计算机体系结构--

指令系统的设计

zhaofangbupt@163.com

北京郵電大學

BEIJING UNIVERSITY OF POSTS AND TELECOMMUNICATIONS

zhaofangbupt@163.com

主要内容

- 1. 指令系统结构的分类
- 2.操作数的类型和数据表示
- 3.寻址方式
- 4. 指令系统的设计和优化
- 5. 指令系统的发展和改进
- 6. MIPS/DLX指令系统结构

zhaofangbupt@163.com

数据类型及计算机体系结构

- 计算机系统中所处理的数据类型各种各样
- 计算机系统结构要解决的问题是如何在硬件和软件之间合理分配这些数据类型
  - 哪些由硬件实现，哪些用软件来实现
    - 软硬件取舍折中的问题
  - 对需要硬件实现的数据类型，研究实现方法
  - 编制系统软件和应用软件，填补指令系统和人们习惯之间的语义鸿沟

zhaofangbupt@163.com

数据表示与数据结构

- **数据表示**：能由硬件直接识别的数据类型，也就是由指令系统处理的数据类型
  - 最常用、相对简单、易于硬件实现的数据类型
    - 定点数据表示
    - 逻辑数据表示
    - 浮点数据表示
    - ……
  - 相对较复杂的数据类型，则是由软件来处理，是数据结构研究的对象

zhaofangbupt@163.com

数据表示与数据结构

- 数据表示的分类：
  - 基本数据表示
  - 高级数据表示
  - 自定义数据表示
- 数据表示的目标：
  - 缩小高级语言和机器语言间的语义差别
  - 提高性能/价格
  - 节省处理时间和存储空间
- 实现：最小的存储空间、最简单的存取算法

zhaofangbupt@163.com

数据表示与数据结构

- **数据结构**：由软件处理和实现的各种数据类型
  - 研究数据类型间逻辑结构、物理结构关系
    - 链表数据类型
    - 树数据类型
    - 图数据类型……
  - 给出各种数据结构相应的算法
- **目标**：最大限度满足应用要求、最简化方法实现
- **实现方式**：通过数据表示和软件映象相结合方法实现

zhaofangbupt@163.com

数据表示与数据结构

- 数据结构与数据表示的关系
  - 数据表示构成数据结构的元素，数据表示是数据类型的子集
  - 数据结构的实现是通过软件映象，将信息变换成机器中所具有的各种数据表示来实现
  - 不同的数据表示可以为数据结构的实现提供不同的支持，表现在实现的效率和方便性上不同
  - 数据表示的确定实质上是软、硬件的取舍问题
  - 数据结构和数据表示是软、硬件的交界面

zhaofangbupt@163.com

数据表示与数据结构

- 完成数据表示的条件：
  - 给出相应的运算指令和运算硬件(处理部件)
- 确定数据表示是系统结构设计者要解决难题之一
  - 通过软件实现各种复杂的数据类型
    - 优点：硬件简单，有最简单的数据表示
    - 缺点：大大降低系统的性能和效率
  - 把复杂的数据类型都包含在数据表示之中
    - 优点：系统性能和效率较高
    - 缺点：硬件成本会很高

zhaofangbupt@163.com

计算机系统数据表示

- 确定数据表示的原则
  - 是否缩短程序的运行时间-CPU时间
  - 是否减少CPU与主存储器之间的通信量-访存频率
  - 数据表示的通用性和利用率-大概率事件
- 数据表示在不断发展
  - 矩阵、树、图、表及自定义数据表示等已经开始用于数据表示中

zhaofangbupt@163.com

计算机系统数据表示

- 【例1】计算C＝A＋B，其中，A、B、C均为200×200的矩阵，分析该采用何种数据表示，各有什么优缺点？
- 解：如果没有向量数据表示的计算机上实现，一般需要6条指令，其中有4条指令要循环4万次。因此，CPU与主存储器之间的通信量：
  - ✓取指令：2＋4×40,000条
  - ✓读或写数据：3×40,000个
  - ✓共要访问主存储器：7×40,000次以上

zhaofangbupt@163.com

计算机系统数据表示

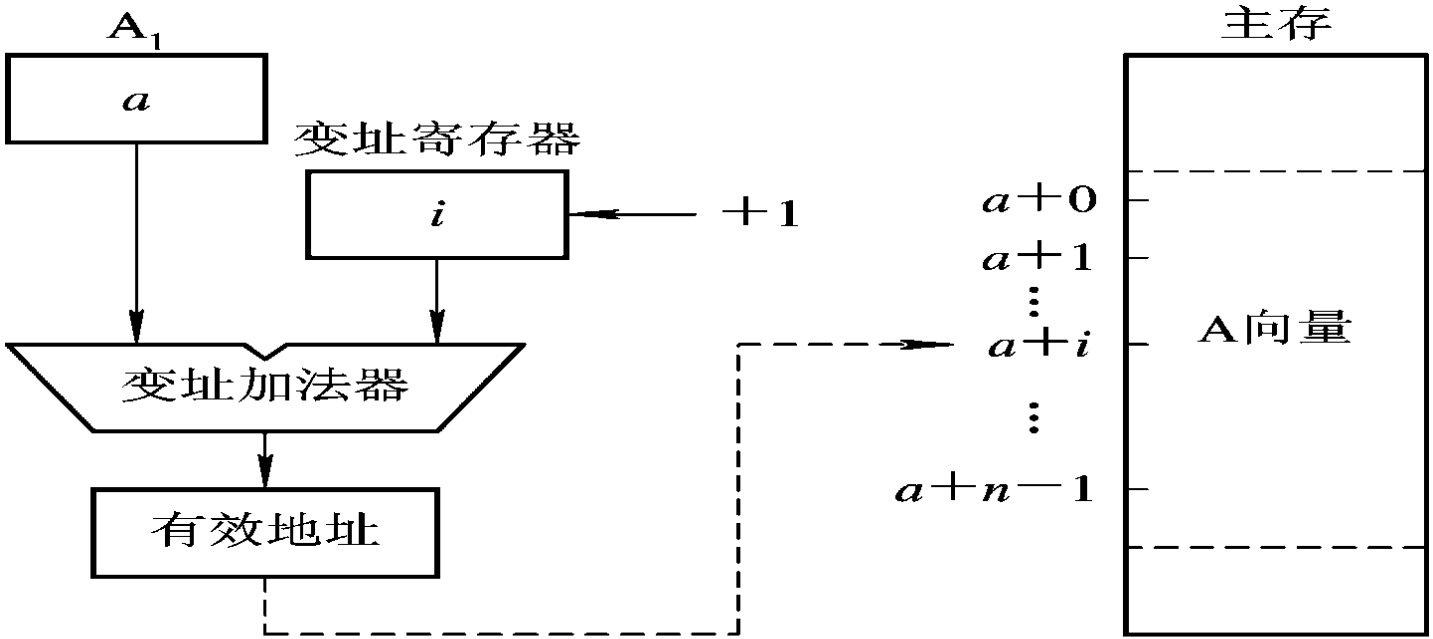
- 如果有向量数据表示，只需要一条指令。减少访问主存（取指令）次数4×40,000次

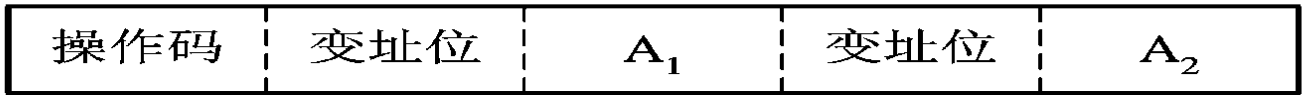
- 用软件和硬件结合的方法实现新的数据表示
  - 用字节编址支持字符串数据表示
  - 用变址寻址方式来支持向量数据表示

zhaofangbupt@163.com

计算机系统数据表示

- 变址操作对向量、 阵列数据结构的支持





zhaofangbupt@163.com

计算机系统数据表示

- 数据表示中应表达的内容
  - 数值的表达
    - 进位制数、负数、小数点的方式
  - 数据单位的表达
    - 字：逻辑单位，一条指令处理的数据单位
    - 字节、半字、字、双字
  - 字符和符号的表达
  - 数据的属性
    - 类型、存放的位置、对数据的约束

zhaofangbupt@163.com

计算机系统结构基本数据表示

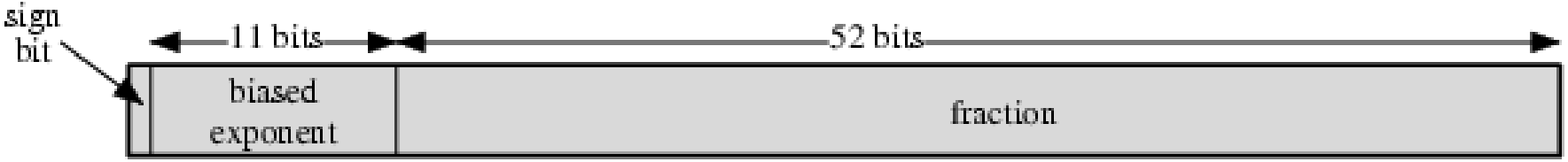
- 定点数（整数）及运算
  - 原码、反码、补码、移码、基值、位长……
  - 数据的运算方式规则
- 逻辑数（布尔数）及运算
- 浮点数（实数）的表示及运算
  - 浮点数的表示范围
  - 规格化浮点数
  - 实例：IEEE 754标准

zhaofangbupt@163.com

数据表示-浮点数标准

浮点数标准实例—IEEE 754

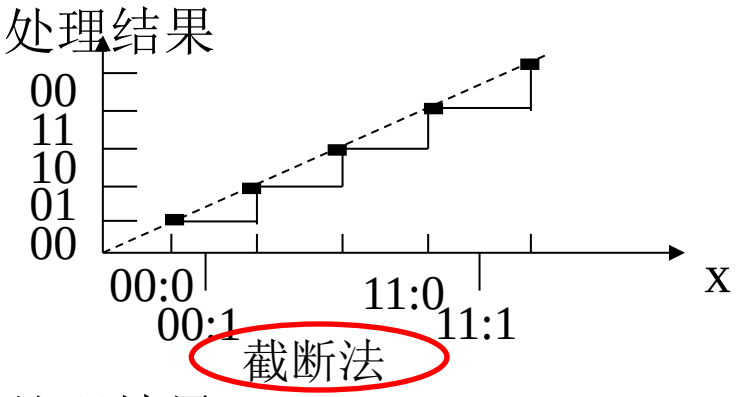
(a) Single format

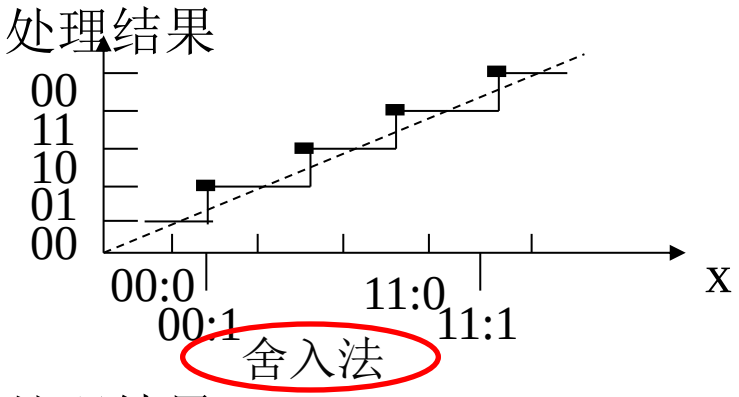


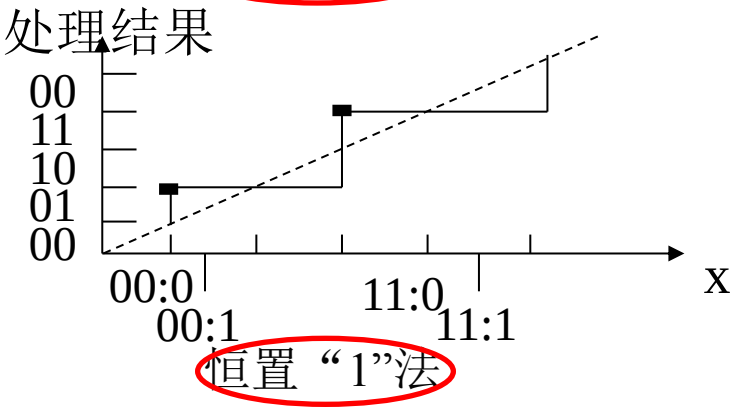
(b) Double format

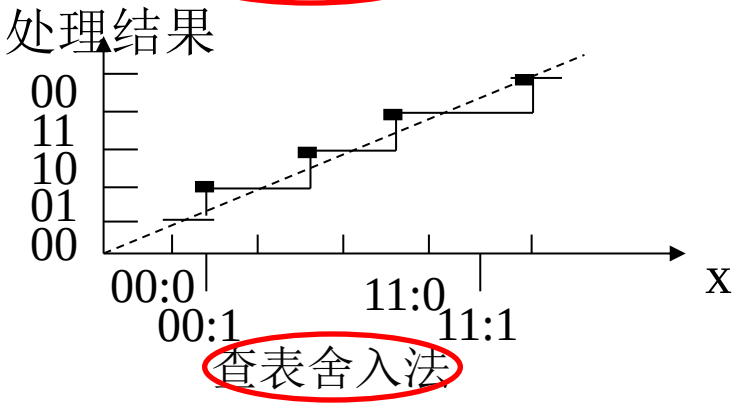
zhaofangbupt@163.com

数据表示–浮点数标准









zhaofangbupt@163.com

数据表示的发展

- 定点数据表示
  - 用定点数表示浮点数
  - 不方便而低效
- 变址操作，为向量、阵列提供方便
  - 用循环遍历向量和阵列
- 可变长字符串数据表示
  - 支持串数据结构的实现
  - 用于输入、输出、事务处理和编译

zhaofangbupt@163.com

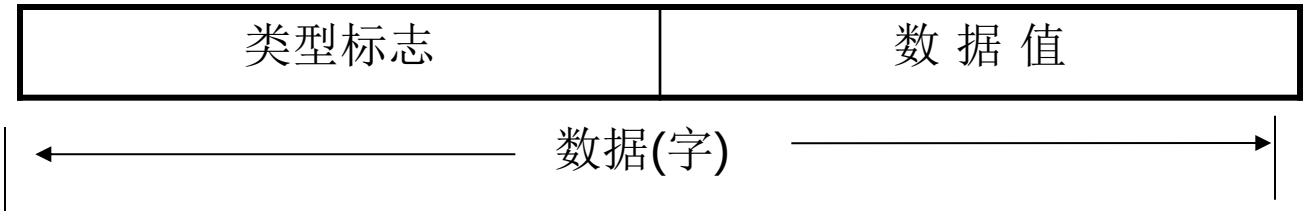
高级数据表示

- 引入的由来：
  - 高级语言及应用软件中数据的属性由数据自己定义
  - 高级语言与机器语言间语义差距，要靠编译器填补
- 典型的高级数据表示：
  - 自定义数据表示（Self_defining）
    - 带标识符的数据表示
    - 数据描述符
  - 向量数组数据表示
  - 堆栈数据表示

zhaofangbupt@163.com

带标识符的数据表示

- 在数据中采用若干位来表示数据的类型：



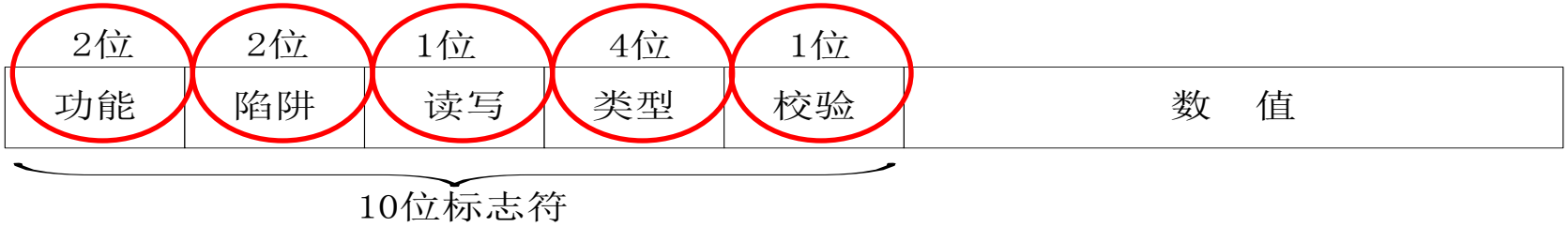
- **类型标志**：指明数据类型，也可用于指明及其内部所用信息的各种类型
- 标志符由编译器或其他系统软件建立，对高级程序员透明

zhaofangbupt@163.com

带标识符的数据表示-举例

- B7500大型机中，用三位标志符区分8种数据类型：

- 标识符用于指明所用信息类型：



zhaofangbupt@163.com

带标识符的数据表示

- 【例2】假设X处理机的数据不带标志符，其指令字长和数据字长均为32位；Y处理机的数据带标志符，数据字长增加至35位，其中3位是标志符，其指令字长由32位减少至30位。并假设一条指令平均访问两个操作数，每个操作数平均被访问R次。分别计算这两种不同类型的处理机中程序所占用的存储空间。

zhaofangbupt@163.com

带标识符的数据表示

- 计算两种类型处理机中程序所占用的存储空间：

$$Bx = 32I + \frac{2*32I}{R} \qquad By = 30I + \frac{2*35I}{R}$$

- 程序占用存储空间的比值：

$$\frac{By}{Bx} = \frac{30I + \frac{2*35I}{R}}{32I + \frac{2*32I}{R}} = \frac{15R + 35}{16R + 32}$$

  - 注：当R>3时，有：By<Bx

- 带标志符的处理机所占用的存储空间通常要小

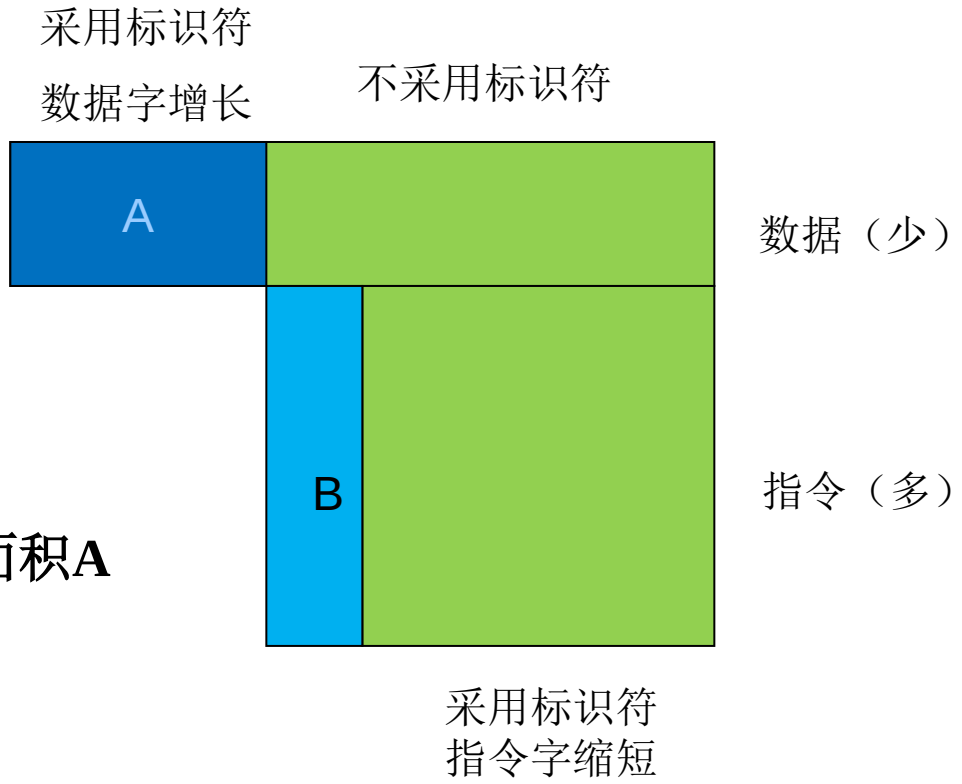
zhaofangbupt@163.com

带标识符数据表示

- 带来的优点：
  - 简化指令系统和程序设计
  - 简化编译程序
  - 便于一致性校验
  - 能由硬件自动完成数据类型的变换
  - 支持数据库系统的实现与数据类型无关的要求
  - 为软件调试和应用软件开发提供支持

zhaofangbupt@163.com

带标识符数据表示



通常有面积B>面积A

zhaofangbupt@163.com

带标识符数据表示

- 带来的问题：
  - 每个数据字因增设标志符，会使程序所占用的主存空间增加
  - 采用标志符会降低指令的执行速度
  - 必须用专门的指令完成标识符的初始化，硬件复杂度增加

zhaofangbupt@163.com

数据描述符数据表示

- 数据描述符引用原因：
  - 一组具有相同类型而且是连续存放的数据
  - 每个元素具有相同的属性
- 优点：
  - 进一步减少标志符所占的存贮空间

000	数 值

（a） 数据

101	8位标志位	长度	地址

（b） 数据描述符

zhaofangbupt@163.com

数据描述符数据表示

- 数据描述符与标志符的主要区别：
  - 标志符只作用于一个数据，而描述符要作用于一组数据
  - 标志符通常与数值一起存放在同一个数据单元中，而描述符一般单独占用一个存储单元
  - 描述符在描述一组数据的属性中，还包括整个数据块的访问地址、长度及其他特征或信息

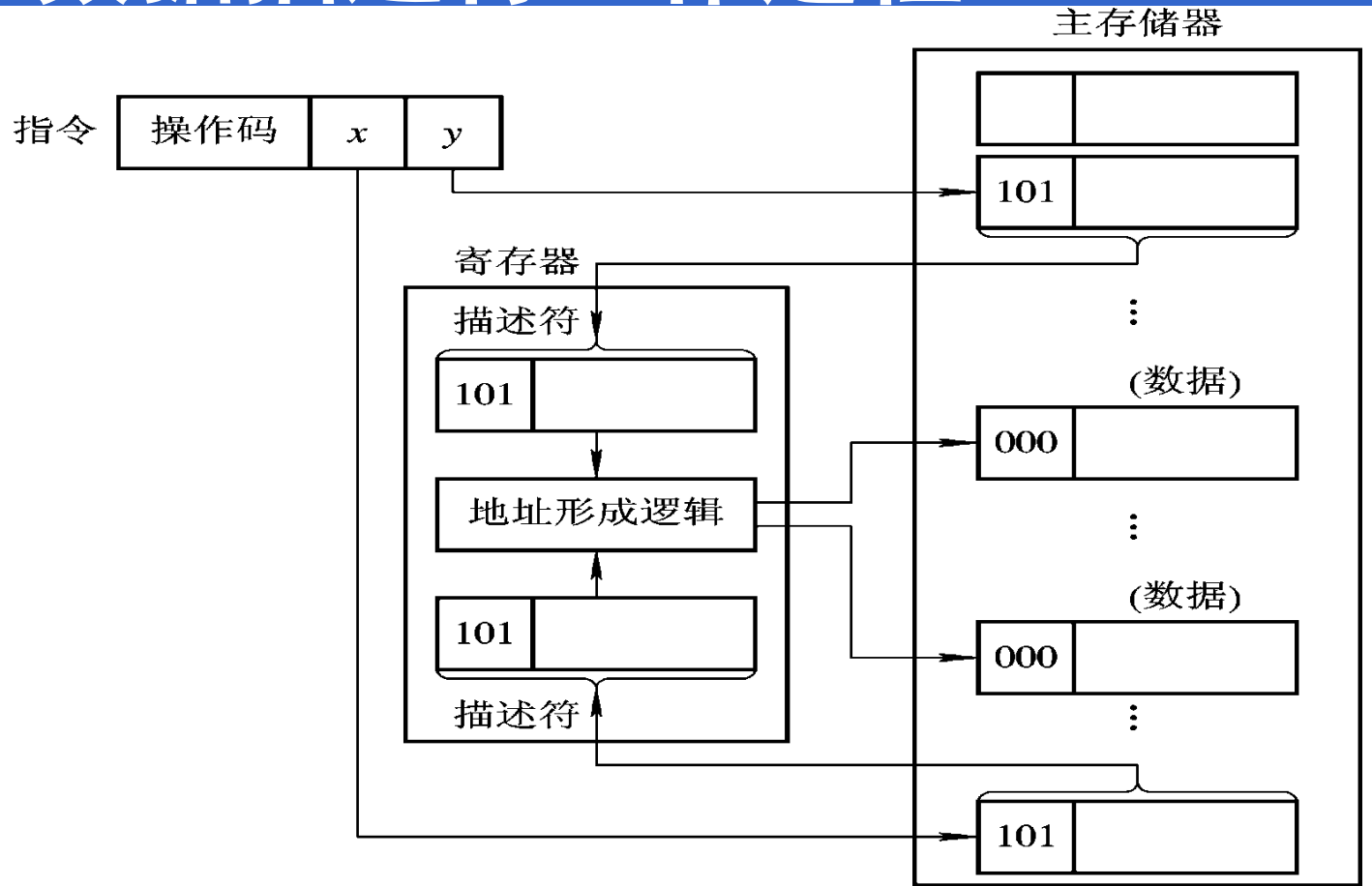
zhaofangbupt@163.com

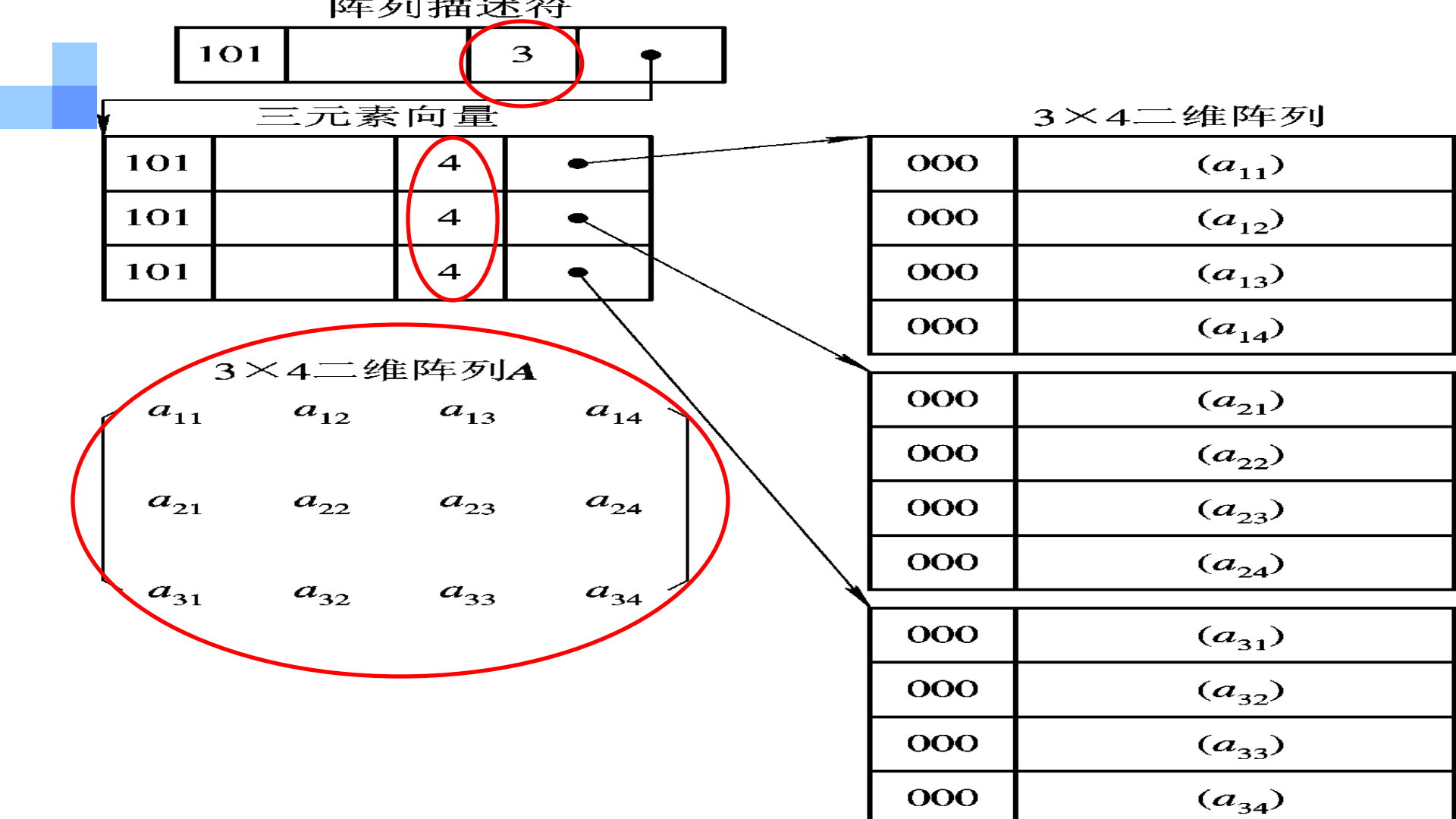
数据描述符数据表示

- 目标：
  - 描述复杂和多维的结构类型
- 原因：
  - 实现阵列数据的索引比变址方法实现的好，而且能检查程序设计中阵列越界错误
  - 为向量、数组数据结构的实现提供一定的支持，有利于简化编译中的代码生成

zhaofangbupt@163.com

数据描述符工作过程




阵列描述符
101
3
三元素向量
101
4
101
4
101
4
3×4二维阵列
000
(a_{11})
000
(a_{12})
000
(a_{13})
000
(a_{14})
000
(a_{21})
000
(a_{22})
000
(a_{23})
000
(a_{24})
000
(a_{31})
000
(a_{32})
000
(a_{33})
000
(a_{34})
3×4二维阵列A
a_{11} a_{12} a_{13} a_{14}
a_{21} a_{22} a_{23} a_{24}
a_{31} a_{32} a_{33} a_{34}

zhaofangbupt@163.com

向量数组数据表示

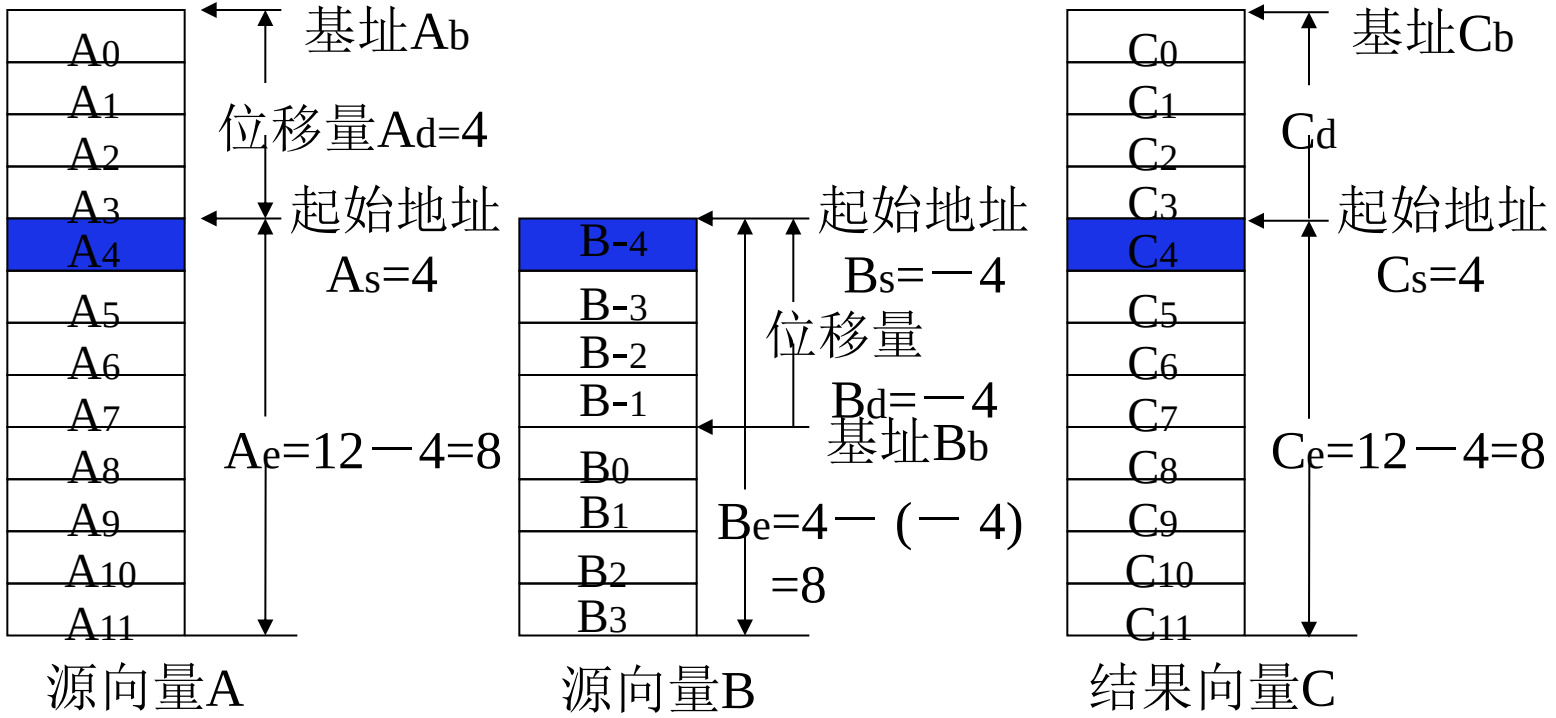
- 作用：
  - 为向量、数组数据结构的实现和快速运算提供更好的硬件支持
- 有向量数据表示的处理机就是向量处理机
  - 在硬件上设置有丰富的向量或阵列运算指令
  - 配置有以流水或阵列方式处理的高速运算器

向量加	参数A	参数B	参数C

zhaofangbupt@163.com

向量数组数据表示

- 向量数据表示： C=A+B



zhaofangbupt@163.com

向量数组数据表示

- 向量在主存储器中的存放原则
  - 规律性、地址计算简单、访存冲突小
- 向量的存放方式
  - 元素相邻存放
  - 元素等间距存放
- 向量存储的参数
  - 基地址、位移量、向量长度
- 稀疏向量的压缩
  - 采用隐蔽位向量方法

zhaofangbupt@163.com

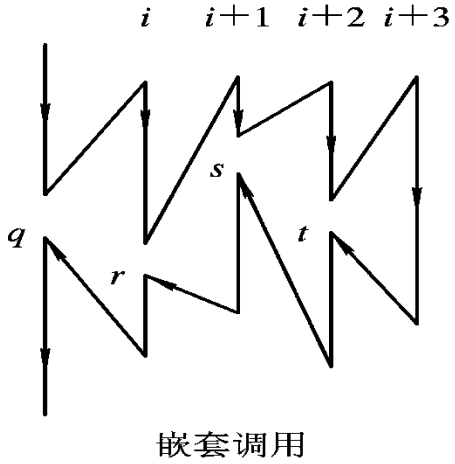
堆栈数据表示

- 作用：
  - 有利于编译和子程序调用
- 堆栈机器：具有堆栈数据表示的机器
  - 若干高速寄存器组成硬件堆栈，并与主存中的堆栈区逻辑上组成一个整体
  - 有很丰富的堆栈操作类指令且功能很强
  - 有力地支持高级语言程序的编译
  - 有力地支持子程序的嵌套和递归调用

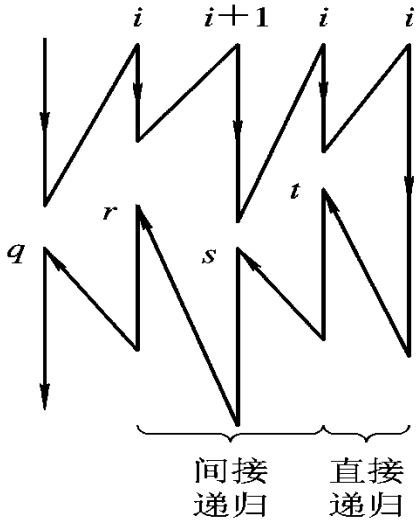
zhaofangbupt@163.com

堆栈数据表示

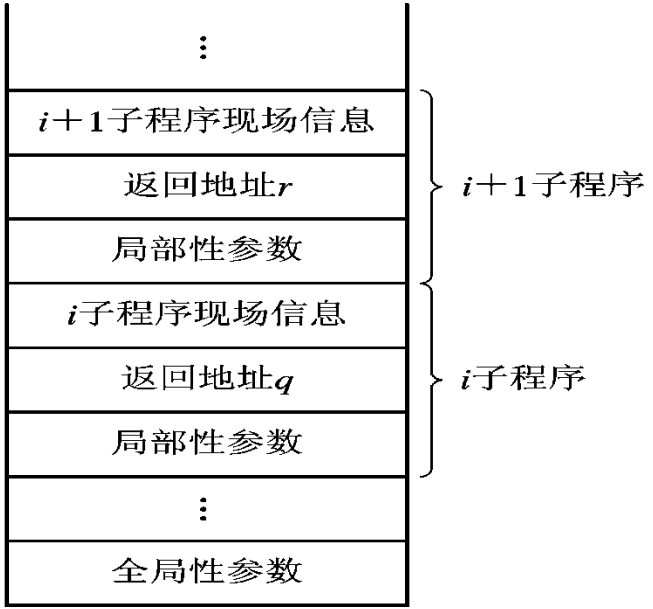
□ 用堆栈实现子程序的嵌套和递归调用



嵌套调用



间接递归　直接递归



zhaofangbupt@163.com

引入数据表示的原则

- 效率是否提高，是否减少了实现时间和所需的存储空间
  - 实现时间是否减少又主要看在主存和处理机之间传送的信息量是否减少
    - 传送的信息量减少，实现时间就越少
      - 以A、B两个200×200定点数二维数组相加为例
      - 用PL/I语言编写为：　A=A+B
      - 无阵列型：6条指令，4条循环200*200=40000次
      - 有阵列型：1条指令，减少4*40000=160000字

zhaofangbupt@163.com

引入数据表示的原则

- 看引入这种数据表示后，通用性和利用率是否高
  - **通用性**：是否对多种数据结构均适用
  - **利用率**：硬件设置大小的选择

操作数大小	访问频度	
	整型平均	浮点平均
字节	7%	0%
半字	19%	0%
单字	74%	31%
双字	0%	69%

zhaofangbupt@163.com

引入数据表示的原则

- 对一些复杂的数据表示需要综合考虑
- 数据结构的发展总是优先于机器的数据表示，应尽可能为数据结构提供更多的支持

zhaofangbupt@163.com

内容小结

- 操作数的类型和数据表示
  - 数据类型、数据表示、数据结构概念及关系
  - 确定数据表示的原则
  - 基本数据表示
  - 高级数据表示
- 知识要点

数据类型	数据表示	数据结构
基本数据表示	自定义数据表示	

zhaofangbupt@163.com

练习题

- 1. 指令中表示操作数类型的方法有哪几种？
- 2. 计算机中数据表示有哪几类？各有什么特点？

Thank You !

zhaofangbupt@163.com

北京郵電大學

BEIJING UNIVERSITY OF POSTS AND TELECOMMUNICATIONS