



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



21世纪大学本科
计算机专业系列教材

蒋本珊 编著

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

计算机组成原理学习指导与习题解析(第2版)

- 根据教育部“高等学校计算机科学与技术专业规范”组织编写
- 与美国 ACM 和 IEEE *Computing Curricula 2005* 同步



清华大学出版社

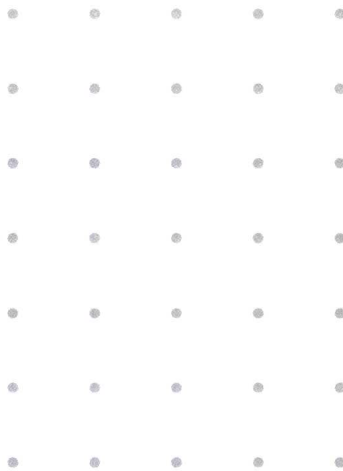


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

21世纪大学本科计算机专业系列教材

计算机组成原理 学习指导与习题解析 (第2版)

蒋本珊 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是中国计算机学会和清华大学出版社共同规划的“21世纪大学本科计算机专业系列教材”《计算机组成原理(第2版)》一书配套的学习参考用书。全书共分8章,与主教材的章节完全相同,每一章都按基本内容摘要、重点难点梳理、典型例题详解和同步测试习题等四个板块进行组织。

全书概念清楚,通俗易懂,由浅入深,通过典型例题的剖析,使读者能够加深对“计算机组成原理”课程所学知识理解,熟练掌握单机系统计算机的组织结构和基本工作原理,提高分析问题和解决问题的能力。

本书是“计算机组成原理”课程的重要参考书,也适合作为计算机相关专业考研的复习资料。

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

计算机组成原理学习指导与习题解析/蒋本珊编著.—2版.—北京:清华大学出版社,2009.8

(21世纪大学本科计算机专业系列教材)

ISBN 978-7-302-20198-4

I. 计… II. 蒋… III. 计算机体系结构—高等学校—教学参考资料 IV. TP303

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第077859号

责任编辑:张瑞庆 徐跃进

责任校对:李建庄

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

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

社 总 机:010-62770175

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

地 址:北京清华大学学研大厦A座

邮 编:100084

邮 购:010-62786544

印 刷 者:北京密云胶印厂

装 订 者:三河市溧源装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×230

印 张:16.5

字 数:353千字

版 次:2009年8月第2版

印 次:2009年8月第1次印刷

印 数:1~5000

定 价:24.00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:027946-01

21 世纪大学本科计算机专业系列教材编委会

名誉主任：陈火旺

主任：李晓明

副主任：钱德沛 焦金生

委员：(按姓氏笔画为序)

马殿富	王志英	王晓东	宁 洪	刘 辰
孙茂松	李大友	李仲麟	吴朝晖	何炎祥
宋方敏	张大方	张长海	周兴社	侯文永
袁开榜	钱乐秋	黄国兴	蒋宗礼	曾 明
廖明宏	樊孝忠			

秘 书：张瑞庆

本书责任编辑：袁开榜

21 世纪是知识经济的时代,是人才竞争的时代。随着 21 世纪的到来,人类已步入信息社会,信息产业正成为全球经济的主导产业。计算机科学与技术信息产业中占据了最重要的地位,这就对培养 21 世纪高素质创新型计算机专业人才提出了迫切的要求。

为了培养高素质创新型人才,必须建立高水平的教学计划和课程体系。在 20 多年跟踪分析 ACM 和 IEEE 计算机课程体系的基础上,紧跟计算机科学与技术的发展潮流,及时制定并修正教学计划和课程体系是尤其重要的。计算机科学与技术的发展对高水平人才的要求,需要我们从总体上优化课程结构,精炼教学内容,拓宽专业基础,加强教学实践,特别注重综合素质的培养,形成“基础课程精深,专业课程宽新”的格局。

为了适应计算机科学与技术学科发展和计算机教学计划的需要,要采取多种措施鼓励长期从事计算机教学和科技前沿研究的专家教授积极参与计算机专业教材的编著和更新,在教材中及时反映学科前沿的研究成果与发展趋势,以高水平的科研促进教材建设。同时适当引进国外先进的原版教材。

为了提高教学质量,需要不断改革教学方法与手段,倡导因材施教,强调知识的总结、梳理、推演和挖掘,通过加快教案的不断更新,使学生掌握教材中未及时反映的学科发展新动向,进一步拓宽视野。教学与科研相结合是培养学生实践能力的有效途径。高水平的科研可以为教学提供最先进的高新技术平台和创造性的工作环境,使学生得以接触最先进的计算机理论、技术和环境。高水平的科研还可以为高水平人才的素质教育提供良好的物质基础。学生在课题研究中不但能了解科学研究的艰辛和科研工作者的奉献精神,而且能熏陶和培养良好的科研作风,锻炼和培养攻关能力和协作精神。

进入 21 世纪,我国高等教育进入了前所未有的大发展时期,时代的进步与发展对高等教育质量提出了更高、更新的要求。2001 年 8 月,教育部颁发了《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》。文件指出,本科教育是高等教育的主体和基础,抓好本科教学是提高整个高等教育质量的重点和关键。随着高等教育的普及和高等学校的扩招,在校大学本科计算机专业学生的人数将大量上升,对适合 21 世纪大学本科计算机科学与技术学科课程体系要求的,并且适合中国学生学习的计算机专业教材的需求量也将急剧增加。

为此,中国计算机学会和清华大学出版社共同规划了面向全国高等院校计算机专业本科生的“21世纪大学本科计算机专业系列教材”。本系列教材借鉴美国 ACM 和 IEEE 最新制定的 *Computing Curricula 2005*(简称 CC2005)课程体系,反映当代计算机科学与技术学科水平和计算机科学技术的新发展、新技术,并且结合中国计算机教育改革成果和中国国情。

中国计算机学会教育专业委员会和全国高等学校计算机教育研究会,在清华大学出版社的大力支持下,跟踪分析 CC2001,并结合中国计算机科学与技术学科的发展现状和计算机教育的改革成果,研究出了《中国计算机科学与技术学科教程 2002》(*China Computing Curricula 2002*,简称 CCC2002),该项研究成果对中国高等学校计算机科学与技术学科教育的改革和发展具有重要的参考价值和积极的推动作用。

“21世纪大学本科计算机专业系列教材”正是借鉴美国 ACM 和 IEEE CC2005 课程体系,依据 CCC2002 基本要求组织编写的计算机专业教材。相信通过这套教材的编写和出版,能够在内容和形式上显著地提高我国计算机专业教材的整体水平,继而提高我国大学本科计算机专业的教学质量,培养出符合时代发展要求的具有较强国际竞争力的高素质创新型计算机人才。



中国工程院院士

国防科学技术大学教授

21世纪大学本科计算机专业系列教材编委会名誉主任

前 言 (第 2 版)

FOREWORD

承蒙读者的厚爱,本书第 1 版出版至今刚三年多,已多次重印。2007 年,本书与主教材《计算机组成原理》和辅助教材《计算机组成原理教师用书》一起入选教育部普通高等教育“十一五”国家级规划教材。目前,《计算机组成原理》的相关教材已经形成了一个比较完整的教材教学体系,可以适应大多数高校的计算机及相关专业“计算机组成原理”课程教学的需要,受到了广大老师和学生的欢迎。

《计算机组成原理(第 2 版)》已于 2008 年 9 月正式出版,对辅助教材内容的更新也随之提上了议事日程,特别是 2008 年 7 月,教育部发布了“2009 年全国硕士研究生入学统一考试计算机科学与技术学科联考计算机学科专业基础考试大纲”,计算机学科专业基础综合考试从 2009 年开始实行联合命题,统一考试。“计算机组成原理”课程作为主要的考试科目之一更是成为专业基础课中的重中之重。此次修订,保留了原书的框架和风格,全书章节保持不变,但与原书相比,进行了必要的调整,补充了大量新的例题、习题及其详细解答,涵盖了上述考试大纲的全部知识点。本书特针对研究生入学考试的新题型要求,大量增加了选择题,并对 2009 年 1 月的真实考题进行了详细的解答和分析,真题的题号前用 * 号标注。

希望本书不仅是学生学习“计算机组成原理”课程的指南和重要参考书,也是报考计算机专业硕士研究生必不可少的复习资料。

本书在编写过程中,欧阳凌帮助收集和整理了部分例题和习题,并对全部习题及解答进行了审校,在此表示感谢。

本书第 1 版自面市以来,收到了许多同行和读者发来的电子邮件,对于读者的来信本人均给予了回复和解答。希望修订之后的本书对您有所帮助,欢迎来信提出意见和建议。电子邮箱:bs.jiang@163.com。

作 者

2009 年 4 月于北京理工大学

前 言 (第 1 版)

FOREWORD

“计算机组成原理”是计算机各类专业学生的必修核心课程之一,主要讨论计算机各大部件的基本组成原理,各大部件互连构成整机系统的技术。本课程在计算机学科中处于承上启下的地位,具有内容多、难度大等特点。根据读者学习“计算机组成原理”课程的需要,笔者参考、收集了与本课程有关的大量习题,最终通过整理编写成这本学习指导与习题集。目的在于帮助读者更快地掌握计算机组成的基本原理和基本概念,学会使用科学的思维方式去分析并解决单机系统中的计算机组成的各种问题。

本书是与已列入中国计算机学会和清华大学出版社共同规划的“21 世纪大学本科计算机专业系列教材”之一的《计算机组成原理》一书完全配套的学习参考用书。全书共分 8 章,与主教材的章节完全相同,每一章都按基本内容摘要、重点难点梳理、典型例题详解和同步测试习题等四个板块进行组织。

第一板块对基本的学习内容进行总结,列出了所涉及的主要知识点。

第二板块对重点与难点问题加以梳理,进行了比较详细的分析和讨论。

第三板块对典型的例题进行剖析,给出详尽的解答过程。

第四板块则给出各种类型的同步习题,供学生练习。习题后给出参考答案。

本书是根据中国计算机学会教育委员会制订的《中国计算机科学与技术学科教程 2002 (CCC2002)》对课程教学内容的要求,并结合作者多年从事本课程的教学经验编写的。全书力求做到概念清楚、通俗易懂,由浅入深,意在通过典型例题的剖析,使读者能够加深对“计算机组成原理”课程所学知识理解,熟练掌握单机系统范围内计算机的组织结构和基本工作原理,提高分析问题和解决问题的能力。

本书是学好“计算机组成原理”课程的重要参考书,也可作为准备报考计算机相关专业硕士研究生考生的考前复习资料。

在本书编写过程中得到了“21 世纪大学本科计算机专业系列教材”编委会的多次指导和建议,清华大学出版社的员工也为本书的出版做了许多工作。在此对他们辛勤的工作和热情的支持表示诚挚的感谢!

由于时间的原因以及个人的水平限制,书上难免出现错误和不妥之处,欢迎同行和广大读者批评指正。如有问题可直接与作者邮箱联系:bs.jiang@163.com。

作者

2004年11月于北京理工大学

目 录

CONTENTS

第 1 章 概论	1
1.1 基本内容摘要	1
1.2 重点难点梳理	2
1.3 典型例题详解	4
1.4 同步测试习题及解答	6
1.4.1 同步测试习题	6
1.4.2 同步测试习题解答	8
第 2 章 数据的机器层次表示	10
2.1 基本内容摘要	10
2.2 重点难点梳理	11
2.3 典型例题详解	22
2.4 同步测试习题及解答	29
2.4.1 同步测试习题	29
2.4.2 同步测试习题解答	33
第 3 章 指令系统	37
3.1 基本内容摘要	37
3.2 重点难点梳理	38
3.3 典型例题详解	49
3.4 同步测试习题及解答	59
3.4.1 同步测试习题	59
3.4.2 同步测试习题解答	64

第4章 数值的机器运算	70
4.1 基本内容摘要	70
4.2 重点难点梳理	71
4.3 典型例题详解	83
4.4 同步测试习题及解答	93
4.4.1 同步测试习题	93
4.4.2 同步测试习题解答	96
第5章 存储系统和结构	101
5.1 基本内容摘要	101
5.2 重点难点梳理	102
5.3 典型例题详解	112
5.4 同步测试习题及解答	128
5.4.1 同步测试习题	128
5.4.2 同步测试习题解答	134
第6章 中央处理器	143
6.1 基本内容摘要	143
6.2 重点难点梳理	145
6.3 典型例题详解	155
6.4 同步测试习题及解答	174
6.4.1 同步测试习题	174
6.4.2 同步测试习题解答	179
第7章 外部设备	185
7.1 基本内容摘要	185
7.2 重点难点梳理	186
7.3 典型例题详解	193
7.4 同步测试习题及解答	199
7.4.1 同步测试习题	199
7.4.2 同步测试习题解答	203
第8章 输入输出系统	207
8.1 基本内容摘要	207

8.2 重点难点梳理	208
8.3 典型例题详解	222
8.4 同步测试习题及解答	235
8.4.1 同步测试习题	235
8.4.2 同步测试习题解答	240
参考文献	246

1.1 基本内容摘要

- 电子计算机与存储程序控制
 - ◆ 电子计算机的发展
 - ◆ 存储程序概念
- 计算机的硬件组成

CPU = 运算器 + 控制器
主机 = CPU + 主存储器
外部设备 = 除去主机以外的硬件装置

 - ◆ 计算机的主要部件
输入设备、输出设备、存储器、运算器、控制器。
 - ◆ 计算机的总线结构
单总线结构；
三态门。
 - ◆ 大、中型计算机的典型结构
4 级结构：主机、通道、设备控制器、外部设备。
 - ◆ 不同对象观察到的计算机硬件系统
一般用户观察到的计算机硬件系统；
专业用户观察到的计算机硬件系统；
计算机设计者观察到的计算机硬件系统。
 - ◆ 冯·诺依曼结构和哈佛结构的存储器设计思想
冯·诺依曼结构；
哈佛结构。

- 计算机系统
 - ◆ 硬件与软件的关系
对于程序设计人员来说,硬件和软件在逻辑上是等价的。
 - ◆ 系列机和软件兼容
 - ◆ 计算机系统的多层次结构
现代计算机系统是硬件与软件组成的综合体,可以看成是按功能划分的多级层次结构。
 - ◆ 实际机器和虚拟机器
- 计算机的工作过程和主要性能指标
 - ◆ 计算机的工作过程
 - ◆ 计算机的主要性能指标

1.2 重点难点梳理

1. 存储程序概念

存储程序概念是冯·诺依曼等人首先提出来的,它可以简要地概括为以下几点:

(1) 计算机(指硬件)应由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备五大基本部件组成;

(2) 计算机内部采用二进制来表示指令和数据;

(3) 将编好的程序和原始数据事先存入存储器中,然后再启动计算机工作。

存储程序概念中最重要的是第(3)点,这是冯·诺依曼型计算机与世界上第一台计算机ENIAC最大的区别,ENIAC不是存储程序的计算机,它的存储容量极小,只能存20个字长为10位的十进制数,程序不能事先存入存储器中。

2. 主机

中央处理器(CPU)和主存储器一起组成主机部分。

因为存储器有主存储器和辅助存储器之分,主机中只包括主存储器,而不包括辅助存储器。主存储器由RAM和ROM组成,对于微型计算机而言,是指插在主板上的内存条和其他存储芯片。辅助存储器则是硬盘、软盘、光盘等存储器的总称,它们处于主板之外,属于外部设备。

3. 总线

总线是一组能为多个部件服务的公共信息传送线路,它能分时地发送与接收各部件的信息。总线具有分时、共享的特点,即多个设备(或部件)挂在同一组总线上,但同一时刻只允许一个设备(或部件)发送信息。

最简单的总线结构是单总线结构。单总线并不意味着只有一根信号线,各大部件连接在单一的一组总线(系统总线)上,系统总线按传送信息的不同又可以细分为:地址总线、数据总线和控制总线。地址总线由单方向的多根信号线组成,用于CPU向主存、外设传输地

址信息;数据总线由双向的多根信号线组成,CPU 可以沿这些线从主存或外设读入数据,也可以沿这些线向主存或外设送出数据;控制总线上传输的是控制信息,包括 CPU 送出的控制命令和主存(或外设)返回 CPU 的反馈信号。

4. 三态门

三态门是具有 3 种逻辑状态的门电路。这 3 种状态为:逻辑“0”、逻辑“1”和浮空状态。所谓浮空状态,就是三态门的输出呈现开路的高阻状态。三态门除了正常的输入端和输出端之外,还有一个控制端 G (或 \bar{G})。只有当控制端有效时,该三态门才能满足正常的逻辑关系;否则,输出将呈现高阻状态,相当于这个三态门与外界断开联系。

5. 冯·诺依曼结构和哈佛结构的区别

冯·诺依曼结构和哈佛结构是指计算机中存储器的两种不同的设计思想,前者指令和数据是不加区别地混合存储在同一个存储器中的,共享数据总线;后者指令和数据是完全分开的,存储器分为两部分,一个是程序存储器,用来存放指令;另一个是数据存储器,用来存放数据。

在冯·诺依曼结构中不能同时取指令和取操作数,而哈佛结构允许同时获取指令字(来自程序存储器)和操作数(来自数据存储器)。

6. 计算机系统

一个完整的计算机系统包含硬件系统和软件系统两大部分。

在计算机系统中没有一条明确的硬件与软件的分界线,硬件和软件之间的界面是浮动的。硬件软化可以增强系统的功能和适应性,软件硬化可以显著降低软件在时间上的开销。对于程序设计人员来说,硬件和软件在逻辑上是等价的。

7. 固件

固件是指那些存储在能永久保存信息的器件(如 ROM)中的程序,是具有软件功能的硬件。固件的性能指标介于硬件与软件之间,吸收了软硬件各自的优点,其执行速度快于软件,灵活性优于硬件,是软硬件结合的产物。

8. 系列机和软件兼容

系列机是指一个厂家生产的,具有相同的系统结构,但具有不同组成和实现的一系列不同型号的机器。

系列机具有软件兼容的特点,即同一个软件可以不加修改地运行于系统结构相同的各档机器上。软件兼容分为向上兼容、向下兼容、向前兼容和向后兼容 4 种。对系列机的软件向下和向前兼容可以不作要求,但必须保证向后兼容,力争做到向上兼容。

9. 实际机器和虚拟机器

实际机器是指由硬件或固件实现的机器,如计算机系统的多层次结构中的硬件组成的实体、微程序级和传统机器级。虚拟机器是指以软件或以软件为主实现的机器,例如计算机系统的多层次结构中的操作系统级、汇编语言级、高级语言级和应用语言级。

虚拟机器只对该级的观察者存在,即在某一级观察者看来,他只需要通过该级的语言来

了解和使用计算机,至于下级是如何工作和实现就不必关心了。

10. 计算机的主要性能指标

机器字长:指参与运算的数的基本位数,它是由加法器、寄存器的位数决定的,所以机器字长一般等于内部寄存器的大小。

数据通路宽度:数据总线一次所能并行传送信息的位数。这里所说的数据通路宽度实际是指外部数据总线的宽度。

主存容量:一个主存储器所能存储的全部信息量称为主存容量。对于字节编址的计算机,用字节数来表示主存容量;对于字编址的计算机,用字数乘以字长来表示主存容量。

运算速度:计算机的运算速度与许多因素有关。衡量运算速度的指标有:

- **吞吐量** 是指系统在单位时间内处理请求的数量。
- **响应时间** 是指系统对请求作出响应的时间,响应时间包括 CPU 时间(运行一个程序所花费的时间)与等待时间(用于磁盘访问、存储器访问、I/O 操作、操作系统开销等时间)的总和。
- **主频** 又称为时钟频率,表示在 CPU 内数字脉冲信号振荡的速度。
- **CPU 时钟周期** 主频的倒数就是 CPU 时钟周期,这是 CPU 中最小的时间元素。
- **CPI** 每条指令执行所用的时钟周期数。
- **IPC** 每个时钟周期执行的指令数(instructions per cycle)。在现代高性能计算机中,由于采用各种并行技术,使指令执行高度并行化,常常在一个时钟周期内可以执行若干条指令,即 $IPC = \frac{1}{CPI}$
- **IC** 程序运行所需的指令数。
- **CPU 执行时间** 运行一个程序所花费的时间。

$$\text{CPU 执行时间} = \frac{\text{CPU 时钟周期数}}{\text{时钟频率}} = \frac{IC \times CPI}{\text{时钟频率}}$$

- **MIPS** 表示每秒执行多少百万条指令。MIPS 定义为

$$\text{MIPS} = \frac{\text{指令条数}}{\text{执行时间} \times 10^6} = \frac{\text{主频}}{CPI} = \text{主频} \times \text{IPC}$$

- **MFLOPS** 表示每秒执行多少百万次浮点运算。MFLOPS 定义为

$$\text{MFLOPS} = \frac{\text{浮点操作次数}}{\text{执行时间} \times 10^6}$$

1.3 典型例题详解

【例 1.1】冯·诺依曼计算机体系结构的基本思想是什么?按此思想设计的计算机硬件系统应由哪些部件组成?它们各起什么作用?

解:冯·诺依曼计算机体系结构的基本思想是存储程序概念,也就是将程序和数据一

起存储在计算机中。计算机只要一启动,就能自动地取出一条条指令并执行,直至程序执行完毕,得到计算结果为止。

按此思想设计的计算机硬件系统包括运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备五大基本部件。

运算器用来进行各种运算和数据转换;控制器则为计算机的工作提供统一的时钟和各种命令,协调计算机的各部件自动地工作;存储器用来存放程序、数据;输入设备和输出设备用来接收用户提供的外部信息或向用户提供输出信息。

【例 1.2】 如何理解软硬件之间的等价性?

解: 计算机的大部分功能既能由硬件完成,也能由软件完成,从逻辑上讲两者是等效的。通常用硬件实现执行速度快,但成本高、修改困难,而软件正相反。两者之间没有固定的界线。

【例 1.3】 微机 A 和 B 是采用不同主频的 CPU 芯片,片内逻辑电路完全相同。

(1) 若 A 机的 CPU 主频为 8MHz, B 机为 12MHz,则 A 机的 CPU 时钟周期为多少?

(2) 如 A 机的平均指令执行速度为 0.4MIPS,那么 A 机的平均指令周期为多少?

(3) B 机的平均指令执行速度为多少?

解: (1) A 机的 CPU 主频为 8MHz,所以 A 机的 CPU 时钟周期= $1 \div 8\text{MHz} = 0.125\mu\text{s}$ 。

(2) A 机的平均指令执行速度为 0.4MIPS,所以 A 机的平均指令周期= $1 \div 0.4\text{MIPS} = 2.5\mu\text{s}$ 。

(3) A 机平均每条指令的时钟周期数= $2.5\mu\text{s} \div 0.125\mu\text{s} = 20$ 。而微机 A 和 B 片内逻辑电路完全相同,所以 B 机平均每条指令的时钟周期数也为 20。

由于 B 机的 CPU 主频为 12MHz,所以 B 机的 CPU 时钟周期= $1 \div 12\text{MHz} = \frac{1}{12}\mu\text{s}$ 。

B 机的平均指令周期= $20 \times \frac{1}{12}\mu\text{s} = \frac{5}{3}\mu\text{s}$ 。

B 机的平均指令执行速度= $\frac{3}{5}\text{MIPS} = 0.6\text{MIPS}$ 。

【例 1.4】 计算 Pentium II 450 处理机的运算速度(假设其 IPC=2)。

解: 由于 Pentium II 450 处理机的 IPC=2(或 CPI=0.5),主频=450MHz,因此,

$$\text{MIPS}_{\text{Pentium II 450}} = \text{主频} \times \text{IPC} = 450 \times 2 = 900\text{MIPS}$$

【例 1.5】 总线宽度的含义是什么?什么是总线的传输速率?某总线有 104 根信号线,其中数据总线(DB)32 根,地址总线(AB)25 根,控制总线(CB)47 根,总线工作频率 33MHz,问该总线的宽度是多少?其传输率是多少?

解: 总线中数据总线的位数称为该总线的宽度。

总线的数据传输率为总线上每秒钟传输的最大字节数,单位是 B/s(字节/秒)等。

由于本系统总线中数据总线为 32 位,所以有:

总线宽度 $W = 32\text{b}$