

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
国家精品课程主讲教材
高等学校软件工程系列教材

计算系统基础

Jisuan Xitong Jichu

陈道蓄 主编
王浩然 葛季栋 编著



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是国家精品课程“计算系统基础”的主讲教材。该课程作为软件工程专业的第一门专业课程,以一个经典计算机指令集 MIPS 的简化版本 DLX 为线索,选择 C 语言作为载体,采用程序设计与系统级认识双优先的方式,使初学者在对计算机系统有基本了解的基础上,更好地掌握结构化程序设计的基本思想和方法。

本书采用自顶向下和自底向上相结合的方式介绍计算系统,全书分为三部分,共 17 章,其中第一部分为第 1 章 ~第 5 章,主要介绍程序设计基础,使没有编程基础的学生获取对程序设计的感性认识;第二部分为第 6 章 ~第 14 章,主要介绍计算机硬件和系统软件的基础知识,并通过介绍一个简单的 DLX 计算机系统的工作原理,来帮助读者理解高级语言程序是如何在计算机系统中运行的;第三部分为第 15 章 ~第 17 章,主要介绍函数、指针、数组和递归等内容,以及一些复杂程序在 DLX 系统下的运行机制。

随书提供有与“计算系统基础”课程配套的 DLX 套件。该套件提供了 C 语言(部分非常用功能除外)编译和基本运行环境,能够满足本课程教学的需要。此外,DLX 模拟器提供了较完整的模拟 CPU,有兴趣的学生可以尝试在 DLX 模拟器上设计和实现基于 DLX 指令集的仿真操作系统 DLX OS。

图书在版编目(C I P)数据

计算系统基础/陈道蓄,王浩然,葛季栋编著. --
北京:高等教育出版社,2013. 2
ISBN 978 - 7 - 04 - 036760 - 7

I. ①计… II. ①陈… ②王… ③葛… III. ①电子计
算机 - 高等学校 - 教材 IV. ①TP3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 012019 号

策划编辑 倪文慧	责任编辑 倪文慧	封面设计 于文燕	版式设计 王艳红
插图绘制 尹 莉	责任校对 刘 莉	责任印制	

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400 - 810 - 0598
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	网 址	http://www. hep. edu. cn
邮政编码	100120		http://www. hep. com. cn
印 刷		网上订购	http://www. landraco. com
开 本	787mm ×1092mm 1/16		http://www. landraco. com. cn
印 张	23. 5	版 次	年 月第 1 版
字 数	530 千字	印 次	年 月第 次印刷
购书热线	010 - 58581118	定 价	44. 60 元(含光盘)

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 36760 - 00

前 言

对于计算机类专业的初学者,第一门专业课(计算机导论除外)的教学目标是使学生掌握用计算机解决问题的基本方法,并且能用一种高级程序设计语言编写简单的应用程序。实现这一教学目标的方法有两种:一种是暂时避开计算机硬件细节,直接介绍高级语言程序设计的编程技术,使学生能够在很短的时间内编写出可以在计算机上运行的程序;另一种方法是先让学生对计算机的组成和结构有基本的了解,在编程的同时更好地理解计算机软硬件间不可分割的关系,使编写的软件能够更好地发挥硬件的性能,进一步培养学生的基本计算思维能力。后一种方法虽然对培养学生在本科学学习的初始阶段就具有计算思维和有效解决问题的能力将会产生积极的作用,但是由于现在的计算机内部结构相对复杂,要求学生在很短的时间内掌握计算机的内部结构,并且学会在其基础上进行程序设计,在教学实践中难以实现。面对这种情况,我们尝试采用虚拟硬件平台来支持这种教学方法。该虚拟硬件平台结构简单,易于展开教学,保留了主流计算机的基本结构和对程序运行的支撑方式,让学生在最初的专业学习中,逐渐养成在编写程序的同时考虑硬件环境影响的习惯。

基于上述思想,我们建设了“计算系统基础”课程,作为软件工程专业的第一门专业课程。该课程以一个经典计算机指令集 MIPS 的简化版本 DLX 为线索,以 C 语言为载体,采用程序设计与系统级认识双优先的方式,使初学者在对计算机系统有基本了解的基础上,能更好地掌握结构化程序设计的基本思想和方法。

本书采用自顶向下和自底向上相结合的方式介绍计算系统,可分为 3 个部分,其中,第一部分包括第 1 章~第 5 章,主要介绍程序设计基础,使没有编程基础的学生对程序设计有感性的认识。第二部分包括第 6 章~第 14 章,主要介绍计算机硬件和系统软件的基础知识,有助于学生理解程序在计算机系统中是如何运行的。为便于初学者理解,本部分以一个简单的 DLX 计算机为例进行讲解。在了解了 DLX 计算机系统的工作原理之后,就可以理解高级语言程序是如何在 DLX 上运行的了。第三部分包括第 15 章~第 17 章,主要介绍函数、指针、数组和递归等深入主题,以及一些复杂程序在 DLX 系统下的运行机制。

通过本课程的学习,学生应该能建立起完整的计算概念,了解经典计算系统的工作原理,理解计算系统自底向上、逐次构造的过程;了解计算机系统的底层机制,包括数据的机器级表示、数字逻辑、冯·诺依曼模型、机器语言、汇编语言、输入和输出、TRAP 机制等;掌握结构化程序设计语言基础,包括变量和运算符、类型、表达式、简单 I/O、控制结构、函数、数组和指针等;理解结构化程序设计,能够利用自顶向下、逐步求精的方法完成小规模的结构化程序;掌握系统地测试小规模程序以及调试程序的技术、方法与工具;了解基本的数据结构与一些简单的算法,包括数组、

栈、链表、递归、顺序查找、二分法查找、冒泡排序等。

“计算系统基础”课程已经在南京大学开设 10 年,通过在实际中的不断改进,已经取得了预期的效果,并且对软件工程专业后续课程的改革提供了一个良好的基础。

在本课程的教学实施过程中,我们开发了 DLX 套件。该套件提供了 C 语言(部分非常用功能除外)编译和基本运行环境,能够满足本课程教学的需要。此外,DLX 模拟器提供了较完整的模拟 CPU,有兴趣的学生可以尝试在 DLX 模拟器上设计和实现基于该 DLX 指令集的仿真操作系统 DLX OS。

“计算系统基础”是南京大学软件学院重点建设的课程,并入选 2008 年国家级精品课程,在教学过程中得到了学院的大力支持,在此表示衷心感谢。在本书撰写过程中得到骆斌教授的指导与帮助,金志权教授、刘海涛老师和宋健建老师对本书的编写也提出了许多极为宝贵的意见,上海交通大学臧斌宇教授审阅了全书并提出了中肯的意见,在此向他们表示衷心的感谢。

特别感谢南京大学软件学院 2009 级研究生周赵锋、赵科在模拟器设计方面所做的探索工作,2010 级研究生吴金虎、马龙、朱文嘉、卢明、袁高龙、刘求索、张鹤在 DLX 套件方面所做的探索工作,2011 级研究生赵奕龙、王诚、韩廷明、徐思豪在 C-DLX 编译器方面所做的研发工作以及在 DLX OS 方面所做的探索工作,2008 级本科生葛馨阳、葛羽航、胡亮、龚晨、李翔宇、李业、杜昕同学为实现 DLX 套件所做的工作。

与本书配套的教学网站为 <http://software.nju.edu.cn/haoranwang>,有关本课程的教学课件以及 DLX 套件可以从该网站下载。限于编者的水平,书中难免存在不妥之处,恳请读者指正和赐教。编者的电子邮件地址为 cdx@nju.edu.cn、haoranwang@software.nju.edu.cn 和 gjd@software.nju.edu.cn。

编者

2012 年 12 月于南京

目 录

第 1 章 引言	1	4.3.1 while 语句	43
1.1 本书的目标	1	4.3.2 for 语句	44
1.2 计算机与计算机系统	1	4.3.3 do - while 语句	47
1.3 计算系统	3	4.4 其他控制结构	47
1.4 本书的结构	6	4.4.1 switch 语句	48
习题 1	7	4.4.2 break 和 continue 语句	51
第 2 章 C 语言程序设计简介	9	4.5 问题求解	51
2.1 高级程序设计语言	9	4.5.1 问题 1:计算自然对数之底 e 的 近似值	51
2.2 高级语言程序翻译技术	9	4.5.2 问题 2:找出 100 ~ 200 之间的 素数	54
2.3 C 语言概述	10	4.5.3 问题 3:计算字符串“int”出现的 次数	56
2.4 第一个例子:Hello World	11	习题 4	58
习题 2	16	第 5 章 测试和调试	63
第 3 章 类型和变量	18	5.1 软件开发过程	63
3.1 类型和变量	18	5.2 错误类型	64
3.1.1 3 种基本数据类型	18	5.3 测试	67
3.1.2 标识符	20	5.4 调试	69
3.1.3 作用域	21	5.5 正确编程	72
3.2 运算符	22	习题 5	73
3.3 附加主题	29	第 6 章 数据的机器级表示	76
3.4 问题求解:长度单位换算	32	6.1 位和数据类型	76
习题 3	33	6.2 整数数据类型	77
第 4 章 结构化程序设计和控制 结构	36	6.3 二进制补码整数	79
4.1 结构化程序设计	36	6.4 二进制—十进制转换	81
4.2 选择结构	38	6.5 算术运算	83
4.2.1 if 语句	38	6.6 逻辑运算	85
4.2.2 if - else 语句	40	6.7 其他表示法	89
4.3 循环结构	43		

6.7.1	ASCII 码	89	9.4.3	控制循环的两种方法	154
6.7.2	浮点数类型	91	9.4.4	示例:利用标志加一列数	154
6.7.3	十六进制表示法	93	9.4.5	J 指令	155
6.8	C 语言中的数据类型	95	9.4.6	TRAP 指令	155
习题 6		98	9.5	DLX 数据通路	156
第 7 章	数字逻辑电路	101	9.6	C 语言的数据类型与计算机 的 ISA	157
7.1	晶体管	101	习题 9		159
7.2	门电路	102	第 10 章	机器语言程序设计	162
7.3	组合逻辑电路	107	10.1	解决问题	162
7.4	基本存储元件	112	10.1.1	实现 3 种结构的 DLX 控制 指令	162
7.5	存储器	114	10.1.2	示例:文档加密	163
7.6	时序逻辑电路	117	10.2	调试	167
7.6.1	状态的概念	117	10.2.1	调试操作	167
7.6.2	有限状态机	118	10.2.2	示例:调试器的使用	168
7.6.3	示例:交通灯控制器	119	习题 10		173
7.7	DLX 子集的数据通路	122	第 11 章	汇编语言	176
习题 7		124	11.1	汇编语言程序设计	176
第 8 章	冯·诺依曼模型	127	11.2	DLX 汇编语言	176
8.1	基本组件	127	11.2.1	指令	177
8.2	DLX——冯·诺依曼模型示例	129	11.2.2	伪操作	181
8.3	指令处理	131	11.2.3	示例:文档加密	183
8.4	DLX 的有限状态机	135	11.3	汇编过程	185
习题 8		137	11.3.1	一个“两趟”的过程	185
第 9 章	指令集结构	139	11.3.2	第一趟:构建符号表	185
9.1	指令集结构概述	139	11.3.3	第二趟:生成机器语言 程序	187
9.2	算术/逻辑运算指令	143	11.4	链接	189
9.2.1	I-类型运算指令	143	11.4.1	可执行映像	189
9.2.2	R-类型运算指令	146	11.4.2	链接器的主要工作	190
9.3	数据传送指令	147	11.5	编译:C-DLX	191
9.3.1	基址+偏移量模式	148	11.5.1	一个简单的例子	191
9.3.2	示例	150	11.5.2	控制结构的例子	192
9.4	控制指令	150	11.6	栈——一种抽象数据类型	194
9.4.1	条件分支	151			
9.4.2	示例:计算 10 个整数 的和	152			

11.6.1	两个实现栈的例子	195	14.1.2	改进 IN 服务例程	245
11.6.2	在存储器中实现栈	195	14.2	示例:两个多位整数加法	248
11.7	为变量分配空间	197	14.3	库例程	255
11.7.1	全局数据区和运行时栈	197	14.3.1	示例:计算直角三角形 斜边长	255
11.7.2	C 语言源水平调试器	199	14.3.2	C 的标准库	258
习题 11	.....	199	14.4	子例程的测试与调试	258
第 12 章	输入和输出	205	习题 14	.....	259
12.1	I/O 基础	205	第 15 章	函数	263
12.2	键盘输入	207	15.1	函数	263
12.3	显示器输出	208	15.2	C 语言中的函数	263
12.4	内存映射 I/O 的数据通路	210	15.2.1	带参数的函数	264
12.5	DLX 键盘输入例程	211	15.2.2	示例:计算直角三角形斜 边长	266
习题 12	.....	214	15.3	C 函数在底层的实现	268
第 13 章	自陷例程和中断	215	15.3.1	运行时栈	268
13.1	DLX 自陷例程	215	15.3.2	函数调用机制	270
13.1.1	系统调用	215	15.3.3	完整的调用实现	274
13.1.2	TRAP 机制	216	15.4	问题求解	275
13.1.3	TRAP 指令	217	15.4.1	问题 1:小写转换为大写	276
13.1.4	完整的机制	218	15.4.2	问题 2:计算凸多边形的 面积	277
13.1.5	IN/OUT 服务例程	219	15.5	函数的测试与调试	279
13.1.6	HALT 服务例程	222	15.6	C 中的库函数	281
13.1.7	PUTS 服务例程	223	习题 15	.....	283
13.1.8	寄存器的保存和恢复	225	第 16 章	指针和数组	288
13.2	中断驱动的 I/O	226	16.1	指针	288
13.2.1	中断驱动的 I/O 概述	226	16.1.1	声明指针变量	290
13.2.2	中断信号的产生	227	16.1.2	指针运算符	291
13.2.3	中断服务例程	229	16.1.3	使用指针传递引用	292
13.3	C 中的 I/O	235	16.1.4	问题求解:计算商和 除数	294
13.3.1	I/O 流	235	16.1.5	空指针	296
13.3.2	putchar 和 getchar	235	16.2	数组	296
13.3.3	printf 和 scanf	237	16.2.1	数组的声明和使用	296
习题 13	.....	239	16.2.2	问题求解	297
第 14 章	子例程	243			
14.1	调用/返回机制	243			
14.1.1	JAL(R) 指令	244			

16.2.3	数组与指针之间的关系	301
16.2.4	数组作为参数	301
16.2.5	字符串	304
16.2.6	示例:冒泡排序	307
16.2.7	数组的常见错误	309
16.2.8	二维数组	309

习题 16		311
-------	--	-----

第 17 章	递归	315
--------	----	-----

17.1	递归简介	315
------	------	-----

17.2	问题求解	317
------	------	-----

17.2.1	问题 1:汉诺塔	317
--------	----------	-----

17.2.2	问题 2:二分法查找	321
--------	------------	-----

17.3	递归在底层的实现	323
------	----------	-----

17.3.1	示例:斐波纳契数列	323
--------	-----------	-----

17.3.2	递归调用机制	324
--------	--------	-----

习题 17		327
-------	--	-----

附录		330
----	--	-----

附录 A	文件 I/O	330
------	--------	-----

附录 A.1	ASCII 文件	331
--------	----------	-----

附录 A.2	二进制文件	333
--------	-------	-----

附录 B	结构体	334
------	-----	-----

附录 B.1	结构体定义和变量 声明	334
--------	----------------	-----

附录 B.2	结构体数组	338
--------	-------	-----

附录 C	动态数据结构	341
------	--------	-----

附录 C.1	动态存储分配	341
--------	--------	-----

附录 C.2	链表	344
--------	----	-----

附录 D	DLX 模拟器	352
------	---------	-----

附录 D.1	DLX 汇编语言编辑器	352
--------	-------------	-----

附录 D.2	DLX 模拟器	354
--------	---------	-----

附录 D.3	链接多个目标文件	358
--------	----------	-----

附录 E	附录练习题	360
------	-------	-----

索引		362
----	--	-----

参考文献		367
------	--	-----