# 数据的机器级表示与运算

## 整数的基本运算：位扩展与位截断、移位

主讲人: 邓倩妮

上海交通大学

部分内容来自：

1. 《深入理解计算机系统》第三版，机械工业出版社，作者：Bryant,R.E.等
2. Computer Organization and Design, 4th Edition, Patterson & Hennessy

# 本节内容

- 对整数的基本操作
  - 位扩展与位截断
  - 移位

# 位扩展

- C语言没有明确的位扩展运算
- 进行数据类型转换时，当短数向长数转换
- 扩展两种方式：
  - 0扩展：用于无符号数
  - 符号扩展：用于补码表示的带符号数
  - 能保留数值原有的含义

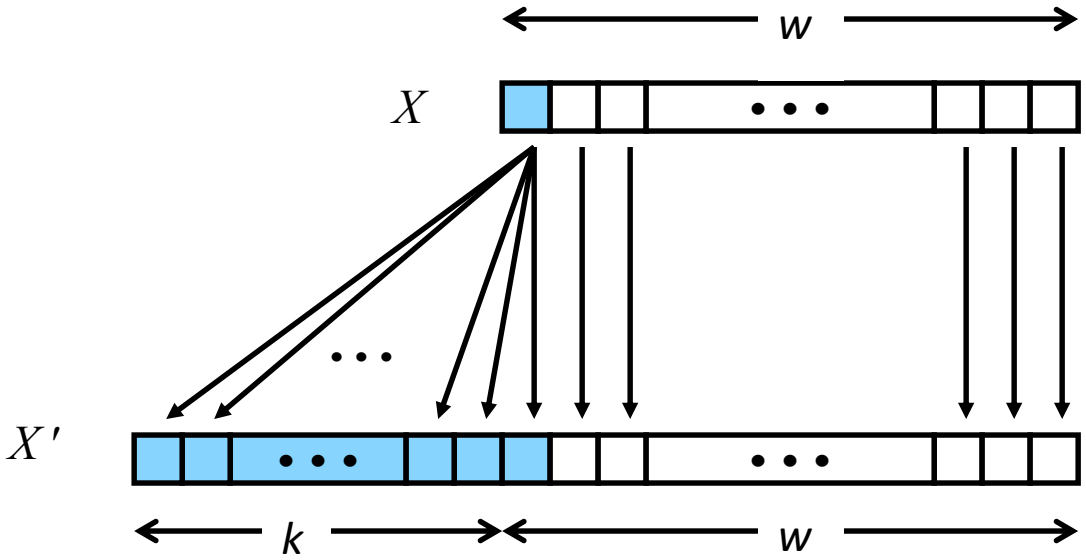
# 举例：无符号数的“0”扩展

- 假设编译器规定int和short类型长度分别为32位和16位， 若有下列C语言语句：
- unsigned short x=65530; // ： 0X FFFA
- unsigned int y=x;
- 得到的y的机器数是（ ）
- A. 0000 7FFA H　　B. 0000 FFFA H
- C. FFFF 7FFA H　　D. FFFF FFFA H

答案（B）

# 带符号位的扩展

- 规则：将符号位扩展到增添的位数上
  - Make *k* copies of sign bit:
  - $X' = \underbrace{X_{w-1}, \cdots, X_{w-1}}_{k \text{ copies of MSB}}, X_{w-1}, X_{w-2}, \cdots, X_0$



# 举例:带符号位的扩展 Sign Extension

```
short int x =  15213;
int       ix = (int) x;
short int y = -15213;
int       iy = (int) y;
```

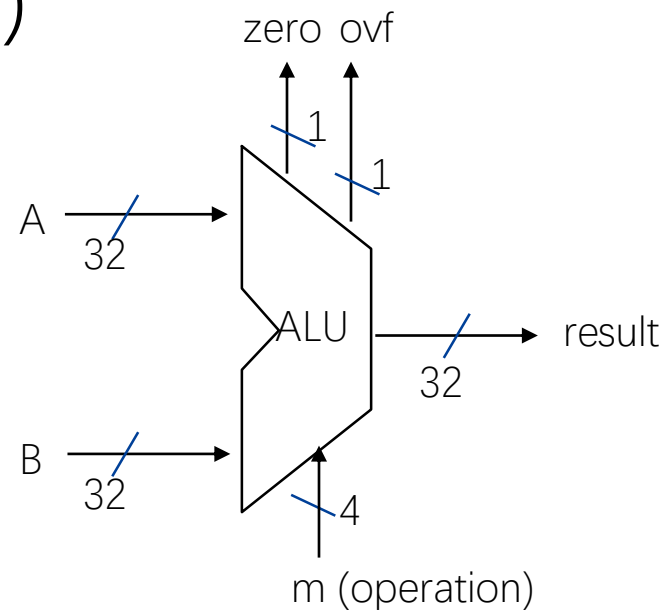
| | Decimal | Hex | Binary |
|---|---|---|---|
| x | 15213 | 3B 6D | 00111011 01101101 |
| ix | 15213 | 00 00 3B 6D | 00000000 00000000 00111011 01101101 |
| y | -15213 | C4 93 | 11000100 10010011 |
| iy | -15213 | FF FF C4 93 | 11111111 11111111 11000100 10010011 |

- C语言： 自动完成符号位扩展

# MIPS Arithmetic Logic Unit (ALU)

- Must support the Arithmetic/Logic operations of the ISA

  `add, addi, addiu, addu`
  `sub, subu`
  `mult, multu, div, divu`
  `sqrt`
  `and, andi, nor, or, ori, xor, xori`
  `beq, bne, slt, slti, sltiu, sltu`




- 需要特殊处理的指令：
  - sign extend – `addi, addiu, slti, sltiu`
  - zero extend – `andi, ori, xori`
  - overflow detection – `add, addi, sub`

# 位截断: （Truncating）

- 当强行将长数转换为短数时发生 (e.g., unsigned to unsigned short)位截断
- 规则：直接截断、重新解释结果
- 不一定能保留数值原有的含义
- int  i=32768;  //0X 0000 8000H
- short si= (short) i; // 0X 8000H
- int j=si;  // 0X FFFF 8000H ，  代表-32768
- 截断可能会发生溢出，截断可能会导致程序出现意外错误，但不会引起硬件异常或错误报告，错误隐蔽性高，需要警惕

# 本节内容


- 对整数的基本操作
  - 扩展与截短
  - 移位

# C语言支持的移位操作

- 左移 Left Shift: x << y
  - 将位向量 **x** 左移 **y** 位
    - 高位移除，低位补0
- 右移 Right Shift: x >> y
  - 将位向量 **x** 右移 **y** 位
  - 低位移除
  - 逻辑右移：高位 填0
  - 算术右移：补符号位

| Argument x | 01100010 |
|---|---|
| << 3 | 00010000 |
| Log.>> 2 | 00011000 |
| Arith.>> 2 | 00011000 |

| Argument x | 10100010 |
|---|---|
| << 3 | 00010000 |
| Log.>> 2 | 00101000 |
| Arith.>> 2 | 11101000 |

# 移位运算的特点

- 左移 <<
  - 不区分逻辑左移还是算术左右，都是抛弃最高位
  - 每左移一位，相当于数值乘以2
  - 左移可能会发生溢出：超出数值表达范围，会得到错误值
- 右移 >> （算术、逻辑）
  - C语言无明确规定，算术右移 or 逻辑右移，C编译器根据数据类型（无符号、有符号补码）自动选择一种
  - Java 语言
    - 区分算术右移运算符>> 和 逻辑右移运算符>>>
  - 每右移一位，相当于数值除以2

# 移位操作

- MIPS处理器中的移位指令
  - **对应了C语言编译器的要求**
  - sll、sllv（**左移**）
  - sra、srav（**算术右移**）
  - srl、srlv （**逻辑右移**）
- 当移位量大于数据字长时
  - 例如字长 w=32 ， x<<y
  - 等价于 x<<(y mod w) ,移位量不超过 w 位
  - 右移规则同左移

# 小结

- C语言中类型转换时，会自动实现位扩展和位截断
- C语言中有左移、右移运算符
- 硬件的设计来源于软件的需求
  - 高级语言中的运算，会转化为底层硬件的指令实现
  - 理解这些运算的实现原理，了解程序中出现的意外结果的可能性

# 谢谢！