二种是高速、小容量的静态随机存取存储器(static RAM, SRAM),作为内存和处理器之间的缓存 (Cache)而存在;第三种是互补金属氧化物半导体存储器(CMOS)。

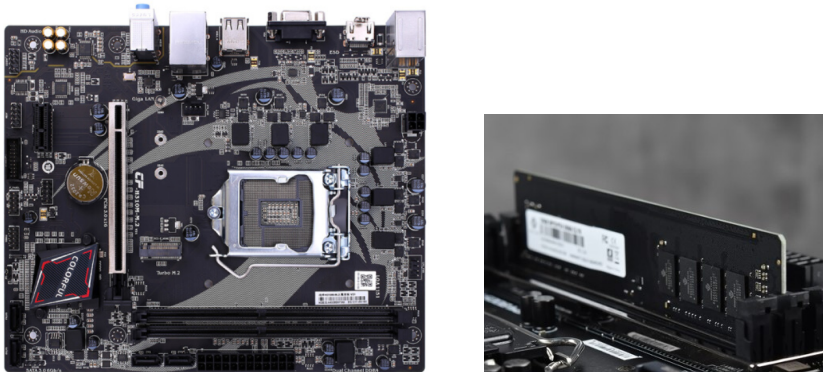


图 1-8

从主机的角度看,弥补内存功能不足的存储器被称为辅助存储器,又称为外部存储器或外存。这种存储器追求的目标是永久性存储及大容量,所以辅助存储器采用的是非易失性材料,例如硬盘(如图 1-9 所示)、光盘、磁带等。



图 1-9

目前,通用计算机上常见的辅助存储器——硬盘,大致分为机械硬盘(hard disk drive, HDD)、固态硬盘(solid state drive, SSD)和混合硬盘(hybrid hard drive, HHD)三种。其中,机械硬盘是计算机中最基本的存储设备,是一种由盘片、磁头、盘片转轴及控制电机、磁头控制器、数据转换器、缓存等部分组成的硬盘,它在工作时磁头可沿盘片的半径方向运动,加上盘片的高速旋转,磁头就可以定位在盘片的指定位置并进行数据的读写操作,如图 1-10 左图所示;固态硬盘由控制单元和存储单元(Flash 芯片、DRAM 芯片)组成,相比机械硬盘,数据的读写速度更快、功耗更低,但容量较小、寿命较短,并且价格更高,如图 1-10 中图所示;混合硬盘是一种既包含机械硬盘,又有闪存模块的大容量存储设备,相比机械硬盘和固态硬盘,数据存储与恢复速度更快,寿命更长,如图 1-10 右图所示。

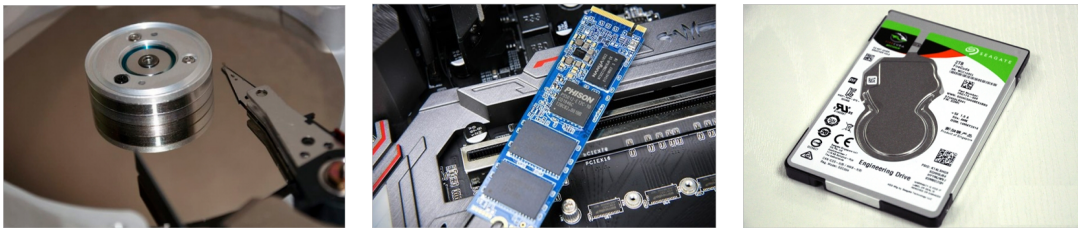


图 1-10

(3) 输入设备。输入设备是指用来把数据和程序输入计算机中的设备。常用的输入设备包括键盘、鼠标、扫描仪、数码摄像头、数字化仪、触摸屏、麦克风等。其中,键盘是最常见、最重要的计算机输入设备。虽然如今鼠标和手写输入应用越来越广泛,但在文字输入领域,键盘依旧有着不可动摇的地位,是用户向计算机输入数据和控制计算机的基本工具,如图 1-11 左图所示。

(4) 输出设备。输出设备是指用来将计算机的处理结果或处理过程中的有关信息交付给用户的设备。常用的输出设备有显示器、打印机、绘图仪、音响等,其中显示器为计算机系统的基本设备,如图 1-11 左图所示。显示器通过主板上安装的显示适配卡(video adapter, 简称显卡,如图 1-11 右图所示)与计算机相连接。显卡在工作时与显示器配合输出图形和文字,其作用是对计算机系统所需的显示信息进行转换驱动,并向显示器提供扫描信号,使信息显示正确。



图 1-11

3. 计算机的主要技术指标

目前,面向个人用户的微型计算机简称“微机”,其主要技术指标包括字长、主频、运算速度、存储容量、存储周期等。

(1) 字长:计算机在同一时间内处理的一组二进制数称为计算机的“字”,而这组二进制数的位数就是“字长”。当计算机的其他指标相同时,字长越大,计算机处理数据的速度也越快。

(2) 主频:主频是指 CPU 的内部时钟工作频率,代表 CPU 的运算速度,单位一般是 MHz、GHz。主频是 CPU 的重要性能指标,但不代表 CPU 的整体性能。一般来说,主频越高,速度越快。

(3) 运算速度:运算速度是指计算机每秒能执行的指令条数,单位为百万指令数每秒(MIPS)。运算速度比主频更能直观地反映计算机的数据处理速度。运算速度越快,性能越高。

(4) 存储容量:存储容量是衡量计算机能存储多少二进制数据的指标,包括内存容量和外存容量。内存容量越大,计算机能同时运行的程序就越多,处理能力越强,运算速度越快;外存容量越大,表明计算机存储数据的能力越强。

(5) 存取周期:存取周期是指内存存储器完成一次完整的读操作或写操作所需的时间,即 CPU 从内存中存取一次数据的时间。它是影响整个计算机系统性能的主要指标之一。

此外,计算机还有其他一些重要的技术指标,包括可靠性、可维护性、可用性等,它们共同决定计算机系统的总体性能。

1.4.2 计算机软件系统

计算机仅有硬件系统是无法工作的,它还需要软件的支持。计算机软件系统包括两方面的能力,它们分别由系统软件和应用软件两类软件提供。

1. 系统软件

系统软件提供作为一台独立计算机而必须具备的基本能力,负责管理计算机系统中的各种独立硬件,让它们协调工作。系统软件使得计算机使用者和其他软件能将计算机当作整体而不需要顾及底层每个硬件如何工作。系统软件主要由操作系统和系统工具两大部分构成:操作系统通过驱动

管理、文件系统、用户认证等核心模块实现硬件协调；系统工具则包含编译器、数据库管理系统、磁盘格式化工具等基础组件，为上层应用提供必要的运行支持。

2. 应用软件

应用软件提供操作系统之上的扩展能力，是为了某种特定用途而开发的软件。常见的应用软件有电子表格制作软件、文字处理软件、多媒体演示软件、网页浏览器、电子邮件收发软件等(本书后面的章节将详细介绍)。

1.5 计算机中数据的表示和存储

在计算机中，信息是以数据的形式表示和使用的，计算机能表示和处理的信息包括数值型数据、字符型数据及音频和视频数据，而这些信息在计算机内部都是以二进制的形式表示的。也就是说，二进制是计算机内部存储、处理数据的基本形式。计算机之所以能区别这些不同的信息，是因为它们采用了不同的编码规则。

1.5.1 常用数制

在实际应用中，需要计算机处理的信息是多种多样的，如各种进位制的数据、不同语种的文字符号和各种图像信息等，这些信息要在计算机中存储并表达，都需要转换成二进制数。了解这个表达和转换的过程，可以使我们掌握计算机的基本原理，并认识计算机各种外部设备的基本原理和作用。

在使用计算机时，二进制数最大的缺点是数字的书写特别冗长。例如，十进制数的 100000 写成二进制数为 11000011010100000。为了解决这个问题，我们在计算机的理论和应用中使用了两种辅助的进位制，即八进制和十六进制。二进制和八进制、二进制和十六进制之间的转换都比较简单。下面先介绍数制的基本概念，再介绍二进制、八进制、十进制、十六进制以及它们之间的转换方法。

1. 数制的基本概念

在计算机中，必须采用某种方式来对数据进行存储或表示，这种方式就是计算机中的数制。数制即进位计数制，是人们利用数字符号按进位原则进行数据大小计算的方法。在计算机的数制中，数码、基数和位权这 3 个概念是必须掌握的。下面简单地介绍这 3 个概念。

- (1) 数码：数制中表示基本数值大小的不同数字符号。例如，十进制有 10 个数码，即 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9。
- (2) 基数：一个数值所使用数码的个数。例如，二进制的基数为 2，十进制的基数为 10。
- (3) 位权：一个数值中某一位上的 1 所表示数值的大小。例如，对于十进制的 123 来说，1 的位权是 100，2 的位权是 10，3 的位权是 1。

2. 十进制数

十进制数的基数为 10，使用十个数字符号表示，即在每一位上只能使用 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 这十个符号中的一个，最小为 0，最大为 9。十进制数采用“逢十进一”的进位方法。一个完整的十进制数的值可以由每位所表示的值相加而成，位权为 10^i ($i=-m\sim n$ ， m 和 n 为自然数)。例如，十进制数 9801.37 可以用以下形式表示。

$$(9801.37)_{10}=9\times10^3+8\times10^2+0\times10^1+1\times10^0+3\times10^{-1}+7\times10^{-2}$$

3. 二进制数

二进制数的基数为 2，使用两个数字符号表示，即在每一位上只能使用 0、1 两个符号中的一个，最小为 0，最大为 1。二进制数采用“逢二进一”的进位方法。

一个完整的二进制数的值可以由每位所表示的值相加而成，位权为 2^i ($i=-m\sim n$ ， m 和 n 为自然数)。例如，二进制数 110.11 可以用以下形式表示。

$$(110.11)_2=1\times2^2+1\times2^1+0\times2^0+1\times2^{-1}+1\times2^{-2}$$

4. 八进制数

八进制数的基数为 8，使用八个数字符号表示，即在每一位上只能使用 0、1、2、3、4、5、6、7 这八个符号中的一个，最小为 0，最大为 7。八进制数采用“逢八进一”的进位方法。

一个完整的八进制数的值可以由每位所表示的值相加而成，位权为 8^i ($i=-m\sim n$ ， m 和 n 为自然数)。例如，八进制数 3701.61 可以用以下形式表示。

$$(3701.61)_8=3\times8^3+7\times8^2+0\times8^1+1\times8^0+6\times8^{-1}+1\times8^{-2}$$

5. 十六进制数

十六进制数的基数为 16，使用 16 个数字符号表示，即在每一位上只能使用 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F 这十六个符号中的一个，最小为 0，最大为 F。其中 A、B、C、D、E、F 分别对应十进制的 10、11、12、13、14、15。十六进制数采用“逢十六进一”的进位方法。

一个完整的十六进制数的值可以由每位所表示的值相加而成，位权为 16^i ($i=-m\sim n$ ， m 和 n 为自然数)。例如，十六进制数 70D.2A 可以用以下形式表示。

$$(70D.2A)_{16}=7\times16^2+0\times16^1+13\times16^0+2\times16^{-1}+10\times16^{-2}$$

表 1-1 给出了以上 4 种进制数以及具有普遍意义的 r 进制数的表示方法。

表 1-1 不同进制数的表示方法

数 制	基 数	位 权	进位规则
十进制	10(0~9)	10^i	逢十进一
二进制	2(0 和 1)	2^i	逢二进一
八进制	8(0~7)	8^i	逢八进一
十六进制	16(0~9、A~F)	16^i	逢十六进一
r 进制	r	r^i	逢 r 进一

在直接使用计算机内部的二进制数或编码进行交流时,冗长的数字和简单重复的0和1既烦琐又容易出错。十六进制和二进制的关系是 $2^4=16$,这表示一位十六进制数可以表达四位二进制数,从而降低了计算机中二进制数的书写长度。二进制和八进制、二进制和十六进制之间的换算也非常直接、简便,避免了数字冗长带来的不便,所以八进制和十六进制已成为人机交流中常用的记数法。表1-2列举了4种进制数的编码以及它们之间的对应关系。

表 1-2 不同进制数的表示方法

十进制	二进制	八进制	十六进制
0	0	0	0
1	1	1	1
2	10	2	2
3	11	3	3
4	100	4	4
5	101	5	5
6	110	6	6
7	111	7	7
8	1000	10	8
9	1001	11	9
10	1010	12	A
11	1011	13	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D
14	1110	16	E
15	1111	17	F

1.5.2 进制间的转换

为了便于书写和阅读,用户在编程时通常会使用十进制、八进制、十六进制来表示一个数。但在计算机内部,程序与数据都采用二进制来存储和处理,因此不同进制的数之间常常需要相互转换。不同进制之间的转换工作由计算机自动完成,但熟悉并掌握进制间的转换原理有利于我们了解计算机。常用进制间的转换关系如图1-12所示。

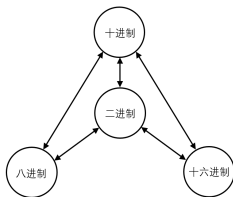


图 1-12

1. 二进制数与十进制数转换

在二进制数与十进制数的转换过程中，需要频繁地计算 2 的整数次幂。表 1-3 展示了 2 的整数次幂与十进制数值的对应关系。

表 1-3 2 的整数次幂与十进制数值的对应关系

2^n	2^9	2^8	2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
十进制数值	512	256	128	64	32	16	8	4	2	1

表 1-4 展示了二进制数与十进制小数的对应关系。

表 1-4 二进制数与十进制小数的对应关系

2^n	2^{-1}	2^{-2}	2^{-3}	2^{-4}	2^{-5}	2^{-6}	2^{-7}	2^{-8}
十进制分数	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32	1/64	1/128	1/256
十进制小数	0.5	0.25	0.125	0.0625	0.03125	0.015625	0.0078125	0.00390625

在将二进制数转换成十进制数时，可以采用按位权相加的方法，这种方法会按照十进制数的运算规则，将二进制数各个位上的数码乘以对应的位权，之后再累加起来。

将二进制数 $(1101.101)_2$ 按位权展开转换成十进制数的运算过程如表 1-5 所示。

表 1-5 将二进制数按位权展开转换成十进制数的运算过程

二进制数	1101101													
位权	$2^3 \quad 2^2 \quad 2^1 \quad 2^0 \quad 2^{-1} \quad 2^{-2} \quad 2^{-3}$													
十进制数值	8	+	4	+	0	+	1	+	0.5	+	0	+	0.125	=13.625

下面参照表 1-5，将 $(1101.1)_2$ 转换为十进制数。

$$\begin{aligned}(1101.1)_2 &= 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} \\ &= 8 + 4 + 0 + 1 + 0.5 \\ &= 13.5\end{aligned}$$

2. 十进制数与二进制数转换

在将十进制数转换为二进制数时，整数部分与小数部分必须分开转换。整数部分采用除 2 取余法，也就是将十进制数的整数部分反复除以 2，如果相除后余数为 1，那么对应的二进制数位为 1；如果余数为 0，那么对应的二进制数位为 0；逐次相除，直到商小于 2 为止。注意，第一次除法得到的余数为二进制数的低位(第 K_0 位)，最后一次除法得到的余数为二进制数的高位(第 K_n 位)。

小数部分采用乘 2 取整法，也就是将十进制数的小数部分反复乘以 2；每次乘以 2 之后，如果积的整数部分为 1，那么对应的二进制数位为 1，然后减去整数 1，对余数部分继续乘以 2；如果积的整数部分为 0，那么对应的二进制数位为 0；逐次相乘，直到乘以 2 后小数部分等于 0 为止。如果小数部分一直不为 0，根据数值的精度要求截取一定位数即可。

下面以将十进制数 18.8125 转换为二进制数为例。对整数部分除 2 取余，将余数作为二进制数，从低到高排列；对小数部分乘 2 取整，将积的整数部分作为二进制数，从高到低排列。竖式运算过程如图 1-13 所示。运算结果为 $(18.8125)_{10} = (10010.1101)_2$ 。

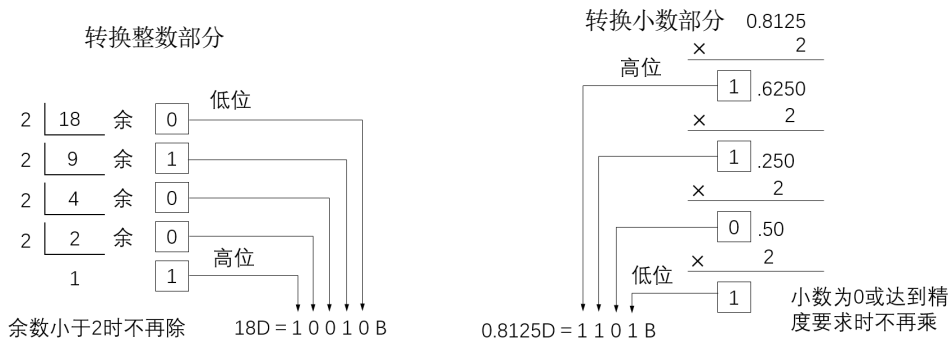


图 1-13

3. 二进制数与十六进制数转换

对于二进制整数，自右向左每 4 位分为一组，当整数部分不足 4 位时，在整数前面加 0 补足 4 位，每 4 位对应一位十六进制数；对于二进制小数，自左向右每 4 位分为一组，当小数部分不足 4 位时，在小数后面(最右边)加 0 补足 4 位；然后每 4 位二进制数对应 1 位十六进制数，即可得到十六进制数。

下面将二进制数 111101.010111 转换为十六进制数。

$(111101.010111)_2 = (00111101.01011100)_2 = (3D.5C)_{16}$ ，转换过程如图 1-14 所示。

4. 十六进制数与二进制数转换

将十六进制数转换成二进制数非常简单，只需要以小数点为界，向左或向右将每一位十六进制数用相应的四位二进制数表示，然后将它们连在一起即可完成转换。

下面将十六进制数 4B.61 转换为二进制数。

$(4B.61)_{16} = (01001011.01100001)_2$ ，转换过程如图 1-15 所示。

0011	1101	0101	1100
3	D	5	C

图 1-14

4	B	6	1
0100	1011	0110	0001

图 1-15

1.5.3 二进制数的表示

人们在日常生活中接触到的数据类型包括数值、字符、图形图像、视频、音频等多种形式，总体上可分为数值型数据和非数值型数据两大类。由于计算机采用二进制编码方式工作，因此在使用计算机存储、传输和处理上述各类数据之前，必须解决用二进制序列表示各类数据的问题。

在计算机中，所有的数值型数据都用一串 0 和 1 的二进制编码来表示。这串二进制编码被称为数据的“机器数”，数据原来的表示形式称为“真值”。根据是否带有小数点，数值型数据分为

整数和实数。对于整数，按照是否带有符号，分为带符号整数和不带符号整数；对于实数，根据小数点的位置是否固定，分为定点数和浮点数。数值型数据的分类如图 1-16 所示。

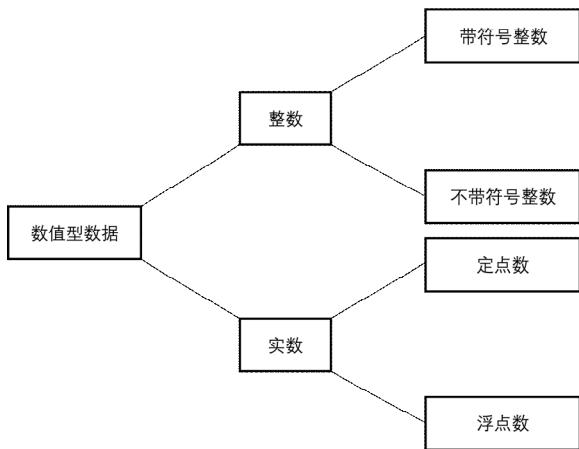


图 1-16

1. 整数的计算机表示

如果二进制数的全部有效位都用于表示数的绝对值，即没有符号位，那么使用这种方法表示的数叫作不带符号整数。但在大多数情况下，一个数往往既包括表示数的绝对值部分，又包括表示数的符号部分，使用这种方法表示的数叫作带符号整数。在计算机中，我们总是用数的最高位(左边第一位)来表示数的符号，并约定以 0 代表正数，以 1 代表负数。

为了区分符号和数值，同时为了便于计算，需要对带符号整数进行合理编码。常用的编码形式有以下 3 种。

(1) 原码。原码表示法简单易懂，分别用 0 和 1 代替数的正号和负号，并置于最高有效位，绝对值部分置于右端，中间若有空位，就填上 0。例如，如果机器字长为 8 位，那么十进制数 15 和 -7 的原码表示如下。

$$[15]_{\text{原}} = 00001111$$

$$[-7]_{\text{原}} = 10000111$$

这里应注意以下几点：

- ✔ 用原码表示数时， n 位(含符号位)二进制数所能表示的数值范围是 $-(2^{n-1} - 1) \sim (2^{n-1} - 1)$ ；
- ✔ 原码表示法直接明了，而且与其所表示的数值之间转换方便，但进行减法运算不便；
- ✔ 0 的原码表示不唯一，正 0 为 00000000，负 0 为 10000000。

(2) 反码。正数的反码表示与其原码表示相同，负数的反码表示则需要把原码表示中除符号位外的其他各位取反，即 1 变为 0，0 变为 1。

$$[15]_{\text{反}} = 00001111$$

$$[-7]_{\text{反}} = 11111000$$

这里应注意以下几点:

- ✔ 用反码表示数时, n 位(含符号位)二进制数所能表示的数值范围与原码一样, 也是 $-(2^{n-1} - 1) \sim (2^{n-1} - 1)$;
- ✔ 反码也不便进行减法运算;
- ✔ 0 的反码表示不唯一, 正 0 为 00000000, 负 0 为 11111111。

(3) 补码。正数的补码表示与其原码表示相同, 负数的补码表示则需要把原码表示中除符号位外的其他各位取反后, 对末位加 1。

$$[15]_{\text{补}} = 00001111$$

$$[-7]_{\text{补}} = 11111001$$

这里应注意以下几点:

- ✔ 用补码表示数时, n 位(含符号位)二进制数所能表示的数值范围是 $-(2^{n-1} - 1) \sim (2^{n-1} - 1)$;
- ✔ 补码不像原码那样直接明了, 很难直接看出真值;
- ✔ 0 的补码表示是唯一的, 为 00000000(对于某数, 如果对其补码再求补码, 那么可以得到该数的原码)。

由以上三种编码规则可见, 原码表示法简单易懂, 但其最大缺点是加减法运算复杂。这是因为当两数相加时, 如果它们同号, 将数值相加即可; 如果它们异号, 那么需要进行减法运算。但在进行减法运算时, 需要比较绝对值的大小, 然后用大数减去小数, 最后还要为结果选择符号。为了解决这些矛盾, 人们找到了补码表示法。反码的主要作用是求补码, 而补码可以把减法运算转换成加法运算, 这使得计算机中的二进制运算变得非常简单。

2. 实数的计算机表示

在自然描述中, 人们把小数问题用 “.” 表示, 如 1.5。但对于计算机而言, 除 1 和 0 外没有别的形式, 而且计算机中的 “位” 非常珍贵, 所以对于小数点位置的表示采取的是 “隐含” 方案。这个隐含的小数点位置可以是固定的或可变的, 前者称为定点数(fixed-point-number), 后者称为浮点数(float-point-number)。

(1) 定点数表示法又分为定点小数表示法和定点整数表示法。

- ✔ 定点小数表示法: 将小数点的位置固定在最高数据位的左边, 如图 1-17 所示。定点小数能表示所有数都小于 1 的纯小数。因此, 使用定点小数时, 要求参与运算的所有操作数、运算过程中产生的中间结果和最后运算结果, 其绝对值均应小于 1; 如果出现大于或等于 1 的情况, 定点小数就无法正确地表示出来, 这种情况称为 “溢出”。

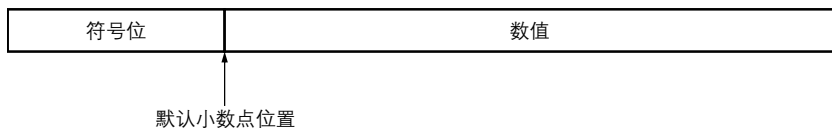


图 1-17

- 定点整数表示法：将小数点的位置固定在最低有效位的右边，如图 1-18 所示。对于二进制定点整数来说，所能表示的所有数都是整数。

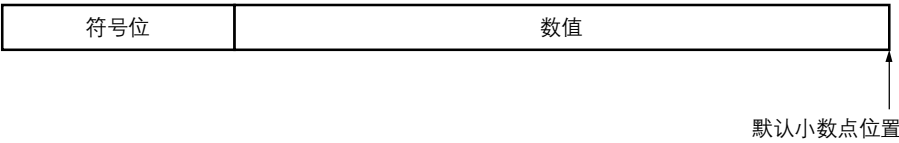


图 1-18

由此可见，定点数表示法具有直观、简单、节省硬件等特点，但所能表示的数的范围较小，缺乏灵活性。我们现在已经很少使用定点数表示法了。

(2) 浮点数表示法。实数是既有整数又有小数的数，实数有很多种表示方法，如 3.1415926 可以表示为 0.31415926×10 、 0.031415926×10^2 、 $31.1415926 \times 10^{-1}$ 等。在计算机中，如何表示 10^n ？解决方案是：一个实数总可以表示成一个纯小数和一个幂的积(纯小数可以看作实数的特例)，如 $123.45 = 0.12345 \times 10^3 = 0.012345 \times 10^4 = 12345 \times 10^{-2} = \dots$ 。

由上式可见，在十进制中，一个数的小数点的位置可以通过乘以 10 的幂次来调整。二进制也可以采用类似的方法，如 $0.01001 = 0.1001 \times 2^{-1} = 0.001001 \times 2^1$ 。也就是说，在二进制中，一个数的小数点位置可以通过乘以 2 的幂次来调整，这就是浮点数表示法的基本原理。

假设有任意一个二进制数 N 可以写成 $M \cdot 2^E$ 。式中， M 称为数 N 的尾数， E 称为数 N 的阶码。由于在浮点数中用阶表示小数点实际的位置，因此同一个数可以有多种浮点表示形式。为了使浮点数有一种标准表示形式，也为了使数的有效数字尽可能多地占据尾数部分，以提高数的表示精确度，规定非零浮点数的尾数最高位必须是 1，这种形式称为浮点数的规格化形式。

在计算机中， M 通常都用定点小数形式表示，阶码 E 通常都用整数表示，并且都有一位用来表示正负。浮点数的一般表示形式如图 1-19 所示。

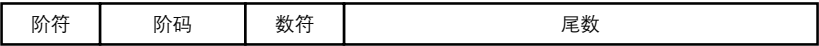


图 1-19

阶码和尾数可以采用原码、补码或其他编码方式表示。在计算机中，浮点数的字长通常为 32 位，其中 7 位为阶码，1 位为阶符，23 位为尾数，1 位为数符。

当在计算机中按规格化形式存放浮点数时，阶码的存储位数决定了可表达数值的范围，尾数的存储位数决定了可表达数值的精度。对于相同的位数，浮点数表示法所能表示的数值范围要比定点数表示法大得多。目前的计算机大都采用浮点数表示法，因此也被称为浮点机。

3. 文本的表示

文本由一系列字符组成。为了表示文本，必须先对每个可能出现的字符进行表示并存储在计算机中。同时，计算机中能够存储和处理的只能是用二进制表示的信息，因此每个字符都需要进行二进制编码，称为内码。计算机最早用于处理英文，使用 ASCII(american standard code for information interchange，美国信息交换标准代码)码来表示字符；后来也用于处理中文和其他文字。

由于字符多且内码表示方式不尽相同,为了统一,便出现了 Unicode 码,其中包括世界上出现的各种文字符号。

(1) ASCII 码。目前,国际上使用的字母、数字和符号的信息、编码系统种类很多,但使用最广泛的是 ASCII 码。ASCII 码最开始时是美国国家信息交换标准字符码,后来被采纳为一种国际通用的信息交换标准代码。

ASCII 码共有 128 个元素,其中包括 32 个通用控制字符、10 个十进制数码、52 个英文大小写字母和 34 个专用符号。因为 ASCII 码共有 128 个元素,所以在进行二进制编码表示时需要用 7 位。ASCII 码中的任意一个元素都可以由 7 位的二进制数 $D_6D_5D_4D_3D_2D_1D_0$ 表示,从 0000000 到 1111111 共 128 种编码,可用来表示 128 个不同的字符。ASCII 码是 7 位编码,但由于字节(8 位)是计算机中的常用单位,因此仍以 1 字节来存放一个 ASCII 字符,在每一字节中,多余的最高位 D_6 取 0。表 1-6 为 7 位 ASCII 编码表(省略了恒为 0 的最高位 D_7)。

表 1-6 7 位 ASCII 编码表

$D_3D_2D_1D_0$	$D_6D_5D_4$							
	000	001	010	011	100	101	110	111
0000	NUL	DLE	SP	0	@	P	`	p
0001	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
0010	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
0011	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
0100	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t
0101	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
0110	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
0111	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
1000	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
1001	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
1010	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
1011	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
1100	FF	FS	,	<	L	\	l	
1101	CR	GS	-	=	M	]	m	}
1110	SO	RS	.	>	N	^	n	~
1111	SI	US	/	?	O	_	o	DEL

为了确定某个字符的 ASCII 码,需要首先在表 1-6 中找到它的位置,然后确定它所在位置相



应的列和行,最后根据列确定高位码($D_6D_5D_4$),根据行确定低位码($D_3D_2D_1D_0$),把高位码与低位码合在一起,就是该字符的 ASCII 码(高位码在前,低位码在后)。例如,字母 A 的 ASCII 码是 1000001,符号+的 ASCII 码是 0101011。

ASCII 码的特点如下。

- ▽ 编码值 0~31(0000000~0011111)不对应任何可印刷字符,通常为控制符,用于计算机通信中的通信控制或对设备的功能控制;编码值 32(0100000)是空格字符,编码值 127(1111111)是删除控制码;其余 94 个字符为可印刷字符。
- ▽ 0~9 这 10 个数字字符的高 3 位编码为 011,低 4 位编码为 0000~1001。当去掉高 3 位的编码值时,低 4 位正好是二进制形式的 0~9。这既满足了正常的排序关系,又有利于完成 ASCII 码与二进制码之间的转换。
- ▽ 英文字母的编码是正常的字母排序关系,并且大小写英文字母编码的对应关系相当简便,差别仅表现在 D_5 位的值为 0 或 1,这十分有利于大小写字母之间的编码转换。

(2) Unicode 码。常用的 7 位二进制编码形式的 ASCII 码只能表示 128 个不同的字符,扩展后的 ASCII 字符集也只能表示 256 个字符,无法表示除英语外的其他文字符号。为此,硬件和软件制造商联合设计了一种名为 Unicode 的编码。Unicode 码有 32 位,能表示最多 $2^{32}=4\,294\,967\,296$ 个符号;Unicode 码的不同部分被分配用于表示世界上不同语言的符号,还有些部分被用于表示图形和特殊符号。

Unicode 字符集广受欢迎,已被许多程序设计语言和计算机系统普遍采用。为了与 ASCII 字符集保持一致,Unicode 字符集被设计为 ASCII 字符集的超集,即 Unicode 字符集的前 256 个字符与扩展的 ASCII 字符集完全相同。

(3) 汉字编码。为了在计算机内部表示汉字以及使用计算机处理汉字,同样要对汉字进行编码。计算机对汉字的处理要比处理英文字符复杂得多,这会涉及汉字的一些编码以及编码间的转换。这些编码包括汉字信息交换码、汉字机内码、汉字输入码、汉字字形码和汉字地址码等。

- ▽ 汉字信息交换码:用于在汉字信息处理系统与通信系统之间进行信息交换的汉字代码,简称交换码,也称作国标码。汉字信息交换码直接把第 1 字节和第 2 字节编码拼接起来,通常用十六进制表示,只要在一个汉字的区码和位码上分别加上十六进制数 20H,即可构成该汉字的国标码。例如,汉字“啊”的区位码为 1601D,位于 16 区 01 位,对应的国标码为 3021H(其中,D 表示十进制数,H 表示十六进制数)。
- ▽ 汉字机内码:为了在计算机内部对汉字进行存储、处理而设置的汉字编码,也称内码。一个汉字在输入计算机后,需要首先转换为汉字机内码,然后才能在机器内传输、存储、处理。汉字机内码的形式也有多种。目前,对应于国标码,一个汉字的机内码也用 2 字节来存储,并把每字节的最高二进制位置为 1,作为汉字机内码的标识,以免与单字节的 ASCII 码产生歧义。也就是说,在国标码的 2 字节中,只要将每字节的最高位置为 1,即可将其转换为汉字机内码。

- ▽ 汉字输入码：为了将汉字输入计算机而编制的代码称为汉字输入码，也叫外码。目前，汉字主要经标准键盘输入计算机，所以汉字输入码都由键盘上的字符或数字组合而成。流行的汉字输入码编码方案有多种，但总体来说分为音码、形码和音形码三大类。音码是根据汉字的发音进行编码的，如全拼输入法；形码是根据汉字的字形结构进行编码的，如五笔字型输入法；音形码则结合了音码和形码，如自然输入法。
- ▽ 汉字字形码：又称汉字字模，用于向显示器或打印机输出汉字。汉字字形码通常有点阵和矢量两种表示方式。用点阵表示字形时，汉字字形码指的就是这个汉字字形点阵的代码。根据输出汉字的要求不同，点阵的多少也不同。简易型汉字为 16×16 点阵，提高型汉字为 24×24 点阵、 32×32 点阵、 48×48 点阵等。点阵规模越大，字形越清晰、美观，所占存储空间越大。
- ▽ 汉字地址码：每个汉字字形码在汉字字库中的相对位移地址称为汉字地址码，即汉字字形信息在汉字字库中存放的首地址。每个汉字在字库中都占有固定大小的连续区域，其首地址即该汉字的地址码。输入汉字时，必须通过地址码，才能在汉字字库中找到所需的字形码，最终在输出设备上形成可见的汉字字形。

4. 图像的表达

图像是由输入设备捕捉的实际场景，或是以数字化形式存储的任意画面，如照片。随着信息技术的发展，越来越多的图像信息需要用计算机来存储和处理。

(1) 像素。照片是由模拟数据组成的模拟图像，其表面色彩是连续的，且由多种颜色混合而成。数字化图像是指将图像按行和列的方式均匀地划分为若干小格，每个小格称为一个像素，一幅图像的尺寸可用像素点来衡量，如图 1-20 所示。

图像中像素点的个数称为分辨率，用“水平像素点数 $\times$ 垂直像素点数”来表示。图像的分辨率越高，构成图像的像素点越多，能表示的细节就越多，图像越清晰；反之，分辨率越低，图像越模糊。

存储图像在本质上就是存储图像中每个像素点的信息。根据色彩信息，可将图像分为彩色图像、灰度图像和黑白图像。

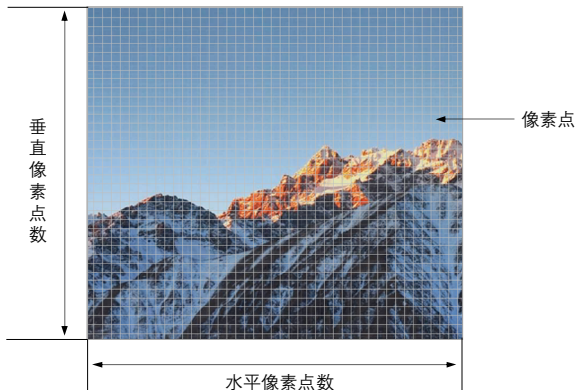


图 1-20

(2) 彩色图像。彩色图像的每个像素由红、绿、蓝三色(也称 RGB)组成。我们需要使用 3 个矩阵才能表示每个彩色分量的亮度值,如图 1-21 所示。真彩色的颜色深度为 24 位,换言之,RGB 中的每个分量都用 8 位表示。

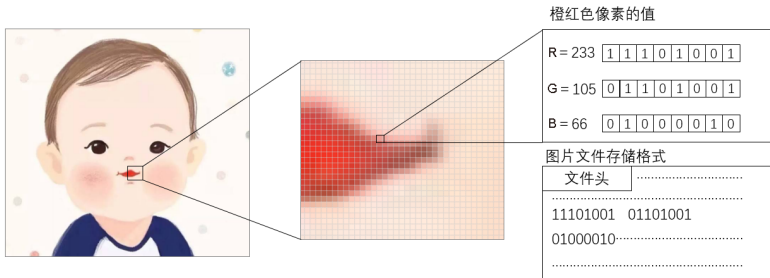


图 1-21

(3) 灰度图像。灰度图像的每个像素点只有一个灰度分量,通常用 8 位表示。灰度共有 256 个级别(0~255)。其中,255 是最高灰度级,呈现最亮的像素;0 是最低灰度级,呈现最暗的像素。

(4) 黑白图像。黑白图像的每个像素仅表示黑或白,通常使用一个二进制位(0 或 1)来存储每个像素。0 表示黑,1 表示白。有时为了处理方便,我们仍然采用每个像素点 8 位的方式来存储黑白图像。

5. 音频的表示

在计算机中,数值和字符都需要转换成二进制数来存储和处理。同样,声音、图形、视频等信息也需要转换成二进制数后,计算机才能存储和处理。将模拟信号转换成二进制数的过程称为数字化处理。

声音是连续变化的模拟量。例如,对着话筒讲话时(如图 1-21(a)所示),话筒会根据周围空气压力的不同变化,输出连续变化的电压值。这种变化的电压值是对声音的模拟,称为模拟音频(如图 1-22(b)所示)。为了使计算机能存储和处理声音信号,就必须将模拟音频数字化。

(1) 采样。任何连续信号都可以表示成离散值的符号序列,存储在数字系统中。因此,模拟信号在转换成数字信号时必须经过采样过程。采样过程是指在固定的时间间隔内,对模拟信号截取一个振幅值(如图 1-22(c)所示),并用定长的二进制数表示,然后将连续的模拟音频信号转换成离散的数字音频信号。截取模拟信号振幅值的操作就被称为采样,得到的振幅值为采样值。单位时间内采样次数越多(采样频率越高),数字信号就越接近原声。

奈奎斯特(Nyquist)采样定理指出:当模拟信号的离散化采样频率达到信号最高频率的两倍时,就可以无失真地恢复原始信号。人耳的听力范围为 20 Hz~20 kHz。只要声音的采样频率达到 40 kHz(每秒采集 4 万个数据)就可以满足要求,所以声卡的采样频率一般为 44.1 kHz 或更高。

(2) 量化。量化是将信号样本值截取为最接近原始信号的整数值的过 程。例如,如果采样值是 16.2,就量化为 16;如果采样值是 16.7,就量化为 17。音频信号的量化精度(也称为采样位数)一般用二进制位来衡量,例如,当声卡的量化位数为 16 位时,有 $2^{16}=65\,536$ 种量化等级(如图 1-21(d)所示)。目前声卡大多为 24 位或 32 位量化精度(采样位数)。

在对音频信号进行采样和量化时,一些系统的信号样本全部在正值区间(如图 1-22(b)所示),编码时采用无符号数存储;还有一些系统的样本有正值、0、负值(如正弦曲线),编码时用样本值最左边的位表示采样区间的正负符号,用其余位表示样本绝对值。

(3) 编码。如果采样速率为 S , 量化精度为 B , 那么它们的乘积为位率。例如,当采样速率为 40 kHz、量化精度为 16 位时,位率= $40\,000 \times 16 = 640\text{ kb/s}$ 。位率是信号采集的重要性能指标,如果位率过低,就会出现数据丢失的情况。

进行完数据采集后,我们便得到了一大批原始音频数据,对这些数据进行压缩编码,再加上音频文件格式的头部,得到的就是数字音频文件(如图 1-22(e)所示)。这项工作可由声卡和音频处理软件(如 Adobe Audition)共同完成。

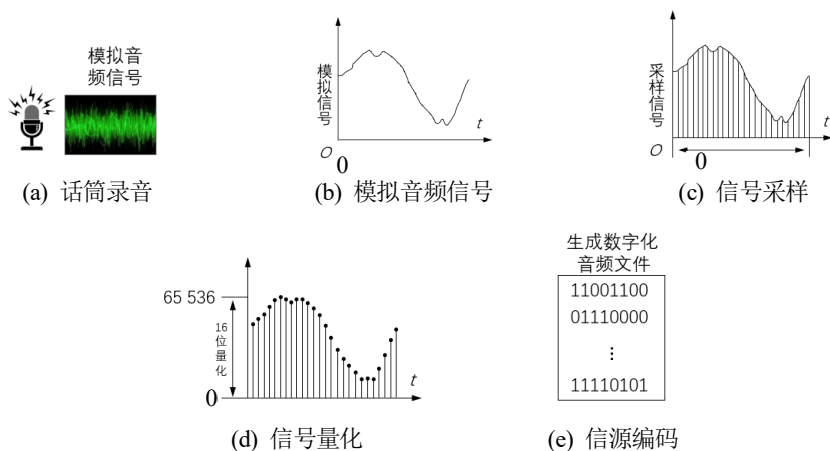


图 1-22

6. 视频的表示

视频是图像在时间上的表示,称为帧。一部电影就是由一系列的帧一张接一张地播放而形成的运动图像,也就是说,视频是随空间(单个图像)和时间(一系列图像)变化的信息表现。因此,在计算机中将每一幅图像或帧转换为一系列的位模式并存储,再将这些图像组合起来,得到的便是视频。视频通常被压缩存储。MPEG 是一种常用的视频压缩技术。

1.5.4 数据的存储

在现代计算机中,信息是被编码成 0 和 1 的数字,这些数字被称为“位”(binary digits, bit)。位是表示信息的唯一符号,其具体含义取决于当前的应用,有时位模式表示数值,有时表示字符表里的字符和标点,有时表示图像,有时表示声音。

1. 主存储器

为了存储数据,计算机中有大量的电路(如触发器),其中的每一个都可以存储一位。这种位存储器被称作计算机的主存储器。

(1) 存储器结构。计算机的主存储器是通过一种名为存储单元(cell)的可管理单位组织起来的,一个典型的存储单元可以存储 8 位(8 位便是 1 字节,因此一个典型的存储单元有 1 字节的容量)。家庭设备(如电冰箱、空调)中嵌入的小型计算机的主存可能只有几百个存储单元,但是大型计算机的主存储器可能有数十亿个存储单元。

虽然计算机中没有左右的概念,但我们通常还是会将存储单元中的位想象成排成一行。一行的左端称为高位端(high-order end),右端称为低位端(low-order end)。最左边的一位称为高位或最高有效位(most significant bit)。采用这种叫法是因为:如果把存储单元的内容解释为数值,那么这一位会是那个数值中最高的有效数字。相应地,最右边的一位称为低位或最低有效位(least significant bit)。因此,我们可以使用图 1-23 所示的形式来表示字节型存储单元。

为了有效识别出计算机主存中的每个存储单元,每个存储单元都有独一无二的“名字”,也就是地址(address)。这类似于在一座城市里通过地址来确定房子的位置,只不过存储单元的地址全部由数字组成。更准确地说,如果把所有的存储单元都看成排成一行,并按照这个顺序从 0 开始编号,那么这样的地址系统不仅让我们能够单独识别出每个存储单元,而且还赋予了存储单元顺序的概念(如图 1-24 所示)。

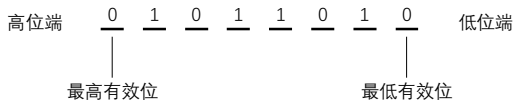


图 1-23

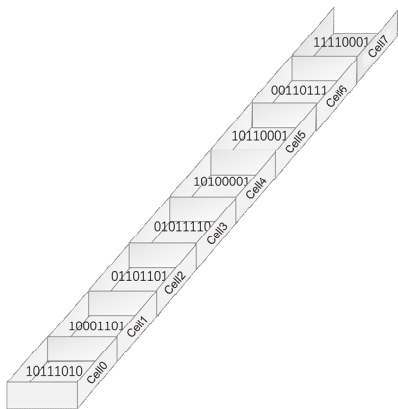


图 1-24

为存储单元及存储单元中的每一位编码后的重要结果是:一台计算机主存储器中的所有位在本质上都可以看成有序的一长行,因此这个长行的片段就可以存储比单个存储单元更长的位模式。具体来说,只需要使用两个连续的存储单元,就可以存储长度为 16 的位模式。

为了实现计算机的主存储器,实际存储位的电路需要和其他电路组合在一起,这些电路允许其他电路从存储单元中存取数据。这样其他电路就可以询问某一地址的内容以获得数据(称为“读”操作),或者要求将某个位模式存储到特定地址以记录数据(称为“写”操作)。

因为计算机的主存储器由单个有地址的存储单元组成,所以这些存储单元可以根据请求被相互独立地访问。为了体现这种存储单元可以使用任何顺序来访问的能力,计算机的主存储器通常叫作随机存取存储器(random access memory, RAM)。

(2) 存储器容量。存储器容量以字节数来度量,经常使用的度量单位有 KB、MB 和 GB,其中 B 代表字节。各度量单位可用字节表示为:

$$1\text{ KB}=2^{10}\text{ B}=1024\text{ B}$$

$$1\text{ MB}=2^{10}\times 2^{10}\text{ B}=1024\times 1024\text{ B}$$

$$1\text{ GB}=2^{10}\times 2^{10}\times 2^{10}\text{ B}=1024\text{ MB}=1024\times 1024\text{ KB}=1024\times 1024\times 1024\text{ B}$$

例如,假设一台计算机的内存标注为2 GB,那么实际可存储的内存字节数为 $2\times 1024\times 1024\times 1024$ 。

2. 辅助存储器

由于主存储器存在不稳定性且容量有限,因此大部分计算机会使用额外的存储设备(辅助存储器),包括磁盘、光盘、磁带等。辅助存储器与主存储器相比的优点是稳定性好、容量大、价格低,并且在很多情况下可以从计算机中方便地取出,以便归档整理数据。

(1) 磁存储器。磁存储器很多年以来一直是主流的计算机辅助存储器,最常见的例子就是现在计算机中仍在使用的磁盘。磁盘的内部是一些旋转的薄盘片,上面有一层用于存储数据的介质,如图1-25所示。

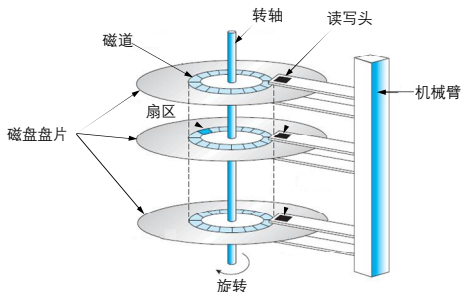


图 1-25

磁盘盘片的上面和下面有读写头,当磁盘盘片旋转时,读写头相对于磁道运动。重新调整读写头的位置,就可以访问其他同心磁道。在很多情况下,磁盘存储系统会包括若干同轴盘片,这些盘片层叠在一起,中间有足够的空间以允许读写头滑动。在这种情况下,所有读写头一致地运动。因此,每当读写头移到新的位置时,就可以访问一组新的磁道。

由于一个磁道包含的信息通常比我们需要一次操作的信息多,因此每个磁道都被划分为若干被称为扇区的小弧形,上面则以连续的二进制位串形式记录信息。在一个磁盘上,所有的扇区都包含相同的位数(典型容量介于512字节和几千字节之间),而且在最简单的磁盘存储系统中,每一条磁道都有相同数目的扇区。靠近磁盘外边缘磁道的存储密度比靠近中心的磁道低,这是由于传统设计中所有磁道的扇区数相同,而外圈磁道周长更长。相比之下,在大容量磁盘存储系统中,通过区位记录技术,外区磁道划分了更多扇区,使得存储密度得到优化。磁盘存储系统包括大量独立的扇区,每一个扇区又可以作为独立的数据块单独访问。

磁盘存储系统的容量取决于盘片数量以及盘片上每一条磁道的扇区密度。容量低的磁盘存储系统可能只有一个盘片,而存储容量高达 GB 级甚至 TB 级的磁盘存储系统可能会在一个公共轴上安装多个盘片。此外,数据既可以存储在每个盘片的上表面,也可以存储在下表面。

以下几个指标可以用来评判磁盘存储系统的性能。

- ✔ 寻道时间:将读写头从一条磁道移到另一条磁道所需的时间。
- ✔ 旋转延迟或等待时间:磁盘完成一周完整旋转所需时间的一半,这是读写头在移到指定磁道后,等待盘片旋转到存取所需数据位置的平均用时。
- ✔ 存取时间:寻道时间与旋转延迟的时间总和。
- ✔ 传输速率:从磁盘读取或向磁盘写入的速度。

由于磁盘存储系统在执行操作时需要物理运动,因此其速度比不上电子电路。电子电路内的延迟时间以 ns(十亿分之一秒)甚至更小的时间为单位,而磁盘存储系统的寻道时间、延迟时间和存取时间是以 ms(一千分之一秒)为度量单位的。因此,与电子电路所需的等待时间相比,磁盘存储系统在获取信息时需要的时间相对较长。

除磁盘外,还有一些磁存储技术,如磁带。磁带中的信息存储在很薄的塑料带基的磁图层上,而塑料带则缠绕着磁带中的卷轴。磁带需要极长的寻道时间,但是因为成本低廉、存储容量大,所以经常用于存档数据备份。

(2) 光存储器。除磁存储器外,还有一种辅助存储器,如光盘(compact disk, CD)。此类盘片的直径大约 12 cm,由光洁的保护图层的反射材料制成,通过在反射层上制造偏差来记录信息,再通过激光束检测旋转的盘片表面上不规则的偏差来读取数据。目前,光存储器已经不再使用。

3. 微型计算机的多级存储体系

依据存储程序原理,计算机中运行的程序都存储于存储器上,供运算器在需要的时候访问。计算机的存储系统总希望做到存储容量大而存取速度快、价格低,但这三者之间正好是矛盾的,例如存储器的速度越快,价格就越高;存储器的容量越大,速度就越慢等。因此,仅仅采用一种技术组成单一的存储器是不可能满足这些要求的。随着计算机技术的不断发展,可以把几种存储技术结合起来构成多级存储体系,比如将存储实体由上而下分为 4 层,分别为微处理器存储层、高速缓冲存储层、主存储器层和外存储器层,如图 1-26 所示。

(1) 微处理器存储层。所谓微处理器,就是将 CPU(运算器、控制器)以及一些需要的电路集成在一块半导体芯片上。微处理器存储层是多级存储体系的第一层,由 CPU 内部的通用寄存器组、指令与数据缓冲栈来实现。由于寄存器存在于 CPU 内部,因此速度比磁盘要快百万倍以上。一些运算可以直接在 CPU 的通用寄存器中进行,这样就减少了 CPU 与内存之间的数据交换。但通用寄存器的数量非常有限,一般只有几个到几百个,不可能承担更多的数据存储任务,仅可用于存储使用最频繁的数据。

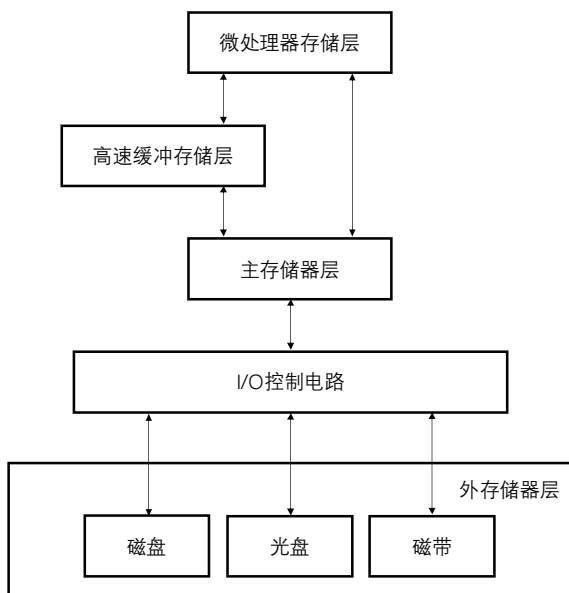


图 1-26

(2) 高速缓冲存储层。高速缓冲存储层是多级存储体系的第二层，设置在微处理器和内存之间。高速缓冲存储器(Cache)由静态随机存储器(SRAM)组成，通常集成在 CPU 芯片内部，容量比内存小得多，但速度比内存高得多，接近于 CPU 的速度。

Cache 的使用依据是程序局部性原理：由于正在使用的内存单元邻近的那些单元将被用到的可能性很大，因此当 CPU 存取内存中的某一单元时，计算机会自动地将包括该单元在内的那一组单元调入 Cache；对于 CPU 即将存取的数据，计算机会首先从 Cache 中查找，如果找到了，就不必再访问内存，从而有效提高了计算机的工作效率。

(3) 主存储器层。在多级存储器体系中，主存储器(内存)属于第三层存储，它是 CPU 可以直接访问的、唯一的大容量存储区域。任何程序或数据要为 CPU 使用，就必须先放到内存中。即便是 Cache，其中的信息也来自内存。所以，内存的速度在很大程度上决定了系统的运行速度。

(4) 外存储器层。由于内存的容量非常有限，因此必须通过辅助存储设备提供大量的存储空间，这就是存储体系中不可缺少的外存储器。外存储器包括磁盘、光盘、磁带等，具有永久保留信息且容量大的特点。

综上所述，在微型计算机的多级存储体系中，每一种存储器都不是孤立的，而是有机整体的一部分。这种多级存储体系的整体速度接近于 Cache 和寄存器，而容量却可以达到外存储器的级别，从而较好地解决了存储器中速度、容量、价格三者之间的矛盾，满足了计算机系统的应用需要，这是微型计算机系统设计思路的精华之一。随着半导体工艺水平的发展和计算机技术的进步，这种多级存储体系的构成可能会有所调整，但由于系统软件和应用软件的发展使得内存的容量总是无法满足应用的需求，因此由“内存→外存”为主体的多级存储体系将会长期存在下去。

1.6 多媒体技术的概念与应用

多媒体(multimedia)简单地说,就是对文本(text)、图形(graphic)、图像(image)、声音(sound)、动画(animation)、视频(video)等多种媒体的统称。对于多媒体技术的定义,目前有多种解释,可根据多媒体技术的环境特征来给出综合描述,意义可归纳为:计算机综合处理多种媒体信息,包括文本、图形、图像、声音、动画及视频等,在各种媒体信息间按某种方式建立逻辑连接,集成成为具有交互能力的信息演示系统。

1.6.1 多媒体的几个主要概念

多媒体技术涉及许多学科,如图像处理系统、声音处理技术、视频处理技术以及三维动画技术等,它是一门跨学科的综合性技术。多媒体技术用计算机把各种不同的电子媒体集成并控制起来,这些媒体内容涵盖文本、图形、图像、音频、视频及动画等数字格式,并通过计算机系统实现集成化处理与交互控制。因此多媒体技术又可看成一种界面技术,它使得人机界面更为形象、生动、友好。

多媒体技术以计算机为核心,计算机技术的发展为多媒体技术的应用奠定了坚实的基础。在国外,有的专家把个人计算机(PC)、图形用户界面(GUI)和多媒体称为近年来计算机发展的三大里程碑。多媒体的主要概念有以下几个。

1. 媒体

媒体在计算机领域主要有两种含义:一是指用以存储信息的实体,如磁带、磁盘、光盘、U盘、光磁盘、半导体存储器等;二是指用于承载信息的载体,如数字、文字、声音、图形、图像、动画等。媒体一般分为感觉媒体、表示媒体、表现媒体、存储媒体和传输媒体5类。

(1) 感觉媒体指的是能直接作用于人的感官并让人产生感觉的媒体。此类媒体包括人类的语言、文字、音乐、自然界里的其他声音、静态或活动的图像、图形和动画等。

(2) 表示媒体是用于传输感觉媒体的手段,在内容上指的是对感觉媒体的各种编码,包括语言编码、文本编码和图像编码等。

(3) 表现媒体又称显示媒体,是计算机用于输入输出的媒体。表现媒体又分为输入表现媒体和输出表现媒体:输入表现媒体有键盘、鼠标、光笔、数字化仪、扫描仪、麦克风、摄像机等,输出表现媒体有显示器、打印机、扬声器、投影仪等。

(4) 存储媒体是指用于存储表现媒体的介质,包括内存、磁盘、磁带和光盘等。

(5) 传输媒体是指用于承载和传输数据信号的物理介质,包括有线介质(如双绞线、同轴电缆、光纤)和无线介质(如电磁波、红外线)。

2. 多媒体的几个基本元素

多媒体主要有以下几个基本元素。

(1) 文本:以ASCII码存储的文件,这是最常见的一种多媒体形式。

(2) 图形:由计算机绘制的各种几何图形。

- (3) 图像：由摄像机或图形扫描仪等输入设备获取的实际场景的静止画面。
 - (4) 动画：借助计算机生成的一系列可供动态实习演播的连续图像。
 - (5) 音频：数字化的声音，可以是解说、背景音乐及各种声响。音频分为音乐音频和话音频两种。
 - (6) 视频：由摄像机等输入设备获取的活动画面。由摄像机得到的视频图像是一种模拟视频图像。模拟视频图像在输入计算机后，必须经过模数(A/D)转换才能进行编辑和存储。
- 此外，多媒体还具有多样化、交互性、集成性和实时性等特征。

1.6.2 多媒体的关键技术

多媒体的关键技术主要包括数据压缩与解压缩、媒体同步、多媒体网络、超媒体等。其中以视频和音频数据的压缩与解压缩技术最为重要。

视频和音频信号的数据量大，同时要求传输速度快，目前的微机还不能完全满足要求，因此，对多媒体数据必须进行实时的压缩与解压缩。

数据压缩技术又称为数据编码技术，相关研究已有 50 年的历史。目前针对多媒体信息的数据编码技术主要有以下几种。

(1) JPEG 标准。JPEG(joint photographic experts group, 联合摄像专家组)是于 1986 年制定的主要针对静止图像的第一个图像压缩国际标准。该标准包含有损和无损两种压缩编码方案，JPEG 对单色和彩色图像的压缩比通常分别为 10:1 和 15:1。许多 Web 浏览器都将 JPEG 图像作为一种标准文件格式供浏览者浏览网页中的图像。

(2) MPEG 标准。MPEG(moving picture experts group, 动态图像专家组)是由国际标准化组织和国际电工委员会组成的专家组，现在已成为有关技术标准的代名词。MPEG 是压缩全动画视频的一种标准方法，包括三部分：MPEG-Video、MPEG-Audio、MPEG-System(也可使用数字编号代替 MPEG 后面对应的单词)。MPEG 的平均压缩比为 50:1，常用于硬盘、局域网、有线电视(Cable-TV)信息压缩。

(3) H.216 标准(又称 P(64)标准)。H.216 标准是国际电报电话咨询委员会(CCITT)为可视电话和电视会议制定的标准，用于视频和声音的双向传输。

1.6.3 多媒体技术的应用

借助日益普及的高速信息网络，多媒体技术可以实现计算机的全球联网和信息资源的共享。多媒体技术带来的新感受和新体验在任何时候都是不可想象的。

(1) 数据压缩、图像处理技术的应用。多媒体计算机技术是针对 3D 图形、环绕声、彩色全屏运动画面的处理技术。然而，数字计算机正面临着数值、文本、语言、音乐、图形、动画、图像、视频等媒体的问题，这些媒体在数字化过程中(模拟→数字转换)会产生海量数据，对存储容量、传输带宽及计算性能形成多重压力。数字化的视音频信号数量惊人，对内存的存储容量、通

信干线的信道传输速率以及计算机的运行速度都造成了很大的压力。要解决这个问题,单纯地扩大存储容量、提高通信中继的传输速率是不现实的。数据压缩技术为图像、视频和音频信号压缩,文件存储和分布式利用,通信干线传输效率的提高等提供了有效方法。同时,数据压缩技术还使计算机能够实时处理音频和视频信息,以确保能够播放高质量的视频和音频节目。为此,国际标准化协会、国际电子委员会、国际电信协会等国际组织牵头制定了与视频图像压缩编码相关的三项重要国际标准: JPEG 标准、MPEG 标准和 H.261 标准。

(2) 语音识别技术的应用。语音识别一直是人们美好的梦想,让计算机理解人的语音是发展人机语音通信和新一代智能计算机的主要目标。随着计算机的普及,越来越多的人在使用计算机。如何为不熟悉计算机的人提供友好的人机交互手段是一个有趣的问题,语音识别技术是最自然的交流手段之一。

目前,在语音识别领域,新的算法、思想、应用系统不断涌现。同时,语音识别领域也正处于非常关键的时期。全世界研究人员都在向语音识别应用的最高水平冲刺——没有特定人、词汇量大、语音连续的听写机系统的研究和应用。也许,人们有关实现语音识别技术的梦想很快就会变成现实。

(3) 文语转换技术的应用。中、英、日、法、德五种语言的文语转换系统在全世界范围内得到了发展,并已广泛应用于许多领域。例如,声波文语转换系统是清华大学计算机系基于波形编辑的中文文语转换系统。该系统利用汉语词库进行分词,并根据语音研究的结果建立语音规则来处理汉语中一些常见的语音现象。该系统还利用粒子群优化算法修改超音段的语音特征,以提高语音输出质量。

(4) 多媒体信息检索技术的应用。多媒体信息检索技术的应用使得多媒体信息检索系统、多媒体数据库、可视化信息系统、多媒体信息自动获取和索引系统逐渐成为现实。基于内容的图像检索和文本检索系统是近年来多媒体信息检索领域最活跃的研究课题。

1.7 习题

1. 简述计算机的产生与发展。
2. 简述计算机的分类与应用。
3. 简述计算机系统的基本组成。
4. 简述多媒体技术的概念与应用。