東北大學
Northeastern University

汇编语言程序设计

主讲：东北大学计算机学院　刘松冉

第八章 子程序设计

一. 子程序的引出

二. 子程序（过程）定义伪指令

三. 调用和返回指令

四. 子程序设计方法

五. 子程序嵌套

六. 递归子程序

七. 可重入子程序

八. 程序的连接

一. 子程序的引出

在我们编写解决实际问题的程序时，往往会遇到多处使用相同功能的程序段，使用该程序段的唯一差别是对程序变量赋不同的值，例如计算：

$$S = \sqrt{2X} + \sqrt{3Y} + \sqrt{144}$$

计算上述函数需要多次使用开方运算，如果每次用到开方运算就编写一段开方程序，那么开方程序在程序中会多次出现，不仅书写麻烦，容易出错，编辑、汇编它时，也会花费较多时间。同时，由于冗长，占用内存也较多。如果把多次使用的功能程序编制为一个独立的程序段，每当用到这种功能时，就将控制转向它，完成功能后再返回到原来的程序，这就会大大减少编程工作量。

一. 子程序的引出

使用子程序的好处：

1）简化了程序设计过程，减少了工作量，节省了时间；

2）源程序缩短，节省了机器汇编源程序的时间和存储目标代码的存储空间；

3）增加了源程序的可读性，便于调试维护；

4）有利于程序模块化、结构化和自顶向下的程序设计；

5）子程序一旦编制成功，在开发研制各种软件时都可利用，大大缩短了软件的开发周期。

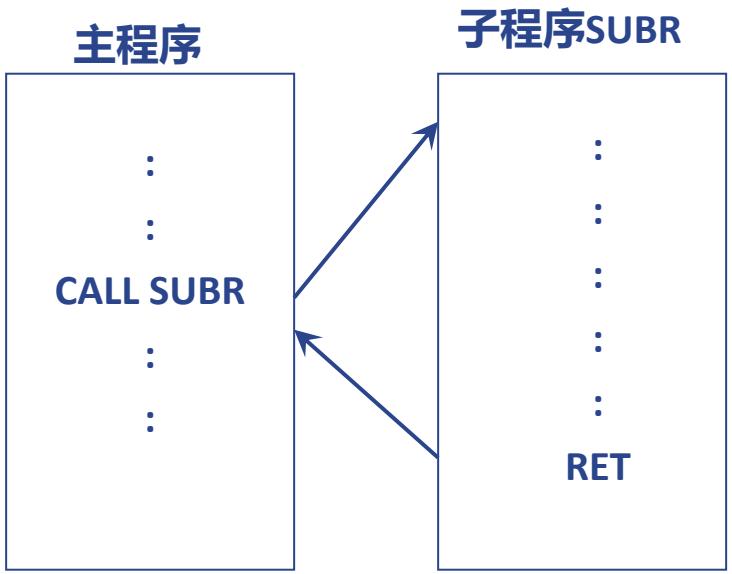
一. 子程序的引出

子程序设计需了解的问题：

1） 子程序的定义与调用：

设计出可以完成相对独立功能的程序段，并对汇编程序提供必要的信息，使得对该程序段汇编之后，在需要时可以被其他主程序调用，这一过程称为子程序的定义。

已定义的子程序在什么时候被执行，执行多少次，都不是由子程序自身决定的。在主程序需要调用相应的子程序时，可以用调用子程序指令使得相应子程序被执行。



2）主程序与子程序之间的调用与返回：

在主程序需要利用子程序的执行来完成某种工作时，就可以使用调用子程序指令来调用相应的子程序；在子程序完成它应该完成的工作之后，应当用返回指令返回调用它的主程序

二. 子程序(过程)定义伪指令

子程序定义伪指令所定义的子程序的一般格式：

```
PN    PROC [NEAR] / [FAR]        ；说明过程开始
        :                        ；过程体
        :
PN    ENDP                       ；说明过程结束
```

```
2   SQROOT1 PROC    NEAR
3           XOR AX, AX
4           AND DX, DX
5           JZ  SQRT2
6   SQRT1:  MOV BX, AX
7           SHL BX, 1
8           INC BX
9           SUB DX, BX
10          JC  SQRT2
11          INC AX
12          JMP SQRT1
13  SQRT2:  MOV DX, AX
14          RET
15  SQROOT1 ENDP
```

三. 调用和返回指令

1. 调用分类

1) 段内调用与段间调用

段内调用：调用和返回过程不涉及CS的变化，只通过IP内容的变化实现控制的转反。

段间调用：调用和返回过程涉及CS的变化，需要通过CS和IP内容的变化实现控制的转反。

注意：当子函数/过程和主程序在同一代码段时，可以把子函数定义为NEAR或FAR。当不在同一代码段时，只能定义为FAR。

2) 直接调用与间接调用

直接调用：当调用指令使用子函数/过程名调用时，调用是通过把该函数/过程的指令入口地址偏移量直接送入IP中或CS和IP中来实现的。

间接调用：当调用指令使用子函数/过程名调用时，通过某寄存器或某存储单元指出被调用子程序的入口地址时。

注意：在实际使用时，直接调用因为方便清楚而使用较为广泛。

2. 调用指令

- **指令汇编格式**: CALL PROCNAME/REGNAME/MEMLABEL
- **操作**:

1) 段内调用:
SP ← SP–2
(SP+1, SP) ← IP
IP ← OFFSET PROCNAME/REGNAME/MEMLABEL

2) 段间调用:
SP ← SP–2
(SP+1, SP) ← CS
CS ← SEG PROCNAME/REGNAME/MEMLABEL
SP ← SP–2
(SP+1, SP) ← IP
IP ← OFFSET PROCNAME/REGNAME/MEMLABEL

- **受影响的状态标志位**: 没有

3. 返回指令

- **指令汇编格式**: RET [VAL]
- **操作**:

1) 段内返回:
IP ← (SP+1, SP)
SP ← SP+2
SP ← SP + VAL (如果选用VAL)

2) 段间返回:
IP ← (SP+1, SP)
SP ← SP+2
CS ← (SP+1, SP)
SP ← SP+2
SP ← SP + VAL (如果选用VAL)

- **受影响的状态标志位**: 没有

四. 子程序设计方法

1. 现场的保护和恢复
2. 子程序说明文件
3. 主程序与子程序之间的参数传递

四. 子程序设计方法

1. 现场的保护和恢复

子程序中需要使用的寄存器，有可能在主程序中正被用来保存某种中间结果，这些寄存器的值在从子程序返回主程序后还要继续使用，这些寄存器的值或所需的标志位的值等信息称之为现场。显然，子程序执行前需要保护现场，返回时要恢复现场。

保存现场与恢复现场的工作既可在调用程序中完成，也可在子程序中完成，程序设计时根据情况安排。如果子程序已经设计好了，而其中未保护主程序现场，那么调用程序在使用子程序之前应保护现场，从子程序返回后再恢复现场。

通常在主程序中保护现场，则一定在主程序中恢复；在子程序中保护现场，则一定在子程序中恢复。这样可以增强主程序和子程序之间的相对独立性，减少相互依赖，使程序结构清楚，减少错误。

四. 子程序设计方法

1. 现场的保护和恢复

保护现场和恢复现场的方法：

1) **利用压栈和出栈指令**，将寄存器内容或状态标志位内容保存在堆栈中，恢复时再从堆栈中取出。

例子：

```
SQROOT1     PROC   NEAR
            PUSH   AX              ;保存现场
            PUSH   BX
            PUSH   CX
             ...                   ;子程序正常工作
            POP    CX              ;恢复现场
            POP    BX
            POP    AX
            RET
SQROOT1     ENDP
```

2) **利用内存单元**。用传送指令将寄存器的内容保存到指定的内存单元，恢复时再用传送指令取出。

2. 子程序说明文件

1) **子程序名**（子程序入口地址）：用过程（子程序）定义伪指令定义该过程（子程序）时的过程名，这时过程（子程序）中第一条语句必须是子程序的入口指令；否则应写子程序入口指令的标号或地址。

2) **子程序功能**：用自然语言或数学语言等形式简单清楚地描述子程序完成的任务。

3) **入口条件**：说明子程序要求有几个入口参数，这些参数表示的意义及存放位置。

4) **出口条件**：说明子程序有几个输出参数（运行结果），这些参数表示的意义、存放的位置。

5) **受影响的寄存器**：说明子程序运行后，哪些寄存器的内容被破坏了，以便使用者在调用该子程序之前注意保护现场。

子程序说明文件例子：

1) 子程序名：SQROOT1;
2) 程序功能：求双字节整数的平方根的整数部分;
3) 入口条件：被开方数放在DX中;
4) 出口条件：平方根在DX中;
5) 受影响的寄存器：AX,BX,CX,DX及标志寄存器F。

3. 主程序与子程序之间的参数传递

子程序运行时所需的加工对象应由调用程序提供，处理的结果应提供调用程序使用，二者之间要进行信息交换或者说相互之间要传递参数。

常用的传送方法有四种：

1) 约定寄存器法；
2) 约定存储单元法；
3) 堆栈法；
4) 约定参数地址指针法。

3. 主程序与子程序之间的参数传递

例：编写程序计算下述函数。其中X，Y为整数字数据，且存于PX和PY单元，计算结果存入RLT单元。

$$S = \sqrt{2X} + \sqrt{3Y} + \sqrt{144}$$

3. 主程序与子程序之间的参数传递 — 约定寄存器法

例：编写程序计算下述函数。其中X，Y为整数字数据，且存于PX和PY单元，计算结果存入RLT单元。

$$S = \sqrt{2X} + \sqrt{3Y} + \sqrt{144}$$

约定寄存器法传送参数，即事先约定一些存放参数的通用寄存器，调用程序转向子程序时，先把要传送的参数放到约定好的寄存器中，子程序工作时，从约定的寄存器中取参数，然后把结果存入事先约定的寄存器中，调用程序再从约定的寄存器中取结果。这种方法是程序设计中最常用、最简单、最方便的方法，在传送参数不多的情况下都采用此方法。

3. 主程序与子程序之间的参数传递 — 约定寄存器法

例：编写程序计算下述函数。其中X，Y为整数字数据，且存于PX和PY单元，计算结果存入RLT单元。

$$S = \sqrt{2X} + \sqrt{3Y} + \sqrt{144}$$

开平方子程序和调用程序，约定将被开平方数放在DX中，平方根也放在DX中，其结果求得平方根的整数部分。

```
2   SQROOT1 PROC    NEAR
3           XOR AX, AX          ;i←0
4           AND DX, DX          ;测试被开方数
5           JZ  SQRT2           ;被开方数为0
6   SQRT1:  MOV BX, AX          ;形成奇数
7           SHL BX, 1
8           INC BX
9           SUB DX, BX          ;被开方数减去奇数
10          JC  SQRT2           ;不够减
11          INC AX              ;够减,i增1
12          JMP SQRT1           ;继续
13  SQRT2:  MOV DX, AX          ;DX←平方根
14          RET                 ;返回
15  SQROOT1 ENDP
```

子函数

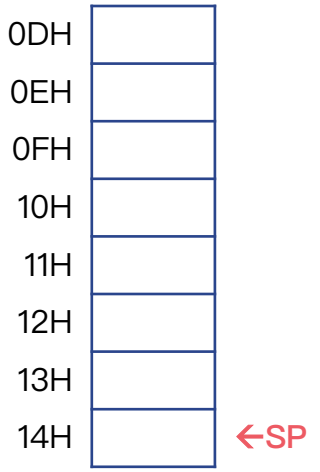
四. 子程序设计方法

3. 主程序与子程序之间的参数传递 — 约定寄存器法

```
SSEG    SEGMENT     STACK
STKTOP  DB      20 DUP(0)
SSEG    ENDS

DSEG    SEGMENT
PX      DW      12345
PY      DW      2469
RLT     DW      0
DSEG    ENDS

CSEG    SEGMENT
        ASSUME  CS:CSEG, DS:DSEG
        ASSUME  SS:SSEG
MAIN1:  MOV     AX, DSEG
        MOV     DS, AX
        MOV     AX, SSEG
        MOV     SS, AX
        MOV     SP,SIZE STKTOP
```



堆栈状态

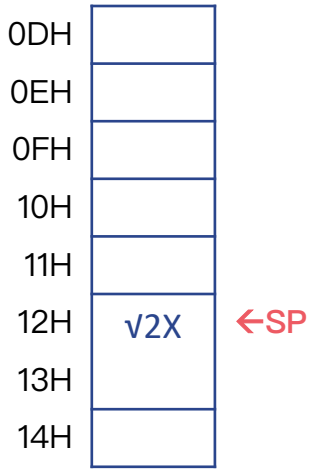
四. 子程序设计方法

3. 主程序与子程序之间的参数传递 — 约定寄存器法

```
20          MOV     DX, PX          ;取X
21          ADD     DX, DX          ;计算2X
22          CALL    SQROOT1         ;调用开平方子程序
23          PUSH    DX              ;暂存结果√2X
24          MOV     DX, PY          ;取Y
25          MOV     AX, DX          ;计算3Y
26          ADD     DX, DX
27          ADD     DX, AX
28          CALL    SQROOT1         ;调用开平方子程序
29          POP     AX              ;取出√2X
30          ADD     AX, DX          ;计算√2X+√3Y
31          PUSH    AX              ;暂存结果
32          MOV     DX, 150
33          CALL    SQROOT1
34          POP     AX              ;取出中间结果
35          ADD     AX, DX          ;计算最终结果
36          MOV     RLT, AX         ;保存结果
37          MOV     AH, 4CH
38          INT     21H
39  CSEG    ENDS
40          END     MAIN1
```

```
 2  SQROOT1 PROC    NEAR
 3          XOR AX, AX
 4          AND DX, DX
 5          JZ  SQRT2
 6  SQRT1:  MOV BX, AX
 7          SHL BX, 1
 8          INC BX
 9          SUB DX, BX
10          JC  SQRT2
11          INC AX
12          JMP SQRT1
13  SQRT2:  MOV DX, AX
14          RET
15  SQROOT1 ENDP
```

子函数



堆栈状态

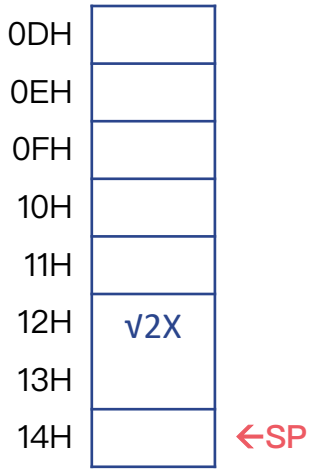
四. 子程序设计方法

3. 主程序与子程序之间的参数传递 — 约定寄存器法

```
20          MOV     DX, PX          ;取X
21          ADD     DX, DX          ;计算2X
22          CALL    SQROOT1         ;调用开平方子程序
23          PUSH    DX              ;暂存结果√2X
24          MOV     DX, PY          ;取Y
25          MOV     AX, DX          ;计算3Y
26          ADD     DX, DX
27          ADD     DX, AX
28          CALL    SQROOT1         ;调用开平方子程序
29          POP     AX              ;取出√2X
30          ADD     AX, DX          ;计算√2X+√3Y
31          PUSH    AX              ;暂存结果
32          MOV     DX, 150
33          CALL    SQROOT1
34          POP     AX              ;取出中间结果
35          ADD     AX, DX          ;计算最终结果
36          MOV     RLT, AX         ;保存结果
37          MOV     AH, 4CH
38          INT     21H
39  CSEG    ENDS
40          END     MAIN1
```

```
 2  SQROOT1 PROC    NEAR
 3          XOR AX, AX
 4          AND DX, DX
 5          JZ  SQRT2
 6  SQRT1:  MOV BX, AX
 7          SHL BX, 1
 8          INC BX
 9          SUB DX, BX
10          JC  SQRT2
11          INC AX
12          JMP SQRT1
13  SQRT2:  MOV DX, AX
14          RET
15  SQROOT1 ENDP
```

子函数



堆栈状态

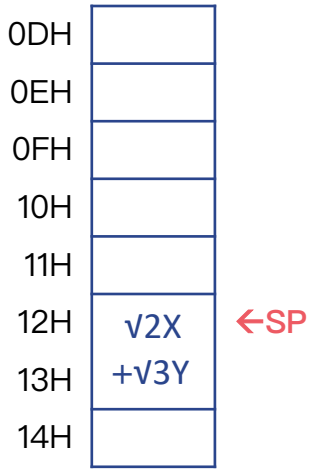
四. 子程序设计方法

3. 主程序与子程序之间的参数传递 — 约定寄存器法

```
20          MOV     DX, PX          ;取X
21          ADD     DX, DX          ;计算2X
22          CALL    SQROOT1         ;调用开平方子程序
23          PUSH    DX              ;暂存结果√2X
24          MOV     DX, PY          ;取Y
25          MOV     AX, DX          ;计算3Y
26          ADD     DX, DX
27          ADD     DX, AX
28          CALL    SQROOT1         ;调用开平方子程序
29          POP     AX              ;取出√2X
30          ADD     AX, DX          ;计算√2X+√3Y
31          PUSH    AX              ;暂存结果
32          MOV     DX, 150
33          CALL    SQROOT1
34          POP     AX              ;取出中间结果
35          ADD     AX, DX          ;计算最终结果
36          MOV     RLT, AX         ;保存结果
37          MOV     AH, 4CH
38          INT     21H
39  CSEG    ENDS
40          END     MAIN1
```

```
 2  SQROOT1 PROC    NEAR
 3          XOR AX, AX
 4          AND DX, DX
 5          JZ  SQRT2
 6  SQRT1:  MOV BX, AX
 7          SHL BX, 1
 8          INC BX
 9          SUB DX, BX
10          JC  SQRT2
11          INC AX
12          JMP SQRT1
13  SQRT2:  MOV DX, AX
14          RET
15  SQROOT1 ENDP
```

子函数



堆栈状态

3. 主程序与子程序之间的参数传递 — 约定存储单元

例：编写程序计算下述函数。其中X，Y为整数字数据，且存于PX和PY单元，计算结果存入RLT单元。约定被开方数放在ARGX单元，计算结果放入ROOT单元。

$$S=\sqrt{2X}+\sqrt{3Y}+\sqrt{144}$$

约定存储单元法传送参数，即事先约定一些存放参数的内存单元，调用程序转向子程序时，先把要传送的参数放到约定好的内存单元中，子程序工作时，从约定的内存单元中取参数，然后把结果存入事先约定的内存单元中，调用程序再从约定的内存单元中取结果。

四. 子程序设计方法

3. 主程序与子程序之间的参数传递 — 约定存储单元

例：编写程序计算下述函数。其中X，Y为整数字数据，且存于PX和PY单元，计算结果存入RLT单元。约定被开方数放在ARGX单元，计算结果放入ROOT单元。

```
SQROOT1 PROC    NEAR
        XOR AX, AX          ;i←0
        AND DX, DX          ;测试被开方数
        JZ  SQRT2           ;被开方数为0
SQRT1:  MOV BX, AX          ;形成奇数
        SHL BX, 1
        INC BX
        SUB DX, BX          ;被开方数减去奇数
        JC  SQRT2           ;不够减
        INC AX              ;够减,i增1
        JMP SQRT1           ;继续
SQRT2:  MOV DX, AX          ;DX←平方根
        RET                 ;返回
SQROOT1 ENDP
```

MOV DX, ARGX

MOV DX, ARGX

四. 子程序设计方法

3. 主程序与子程序之间的参数传递 — 约定存储单元法

```
;*****EXAM8.1.2*****
SSEG    SEGMENT     STACK
STKTOP  DB      20 DUP(0)
SSEG    ENDS

DSEG    SEGMENT
PX      DW      12345
PY      DW      2469
RLT     DW      0
ARGX    DW      0
ROOT    DW      0
DSEG    ENDS

CSEG    SEGMENT
        ASSUME  CS:CSEG, DS:DSEG
        ASSUME  SS:SSEG

SQROOT2 PROC    NEAR…

MAIN1:  MOV     AX, DSEG
        MOV     DS, AX
        MOV     AX, SSEG
        MOV     SS, AX
        MOV     SP,SIZE STKTOP
        MOV     DX, PX          ;取X
        ADD     DX, DX          ;计算2X
        MOV     ARGX, DX        ;存储至ARGX内存单元
        CALL    SQROOT2         ;调用开平方子程序
        PUSH    ROOT            ;暂存结果√2X
        MOV     DX, PY          ;取Y
        MOV     AX, DX          ;计算3Y
        ADD     DX, DX
        ADD     DX, AX
        MOV     ARGX, DX        ;存储至ARGX内存单元
        CALL    SQROOT2         ;调用开平方子程序
        POP     AX              ;取出√2X
        ADD     AX, ROOT        ;计算√2X+√3Y
        PUSH    AX              ;暂存结果
        MOV     ARGX, 150
        CALL    SQROOT2
        POP     AX              ;取出中间结果
        ADD     AX, ROOT        ;计算最终结果
        MOV     RLT, AX         ;保存结果
        MOV     AH, 4CH
        INT     21H
CSEG    ENDS
        END     MAIN1
```

四. 子程序设计方法

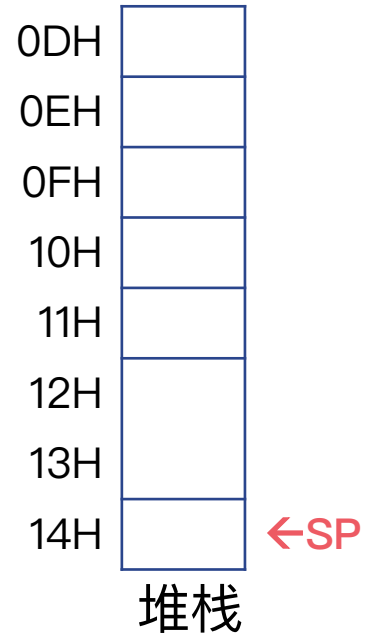
3. 主程序与子程序之间的参数传递 — 堆栈法

例：编写程序计算下述函数。其中X，Y为整数字数据，且存于PX和PY单元，计算结果存入RLT单元。通过堆栈的方式传递参数和返回值。

堆栈法传送参数是调用程序先将参数压入堆栈，子程序从堆栈中把参数取出，进行处理，然后把结果压入堆栈，调用程序再从堆栈中取出结果。

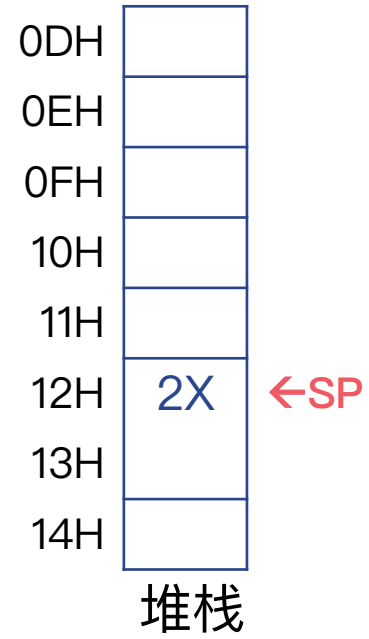
```
18  SQROOT3 PROC    NEAR
19          INC     SP
20          INC     SP
21          POP     DX
22          XOR     AX, AX          ;i←0
23          AND     DX, DX          ;测试被开方数
24          JZ      SQRT2           ;被开方数为0
25  SQRT1:  MOV     BX, AX          ;形成奇数
26          SHL     BX, 1
27          INC     BX
28          SUB     DX, BX          ;被开方数减去奇数
29          JC      SQRT2           ;不够减
30          INC     AX              ;够减,i增1
31          JMP     SQRT1           ;继续
32  SQRT2:  PUSH    AX              ;DX←平方根
33          DEC     SP
34          DEC     SP
35          RET                     ;返回
36  SQROOT3 ENDP
```

```
MAIN1:  MOV     AX, DSEG
        MOV     DS, AX
        MOV     AX, SSEG
        MOV     SS, AX
        MOV     SP, SIZE STKTOP
        MOV     DX, PX          ;取X
        ADD     DX, DX          ;计算2X
        PUSH    DX              ;NOTE:
        CALL    SQROOT3         ;调用开平方子程序
        MOV     DX, PY          ;取Y
        MOV     AX, DX          ;计算3Y
        ADD     DX, DX
        ADD     DX, AX
        PUSH    DX              ;NOTE:
        CALL    SQROOT3         ;调用开平方子程序
        POP     DX              ;NOTE:
        POP     AX              ;NOTE:
        ADD     AX, DX          ;计算√2X+√3Y
        PUSH    AX              ;暂存结果
        MOV     DX, 150
        PUSH    DX              ;NOTE:
        CALL    SQROOT3
        POP     DX              ;取出中间结果
        POP     AX
        ADD     AX, DX      ;计算最终结果
        MOV     RLT, AX         ;保存结果
        MOV     AH, 4CH
        INT     21H
CSEG    ENDS
        END     MAIN1
```




```
SQROOT3 PROC    NEAR
        INC     SP
        INC     SP
        POP     DX
        XOR     AX, AX      ;i←0
        AND     DX, DX      ;测试被开方数
        JZ      SQRT2       ;被开方数为0
SQRT1:  MOV     BX, AX      ;形成奇数
        SHL     BX, 1
        INC     BX
        SUB     DX, BX      ;被开方数减去奇数
        JC      SQRT2       ;不够减
        INC     AX          ;够减,i增1
        JMP     SQRT1       ;继续
SQRT2:  PUSH    AX          ;DX←平方根
        DEC     SP
        DEC     SP
        RET                 ;返回
SQROOT3 ENDP
```

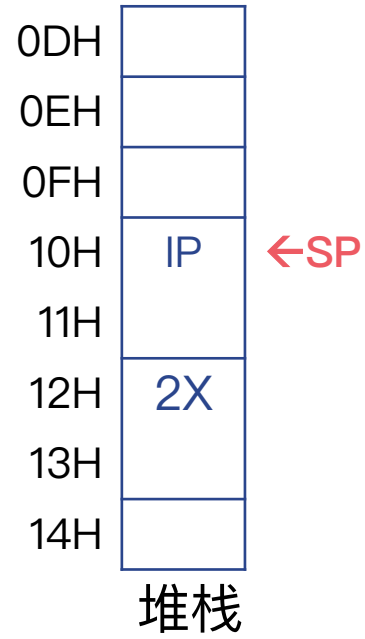
```
MAIN1:  MOV     AX, DSEG
        MOV     DS, AX
        MOV     AX, SSEG
        MOV     SS, AX
        MOV     SP, SIZE STKTOP
        MOV     DX, PX              ;取X
        ADD     DX, DX              ;计算2X
        PUSH    DX                  ;NOTE:
        CALL    SQROOT3             ;调用开平方子程序
        MOV     DX, PY              ;取Y
        MOV     AX, DX              ;计算3Y
        ADD     DX, DX
        ADD     DX, AX
        PUSH    DX                  ;NOTE:
        CALL    SQROOT3             ;调用开平方子程序
        POP     DX                  ;NOTE:
        POP     AX                  ;NOTE:
        ADD     AX, DX              ;计算√2X+√3Y
        PUSH    AX                  ;暂存结果
        MOV     DX, 150
        PUSH    DX                  ;NOTE:
        CALL    SQROOT3
        POP     DX                  ;取出中间结果
        POP     AX
        ADD     AX, DX          ;计算最终结果
        MOV     RLT, AX             ;保存结果
        MOV     AH, 4CH
        INT     21H
CSEG    ENDS
        END     MAIN1
```



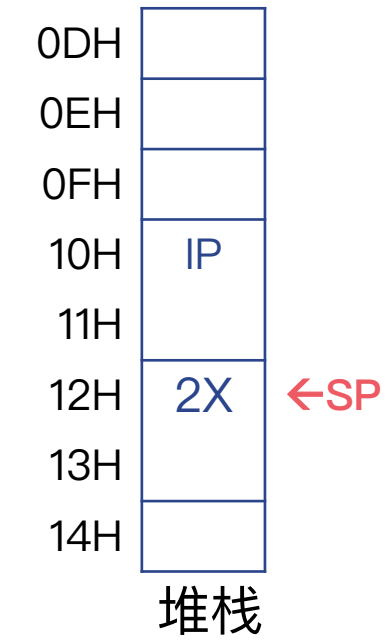

```
SQROOT3 PROC    NEAR
        INC     SP
        INC     SP
        POP     DX
        XOR     AX, AX          ;i←0
        AND     DX, DX          ;测试被开方数
        JZ      SQRT2           ;被开方数为0
SQRT1:  MOV     BX, AX          ;形成奇数
        SHL     BX, 1
        INC     BX
        SUB     DX, BX          ;被开方数减去奇数
        JC      SQRT2           ;不够减
        INC     AX              ;够减,i增1
        JMP     SQRT1           ;继续
SQRT2:  PUSH    AX              ;DX←平方根
        DEC     SP
        DEC     SP
        RET                     ;返回
SQROOT3 ENDP
```

```
36  MAIN1:  MOV     AX, DSEG
37          MOV     DS, AX
38          MOV     AX, SSEG
39          MOV     SS, AX
40          MOV     SP, SIZE STKTOP
41          MOV     DX, PX              ;取X
42          ADD     DX, DX              ;计算2X
43          PUSH    DX                  ;NOTE:
44          CALL    SQROOT3             ;调用开平方子程序
45          MOV     DX, PY              ;取Y
46          MOV     AX, DX              ;计算3Y
47          ADD     DX, DX
48          ADD     DX, AX
49          PUSH    DX                  ;NOTE:
50          CALL    SQROOT3             ;调用开平方子程序
51          POP     DX                  ;NOTE:
52          POP     AX                  ;NOTE:
53          ADD     AX, DX              ;计算√2X+√3Y
54          PUSH    AX                  ;暂存结果
55          MOV     DX, 150
56          PUSH    DX                  ;NOTE:
57          CALL    SQROOT3
58          POP     DX                  ;取出中间结果
59          POP     AX
60          ADD     AX, DX          ;计算最终结果
61          MOV     RLT, AX             ;保存结果
62          MOV     AH, 4CH
63          INT     21H
64  CSEG    ENDS
65          END     MAIN1
```

```
16  SQROOT3 PROC    NEAR
17          INC     SP
18          INC     SP
19          POP     DX
20          XOR     AX, AX          ;i←0
21          AND     DX, DX          ;测试被开方数
22          JZ      SQRT2           ;被开方数为0
23  SQRT1:  MOV     BX, AX          ;形成奇数
24          SHL     BX, 1
25          INC     BX
26          SUB     DX, BX          ;被开方数减去奇数
27          JC      SQRT2           ;不够减
28          INC     AX              ;够减,i增1
29          JMP     SQRT1           ;继续
30  SQRT2:  PUSH    AX              ;DX←平方根
31          DEC     SP
32          DEC     SP
33          RET                     ;返回
34  SQROOT3 ENDP
```



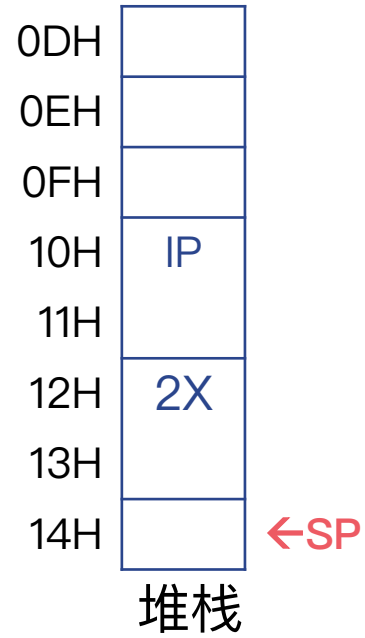
```
36  MAIN1:  MOV     AX, DSEG
37          MOV     DS, AX
38          MOV     AX, SSEG
39          MOV     SS, AX
40          MOV     SP, SIZE STKTOP
41          MOV     DX, PX              ;取X
42          ADD     DX, DX              ;计算2X
43          PUSH    DX                  ;NOTE:
44          CALL    SQROOT3             ;调用开平方子程序
45          MOV     DX, PY              ;取Y
46          MOV     AX, DX              ;计算3Y
47          ADD     DX, DX
48          ADD     DX, AX
49          PUSH    DX                  ;NOTE:
50          CALL    SQROOT3             ;调用开平方子程序
51          POP     DX                  ;NOTE:
52          POP     AX                  ;NOTE:
53          ADD     AX, DX              ;计算√2X+√3Y
54          PUSH    AX                  ;暂存结果
55          MOV     DX, 150
56          PUSH    DX                  ;NOTE:
57          CALL    SQROOT3
58          POP     DX                  ;取出中间结果
59          POP     AX
60          ADD     AX, DX          ;计算最终结果
61          MOV     RLT, AX             ;保存结果
62          MOV     AH, 4CH
63          INT     21H
64  CSEG    ENDS
65          END     MAIN1
```



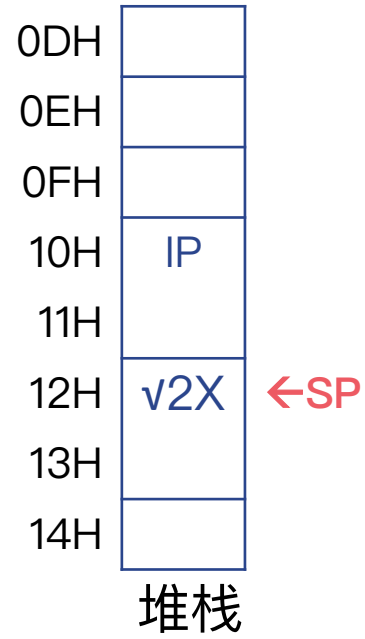

```
16  SQROOT3 PROC    NEAR
17          INC     SP
18          INC     SP
19          POP     DX
20          XOR     AX, AX          ;i←0
21          AND     DX, DX          ;测试被开方数
22          JZ      SQRT2           ;被开方数为0
23  SQRT1:  MOV     BX, AX          ;形成奇数
24          SHL     BX, 1
25          INC     BX
26          SUB     DX, BX          ;被开方数减去奇数
27          JC      SQRT2           ;不够减
28          INC     AX              ;够减,i增1
29          JMP     SQRT1           ;继续
30  SQRT2:  PUSH    AX              ;DX←平方根
31          DEC     SP
32          DEC     SP
33          RET                     ;返回
34  SQROOT3 ENDP
```

```
36  MAIN1:  MOV     AX, DSEG
37          MOV     DS, AX
38          MOV     AX, SSEG
39          MOV     SS, AX
40          MOV     SP, SIZE STKTOP
41          MOV     DX, PX              ;取X
42          ADD     DX, DX              ;计算2X
43          PUSH    DX                  ;NOTE:
44          CALL    SQROOT3             ;调用开平方子程序
45          MOV     DX, PY              ;取Y
46          MOV     AX, DX              ;计算3Y
47          ADD     DX, DX
48          ADD     DX, AX
49          PUSH    DX                  ;NOTE:
50          CALL    SQROOT3             ;调用开平方子程序
51          POP     DX                  ;NOTE:
52          POP     AX                  ;NOTE:
53          ADD     AX, DX              ;计算√2X+√3Y
54          PUSH    AX                  ;暂存结果
55          MOV     DX, 150
56          PUSH    DX                  ;NOTE:
57          CALL    SQROOT3
58          POP     DX                  ;取出中间结果
59          POP     AX
60          ADD     AX, DX          ;计算最终结果
61          MOV     RLT, AX             ;保存结果
62          MOV     AH, 4CH
63          INT     21H
64  CSEG    ENDS
65          END     MAIN1
```

```
16  SQROOT3 PROC    NEAR
17          INC     SP
18          INC     SP
19          POP     DX
20          XOR     AX, AX          ;i←0
21          AND     DX, DX          ;测试被开方数
22          JZ      SQRT2           ;被开方数为0
23  SQRT1:  MOV     BX, AX          ;形成奇数
24          SHL     BX, 1
25          INC     BX
26          SUB     DX, BX          ;被开方数减去奇数
27          JC      SQRT2           ;不够减
28          INC     AX              ;够减,i增1
29          JMP     SQRT1           ;继续
30  SQRT2:  PUSH    AX              ;DX←平方根
31          DEC     SP
32          DEC     SP
33          RET                     ;返回
34  SQROOT3 ENDP
```

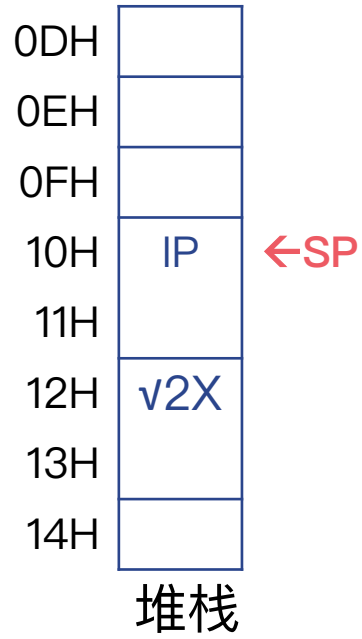


```
36  MAIN1:  MOV     AX, DSEG
37          MOV     DS, AX
38          MOV     AX, SSEG
39          MOV     SS, AX
40          MOV     SP, SIZE STKTOP
41          MOV     DX, PX          ;取X
42          ADD     DX, DX          ;计算2X
43          PUSH    DX              ;NOTE:
44          CALL    SQROOT3         ;调用开平方子程序
45          MOV     DX, PY          ;取Y
46          MOV     AX, DX          ;计算3Y
47          ADD     DX, DX
48          ADD     DX, AX
49          PUSH    DX              ;NOTE:
50          CALL    SQROOT3         ;调用开平方子程序
51          POP     DX              ;NOTE:
52          POP     AX              ;NOTE:
53          ADD     AX, DX          ;计算√2X+√3Y
54          PUSH    AX              ;暂存结果
55          MOV     DX, 150
56          PUSH    DX              ;NOTE:
57          CALL    SQROOT3
58          POP     DX              ;取出中间结果
59          POP     AX
60          ADD     AX, DX      ;计算最终结果
61          MOV     RLT, AX         ;保存结果
62          MOV     AH, 4CH
63          INT     21H
64  CSEG    ENDS
65          END     MAIN1
```



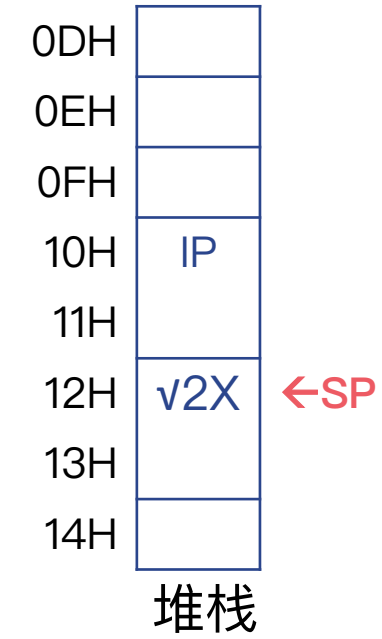

```
16  SQROOT3 PROC    NEAR
17          INC     SP
18          INC     SP
19          POP     DX
20          XOR     AX, AX      ;i←0
21          AND     DX, DX      ;测试被开方数
22          JZ      SQRT2       ;被开方数为0
23  SQRT1:  MOV     BX, AX      ;形成奇数
24          SHL     BX, 1
25          INC     BX
26          SUB     DX, BX      ;被开方数减去奇数
27          JC      SQRT2       ;不够减
28          INC     AX          ;够减,i增1
29          JMP     SQRT1       ;继续
30  SQRT2:  PUSH    AX          ;DX←平方根
31          DEC     SP
32          DEC     SP
33          RET                 ;返回
34  SQROOT3 ENDP
```

```
MAIN1:  MOV     AX, DSEG
        MOV     DS, AX
        MOV     AX, SSEG
        MOV     SS, AX
        MOV     SP, SIZE STKTOP
        MOV     DX, PX              ;取X
        ADD     DX, DX              ;计算2X
        PUSH    DX                  ;NOTE:
        CALL    SQROOT3             ;调用开平方子程序
        MOV     DX, PY              ;取Y
        MOV     AX, DX              ;计算3Y
        ADD     DX, DX
        ADD     DX, AX
        PUSH    DX                  ;NOTE:
        CALL    SQROOT3             ;调用开平方子程序
        POP     DX                  ;NOTE:
        POP     AX                  ;NOTE:
        ADD     AX, DX              ;计算√2X+√3Y
        PUSH    AX                  ;暂存结果
        MOV     DX, 150
        PUSH    DX                  ;NOTE:
        CALL    SQROOT3
        POP     DX                  ;取出中间结果
        POP     AX
        ADD     AX, DX          ;计算最终结果
        MOV     RLT, AX             ;保存结果
        MOV     AH, 4CH
        INT     21H
CSEG    ENDS
        END     MAIN1
```




```
SQROOT3 PROC    NEAR
        INC     SP
        INC     SP
        POP     DX
        XOR     AX, AX          ;i←0
        AND     DX, DX          ;测试被开方数
        JZ      SQRT2           ;被开方数为0
SQRT1:  MOV     BX, AX          ;形成奇数
        SHL     BX, 1
        INC     BX
        SUB     DX, BX          ;被开方数减去奇数
        JC      SQRT2           ;不够减
        INC     AX              ;够减,i增1
        JMP     SQRT1           ;继续
SQRT2:  PUSH    AX              ;DX←平方根
        DEC     SP
        DEC     SP
        RET                     ;返回
SQROOT3 ENDP
```

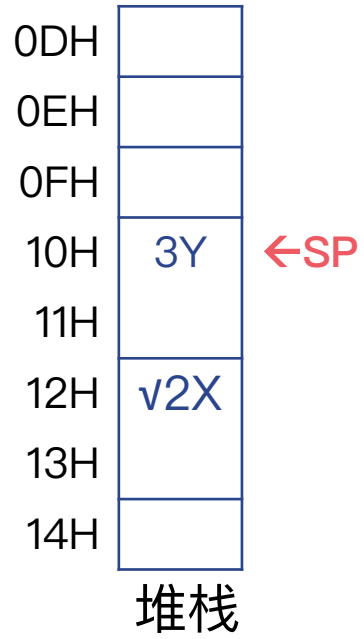
```
36  MAIN1:  MOV     AX, DSEG
37          MOV     DS, AX
38          MOV     AX, SSEG
39          MOV     SS, AX
40          MOV     SP, SIZE STKTOP
41          MOV     DX, PX              ;取X
42          ADD     DX, DX              ;计算2X
43          PUSH    DX                  ;NOTE:
44          CALL    SQROOT3             ;调用开平方子程序
45          MOV     DX, PY              ;取Y
46          MOV     AX, DX              ;计算3Y
47          ADD     DX, DX
48          ADD     DX, AX
49          PUSH    DX                  ;NOTE:
50          CALL    SQROOT3             ;调用开平方子程序
51          POP     DX                  ;NOTE:
52          POP     AX                  ;NOTE:
53          ADD     AX, DX              ;计算√2X+√3Y
54          PUSH    AX                  ;暂存结果
55          MOV     DX, 150
56          PUSH    DX                  ;NOTE:
57          CALL    SQROOT3
58          POP     DX                  ;取出中间结果
59          POP     AX
60          ADD     AX, DX          ;计算最终结果
61          MOV     RLT, AX             ;保存结果
62          MOV     AH, 4CH
63          INT     21H
64  CSEG    ENDS
65          END     MAIN1
```




```
16  SQROOT3 PROC    NEAR
17          INC     SP
18          INC     SP
19          POP     DX
20          XOR     AX, AX          ;i←0
21          AND     DX, DX          ;测试被开方数
22          JZ      SQRT2           ;被开方数为0
23  SQRT1:  MOV     BX, AX          ;形成奇数
24          SHL     BX, 1
25          INC     BX
26          SUB     DX, BX          ;被开方数减去奇数
27          JC      SQRT2           ;不够减
28          INC     AX              ;够减,i增1
29          JMP     SQRT1           ;继续
30  SQRT2:  PUSH    AX              ;DX←平方根
31          DEC     SP
32          DEC     SP
33          RET                     ;返回
34  SQROOT3 ENDP
```

```
MAIN1:  MOV     AX, DSEG
        MOV     DS, AX
        MOV     AX, SSEG
        MOV     SS, AX
        MOV     SP, SIZE STKTOP
        MOV     DX, PX          ;取X
        ADD     DX, DX          ;计算2X
        PUSH    DX              ;NOTE:
        CALL    SQROOT3         ;调用开平方子程序
        MOV     DX, PY          ;取Y
        MOV     AX, DX          ;计算3Y
        ADD     DX, DX
        ADD     DX, AX
        PUSH    DX              ;NOTE:
        CALL    SQROOT3         ;调用开平方子程序
        POP     DX              ;NOTE:
        POP     AX              ;NOTE:
        ADD     AX, DX          ;计算√2X+√3Y
        PUSH    AX              ;暂存结果
        MOV     DX, 150
        PUSH    DX              ;NOTE:
        CALL    SQROOT3
        POP     DX              ;取出中间结果
        POP     AX
        ADD     AX, DX      ;计算最终结果
        MOV     RLT, AX         ;保存结果
        MOV     AH, 4CH
        INT     21H
CSEG    ENDS
        END     MAIN1
```

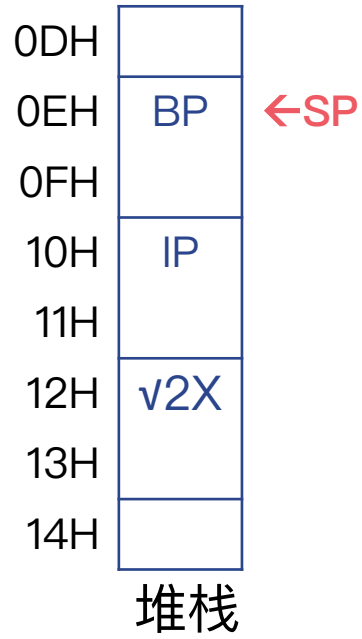
```
SQROOT3 PROC    NEAR
        INC     SP
        INC     SP
        POP     DX
        XOR     AX, AX      ;i←0
        AND     DX, DX      ;测试被开方数
        JZ      SQRT2       ;被开方数为0
SQRT1:  MOV     BX, AX      ;形成奇数
        SHL     BX, 1
        INC     BX
        SUB     DX, BX      ;被开方数减去奇数
        JC      SQRT2       ;不够减
        INC     AX          ;够减,i增1
        JMP     SQRT1       ;继续
SQRT2:  PUSH    AX          ;DX←平方根
        DEC     SP
        DEC     SP
        RET                 ;返回
SQROOT3 ENDP
```



```
36  MAIN1:  MOV     AX, DSEG
37          MOV     DS, AX
38          MOV     AX, SSEG
39          MOV     SS, AX
40          MOV     SP, SIZE STKTOP
41          MOV     DX, PX              ;取X
42          ADD     DX, DX              ;计算2X
43          PUSH    DX                  ;NOTE:
44          CALL    SQROOT3             ;调用开平方子程序
45          MOV     DX, PY              ;取Y
46          MOV     AX, DX              ;计算3Y
47          ADD     DX, DX
48          ADD     DX, AX
49          PUSH    DX                  ;NOTE:
50          CALL    SQROOT3             ;调用开平方子程序
51          POP     DX                  ;NOTE:
52          POP     AX                  ;NOTE:
53          ADD     AX, DX              ;计算√2X+√3Y
54          PUSH    AX                  ;暂存结果
55          MOV     DX, 150
56          PUSH    DX                  ;NOTE:
57          CALL    SQROOT3
58          POP     DX                  ;取出中间结果
59          POP     AX
60          ADD     AX, DX          ;计算最终结果
61          MOV     RLT, AX             ;保存结果
62          MOV     AH, 4CH
63          INT     21H
64  CSEG    ENDS
65          END     MAIN1
```

```
PUSH    BP
MOV     BP, SP
MOV     DX, [BP+4]
```

```
16  SQROOT3 PROC    NEAR
17          INC     SP
18          INC     SP
19          POP     DX
20          XOR     AX, AX          ;i←0
21          AND     DX, DX          ;测试被开方数
22          JZ      SQRT2           ;被开方数为0
23  SQRT1:  MOV     BX, AX          ;形成奇数
24          SHL     BX, 1
25          INC     BX
26          SUB     DX, BX          ;被开方数减去奇数
27          JC      SQRT2           ;不够减
28          INC     AX              ;够减,i增1
29          JMP     SQRT1           ;继续
30  SQRT2:  PUSH    AX              ;DX←平方根
31          DEC     SP
32          DEC     SP
33          RET                     ;返回
34  SQROOT3 ENDP
```



四. 子程序设计方法

3. 主程序与子程序之间的参数传递 — 约定参数地址指针法

例：设内存有三组无符号字整数，三组数据的首地址分别为LIST1，LIST2和LIST3，数据个数分别存放在CNT1，CNT2和CNT3单元。编制程序计算三组数据中最小数之和并存入SUM开始的单元。 。

当要传送的参数较多时，用约定地址指针法，即调用程序将参数存放的地址送入约定的地址指针，然后调用子程序，子程序从地址指针指出的地址取出所需参数。当返回参数较多时，可存入内存某区域，然后把其首地址指针放入约定的寄存器中，供调用程序使用。

四. 子程序设计方法

3. 主程序与子程序之间的参数传递 — 约定参数地址指针法

```
SSEG    SEGMENT STACK
STKTOP  DB      40 DUP(0)
SSEG    ENDS

DSEG    SEGMENT
LIST1   DW      35, 27, 165, 3, 1825, 603
CNT1    DW      6
LIST2   DW      438, 121, 496, 6321, 28, 17, 2, 105
CNT2    DW      8
LIST3   DW      18, 5, 19, 46, 3725
CNT3    DW      5
SUM     DW      0
DSEG    ENDS

CSEG    SEGMENT
        ASSUME  CS:CSEG, DS:DSEG
        ASSUME  SS:SSEG

FMIN    PROC    NEAR            ;求数组中最小值…

MAIN:   MOV     AX, DSEG
        MOV     DS, AX
        MOV     AX, SSEG
        MOV     SS, AX
        MOV     SP, SIZE STKTOP
```

四. 子程序设计方法

3. 主程序与子程序之间的参数传递 — 约定参数地址指针法

```
40          MOV     SI, OFFSET LIST1
41          MOV     CX, CNT1
42          CALL    FMIN
43          MOV     BX, AX
44          MOV     SI, OFFSET LIST2
45          MOV     CX, CNT2
46          CALL    FMIN
47          ADD     BX, AX
48          MOV     SI, OFFSET LIST3
49          MOV     CX, CNT3
50          CALL    FMIN
51          ADD     BX, AX
52          MOV     SUM, BX
53          MOV     AH, 4CH
54          INT     21H
55  CSEG    ENDS
56  END     MAIN
```

```
20  FMIN    PROC    NEAR        ;求数组中最小值
21          PUSH    SI          ;保存数组首址
22          MOV     AX, [SI]    ;取第一个数
23          DEC     CX          ;计数值减1
24          JZ      RETURN      ;计数值为0,转
25  FMIN2:  INC     SI          ;修改数组指针
26          INC     SI
27          CMP     AX, [SI]    ;与下一个数比较
28          JB      FMIN1       ;AX中数小,转
29          MOV     AX, [SI]    ;小数取入AX
30  FMIN1:  LOOP    FMIN2       ;计数值减1,不为0转
31  RETURN: POP     SI          ;恢复数组首值
32          RET                 ;返回
33  FMIN    ENDP
```

四. 子程序设计方法（示例）

例子：计算三组字数据中正数、负数和零的个数，并分别存入PCOUNT，MCOUNT和ZCOUNT单元。设三组数据首地址分别ARRY1，ARRY2和ARRY3，数据个数分别在CNT1，CNT2和CNT3单元存放。

子程序说明文件例子：

1) 子程序名（入口标号）：PMZN；
2) 子程序功能：求一组数据中正数、负数和零的个数；
3) 入口条件：数组首地址在SI中；数组数据个数在CX中;
4) 出口条件：正数个数在AX中；负数个数在BX中；零的个数在DX中；
5) 受影响的寄存器：AX，BX，DX和标志寄存器F。

四. 子程序设计方法（示例）

例子：计算三组字数据中正数、负数和零的个数，并分别存入PCOUNT，MCOUNT和ZCOUNT单元。设三组数据首地址分别ARRY1，ARRY2和ARRY3，数据个数分别在CNT1，CNT2和CNT3单元存放。

子程序说明文件例子：

1) 子程序名（入口标号）：PMZN；
2) 子程序功能：求一组数据中正数、负数和零的个数；
3) 入口条件：数组首地址在SI中；数组数据个数在CX中;
4) 出口条件：正数个数在AX中；负数个数在BX中；零的个数在DX中；
5) 受影响的寄存器：AX，BX，DX和标志寄存器F。

```
33  DSEG    SEGMENT
34  ARRY1   DW      15,-5,1,5,0,123,964,-327,0
35  CNT1    DW      9
36  ARRY2   DW      103,4,-8,-23,0,827,-936,0,0,18
37  CNT2    DW      10
38  ARRY3   DW      -29,-137,-23,0,4,0
39  CNT3    DW      6
40  PCOUNT  DW      0                    ;保存结果单元
41  MCOUNT  DW      0
42  ZCOUNT  DW      0
43  ADR     DW      OFFSET ARRY1, OFFSET CNT1
44          DW      OFFSET ARRY2, OFFSET CNT2
45          DW      OFFSET ARRY3, OFFSET CNT3
46  DSEG    ENDS
47
48  CSEG    SEGMENT
49          ASSUME  CS:CSEG, DS:DSEG
50          ASSUME  SS:SSEG
51  START:  MOV     AX, DSEG
52          MOV     DS, AX
53          MOV     AX, SSEG
54          MOV     SS, AX
55          MOV     SP, LENGTH SKTOP
```

```
56          LEA     DI, ADR
57          MOV     CX, 03
58  AGAIN:  MOV     SI, [DI]          ;取数组首址→SI
59          MOV     BX, [DI+2]        ;取数组数据个数首址
60          PUSH    CX                ;保存CX中的循环计数值
61          MOV     CX, [BX           ;取数组数据个数→CX
62          CALL    FAR PTR PMZN
63          ADD     PCOUNT, AX        ;累加结果
64          ADD     MCOUNT, BX
65          ADD     ZCOUNT, DX
66          ADD     DI, 4             ;修改指针指向下一数组
67          POP     CX                ;恢复CX中循环计数
68          LOOP    AGAIN             ;CX计数值减1,非0转
69          MOV     AH, 4CH
70          INT     21H
71  CSEG    END
72          END     START
```

```
2           PUBLIC  PMZN
3   CSEG    SEGMENT
4           ASSUME  CS:CSEG
5   PMZN    PROC    FAR
6           PUSH    SI                      ;保存数组首址
7           PUSH    CX                      ;保存数据个数
8           XOR     AX,AX                   ;清计数器
9           XOR     BX,BX
10          XOR     DX,DX
11  PMZN0:  TEST    WORD PTR[SI],0FFFFH     ;测试数据
12          JS      MINUS                   ;负转
13          JNZ     PLUS                    ;非0转
14          INC     DX                      ;为0,0计数器加1
15          JMP     PMZN1
16  PLUS:   INC     AX                      ;正数计数器加1
17          JMP     PMZN1
18  MINUS:  INC     BX                      ;负数计数器加1
19  PMZN1:  ADD     SI,2                    ;指向下一个数据
20          LOOP    PMZN0                   ;循环计数减1,非0转
21          POP     CX                      ;恢复CX
22          POP     SI                      ;恢复SI
23          RET
24  PMZN    ENDP
25  CSEG    ENDS
26          END
```

五. 子程序嵌套

我们编制子程序时，如果用到已有的某种功能的子程序，也可以采用调用的方法，在一个子程序的内部再调用其它子程序，称为子程序嵌套。这样的子程序称为嵌套子程序。嵌套子程序的层数称为嵌套深度，一般设有硬件堆栈的计算机，嵌套深度只受堆栈区大小的限制。

假设我们已经有一个子程序，其说明文件和程序清单如下：
(1)子程序名：HTOA；
(2)子程序功能：将一位十六进制数转换为ASCII码；
(3)入口条件：要转换的数据在AL中的低四位；
(4)出口条件：十六进制数的ASCII码在AL中；
(5)受影响的寄存器：AL和标志寄存器F。

```
2   HTOA     PROC    NEAR
3            AND     AL, 0FH
4            CMP     AL, 10
5            JC      HTOA1
6            ADD     AL, 07
7   HTOA1:   ADD     AL, 30H
8            RET
9   HTOA     ENDP
```

五. 子程序嵌套

我们编制子程序时，如果用到已有的某种功能的子程序，也可以采用调用的方法，在一个子程序的内部再调用其它子程序，称为子程序嵌套。这样的子程序称为嵌套子程序。嵌套子程序的层数称为嵌套深度，一般设有硬件堆栈的计算机，嵌套深度只受堆栈区大小的限制。

(1) 子程序名：BHTOA；
(2) 子程序功能：将两位十六进制数转换为ASCII码；
(3) 入口条件：两位十六进制数在AL中；
(4) 出口条件：高位十六进制数的ASCII码在AH中；低位十六进制数的ASCII码在AL中；
(5) 受影响的寄存器：AX和标志寄存器F。

```
12    BHTOA    PROC
13             PUSH    CX
14             MOV     CH, AL
15             MOV     CL, 04
16             SHR     AL, CL
17             CALL    HTOA
18             MOV     AH, AL
19             MOV     AL, CH
20             CALL    HTOA
21             POP     CX
22             RET
23    BHTOA    ENDP
```

五. 子程序嵌套

- 例子：假定在内存DATA单元存放着一个无符号的字节数据，将它在屏幕上显示出来。

```
29  CSEG    SEGMENT
30          ASSUME  CS:CSEG, DS:DSEG
31  START:  MOV     AX,DSEG
32          MOV     DS, AX
33          MOV     AL, DATA
34          CALL    BHTOA
35          PUSH    AX
36          MOV     DL, AH
37          MOV     AH, 2
38          INT     21H
39          POP     DX
40          INT     21H
41          MOV     AX, 4C00H
42          INT     21H
43  CSEG    ENDS
44  END     START
```

六. 递归子程序

子程序能直接或间地调用自身称为递归调用，具有递归调用性质的子程序称为递归子程序。递归子程序一般用于解递归函数，递归函数定义具有下述两个组成部分：

1. 递归函数的递归过程必须是有限的。即每个递归函数有一个非递归终值，递归过程(子程序)一旦求得该值，就结束递归。

2. 任一函数项的值都有明确的定义，其值可由函数中的一项或几项值求得。

例子：阶乘函数，对于任一个大于等于0的正整数N，其函数值定义为：

$$FACT(N) = \begin{cases} 1 & (N = 0) \\ N*FACT(N-1) & (N > 0) \end{cases}$$

六. 递归子程序

算法：

(1) 测试N=0吗？是，则令FACT(N)=1，返回；

(2) 保存N，并令N=N–1，调用自身求得FACT(N–1)；

(3) 顺序取出保存的N值（后保存的先取出）；

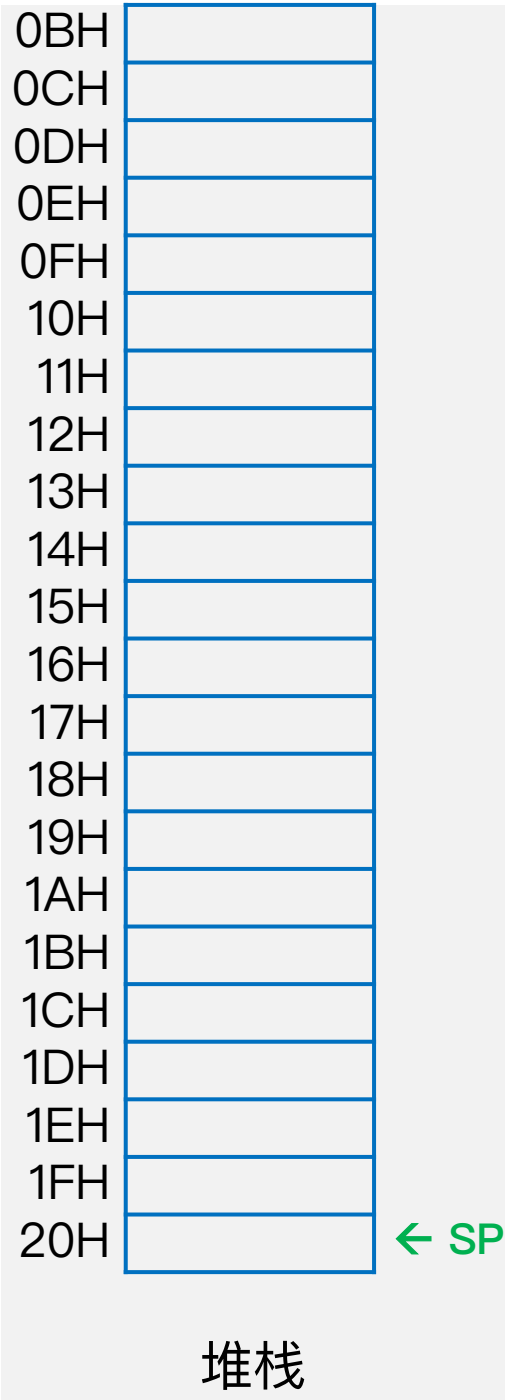
(4) 计算*FACT*(N) = N**FACT*(N–1)，并返回。

```
2    FACT     PROC    NEAR
3             AND     BX, BX
4             JZ      FACT1
5             PUSH    BX
6             DEC     BX
7             CALL    FACT
8    F:       POP     BX
9             MUL     BX
10            RET
11   FACT1:   MOV     AX,1
12            RET
13   FACT     ENDP
```

六. 递归子程序 — 例：求4!

```
21  MAIN:   MOV     AX, SSEG
22          MOV     DS, AX
23          MOV     SP, SIZE SKTOP
24          MOV     BX, 4
25          CALL    FACT
26      xxyy NOP
27          MOV     AH, 4CH
28          INT     21H
29  CSEG    ENDS
30  END     MAIN
```

BX = ?
AX = ?
SP = 20H

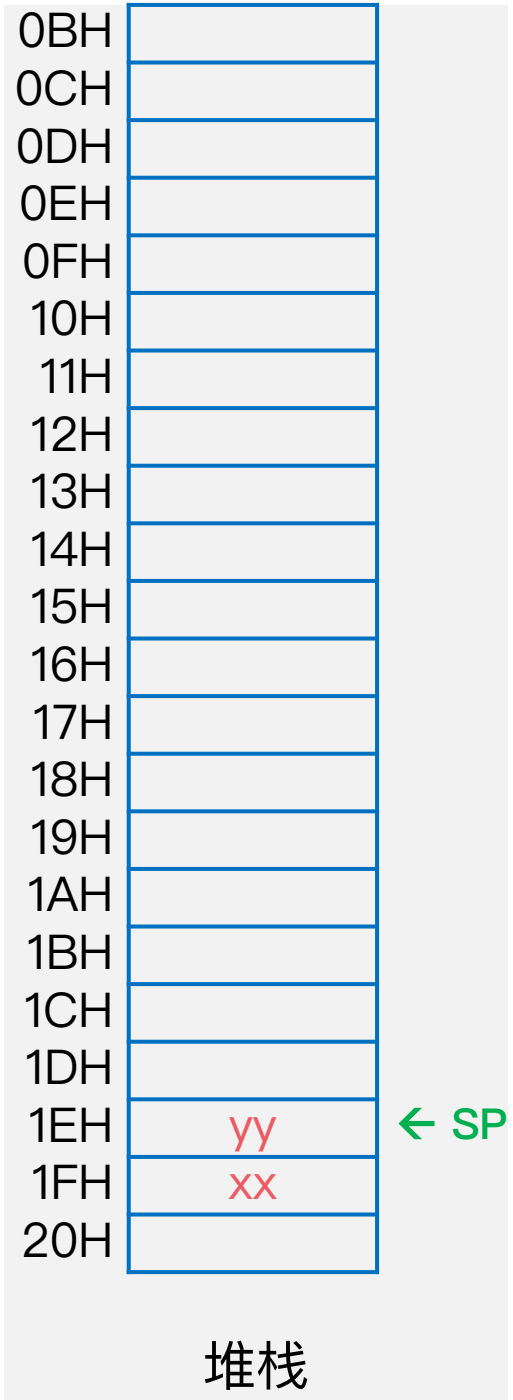



```
2   FACT    PROC    NEAR
3           AND     BX, BX
4           JZ      FACT1
5           PUSH    BX
6           DEC     BX
7           CALL    FACT
8   F: aabb POP     BX
9           MUL     BX
10          RET
11  FACT1:  MOV     AX,1
12          RET
13  FACT    ENDP
```

六. 递归子程序 — 例：求4!

```
21  MAIN:   MOV     AX, SSEG
22          MOV     DS, AX
23          MOV     SP, SIZE SKTOP
24          MOV     BX, 4
25          CALL    FACT
26      xxyy NOP
27          MOV     AH, 4CH
28          INT     21H
29  CSEG    ENDS
30  END     MAIN
```

BX = 4
AX = ?
SP = 1EH

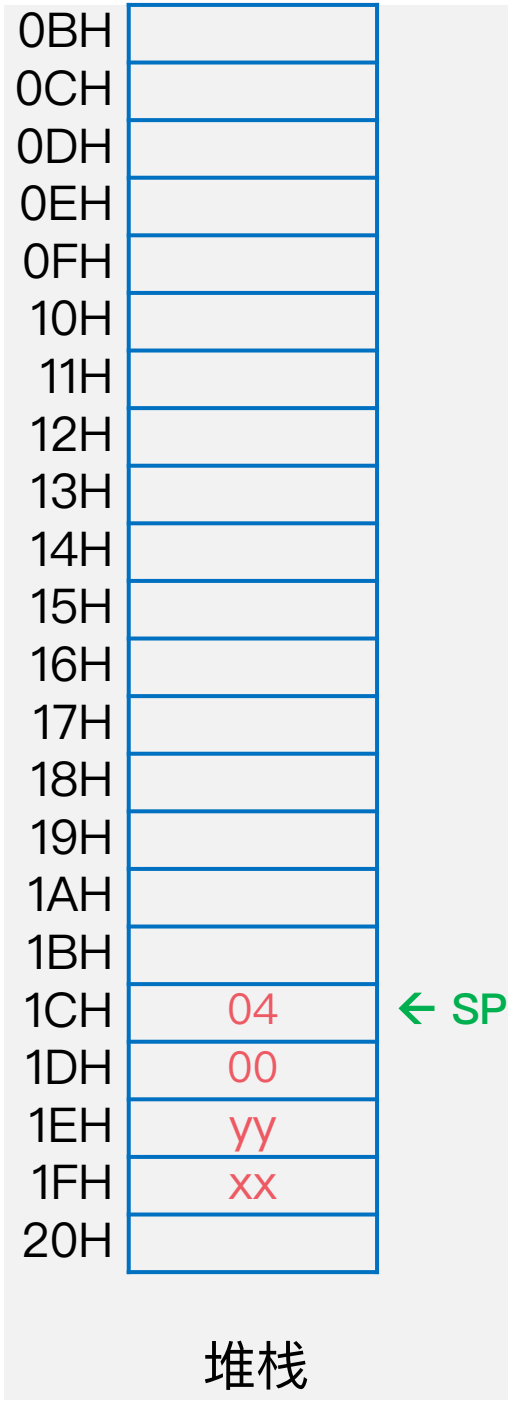



```
2   FACT    PROC    NEAR
3           AND     BX, BX
4           JZ      FACT1
5           PUSH    BX
6           DEC     BX
7           CALL    FACT
8   F: aabb POP     BX
9           MUL     BX
10          RET
11  FACT1:  MOV     AX,1
12          RET
13  FACT    ENDP
```

六. 递归子程序 — 例：求4!

```
21  MAIN:   MOV     AX, SSEG
22          MOV     DS, AX
23          MOV     SP, SIZE SKTOP
24          MOV     BX, 4
25          CALL    FACT
26      xxyy NOP
27          MOV     AH, 4CH
28          INT     21H
29  CSEG    ENDS
30  END     MAIN
```

BX = 4
AX = ?
SP = 1CH

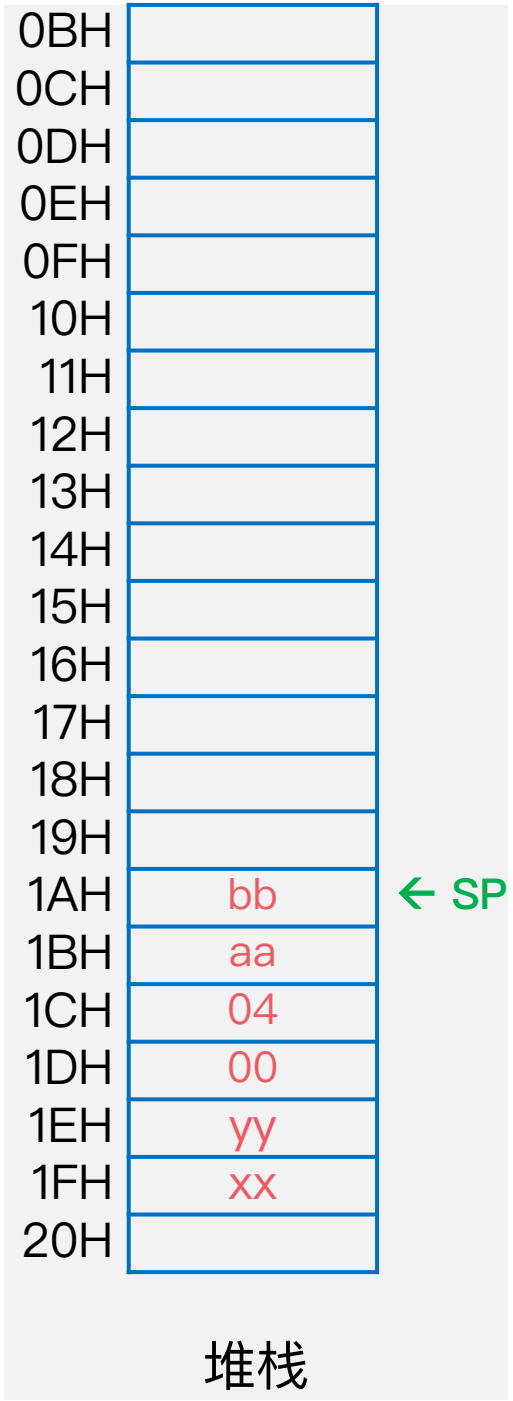



```
2   FACT    PROC    NEAR
3           AND     BX, BX
4           JZ      FACT1
5           PUSH    BX
6           DEC     BX
7           CALL    FACT
8   F: aabb POP     BX
9           MUL     BX
10          RET
11  FACT1:  MOV     AX,1
12          RET
13  FACT    ENDP
```

六. 递归子程序 — 例：求4!

```
21  MAIN:   MOV     AX, SSEG
22          MOV     DS, AX
23          MOV     SP, SIZE SKTOP
24          MOV     BX, 4
25          CALL    FACT
26      xxyy NOP
27          MOV     AH, 4CH
28          INT     21H
29  CSEG    ENDS
30  END     MAIN
```

BX = 3
AX = ?
SP = 1AH

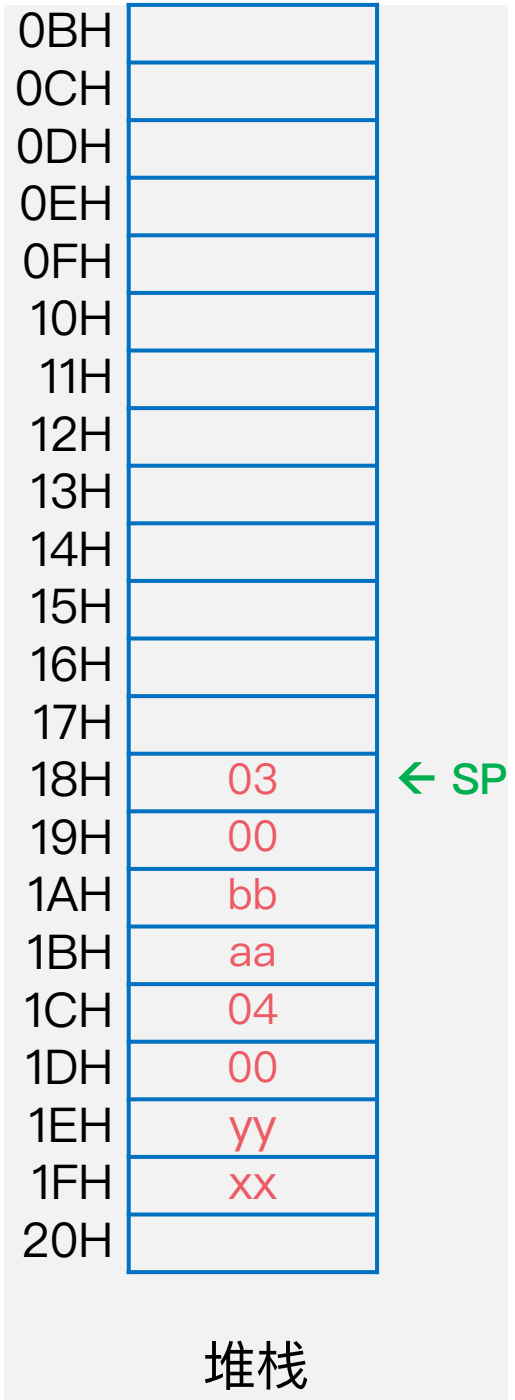



```
2   FACT    PROC    NEAR
3           AND     BX, BX
4           JZ      FACT1
5           PUSH    BX
6           DEC     BX
7           CALL    FACT
8   F: aabb POP     BX
9           MUL     BX
10          RET
11  FACT1:  MOV     AX,1
12          RET
13  FACT    ENDP
```

六. 递归子程序 — 例：求4!

```
21  MAIN:   MOV     AX, SSEG
22          MOV     DS, AX
23          MOV     SP, SIZE SKTOP
24          MOV     BX, 4
25          CALL    FACT
26      xxyy NOP
27          MOV     AH, 4CH
28          INT     21H
29  CSEG    ENDS
30  END     MAIN
```

BX = 3
AX = ?
SP = 18H

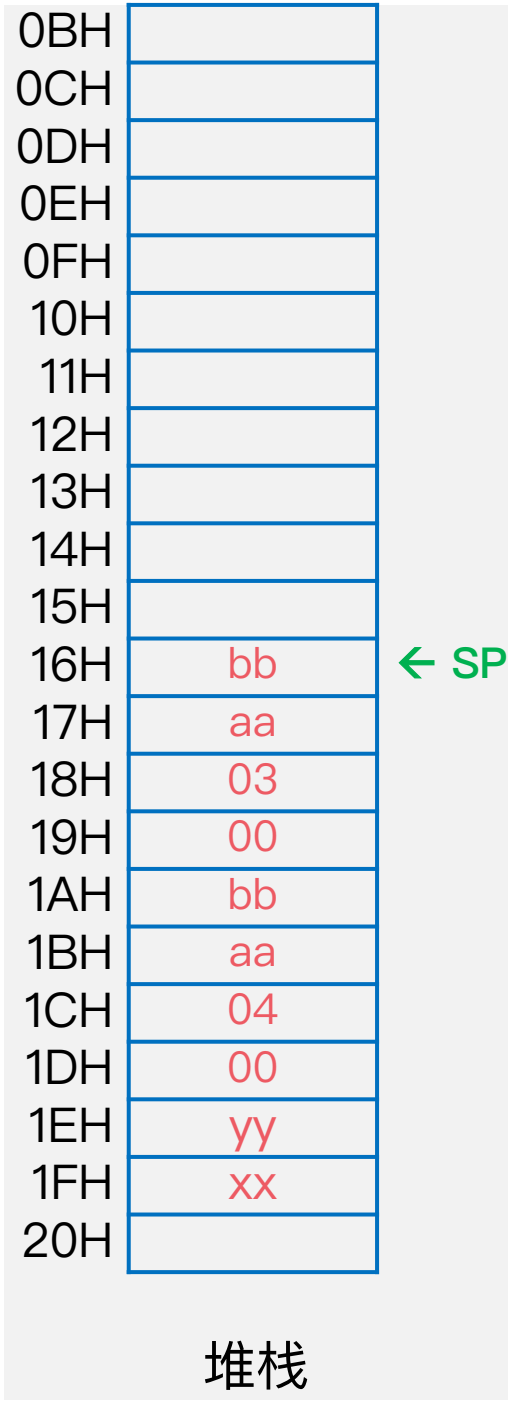



```
2   FACT    PROC    NEAR
3           AND     BX, BX
4           JZ      FACT1
5           PUSH    BX
6           DEC     BX
7           CALL    FACT
8   F: aabb POP     BX
9           MUL     BX
10          RET
11  FACT1:  MOV     AX,1
12          RET
13  FACT    ENDP
```

六. 递归子程序 — 例：求4!

```
21  MAIN:   MOV     AX, SSEG
22          MOV     DS, AX
23          MOV     SP, SIZE SKTOP
24          MOV     BX, 4
25          CALL    FACT
26      xxyy NOP
27          MOV     AH, 4CH
28          INT     21H
29  CSEG    ENDS
30  END     MAIN
```

BX = 2
AX = ?
SP = 16H

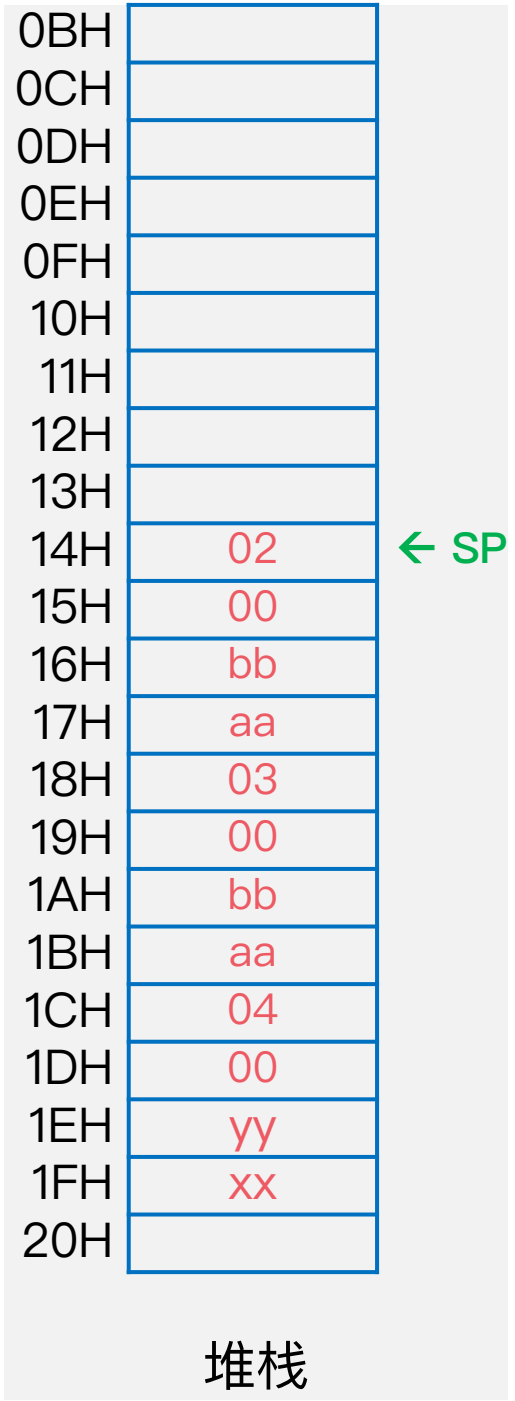



```
2   FACT    PROC    NEAR
3           AND     BX, BX
4           JZ      FACT1
5           PUSH    BX
6           DEC     BX
7           CALL    FACT
8   F: aabb POP     BX
9           MUL     BX
10          RET
11  FACT1:  MOV     AX,1
12          RET
13  FACT    ENDP
```

六. 递归子程序 — 例：求4!

```
21  MAIN:   MOV     AX, SSEG
22          MOV     DS, AX
23          MOV     SP, SIZE SKTOP
24          MOV     BX, 4
25          CALL    FACT
26      xxyy NOP
27          MOV     AH, 4CH
28          INT     21H
29  CSEG    ENDS
30  END     MAIN
```

BX = 2
AX = ?
SP = 14H




```
2   FACT    PROC    NEAR
3           AND     BX, BX
4           JZ      FACT1
5           PUSH    BX
6           DEC     BX
7           CALL    FACT
8   F: aabb POP     BX
9           MUL     BX
10          RET
11  FACT1:  MOV     AX,1
12          RET
13  FACT    ENDP
```

六. 递归子程序 — 例：求4!

```
21  MAIN:   MOV     AX, SSEG
22          MOV     DS, AX
23          MOV     SP, SIZE SKTOP
24          MOV     BX, 4
25          CALL    FACT
26      xxyy NOP
27          MOV     AH, 4CH
28          INT     21H
29  CSEG    ENDS
30  END     MAIN
```

```
2   FACT    PROC    NEAR
3           AND     BX, BX
4           JZ      FACT1
5           PUSH    BX
6           DEC     BX
7           CALL    FACT
8   F: aabb POP     BX
9           MUL     BX
10          RET
11  FACT1:  MOV     AX,1
12          RET
13  FACT    ENDP
```

0BH		
0CH		
0DH		
0EH		
0FH		
10H		
11H		
12H	bb	← SP
13H	aa	
14H	02	
15H	00	
16H	bb	
17H	aa	
18H	03	
19H	00	
1AH	bb	
1BH	aa	
1CH	04	
1DH	00	
1EH	yy	
1FH	xx	
20H		

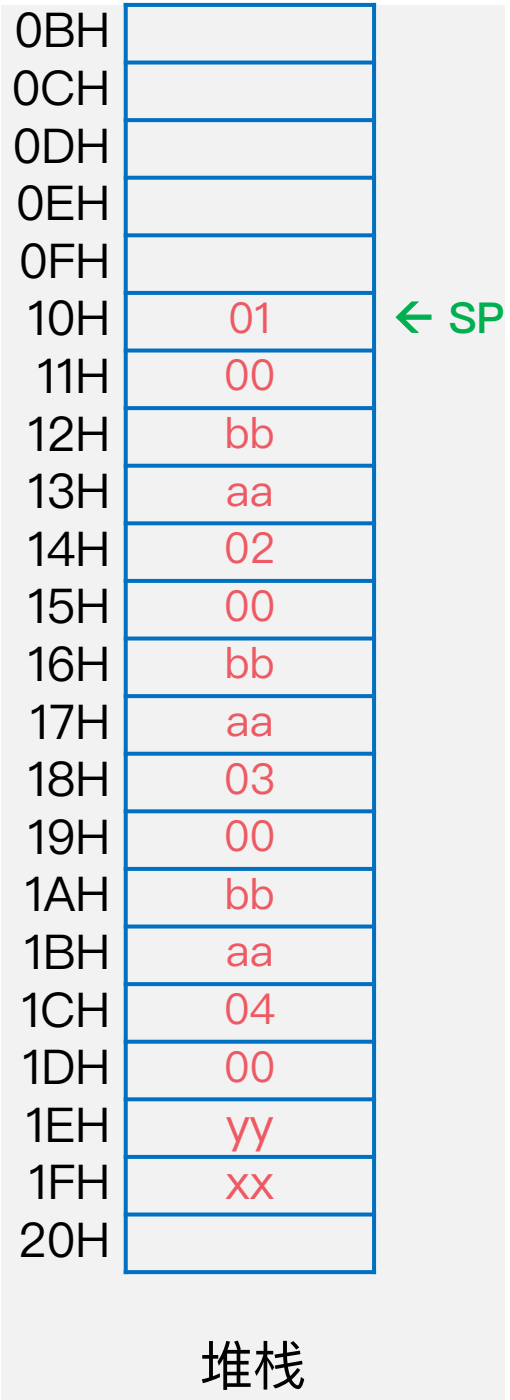
堆栈

BX = 1
AX = ?
SP = 12H

六. 递归子程序 — 例：求4!

```
21  MAIN:   MOV     AX, SSEG
22          MOV     DS, AX
23          MOV     SP, SIZE SKTOP
24          MOV     BX, 4
25          CALL    FACT
26      xxyy NOP
27          MOV     AH, 4CH
28          INT     21H
29  CSEG    ENDS
30  END     MAIN
```

BX = 1
AX = ?
SP = 10H

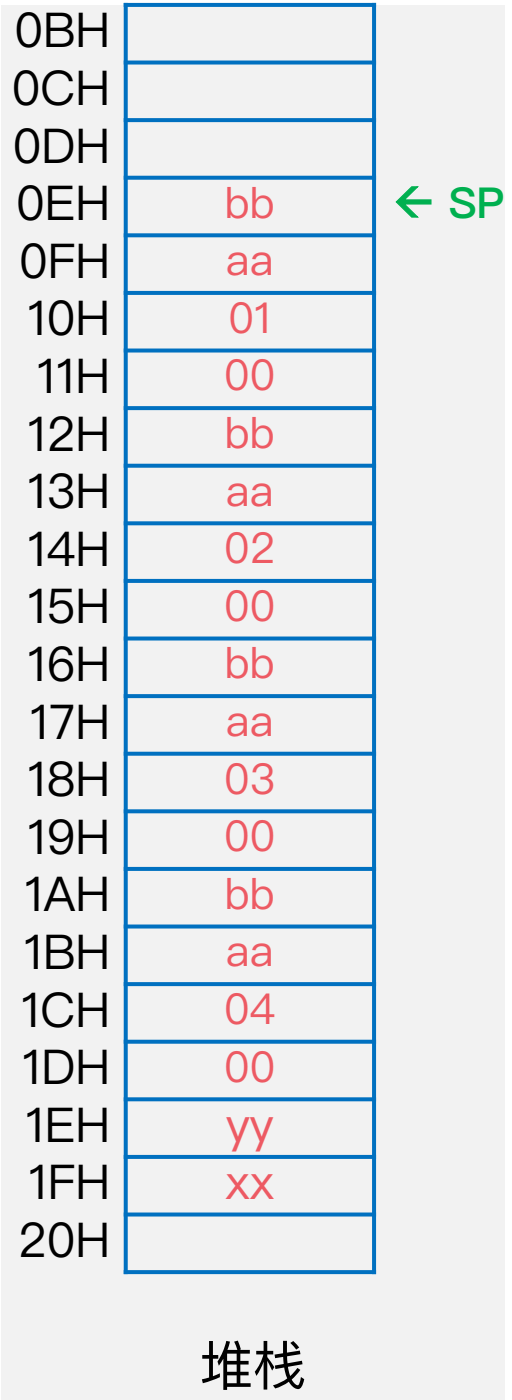



```
2   FACT    PROC    NEAR
3           AND     BX, BX
4           JZ      FACT1
5           PUSH    BX
6           DEC     BX
7           CALL    FACT
8   F: aabb POP     BX
9           MUL     BX
10          RET
11  FACT1:  MOV     AX,1
12          RET
13  FACT    ENDP
```

六. 递归子程序 — 例：求4!

```
21  MAIN:   MOV     AX, SSEG
22          MOV     DS, AX
23          MOV     SP, SIZE SKTOP
24          MOV     BX, 4
25          CALL    FACT
26      xxyy NOP
27          MOV     AH, 4CH
28          INT     21H
29  CSEG    ENDS
30  END     MAIN
```

BX = 0
AX = ?
SP = 0EH




```
2   FACT    PROC    NEAR
3           AND     BX, BX
4           JZ      FACT1
5           PUSH    BX
6           DEC     BX
7           CALL    FACT
8   F: aabb POP     BX
9           MUL     BX
10          RET
11  FACT1:  MOV     AX,1
12          RET
13  FACT    ENDP
```

六. 递归子程序 — 例：求4!

```
21  MAIN:   MOV     AX, SSEG
22          MOV     DS, AX
23          MOV     SP, SIZE SKTOP
24          MOV     BX, 4
25          CALL    FACT
26      xxyy NOP
27          MOV     AH, 4CH
28          INT     21H
29  CSEG    ENDS
30  END     MAIN
```

BX = 0
AX = ?
SP = 0EH

0BH		
0CH		
0DH		
0EH	bb	← SP
0FH	aa	
10H	01	
11H	00	
12H	bb	
13H	aa	
14H	02	
15H	00	
16H	bb	
17H	aa	
18H	03	
19H	00	
1AH	bb	
1BH	aa	
1CH	04	
1DH	00	
1EH	yy	
1FH	xx	
20H		

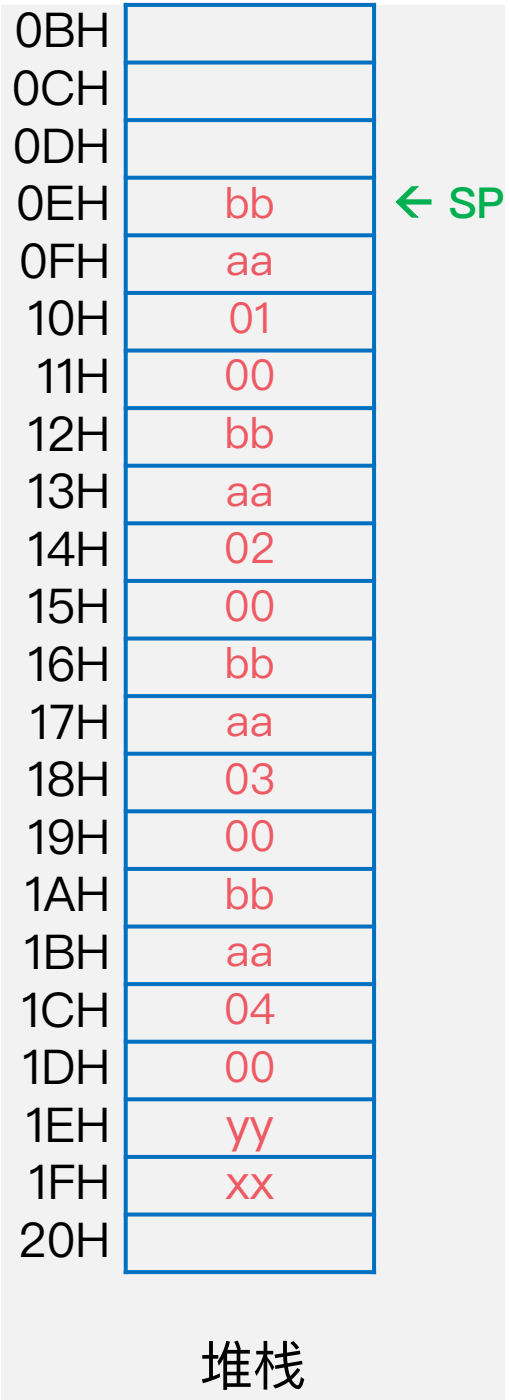
堆栈

```
2   FACT    PROC    NEAR
3           AND     BX, BX
4           JZ      FACT1
5           PUSH    BX
6           DEC     BX
7           CALL    FACT
8   F: aabb POP     BX
9           MUL     BX
10          RET
11  FACT1:  MOV     AX,1
12          RET
13  FACT    ENDP
```

六. 递归子程序 — 例：求4!

```
21  MAIN:   MOV     AX, SSEG
22          MOV     DS, AX
23          MOV     SP, SIZE SKTOP
24          MOV     BX, 4
25          CALL    FACT
26      xxyy NOP
27          MOV     AH, 4CH
28          INT     21H
29  CSEG    ENDS
30  END     MAIN
```

BX = 0
AX = ?
SP = 0EH

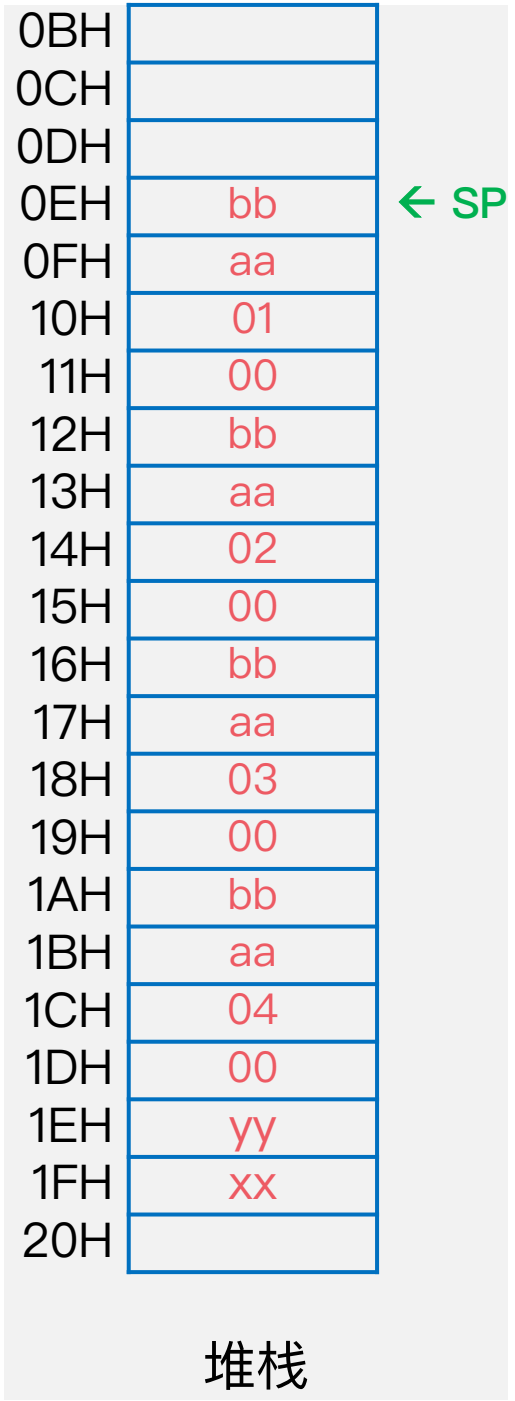



```
2   FACT    PROC    NEAR
3           AND     BX, BX
4           JZ      FACT1
5           PUSH    BX
6           DEC     BX
7           CALL    FACT
8   F: aabb POP     BX
9           MUL     BX
10          RET
11  FACT1:  MOV     AX,1
12          RET
13  FACT    ENDP
```

六. 递归子程序 — 例：求4!

```
21  MAIN:   MOV     AX, SSEG
22          MOV     DS, AX
23          MOV     SP, SIZE SKTOP
24          MOV     BX, 4
25          CALL    FACT
26      xxyy NOP
27          MOV     AH, 4CH
28          INT     21H
29  CSEG    ENDS
30  END     MAIN
```

BX = 0
AX = 1
SP = 0EH

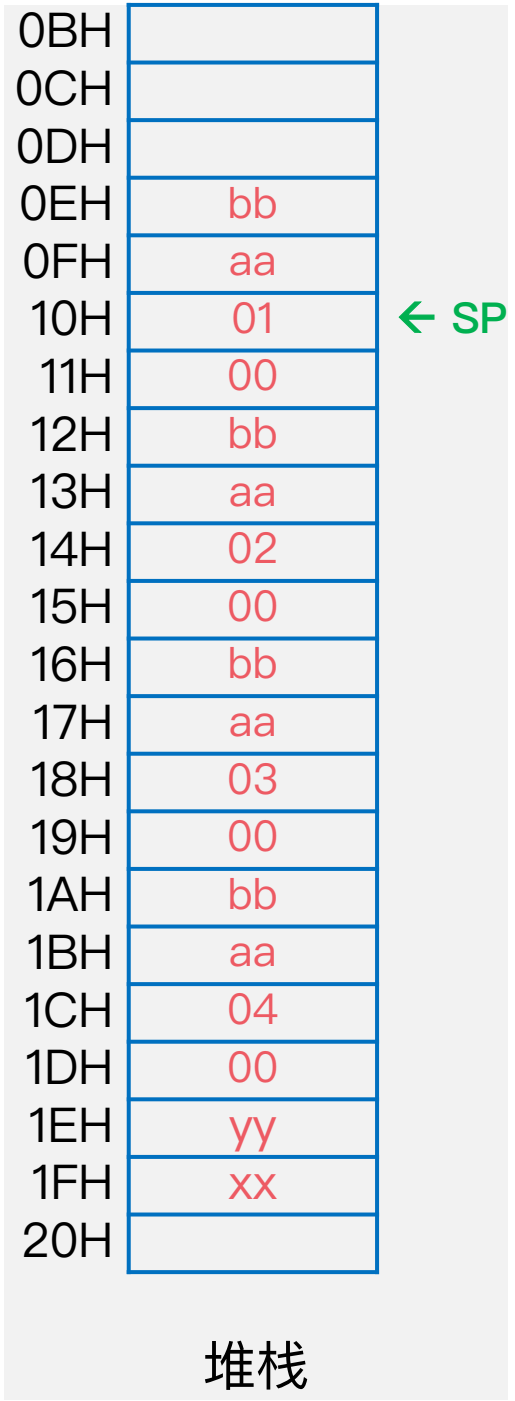



```
2   FACT    PROC    NEAR
3           AND     BX, BX
4           JZ      FACT1
5           PUSH    BX
6           DEC     BX
7           CALL    FACT
8   F: aabb POP     BX
9           MUL     BX
10          RET
11  FACT1:  MOV     AX,1
12          RET
13  FACT    ENDP
```

六. 递归子程序 — 例：求4!

```
21  MAIN:   MOV     AX, SSEG
22          MOV     DS, AX
23          MOV     SP, SIZE SKTOP
24          MOV     BX, 4
25          CALL    FACT
26      xxyy NOP
27          MOV     AH, 4CH
28          INT     21H
29  CSEG    ENDS
30  END     MAIN
```

BX = 0
AX = 1
SP = 10H

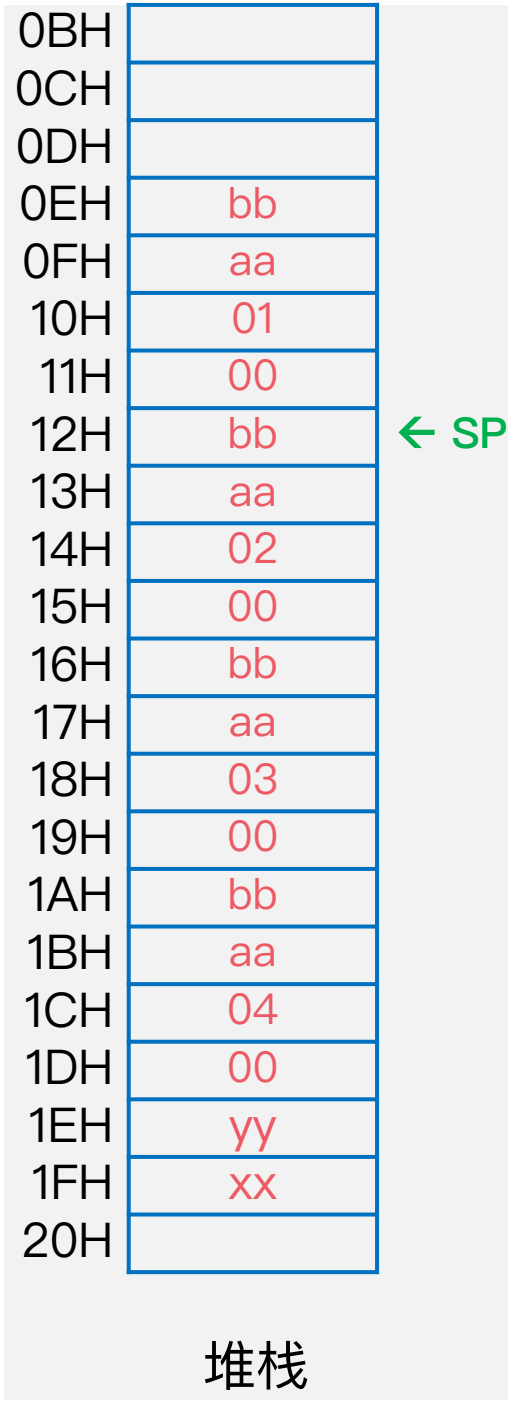



```
2   FACT    PROC    NEAR
3           AND     BX, BX
4           JZ      FACT1
5           PUSH    BX
6           DEC     BX
7           CALL    FACT
8   F: aabb POP     BX
9           MUL     BX
10          RET
11  FACT1:  MOV     AX,1
12          RET
13  FACT    ENDP
```

六. 递归子程序 — 例：求4!

```
21  MAIN:   MOV     AX, SSEG
22          MOV     DS, AX
23          MOV     SP, SIZE SKTOP
24          MOV     BX, 4
25          CALL    FACT
26      xxyy NOP
27          MOV     AH, 4CH
28          INT     21H
29  CSEG    ENDS
30  END     MAIN
```

BX = 1
AX = 1
SP = 12H

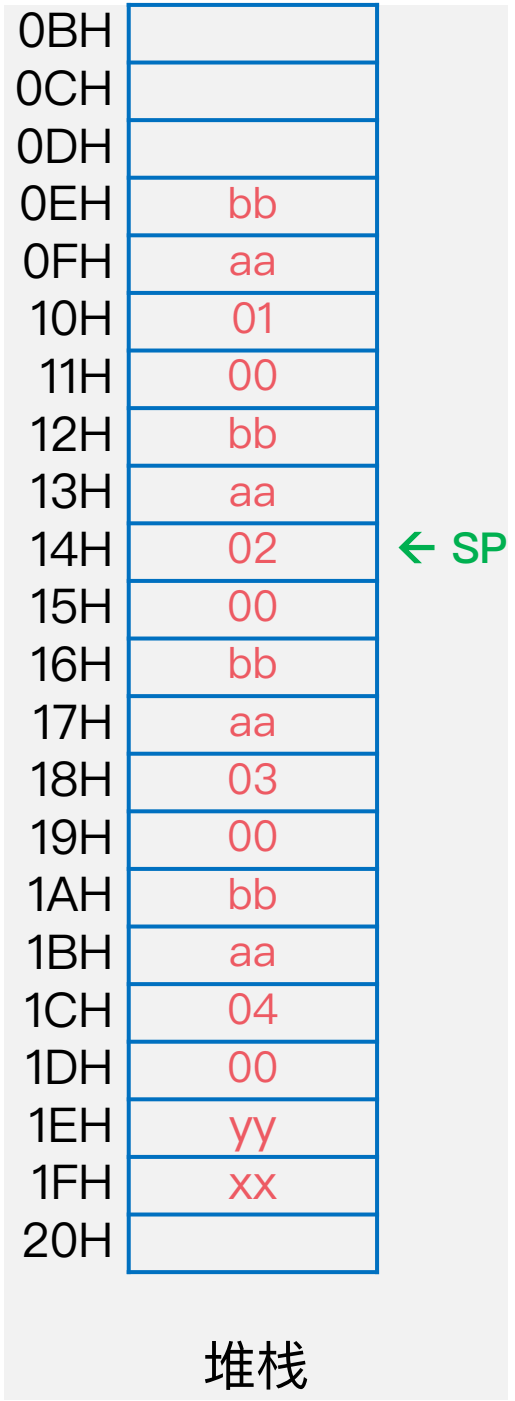



```
2   FACT    PROC    NEAR
3           AND     BX, BX
4           JZ      FACT1
5           PUSH    BX
6           DEC     BX
7           CALL    FACT
8   F: aabb POP     BX
9           MUL     BX
10          RET
11  FACT1:  MOV     AX,1
12          RET
13  FACT    ENDP
```

六. 递归子程序 — 例：求4!

```
21  MAIN:   MOV     AX, SSEG
22          MOV     DS, AX
23          MOV     SP, SIZE SKTOP
24          MOV     BX, 4
25          CALL    FACT
26      xxyy NOP
27          MOV     AH, 4CH
28          INT     21H
29  CSEG    ENDS
30  END     MAIN
```

BX = 1
AX = 1
SP = 14H

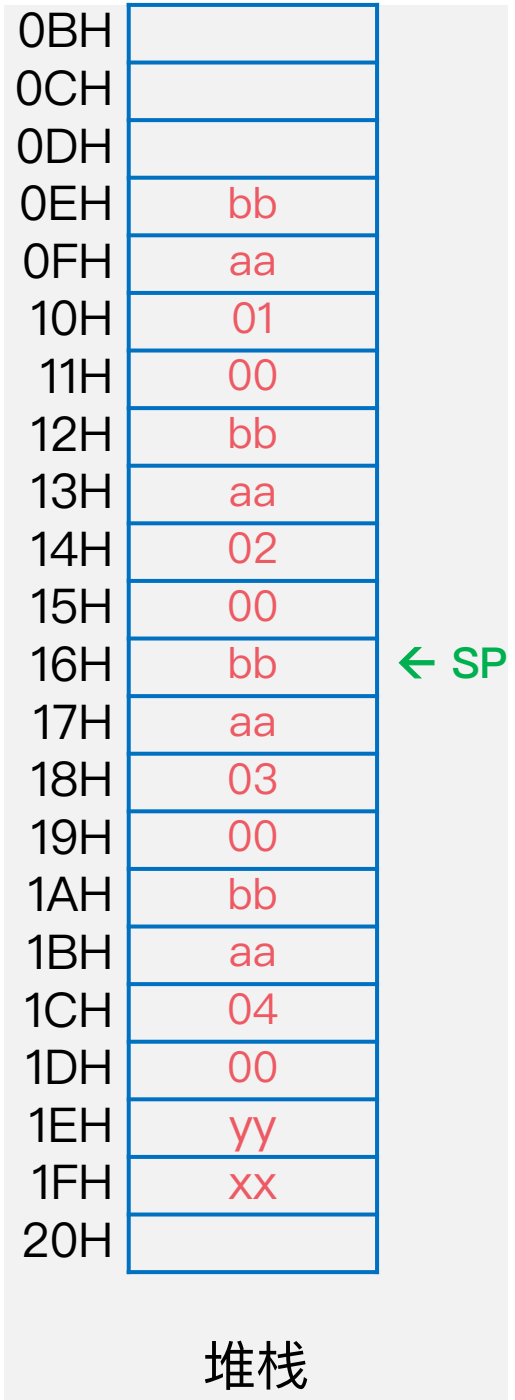



```
2   FACT    PROC    NEAR
3           AND     BX, BX
4           JZ      FACT1
5           PUSH    BX
6           DEC     BX
7           CALL    FACT
8   F: aabb POP     BX
9           MUL     BX
10          RET
11  FACT1:  MOV     AX,1
12          RET
13  FACT    ENDP
```

六. 递归子程序 — 例：求4!

```
21  MAIN:   MOV     AX, SSEG
22          MOV     DS, AX
23          MOV     SP, SIZE SKTOP
24          MOV     BX, 4
25          CALL    FACT
26      xxyy NOP
27          MOV     AH, 4CH
28          INT     21H
29  CSEG    ENDS
30  END     MAIN
```

BX = 2
AX = 1*2
SP = 14H




```
2   FACT    PROC    NEAR
3           AND     BX, BX
4           JZ      FACT1
5           PUSH    BX
6           DEC     BX
7           CALL    FACT
8   F: aabb POP     BX
9           MUL     BX
10          RET
11  FACT1:  MOV     AX,1
12          RET
13  FACT    ENDP
```

六. 递归子程序 — 例：求4!

```
21  MAIN:   MOV     AX, SSEG
22          MOV     DS, AX
23          MOV     SP, SIZE SKTOP
24          MOV     BX, 4
25          CALL    FACT
26      xxyy NOP
27          MOV     AH, 4CH
28          INT     21H
29  CSEG    ENDS
30  END     MAIN
```

```
2   FACT    PROC    NEAR
3           AND     BX, BX
4           JZ      FACT1
5           PUSH    BX
6           DEC     BX
7           CALL    FACT
8   F: aabb POP     BX
9           MUL     BX
10          RET
11  FACT1:  MOV     AX,1
12          RET
13  FACT    ENDP
```

0BH		
0CH		
0DH		
0EH	bb	
0FH	aa	
10H	01	
11H	00	
12H	bb	
13H	aa	
14H	02	
15H	00	
16H	bb	
17H	aa	
18H	03	← SP
19H	00	
1AH	bb	
1BH	aa	
1CH	04	
1DH	00	
1EH	yy	
1FH	xx	
20H		

堆栈

BX = 2
AX = 1*2
SP = 14H

六. 递归子程序 — 例：求4!

```
21  MAIN:   MOV     AX, SSEG
22          MOV     DS, AX
23          MOV     SP, SIZE SKTOP
24          MOV     BX, 4
25          CALL    FACT
26      xxyy NOP
27          MOV     AH, 4CH
28          INT     21H
29  CSEG    ENDS
30  END     MAIN
```

```
2   FACT    PROC    NEAR
3           AND     BX, BX
4           JZ      FACT1
5           PUSH    BX
6           DEC     BX
7           CALL    FACT
8   F: aabb POP     BX
9           MUL     BX
10          RET
11  FACT1:  MOV     AX,1
12          RET
13  FACT    ENDP
```

0BH		
0CH		
0DH		
0EH	bb	
0FH	aa	
10H	01	
11H	00	
12H	bb	
13H	aa	
14H	02	
15H	00	
16H	bb	
17H	aa	
18H	03	
19H	00	
1AH	bb	← SP
1BH	aa	
1CH	04	
1DH	00	
1EH	yy	
1FH	xx	
20H		

堆栈

BX = 3
AX = 1*2*3
SP = 1AH

六. 递归子程序 — 例：求4!

```
21  MAIN:   MOV     AX, SSEG
22          MOV     DS, AX
23          MOV     SP, SIZE SKTOP
24          MOV     BX, 4
25          CALL    FACT
26      xxyy NOP
27          MOV     AH, 4CH
28          INT     21H
29  CSEG    ENDS
30  END     MAIN
```

```
2   FACT    PROC    NEAR
3           AND     BX, BX
4           JZ      FACT1
5           PUSH    BX
6           DEC     BX
7           CALL    FACT
8   F: aabb POP     BX
9           MUL     BX
10          RET
11  FACT1:  MOV     AX,1
12          RET
13  FACT    ENDP
```

0BH		
0CH		
0DH		
0EH	bb	
0FH	aa	
10H	01	
11H	00	
12H	bb	
13H	aa	
14H	02	
15H	00	
16H	bb	
17H	aa	
18H	03	
19H	00	
1AH	bb	
1BH	aa	
1CH	04	← SP
1DH	00	
1EH	yy	
1FH	xx	
20H		

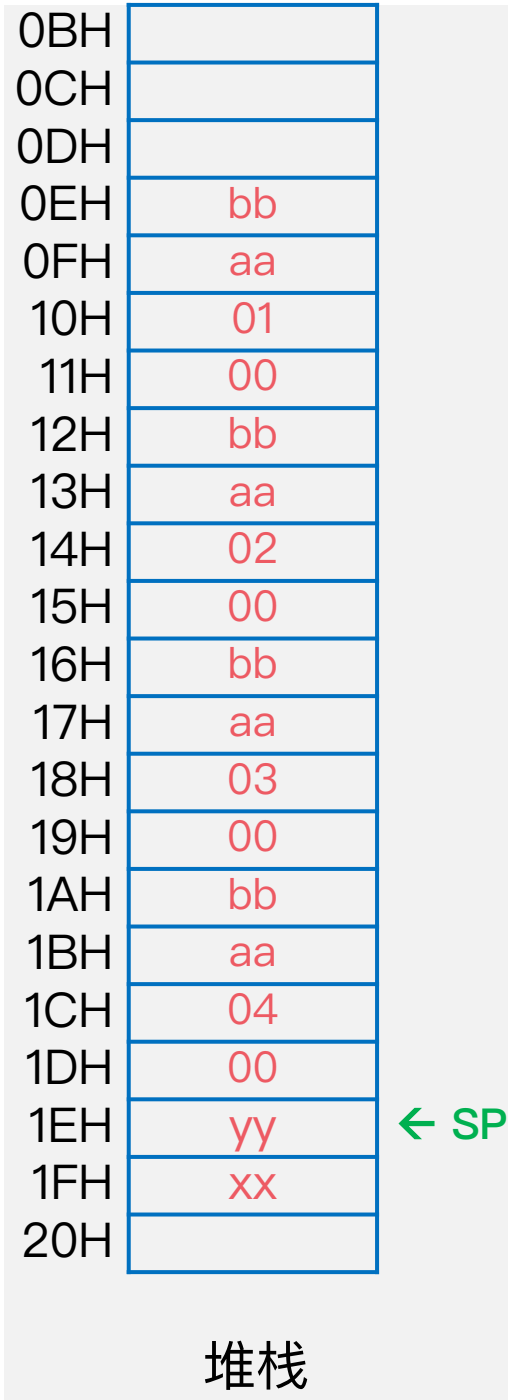
堆栈

BX = 3
AX = 1*2*3
SP = 1CH

六. 递归子程序 — 例：求4!

```
21  MAIN:   MOV     AX, SSEG
22          MOV     DS, AX
23          MOV     SP, SIZE SKTOP
24          MOV     BX, 4
25          CALL    FACT
26      xxyy NOP
27          MOV     AH, 4CH
28          INT     21H
29  CSEG    ENDS
30  END     MAIN
```

BX = 4
AX = 1*2*3*4
SP = 1EH

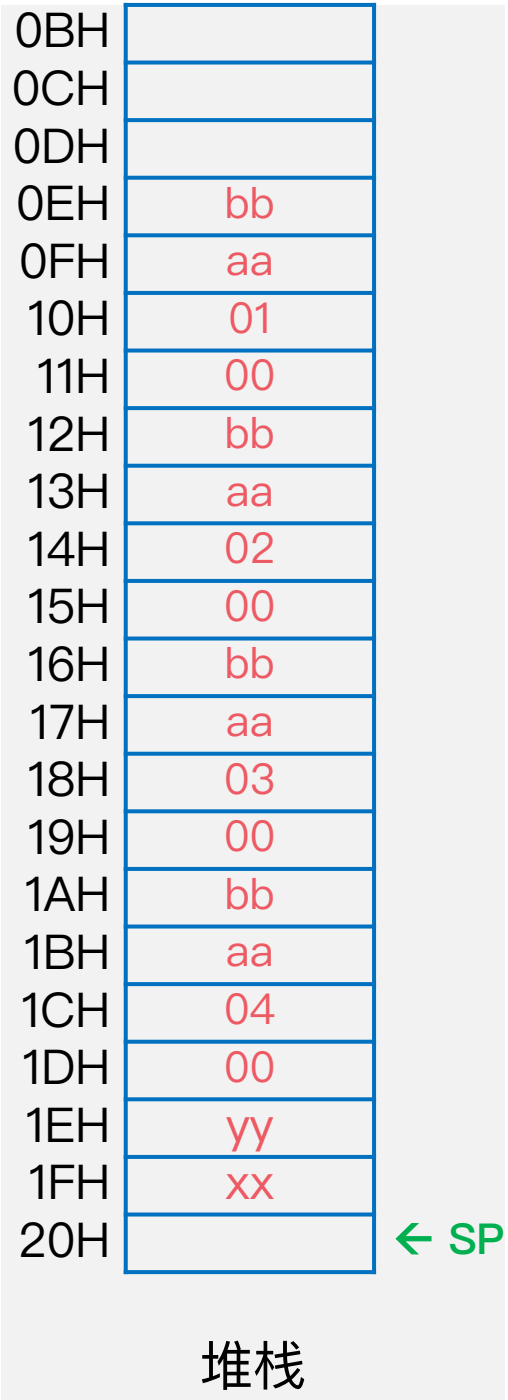



```
2   FACT    PROC    NEAR
3           AND     BX, BX
4           JZ      FACT1
5           PUSH    BX
6           DEC     BX
7           CALL    FACT
8   F: aabb POP     BX
9           MUL     BX
10          RET
11  FACT1:  MOV     AX,1
12          RET
13  FACT    ENDP
```

六. 递归子程序 — 例：求4!

```
21  MAIN:   MOV     AX, SSEG
22          MOV     DS, AX
23          MOV     SP, SIZE SKTOP
24          MOV     BX, 4
25          CALL    FACT
26  xxyy    NOP
27          MOV     AH, 4CH
28          INT     21H
29  CSEG    ENDS
30  END     MAIN
```

BX = 4
AX = 1*2*3*4
SP = 20H




```
2   FACT    PROC    NEAR
3           AND     BX, BX
4           JZ      FACT1
5           PUSH    BX
6           DEC     BX
7           CALL    FACT
8   F: aabb POP     BX
9           MUL     BX
10          RET
11  FACT1:  MOV     AX,1
12          RET
13  FACT    ENDP
```

七. 可重入子程序

一个子程序被某程序调用后，执行未结束，又被其它程序调用，这时，该程序都能正确地完成同时调用的各个任务，这样的子程序称为可重入子程序。

要使子程序具有可重入性，在子程序设计时必须满足下述条件：

(1) 子程序中不能有可修改的指令或常数；

(2) 当子程序的任何执行过程被中断时，寄存器的内容不能改变，以便恢复执行；

(3) 子程序本身用堆栈作为自己的工作区，或由调用程序提供工作区。

八. 程序的连接

编制一个解决实际问题的程序时，程序往往非常庞大，程序量可达数千条或数万条语句，甚至更多。这时，一个人很难完成，需要几个人乃至几十人共同编制。这时可以采用模块化程序设计方法，把整个问题分解成若干个逻辑上比较完整的独立部分，然后由不同的人分别编写。每个部分称为程序的一个模块，各个模块可以独立编写、汇编和调试，最后连接成一个完整的可以执行的机器语言程序，以备装入运行。这样的程序结构清晰，可读性和可维护性强。由于各模块独立编写、调试，所以编制简单，调试方便。

程序模块的连接信息是由程序段连接伪指令进行说明的，这些伪指令有：PUBLIC，EXTRN，GROUP和INCLUDE。