

第7章 指令系统

7.1 机器指令

7.2 操作数类型和操作类型

7.3 寻址方式

7.4 指令格式举例

7.5 RISC 技术

7.1 机器指令

一、指令的一般格式



1. 操作码 反映机器做什么操作

(1) 长度固定

用于指令字长较长的情况，RISC

如 IBM 370 操作码 8 位

(2) 长度可变

操作码分散在指令字的不同字段中

(3) 扩展操作码技术

操作码的位数随地址数的减少而增加

4 位操作码

OP	A ₁	A ₂	A ₃
0000	A ₁	A ₂	A ₃
0001	A ₁	A ₂	A ₃
⋮	⋮	⋮	⋮
1110	A ₁	A ₂	A ₃

最多15条三地址指令

8 位操作码

1111	0000	A ₂	A ₃
1111	0001	A ₂	A ₃
⋮	⋮	⋮	⋮
1111	1110	A ₂	A ₃

最多15条二地址指令

12 位操作码

1111	1111	0000	A ₃
1111	1111	0001	A ₃
⋮	⋮	⋮	⋮
1111	1111	1110	A ₃

最多15条一地址指令

16 位操作码

1111	1111	1111	0000
1111	1111	1111	0001
⋮	⋮	⋮	⋮
1111	1111	1111	1111

16条零地址指令

(3) 扩展操作码技术

操作码的位数随地址数的减少而增加

4 位操作码

OP	A ₁	A ₂	A ₃
0000	A ₁	A ₂	A ₃
0001	A ₁	A ₂	A ₃
⋮	⋮	⋮	⋮
1110	A ₁	A ₂	A ₃

三地址指令操作码
每减少一种可多构成
2⁴ 种二地址指令

8 位操作码

1111	0000	A ₂	A ₃
1111	0001	A ₂	A ₃
⋮	⋮	⋮	⋮
1111	1110	A ₂	A ₃

二地址指令操作码
每减少一种可多构成
2⁴ 种一地址指令

12 位操作码

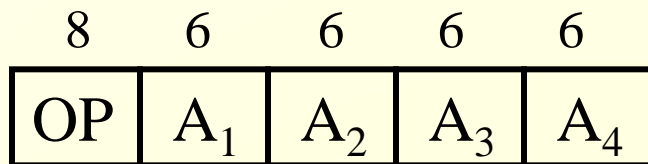
1111	1111	0000	A ₃
1111	1111	0001	A ₃
⋮	⋮	⋮	⋮
1111	1111	1110	A ₃

16 位操作码

1111	1111	1111	0000
1111	1111	1111	0001
⋮	⋮	⋮	⋮
1111	1111	1111	1111

2. 地址码

(1) 四地址



A₁ 第一操作数地址

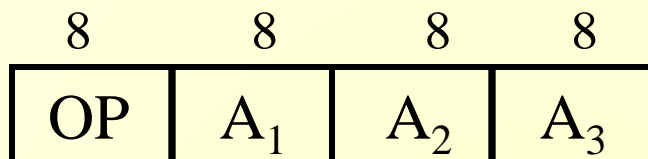
A₂ 第二操作数地址

A₃ 结果的地址

A₄ 下一条指令地址

$(A_1) \text{ OP } (A_2) \longrightarrow A_3$

(2) 三地址



$(A_1) \text{ OP } (A_2) \longrightarrow A_3$

设指令字长为 32 位

操作码固定为 8 位

4 次访存

寻址范围 $2^6 = 64$

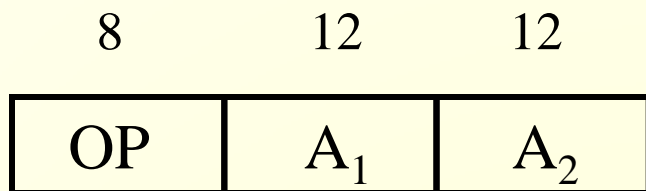
若 PC 代替 A₄

4 次访存

寻址范围 $2^8 = 256$

若 A₃ 用 A₁ 或 A₂ 代替

(3) 二地址



或 (A₁) OP (A₂) → A₁

(A₁) OP (A₂) → A₂

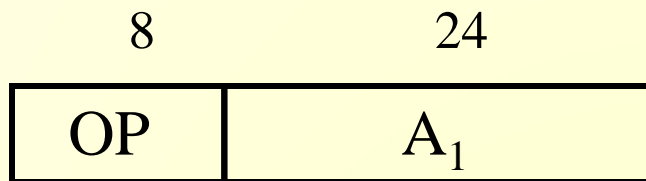
若结果存于 ACC 3次访存

4 次访存

寻址范围 $2^{12} = 4 \text{ K}$

若ACC 代替 A₁ (或A₂)

(4) 一地址



(ACC) OP (A₁) → ACC

2 次访存

寻址范围 $2^{24} = 16 \text{ M}$

(5) 零地址

无地址码

二、指令字长

指令字长决定于 {
操作码的长度
操作数地址的长度
操作数地址的个数

1. 指令字长 固定

指令字长 = 存储字长

2. 指令字长 可变

按字节的倍数变化

小结

➤ 当用一些硬件资源代替指令字中的地址码字段后

- 可扩大指令的寻址范围
- 可缩短指令字长
- 可减少访存次数

➤ 当指令的地址字段为寄存器时

三地址 $OP \ R_1, R_2, R_3$

二地址 $OP \ R_1, R_2$

一地址 $OP \ R_1$

- 可缩短指令字长
- 指令执行阶段不访存₈

7.2 操作数类型和操作种类

一、操作数类型

地址	无符号整数
数字	定点数、浮点数、十进制数
字符	ASCII
逻辑数	逻辑运算

二、数据在存储器中的存放方式

字地址	低字节			
0	3	2	1	0
4	7	6	5	4

字地址为低字节地址

字地址	低字节			
0	0	1	2	3
4	4	5	6	7

字地址为高字节地址

存储器中的数据存放（存储字长为32位）

边界对准

地址（十进制）

字（地址 0）			
字（地址 4）			
字节（地址11）	字节（地址10）	字节（地址 9）	字节（地址 8）
字节（地址15）	字节（地址14）	字节（地址13）	字节（地址12）
半字（地址18）✓		半字（地址16）✓	
半字（地址22）✓		半字（地址20）✓	
双字（地址24）▲			
双字			
双字（地址32）▲			
双字			

边界未对准

地址（十进制）

字(地址2)		半字(地址0)	0
字节(地址7)	字节(地址6)	字(地址4)	4
半字(地址10)		半字(地址8)	8

三、操作类型

1. 数据传送

源	寄存器	寄存器	存储器	存储器
目的	寄存器	存储器	寄存器	存储器
例如	MOVE	STORE MOVE PUSH	LOAD MOVE POP	MOVE
置“1”，清“0”				

2. 算术逻辑操作

加、减、乘、除、增 1、减 1、求补、浮点运算、十进制运算
与、或、非、异或、位操作、位测试、位清除、位求反

如 8086 ADD SUB MUL DIV INC DEC CMP NEG
 AAA AAS AAM AAD
 AND OR NOT XOR TEST

3. 移位操作

算术移位 逻辑移位

循环移位（带进位和不带进位）

4. 转移

(1) 无条件转移 **JMP**

(2) 条件转移

结果为零转 ($Z = 1$) **JZ**

结果溢出转 ($O = 1$) **JO**

结果有进位转 ($C = 1$) **JC**

跳过一条指令 **SKP**

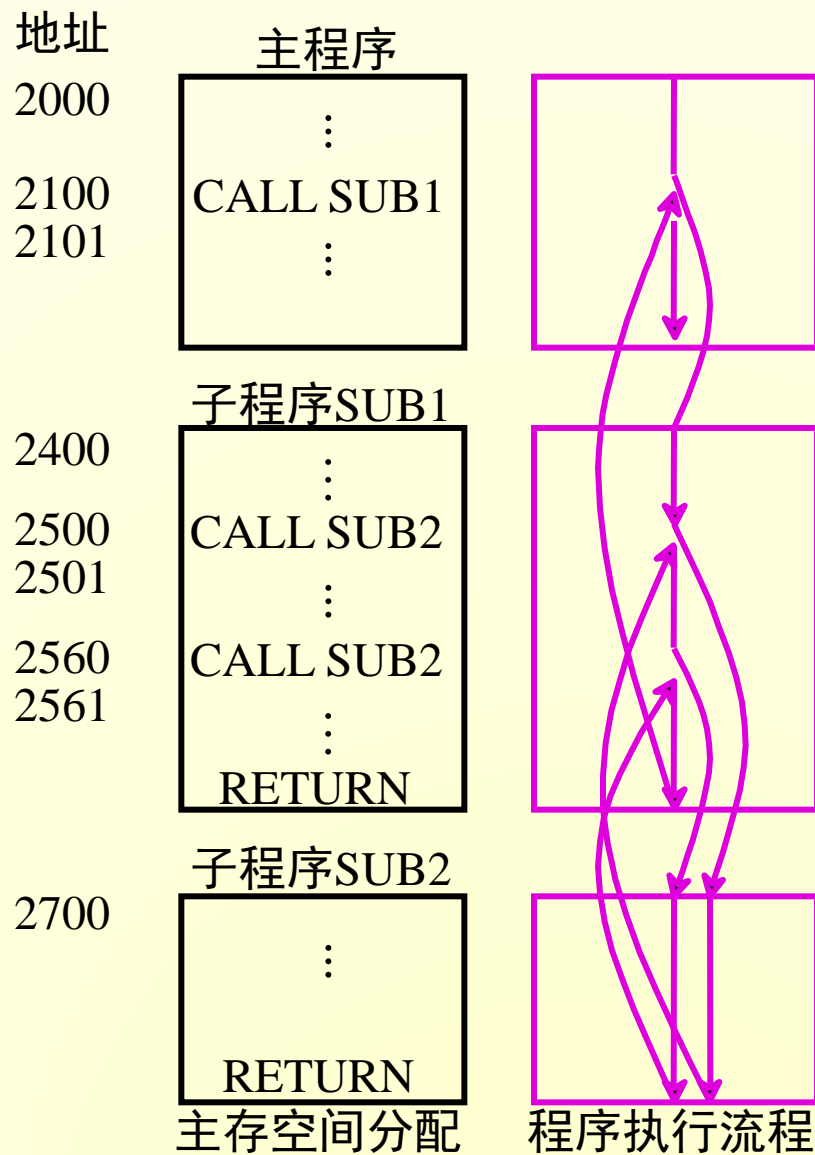
如

300
⋮
305
306
→ 307

完成触发器

SKP DZ D = 0 则跳

(3) 调用和返回



(4) 陷阱 (Trap) 与陷阱指令

意外事故的中断

- 一般不提供给用户直接使用

在出现事故时, 由 CPU 自动产生并执行 (隐指令)

- 设置供用户使用的陷阱指令

如 8086 INT TYPE 软中断

提供给用户使用的陷阱指令, 完成系统调用

5. 输入输出

入 端口地址 \longrightarrow CPU 的寄存器

如 **IN AX, m** **IN AX, DX**

出 CPU 的寄存器 \longrightarrow 端口地址

如 **OUT n, AX** **OUT DX, AX**

7.3 寻址方式

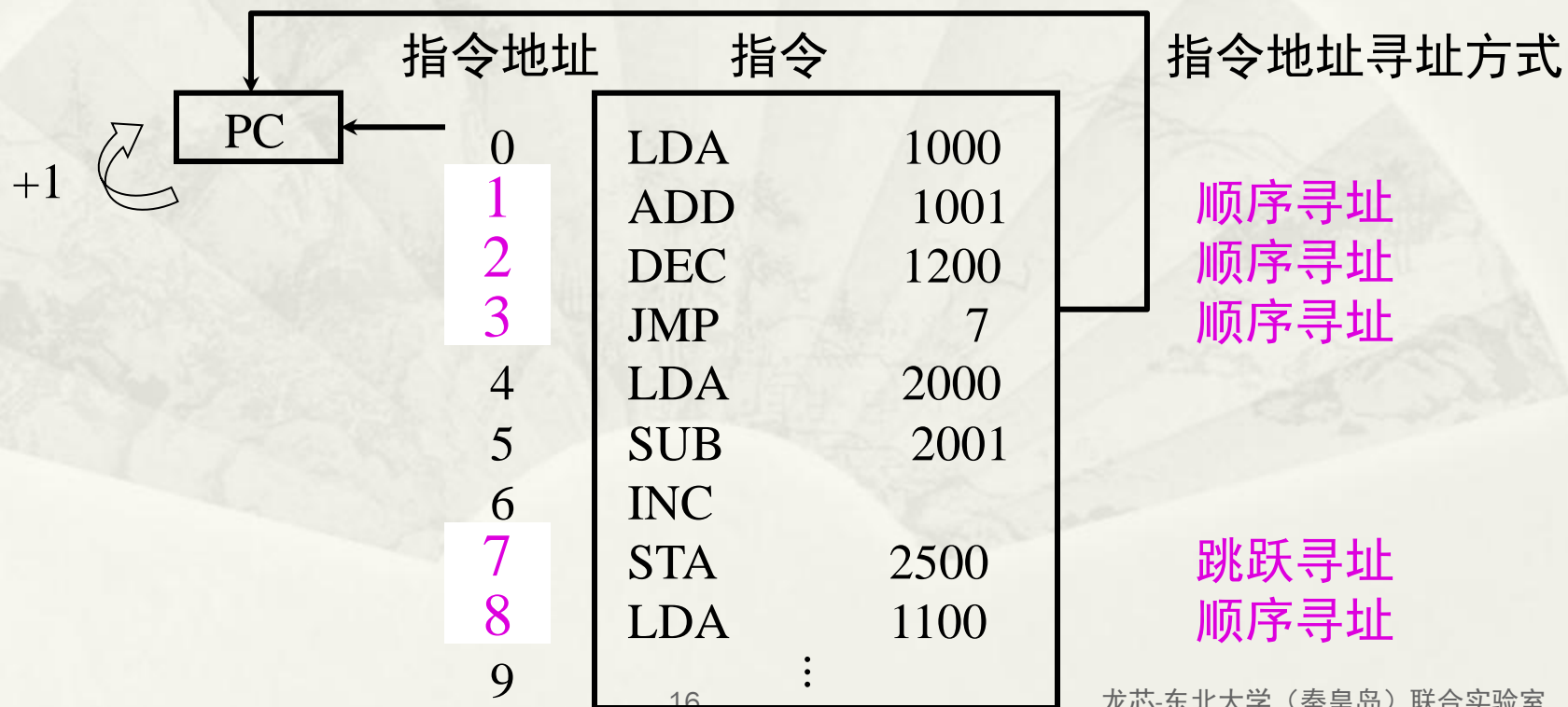
寻址方式 确定 本条指令 的 操作数地址
下一条 欲执行 指令 的 指令地址

寻址方式 { 指令寻址
数据寻址

7.3 寻址方式

一、指令寻址

顺序 $(PC) + 1 \longrightarrow PC$
跳跃 由转移指令指出



二、数据寻址

操作码	寻址特征	形式地址 A
-----	------	--------

形式地址

指令字中的地址

有效地址

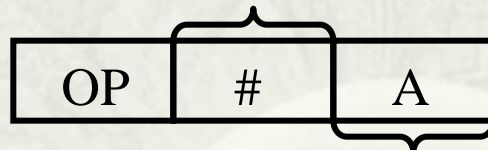
操作数的真实地址

约定 指令字长 = 存储字长 = 机器字长

1. 立即寻址

形式地址 A 就是操作数

立即寻址特征

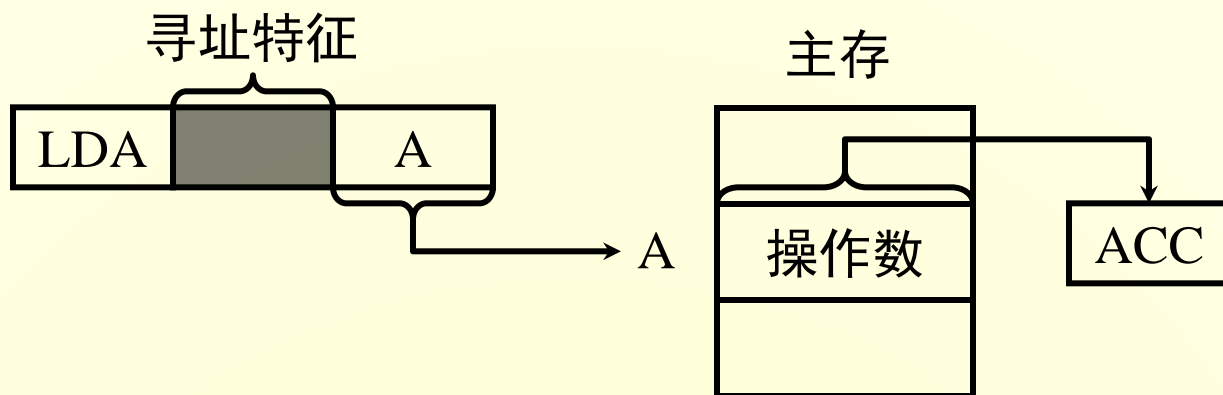


立即数 可正可负 补码

- 指令执行阶段不访存
- A 的位数限制了立即数的范围

2. 直接寻址

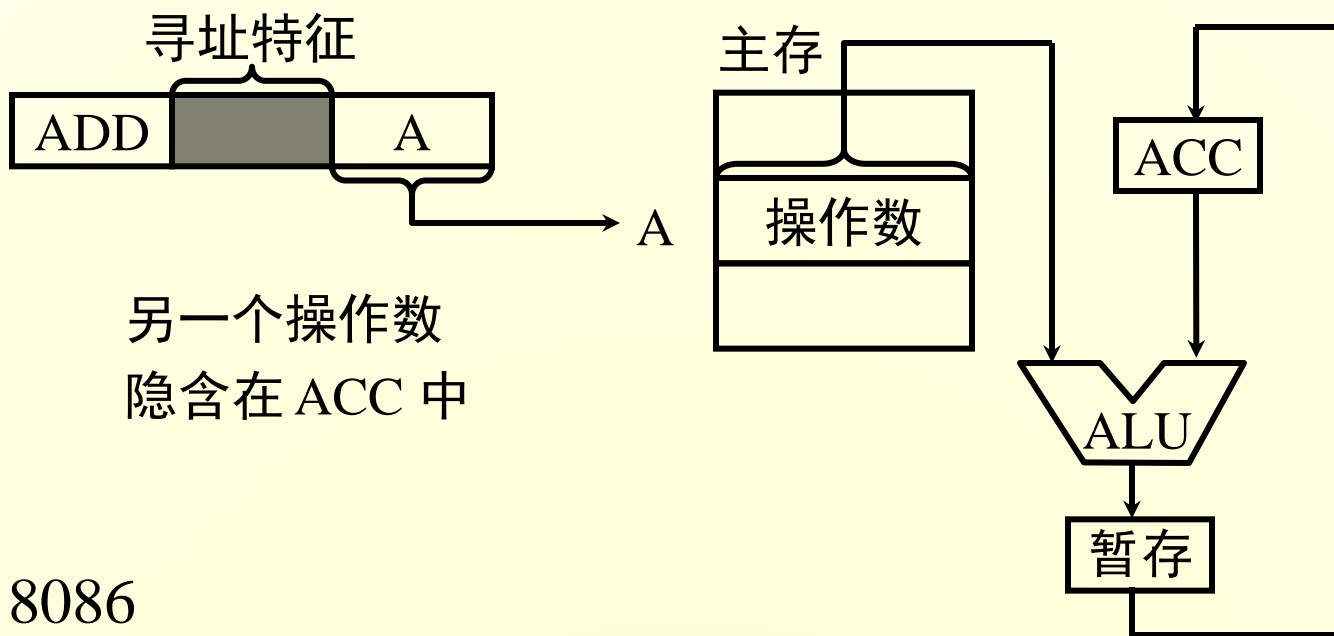
$EA = A$ 有效地址由形式地址直接给出



- 执行阶段访问一次存储器
- A 的位数决定了该指令操作数的寻址范围
- 操作数的地址不易修改（必须修改A）

3. 隐含寻址

操作数地址隐含在操作码或某个寄存器中



如 8086

MUL 指令 被乘数隐含在 AX（16位）或 AL（8位）中

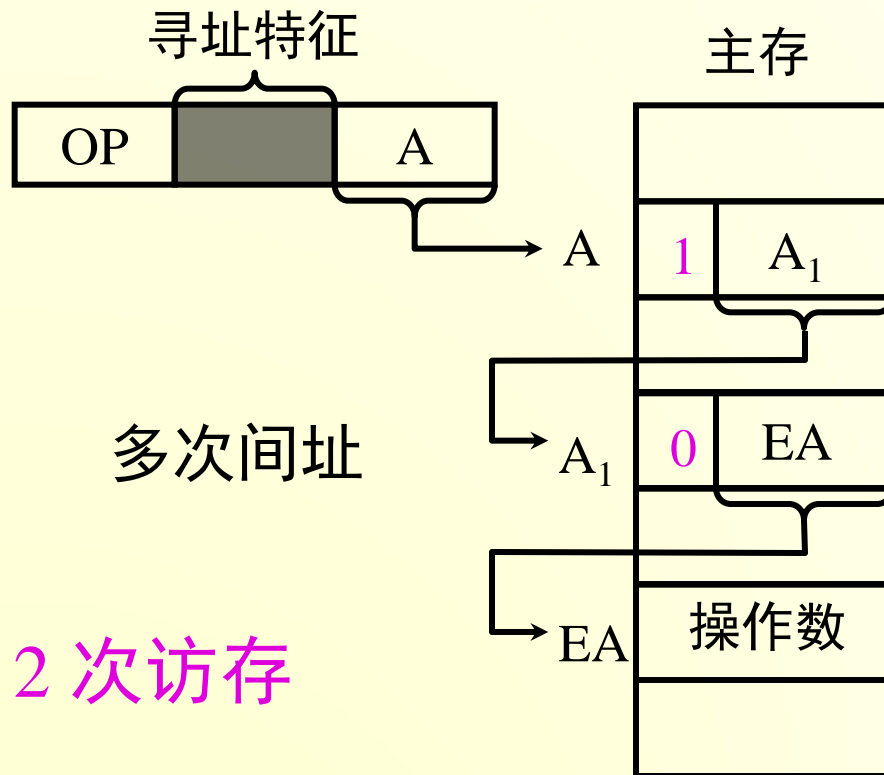
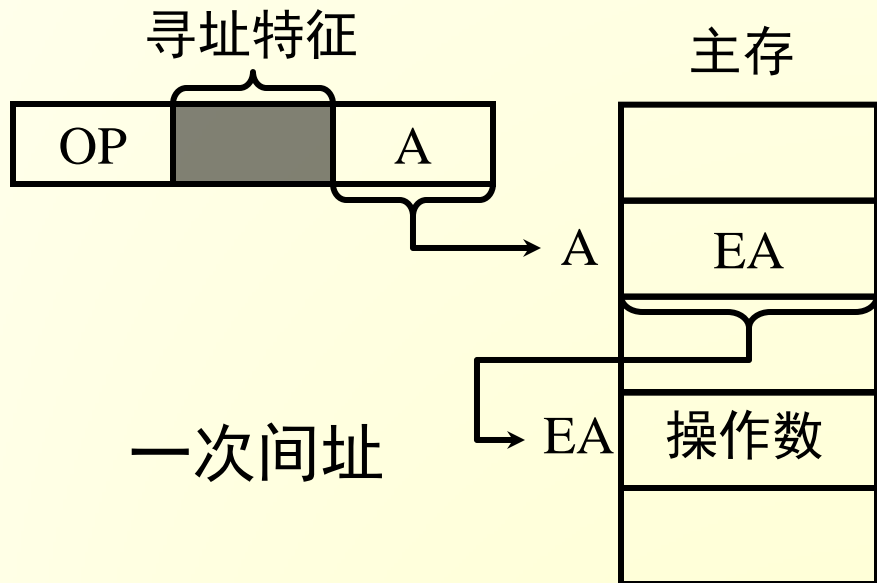
MOVS 指令 源操作数的地址隐含在 SI 中

目的操作数的地址隐含在 DI 中

- 指令字中少了一个地址字段，可缩短指令字长

4. 间接寻址

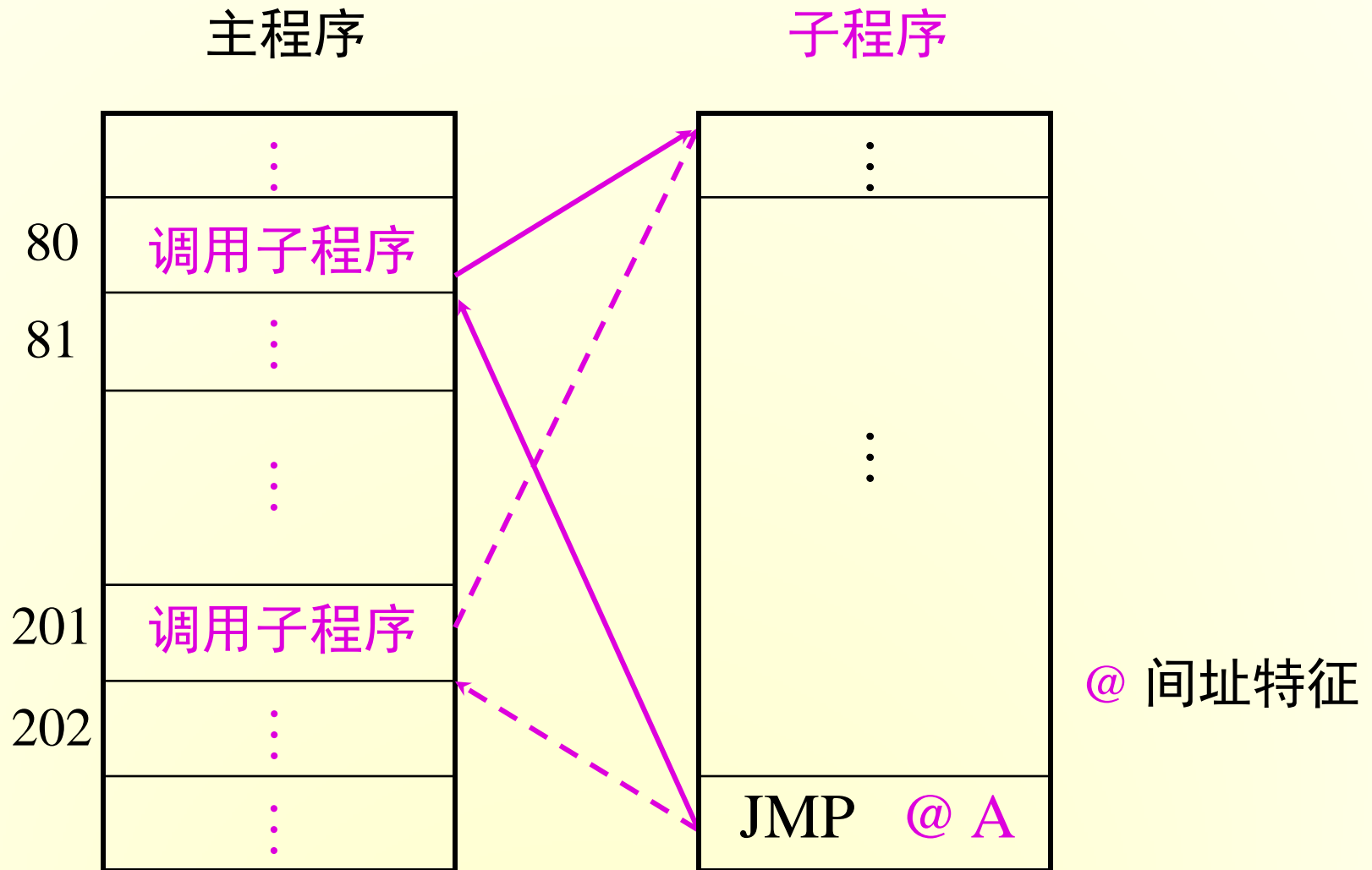
$EA = (A)$ 有效地址由形式地址间接提供



- 执行指令阶段 2 次访存
- 可扩大寻址范围
- 便于编制程序

多次访存

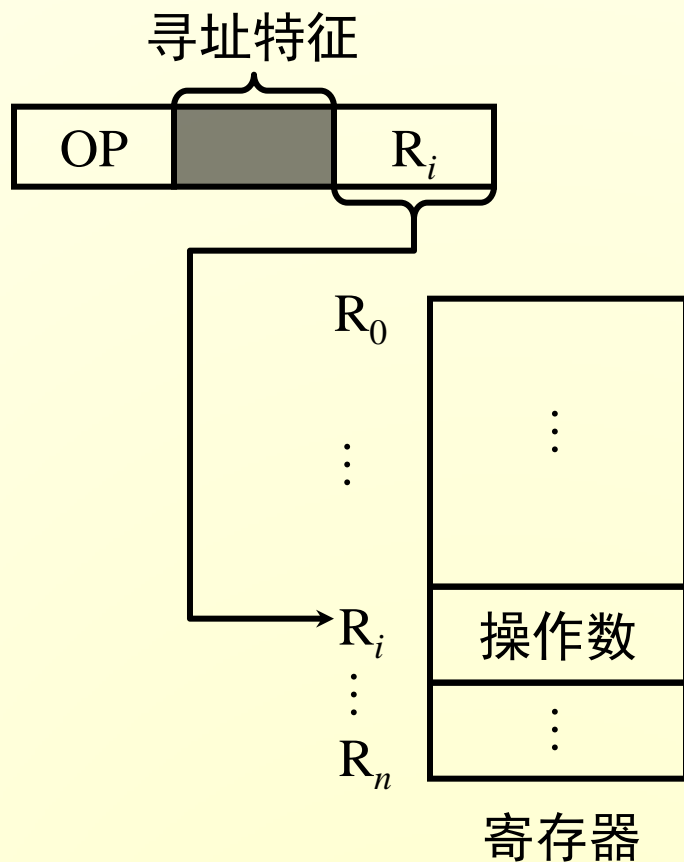
间接寻址编程举例



$(A) = 202$

5. 寄存器寻址

$EA = R_i$ 有效地址即为寄存器编号

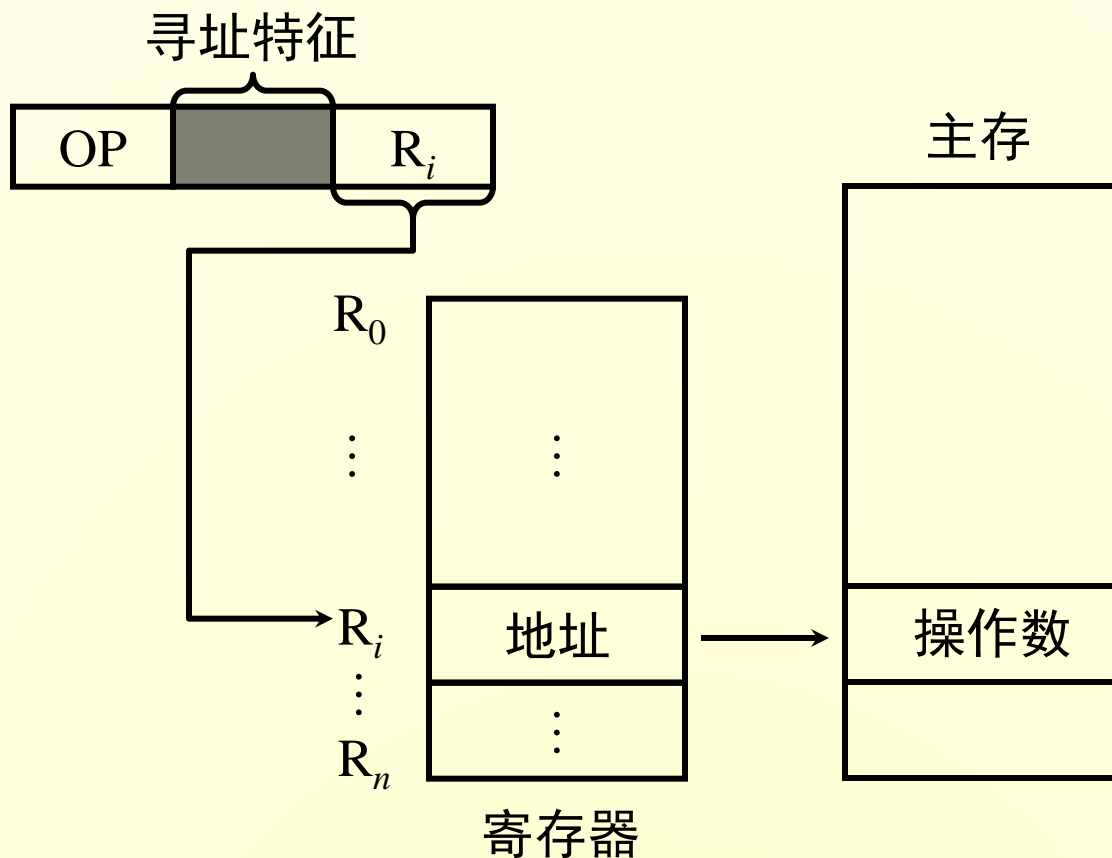


- 执行阶段不访存，只访问寄存器，执行速度快
- 寄存器个数有限，可缩短指令字长

6. 寄存器间接寻址

$$EA = (R_i)$$

有效地址在寄存器中



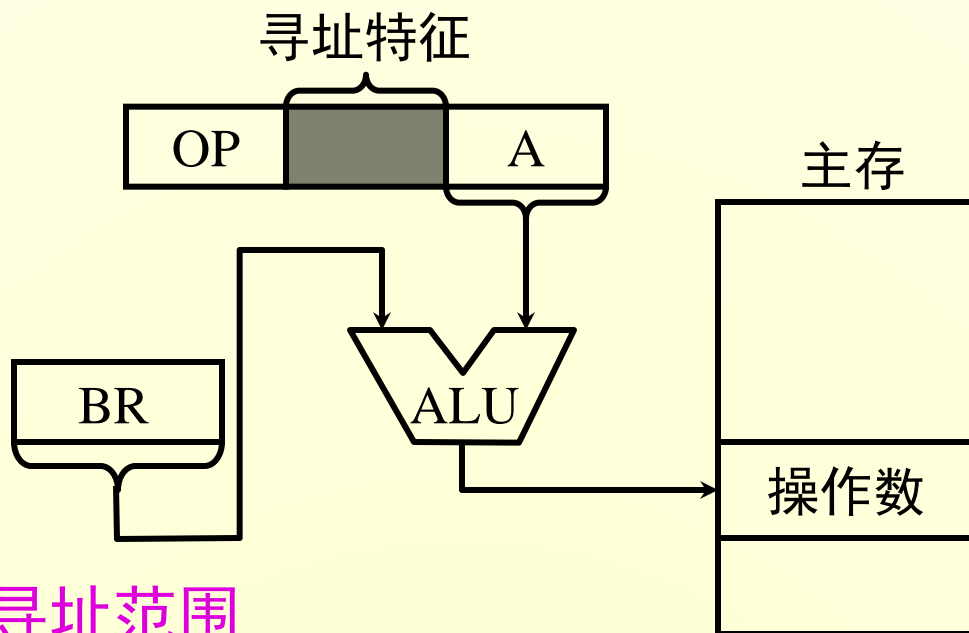
- 有效地址在寄存器中，操作数在存储器中，执行阶段访存
- 便于编制循环程序

7. 基址寻址

(1) 采用专用寄存器作基址寄存器

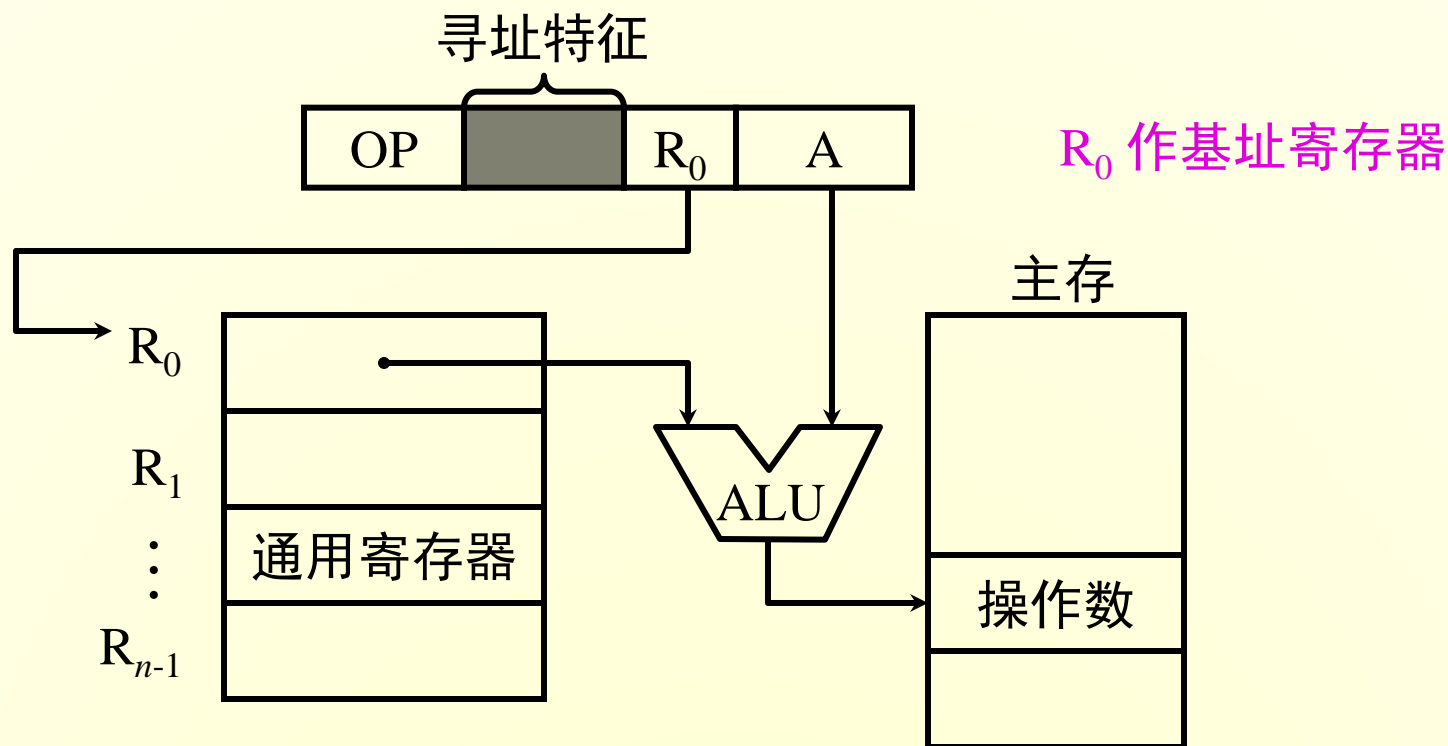
$$EA = (BR) + A$$

BR 为基址寄存器



- 可扩大寻址范围
- 有利于多道程序
- BR 内容由操作系统或管理程序确定
- 在程序的执行过程中 BR 内容不变，形式地址 A 可变

(2) 采用通用寄存器作基址寄存器

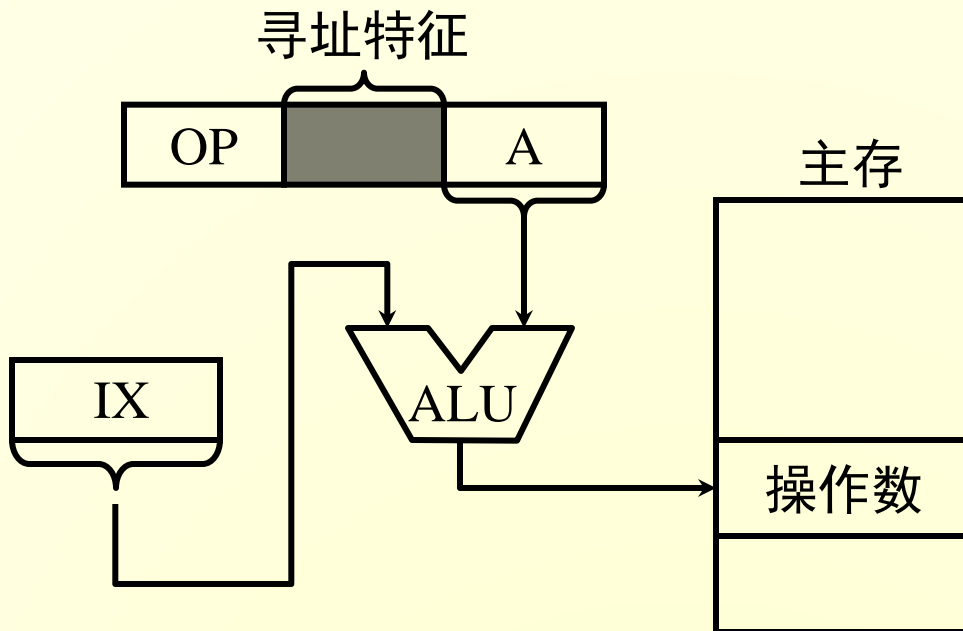


- 由用户指定哪个通用寄存器作为基址寄存器
- 基址寄存器的内容由操作系统确定
- 在程序的执行过程中 R₀ 内容不变，形式地址 A 可变

8. 变址寻址

$EA = (IX) + A$ IX 为变址寄存器（专用）

通用寄存器也可以作为变址寄存器



- 可扩大寻址范围
- IX 的内容由用户给定
- 在程序的执行过程中 IX 内容可变，形式地址 A 不变
- 便于处理数组问题

例 设数据块首地址为 D ，求 N 个数的平均值

直接寻址

LDA D

ADD $D + 1$

ADD $D + 2$

⋮

ADD $D + (N - 1)$

DIV $\# N$

STA ANS

共 $N + 2$ 条指令

变址寻址

LDA $\# 0$

LDX $\# 0$ X 为变址寄存器

ADD X, D D 为形式地址

INX $(X) + 1 \rightarrow X$

CPX $\# N$ (X) 和 $\# N$ 比较

BNE M 结果不为零则转

DIV $\# N$

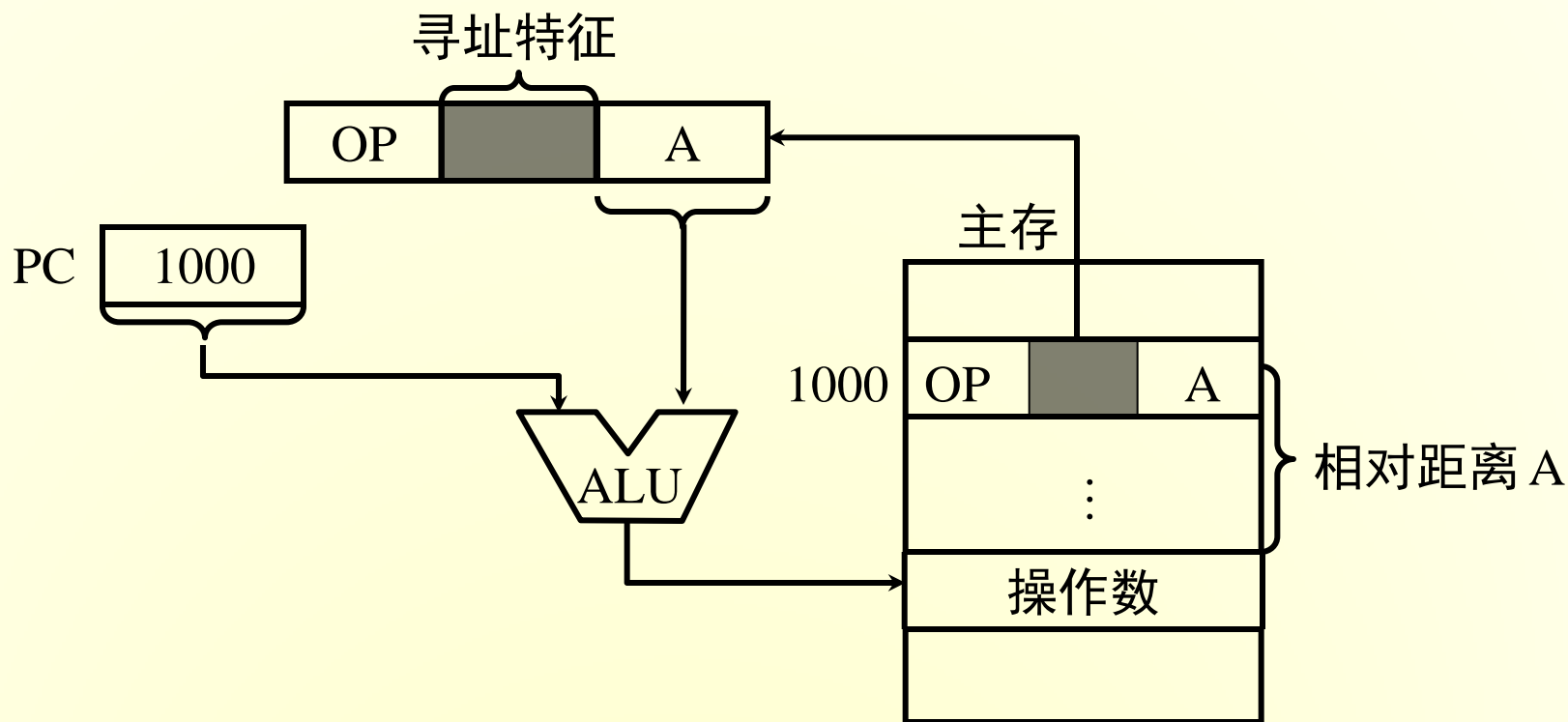
STA ANS

共 8 条指令

9. 相对寻址

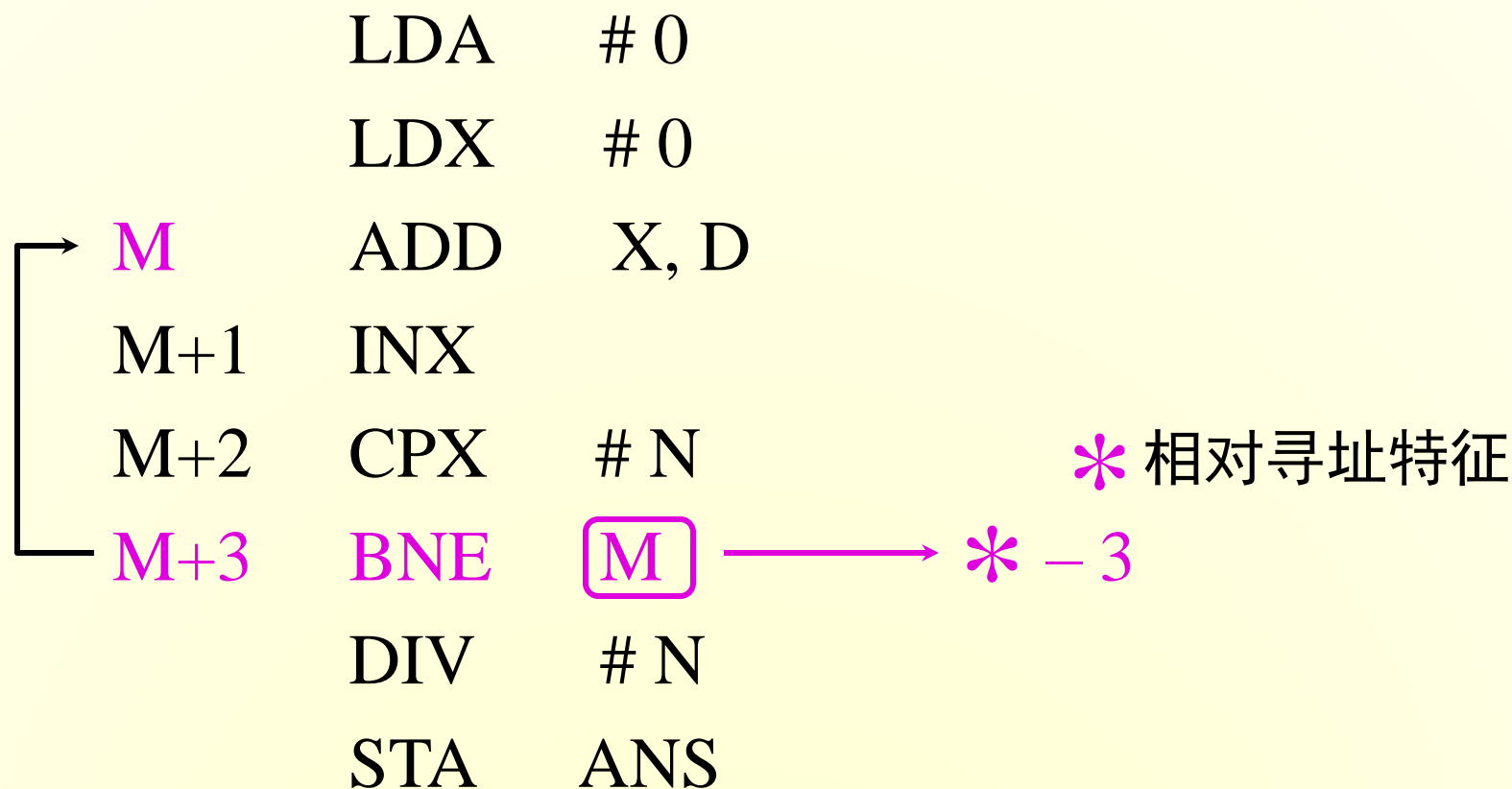
$$EA = (PC) + A$$

A 是相对于当前指令的位移量（可正可负，补码）



- A 的位数决定操作数的寻址范围
- 程序浮动
- 广泛用于转移指令

(1) 相对寻址举例



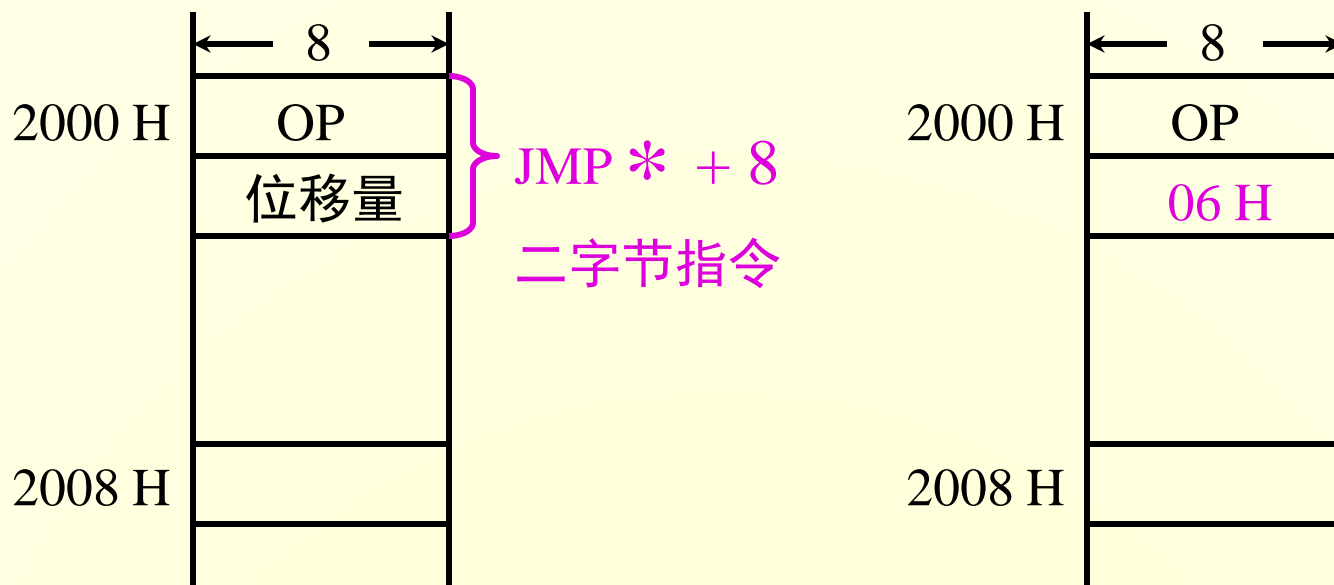
M 随程序所在存储空间的位置不同而不同

而指令 BNE * - 3 与指令 ADD X, D 相对位移量不变

指令 BNE * - 3 操作数的有效地址为

$$EA = (M+3) - 3 = M$$

(2) 按字节寻址的相对寻址举例



设 当前指令地址 $PC = 2000H$

转移后的目的地址为 $2008H$

因为 取出 $JMP * + 8$ 后 $PC = 2002H$

故 $JMP * + 8$ 指令 的第二字节为 $2008H - 2002H = 06H$

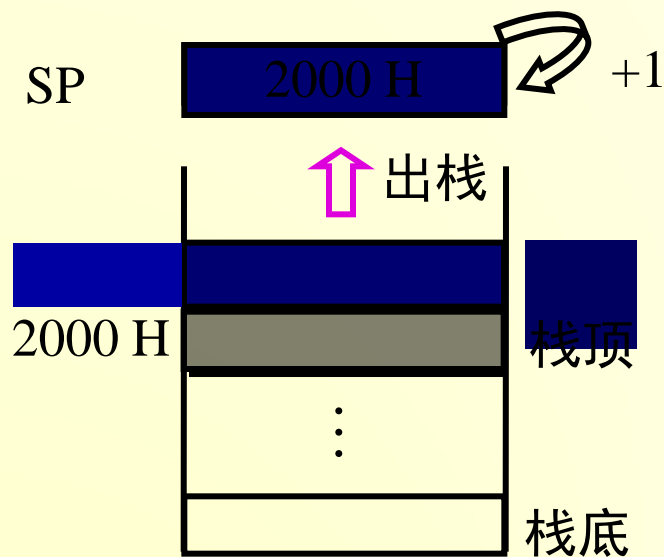
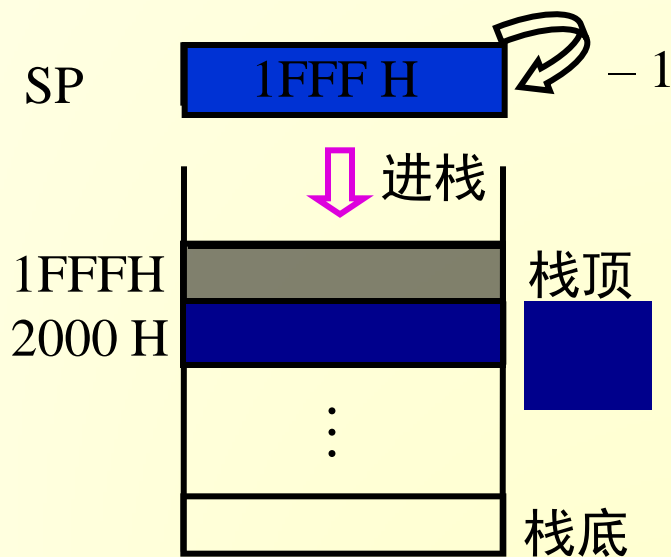
10. 堆栈寻址

(1) 堆栈的特点

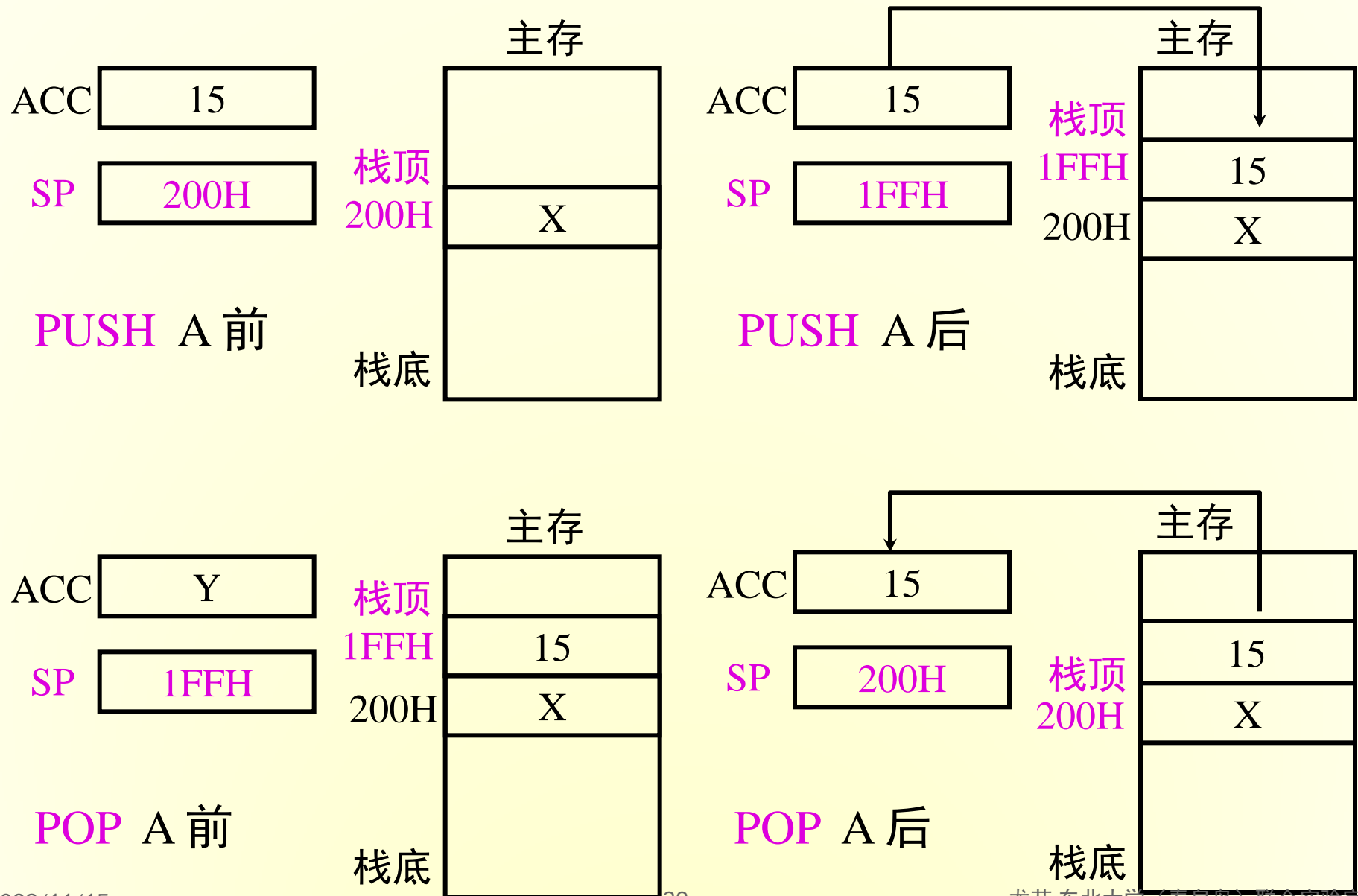
堆栈 { 硬堆栈 多个寄存器
 软堆栈 指定的存储空间

先进后出（一个入出口） 栈顶地址 由 SP 指出

进栈 $(SP) - 1 \rightarrow SP$ 出栈 $(SP) + 1 \rightarrow SP$



(2) 堆栈寻址举例



(3) SP 的修改与主存编址方法有关

① 按 字 编址

进栈 $(SP) - 1 \longrightarrow SP$

出栈 $(SP) + 1 \longrightarrow SP$

② 按 字节 编址

存储字长 16 位 进栈 $(SP) - 2 \longrightarrow SP$

出栈 $(SP) + 2 \longrightarrow SP$

存储字长 32 位 进栈 $(SP) - 4 \longrightarrow SP$

出栈 $(SP) + 4 \longrightarrow SP$

7.4 指令格式举例

一、设计指令格式时应考虑的各种因素

1. 指令系统的 **兼容性** （向上兼容）

2. 其他因素

操作类型

包括指令个数及操作的难易程度

数据类型

确定哪些数据类型可参与操作

指令格式

指令字长是否固定

操作码位数、是否采用扩展操作码技术，

地址码位数、地址个数、寻址方式类型

寻址方式

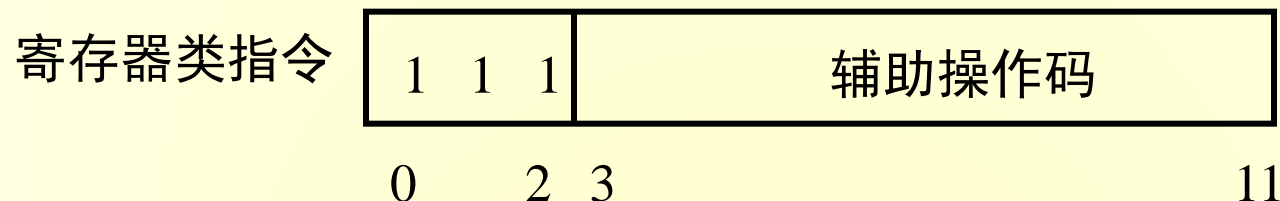
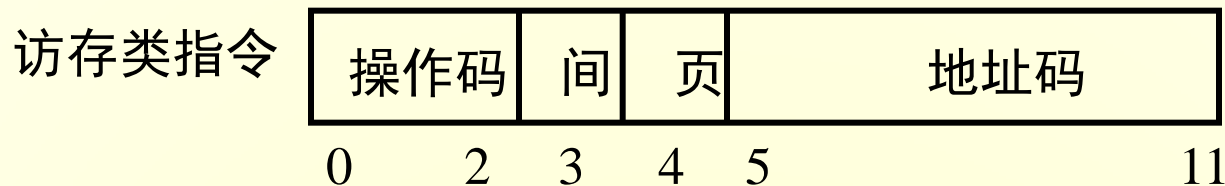
指令寻址、操作数寻址

寄存器个数

寄存器的多少直接影响指令的执行时间

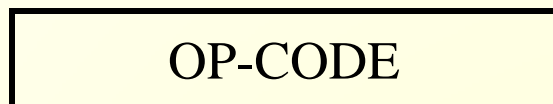
二、指令格式举例

1. PDP-8 指令字长固定 12 位



2. PDP – 11

指令字长有 16 位、32 位、48 位三种



16

零地址 (16 位)

扩展操作码技术



10

6

一地址 (16 位)

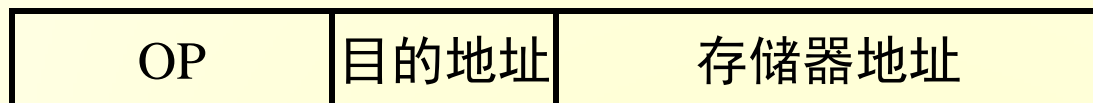


4

6

6

二地址 R – R (16 位)

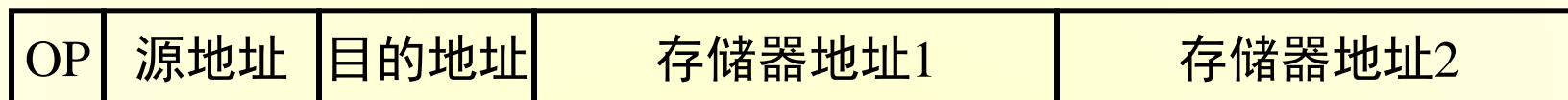


10

6

16

二地址 R – M (32 位)



4

6

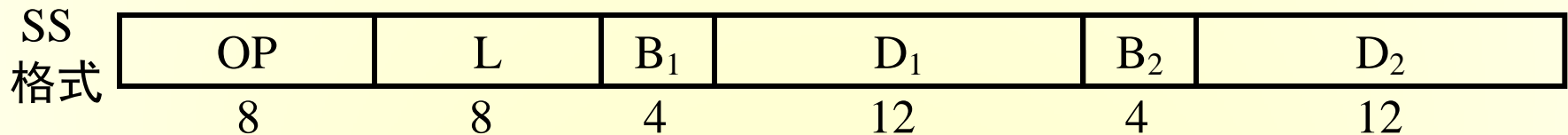
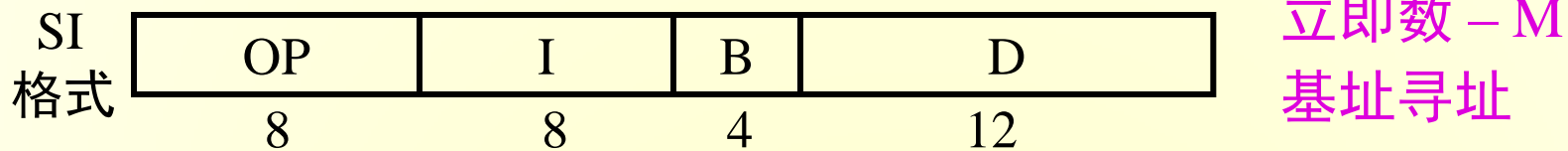
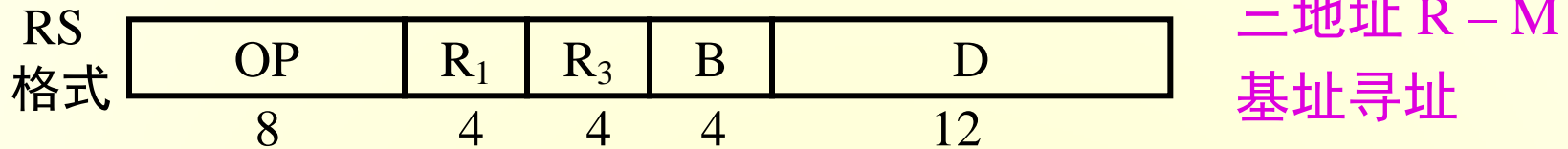
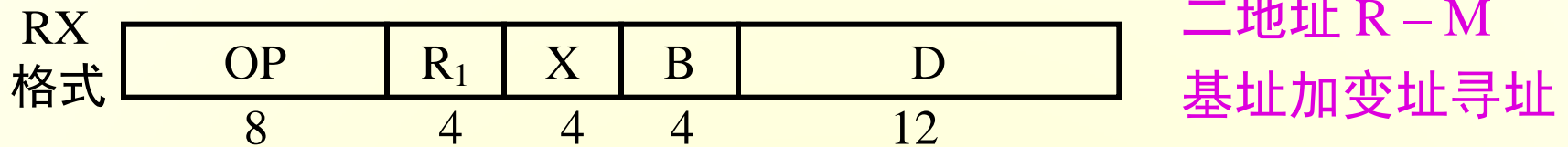
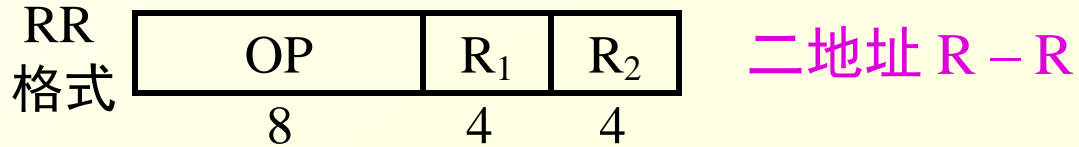
6

16

16

二地址 M – M (48 位)

3. IBM 360



4. Intel 8086

(1) 指令字长 1 ~ 6 个字节

INC AX 1 字节

MOV WORD PTR[0204], 0138H 6 字节

(2) 地址格式

零地址 NOP 1 字节

一地址 CALL 段间调用 5 字节

CALL 段内调用 3 字节

二地址 ADD AX, BX 2 字节 寄存器 – 寄存器

ADD AX, 3048H 3 字节 寄存器 – 立即数

ADD AX, [3048H] 4 字节 寄存器 – 存储器

例题1

- * 某机器字长16位，存储器直接寻址空间为128字，变址时位移量为-64~+63，16个通用寄存器均可作为变址寄存器。设计一套指令系统格式，满足下列寻址类型的要求：
 - * (1) 直接寻址的二地址指令3条；
 - * (2) 变址寻址的一地址指令6条；
 - * (3) 寄存器寻址的二地址指令8条；
 - * (4) 直接寻址的一地址指令12条；
 - * (5) 零地址指令64条。
- * 试问：还有多少种地址未用？若安排寄存器寻址的一地址指令，还能容纳多少条？

例题

OP (2)	A1 (7)	A2 (7)
--------	--------	--------

OP编码00~10

OP (5)	Rx (4)	A (7)
--------	--------	-------

OP编码使用11000~11101

OP (8)	Ri (4)	Rj (4)
--------	--------	--------

OP编码使用11110000~11110111

OP (9)	A (7)
--------	-------

编码使用111110000~111111011

OP (16)

1111111000000000~1111111000111111

(6)

还剩 $4 \times 2^7 - 64 = 448$ 个地址未使用

(7) 若安排寄存器寻址的一地址指令，还能安排**28**条。

例题2

- * 设某机配有基址寄存器和变址寄存器，采用一地址格式的指令系统，允许直接和间接寻址，且指令字长，机器字长和存储字长均为16位。
- * （1）若采用单字长指令，共能完成105种操作，则指令可直接寻址的范围是多少？一次间接寻址的寻址范围是多少？画出其指令格式并说明各字段的含义。
- * （2）若存储字长不变，可采用什么方法直接访问容量为16MB的主存？

例题3

- * 某模型机共有64种操作，操作码位数固定，且具有以下特点：
- * （1）采用一地址或二地址格式；
- * （2）有寄存器寻址、直接寻址和相对寻址（位移量-128~+127）三种寻址方式；
- * （3）有16个通用寄存器，算术运算和逻辑运算的操作数均在寄存器中；
- * （4）取数、存数指令在通用寄存器与存储器之间传送；
- * （5）存储容量1MB，按字节编址。
- * 要求设计算逻指令、取数/存数指令和相对转移指令格式，并简述理由。

7.5 RISC 技术

一、RISC 的产生和发展

RISC (Reduced Instruction Set Computer)

CISC (Complex Instruction Set Computer)

80 — 20 规律

—— RISC技术

- 典型程序中 80% 的语句仅仅使用处理机中 20% 的指令
- 执行频度高的简单指令，因复杂指令的存在，执行速度无法提高
- ? 能否用 20% 的简单指令组合不常用的 80% 的指令功能

二、RISC 的主要特征

- 选用使用频度较高的一些 简单指令，复杂指令的功能由简单指令来组合
- 指令 长度固定、指令格式种类少、寻址方式少
- 只有 LOAD / STORE 指令访存
- CPU 中有多个 通用 寄存器
- 采用 流水技术 一个时钟周期 内完成一条指令
- 采用 组合逻辑 实现控制器
- 采用 优化的 编译 程序

三、CISC 的主要特征

- 系统指令 复杂庞大，各种指令使用频度相差大
- 指令 长度不固定、指令格式种类多、寻址方式多
- 访存 指令 不受限制
- CPU 中设有 专用寄存器
- 大多数指令需要 多个时钟周期 执行完毕
- 采用 微程序 控制器
- 难以 用 优化编译 生成高效的代码

四、RISC和CISC 的比较

1. RISC更能 充分利用 VLSI 芯片的面积
2. RISC 更能 提高计算机运算速度
指令数、指令格式、寻址方式少，
通用 寄存器多，采用 组合逻辑，
便于实现 指令流水
3. RISC 便于设计，可 降低成本，提高 可靠性
4. RISC 有利于编译程序代码优化
5. RISC 不易 实现 指令系统兼容

