中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

USTC, CHINA
ADSLAB
先进数据系统实验室

《编译原理与技术》
运行时存储空间的组织和管理

计算机科学与技术学院

李 诚

2021-12-1

本章主要内容

- 运行时存储空间组织管理概述
- 活动树与栈式空间分配
- 调用序列与返回序列
- 非局部数据的访问

由编译器、操作系统、目标机器共同完成
编译器视角：目标程序运行在逻辑地址空间
操作系统视角：将逻辑地址转换为物理地址
目标机器视角：真正执行指令，访问数据，同时限制了存储空间的组织和数据的访问

运行时环境

- 编译器为目标程序创建并管理一个运行时环境，目标程序运行在该环境中。
  - 对象存储位置和空间的分配
  - 访问变量的机制
  - 过程间的连接
  - 参数传递机制

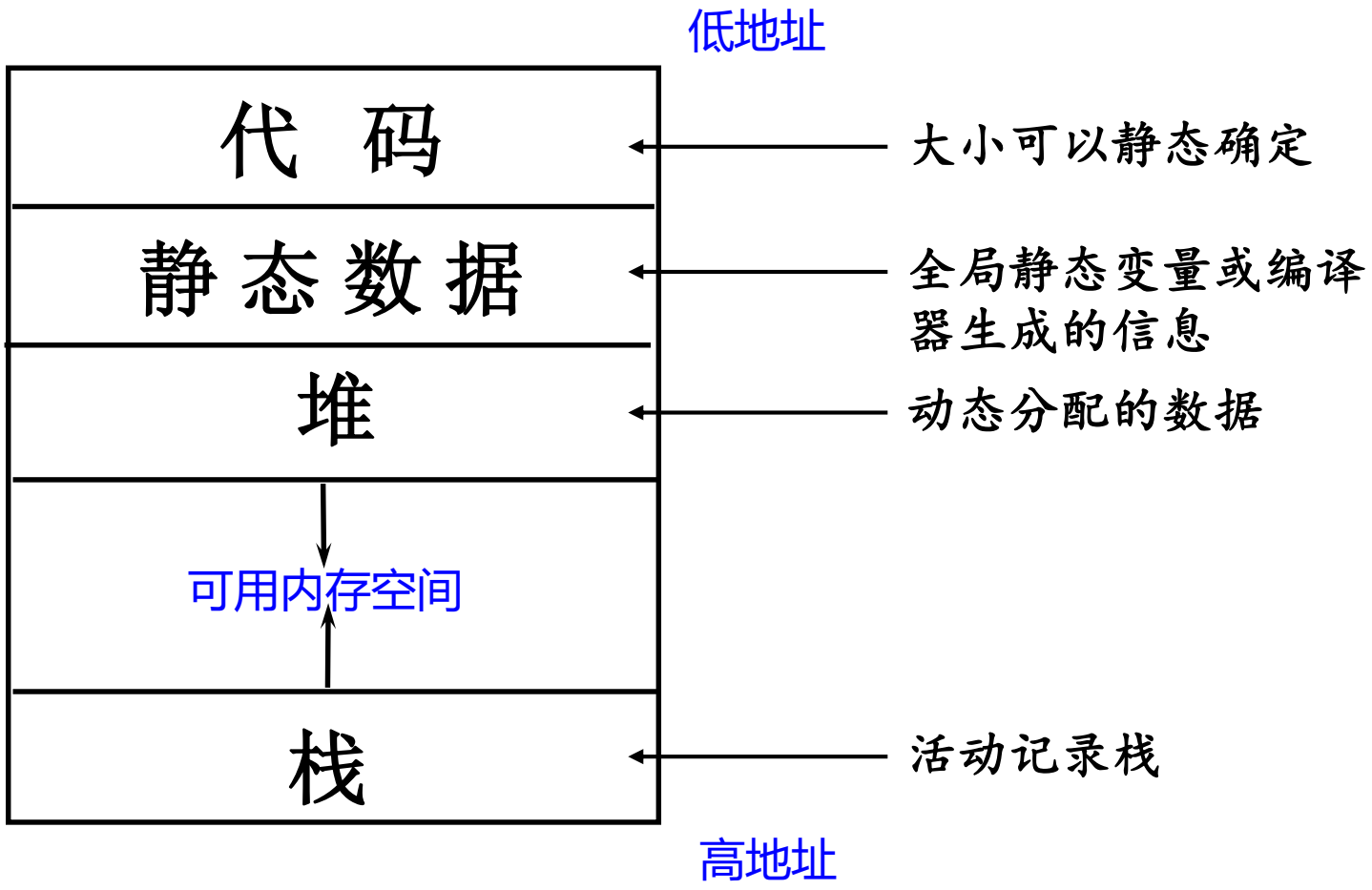
存储分配的策略

- 编译器必须为源程序中出现的一些**数据对象**分配运行时的存储空间
  - 静态存储分配
  - 动态存储分配
- 对于那些在编译时刻就可以确定大小的数据对象，可以在编译时刻就为它们分配存储空间，这样的策略成为**静态存储分配**
  - 比较简单，所以不展开

存储分配的策略

- 如果不能在编译时刻完全确定数据对象的大小，就要采用动态存储分配的策略。即，在编译时刻仅产生各种必要的信息，而在运行时刻，再动态地分配存储空间。
  - 栈式存储分配
  - 堆式存储分配
- 静态和动态这两个概念分别对应编译时刻和运行时刻

程序的存储分配


低地址
代 码
静 态 数 据
堆
可用内存空间
栈
高地址
大小可以静态确定
全局静态变量或编译器生成的信息
动态分配的数据
活动记录栈

影响存储分配策略的语言特征

- 过程能否递归
- 当控制从过程的活动返回时, 局部变量的值是否要保留
- 过程能否访问非局部变量
- 过程调用的参数传递方式
- 过程能否作为参数被传递
- 过程能否作为结果值传递
- 存储块能否在程序控制下被动态地分配
- 存储块是否必须被显式地释放

过程的存储组织与分配

- 过程
  - FORTRAN的子例程(subroutine)
  - PASCAL的过程/函数(procedure/function)
  - C的函数
- 过程的激活（调用）与终止（返回）
- 过程的执行需要：

  代码段 + 活动记录（过程运行所需的额外信息，如参数，局部数据，返回地址等）

局部存储分配

- 基本概念：作用域与生存期
- 活动记录的常见布局
  - 字节寻址、类型、次序、对齐
- 程序块：同名情况的处理

❑名字的作用域

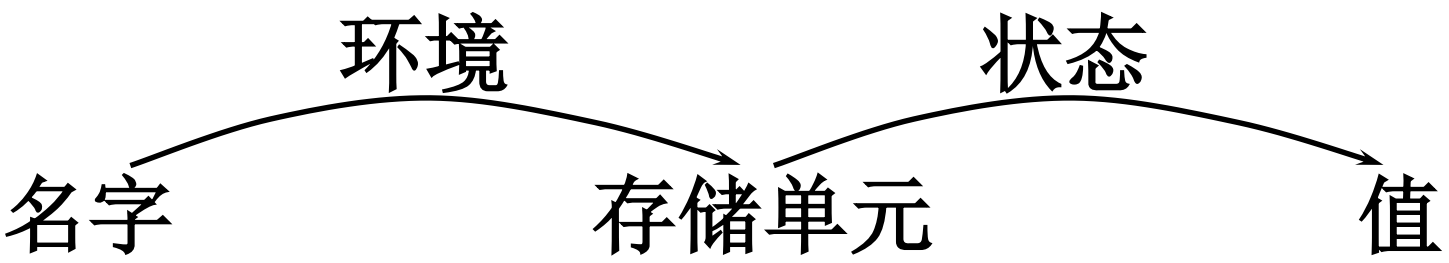
- ❖一个声明起作用的程序部分称为该声明的作用域
- ❖即使一个名字在程序中只声明一次，该名字在程序运行时也可能表示不同的数据对象

如下图代码中的n

```
int f(int n){
if (n<0) error("arg<0");
else if (n==0) return 1;
else return n*f(n-1);
}
```

❑环境和状态

- ❖环境把名字映射到左值，而状态把左值映射到右值（即名字到值有两步映射）
- ❖赋值改变状态，但不改变环境
- ❖过程调用改变环境
- ❖如果环境将名字x映射到存储单元s，则说x被绑定到s



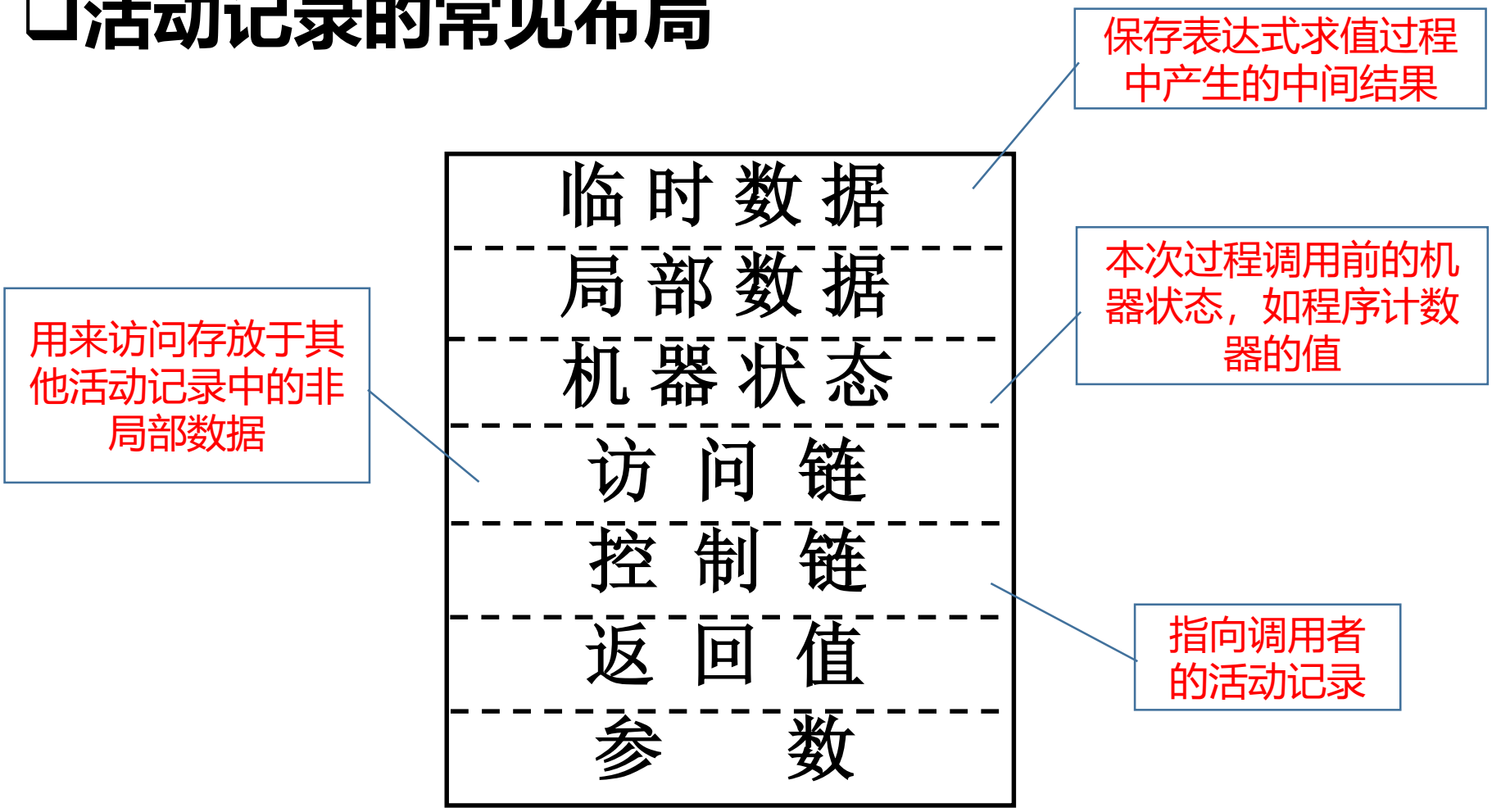
❑静态概念和动态概念的对应

静 态 概 念	动 态 对 应
过程的定义	过程的活动
名字的声明	名字的绑定
声明的作用域	绑定的生存期

活动记录

- 使用过程(或函数、方法)作为用户自定义动作的单元的语言，其编译器通常**以过程为单位分配存储空间**
- 过程体的每次执行成为该过程的一个活动
- 编译器**为每一个活动分配一块连续存储区域**，用来管理此次执行所需的信息，这片区域称为活动记录(activation record)

❑活动记录的常见布局


临时数据
局部数据
机器状态
访问链
控制链
返回值
参数
保存表达式求值过程中产生的中间结果
本次过程调用前的机器状态，如程序计数器的值
指向调用者的活动记录
用来访问存放于其他活动记录中的非局部数据

❑局部数据的布局

- ❖字节是可编址内存的最小单位
- ❖变量所需的存储空间可以根据其类型而静态确定
- ❖一个过程所声明的局部变量，按这些变量声明时出现的次序，在局部数据域中依次分配空间
- ❖局部数据的地址可以用相对于活动记录中某个位置的地址来表示
- ❖数据对象的存储布局还有一个对齐问题

局部存储分配

❑例　在SPARC/Solaris工作站上下面两个结构体的size分别是24和16，为什么不一样?

```
typedef struct  _a{
        char   c1;
        long   i;
        char   c2;
        double f;
}a;
```

```
typedef struct  _b{
        char c1;
        char c2;
        long i;
        double f;
}b;
```

对齐：char : 1, long : 4, double : 8

局部存储分配

❑例　在SPARC/Solaris工作站上下面两个结构体的size分别是24和16，为什么不一样?

```
typedef struct  _a{
        char   c1;     0
        long   i;      4
        char   c2;     8
        double f;      16
}a;
```

```
typedef struct  _b{
        char c1;       0
        char c2;       1
        long i;        4
        double f;      8
}b;
```

对齐：char : 1, long : 4, double : 8

局部存储分配

❑例　在x86/Linux机器的结果和SPARC/Solaris工作站不一样，是20和16。

```
typedef struct  _a{
        char   c1;     0
        long   i;      4
        char   c2;     8
        double f;      12
}a;
```

```
typedef struct  _b{
        char c1;      0
        char c2;      1
        long i;       4
        double f;     8
}b;
```

对齐：char : 1, long : 4, double : 4

局部存储分配

- 程序块
  - 本身含有局部变量声明的语句
  - 可以嵌套
  - 最接近的嵌套作用域规则
  - 并列程序块不会同时活跃
  - 并列程序块的变量可以重叠分配

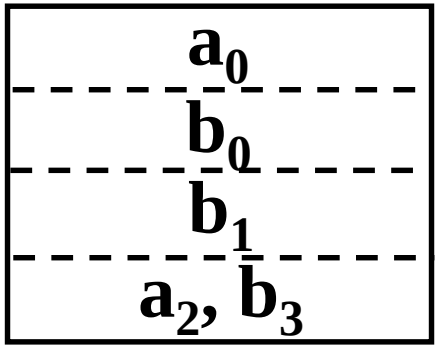
局部存储分配


```
main() / * 例 */
{                                          /* begin of B0 */
    int a = 0;
    int b = 0;
    {                                          /* begin of B1 */
        int b = 1;
        {                                  /* begin of B2 */
            int a = 2;
        }                                  /* end of B2 */
        {                                  /* begin of B3 */
            int b = 3;
        }                                  /* end of B3 */
    }                                          /* end of B1 */
}                                              /* end of B0 */
```

局部存储分配


```
main() / * 例 */
{ /* begin of B0 */
    int a = 0;
    int b = 0;
    { /* begin of B1 */
        int b = 1;
        {/* begin of B2 */
            int a = 2;
        }/* end of B2 */
        {/* begin of B3 */
            int b = 3;
        }/* end of B3 */
    }/* end of B1 */
}/* end of B0 */
```

声　明	作 用 域
int a = 0;	$B_0 - B_2$
int b = 0;	$B_0 - B_1$
int b = 1;	$B_1 - B_3$
int a = 2;	B_2
int b = 3;	B_3



重叠分配存储单元

静态分配

- 名字在程序被编译时绑定到存储单元，不需要运行时的任何支持
- 绑定的生存期是程序的整个运行期间

❑静态分配给语言带来限制

- ❖递归过程不被允许
- ❖数据对象的长度和它在内存中位置的限制，必须是在编译时可以知道的
- ❖数据结构不能动态建立

- 例 C程序的外部变量、静态局部变量以及程序中出现的常量都可以静态分配
- 声明在函数外面
  - 外部变量 —— 静态分配
  - 静态外部变量 —— 静态分配
- 声明在函数里面
  - 静态局部变量 —— 也是静态分配
  - 自动变量 —— 不能静态分配

- 主要有两种策略
  - 栈式存储：与过程调用返回有关，涉及过程的局部变量以及过程活动记录
  - 堆存储：关系到部分生存周期较长的数据

本章主要内容

- 运行时存储空间组织管理概述
- 活动树与栈式空间分配
- 调用序列与返回序列
- 非局部数据的访问

栈式存储分配

- 对于支持过程、函数和方法的语言，其编译器通常会用栈的形式来管理其运行时刻存储
- 当一个过程被调用时，该过程的活动记录被压入栈中；当过程结束时，记录被弹出
- 这种安排不仅允许活跃时段不交叠的多个过程调用共享空间；而且可以使得过程的非局部变量的相对地址总是固定的，和调用序列无关

活动树

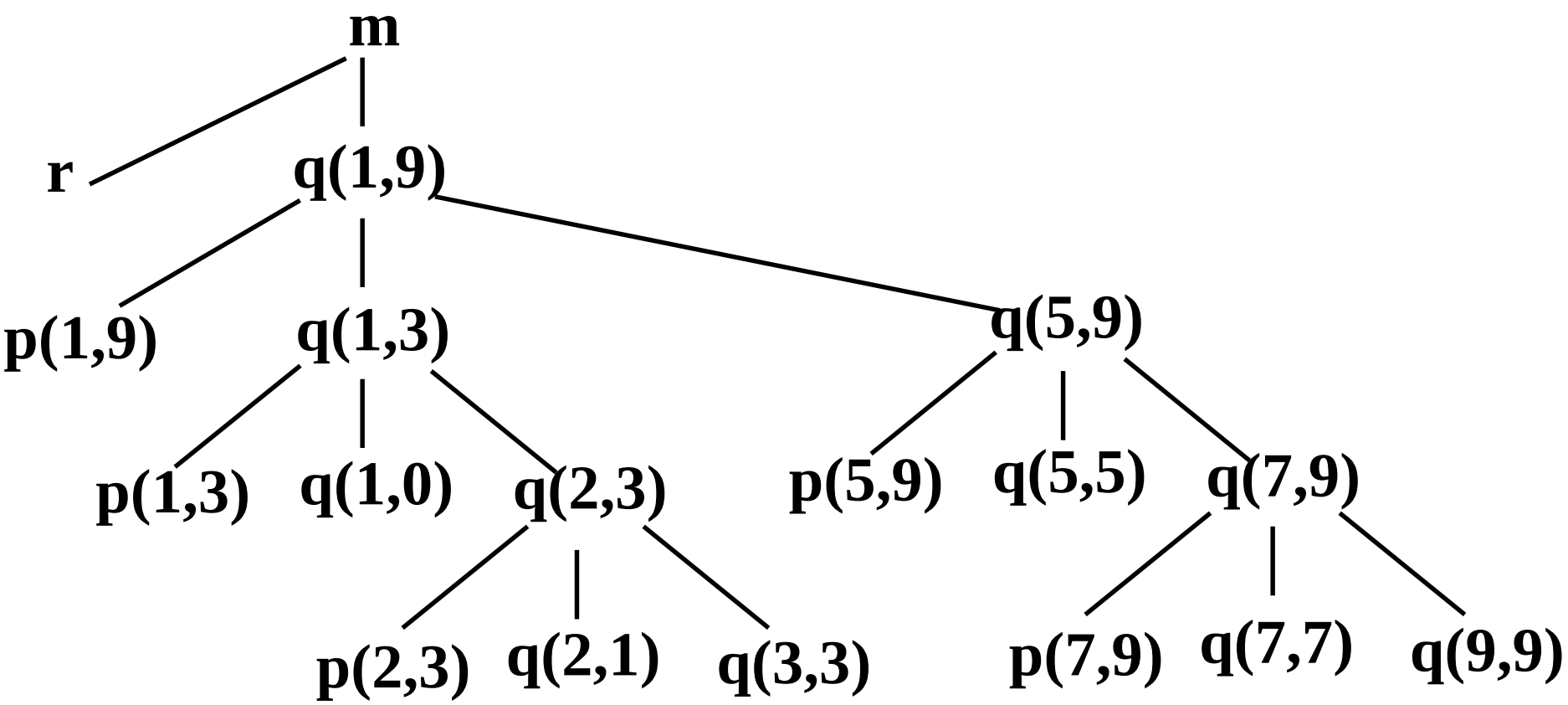
- 用来描述程序运行期间控制进入和离开各个活动的情况的树
- 树中的每个结点对应于一个活动。根结点是启动程序执行的main过程的活动
- 对于过程p，其子结点对应于被p的这次活动调用的各个过程的活动。按照调用次序，自左向右地显示它们。一个子结点必须在其右兄弟结点的活动开始之前结束。

例：一个快排程序的介绍


```
int a[11];
void readArray() /*将9个数读入a[1],…,a[9]中*/
{ int i; …}
int partition(int m, int n)
{/*选择一个分割值v, 划分a[m,…,n], 使得a[m… p-1]小于v, a[p]=v, a[p+1…n]
大于v, 返回p*/
…}
void quicksort(int m, int n)
{  int i;
    if(n>m){
        i = partition(m, n);
        quicksort(m, i-1);
        quicksort(i+1, n);}
main(){
    readArray();
   a[0]  = -9999;
   a[10] = 9999;
   quicksort(1,9);}
```

❑活动树

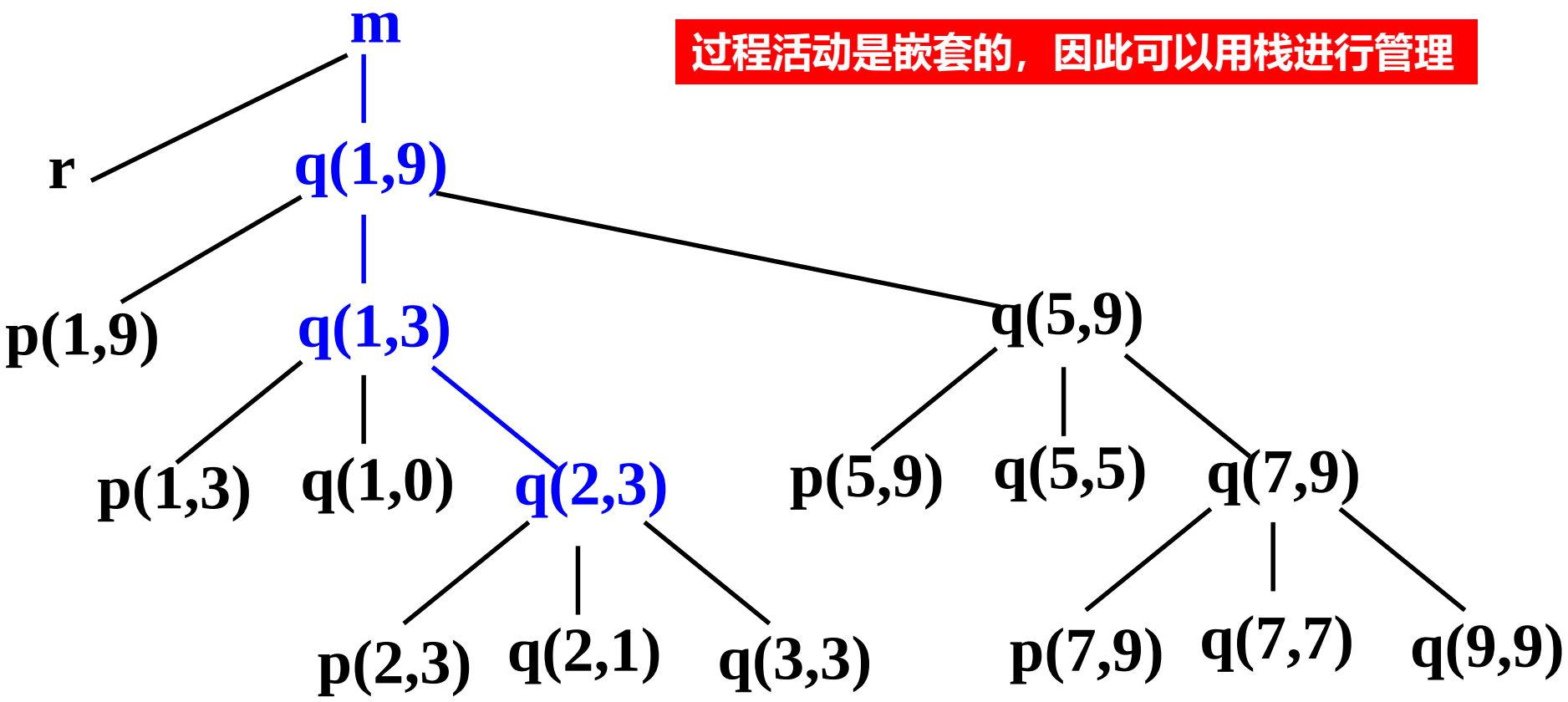
❖用树来描绘控制进入和离开活动的方式



活动树和运行栈

- 当前活跃着的过程活动可以保存在一个栈中
  - 例 控制栈的内容：m, q (1, 9), q (1, 3), q (2, 3)

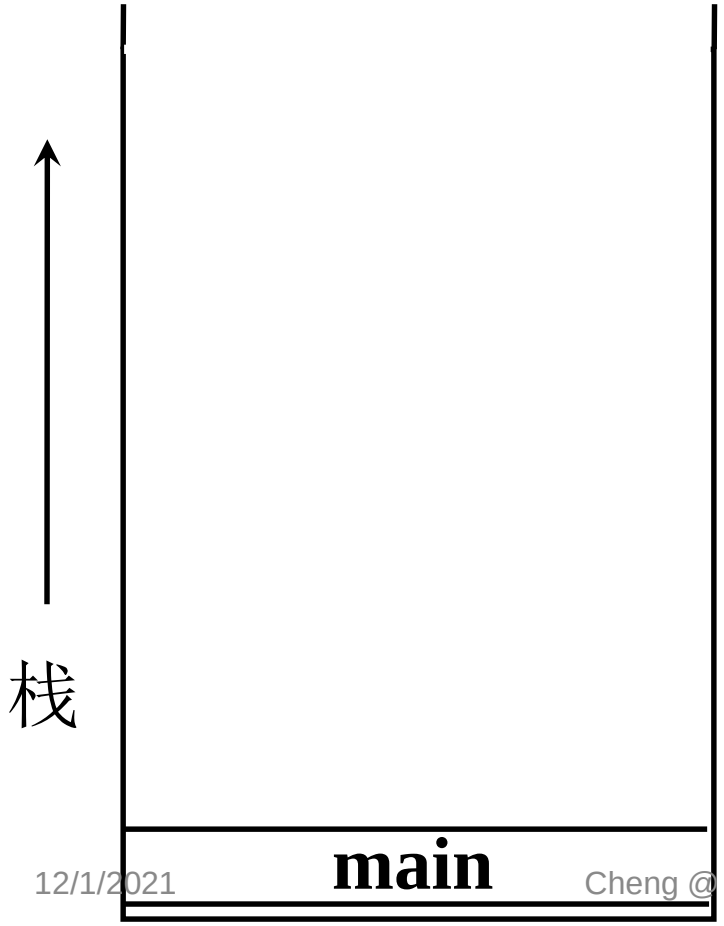
过程活动是嵌套的，因此可以用栈进行管理



- 运行栈：把控制栈中的信息拓广到包括过程活动所需的所有局部信息（即活动记录）

活动树和运行栈

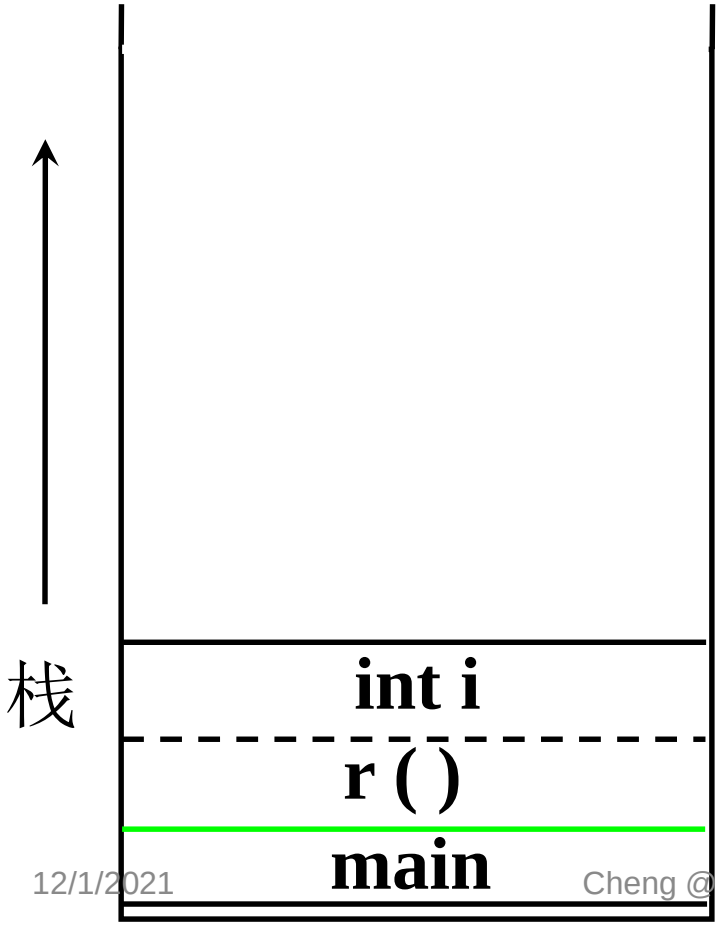
- 运行栈：把控制栈中的信息拓广到包括过程活动所需的所有局部信息（即活动记录）



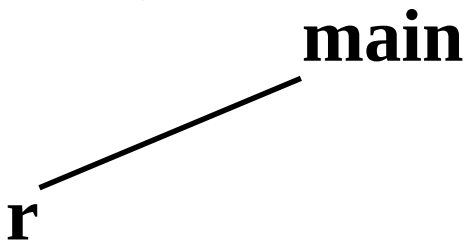
函数调用关系树

main

- 运行栈：把控制栈中的信息拓广到包括过程活动所需的所有局部信息（即活动记录）

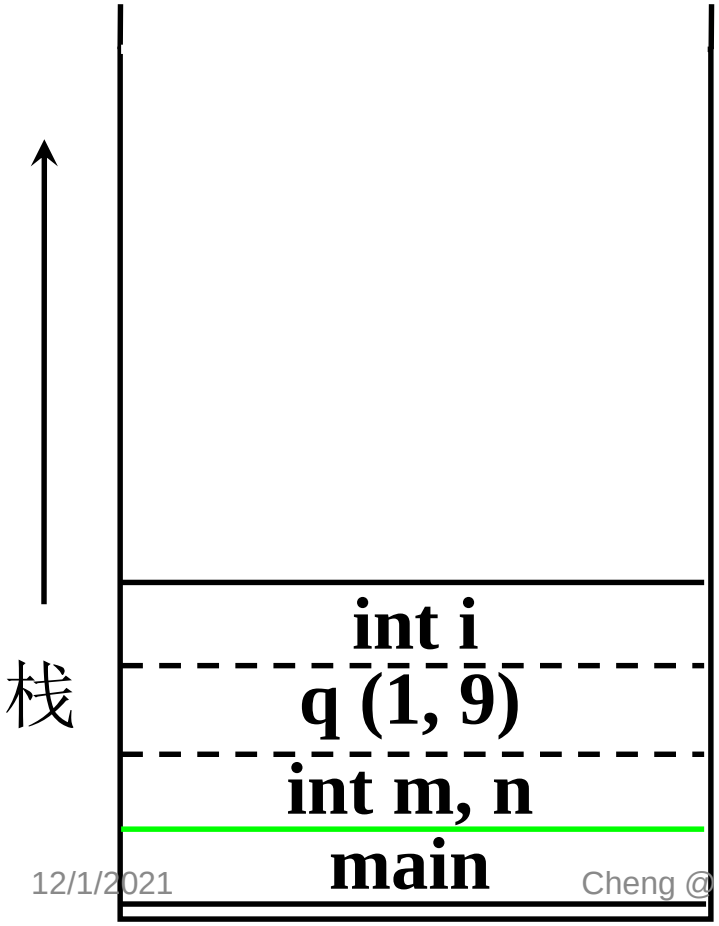


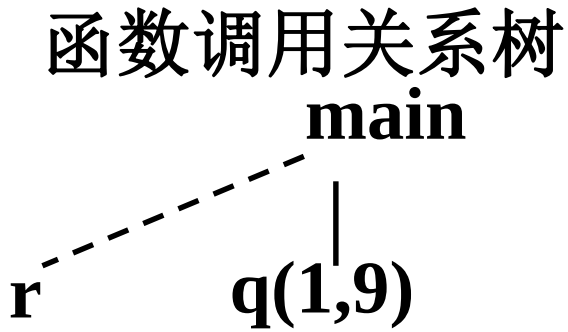
函数调用关系树



活动树和运行栈

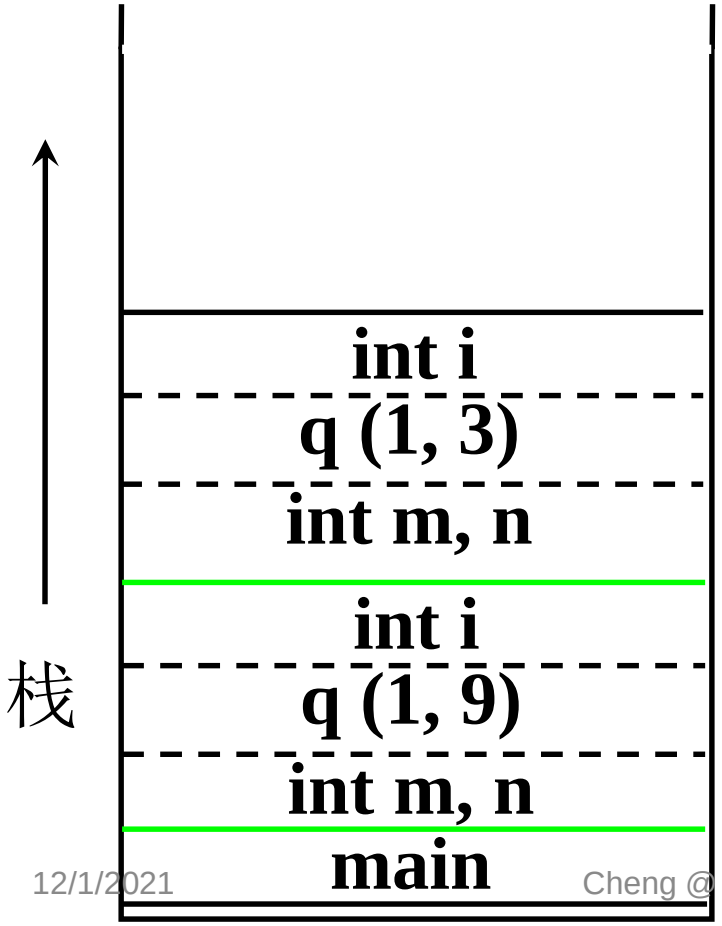
- 运行栈：把控制栈中的信息拓广到包括过程活动所需的所有局部信息（即活动记录）

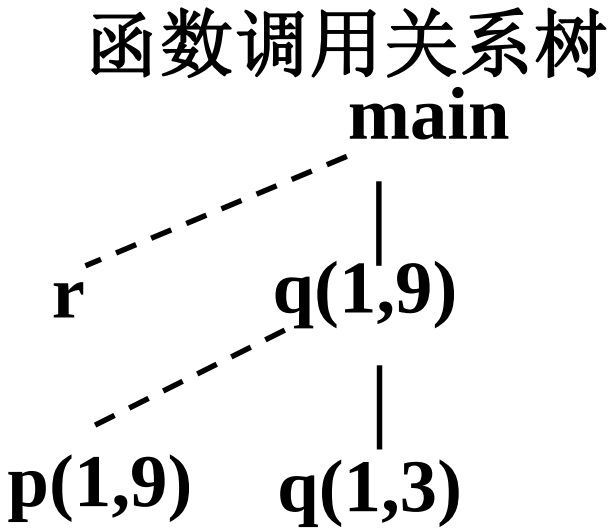




活动树和运行栈

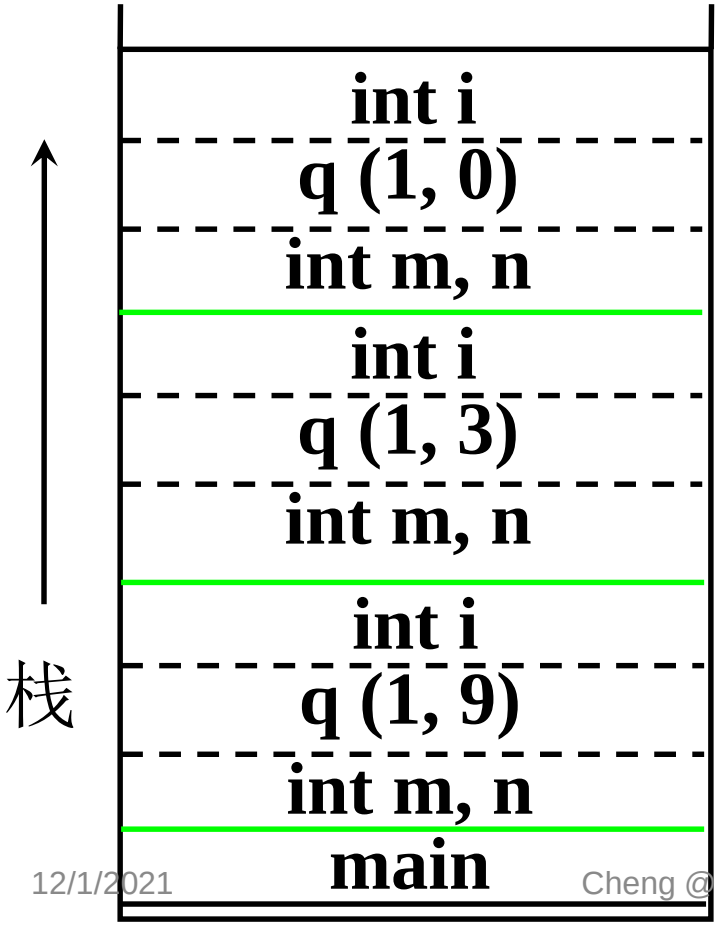
❑运行栈：把控制栈中的信息拓广到包括过程活动所需的所有局部信息（即活动记录）

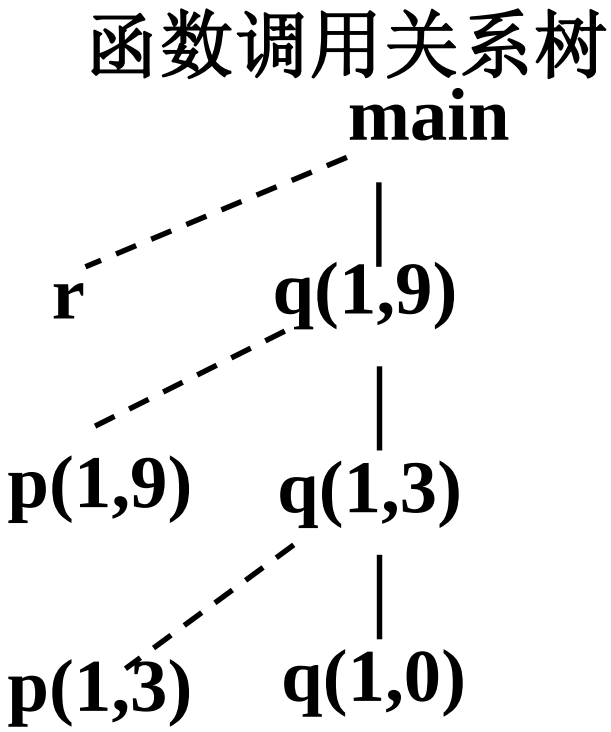




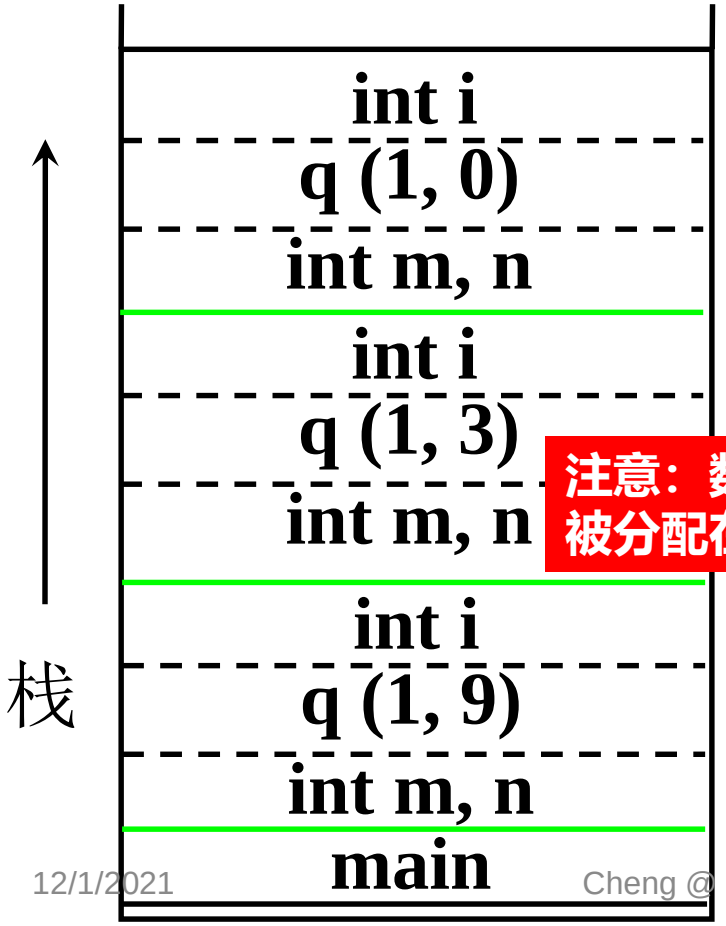
活动树和运行栈

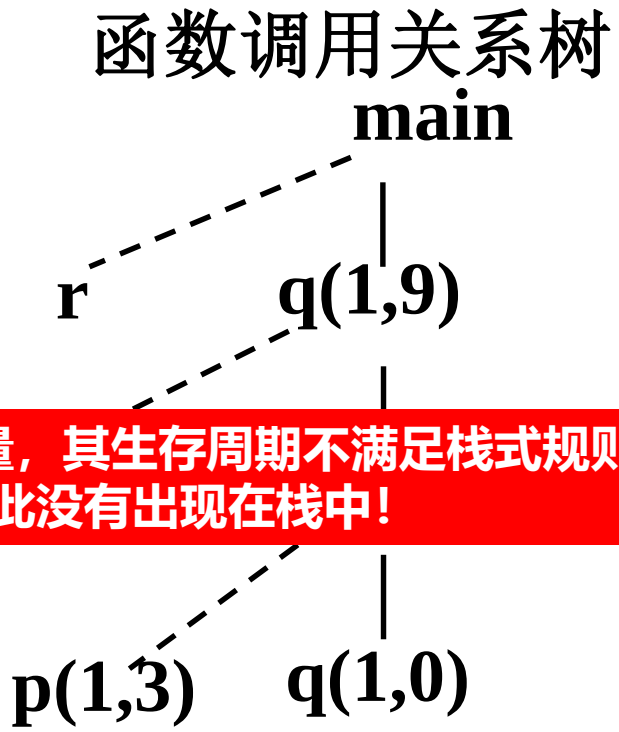
- 运行栈：把控制栈中的信息拓广到包括过程活动所需的所有局部信息（即活动记录）





- 运行栈：把控制栈中的信息拓广到包括过程活动所需的所有局部信息（即活动记录）





注意：数组a是全局变量，其生存周期不满足栈式规则，被分配在静态区域，因此没有出现在栈中！

活动树与控制栈

- 每个活跃的活动**都有**一个位于控制栈中的活动记录
- 活动树的根结点的记录位于**栈底**
- 程序控制所在的活动的记录位于**栈顶**
- 栈中全部活动记录的序列对应在活动树中到达当前控制所在的活动结点的**路径**

本章主要内容

- 运行时存储空间组织管理概述
- 活动树与栈式空间分配
- **调用序列与返回序列**
- **非局部数据的访问**

对运行栈的管理

- 代码序列
  - 过程调用和过程返回都需要执行一些代码来管理活动记录栈，保存或恢复机器状态等

对运行栈的管理

- 代码序列
  - 过程调用和过程返回都需要执行一些代码来管理活动记录栈，保存或恢复机器状态等
- 过程调用序列(calling sequence)
  - 过程调用时执行的分配活动记录，把信息填入它的域中，使被调用过程可以开始执行的代码
- 过程返回序列(return sequence)
  - 被调用过程返回时执行的恢复机器状态，释放被调用过程活动记录，使调用过程能够继续执行的代码

对运行栈的管理

- 代码序列
  - 过程调用和过程返回都需要执行一些代码来管理活动记录栈，保存或恢复机器状态等
- 过程调用序列(calling sequence)
  - 过程调用时执行的分配活动记录，把信息填入它的域中，使被调用过程可以开始执行的代码
- 过程返回序列(return sequence)
  - 被调用过程返回时执行的恢复机器状态，释放被调用过程活动记录，使调用过程能够继续执行的代码
- 调用序列和返回序列常常都**分成两部分**，分处于**调用过程和被调用过程的活动记录中**

对运行栈的管理

- 即使是同一种语言，过程调用序列、返回序列和活动记录中各域的排放次序，也会因实现而异
- 设计这些序列和活动记录的一些原则
  - 调用者与被调用者之间交流的数据放在被调用者活动记录的开始处，尽量靠近调用者的活动记录
    - 参数域紧邻调用者活动记录
    - 返回值在参数域之上

对运行栈的管理

- 即使是同一种语言，过程调用序列、返回序列和活动记录中各域的排放次序，也会因实现而异
- 设计这些序列和活动记录的一些原则
  - 固定长度的域放在活动记录的中间
    - 控制链
    - 访问链
    - 机器状态

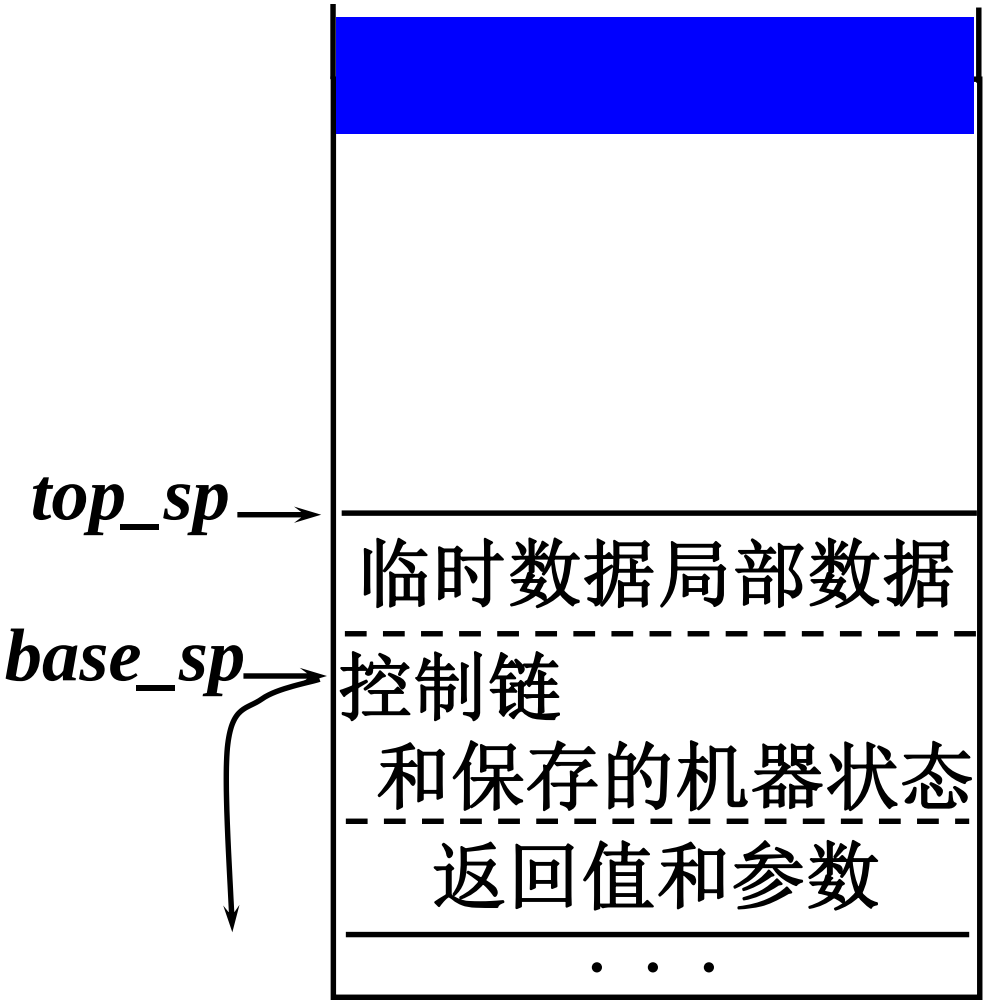
对运行栈的管理

- 即使是同一种语言，过程调用序列、返回序列和活动记录中各域的排放次序，也会因实现而异
- 设计这些序列和活动记录的一些原则
  - 不能编译时刻确定大小的数据一般放在活动记录的末端
    - 局部动态数组
    - 临时数据

对运行栈的管理

- 即使是同一种语言，过程调用序列、返回序列和活动记录中各域的排放次序，也会因实现而异
- 设计这些序列和活动记录的一些原则
  - 以活动记录中间的某个位置作为基地址(控制链)来活动记录中的内容

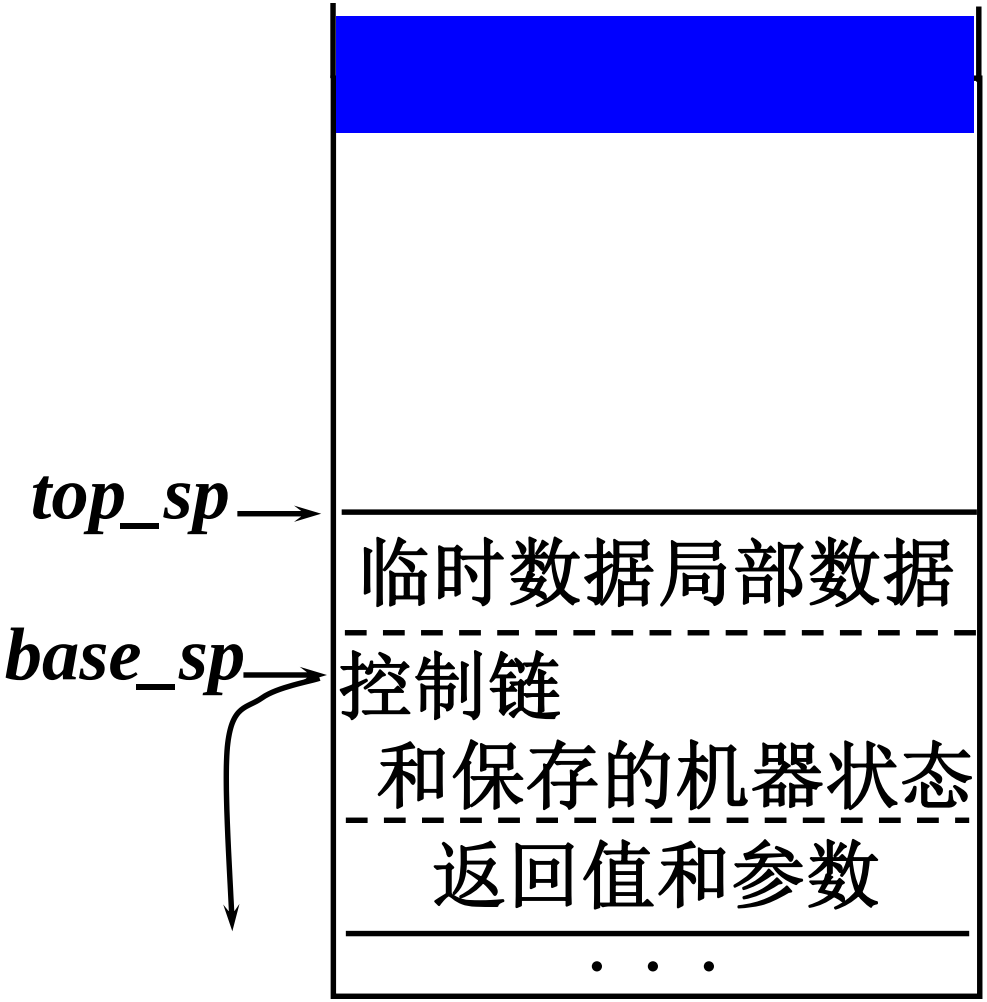
全局栈式存储分配



- **top_sp**: 栈顶寄存器，如esp、rsp。指向栈顶活动记录的末端
- **base_sp**: 基址寄存器，如ebp、rbp。指向栈顶活动记录中控制链所在位置。

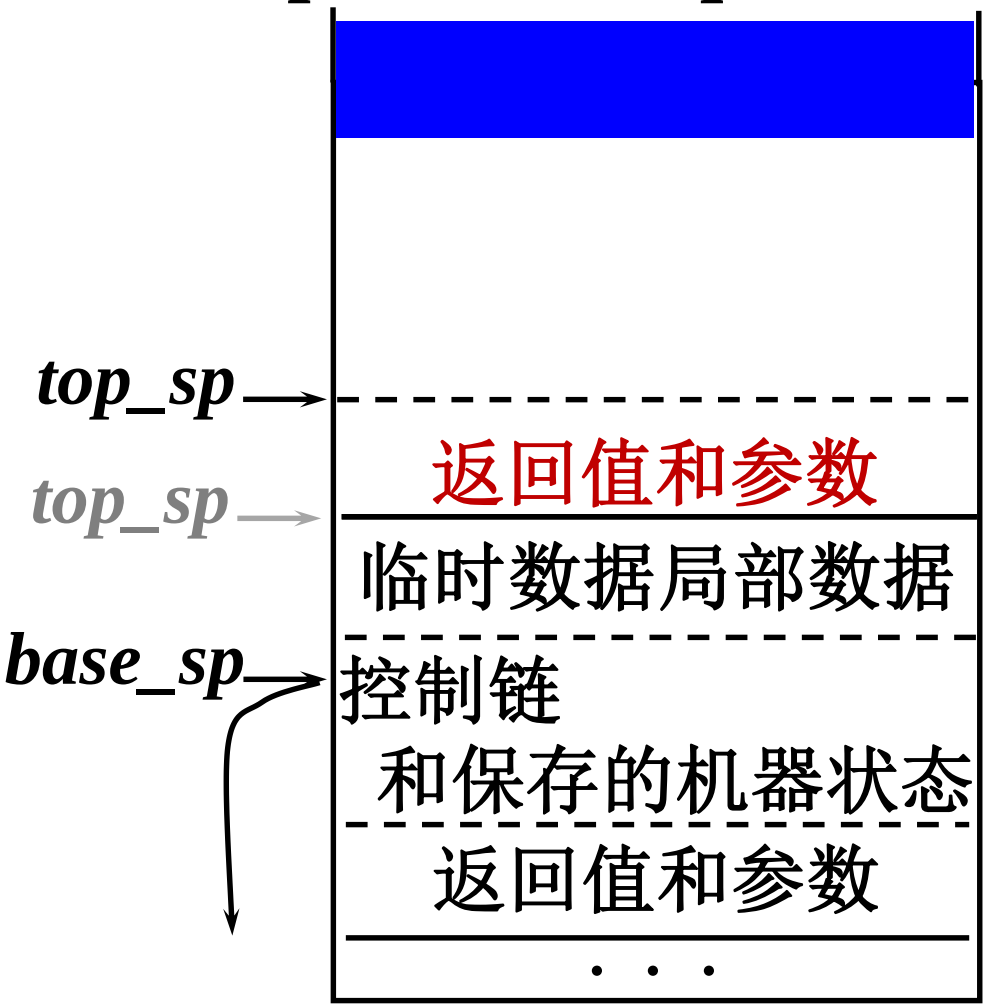
全局栈式存储分配

- 过程p调用过程q的调用序列(**栈往上增长**)



全局栈式存储分配

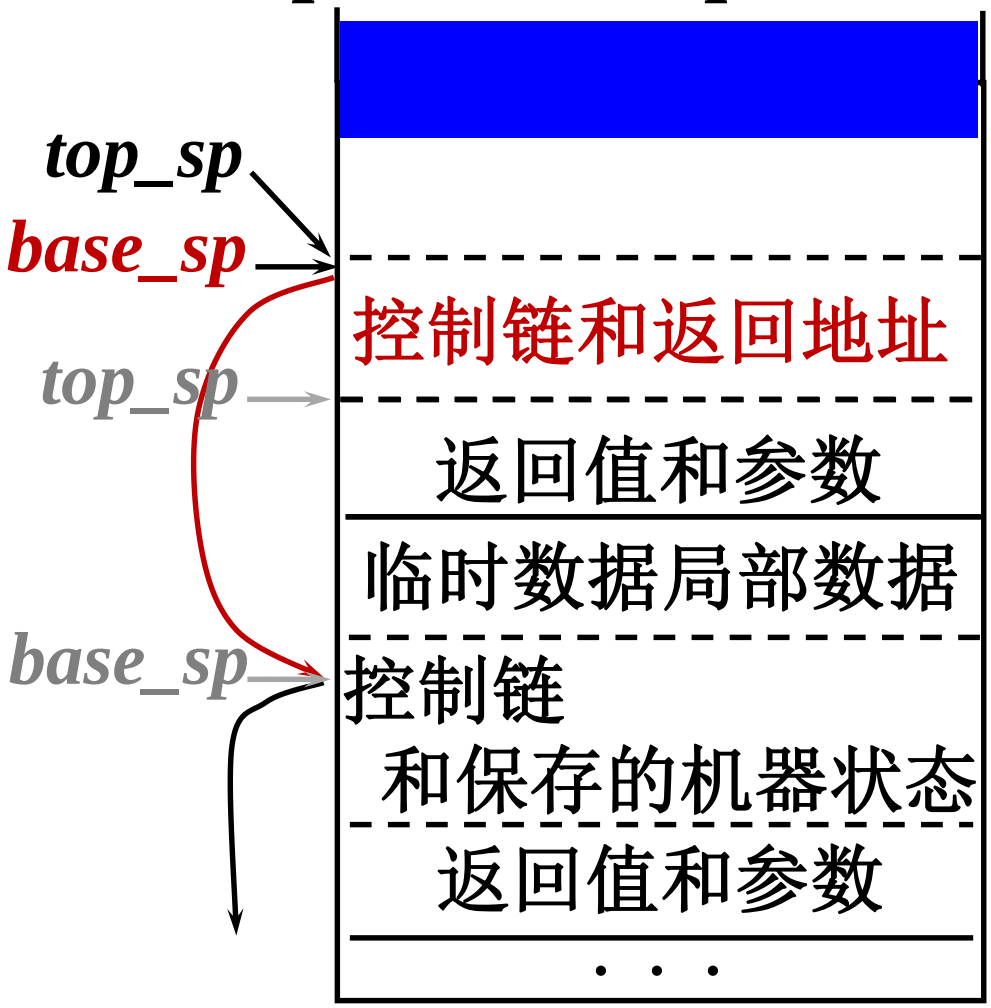
❑过程p调用过程q的调用序列(栈往上增长)



(1) p计算实参，依次放入栈顶，并在栈顶留出放返回值的空间。top_sp的值在此过程中被改变

全局栈式存储分配

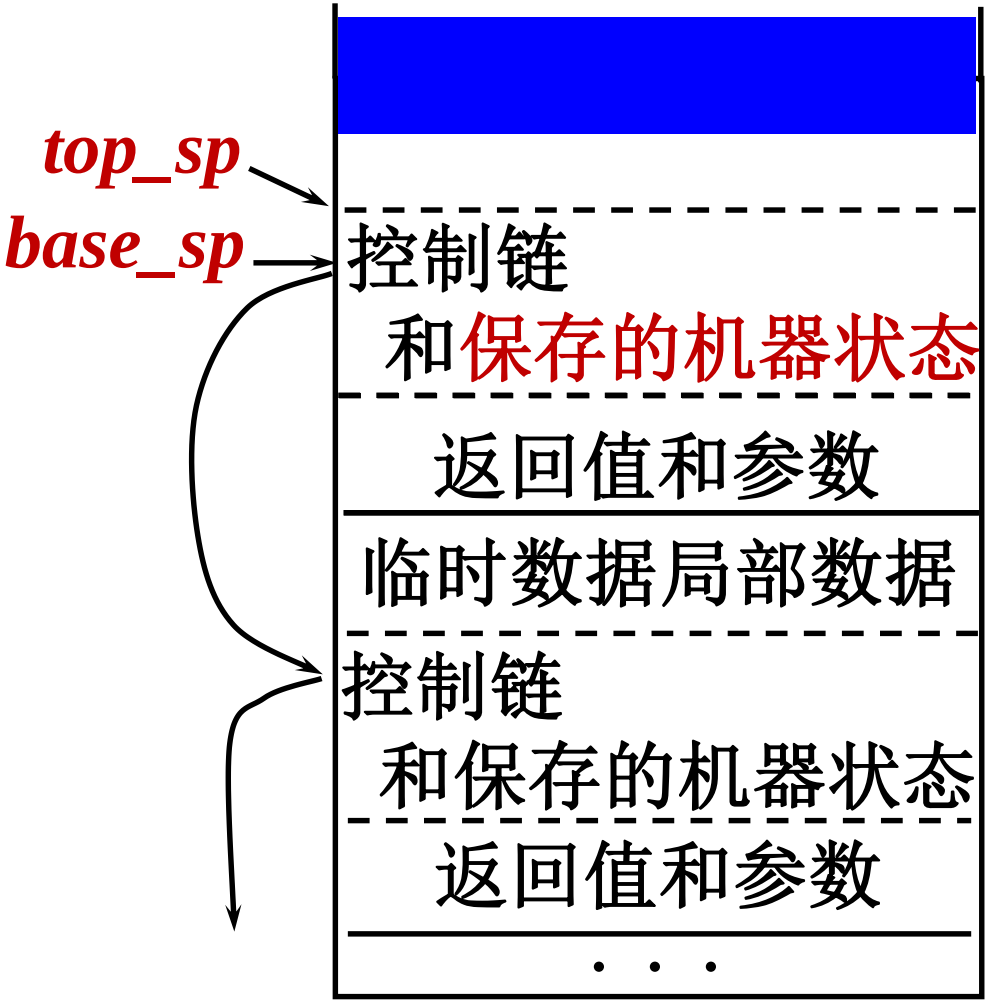
❑过程p调用过程q的调用序列



(2) p把返回地址和当前base_sp的值存入q的活动记录中，建立q的控制链，改变base_sp的值

全局栈式存储分配

❑过程p调用过程q的调用序列



(3) q保存寄存器的值和其它机器状态信息

全局栈式存储分配

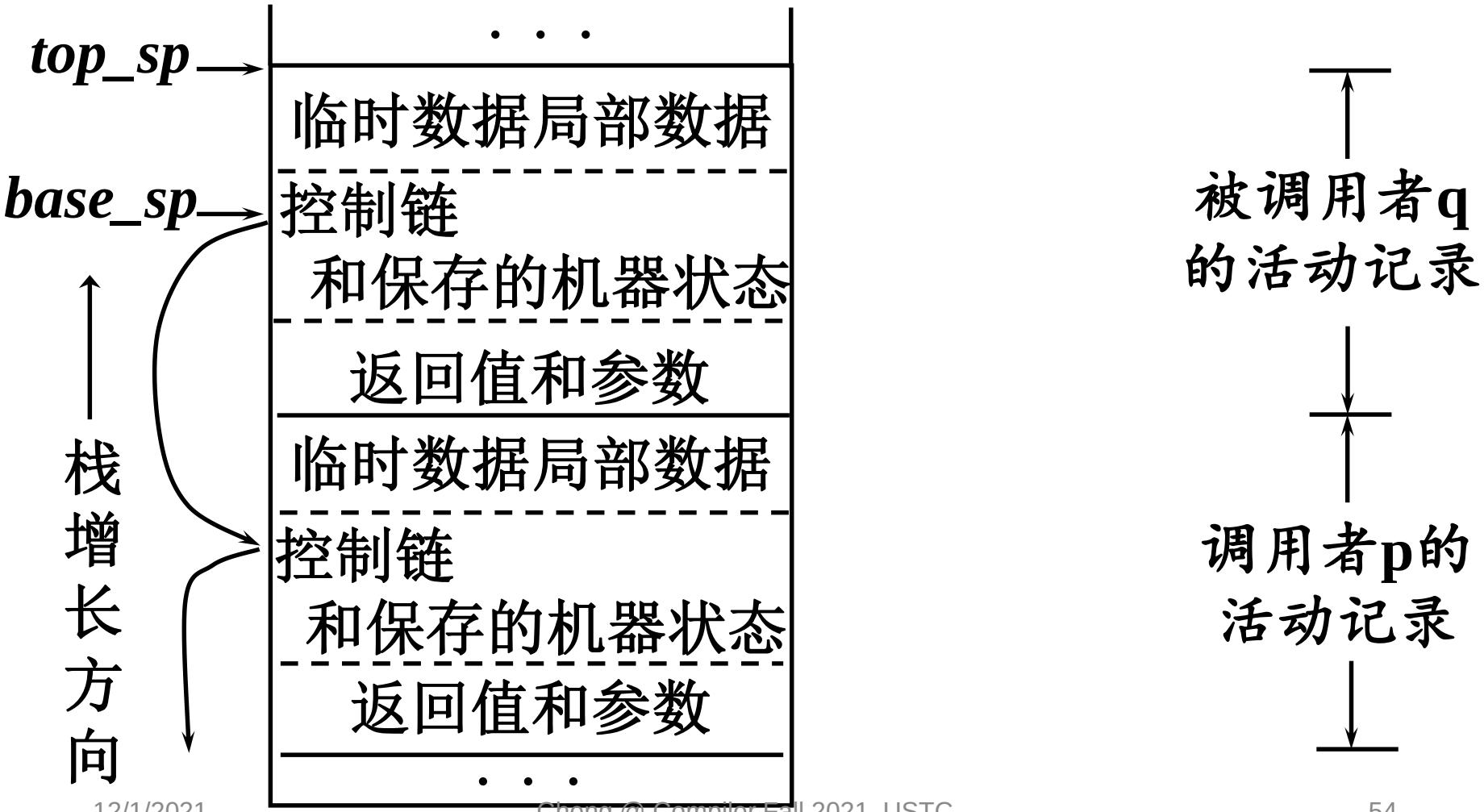
❑过程p调用过程q的调用序列

base_sp不变，指向活动记录中间

(4) q根据局部数据域和临时数据域的大小减小top_sp的值，初始化它的局部数据，并开始执行过程体

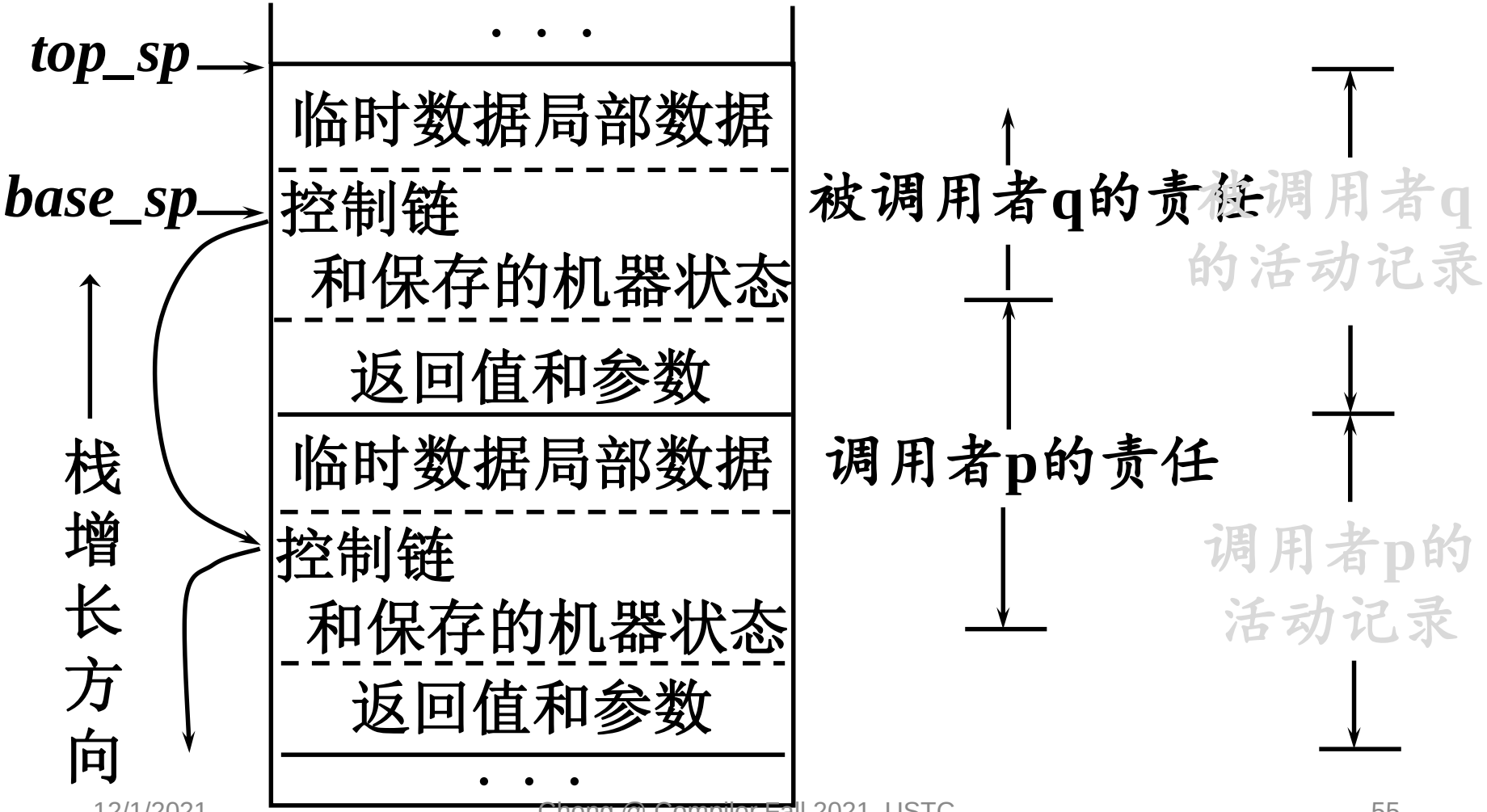
全局栈式存储分配

❑调用者p和被调用者q之间的任务划分



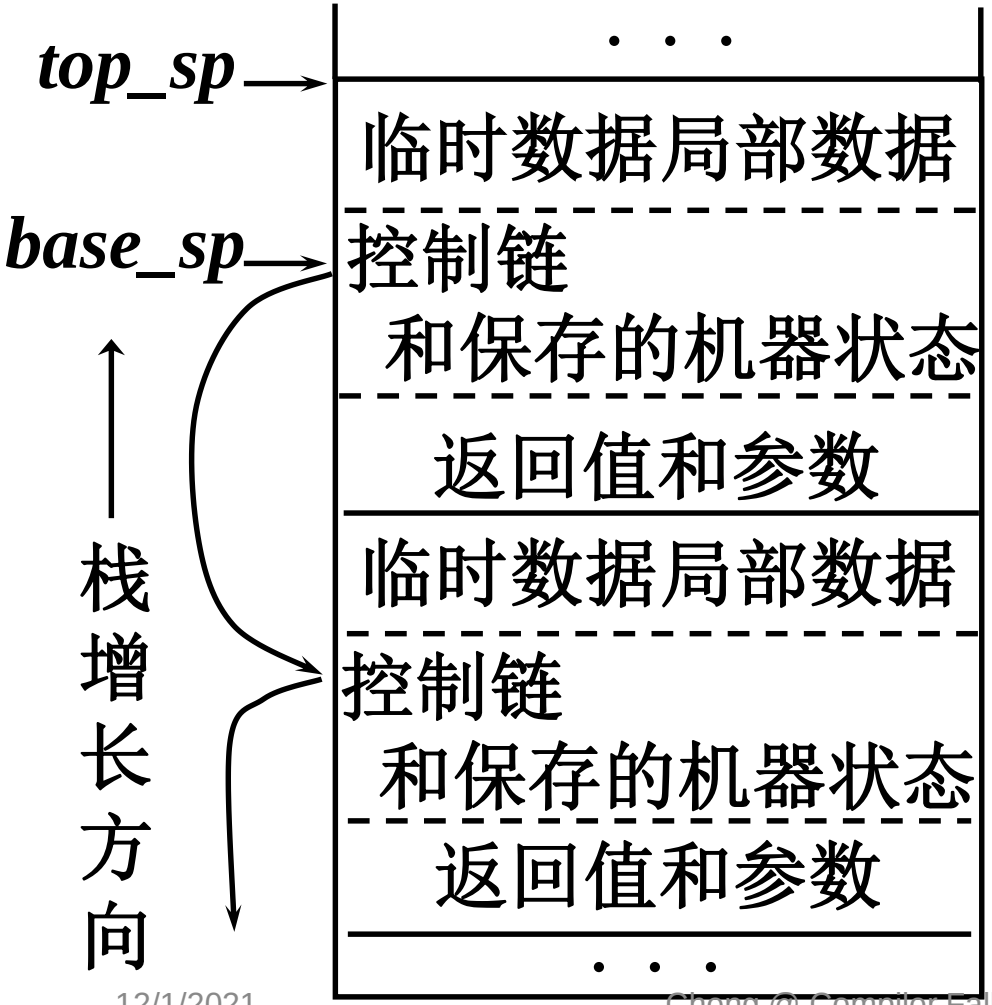
全局栈式存储分配

❑调用者p和被调用者q之间的任务划分



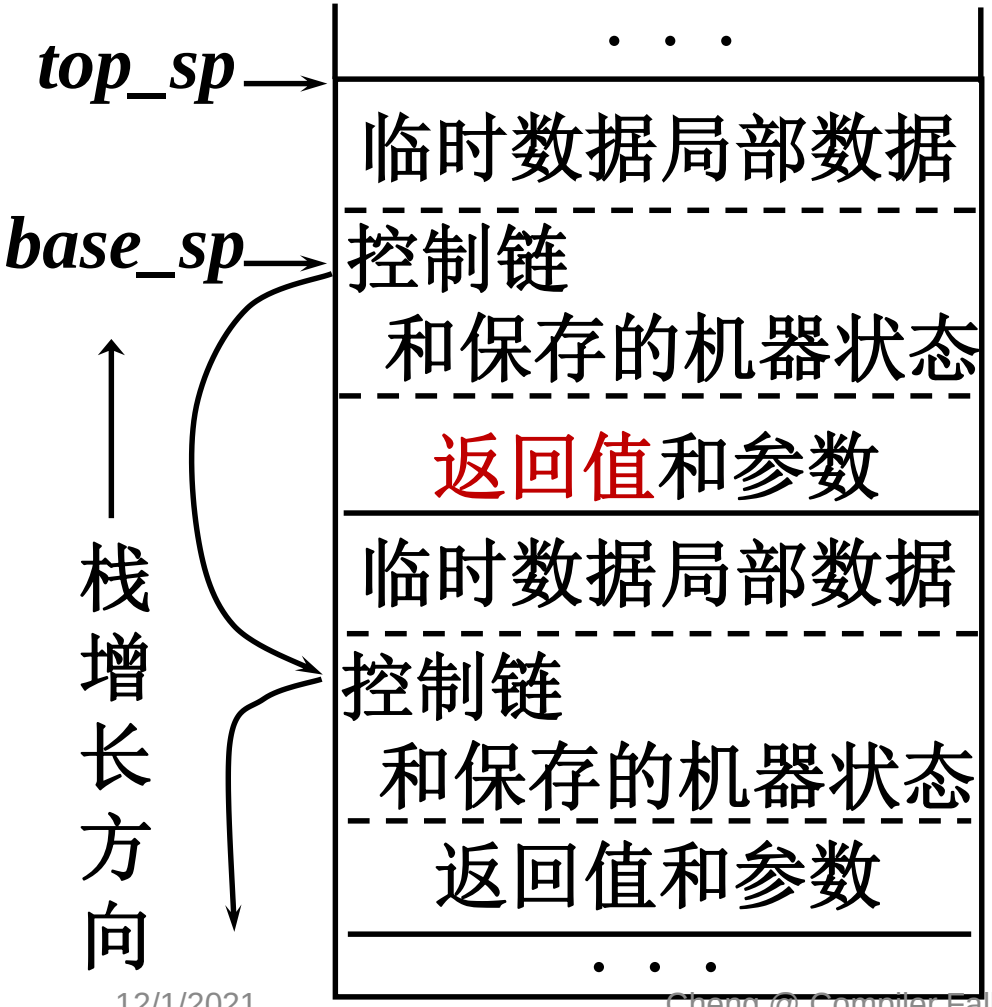
全局栈式存储分配

❑过程p调用过程q的返回序列



全局栈式存储分配

❑过程p调用过程q的返回序列

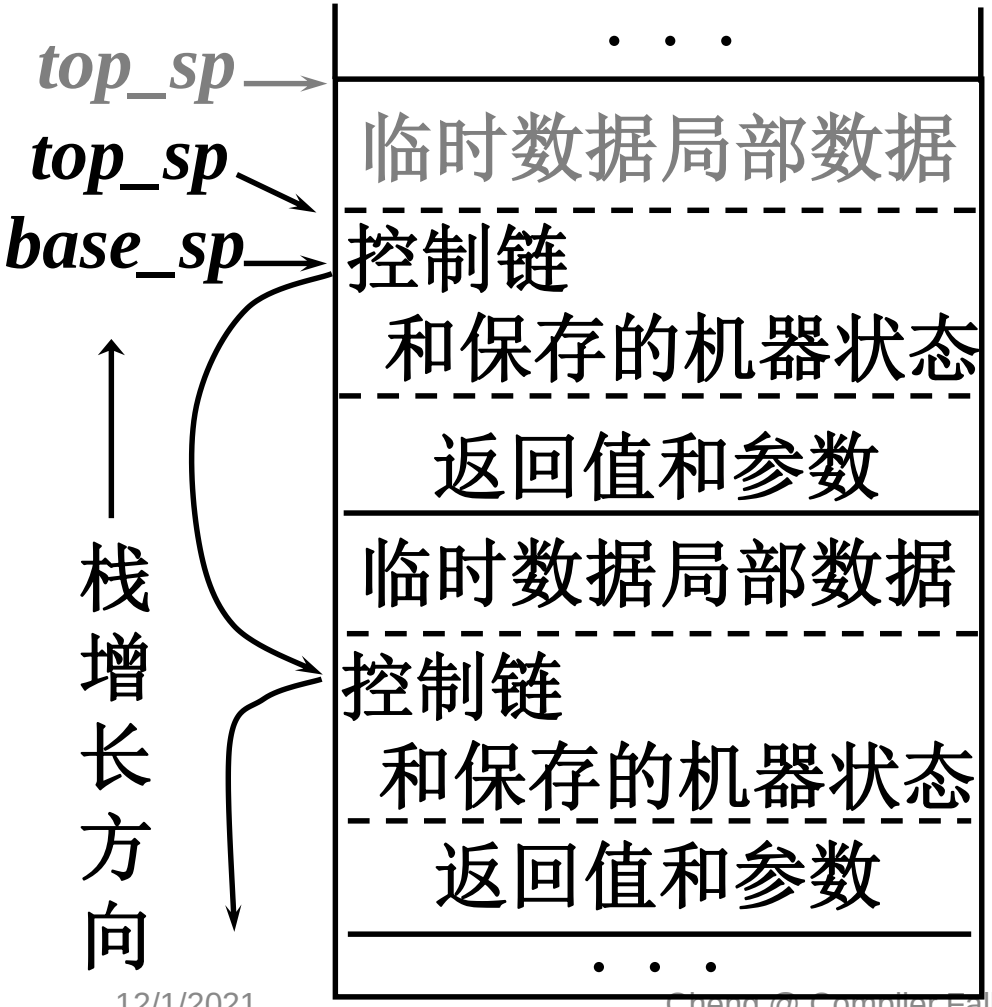


(1) q把返回值置入邻近p的活动记录的地方

引申：参数个数可变场合难以确定存放返回值的位置，因此通常用寄存器传递返回值

全局栈式存储分配

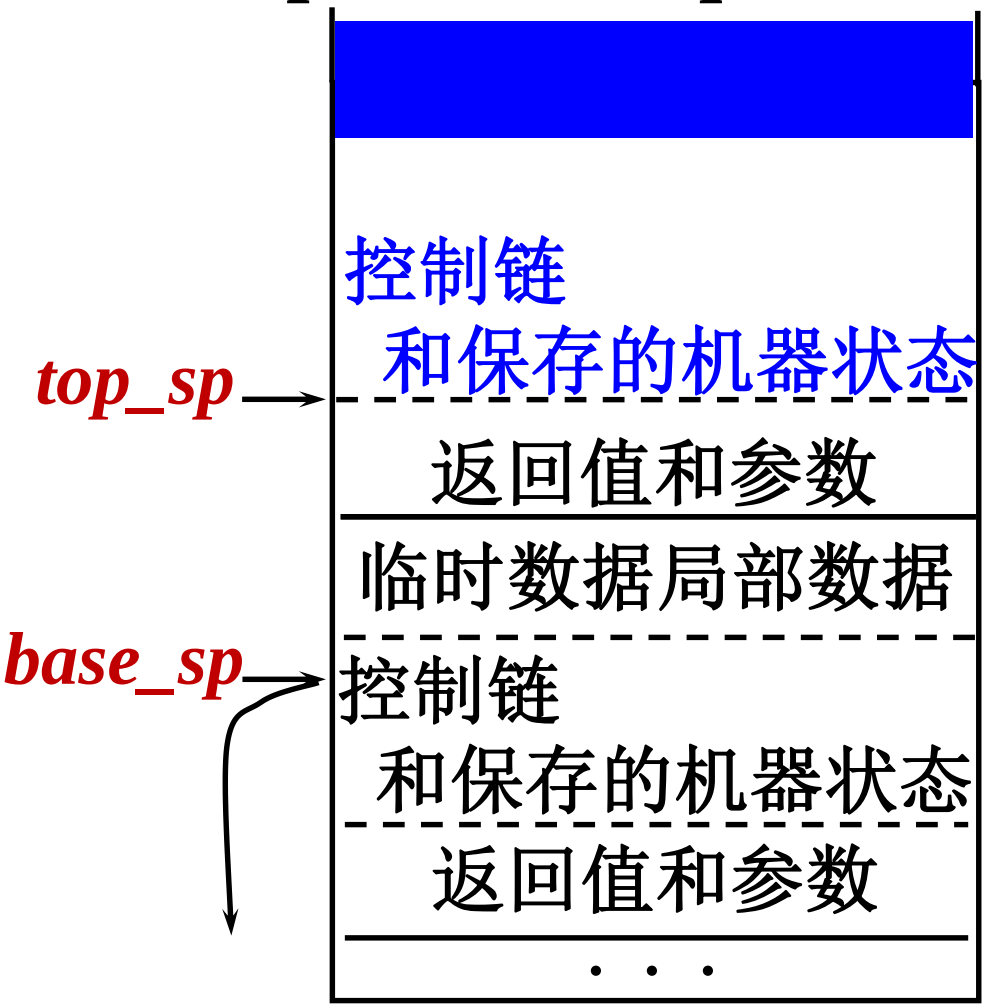
❑过程p调用过程q的返回序列



(2) q对应调用序列的步骤(4)，增加top_sp的值

全局栈式存储分配

❑过程p调用过程q的返回序列

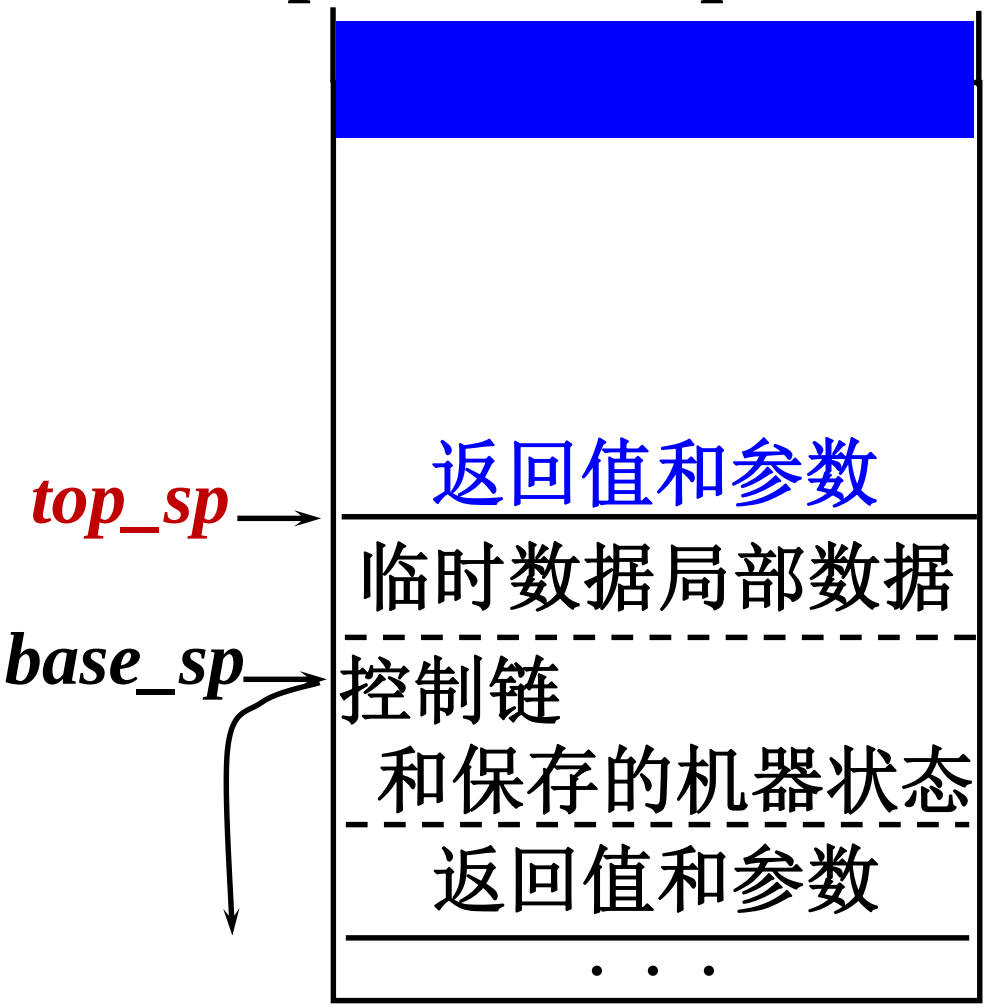


(3) q恢复寄存器(包括base_sp)和机器状态，返回p

控制权转到p

全局栈式存储分配

❑过程p调用过程q的返回序列



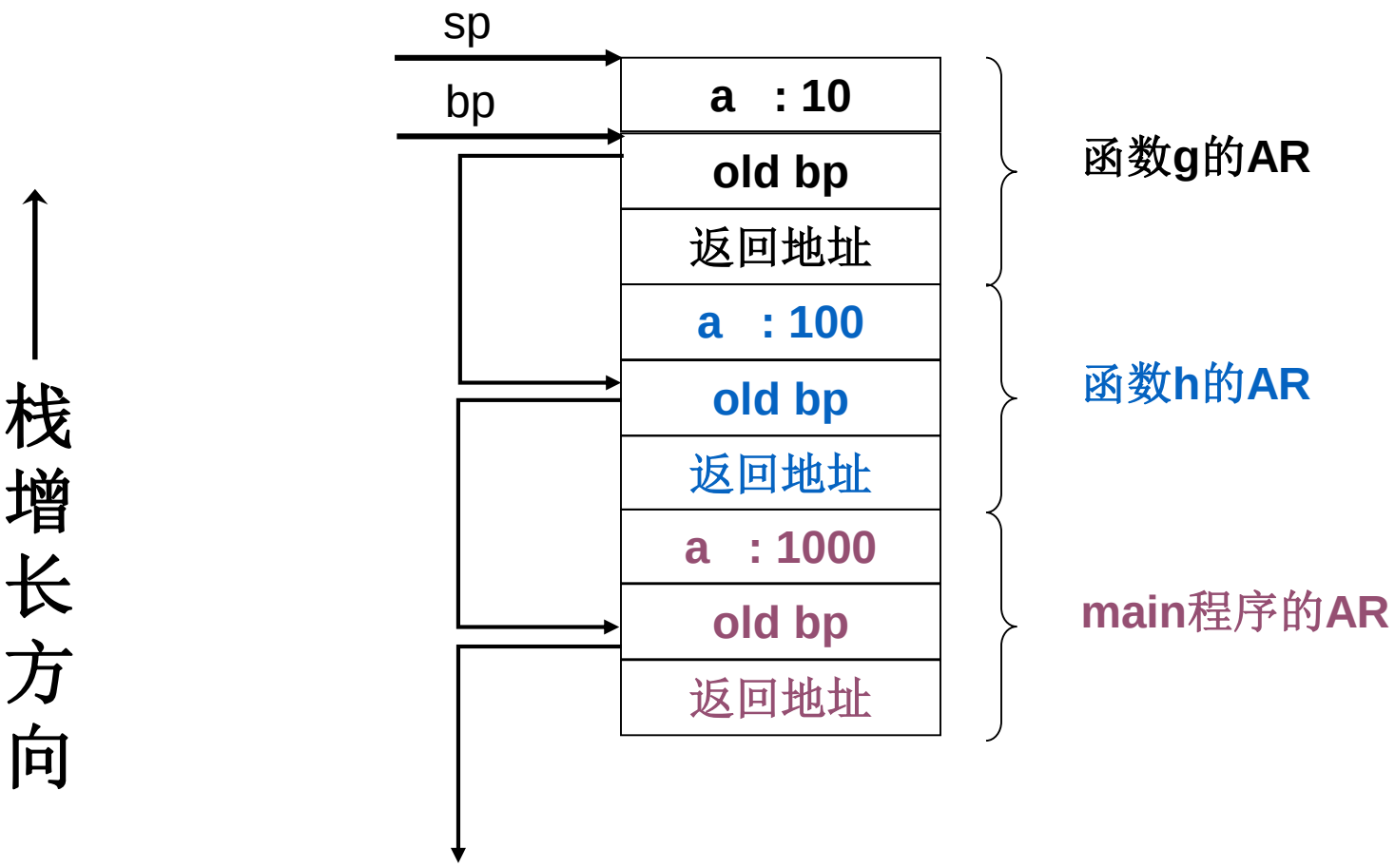
(4) p根据参数个数与类型和返回值类型调整top_sp，然后取出返回值

有C程序如下：

```
void g() { int a ; a = 10 ; }

void h() { int a ; a = 100; g();  }

main()

{  int a = 1000; h(); }
```

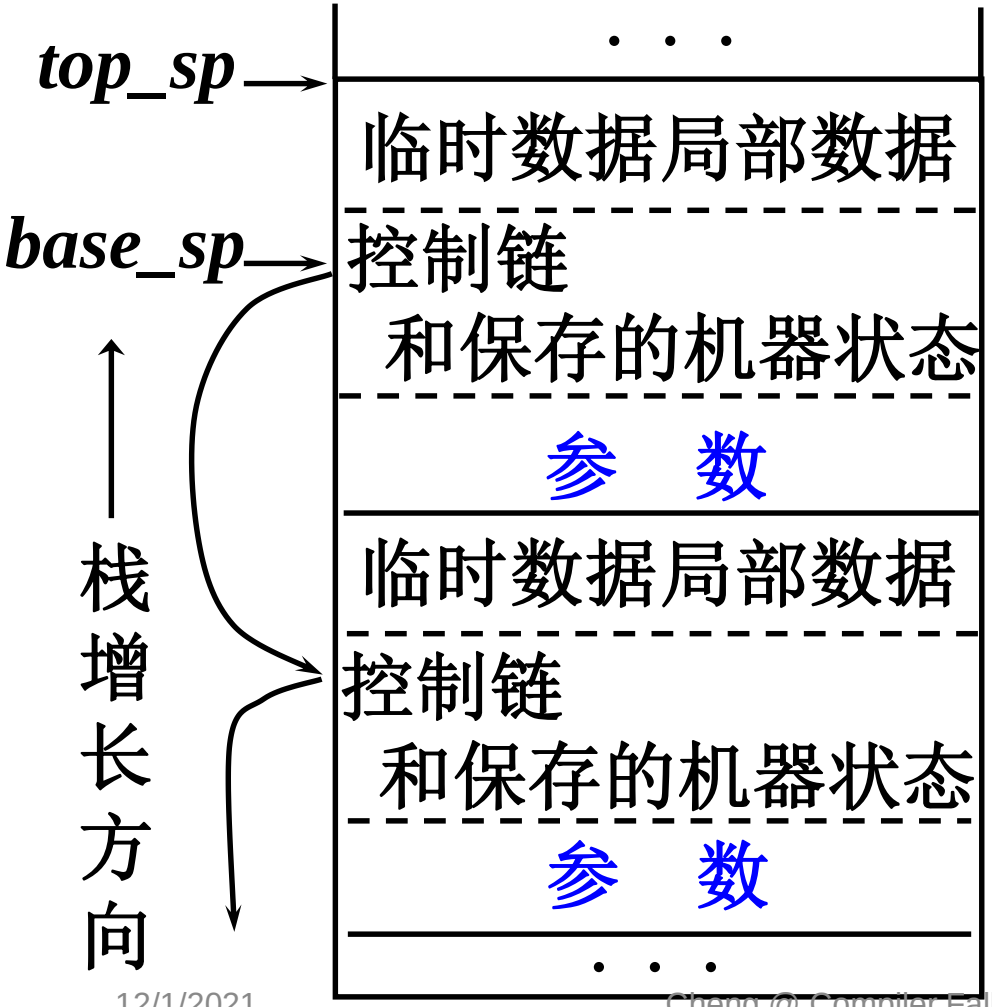
全局栈式存储分配

- 过程g被调用时，活动记录栈的（大致）内容



全局栈式存储分配

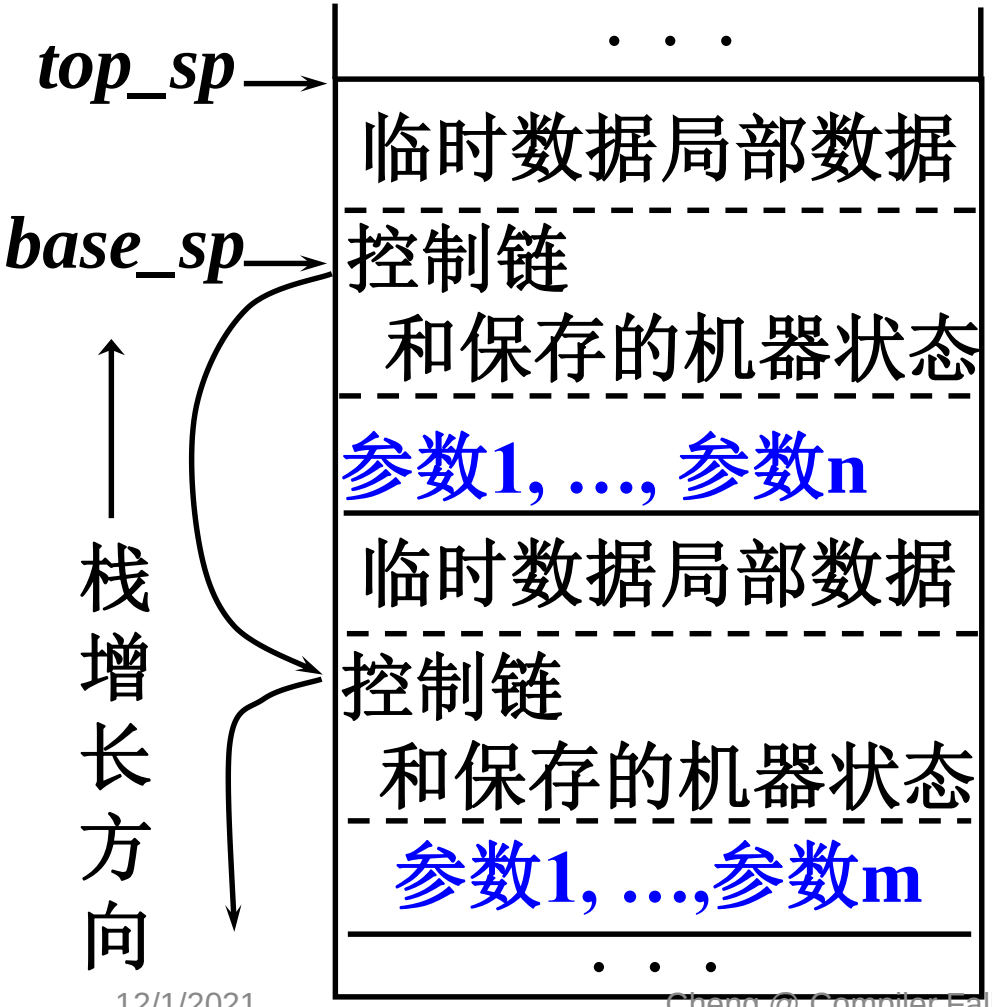
❑过程的参数个数可变的情况



(1) 函数返回值改成用寄存器传递

全局栈式存储分配

❑过程的参数个数可变的情况



(2) 编译器产生将实参表达式逆序计算并将结果进栈的代码

自上而下依次是参数1, …, 参数n

全局栈式存储分配

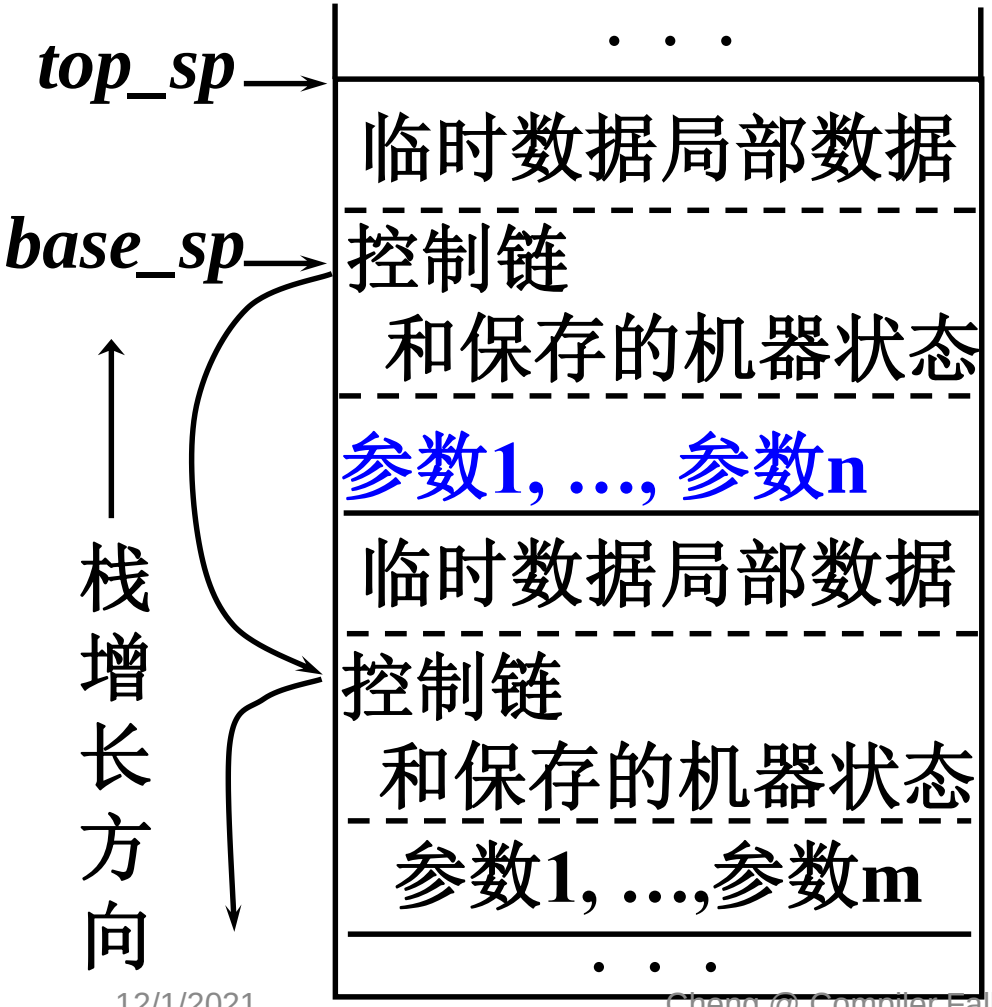
❑过程的参数个数可变的情况

(3) 被调用函数能准确地知道第一个参数的位置

But why?

全局栈式存储分配

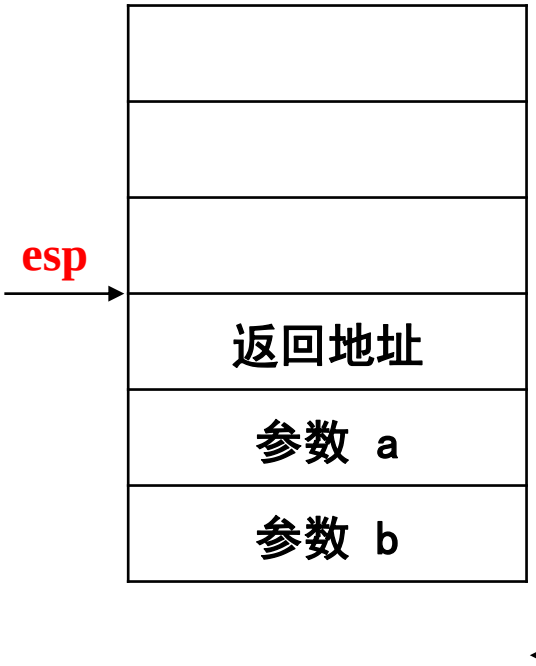
❑过程的参数个数可变的情况



(4) 被调用函数根据第一个参数到栈中取第二、第三个参数等等

有参函数的活动记录

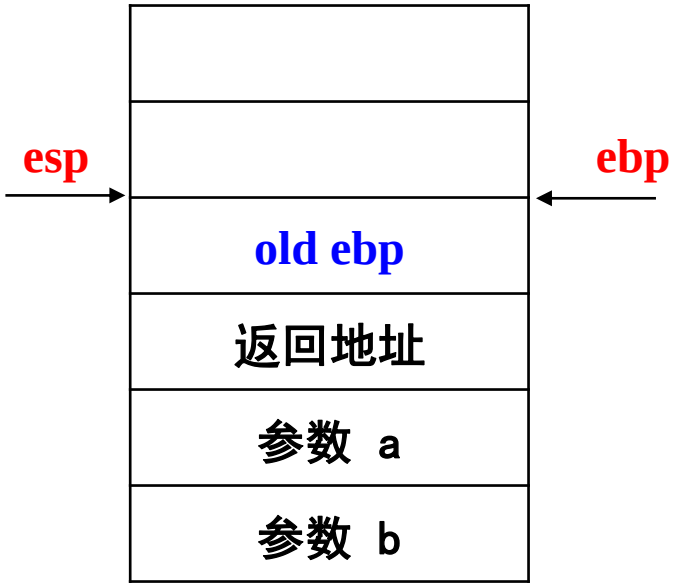

```
void func( int a , int b )
{
    int c , d;
    c = a;
    d = b;
}
```




```
.file   "ar.c"
        .text
.globl func
        .type   func,@function
func:
        pushl   %ebp
        movl    %esp, %ebp
        subl    $8, %esp
        movl    8(%ebp), %eax
        movl    %eax, -4(%ebp)
        movl    12(%ebp), %eax
        movl    %eax, -8(%ebp)
        leave
        ret
```

有参函数的活动记录

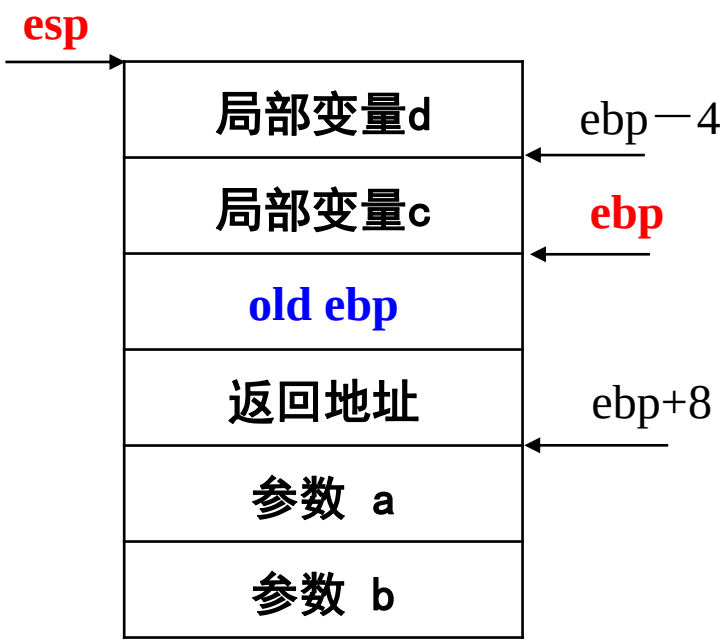

```
void func( int a , int b )
{
    int c , d;
    c = a;
    d = b;
}
```




```
.file   "ar.c"
        .text
.globl func
        .type   func,@function
func:
        pushl   %ebp //老基地址压栈
        movl    %esp, %ebp //基地址指针=栈顶指针
        subl    $8, %esp
        movl    8(%ebp), %eax
        movl    %eax, -4(%ebp)
        movl    12(%ebp), %eax
        movl    %eax, -8(%ebp)
        leave
        ret
```

有参函数的活动记录

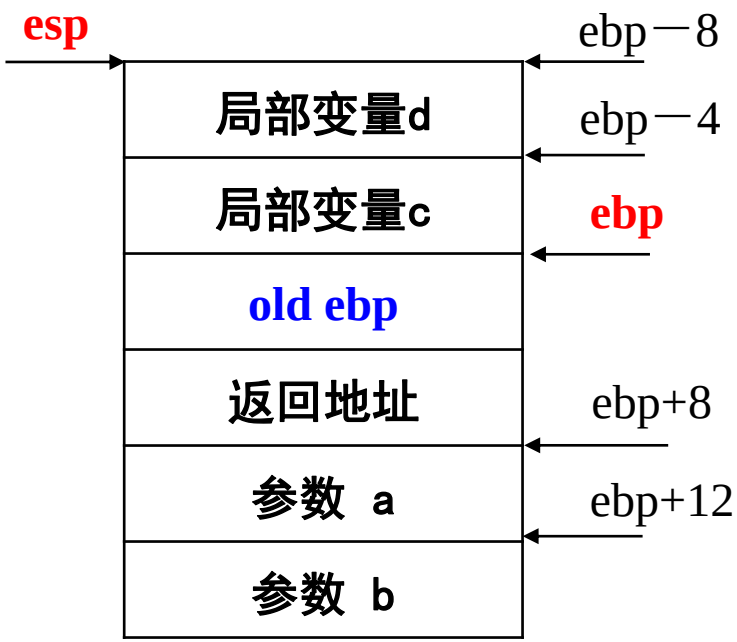

```
void func( int a , int b )
{
    int c , d;
    c = a;
    d = b;
}
```




```
.file   "ar.c"
        .text
.globl func
        .type   func,@function
func:
        pushl   %ebp //老基地址压栈
        movl    %esp, %ebp //基地址指针=栈顶指针
        subl    $8, %esp //分配c,d局部变量空间
        movl    8(%ebp), %eax //将a值放进寄存器
        movl    %eax, -4(%ebp) //将a值赋给c
        movl    12(%ebp), %eax
        movl    %eax, -8(%ebp)
        leave
        ret
```

有参函数的活动记录


```
void func( int a , int b )
{
    int c , d;
    c = a;
    d = b;
}
```



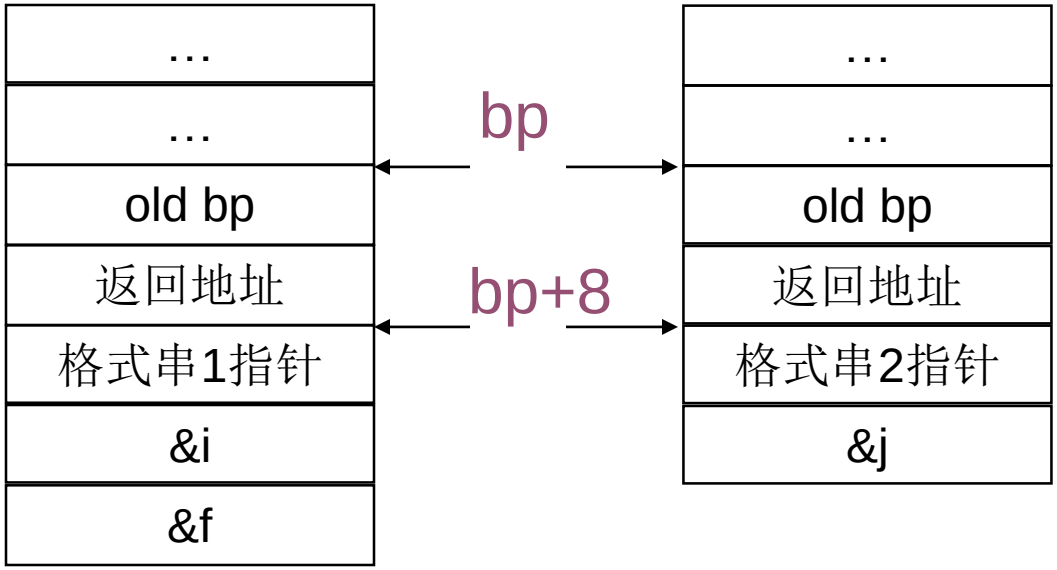

```
.file   "ar.c"
        .text
.globl func
        .type   func,@function
func:
        pushl   %ebp //老基地址压栈
        movl    %esp, %ebp //基地址指针=栈顶指针
        subl    $8, %esp //分配c,d局部变量空间
        movl    8(%ebp), %eax //将a值放进寄存器
        movl    %eax, -4(%ebp) //将a值赋给c
        movl    12(%ebp), %eax //将b值放进寄存器
        movl    %eax, -8(%ebp) //将b值赋给d
        leave
        ret
```

scanf的可变参数

有如下C程序:

```
main()
{
 int i ; float f;  int j ;
 scanf("%d%f", &i, &f); //第一次调用时3个参数
 scanf("%d", &j ); //第二次调用时 2个参数
 return 0;
}
```

scanf的可变参数



scanf的第一次调用时AR　　scanf的第二次调用时AR

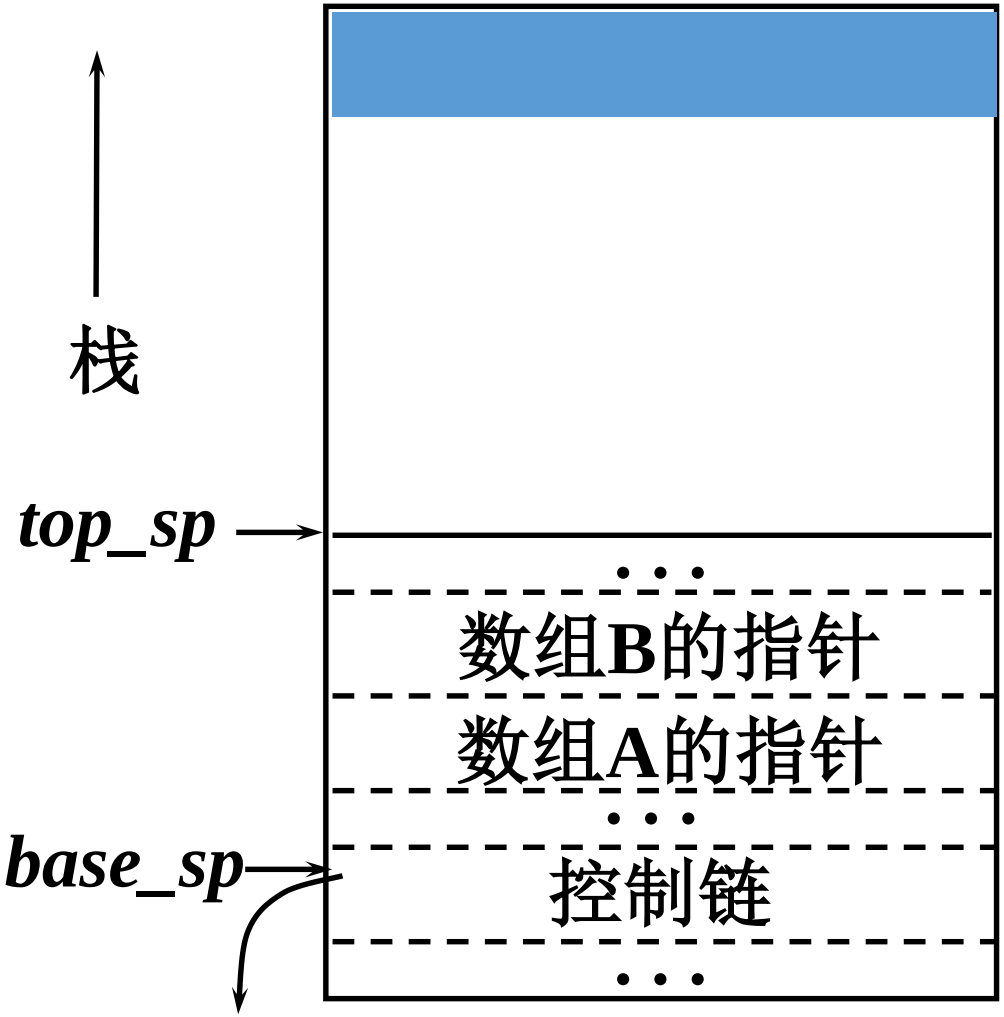
由于C语言采用逆序传递参数，格式串参数将被放在AR中的“固定”位置，即bp+8。而由此参数即可确定待输入值的参数（变量）的个数。从而适应参数个数变化的情况。

全局栈式存储分配

- 栈上可变长数据
  - 数据对象的长度在编译时不能确定的情况
  - 但仅仅为该活动运行过程使用
  - 避免垃圾回收开销
  - 例：局部数组的大小要等到过程激活时才能确定
- 如何在栈上布局可变长的数组?
  - 先分配存放数组指针的单元，对数组的访问通过指针间接访问
  - 运行时，这些指针指向分配在栈顶的数组存储空间

全局栈式存储分配

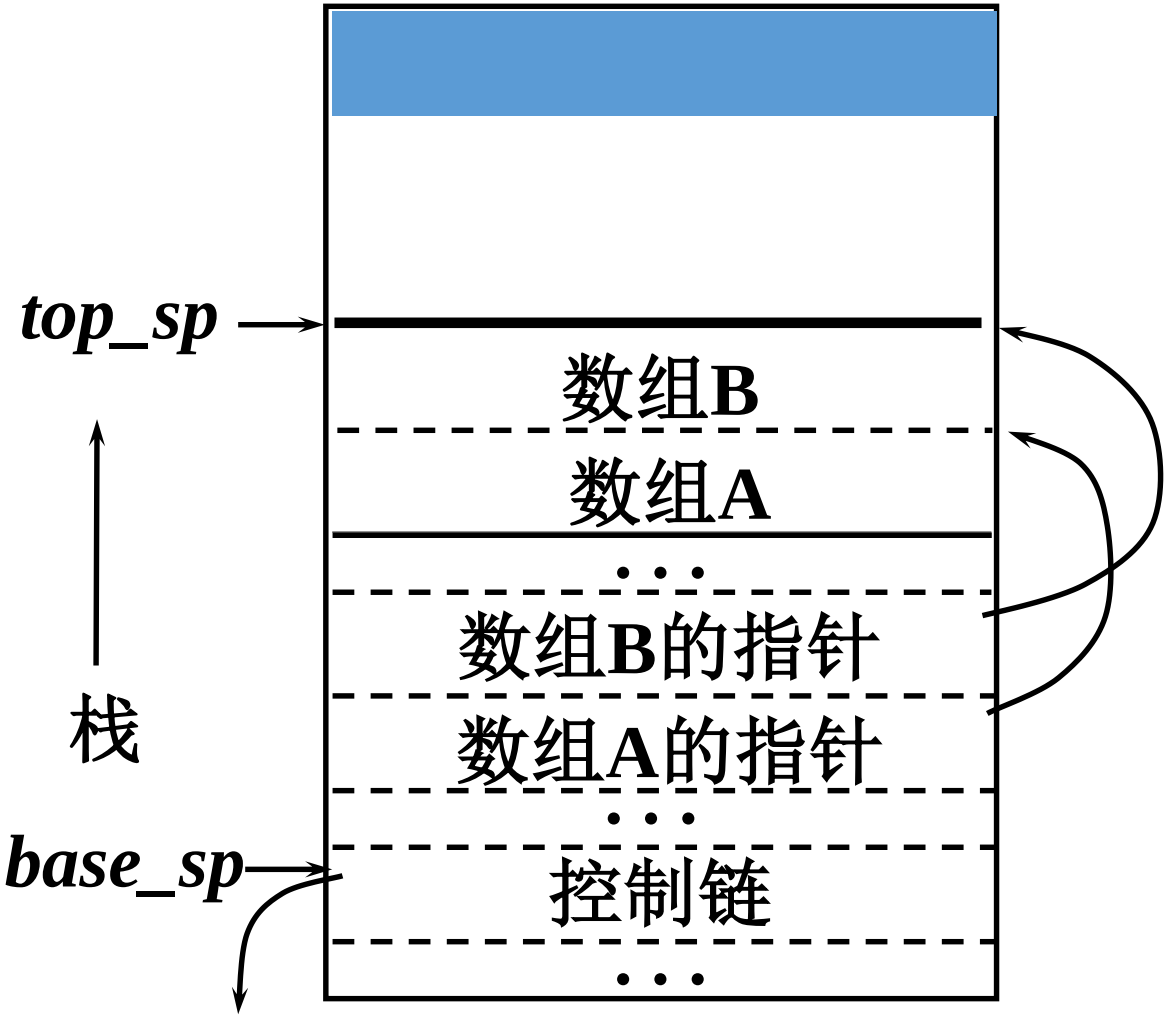
❑访问动态分配的数组



(1) 编译时，在活动记录中为这样的数组分配存放数组指针的单元

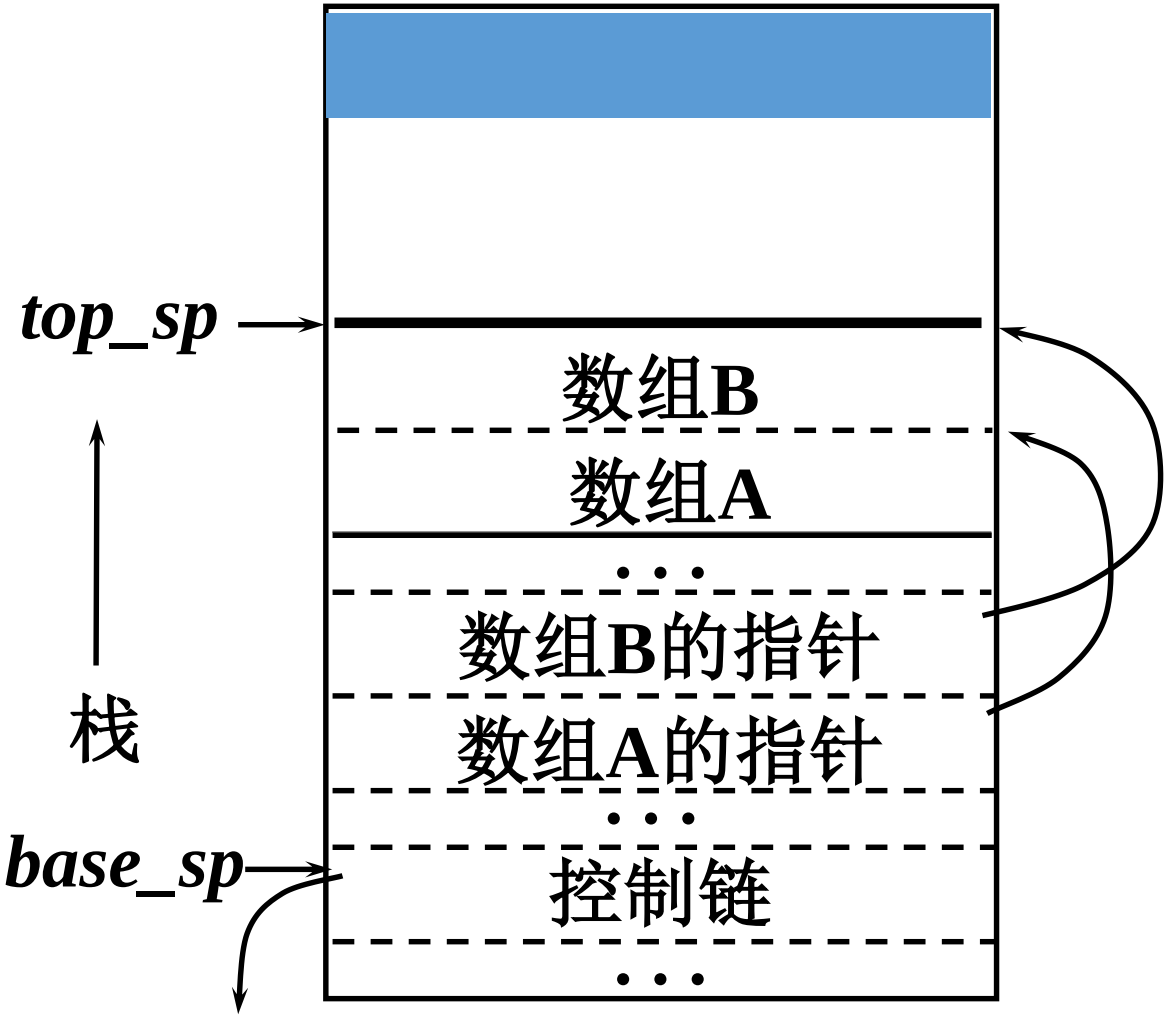
全局栈式存储分配

❑访问动态分配的数组



(2) 运行时，这些指针指向分配在栈顶的数组存储空间

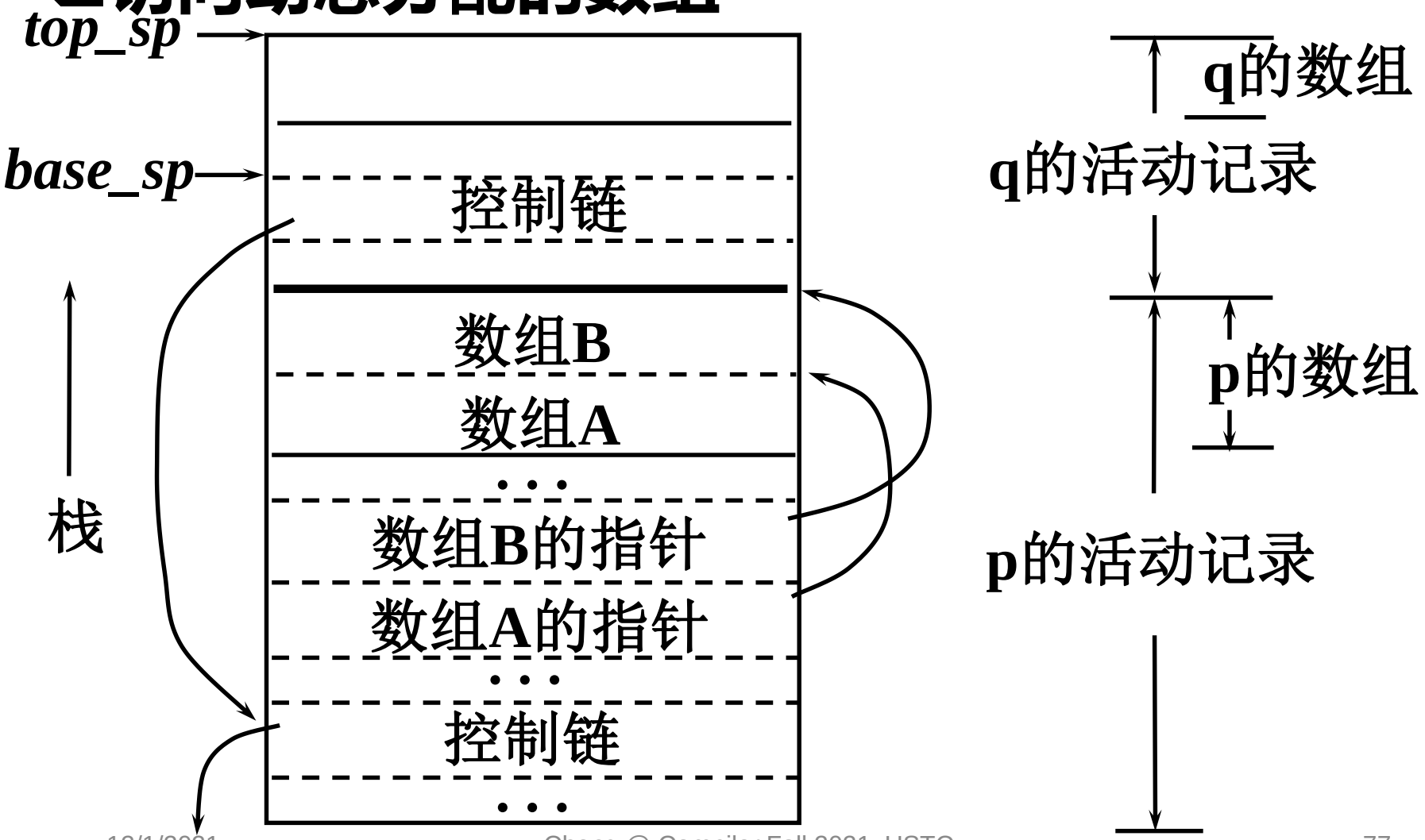
❑访问动态分配的数组



(3) 运行时，对数组A和B的访问都要通过相应指针来间接访问

全局栈式存储分配

❑访问动态分配的数组



全局栈式存储分配

❑悬空引用

- ❖引用某个已被释放的存储单元

例：main中引用p指向的对象

```
main( ) {                    |    int * dangle ( ) {
    int *q;                  |        int j = 20;
    q = dangle ( );          |        return &j;
}                            |    }
```

非局部名字的访问

- 无过程嵌套的静态作用域（C语言）
- 有过程嵌套的静态作用域（Pascal语言）

非局部名字的访问

❑无过程嵌套的静态作用域

- ❖过程体中的非局部引用可以直接使用静态确定的地址（非局部数据此时就是全局数据）
- ❖局部变量在栈顶的活动记录中，可以通过*base_sp*指针来访问
- ❖无须深入栈中取数据，无须访问链

❑有过程嵌套的静态作用域

sort

readarray

exchange

quicksort

partition

该例子参考紫书P186页

非局部名字的访问

❑有过程嵌套的静态作用域

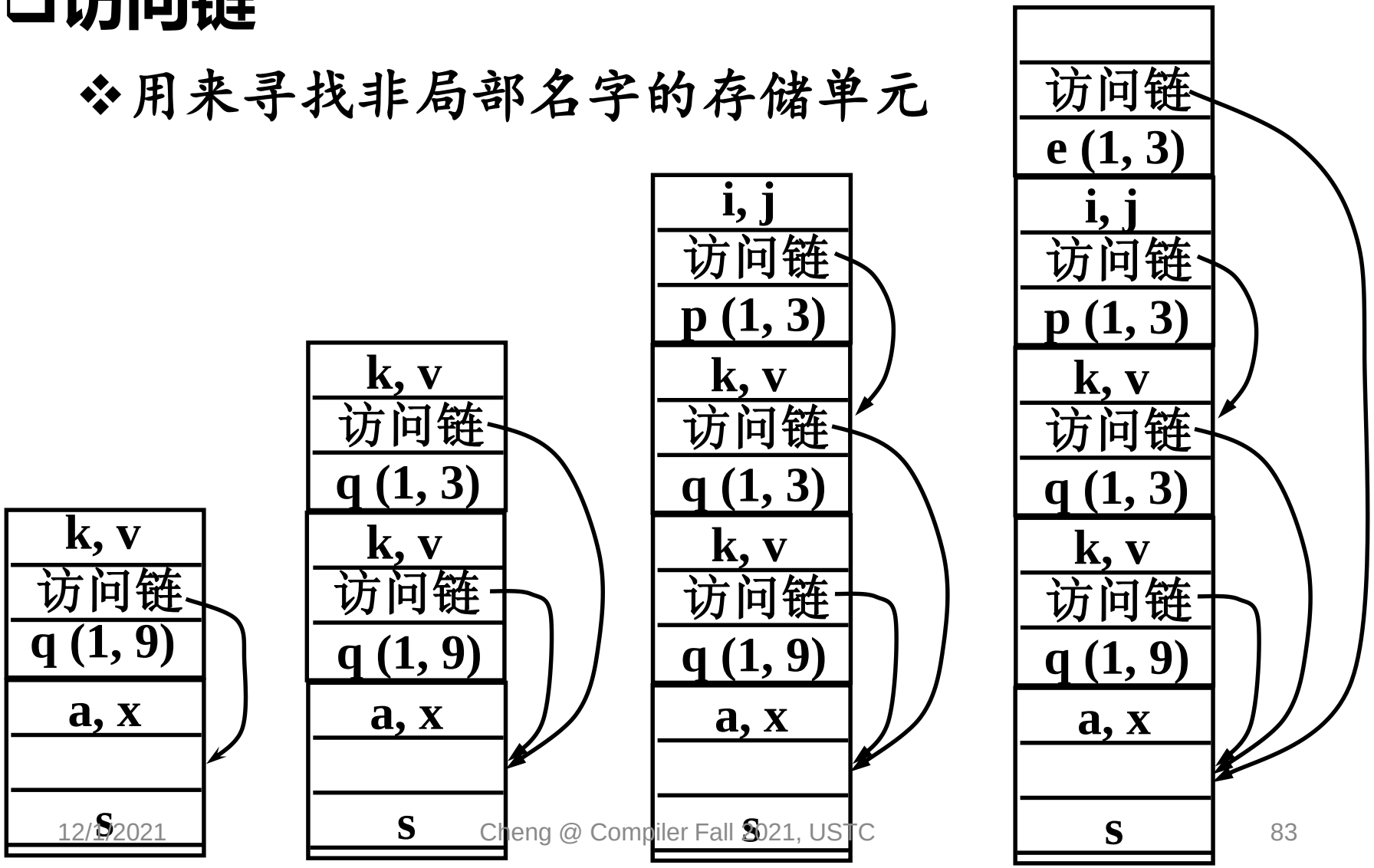
- ❖过程嵌套深度
- ❖变量的嵌套深度：它的声明所在过程的嵌套深度作为该名字的嵌套深度

sort	**1**
readarray	**2**
exchange	**2**
quicksort	**2**
partition	**3**

非局部名字的访问

❑访问链

❖用来寻找非局部名字的存储单元



非局部名字的访问

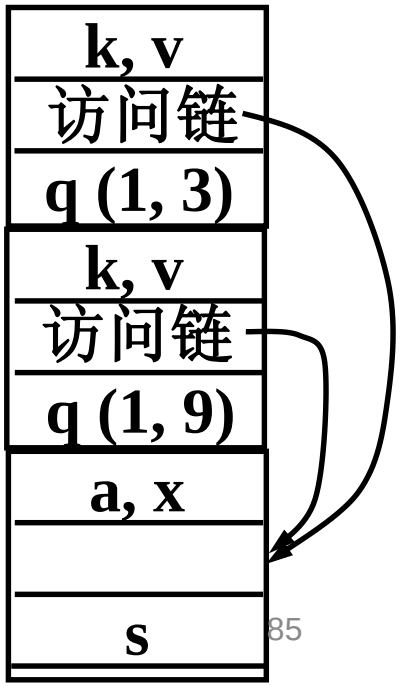
- 两个关键问题需要解决：
  - 通过访问链访问非局部引用
  - 访问链的建立

非局部名字的访问

❑访问非局部名字的存储单元

- ❖假定过程p的嵌套深度为n_p，它引用嵌套深度为n_a的变量a，$n_a \le n_p$，如何访问a的存储单元

sort	1
readarray	2
exchange	2
quicksort	2
partition	3

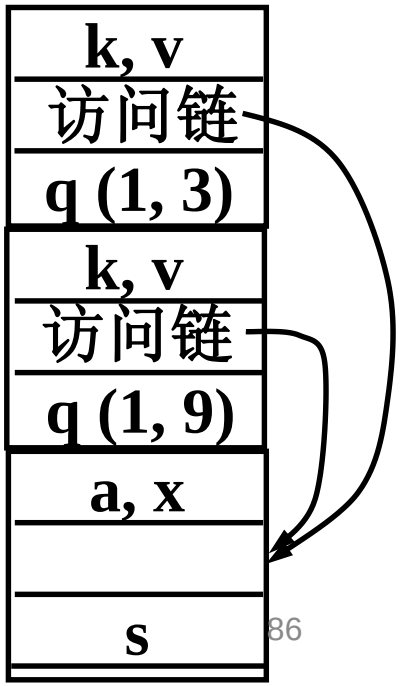


非局部名字的访问

❑访问非局部名字的存储单元

- ❖假定过程p的嵌套深度为n_p，它引用嵌套深度为n_a的变量a，$n_a \le n_p$，如何访问a的存储单元
  - ➢从栈顶的活动记录开始，追踪访问链$n_p - n_a$次
  - ➢到达a的声明所在过程的活动记录
  - ➢访问链的追踪用间接操作就可完成

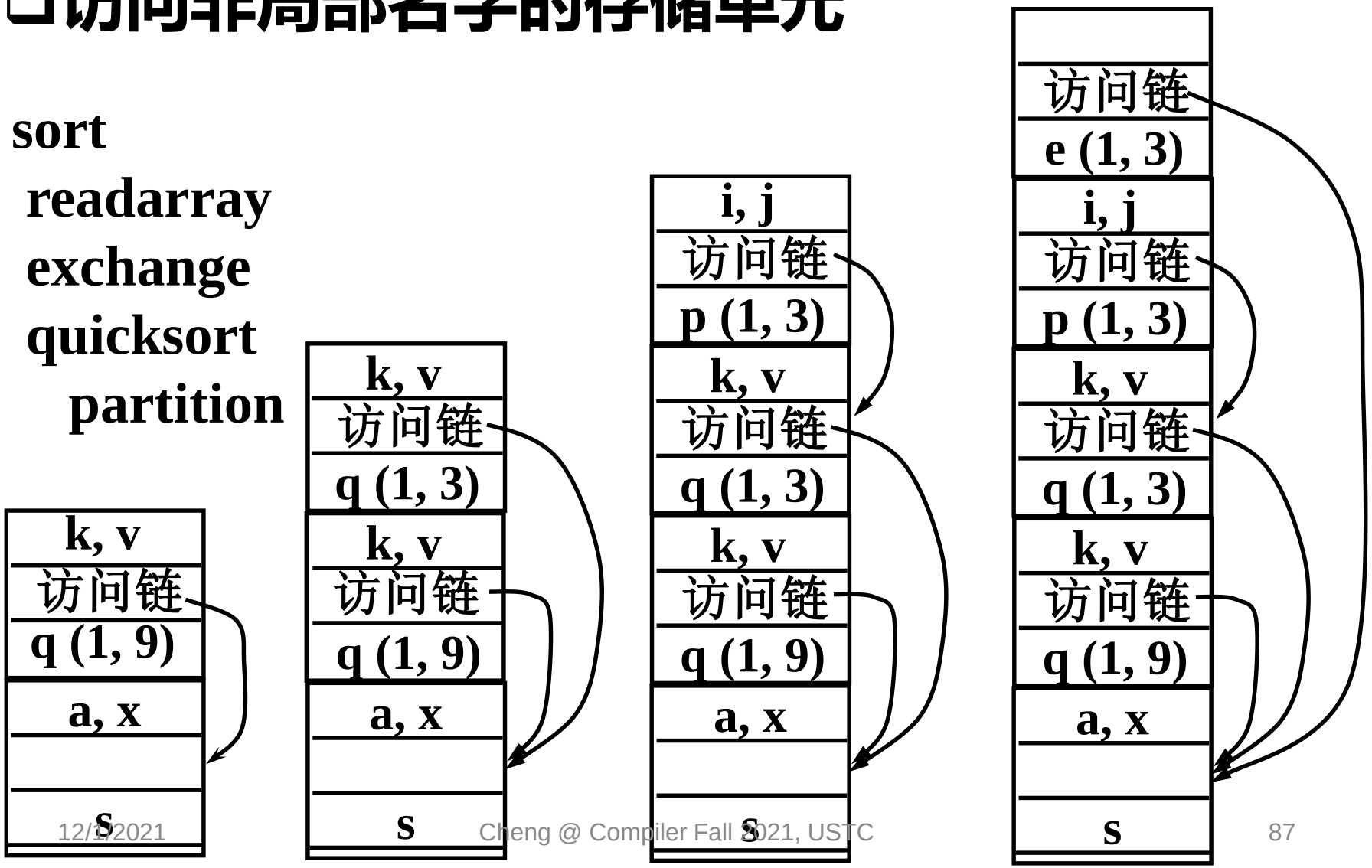
```
sort              1
  readarray       2
  exchange        2
  quicksort       2
      partition   3
```



非局部名字的访问

❑访问非局部名字的存储单元

sort
 readarray
 exchange
 quicksort
  partition



非局部名字的访问

❑建立访问链(过程调用序列代码的一部分)

❖假定嵌套深度为n_p的过程p调用嵌套深度为n_x的过程x

(1) $n_p < n_x$的情况

```
sort                    1
    readarray           2
    exchange            2
    quicksort           2
        partition       3
```

这时x肯定就声明在p中

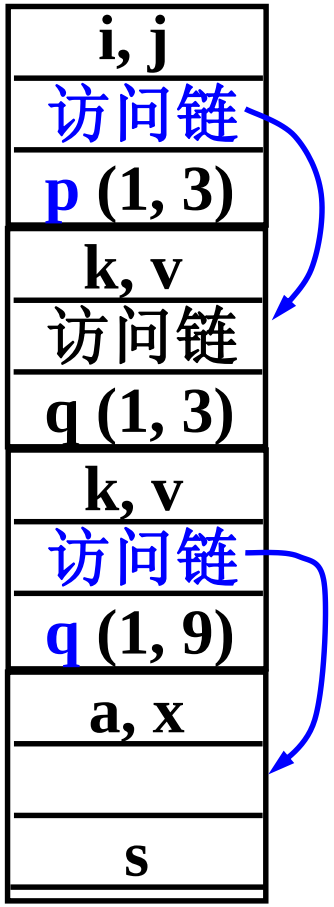
非局部名字的访问

❑建立访问链

- ❖假定嵌套深度为n_p的过程p调用嵌套深度为n_x的过程x

(1) $n_p < n_x$的情况

- ❖这时x肯定就声明在p中(嵌套)
- ❖被调用过程的访问链必须指向调用过程的活动记录（次栈顶）的访问链
- ❖sort调用quicksort、quicksort 调用 partition



❑建立访问链

❖假定嵌套深度为n_p的过程p调用嵌套深度为n_x的过程x

(2) $n_p \geq n_x$的情况

sort	1
readarray	2
exchange	2
quicksort	2
partition	3

这时p和x的嵌套深度分别为1，2，…，n_x-1的外围过程肯定相同

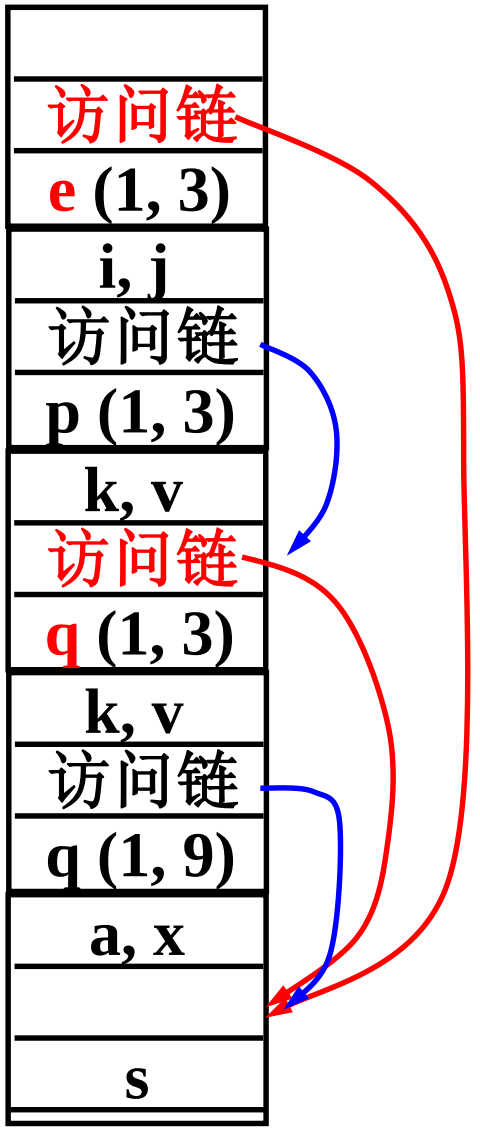
非局部名字的访问

❑建立访问链

- ❖假定嵌套深度为n_p的过程p调用嵌套深度为n_x的过程x

(2) $n_p \geq n_x$的情况

- ❖沿着访问链追踪$n_p - n_x + 1$次，到达了静态包围x和p的且离它们最近的那个过程的最新活动记录
- ❖所到达的活动记录就是x的活动记录中的访问链应该指向的那个活动记录
- ❖partition调用exchange，quicksort调用自身



❑实参与形参

- 存储单元（左值）
- 存储内容（右值）

根据所传递的实参的“内容”，参数传递可分为：

- 传值调用：传递实参的右值到形参单元；
- 引用调用：传递实参的左值到形参单元。

参数传递举例


```
procedure  swap( a , b )
  a, b : int;  temp : int;
begin
  temp := a ;
  a := b;
  b := temp;
end.
```

讨论下面程序在不同参数传递方式下输出：

```
x := 10 ; y := 20;
   swap( x,y );
   print ( x, y );
```

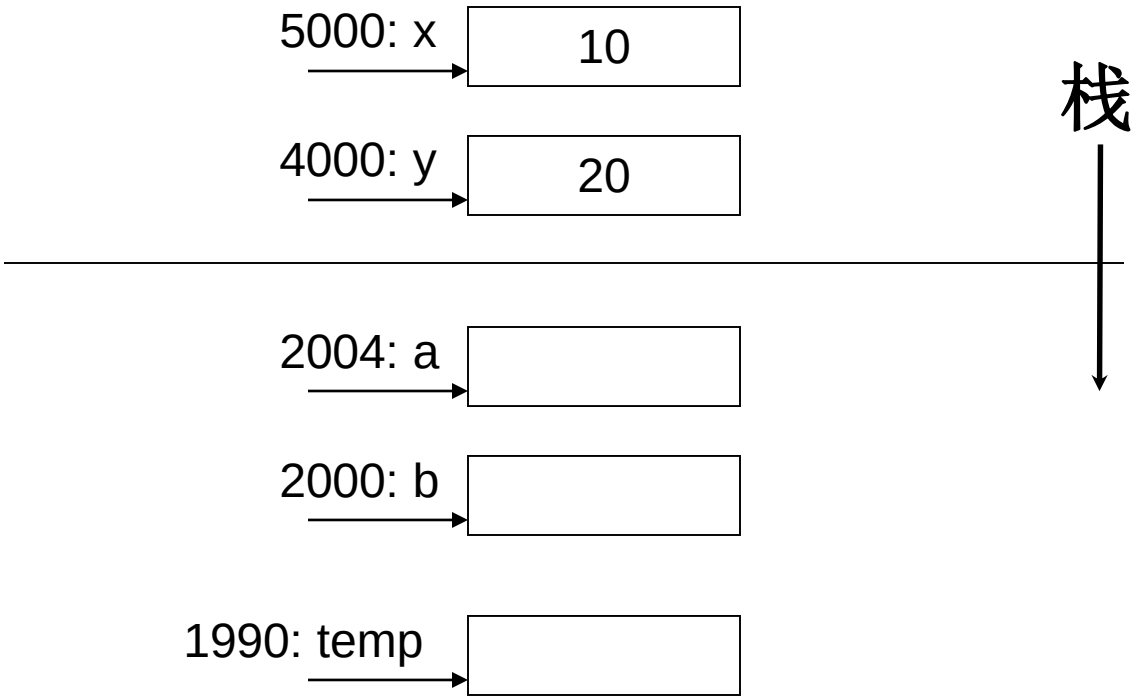
参数传递举例

讨论下面程序在不同参数传递方式下输出：

1) x := 10 ; y := 20;

swap(x,y);

print (x, y);

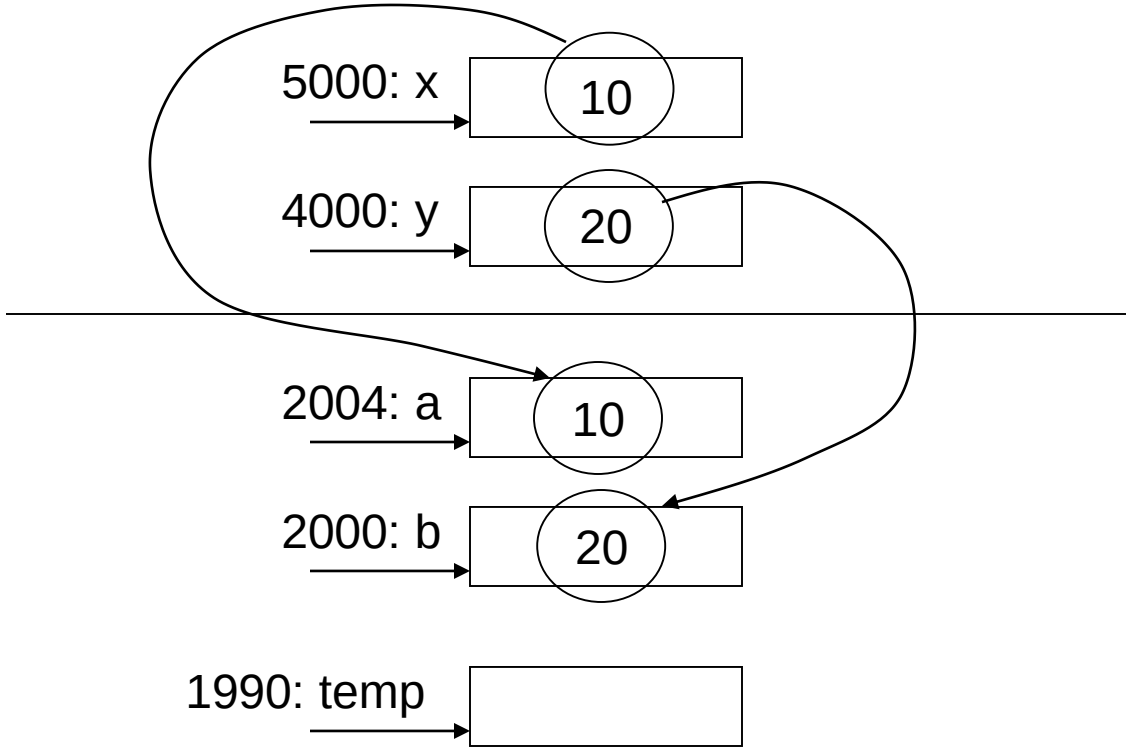


实参x,y和过程swap中形参a,b,和局部数据temp的存储分布示意

参数传递 - 传值调用

过程调用—swap(x,y)

- 传参—形、实结合

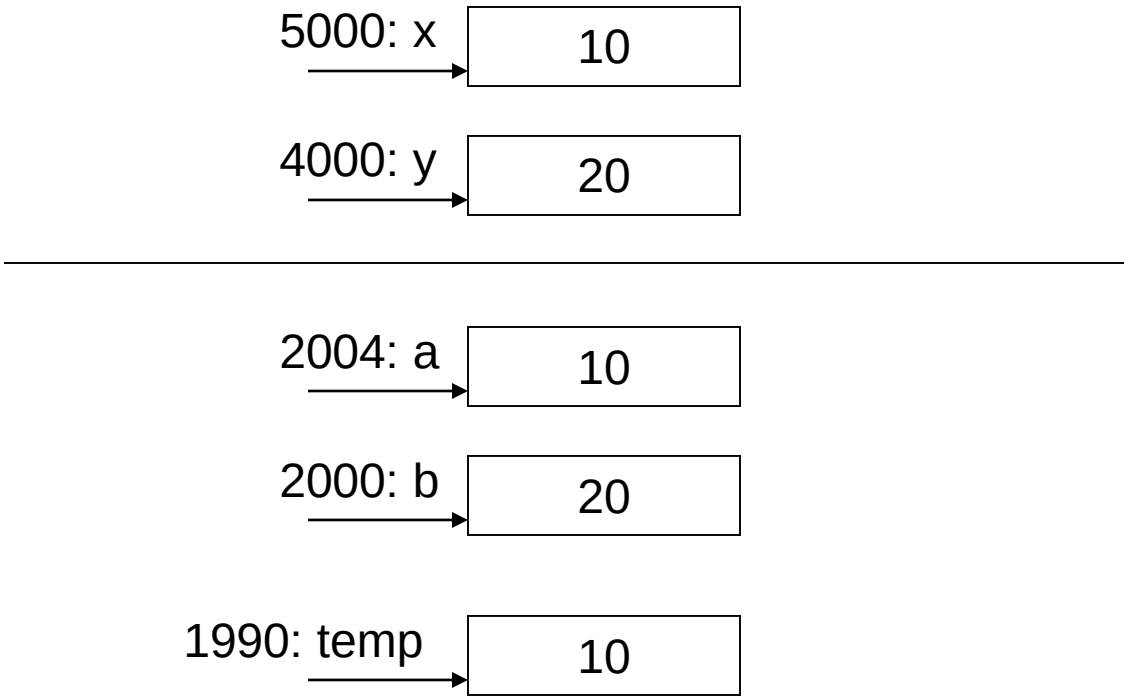


参数传递 - 传值调用

过程调用－swap(x,y)

- 过程执行

  temp := a

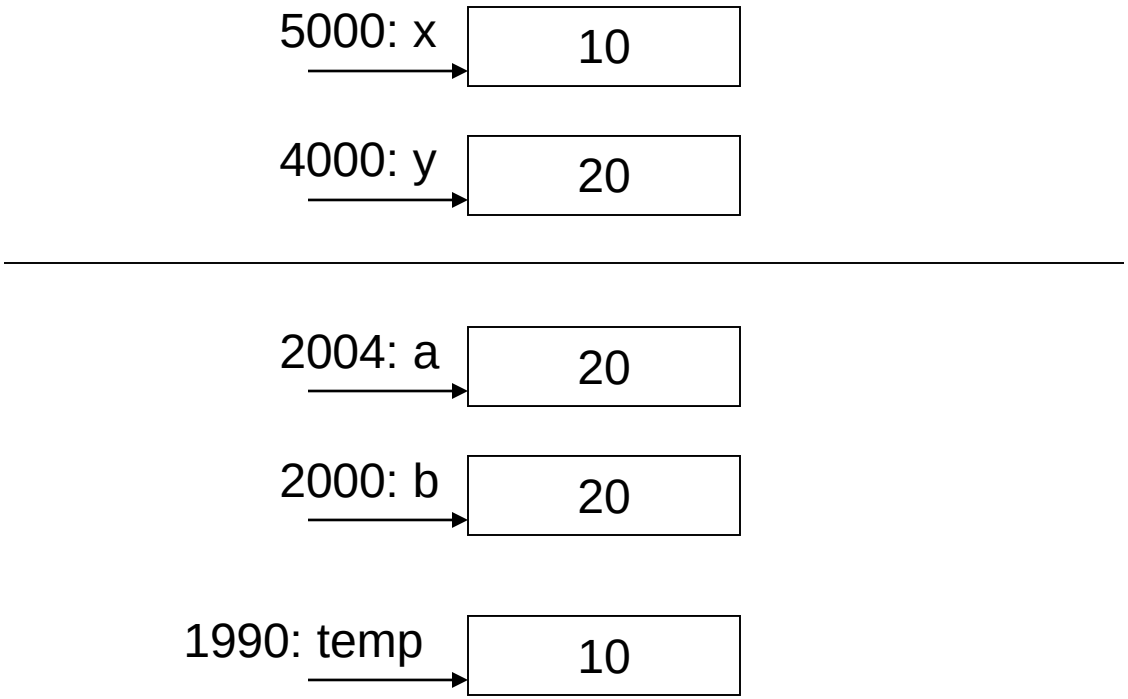


参数传递 - 传值调用

过程调用－swap(x,y)

- 过程执行

  a := b

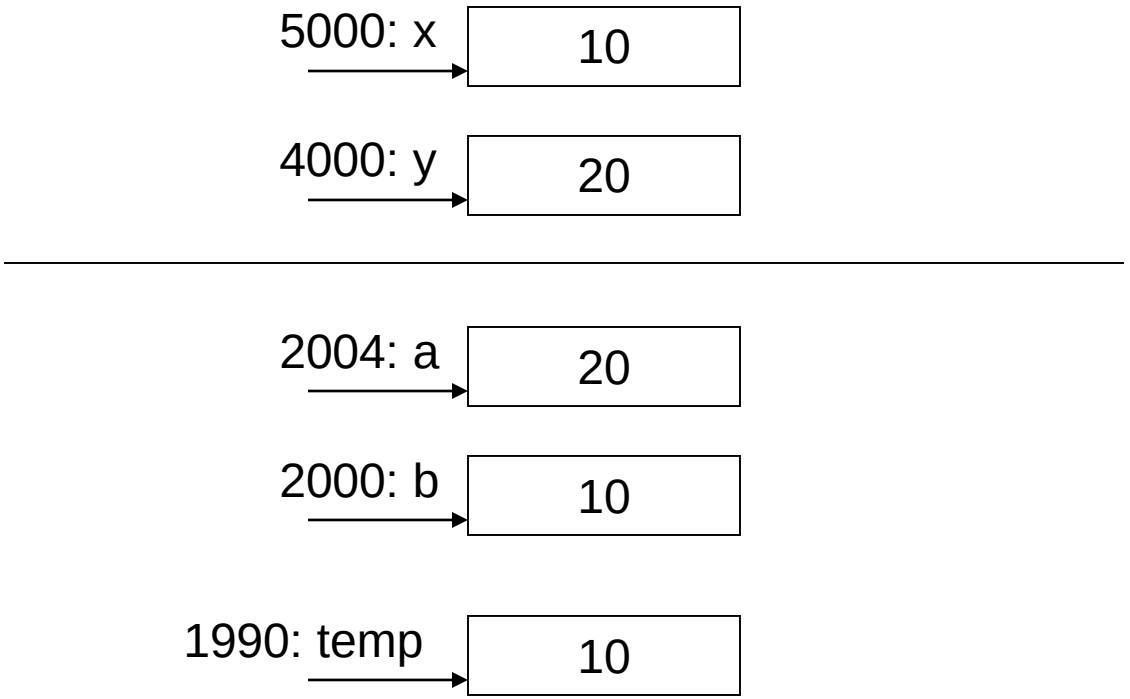


参数传递 - 传值调用

过程调用－swap(x,y)

- 过程执行

  b := temp

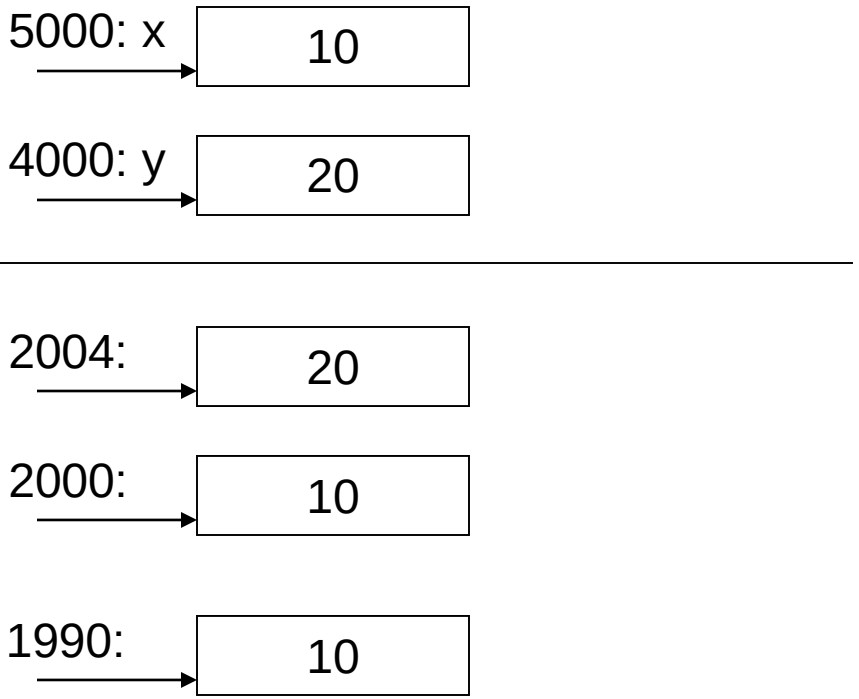


参数传递 - 传值调用

过程swap(x,y)执行后

- print(x, y)

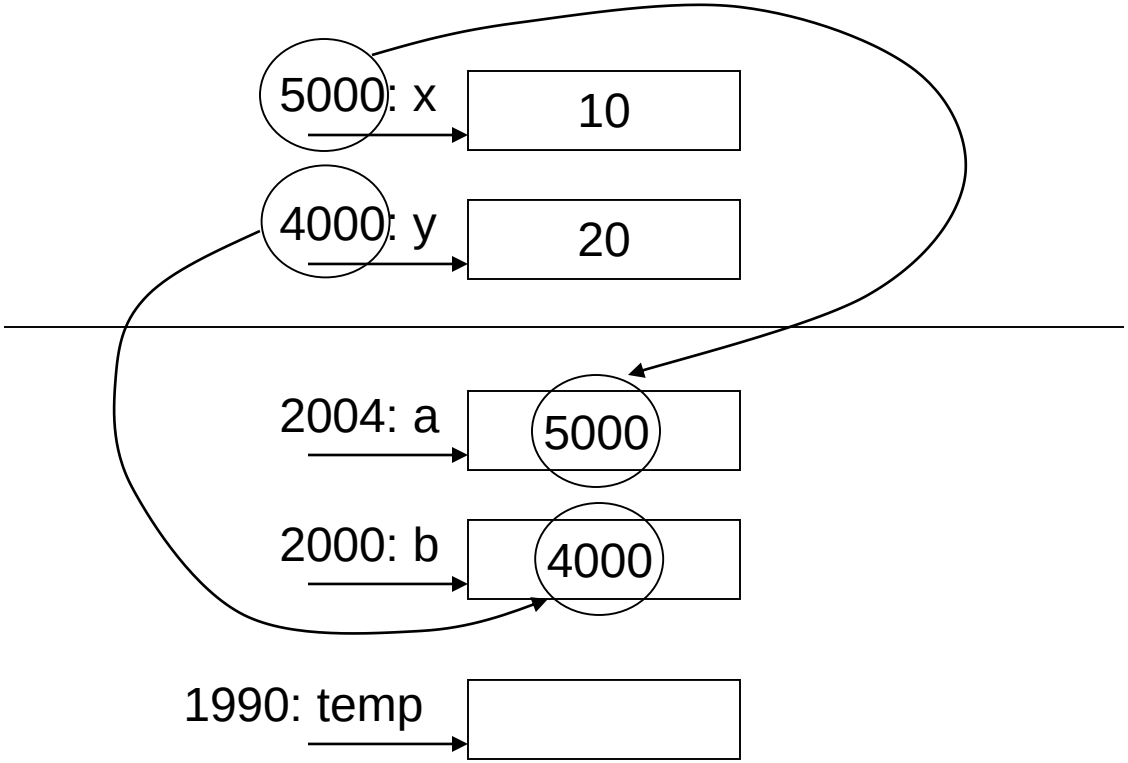
10, 20



参数传递 - 引用调用

过程调用—swap(x,y)

- 传参—形、实结合

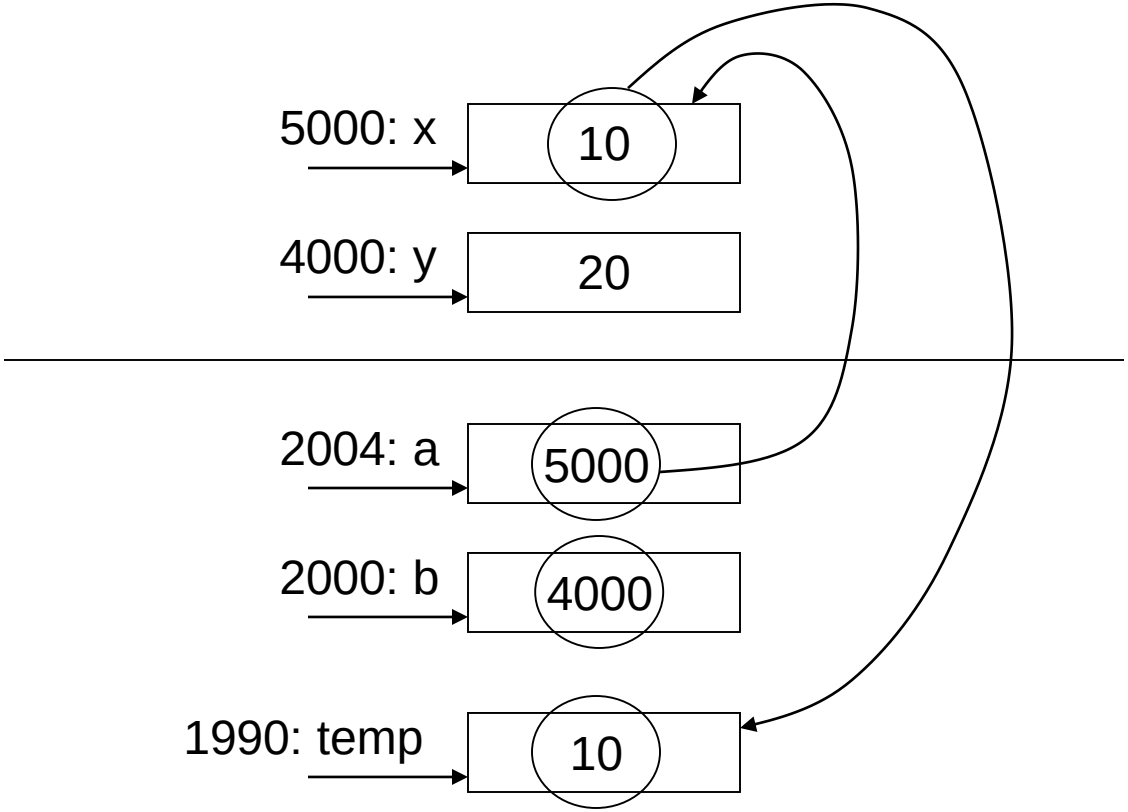


参数传递 - 引用调用

过程调用－swap(x,y)

- 过程执行

  temp := a

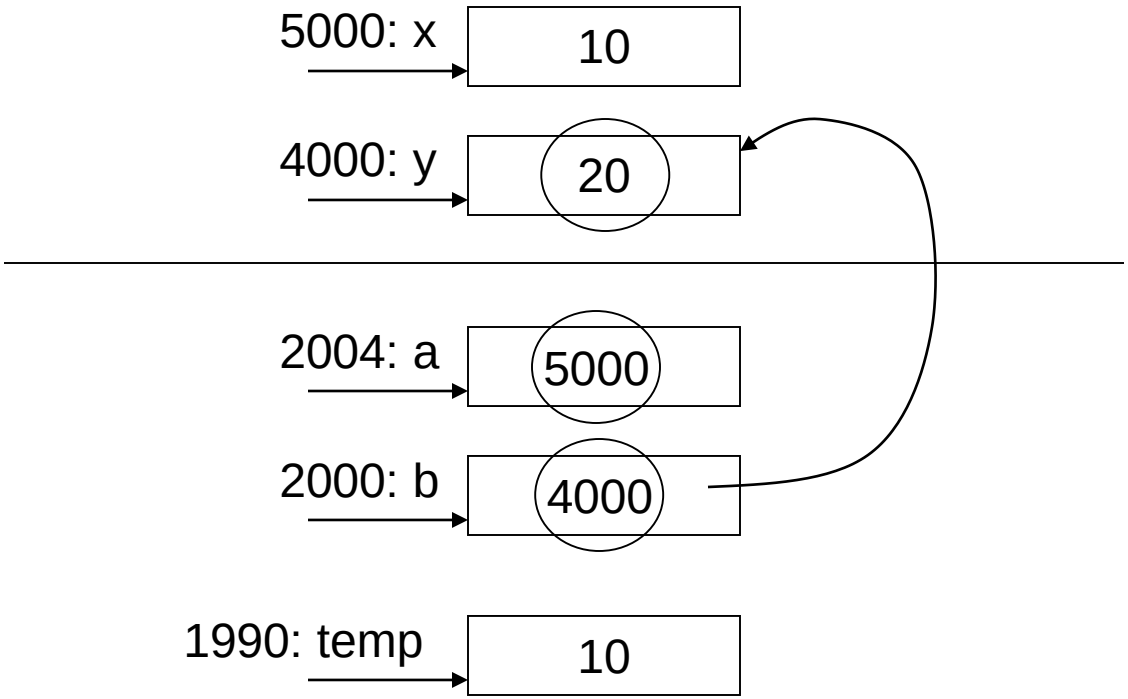


参数传递 - 引用调用

过程调用－swap(x,y)

- 过程执行

  a := b

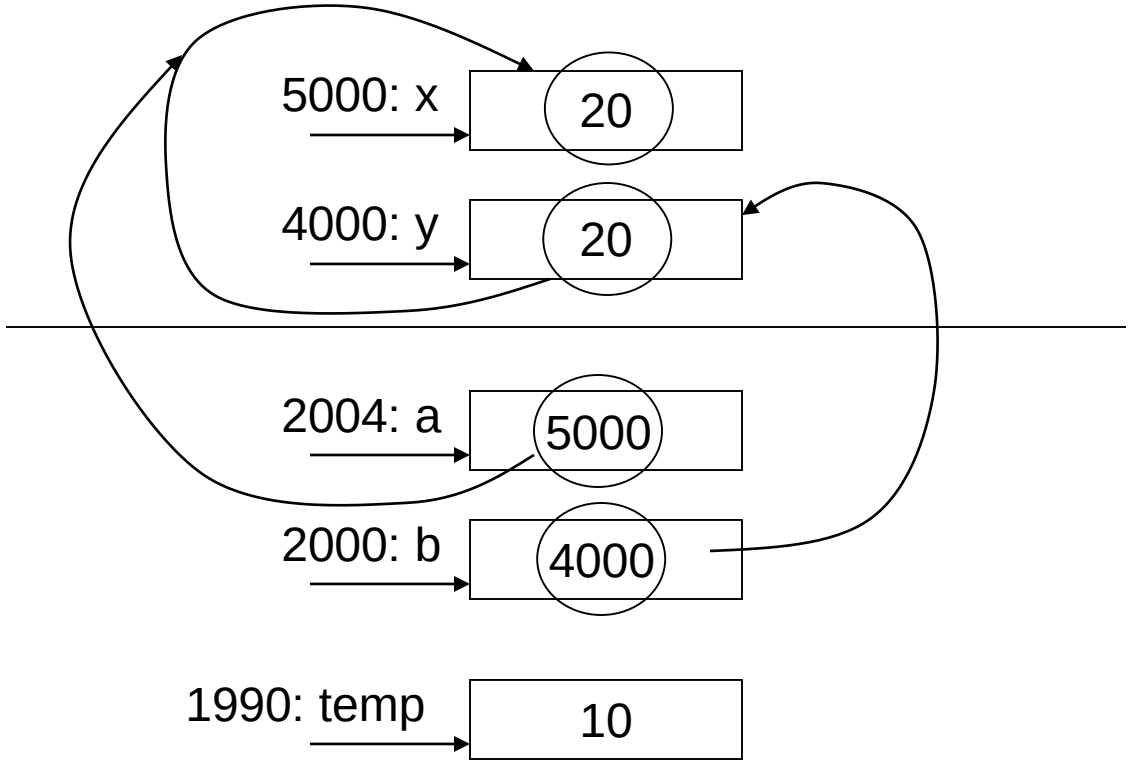


参数传递 - 引用调用

过程调用－swap(x,y)

- 过程执行

  a := b

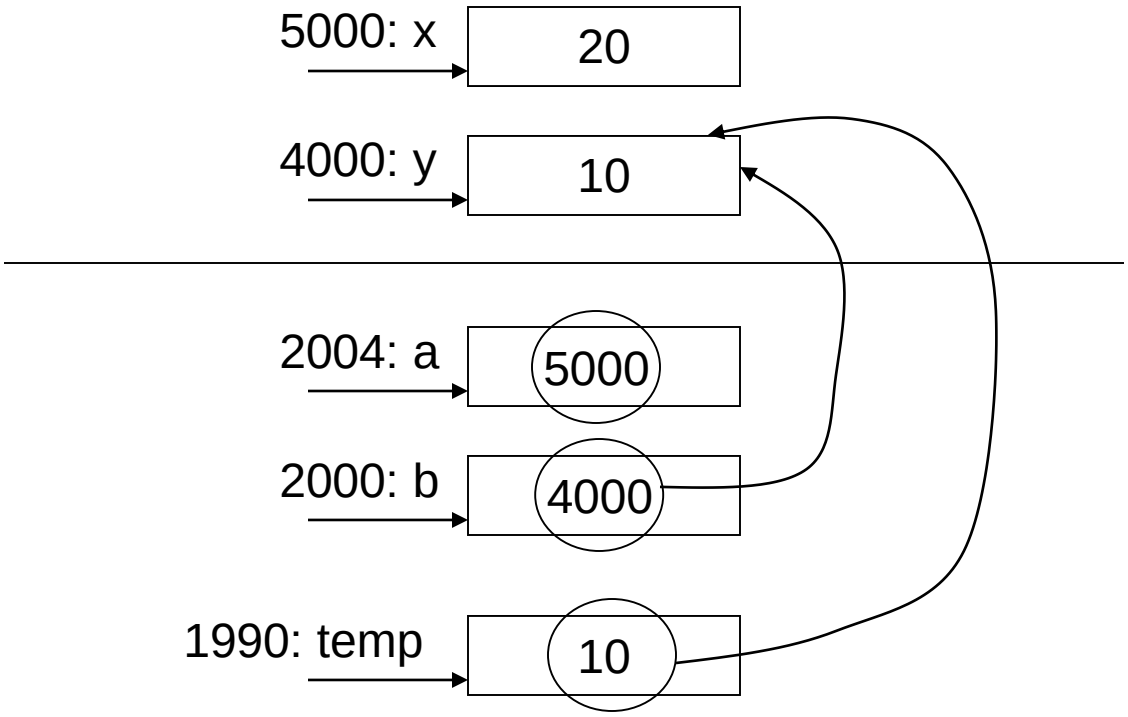


参数传递 - 引用调用

过程调用－swap(x,y)

- 过程执行

  b := temp

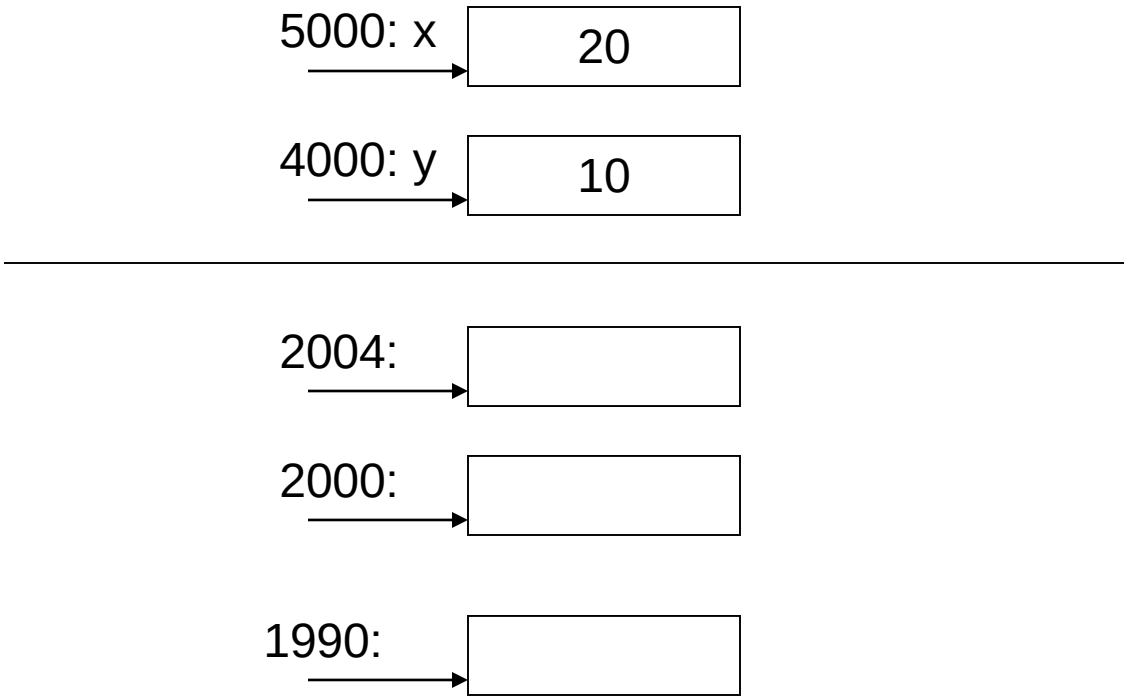


参数传递 - 引用调用

过程swap(x,y)执行后

- print(x, y)

20, 10



参数传递举例

以下C程序的输出是什么?

```
void func(char *s){s = (char*)malloc(10);}
int main()
{
 char *p = NULL;
 func(p);
 if(!p)printf("error\n");else printf("ok\n");
 return 0;
}
```

参数传递 swap


```
void swap1(int p,int q)
{
    int temp;
    temp = p;
    p = q;
    q = temp;
}
```

```
pushl %ebp
movl  %esp, %ebp
subl  $4, %esp
movl  8(%ebp), %eax
movl  %eax, -4(%ebp)
movl  12(%ebp), %eax
movl  %eax, 8(%ebp)
movl  -4(%ebp), %eax
movl  %eax, 12(%ebp)
leave
ret
```

参数传递 swap


```
void swap2(int *p,int *q)
{
    int  temp;
    temp = *p;
    *p   = *q;
    *q   = temp;
}
```

```
pushl %ebp
movl  %esp, ebp
subl  $4, %esp
movl  8(%ebp), %eax
movl  (%eax), %eax
movl  %eax, -4(%ebp)
movl  8(%ebp), %edx
movl  12(%ebp), %eax
movl  (%eax), %eax
movl  %eax, (%edx)
movl  12(%ebp), %edx
movl  -4(%ebp), %eax
movl  %eax, (%edx)
leave
ret
```

参数传递 swap


```
void swap3(int *p, int *q)
{
    int *temp  ;
    temp = p   ;
    p    = q   ;
    q    = temp;
}
```

```
pushl %ebp
movl  %esp, ebp
subl  $4, %esp
movl  8(%ebp), %eax
movl  %eax, -4(%ebp)
movl  12(%ebp), %eax
movl  %eax, 8(%ebp)
movl  -4(%ebp), %eax
movl  %eax, 12(%ebp)
leave
ret
```

参数传递 swap


```
void swap4(int &p, int &q)
{
    int temp;

    temp = p;

    p    = q;

    q    = temp;
}
```

```
pushl %ebp
movl  %esp,%ebp
subl  $4, %esp
movl  8(%ebp), %eax
movl  (%eax), %eax
movl  %eax, -4(%ebp)
movl  8(%ebp), %edx
movl  12(%ebp), %eax
movl  (%eax), %eax
movl  %eax, (%edx)
movl  12(%ebp), %edx
movl  -4(%ebp), %eax
movl  %eax, (%edx)
leave
ret
```

《编译原理与技术》
运行时存储空间的组织和管理

The end~