IA-32中的定点算术运算指令

南京大学
计算机科学与技术系
袁春风
email: cfyuan@nju.edu.cn
2015.6

IA-32常用指令类型

（2）定点算术运算指令

- 加 / 减运算（影响标志、不区分无/带符号）
  - ADD：加，包括addb、addw、addl等
  - SUB：减，包括subb、subw、subl等
- 增1 / 减1运算（影响除CF以外的标志、不区分无/带符号）
  - INC：加，包括incb、incw、incl等
  - DEC：减，包括decb、decw、decl等
- 取负运算（影响标志、若对0取负，则结果为0且CF清0，否则CF置1）
  - NEG：取负，包括negb、negw、negl等
- 比较运算（做减法得到标志、不区分无/带符号）
  - CMP：比较，包括cmpb、cmpw、cmpl等
- 乘 / 除运算（不影响标志、区分无/带符号）
  - MUL / IMUL：无符号乘 / 带符号乘
  - DIV/ IDIV：带无符号除 / 带符号除

整数乘除指令

- 乘法指令：可给出一个、两个或三个操作数
  - 若给出一个操作数SRC，则另一个源操作数隐含在AL/AX/EAX中，将SRC和累加器内容相乘，结果存放在AX（16位）或DX-AX（32位）或EDX-EAX（64位）中。DX-AX表示32位乘积的高、低16位分别在DX和AX中。 n位× n位=2n位
  - 若指令中给出两个操作数DST和SRC，则将DST和SRC相乘，结果在DST中。n位× n位=n位
  - 若指令中给出三个操作数REG、SRC和IMM，则将SRC和立即数IMM相乘，结果在REG中。n位× n位=n位
- 除法指令：只明显指出除数，用EDX-EAX中内容除以指定的除数
  - 若为8位，则16位被除数在AX寄存器中，商送回AL，余数在AH
  - 若为16位，则32位被除数在DX-AX寄存器中，商送回AX，余数在DX
  - 若为32位，则被除数在EDX-EAX寄存器中，商送EAX，余数在EDX

定点算术运算指令汇总

指令	显式操作数	影响的常用标志	操作数类型	AT&T 指令助记符	对应 C 运算符
ADD	2 个	OF、ZF、SF、CF	无/带符号整数	addb、addw、addl	+
SUB	2 个	OF、ZF、SF、CF	无/带符号整数	subb、subw、subl	−
INC	1 个	OF、ZF、SF	无/带符号整数	incb、incw、incl	++
DEC	1 个	OF、ZF、SF	无/带符号整数	decb、decw、decl	−−
NEG	1 个	OF、ZF、SF、CF	无/带符号整数	negb、negw、negl	−
CMP	2 个	OF、ZF、SF、CF	无/带符号整数	cmpb、cmpw、cmpl	<, <=, >, >=
MUL	1 个	OF、CF	无符号整数	mulb、mulw、mull	*
MUL	2 个		无符号整数	mulb、mulw、mull	*
MUL	3 个		无符号整数	mulb、mulw、mull	*
IMUL	1 个		带符号整数	imulb、imulw、imull	*
IMUL	2 个		带符号整数	imulb、imulw、imull	*
IMUL	3 个		带符号整数	imulb、imulw、imull	*
DIV	1 个	无	无符号整数	divb、divw、divl	/，%
IDIV	1 个	无	带符号整数	idivb、idivw、idivl	/，%

程序由指令序列组成

```
1   // test.c
2   #include <stdio.h>
3   int add(int i, int j )
4   {
5       int x = i +j;
6       return x:
7   }
```

若 i= 2147483647，j=2，则执行结果是什么？

```
int main ( ) {
    int  t1 = 2147483647;
    int t2 = 2;
    int  sum = add (t1, t2);
    printf( "sum=%d" ;sum);
}
```

"objdump -d test" 结果

```
080483d4 <add>:    EIP←0x80483d4
 80483d4:    55          push   %ebp
 80483d5:    89 e5       mov    %esp, %ebp
 80483d7:    83 ec 10    sub    $0x10, %esp
 80483da:    8b 45 0c    mov    0xc(%ebp), %eax
 80483dd:    8b 55 08    mov    0x8(%ebp), %edx
 80483e0:    8d 04 02    lea    (%edx,%eax,1), %eax
 80483e3:    89 45 fc    mov    %eax, -0x4(%ebp)
 80483e6:    8b 45 fc    mov    -0x4(%ebp), %eax
 80483e9:    c9          leave
 80483ea:    c3          ret
```

此时，R[eax]=0x2

R[edx]=0x7fffffff

= add %edx , %eax

$2147483647=2^{31}-1$
$=011\cdots1B=0x7fffffff$

add函数从80483d4开始！

执行add时，起始EIP=?

IA-32的寄存器组织

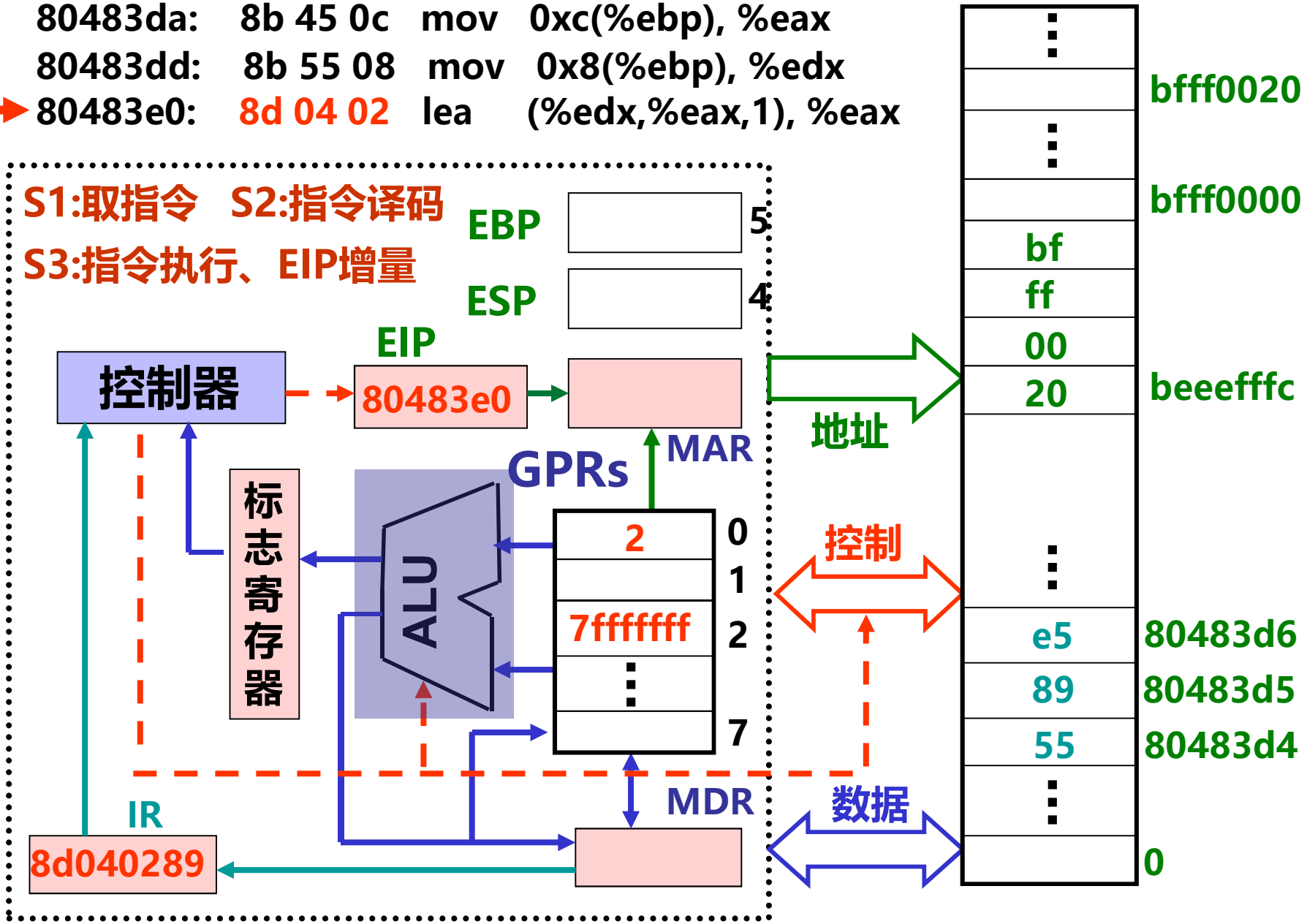
编号	8 位寄存器	16 位寄存器	32 位寄存器	64 位寄存器	128 位寄存器
000	AL	AX	EAX	MM0 / ST(0)	XMM0
001	CL	CX	ECX	MM1 / ST(1)	XMM1
010	DL	DX	EDX	MM2 / ST(2)	XMM2
011	BL	BX	EBX	MM3 / ST(3)	XMM3
100	AH	SP	ESP	MM4 / ST(4)	XMM4
101	CH	BP	EBP	MM5 / ST(5)	XMM5
110	DH	SI	ESI	MM6 / ST(6)	XMM6
111	BH	DI	EDI	MM7 / ST(7)	XMM7

此时，R[eax]=0x2， R[edx]=0x7fffffff

即：0号寄存器中为0x2；2号寄存器中为0x7fffffff

功能：R[eax]← R[edx]+R[eax]*1

```
80483da:   8b 45 0c   mov   0xc(%ebp), %eax
80483dd:   8b 55 08   mov   0x8(%ebp), %edx
80483e0:   8d 04 02   lea   (%edx,%eax,1), %eax
```



ALU长啥样呢？

- 试想一下ALU中有哪些部件？（想想厨房做菜用什么工具？）
  - 补码加/减器（可以干什么？）
    - 带符号整数加、减
    - 无符号整数加、减
  - ~~乘法器~~？（为什么可以没有？）
    - 可用加/减+移位实现，也可有独立乘法器
    - 带符号乘和无符号乘是独立的部件
  - ~~除法器~~？（为什么可以没有？）
    - 可用加/减+移位实现，也可有独立除法器
    - 带符号除和无符号除是独立的部件
  - 各种逻辑运算部件（可以干什么？）
    - 非、与、或、非、前置0个数、前置1个数……

ALU如何实现呢？

ALU结构原理

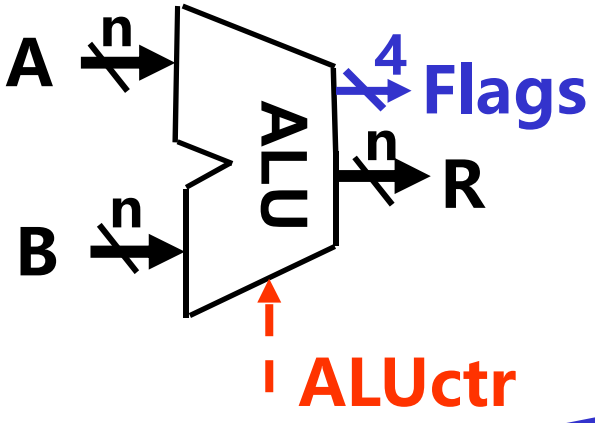
在ALU中执行：

R[eax]=0x2

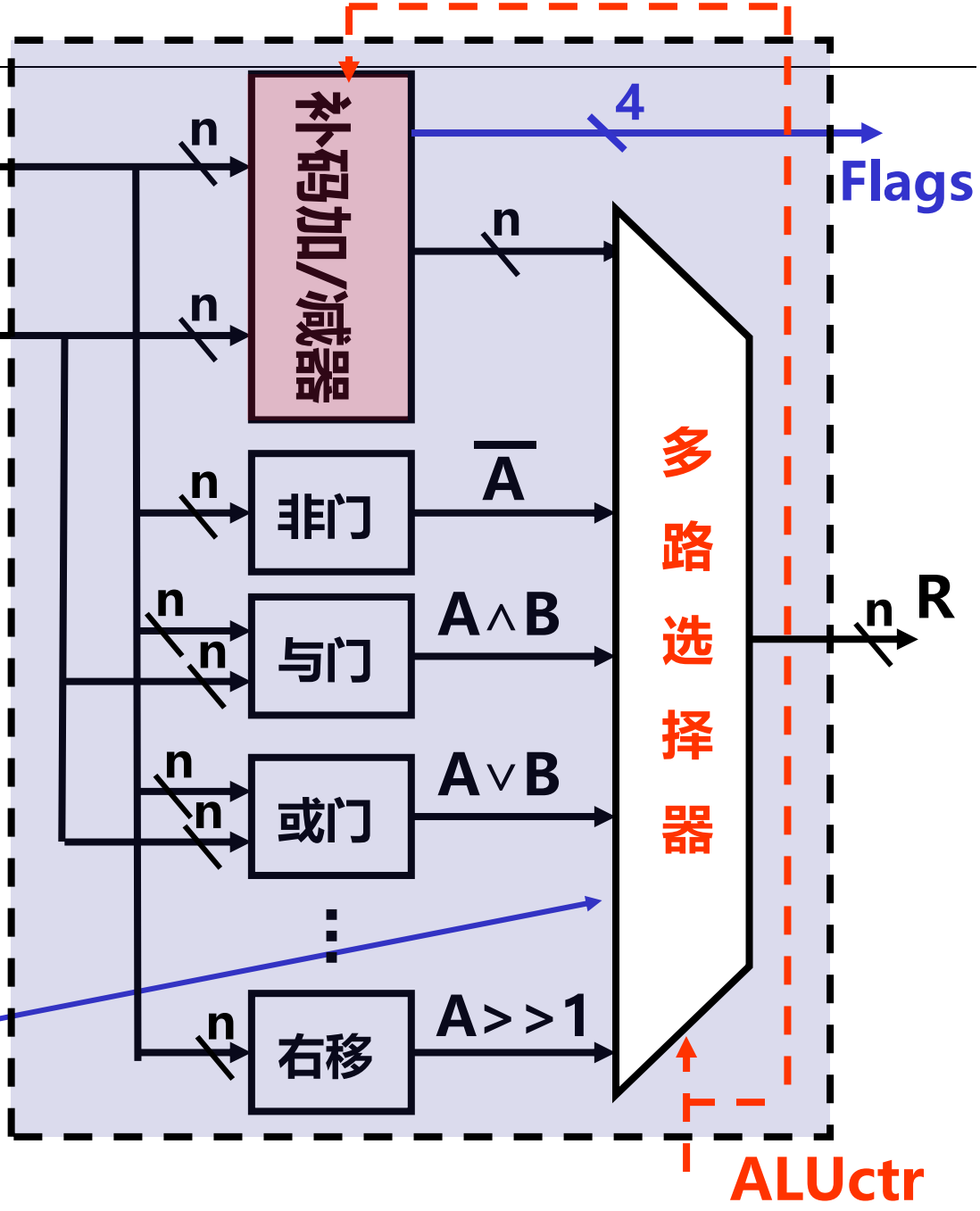
R[edx]=0x7fffffff

R[eax]+R[edx]=?

ALU的符号是什么样的？

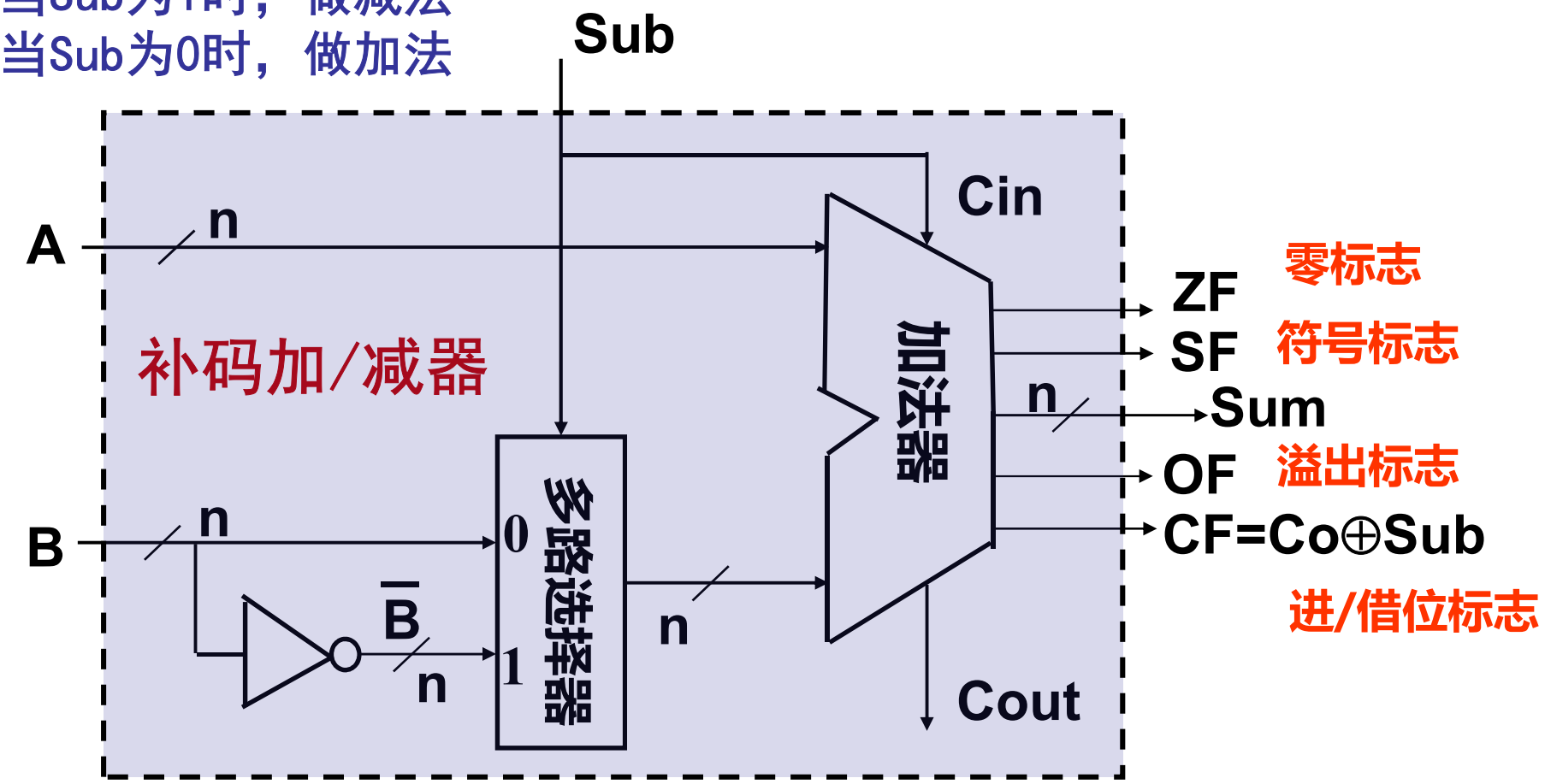


猜猜这是什么？



回顾：补码加/减器

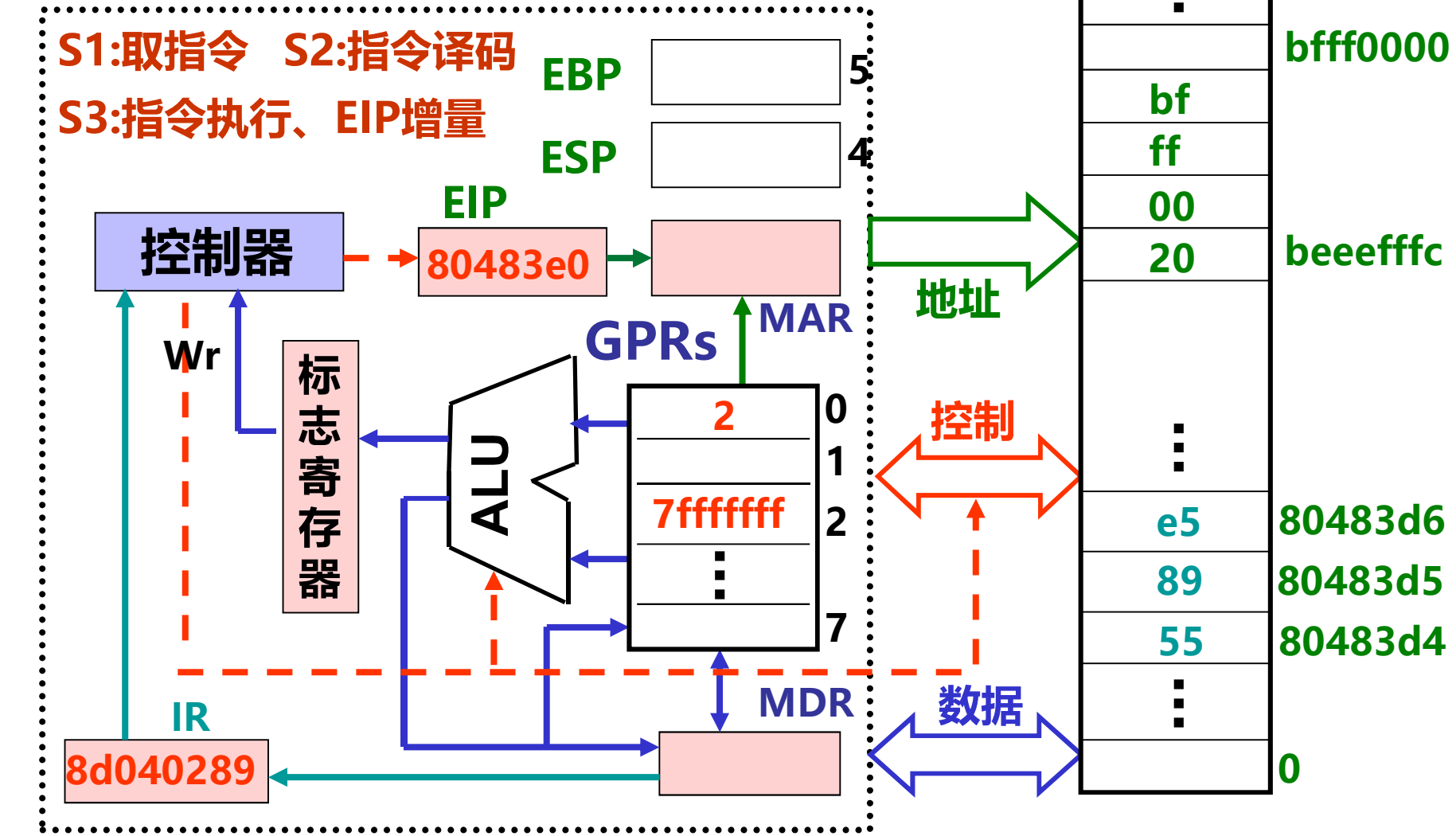
当Sub为1时，做减法
当Sub为0时，做加法



A : 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0010
B : 0111 1111 1111 1111 1111 1111 1111 1111
sum : 1000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0001

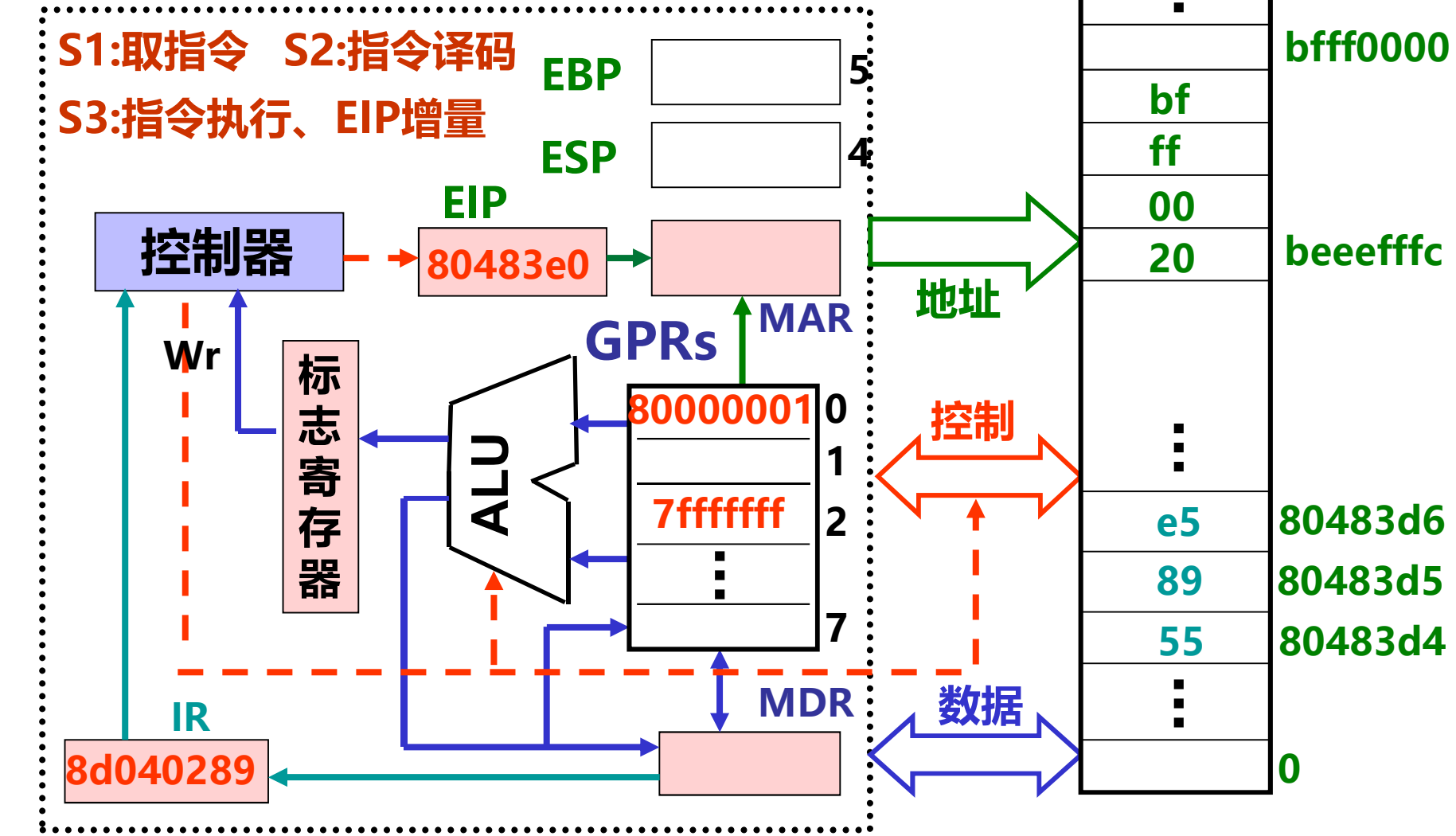
功能：R[eax]← R[edx]+R[eax]*1（执行前）

```
80483da:   8b 45 0c   mov   0xc(%ebp), %eax
80483dd:   8b 55 08   mov   0x8(%ebp), %edx
80483e0:   8d 04 02   lea   (%edx,%eax,1), %eax
```



功能：R[eax]← R[edx]+R[eax]*1 （执行后）

```
80483da:   8b 45 0c   mov   0xc(%ebp), %eax
80483dd:   8b 55 08   mov   0x8(%ebp), %edx
80483e0:   8d 04 02   lea   (%edx,%eax,1), %eax
```



程序执行的结果

```
int add ( int i, int j ) {
    return i+j;
}

int main ( ) {
    int t1 = 2147483647;
     int t2 = 2;
    int sum = add (t1, t2);
    printf(" sum=%d" , sum);
}
```

sum的机器数和
值分别是什么？

sum=0x80000001

sum=-2147483647

两个正数相加结果怎么为负数呢？

因为计算机是一种模运算系统！

高位有效数字被丢失，即发生了溢出

定点加法指令举例

- 假设 R[ax]=FFFAH，R[bx]=FFF0H，则执行以下指令后

“addw %bx, %ax”

AX、BX中的内容各是什么？标志CF、OF、ZF、SF各是什么？要求分别将操作数作为无符号数和带符号整数解释并验证指令执行结果。

解：功能：R[ax]←R[ax]+R[bx]，指令执行后的结果如下

R[ax]=FFFAH+FFF0H=FFEAH ，BX中内容不变

CF=1，OF=0，ZF=0，SF=1

若是无符号整数运算，则CF=1说明结果溢出

验证：FFFA的真值为65535-5=65530，FFF0的真值为65515

FFEA的真值为65535-21=65514≠65530+65515，即溢出

若是带符号整数运算，则OF=0说明结果没有溢出

验证：FFFA的真值为-6，FFF0的真值为-16

FFEA的真值为-22=-6+(-16)，结果正确，无溢出

定点乘法指令举例

- 假设R[eax]=000000B4H，R[ebx]=00000011H，M[000000F8H]=000000A0H，请问：

  (1) 执行指令“mulb %bl”后，哪些寄存器的内容会发生变化？是否与执行“imulb %bl”指令所发生的变化一样？为什么？请用该例给出的数据验证你的结论。

解：“mulb %bl”功能为 R[ax]←R[al]×R[bl]，执行结果如下

R[ax]=B4H × 11H（无符号整数180和17相乘）

R[ax]=0BF4H，真值为3060=180 × 17

无符号乘：

```
      1011 0100
   x  0001 0001
-----------------
      1011 0100
 1011 0100
-----------------
0000 1011 1111 0100
```

AH=？ AL=？

“imulb %bl”功能为 R[ax]←R[al]×R[bl]

R[ax]=B4H × 11H（带符号整数-76和17相乘）

若R[ax]=0BF4H，则真值为3060≠-76 × 17

R[al]=F4H, R[ah]=? AH中的变化不一样！

R[ax]=FAF4H, 真值为-1292=-76 × 17

对于带符号乘，若积只取低n位，则和无符号相同；若取2n位，则采用“布斯”乘法

定点乘法指令举例

- **布斯乘法：** **“imulb %bl”**

R[ax]=B4H × 11H

```
                  1 0 1 1  0 1 0 0
              x   0 0 1-1  0 0 1-1     0001 0001
-------------------------------------------------
  0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 1 0 0
  1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 0 1 0 0
  0 0 0 0 0 1 0 0 1 1 0 0
  1 1 1 1 0 1 1 0 1 0 0
-------------------------------------------------
  1 1 1 1 1 0 1 0 1 1 1 1 0 1 0 0
  ---------------- ----------------
      AH= ?            AL= ?
```

R[ax]=FAF4H, 真值为-1292=-76 × 17

定点乘法指令举例

- 假设R[eax]=000000B4H，R[ebx]=00000011H，M[000000F8H]=000000A0H，请问：

(2) 执行指令“imull $-16, (%eax,%ebx,4), %eax”后哪些寄存器和存储单元发生了变化？乘积的机器数和真值各是多少？

解：“imull -16, (%eax,%ebx,4),%eax”

功能为 R[eax]←(-16)×M[R[eax]+R[ebx]×4] ，执行结果如下

R[eax]+R[ebx]×4=000000B4H+00000011H<<2=000000F8H

R[eax]=(-16)×M[000000F8H]

=(-16)× 000000A0H（带符号整数乘）

=16 ×（-000000A0H）

=FFFFFF60H<<4

=FFFFF600H

EAX中的真值为-2560

整数乘指令

- **乘法指令：可给出一个、两个或三个操作数**
  - **若给出一个操作数SRC，则另一个源操作数隐含在AL/AX/EAX中，将SRC和累加器内容相乘，结果存放在AX（16位）或DX-AX（32位）或EDX-EAX（64位）中。DX-AX表示32位乘积的高、低16位分别在DX和AX中。**
  BACK
  - **若指令中给出两个操作数DST和SRC，则将DST和SRC相乘，结果在DST中。**
  - **若指令中给出三个操作数REG、SRC和IMM，则将SRC和立即数IMM相乘，结果在REG中。**
  BACK