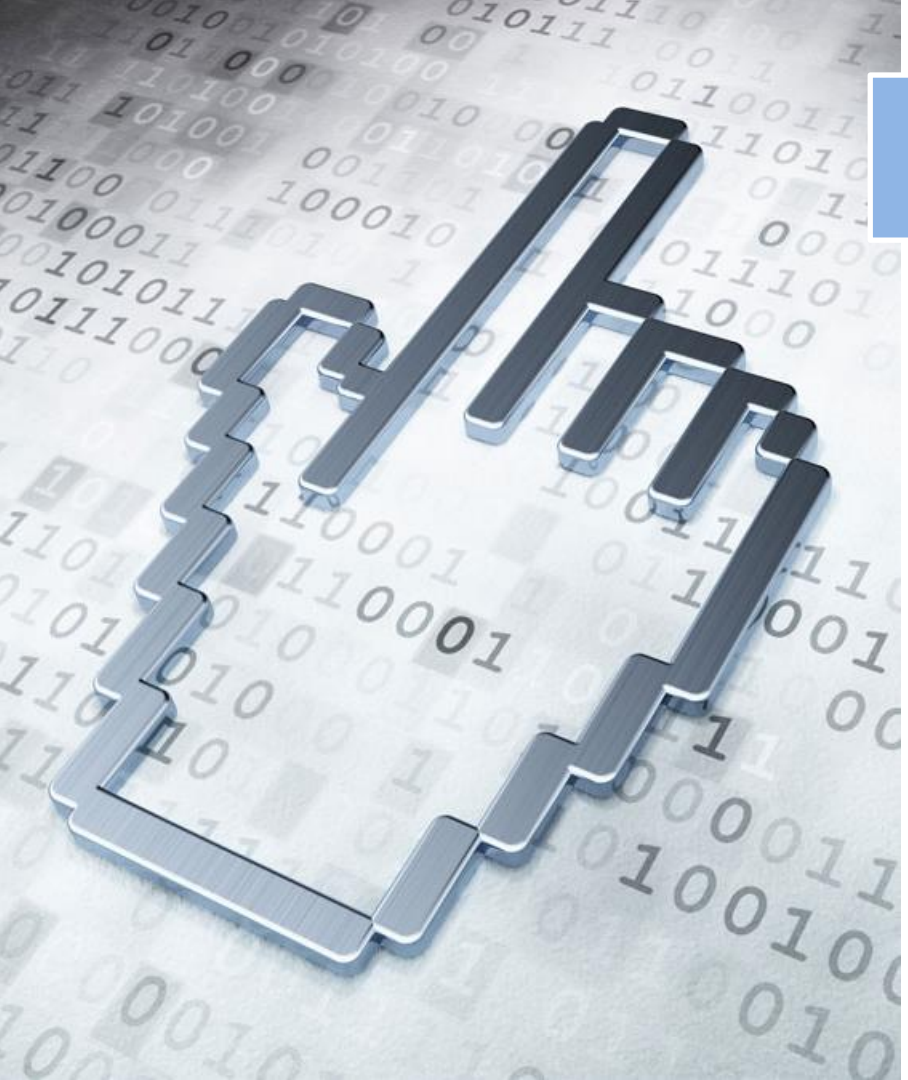
编译原理

第七章
运行存储分配

哈尔滨工业大学 陈鄞



提纲

7.1 存储组织

7.2 静态存储分配

7.3 栈式存储分配

7.4 非局部数据的访问

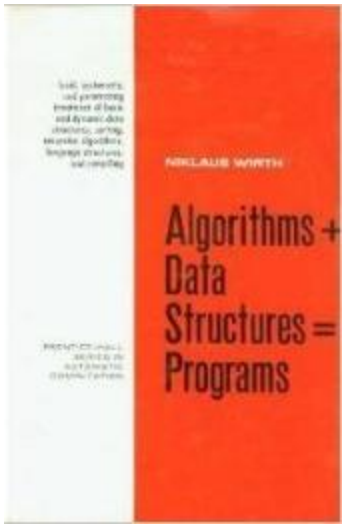
7.5 参数传递

7.6 符号表

7.1 存储组织

- 一个目标程序运行所需的存储空间主要包括
  - 代码区
  - 数据区

Niklaus Wirth



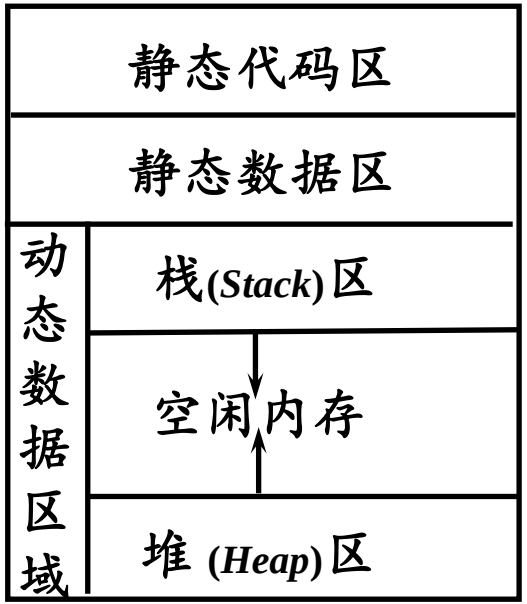
算法 + 数据结构 = 程序

存储分配策略

- 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，这样的分配策略称为静态存储分配
- 反之，如果不能在编译时完全确定数据对象的大小，就要采用动态存储分配的策略。即在编译时仅产生各种必要的信息，而在运行时刻，再动态地分配数据对象的存储空间
  - 栈式存储分配
  - 堆式存储分配

静态和动态分别对应编译时刻和运行时刻

运行时内存的划分

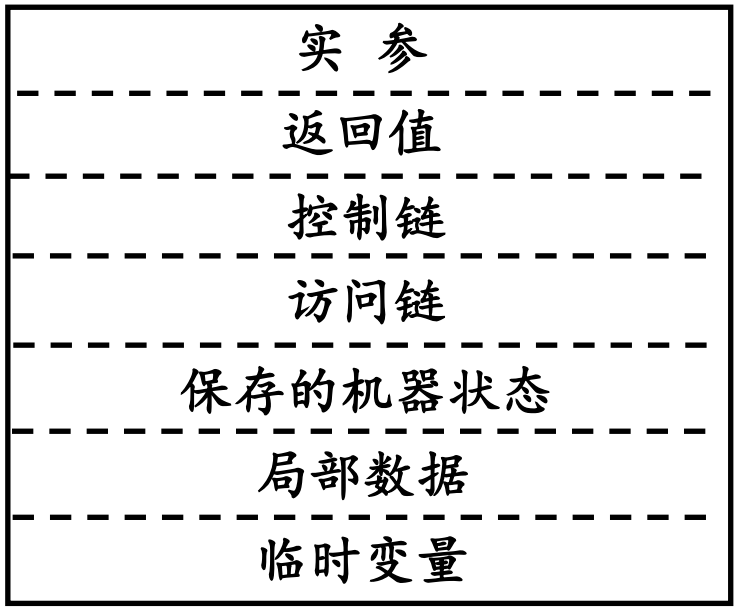


要尽可能多的将数据对象进行静态分配，因为这些对象的地址可以被编译到目标代码中

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
- 过程体的每次执行称为该过程的一个活动(*activation*)
- 过程每执行一次，就为它分配一块连续存储区，用来管理过程一次执行所需的信息，这块连续存储区称为活动记录(*activation record*)

活动记录的一般形式



调用过程提供给被调用过程的参数

被调用过程返回给调用过程的值

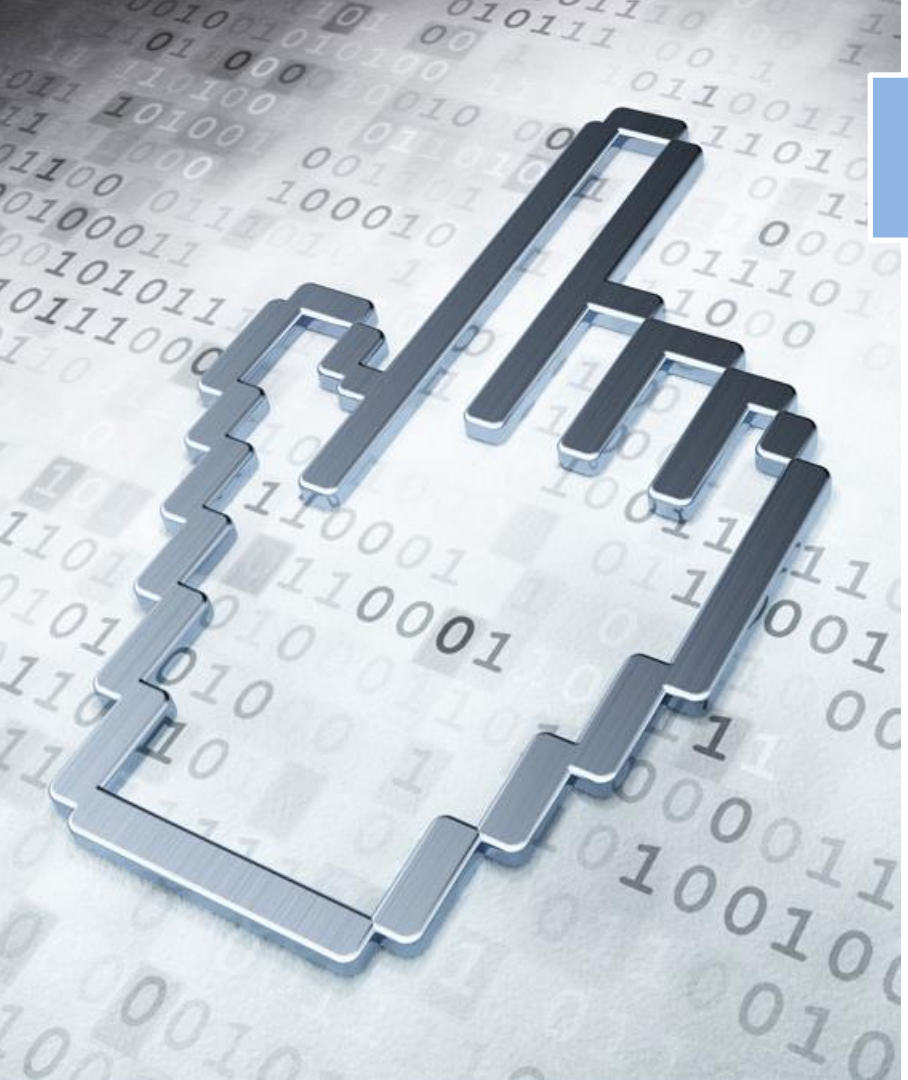
指向调用者的活动记录

用来访问存放于其它活动记录中的非局部数据

通常包括返回地址和一些寄存器中的内容

在该过程中声明的数据

比如表达式求值过程中产生的临时变量



提纲

7.2 静态存储分配

- 在静态存储分配中，编译器为每个过程确定其活动记录在目标程序中的位置
- 这样，过程中每个名字的存储位置就确定了
- 因此，这些名字的存储地址可以被编译到目标代码中
- 过程每次执行时，它的名字都绑定到同样的存储单元

静态存储分配的限制条件

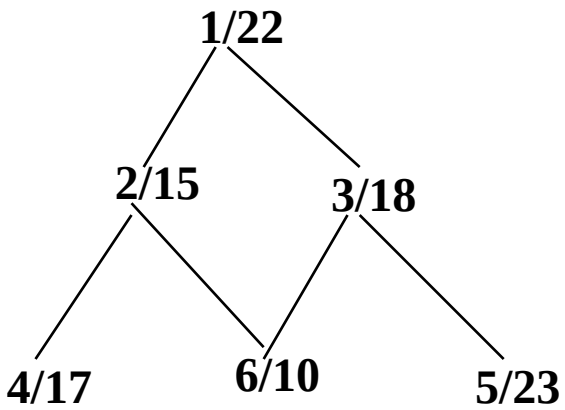
- 适合静态存储分配的语言必须满足以下条件
  - 数组上下界必须是常数
  - 不允许过程的递归调用
  - 不允许用户动态建立数据实体
- 满足这些条件的语言有BASIC和FORTRAN等

常用的静态存储分配方法

- 顺序分配法
- 层次分配法

顺序分配法

- 按照过程出现的先后顺序逐段分配存储空间
- 各过程的活动记录占用互不相交的存储空间



过程编号/所需存储空间

过程	存储区域
1	0~21
2	22~36
3	37~54
4	55~71
5	72~94
6	95~104

共需要105个存储单元

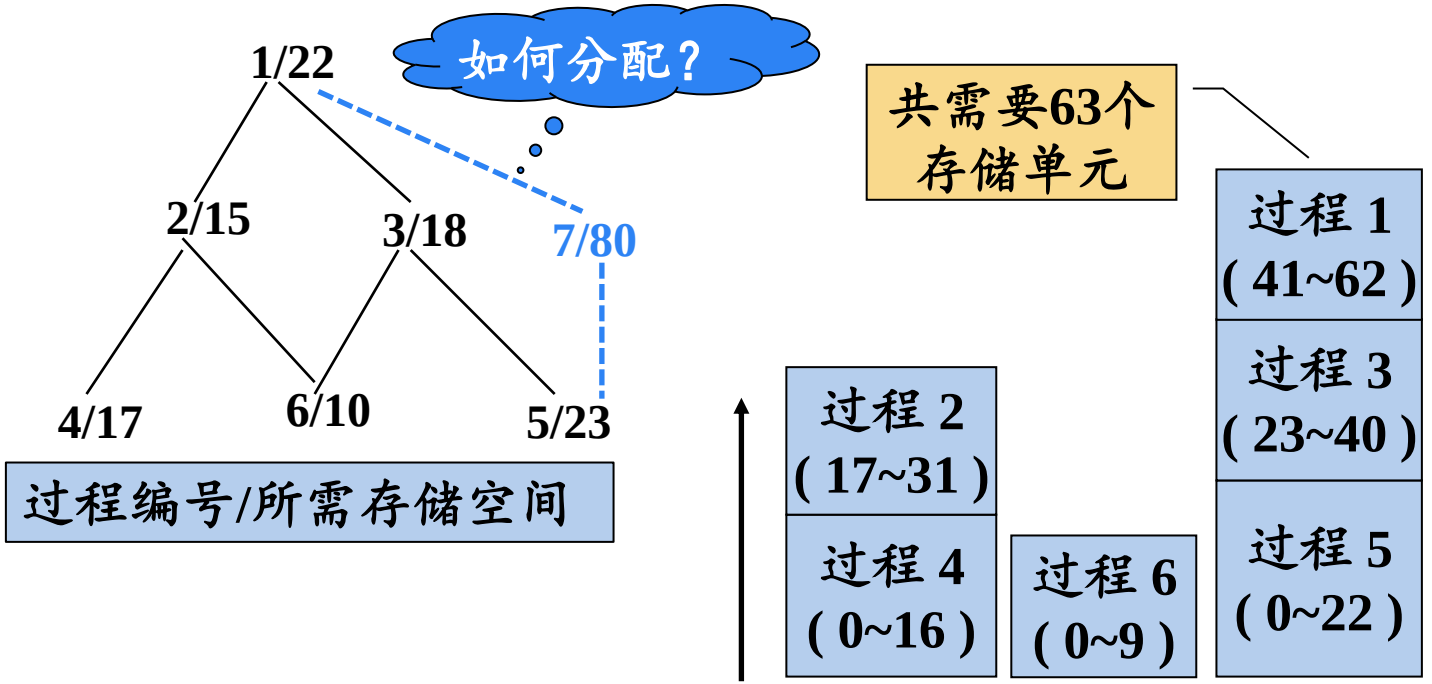
能用更少的空间么？

优点：处理上简单

缺点：对内存空间的使用不够经济合理

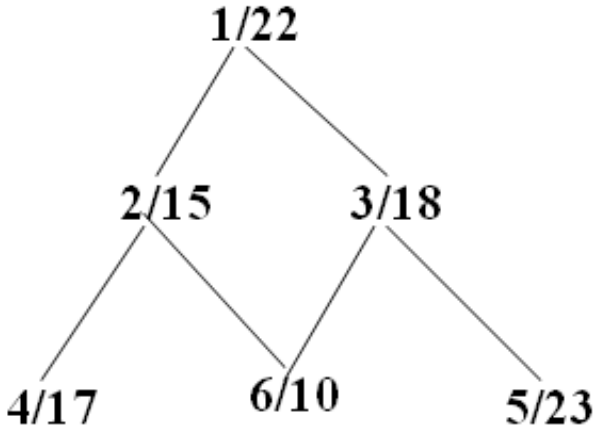
层次分配法

- 通过对过程间的调用关系进行分析，凡属无相互调用关系的并列过程，尽量使其局部数据共享存储空间



层次分配算法

- *B*[*n*][*n*]：过程调用关系矩阵
  - *B*[*i*][*j*]=1： 表示第*i*个过程调用第*j*个过程
  - *B*[*i*][*j*]=0： 表示第*i*个过程不调用第*j*个过程

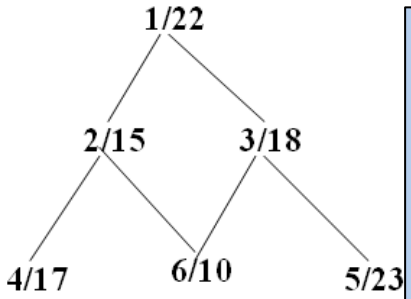


- *Units*[*n*]：过程所需内存量矩阵

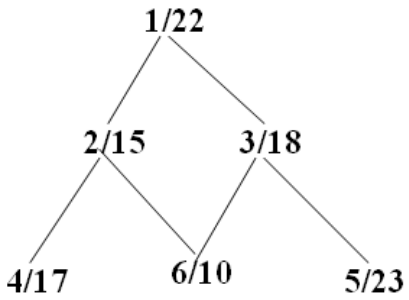
	1	2	3	4	5	6
1	0	1	1	0	0	0
2	0	0	0	1	0	1
3	0	0	0	0	1	1
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0

base[*i*]:第*i*个过程局部数据区的基地址

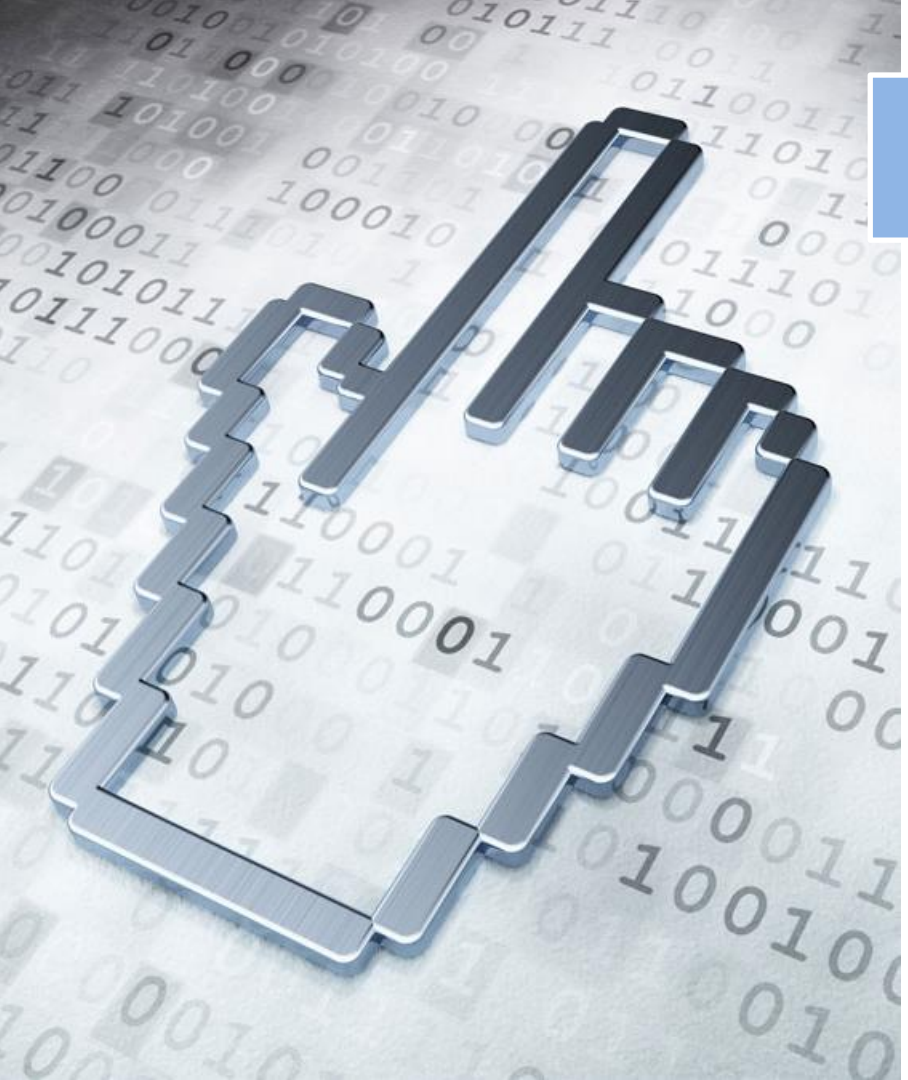
allocated[*i*]:第*i*个过程局部数据区是否分配的标志




```
void MakeFortranBlockAllocated(int *Units, int *base, int NoOfBlocks )
{/* NoOfBlocks indicating how many blocks there are */
   int i , j, k, Sum;
   int *allocated; /*used to indicate if the block is allocated */
   allocated=(int*)malloc(sizeof(int) *NoOfBlocks);
   for(i=0; i<NoOfBlocks; i ++)/*Initial arrays base and allocated */
   {    base [ i ]=0;
        allocated [ i ]=0;
   }
   for( j=0; j< NoOfBlocks; j++)
       for( i=0; i< NoOfBlocks; i++)
      {    Sum=0;
           for ( k=0; k< NoOfBlocks; k++)
               Sum+=B [ i ] [ k ];        /*to check out if block i calls some
                                           block which has not been allocated* /
```




```
    if ( ! Sum  &&  ! allocated [ i ])
    { /*Sum=0 means block i  calls no block which has not been allocated;
         allocated [ i ]=0; means block i is not allocated */
        allocated [ i ]=1;
        printf(" %d: %d -%d /n", i , base[ i ], base[ i ]+Units[ i ]-1);
        for( k=0;k< NoOfBlocks; k++)
        if (B[k][i]) /*b[k][i]!=0 maens block k calls block i */
        { /*Since block k calls i , it must be allocated after block i. It
means the base of block k must be greater than base of block i */
            if (base[ k ] < base[ i ]+Units[ i ])
            base[ k ]= base[ i ]+Units[ i ];
            B[k][i]=0; /*Since block in has been allocated B[k][i] should be
modified */
         }
      }
   }
  free(allocated );
}
```



提纲

7.3 栈式存储分配

- 有些语言使用过程、函数或方法作为用户自定义动作的单元，几乎所有针对这些语言的编译器都把它们的(至少一部分的)运行时刻存储以栈的形式进行管理，称为栈式存储分配
- 当一个过程被调用时，该过程的活动记录被压入栈；当过程结束时，该活动记录被弹出栈
- 这种安排不仅允许活跃时段不交叠的多个过程调用之间共享空间，而且允许以如下方式为一个过程编译代码：它的非局部变量的相对地址总是固定的，和过程调用序列无关

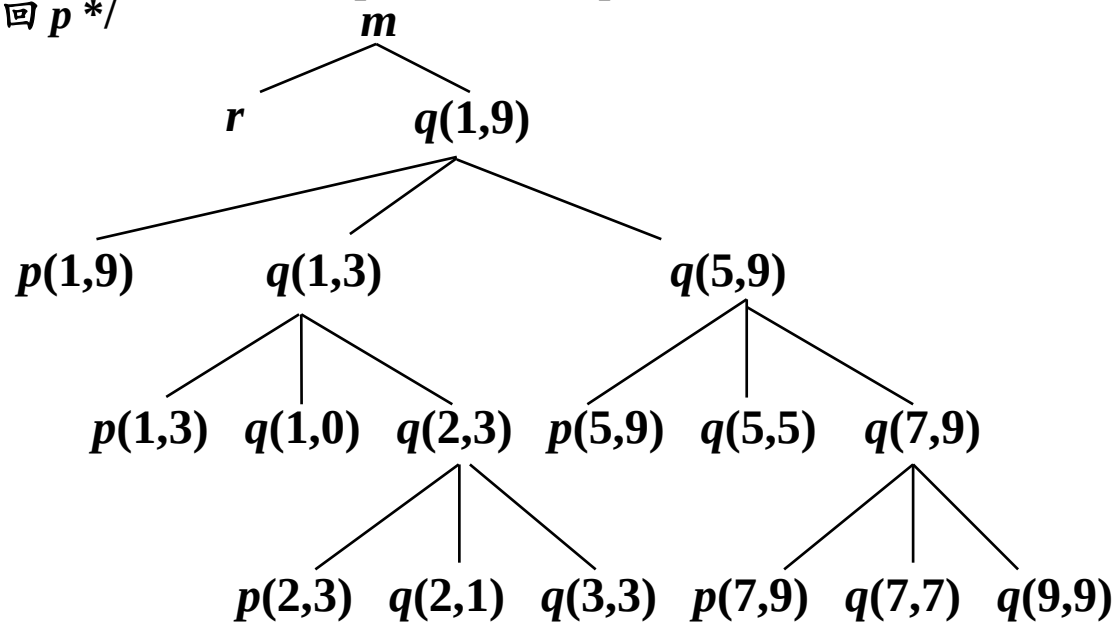
活动树

- 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称为活动树
- 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
- 在表示过程*p*的某个活动的结点上，其子结点对应于被*p*的这次活动调用的各个过程的活动。按照这些活动被调用的顺序，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：一个快速排序程序的概要

```
int  a[11];
void  readArray( ) /*将9个整数读入到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]大于等于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);
}
```

每个活跃的活动都有一个位于控制栈中的活动记录

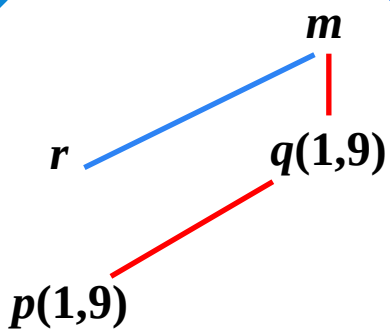


活动树

控制栈

main
int *a*[11]
r
int *i*

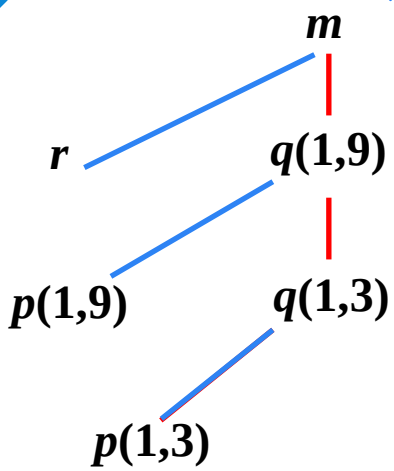
活动树



控制栈

main
int *a*[11]
q(1,9)
int *i*
p(1,9)
int *i*

活动树

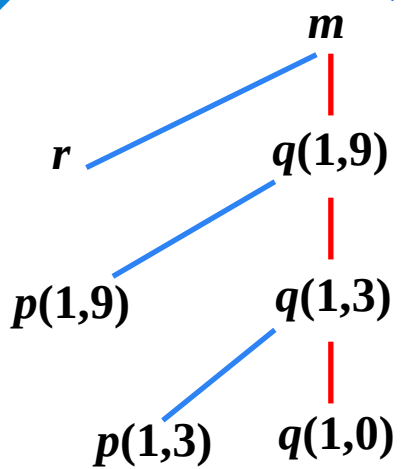


控制栈

main
int *a*[11]
q(1,9)
int *i*
q(1,3)
int *i*
p(1,3)
int *i*

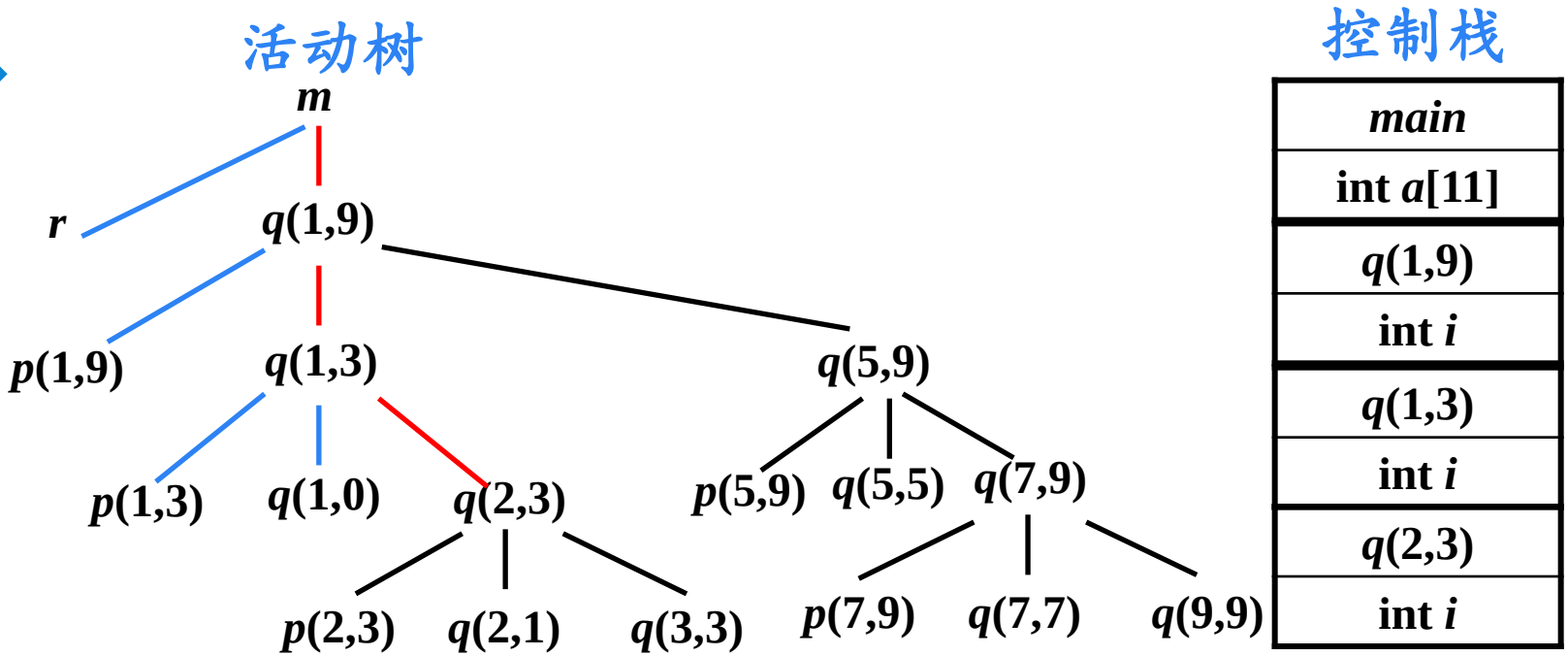
当一个过程是递归的时候，常常会有该过程的多个活动记录同时出现在栈中

活动树



控制栈

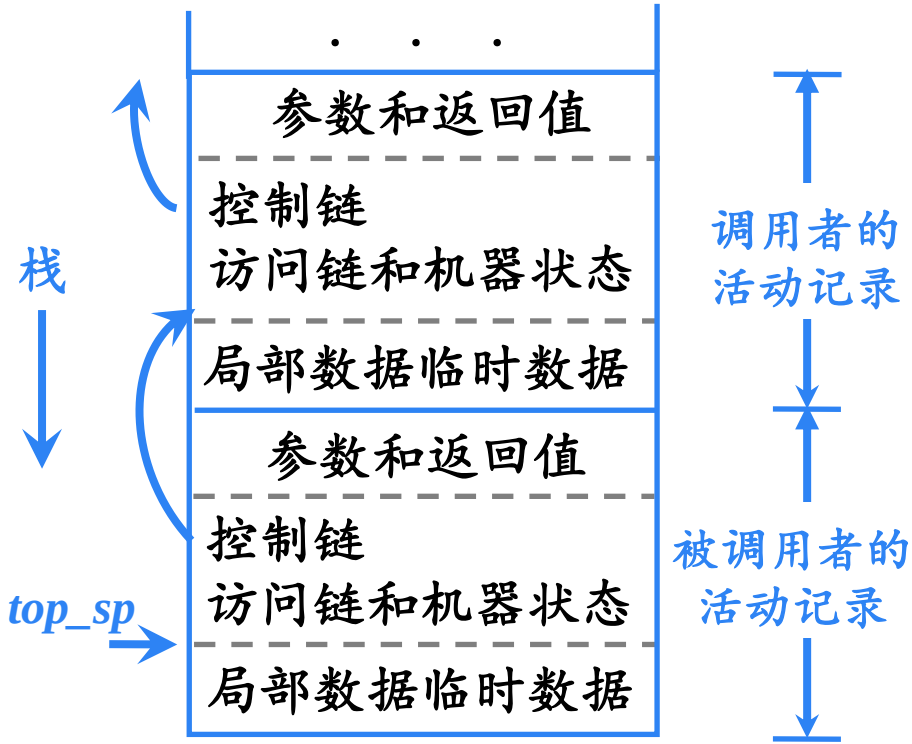
main
int *a*[11]
q(1,9)
int *i*
q(1,3)
int *i*
q(1,0)
int *i*



- 每个活跃的活动都有一个位于控制栈中的活动记录
- 活动树的根的活动记录位于栈底
- 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于在活动树中到达当前控制所在的活动结点的路径

设计活动记录的一些原则

- 在调用者和被调用者之间传递的值一般被放在被调用者的活动记录的开始位置，这样它们可以尽可能地靠近调用者的活动记录
- 固定长度的项被放置在中间位置
  - 控制连、访问链、机器状态字
- 在早期不知道大小的项被放置在活动记录的尾部
- 栈顶指针寄存器*top_sp*指向活动记录中局部数据开始的位置，以该位置作为基地址

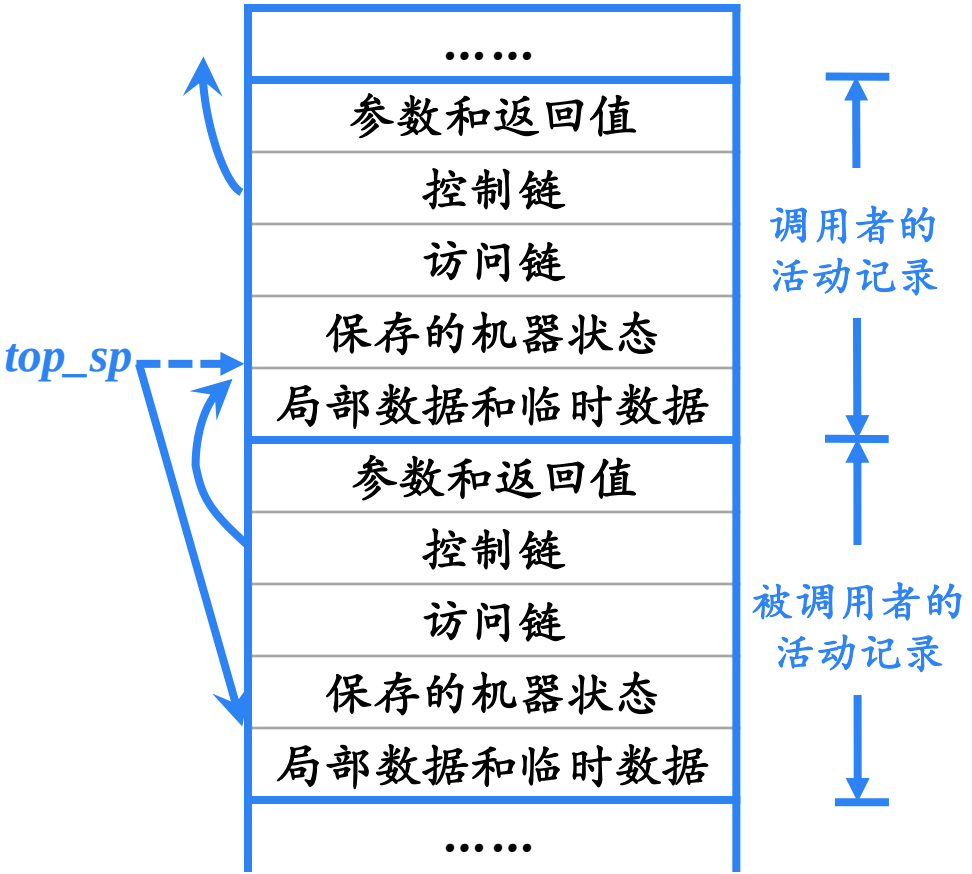


调用序列和返回序列

- 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
  - 调用序列
    - 实现过程调用的代码段。为一个活动记录在栈中分配空间，并在此记录的字段中填写信息
  - 返回序列
    - 恢复机器状态，使得调用过程能够在调用结束之后继续执行
  - 一个调用代码序列中的代码通常被分割到调用过程（调用者）和被调用过程（被调用者）中。返回序列也是如此

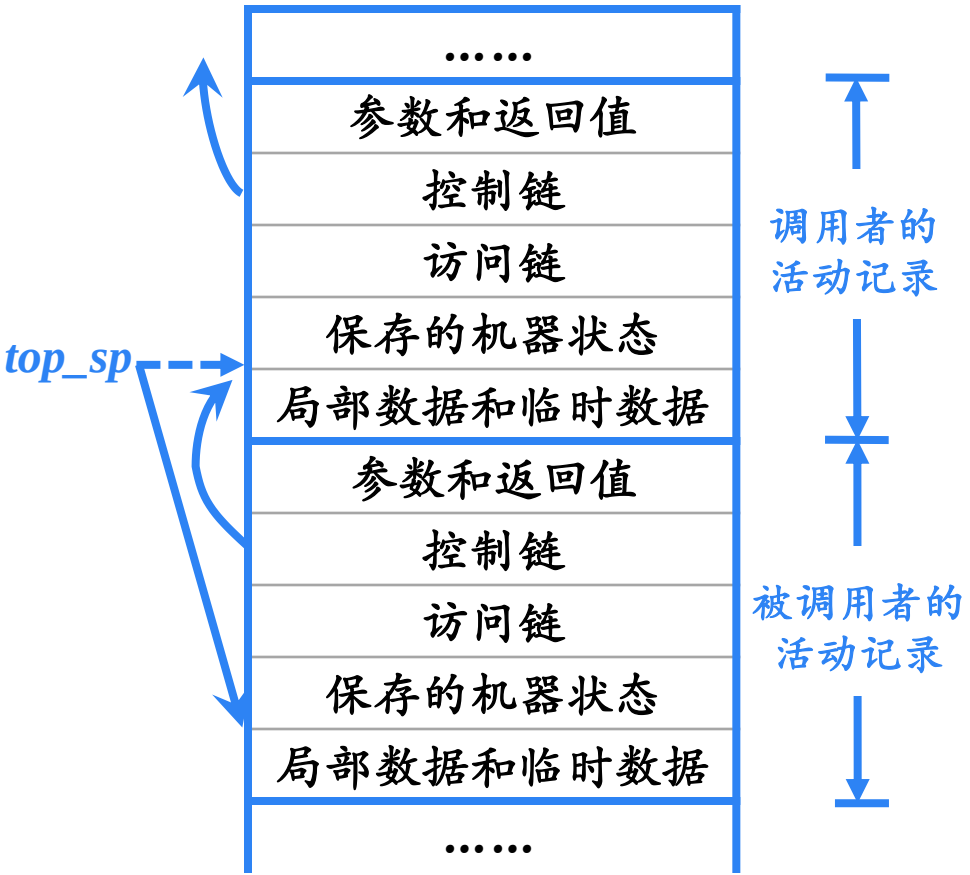
调用序列

- 调用者计算实际参数的值
- 调用者将返回地址（程序计器的值）放到被调用者的机器状态字段中。将原来的*top-sp*值放到被调用者的控制链中。然后，增加*top-sp*的值，使其指向被调用者局部数据开始的位置
- 被调用者保存寄存器值和其它状态信息
- 被调用者初始化其局部数据并开始执行

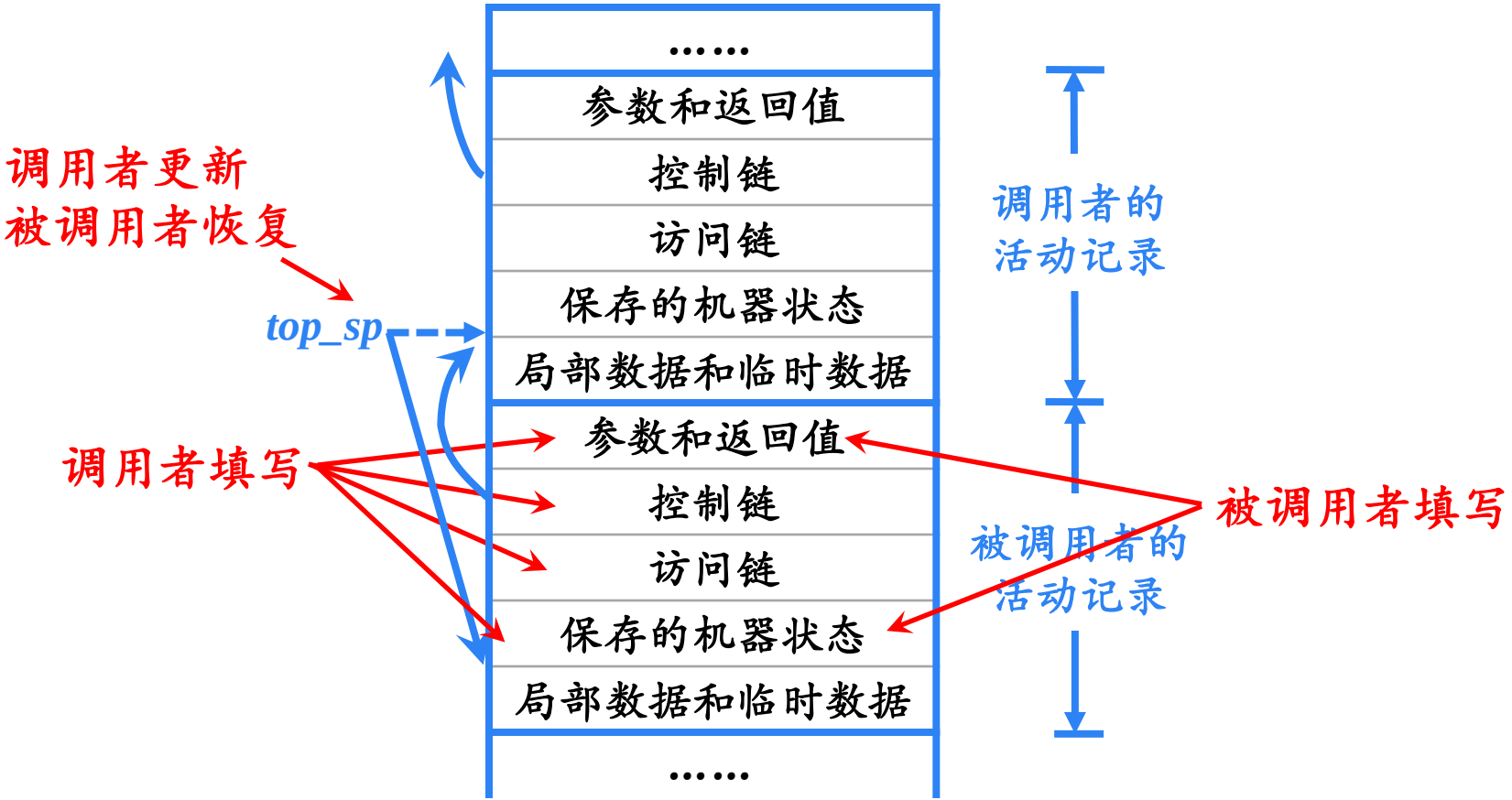


返回序列

- 被调用者将返回值放到与参数相邻的位置
- 使用机器状态字段中的信息，被调用者恢复*top-sp*和其它寄存器，然后跳转到由调用者放在机器状态字段中的返回地址
- 尽管*top-sp*已经被减小，但调用者仍然知道返回值相对于当前*top-sp*值的位置。因此，调用者可以使用那个返回值



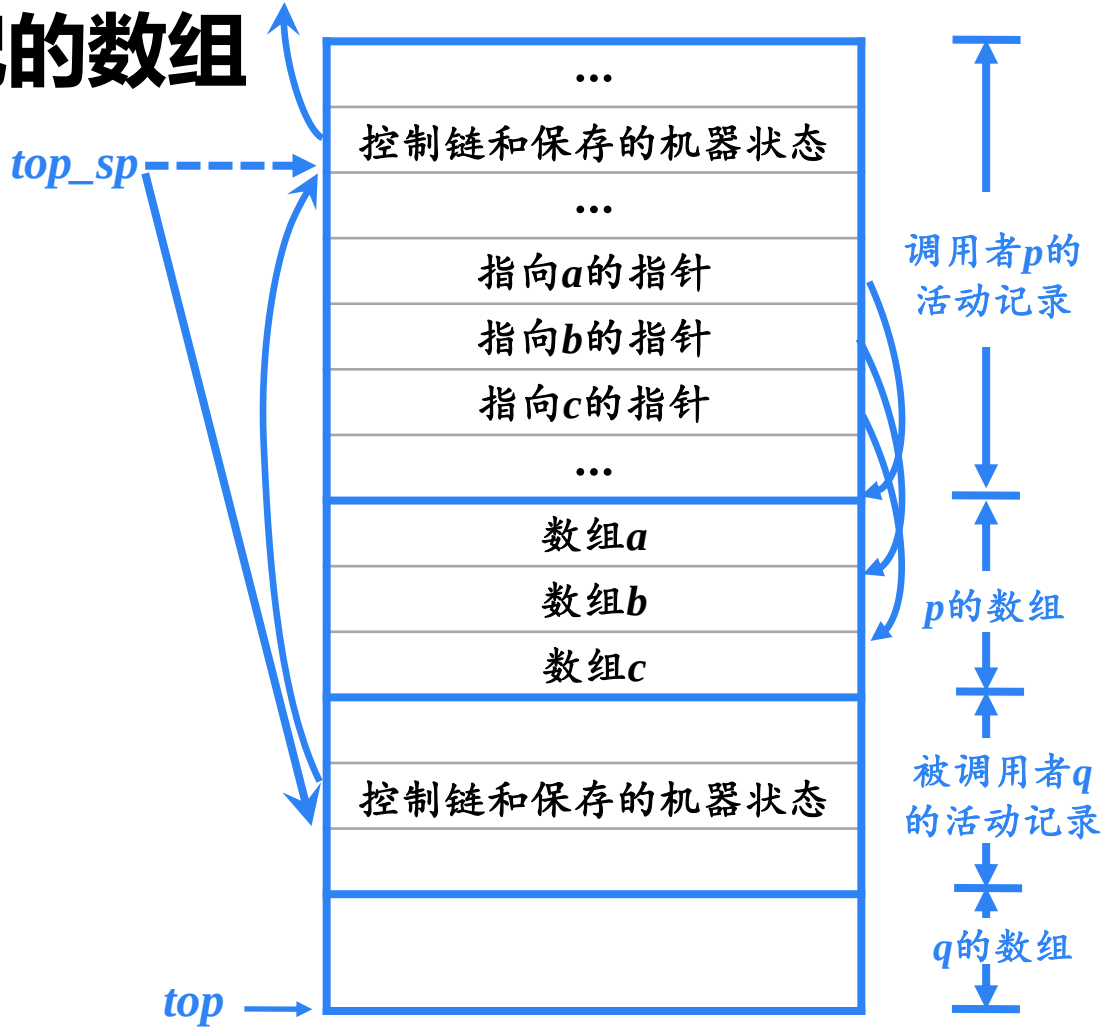
调用者和被调用者之间的任务划分

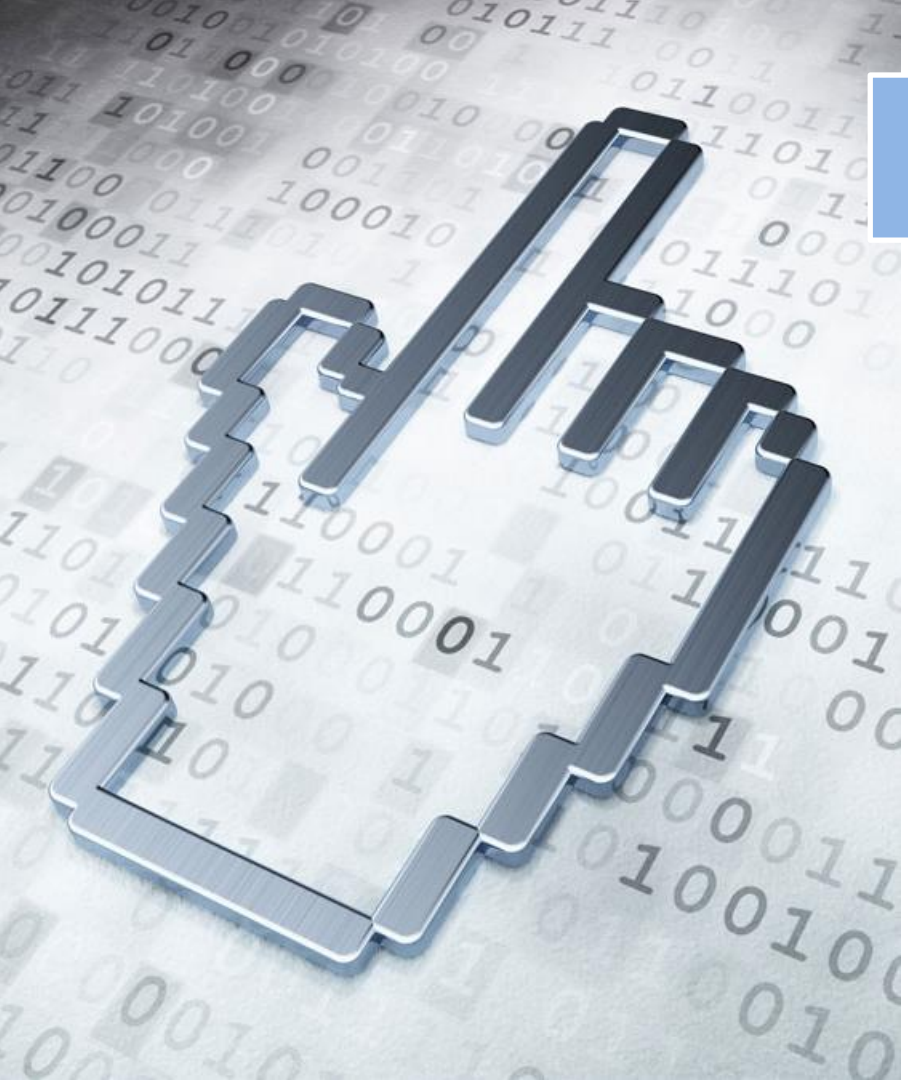


变长数据的存储分配

- 在现代程序设计语言中，在编译时刻不能确定大小的对象将被分配在堆区。但是，如果它们是过程的局部对象，也可以将它们分配在运行时刻栈中。尽量将对象放置在栈区的原因：可以避免对它们的空间进行垃圾回收，也就减少了相应的开销
- 只有一个数据对象局部于某个过程，且当此过程结束时它变得不可访问，才可以使用栈为这个对象分配空间

访问动态分配的数组


top_sp
...
控制链和保存的机器状态
...
指向a的指针
指向b的指针
指向c的指针
...
数组a
数组b
数组c
控制链和保存的机器状态
top
调用者p的
活动记录
p的数组
被调用者q
的活动记录
q的数组



提纲

7.4 非局部数据的访问

- 一个过程除了可以使用过程自身声明的局部数据以外，还可以使用过程外声明的非局部数据
  - 全局数据
  - 外围过程定义的数据（支持过程嵌套声明的语言）← 块结构语言的静态作用域规则
    - 例：*Pascal*语言

例：

- （Pascal语言）

```
program sort ( input, output );
    var a: array[0..10] of integer;
        x: integer;
    procedure readarray;
            var i: integer;
            begin … a … end {readarray} ;
    procedure exchange(i, j:integer);
            begin x=a[i];a[i]=a[j];a[j]=x; end {exchange} ;
    procedure quicksort(m, n:integer);
            var k, v : integer;
            function partition(y, z:integer):integer;
                    var i, j : integer;
                    begin … a … v … exchange(i, j) … end {partition};
            begin … a … v … partition … quicksort … end {quicksort} ;
    begin … a … readarray … quicksort … end {sort};
```

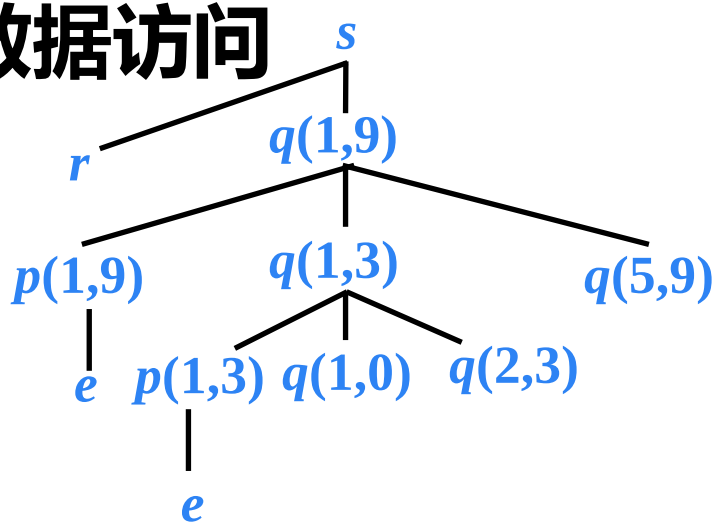
非局部数据的访问

- 一个过程除了可以使用过程自身声明的局部数据以外，还可以使用过程外声明的非局部数据
  - 全局数据
  - 外围过程定义的数据（支持过程嵌套声明的语言）
    - 例： *Pascal*语言　　*C*语言的程序块机制
- 如何访问非局部数据?
  - 访问链（静态链）
  - display表（嵌套层次显示表）

访问链 (*Access Links*)

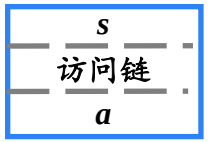
- 静态作用域规则：只要过程*b*的声明嵌套在过程*a*的声明中，过程*b*就可以访问过程*a*中声明的对象
- 可以在相互嵌套的过程的活动记录之间建立一种称为访问链(*Access link*)的指针，使得内嵌的过程可以访问外层过程中声明的对象
  - 如果过程*b*在源代码中直接嵌套在过程*a*中(*b*的嵌套深度比*a*的嵌套深度多1)，那么*b*的任何活动中的访问链都指向最近的*a*的活动

例：基于访问链的非局部数据访问




```
program sort ( input, output );
    var a: array[0..10] of integer;
        x: integer;
    procedure readarray;
            var i: integer;
            begin … a … end {readarray} ;
    procedure exchange(i, j:integer);
            begin x=a[i];a[i]=a[j];a[j]=x; end {exchange} ;
    procedure quicksort(m, n:integer);
            var k, v : integer;
            function partition(y, z:integer):integer;
                    var i, j : integer;
                    begin … a … v … exchange(i, j) … end {partition};
            begin … a … v … partition … quicksort … end {quicksort} ;
    begin … a … readarray … quicksort … end {sort};
```

控制栈



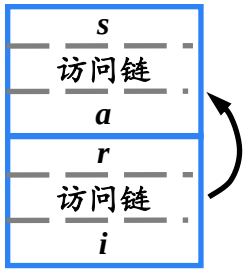
活动树

s

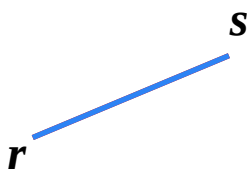
过程	嵌套深度
sort	1
readarray	2
exchange	2
quicksort	2
partition	3

不内嵌在任何其它块中的块，设其嵌套深度为1

控制栈

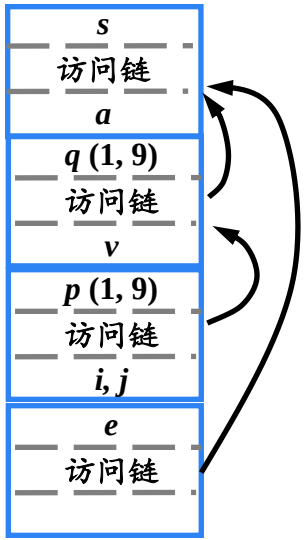


活动树

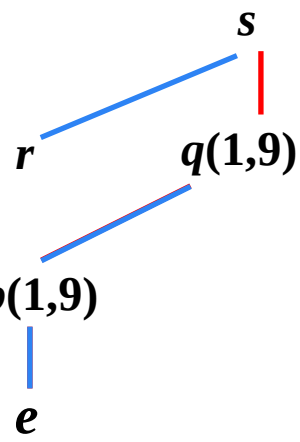


过程	嵌套深度
sort	1
readarray	2
exchange	2
quicksort	2
partition	3

控制栈



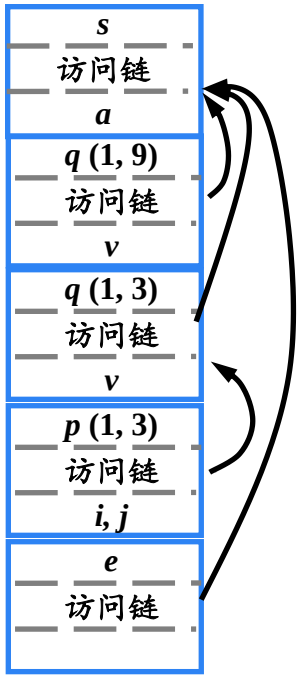
活动树



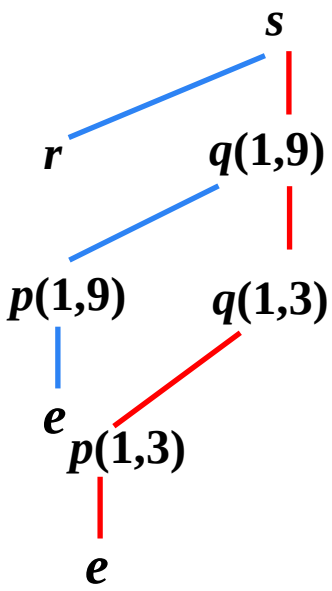
过程	嵌套深度
sort	1
readarray	2
exchange	2
quicksort	2
partition	3

过程	嵌套深度
sort	1
readarray	2
exchange	2
quicksort	2
partition	3

控制栈

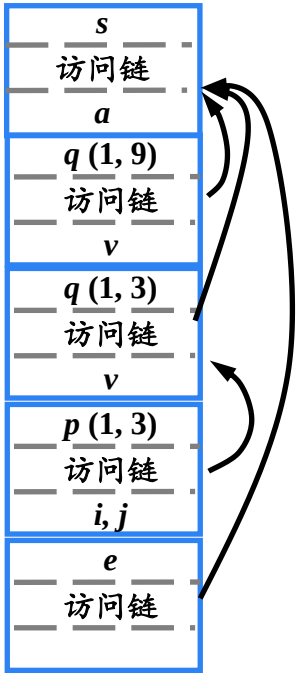


活动树



访问链的建立

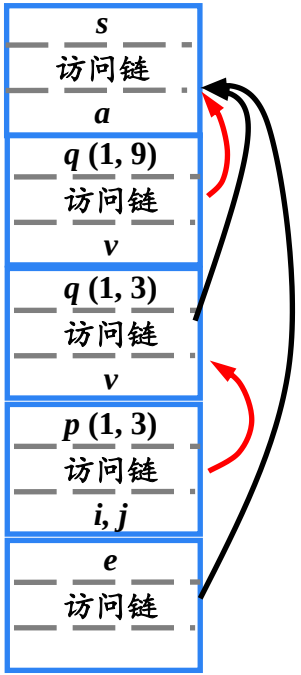
- 建立访问链的代码属于调用序列的一部分
- 假设嵌套深度为n_x的过程x调用嵌套深度为n_y的过程y ($x \rightarrow y$)
  - $n_x < n_y$的情况(外层调用内层)
    - y一定是直接在x中定义的 (例如：$s \rightarrow q$，$q \rightarrow p$)，因此，$n_y = n_x + 1$
    - 在调用代码序列中增加一个步骤：在y的访问链中放置一个指向x的活动记录的指针



过程	嵌套深度
sort	1
readarray	2
exchange	2
quicksort	2
partition	3

访问链的建立

- 建立访问链的代码属于调用序列的一部分
- 假设嵌套深度为n_x的过程x调用嵌套深度为n_y的过程y $(x \rightarrow y)$
  - $n_x < n_y$的情况(外层调用内层)
  - $n_x = n_y$的情况(本层调用本层)
    - 例如：递归调用 $(q \rightarrow q)$
    - 被调用者的活动记录的访问链与调用者的活动记录的访问链是相同的，可以直接复制

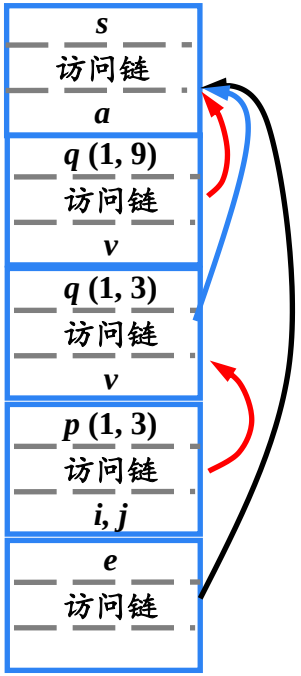


过程	嵌套深度
sort	1
readarray	2
exchange	2
quicksort	2
partition	3

访问链的建立

- 建立访问链的代码属于调用序列的一部分
- 假设嵌套深度为n_x的过程x调用嵌套深度为n_y的过程y $(x \rightarrow y)$
  - $n_x < n_y$的情况(外层调用内层)
  - $n_x = n_y$的情况(本层调用本层)
  - $n_x > n_y$的情况(内层调用外层，如： $p \rightarrow e$)
    - 调用者x必定嵌套在某个过程z中，而z中直接定义了被调用者y
    - 从x的活动记录开始，沿着访问链经过$n_x - n_y + 1$步就可以找到离栈顶最近的z的活动记录。y的访问链必须指向z的这个活动记录

嵌套深度是在编译阶段通过静态分析就能确定的

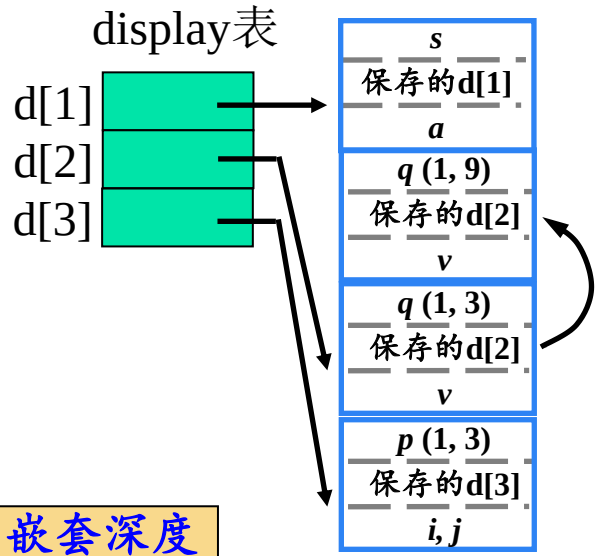


过程	嵌套深度
sort	1
readarray	2
exchange	2
quicksort	2
partition	3

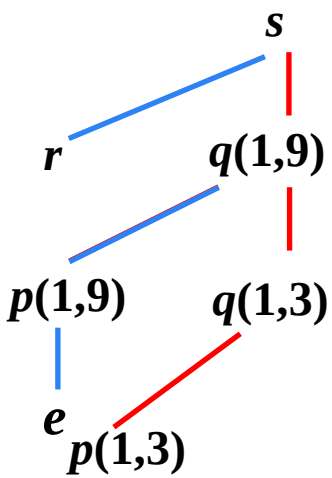
display表（嵌套层次显示表）

- 访问链方法存在的问题
  - 访问外层过程名字的效率比较低
- display表
  - 是一个指针数组*d*
  - 在任何时刻，*d*[*i*]均指向运行栈中最新建立的嵌套深度为*i*的过程的活动记录（在运行栈中可能存在多个嵌套深度为*i*的过程的活动记录）
  - 如果要访问某个嵌套深度为*i*的非局部名字*x*，只要沿着指针*d*[*i*]找到*x*所属过程的活动记录，再根据已知的偏移量就可以在活动记录中找到*x*

控制栈



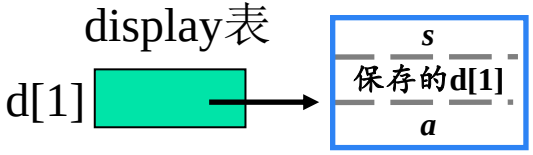
活动树



过程	嵌套深度
sort	1
readarray	2
exchange	2
quicksort	2
partition	3

d[*i*]指向运行栈中最新建立的嵌套深度为*i*的过程的活动记录

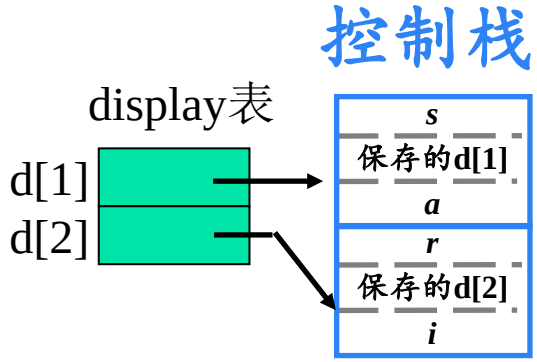
控制栈

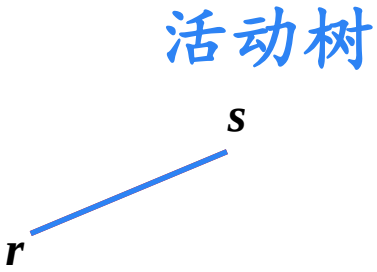


活动树

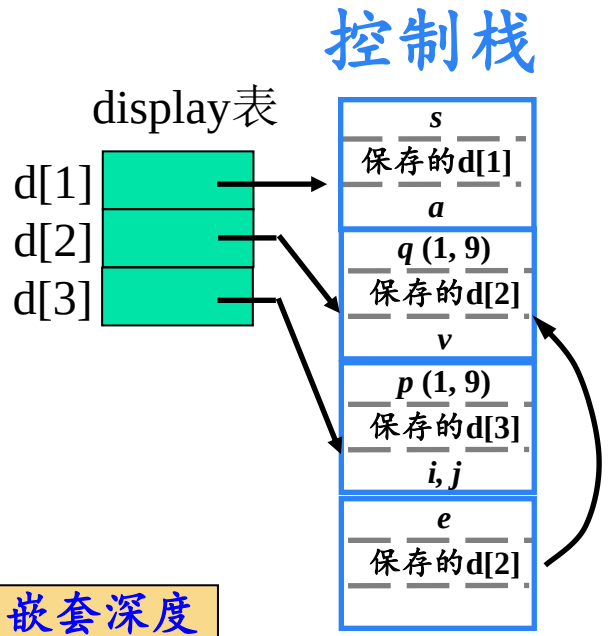
s

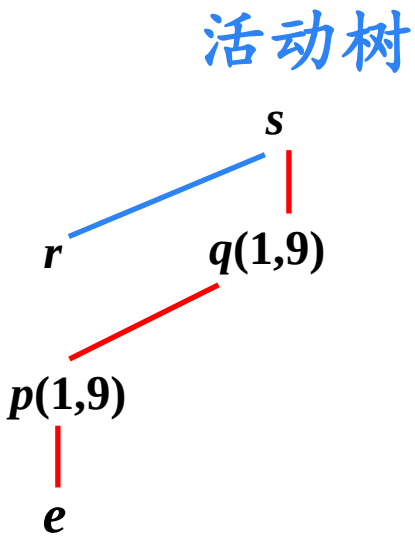
过程	嵌套深度
sort	**1**
readarray	**2**
exchange	**2**
quicksort	**2**
partition	**3**



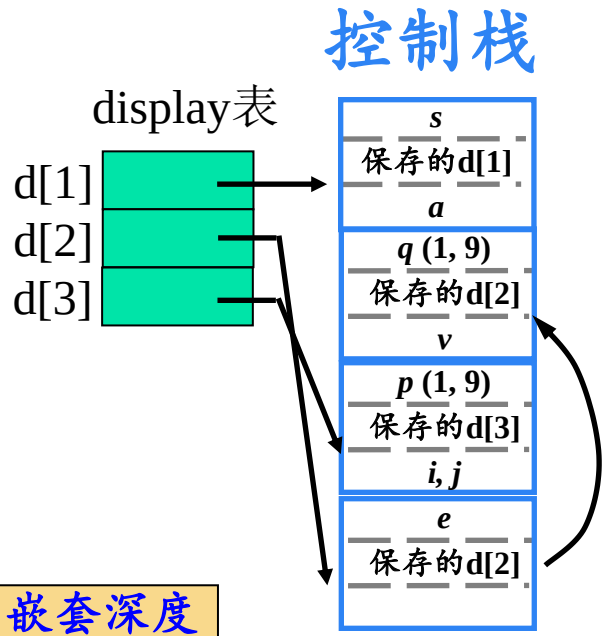


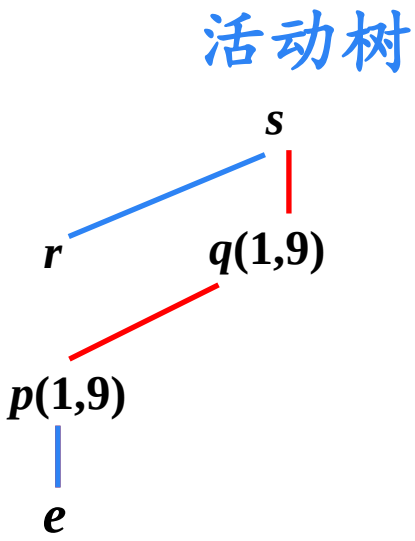
过程	嵌套深度
sort	1
readarray	2
exchange	2
quicksort	2
partition	3



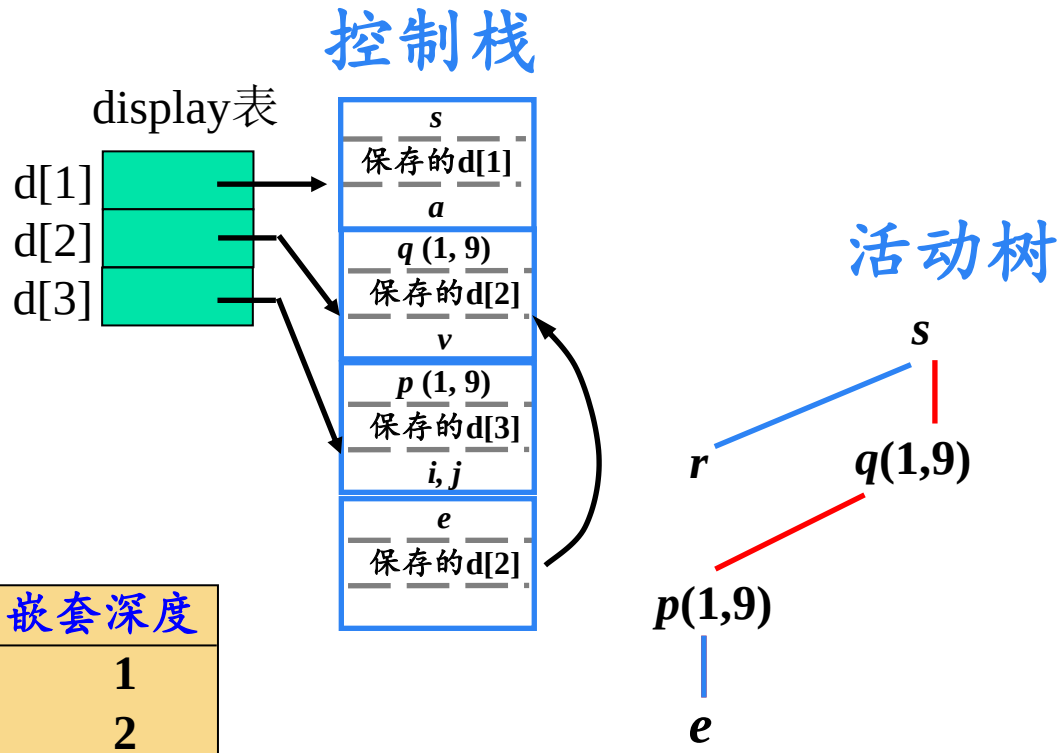


过程	嵌套深度
sort	1
readarray	2
exchange	2
quicksort	2
partition	3



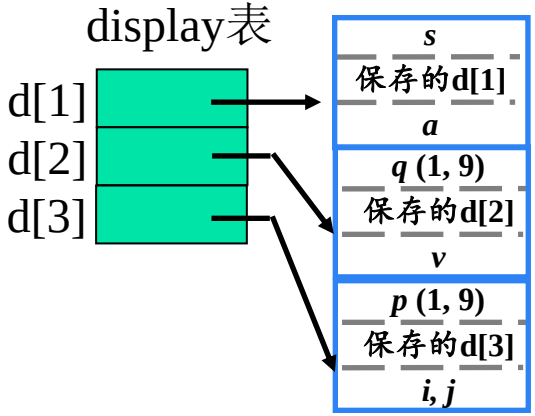


过程	嵌套深度
sort	1
readarray	2
exchange	2
quicksort	2
partition	3

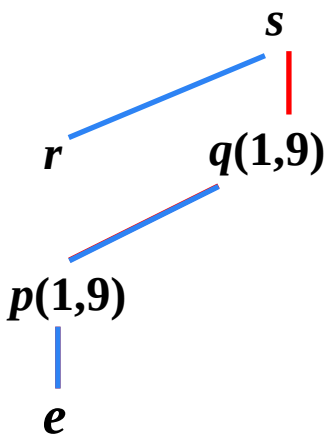


过程	嵌套深度
sort	1
readarray	2
exchange	2
quicksort	2
partition	3

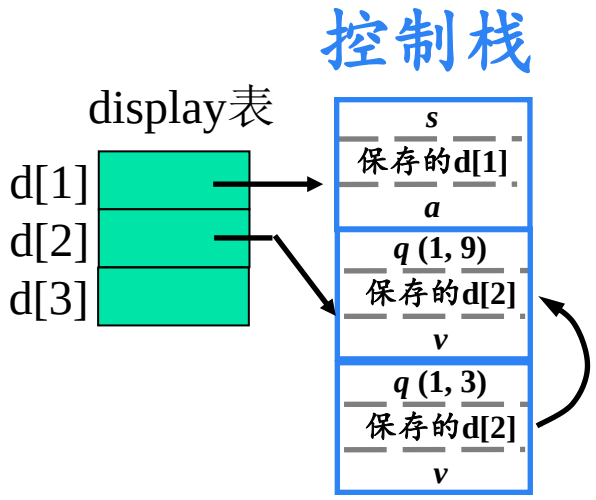
控制栈

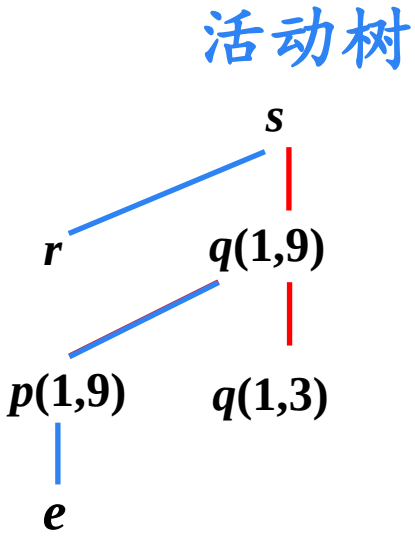


活动树

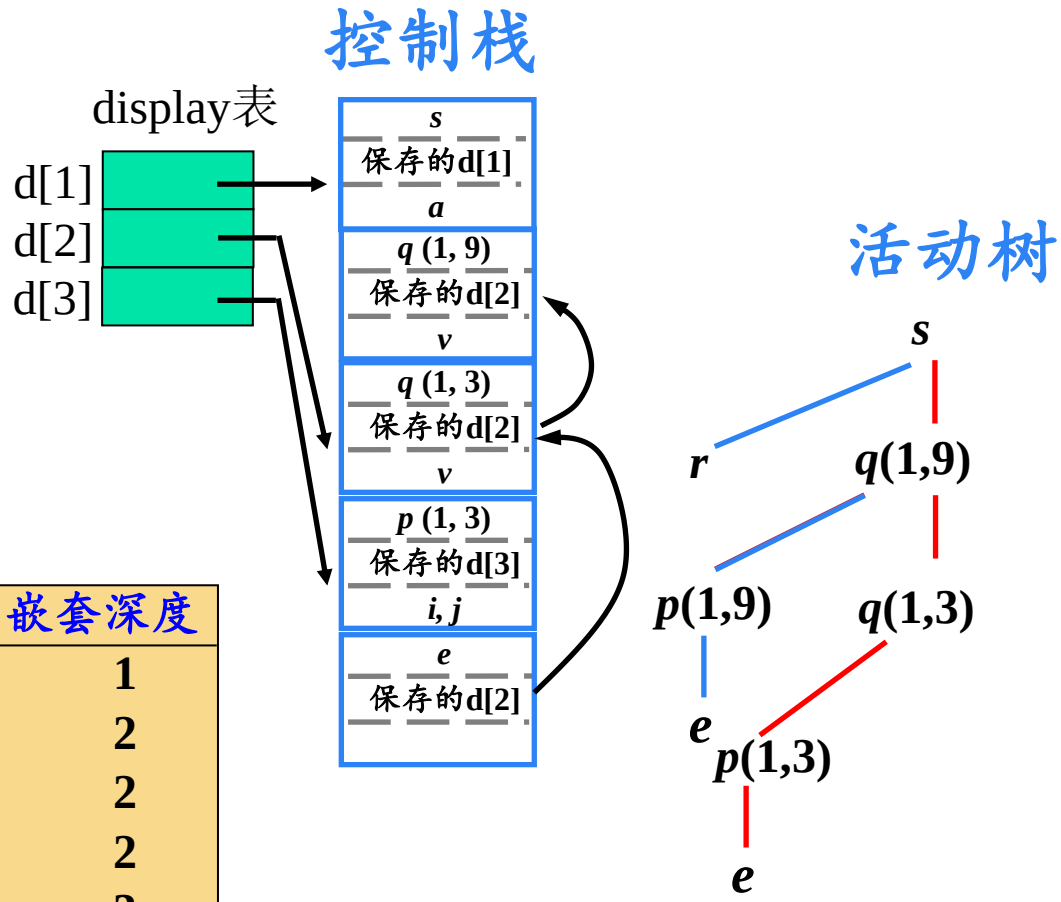


过程	嵌套深度
sort	1
readarray	2
exchange	2
quicksort	2
partition	3

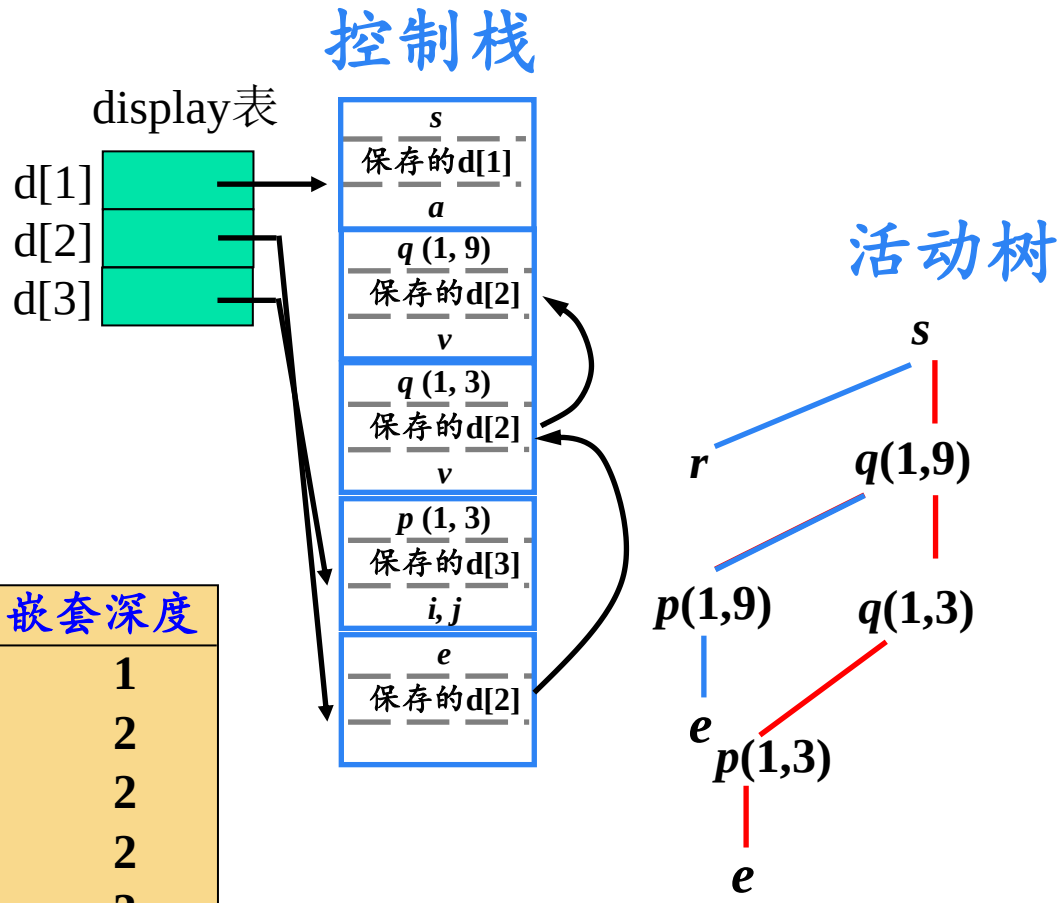




过程	嵌套深度
sort	1
readarray	2
exchange	2
quicksort	2
partition	3



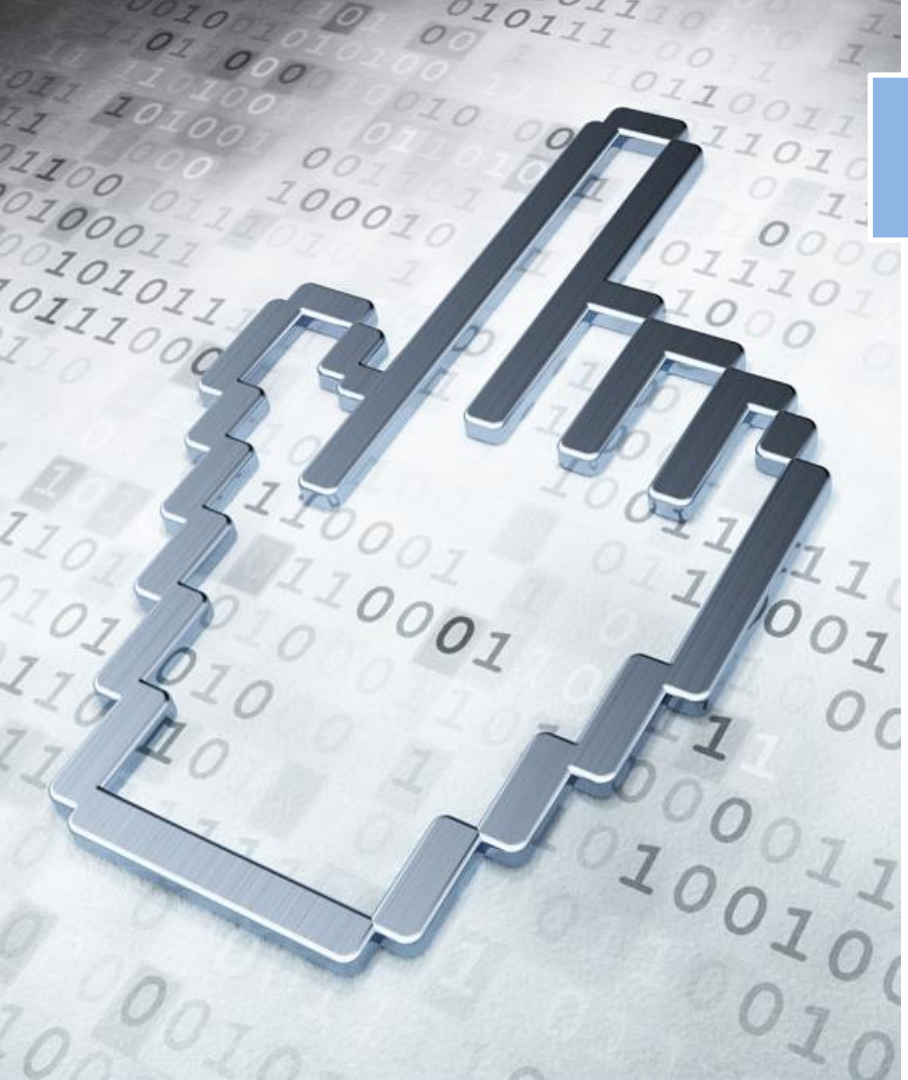
过程	嵌套深度
sort	1
readarray	2
exchange	2
quicksort	2
partition	3



过程	嵌套深度
sort	1
readarray	2
exchange	2
quicksort	2
partition	3

display表的维护

- 每当开始一个新活动时都要修改display表。
- 而当控制从新活动中返回时，又必须恢复display表的状态
- 如果嵌套深度为n_p的过程p被调用，并且它的活动记录不是$d[n_p]$直接指向的的活动记录，则p的活动记录要保存$d[n_p]$原来的值，同时置$d[n_p]$指向p的这个活动记录
- 当p返回且它的活动记录被从运行栈中清除时，再将$d[n_p]$恢复为调用p之前的旧值
- 如果运行栈中存在多个嵌套深度为i的过程的活动记录，则通过这些保存的$d[i]$就将它们链接在了一起，但是$d[i]$始终指向当前活跃的那个活动记录



提纲

7.5 参数传递

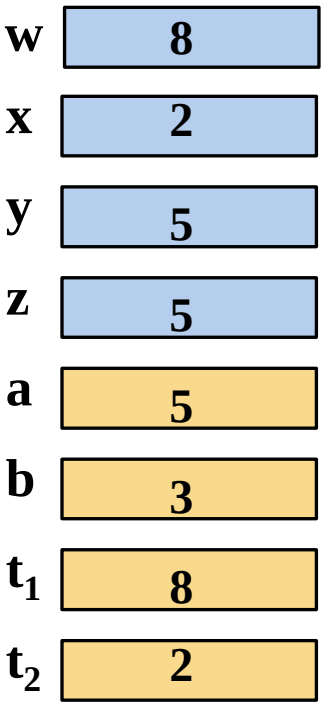
- 形式参数（formal parameter）
  - 在过程定义中使用的参数
- 实际参数（actual parameter）
  - 在调用过程时使用的参数
- 形参和实参相关联的几种方法
  - 传值（Call- by-Value）
  - 传地址（Call- by-Reference）
  - 传值结果（Call- by-Value-Result）
  - 传名（Call- by-Name）

7.5.1 传值（Call- by-Value）

- 把实参的值传递给相应的形参
- 实现方法
  - 调用过程把实参的值计算出来，并传递到被调用过程相应的形式单元中
  - 被调用过程中，像引用局部数据一样引用形式参数，直接访问对应的形式单元
- 例：Pascal的值参数、C/C++的缺省参数传递

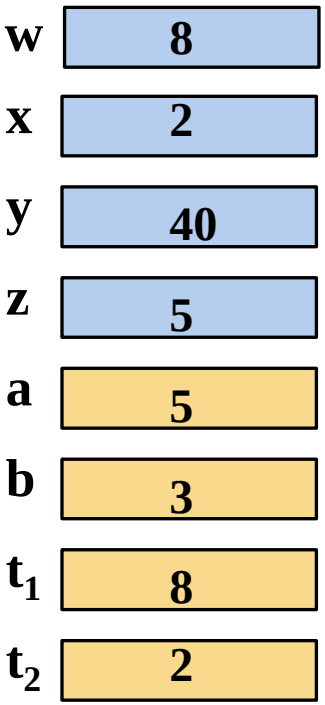
例

```
…
procedure P(w,x,y,z);
begin
    y:=y*w;
    z:=z+x;
end
begin
    a:=5;
    b:=3;
    P(a+b,a-b,a,a);
    write(a);
end
```



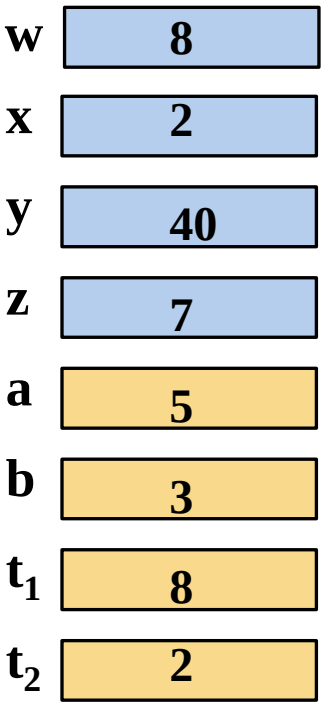
例

```
…
procedure P(w,x,y,z);
begin
    y:=y*w;
    z:=z+x;
end
begin
    a:=5;
    b:=3;
    P(a+b,a-b,a,a);
    write(a);
end
```



例

```
…
procedure P(w,x,y,z);
begin
    y:=y*w;
    z:=z+x;
end
begin
    a:=5;
    b:=3;
    P(a+b,a-b,a,a);
    write(a);
end
```

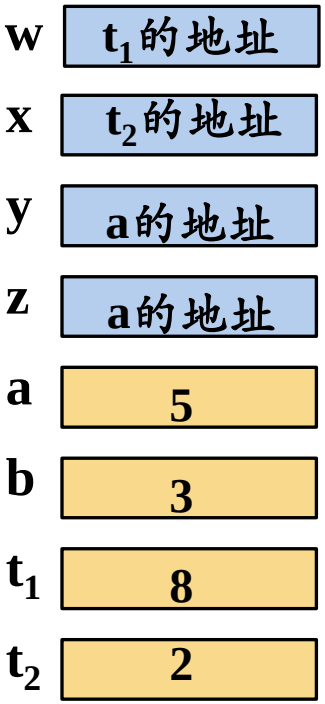


7.5.2 传地址（Call- by-Reference）

- 把实参的地址传递给相应的形参
- 实现方法
  - 调用过程把实参的地址传递到被调用过程相应的形式单元中
  - 被调用过程中，对形参的引用或赋值被处理成对形式单元的间接访问
- 例：Pascal的var参数、C/C++的传引用

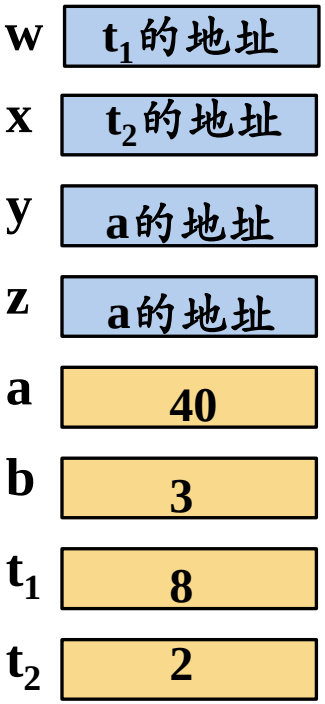
例

```
…
procedure P(w,x,y,z);
begin
    y:=y*w;
    z:=z+x;
end
begin
    a:=5;
    b:=3;
    P(a+b,a-b,a,a);
    write(a);
end
```



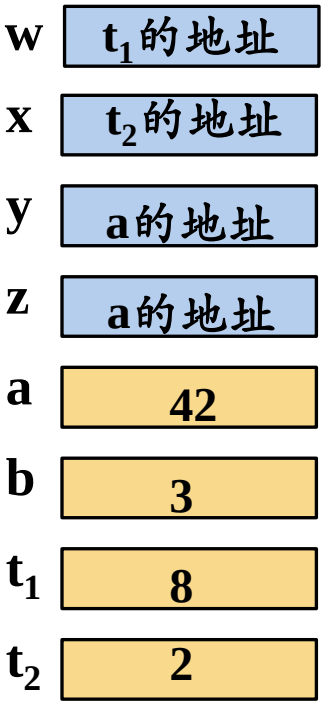
例

```
…
procedure P(w,x,y,z);
begin
    y:=y*w;
    z:=z+x;
end
begin
    a:=5;
    b:=3;
    P(a+b,a-b,a,a);
    write(a);
end
```



例

```
…
procedure P(w,x,y,z);
begin
    y:=y*w;
    z:=z+x;
end
begin
    a:=5;
    b:=3;
    P(a+b,a-b,a,a);
    write(a);
end
```

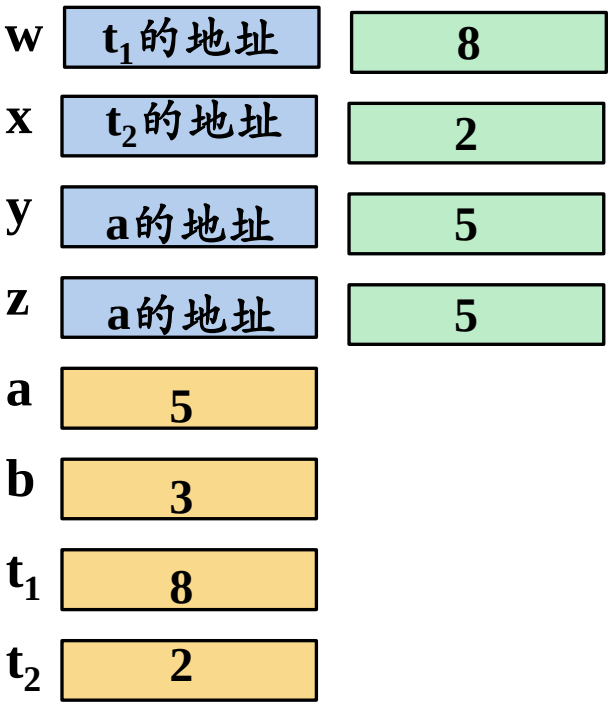


7.5.3 传值结果（Call- by-Value-Result）

- 传地址的一种变形
- 实现方法
  - 每个形参对应两个形式单元。第一个形式单元存放实参的地址，第二个形式单元存放实参的值
  - 在过程体中，对形参的引用或赋值看作对它的第二个形式单元的直接访问
  - 过程完成返回前，把第二个单元的内容存放到第一个单元所指的实参单元中
- 例：Fortune

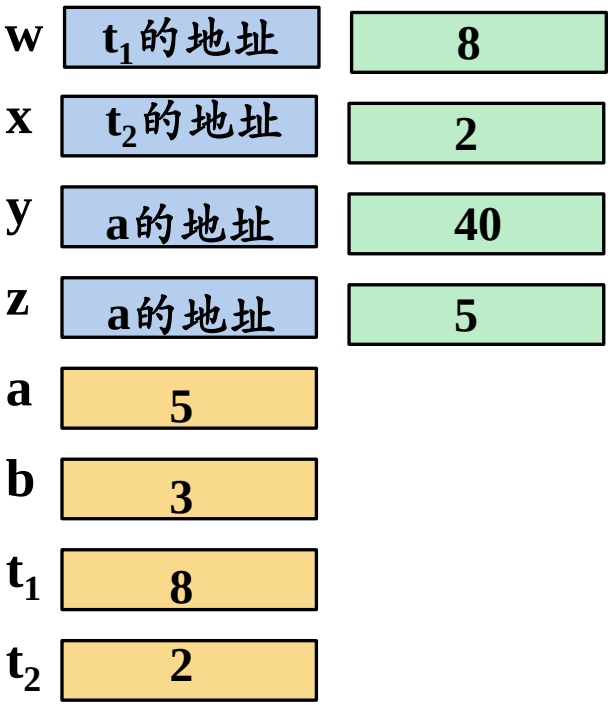
例

```
…
procedure P(w,x,y,z);
begin
    y:=y*w;
    z:=z+x;
end
begin
    a:=5;
    b:=3;
    P(a+b,a-b,a,a);
    write(a);
end
```



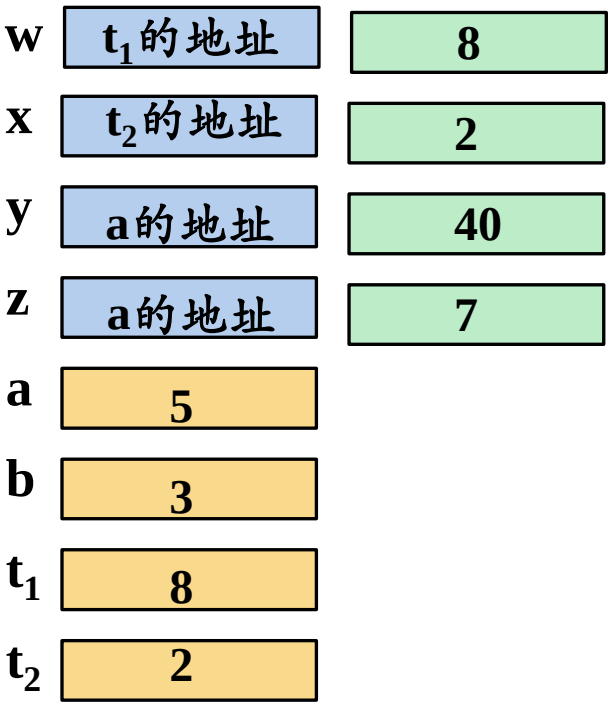
例

```
…
procedure P(w,x,y,z);
begin
    y:=y*w;
    z:=z+x;
end
begin
    a:=5;
    b:=3;
    P(a+b,a-b,a,a);
    write(a);
end
```



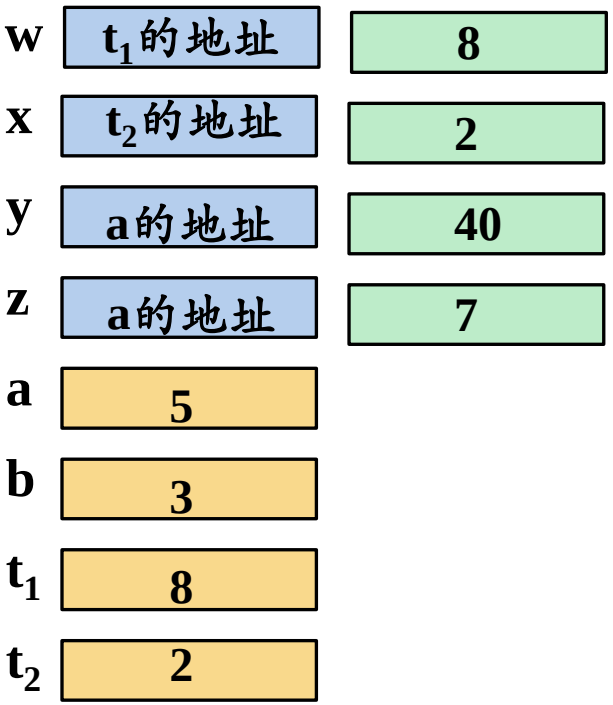
例

```
…
procedure P(w,x,y,z);
begin
    y:=y*w;
    z:=z+x;
end
begin
    a:=5;
    b:=3;
    P(a+b,a-b,a,a);
    write(a);
end
```



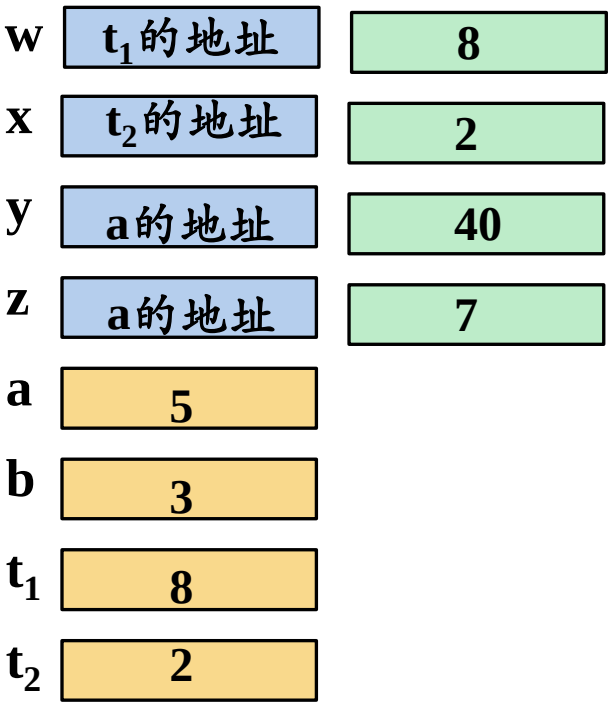
例

```
…
procedure P(w,x,y,z);
begin
    y:=y*w;
    z:=z+x;
end
begin
    a:=5;
    b:=3;
    P(a+b,a-b,a,a);
    write(a);
end
```



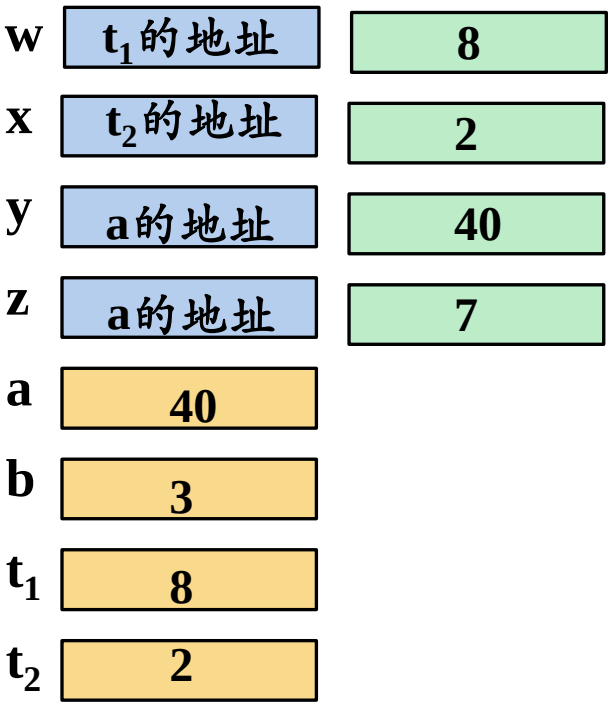
例

```
…
procedure P(w,x,y,z);
begin
    y:=y*w;
    z:=z+x;
end
begin
    a:=5;
    b:=3;
    P(a+b,a-b,a,a);
    write(a);
end
```



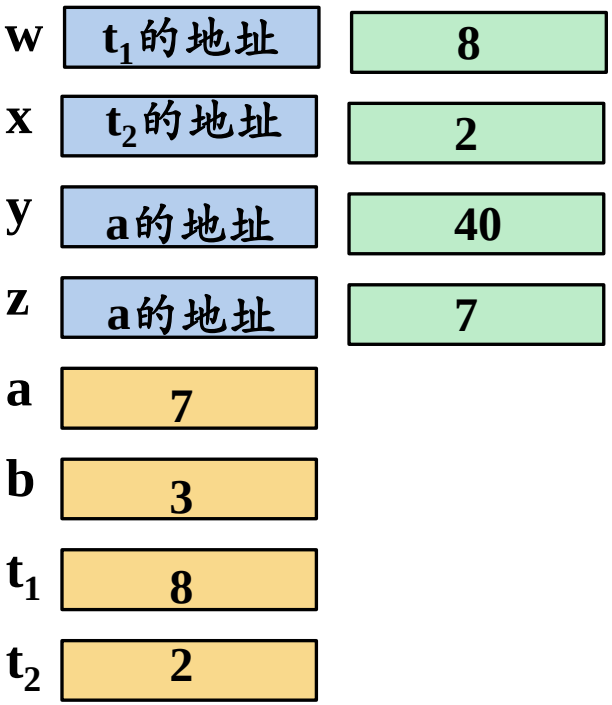
例

```
…
procedure P(w,x,y,z);
begin
    y:=y*w;
    z:=z+x;
end
begin
    a:=5;
    b:=3;
    P(a+b,a-b,a,a);
    write(a);
end
```



例

```
…
procedure P(w,x,y,z);
begin
    y:=y*w;
    z:=z+x;
end
begin
    a:=5;
    b:=3;
    P(a+b,a-b,a,a);
    write(a);
end
```

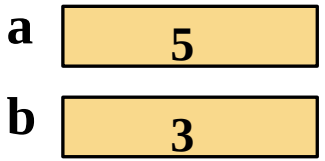


7.5.4 传名（Call- by-Name）

- 相当于把被调用过程的过程体抄到调用出现的地方，但把其中出现的形参都替换成相应的实参
- 实现方法
  - 在进入被调用过程之前不对实参预先进行计值，而是让过程体中每当使用到相应的实参时才逐次对它实行计值（或计算地址）
  - 通常把实参处理成一个子程序（称为参数子程序），每当过程体中使用到相应的实参时就调用这个子程序
- 例：ALGOL60

例

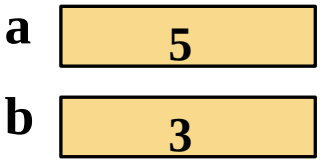
```
…
procedure P(w,x,y,z);
begin
    y:=y*w;
    z:=z+x;
end
begin
    a:=5;
    b:=3;
    P(a+b,a-b,a,a);
    write(a);
end
```



例

```
…
procedure P(w,x,y,z);
begin
    y:=y*w;
    z:=z+x;
end
begin
    a:=5;
    b:=3;
    P(a+b,a-b,a,a);
    write(a);
end
```

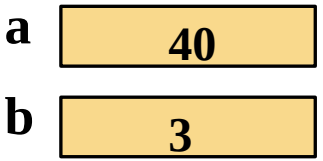
```
begin
    a:=5;
    b:=3;
    a:=a*(a+b);
    a:=a+(a-b);
    write(a);
end
```



例

```
…
procedure P(w,x,y,z);
begin
    y:=y*w;
    z:=z+x;
end
begin
    a:=5;
    b:=3;
    P(a+b,a-b,a,a);
    write(a);
end
```

```
begin
    a:=5;
    b:=3;
    a:=a*(a+b);
    a:=a+(a-b);
    write(a);
end
```



例

```
…
procedure P(w,x,y,z);
begin
    y:=y*w;
    z:=z+x;
end
begin
    a:=5;
    b:=3;
    P(a+b,a-b,a,a);
    write(a);
end
```

```
begin
    a:=5;
    b:=3;
    a:=a*(a+b);
    a:=a+(a-b);
    write(a);
end
```

a	77
b	3

传名方式中的重命名问题

```
PROGRAM  EX
   …
   var A: integer;
   PROCEDURE  P(B: integer)
      …
   var A: integer;
   BEGIN
      A:=0;
      B:=B+1;
      A:=A+B;
   END
BEGIN
   A:=2;
   P(A);
   write(A);
END
```

```
BEGIN
   A:=2;
   A:=0;
   B:=B+1;
   A:=A+B;
   write(A);
END
```

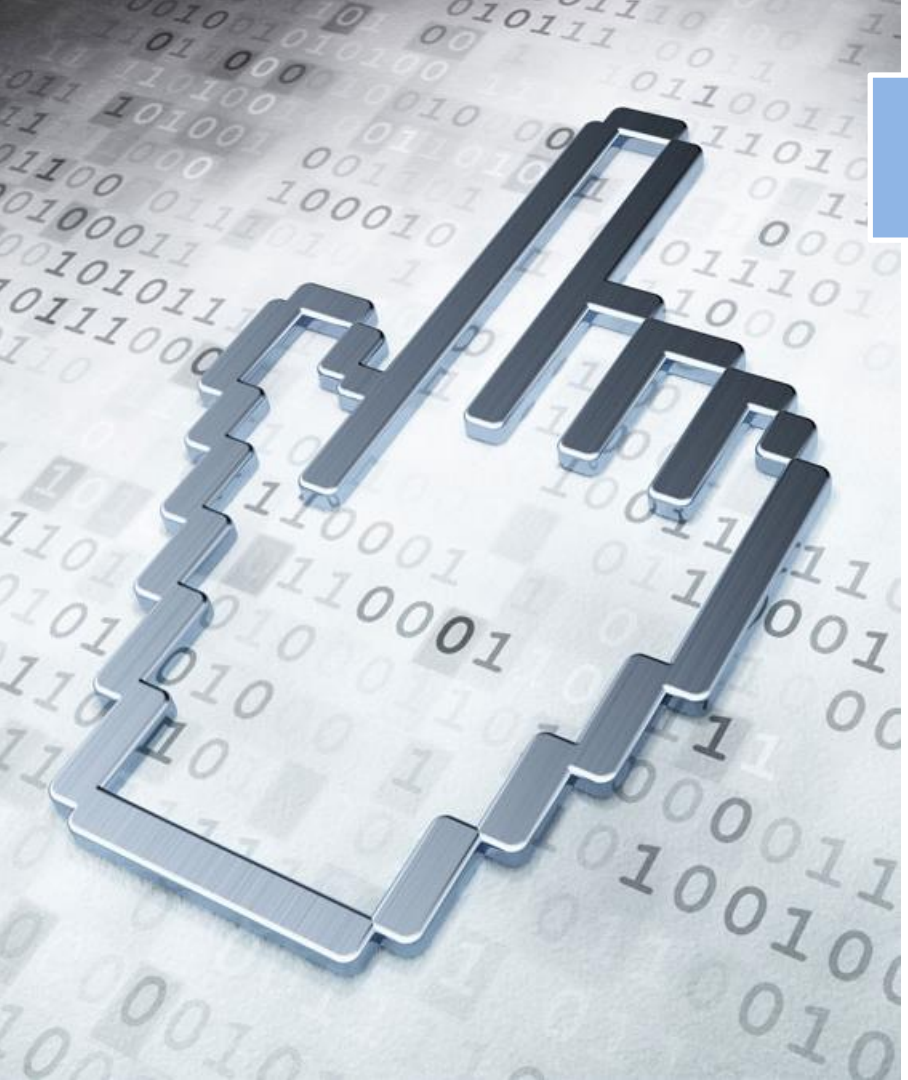
```
BEGIN
   A:=2;
   A:=0;
   A:=A+1;
   A:=A+A;
   write(A);
END
```

```
BEGIN
   A:=2;
   TA:=0;
   A:=A+1;
   TA:=TA+A;
   write(A);
END
```

参数传递方式对比

```
…
procedure P(w,x,y,z);
begin
    y:=y*w;
    z:=z+x;
end
begin
    a:=5;
    b:=3;
    P(a+b,a-b,a,a);
    write(a);
end
```

- 传值：5
- 传地址：42
- 传值结果：7
- 传名：77



提纲

7.6 符号表

- 符号表是用于存放标识符的属性信息的数据结构
  - 种属 (Kind)
  - 类型 (Type)
  - 存储位置、长度
  - 作用域
  - 参数和返回值信息
- 符号表的作用
  - 辅助代码生成
  - 一致性检查

NAME	TYPE	KIND	VAL	ADDR
SIMPLE	整	简变		
SYMBLE	实	数组		
TABLE	字符	常数		
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

符号表上的主要操作

- 声明语句的翻译（定义性出现）
  - 填、查
- 可执行语句的翻译（使用性出现）
  - 查

单个过程符号表的组织

- 方法一：一张大表
  - 问题：不同种属的名字所需存放的属性信息在数量上的差异会造成符号表空间的浪费
    - 数组名：数组的维数、各维的长度
    - 过程名：参数个数、参数类型、返回值类型

NAME	TYPE	KIND	VAL	ADDR
SIMPLE	整	简变		
SYMBLE	实	数组		
TABLE	字符	常数		
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

单个过程符号表的组织

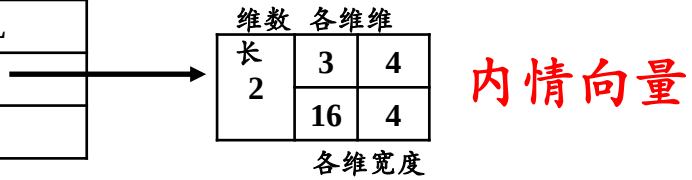
- 方法一：一张大表
  - 问题：不同种属的名字所需存放的属性信息在数量上的差异会造成符号表空间的浪费
- 方法二：多张子表（按种属分）
  - 变量表、数组表、过程表、…
  - 问题：为避免重名问题，插入或查找某个符号时需要查看所有的符号表，从而造成时间上的浪费
- 解决办法
  - 基本属性（直接存放在符号表中）+扩展属性（动态申请内存）

例

基本属性（直接存放在符号表中）+扩展属性（动态申请内存）

```
int abc;
int i;
int myarray[3][4];
```

名字	基本属性				扩展属性
	种属	类型	地址	扩展属性指针	
abc	变量	int	0	NULL	
i	变量	int	4	NULL	
myarray	数组	int	8		
…	…				



内情向量

多个过程符号表的组织

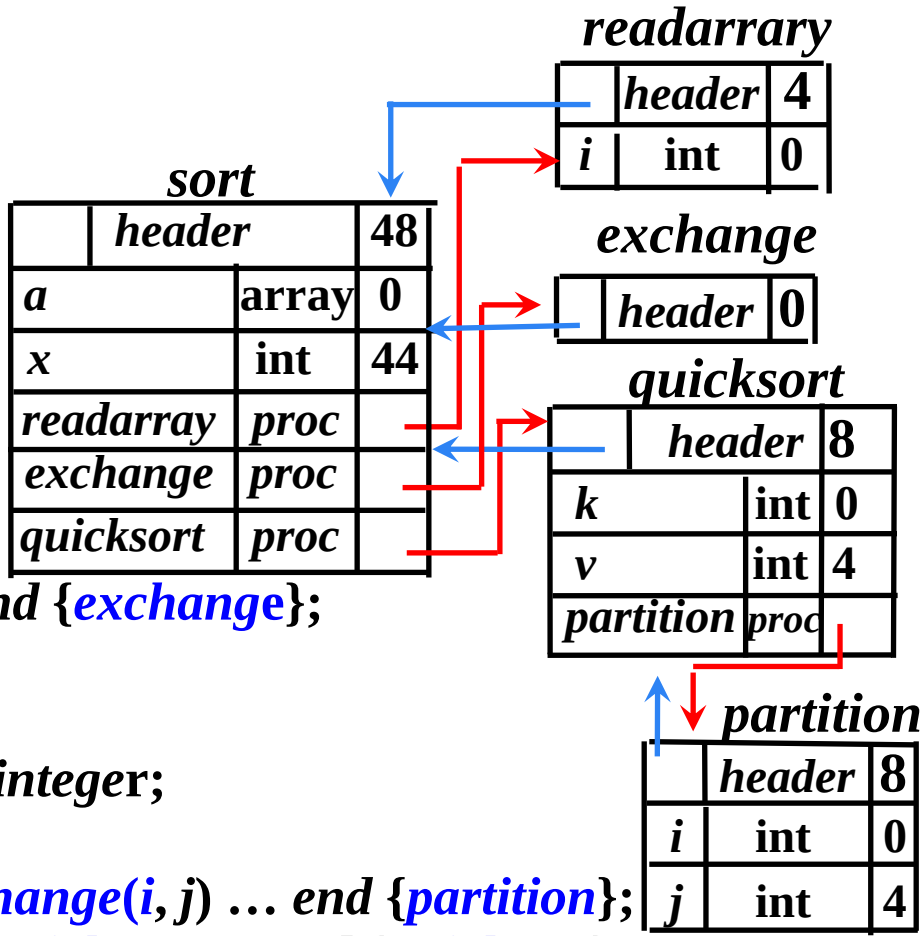
- 需要考虑的问题

假设过程*p*要访问过程*q*中的数据对象*x*，
*x*的地址 = *q*的活动记录基地址 + *x*在*q*的活动记录中的偏移地址

  - 刻画过程之间的嵌套关系（作用域信息）
  - 重名问题
- 常用的组织方式
  - 每个过程建立一个符号表，同时需要建立起这些符号表之间的联系，用来刻画过程之间的嵌套关系

例

```
program sort ( input, output );
    var a: array[0..10] of integer;
          x: integer;
    procedure readarray;
          var i: integer;
          begin … a … end {readarray};
    procedure exchange(i, j:integer);
          begin x=a[i];a[i]=a[j];a[j]=x; end {exchange};
    procedure quicksort(m, n:integer);
          var k, v : integer;
          function partition(y, z:integer):integer;
                var i, j : integer;
                begin … a … v … exchange(i, j) … end {partition};
          begin … a … v … partition … quicksort … end {quicksort};
    begin … a … readarray … quicksort … end {sort};
```



符号表的建立

- 嵌套过程声明语句的文法

  $P \rightarrow D$

  $D \rightarrow D\ \ D \mid \text{proc id ; } D\ \ S \mid \text{id : } T\text{ ;}$

- 在允许嵌套过程声明的语言中，局部于每个过程的名字可以使用第6章介绍的方法分配相对地址；当看到嵌套的过程p时，应暂时挂起对外围过程q声明语句的处理

嵌套过程声明语句的SDT

$P \rightarrow M\ D$ { *addwidth(top(tblptr), top(offset));*
pop(tblptr);
pop(offset); }

$M \rightarrow \varepsilon$ { *t = mktable(nil);*
push(t, tblptr);
push(0, offset); }

$D \rightarrow D_1\ D_2$

$D_p \rightarrow$ proc id ; $N\ D_1\ S$ { *t = top(tblptr);*
addwidth(t, top(offset));
pop(tblptr);
pop(offset);
enterproc(top(tblptr), id.lexeme, t); }

$D_v \rightarrow$ id: T ; { *enter(top(tblptr), id.lexeme, T.type, top(offset));*
top(offset) = top(offset) + T.width; }

$N \rightarrow \varepsilon$ { *t = mktable(top(tblptr));*
push(t, tblptr); push(0, offset); }

mktable(previous)
创建一个新的符号表，并返回指向新表的指针。参数*previous*指向先前创建的符号表(外围过程的符号表)

addwidth(table, width)
将*table*指向的符号表中所有表项的宽度之和*width*记录在符号表的表头中

enterproc(table, name, newtable)
在*table*指向的符号表中为过程*name*建立一条记录，*newtable*指向过程*name*的符号表

enter(table, name, type, offset)
在*table*指向的符号表中为名字*name*建立一个新表项

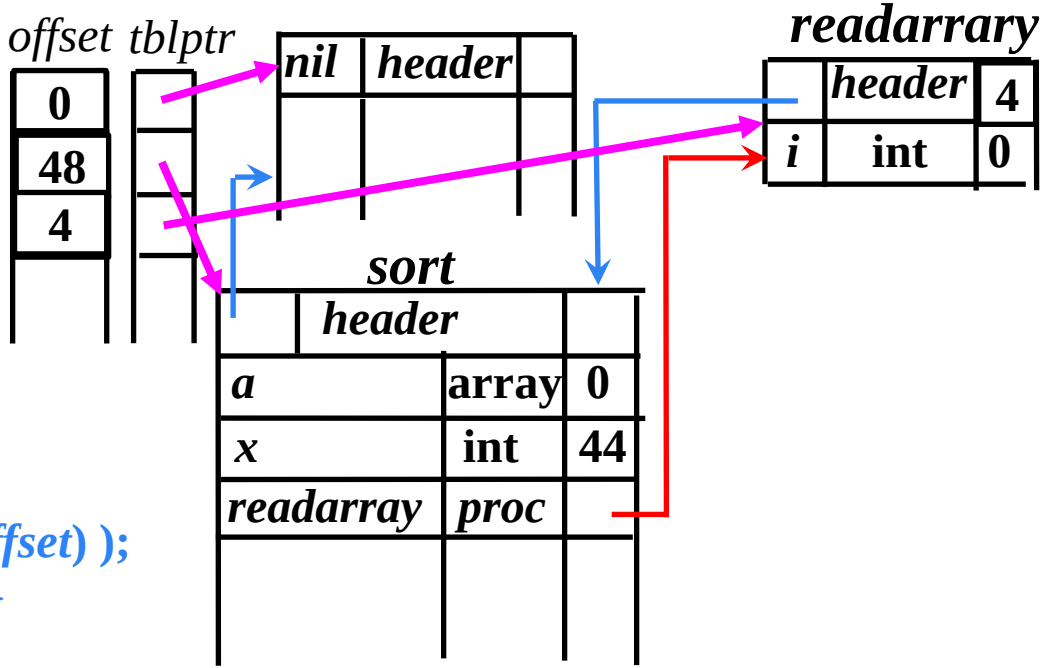
例

```
program sort;
    var a:int[11]; x:int;
    proc readarray;
       var i:int; {…}
    proc exchange; {…}
    proc quicksort;
       var k, v:int;
       func partition;
            var i, j:int; {…}
      {…}
    {…}
```

```
program sort ( input, output );
    var a: array[0..10] of integer;
          x: integer;
    procedure readarray;
            var i: integer;
            begin … a … end {readarray};
    procedure exchange(i, j:integer);
            begin x=a[i];a[i]=a[j];a[j]=x; end {exchange};
    procedure quicksort(m, n:integer);
            var k, v : integer;
            function partition(y, z:integer):integer;
                    var i, j : integer;
                    begin … a … v … exchange(i, j) … end {partition};
            begin … a … v … partition … quicksort … end {quicksort};
    begin … a … readarray … quicksort … end {sort};
```

例

```
program sort;
    var a:int[11]; x:int;
    proc readarray;
      var i:int; {…}
    proc exchange; {…}
    proc quicksort;
      var k, v:int;
      func partition;
          var i, j:int; {…}
      {…}
    {…}
```



$P \rightarrow M\ D$ { *addwidth(top(tblptr), top(offset)); pop(tblptr); pop(offset); }*

$M \rightarrow \varepsilon$ { *t = mktable(nil); push(t, tblptr); push(0, offset); }*

$D \rightarrow D_1\ D_2$

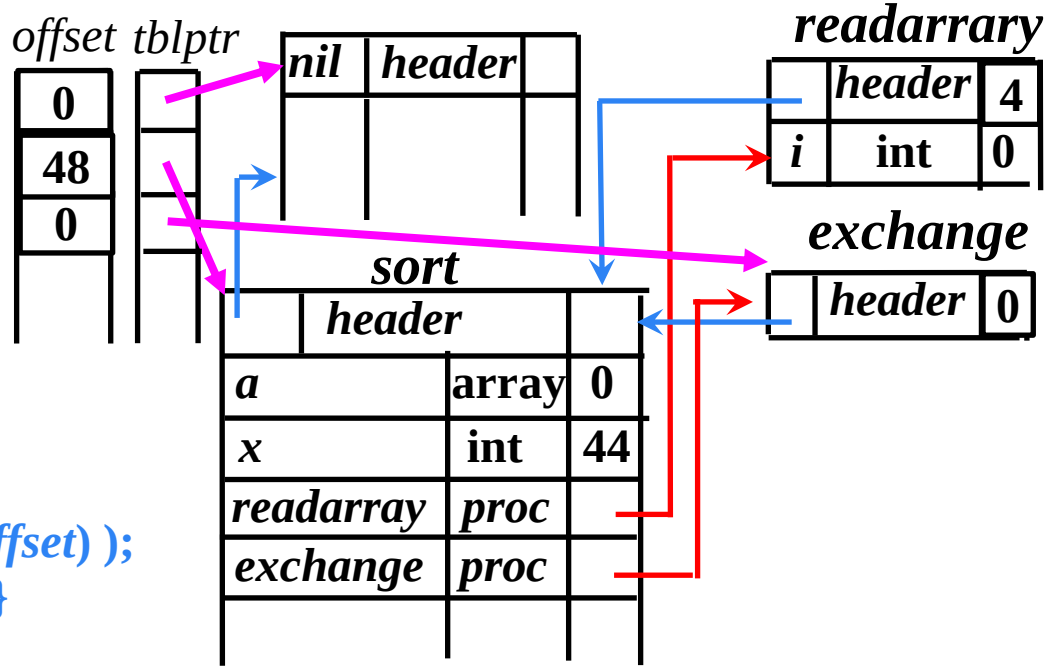
$D_p \rightarrow$ proc id ; $N\ D_1\ S$ { *t = top(tblptr); addwidth(t, top(offset)); pop(tblptr); pop(offset); enterproc(top(tblptr), id.lexeme, t); }*

$D_v \rightarrow$ id: T ; { *enter(top(tblptr), id.lexeme, T.type, top(offset)); top(offset) = top(offset) + T.width; }*

$N \rightarrow \varepsilon$ { *t = mktable(top(tblptr)); push(t, tblptr); push(0, offset); }*

例

```
program sort;
    var a:int[11]; x:int;
    proc readarray;
      var i:int; {…}
    proc exchange; {…}
    proc quicksort;
      var k, v:int;
      func partition;
          var i, j:int; {…}
      {…}
    {…}
```



$P \rightarrow M\ D$ { *addwidth(top(tblptr), top(offset)); pop(tblptr); pop(offset); }*

$M \rightarrow \varepsilon$ { *t = mktable(nil); push(t, tblptr); push(0, offset); }*

$D \rightarrow D_1\ D_2$

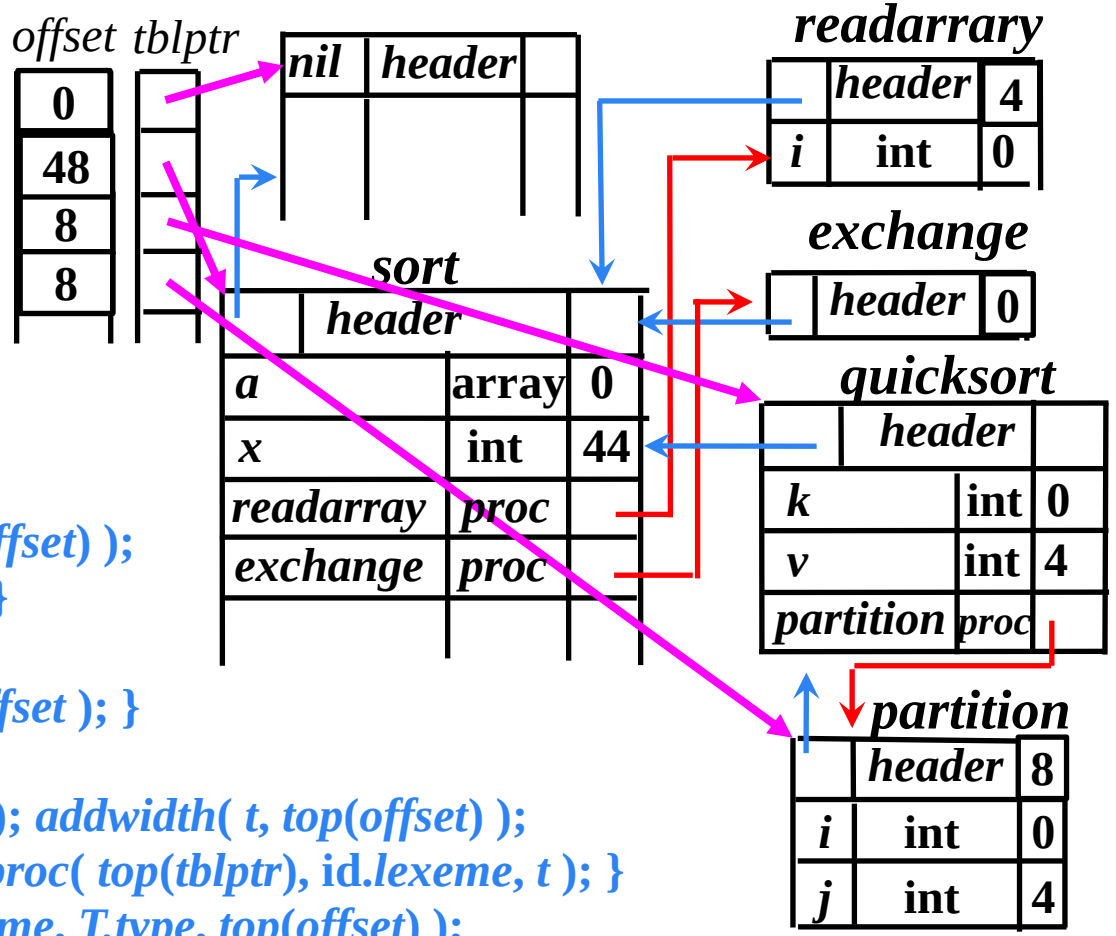
$D_p \rightarrow$ proc id ; $N\ D_1\ S$ { *t = top(tblptr); addwidth(t, top(offset)); pop(tblptr); pop(offset); enterproc(top(tblptr),* id.*lexeme, t); }*

$D_v \rightarrow$ id: T ; { *enter(top(tblptr),* id.*lexeme, T.type, top(offset)); top(offset) = top(offset) + T.width; }*

$N \rightarrow \varepsilon$ { *t = mktable(top(tblptr)); push(t, tblptr); push(0, offset); }*

例

```
program sort;
    var a:int[11]; x:int;
    proc readarray;
        var i:int; {…}
    proc exchange; {…}
    proc quicksort;
        var k, v:int;
        func partition;
            var i, j:int; {…}
        {…}
    {…}
```



$P \rightarrow M\ D$ { *addwidth(top(tblptr), top(offset)); pop(tblptr); pop(offset); }*

$M \rightarrow \varepsilon$ { *t = mktable(nil); push(t, tblptr); push(0, offset); }*

$D \rightarrow D_1\ D_2$

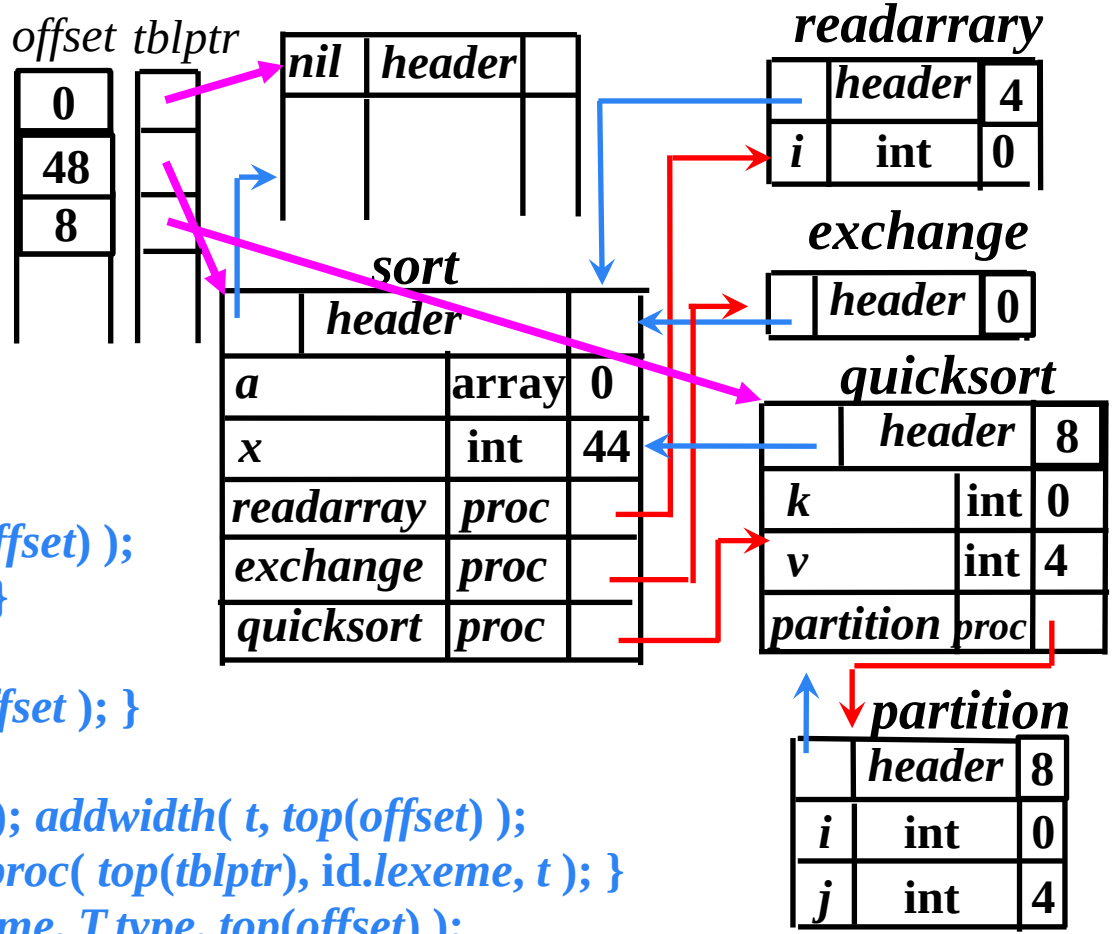
$D_p \rightarrow$ proc id ; $N\ D_1\ S$ { *t = top(tblptr); addwidth(t, top(offset)); pop(tblptr); pop(offset); enterproc(top(tblptr), id.lexeme, t); }*

$D_v \rightarrow$ id: T ; { *enter(top(tblptr), id.lexeme, T.type, top(offset)); top(offset) = top(offset) + T.width; }*

$N \rightarrow \varepsilon$ { *t = mktable(top(tblptr)); push(t, tblptr); push(0, offset); }*

例

```
program sort;
    var a:int[11]; x:int;
    proc readarray;
        var i:int; {…}
    proc exchange; {…}
    proc quicksort;
        var k, v:int;
        func partition;
            var i, j:int; {…}
        {…}
    {…}
```



$P \rightarrow M\ D$ { *addwidth(top(tblptr), top(offset));*
pop(tblptr); pop(offset); }

$M \rightarrow \varepsilon$ { *t = mktable(nil);*
push(t, tblptr); push(0, offset); }

$D \rightarrow D_1\ D_2$

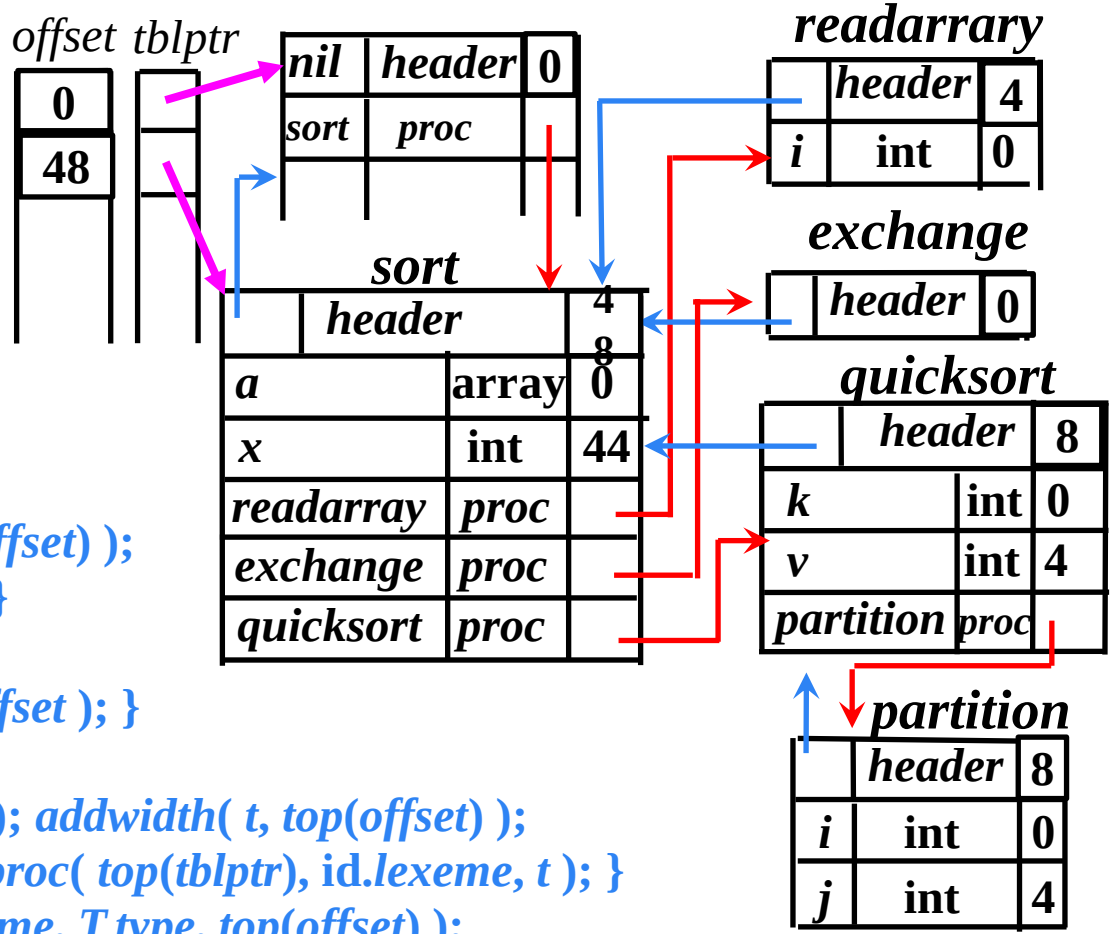
$D_p \rightarrow$ proc id ; $N\ D_1\ S$ { *t = top(tblptr); addwidth(t, top(offset));*
pop(tblptr); pop(offset); enterproc(top(tblptr), id.*lexeme, t); }*

$D_v \rightarrow$ id: T ; { *enter(top(tblptr),* id.*lexeme, T.type, top(offset));*
top(offset) = top(offset) + T.width; }

$N \rightarrow \varepsilon$ { *t = mktable(top(tblptr)); push(t, tblptr); push(0, offset); }*

例

```
program sort;
    var a:int[11]; x:int;
    proc readarray;
        var i:int; {…}
    proc exchange; {…}
    proc quicksort;
        var k, v:int;
        func partition;
            var i, j:int; {…}
        {…}
    {…}
```



$P \rightarrow M\ D$ { *addwidth(top(tblptr), top(offset));*
pop(tblptr); pop(offset); }

$M \rightarrow \varepsilon$ { *t = mktable(nil);*
push(t, tblptr); push(0, offset); }

$D \rightarrow D_1\ D_2$

$D_p \rightarrow$ proc id ; $N\ D_1\ S$ { *t = top(tblptr); addwidth(t, top(offset));*
pop(tblptr); pop(offset); enterproc(top(tblptr), id.*lexeme, t);* }

$D_v \rightarrow$ id: T ; { *enter(top(tblptr),* id.*lexeme, T.type, top(offset));*
top(offset) = top(offset) + T.width; }

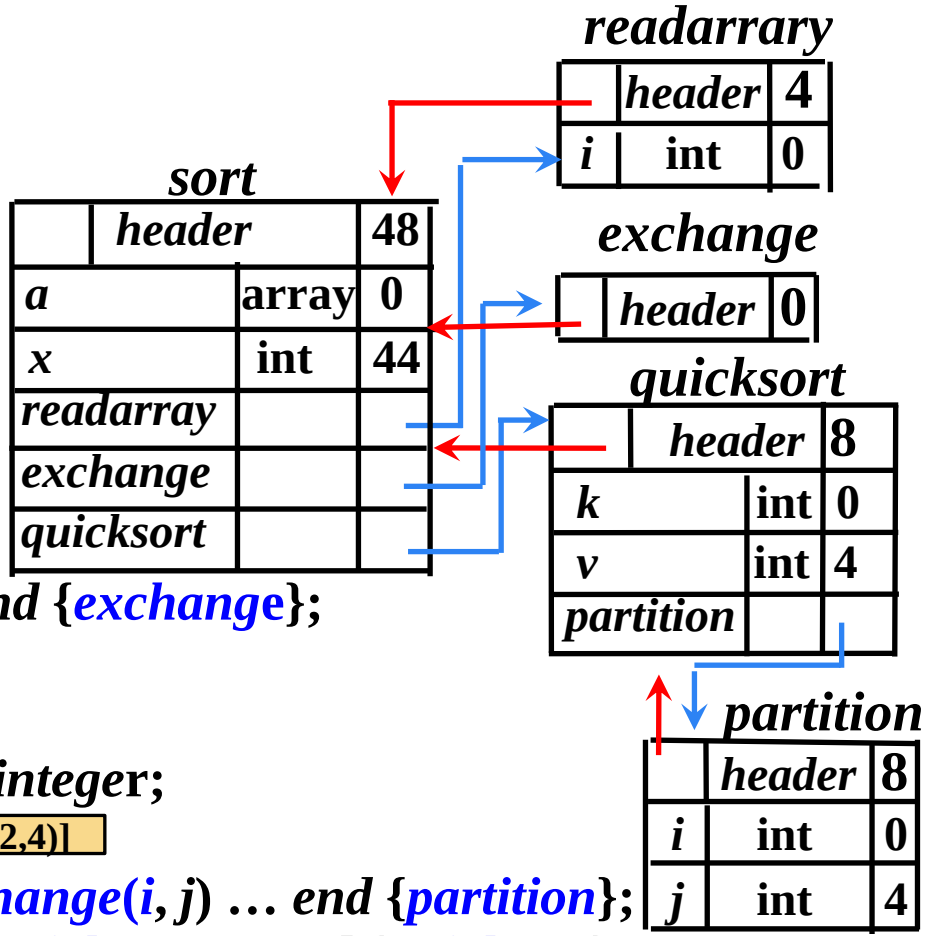
$N \rightarrow \varepsilon$ { *t = mktable(top(tblptr)); push(t, tblptr); push(0, offset);* }

例

```
program sort ( input, output );
    var a: array[0..10] of integer;
          x: integer;
    procedure readarray;
          var i: integer;
          begin … a … end {readarray};
    procedure exchange(i, j:integer);
          begin x=a[i];a[i]=a[j];a[j]=x; end {exchange};
    procedure quicksort(m, n:integer);
          var k, v : integer;
          function partition(y, z:integer):integer;
                var i, j : integer;
          begin … a … v … exchange(i, j) … end {partition};
          begin … a … v … partition … quicksort … end {quicksort};
    begin … a … readarray … quicksort … end {sort};
```

[v(2,4)]

[a(1,0)]



标识符的基本处理方法

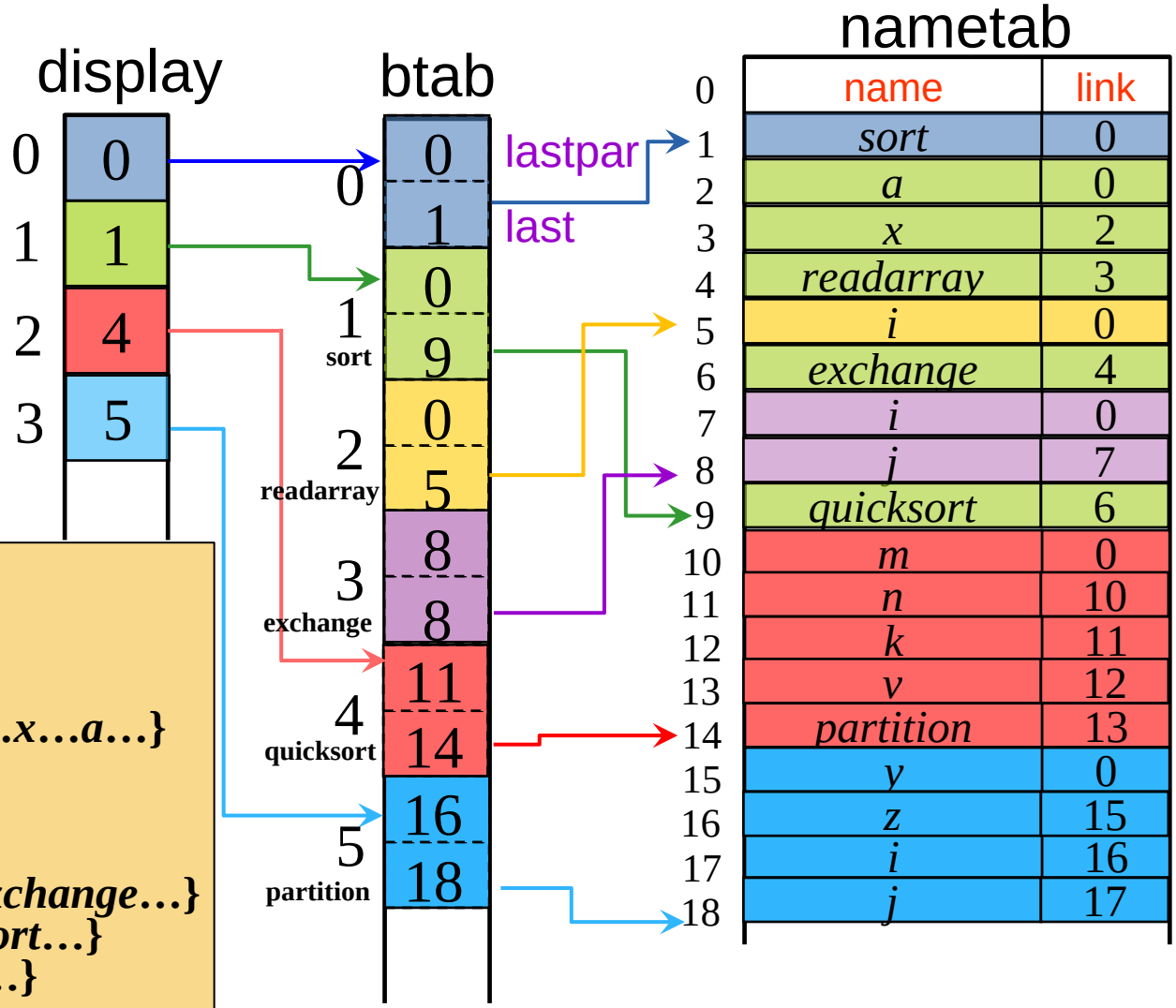
- 当在某一层的声明语句中识别出一个标识符(id的定义性出现)时，以此标识符查相应于本层的符号表
  - 如果查到，则报错并发出诊断信息“id重复声明”
  - 否则，在符号表中加入新登记项，将标识符及有关信息填入
- 当在可执行语句部分扫视到标识符时(id的应用性出现)
  - 首先在该层符号表中查找该id，如果找不到，则到直接外层符号表中去查，如此等等，一旦找到，则在表中取出有关信息并作相应处理 **将层号作为中间代码中地址的一部分**
  - 如果查遍所有外层符号表均未找到该id，则报错并发出诊断信息“id未声明”

符号表的另一种组织方式

- 将所有块的符号表放在一个大数组中，然后再引入一个块表来描述各块的符号表在大数组中的位置及其相互关系
  - 一个过程可以看作是一个块

例

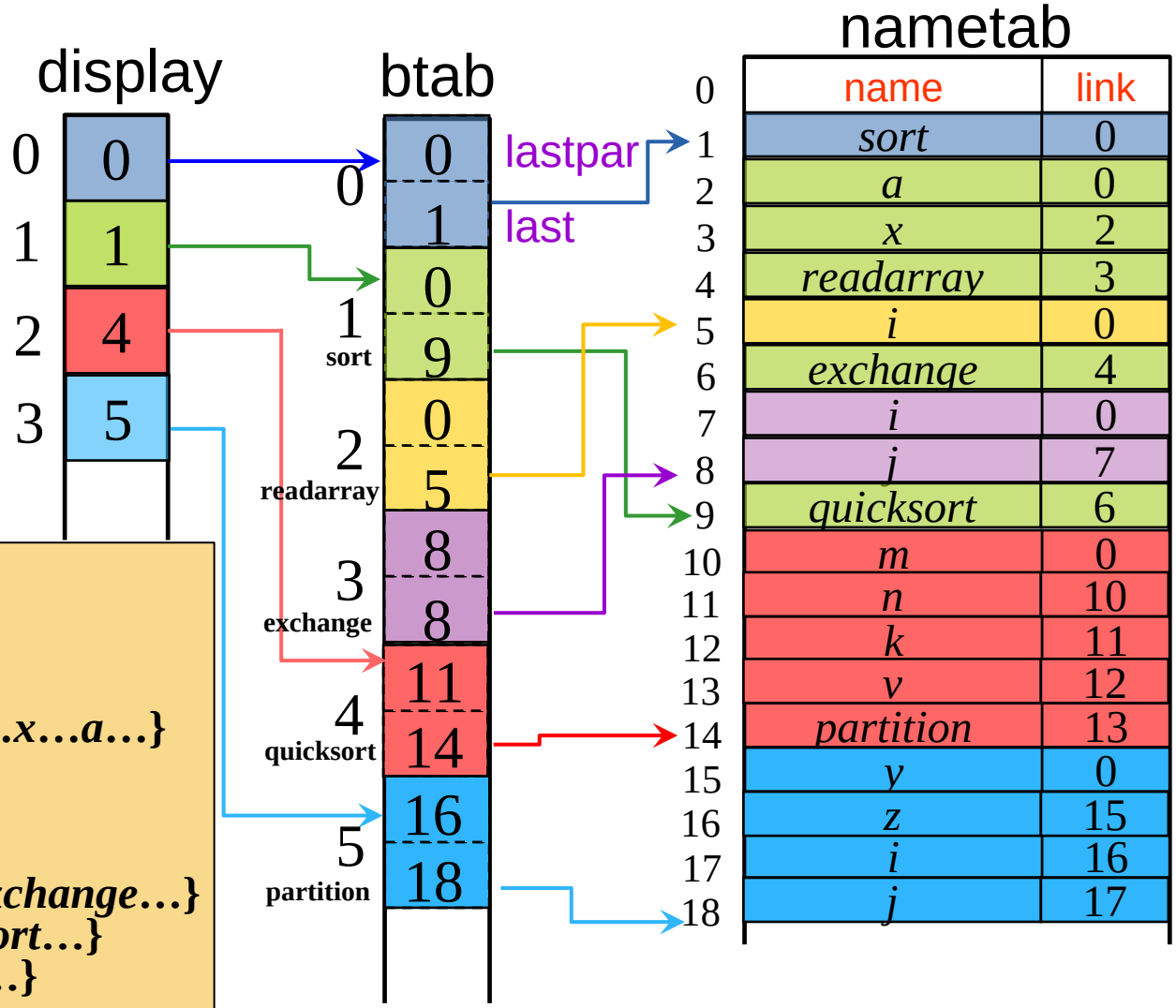
- display表：记录下各块所在的层号，沿着该表可以找到当前正在分析的块的各个外层




```
program sort;
  var a:int[11]; x:int;
  proc readarray;
    var i:int; {…a…}
  proc exchange(i,j:integer); {…x…a…}
  proc quicksort(m, n:integer);
    var k, v:int;
    func partition(y, z:integer);
        var i, j:int; {…a…v…exchange…}
    {…a…v…partition…quicksort…}
  {…a…readarray…quicksort…}
```

例

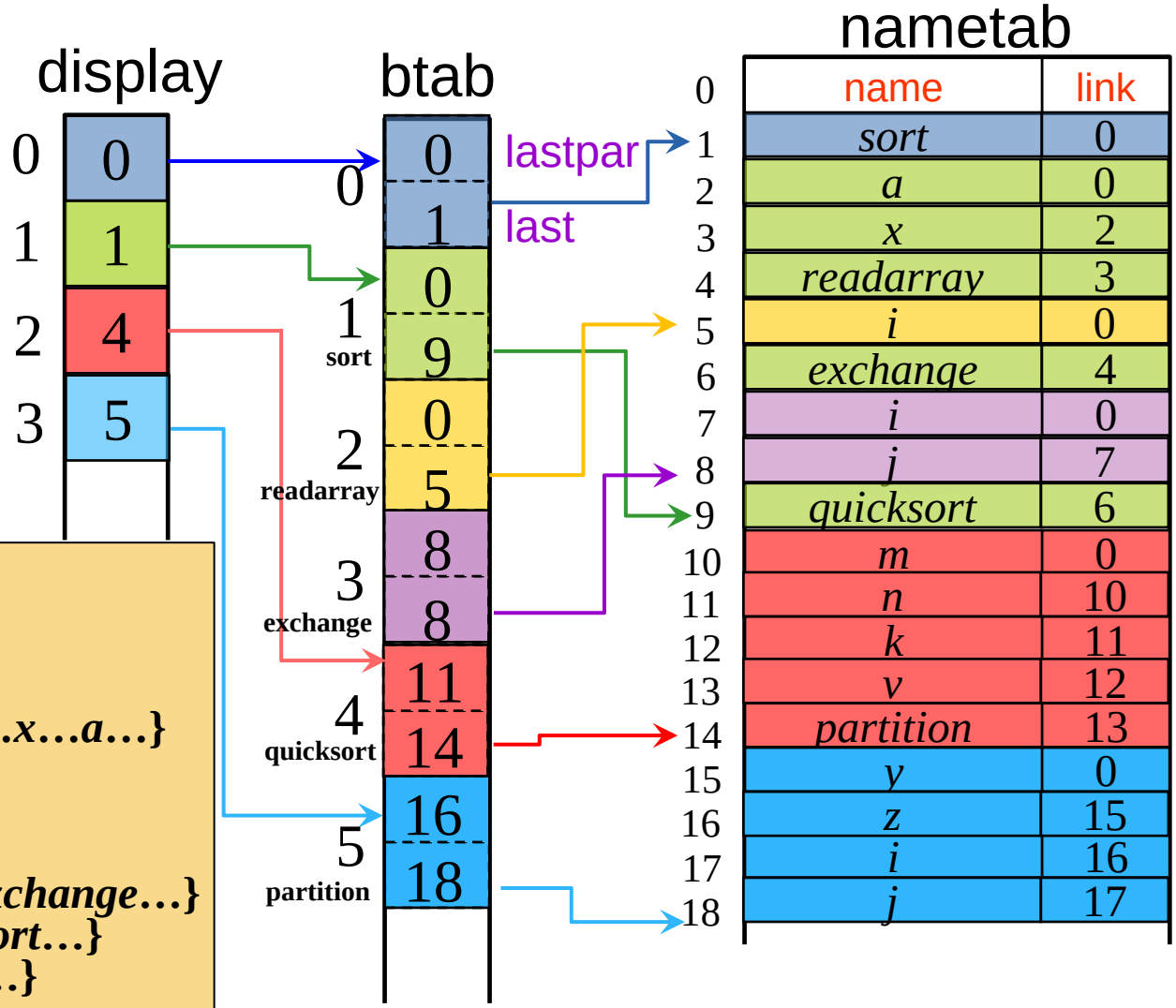
- lastpar指向本过程体中最后一个形参在nametab中的位置
- last指向本过程体中最后一个名字在nametab中的位置




```
program sort;
    var a:int[11]; x:int;
    proc readarray;
       var i:int; {…a…}
    proc exchange(i,j:integer); {…x…a…}
    proc quicksort(m, n:integer);
       var k, v:int;
       func partition(y, z:integer);
             var i, j:int; {…a…v…exchange…}
      {…a…v…partition…quicksort…}
   {…a…readarray…quicksort…}
```

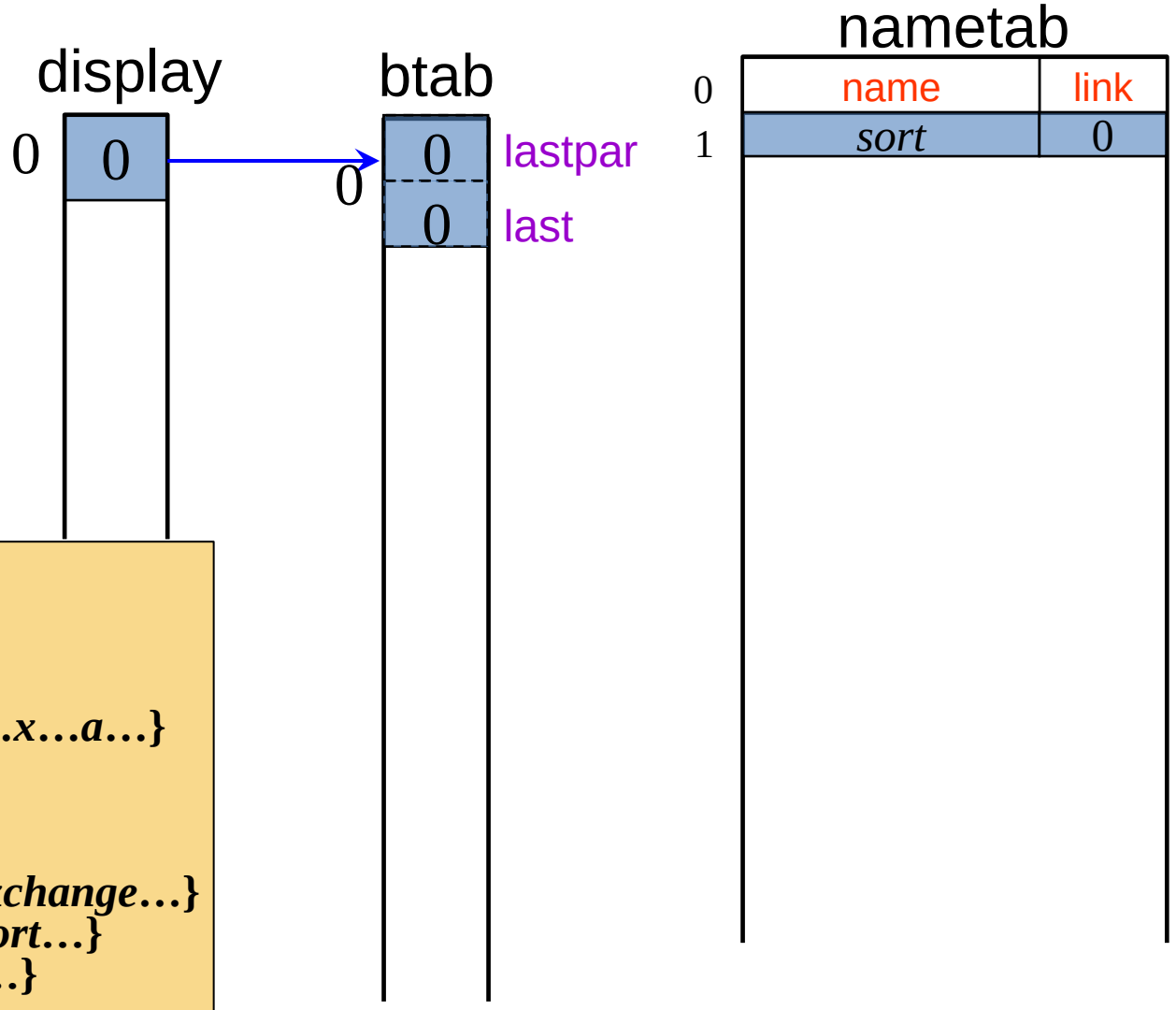
例

- link指向同一过程体中定义的上一个名字在nametab中的位置，每个过程体在nametab中登记的第一个名字的link为0



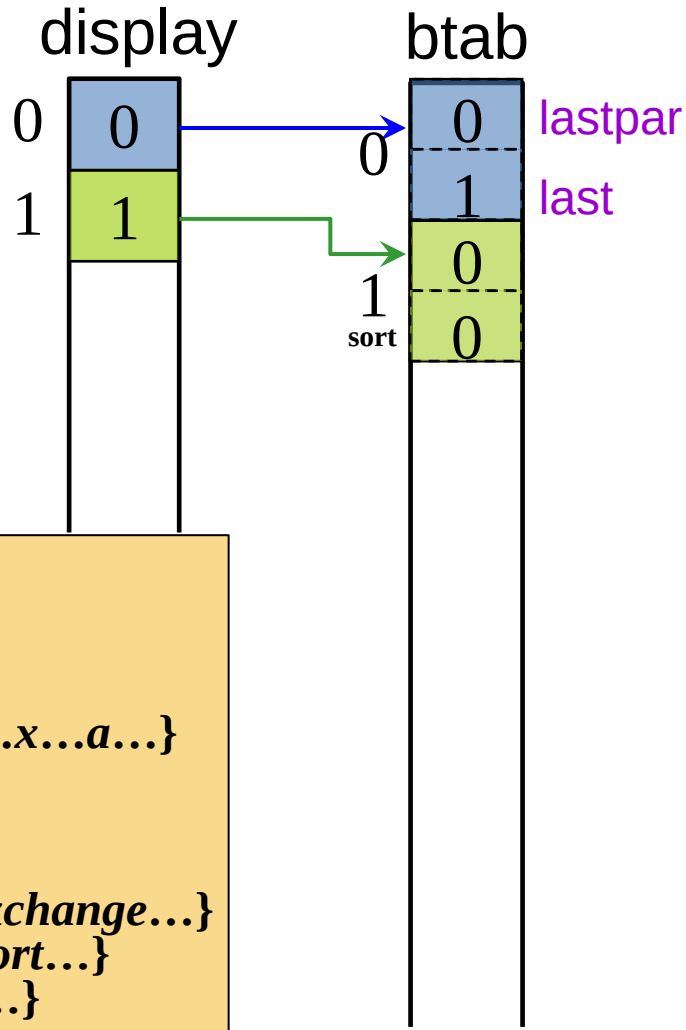

```
program sort;
    var a:int[11]; x:int;
    proc readarray;
       var i:int; {…a…}
    proc exchange(i,j:integer); {…x…a…}
    proc quicksort(m, n:integer);
       var k, v:int;
       func partition(y, z:integer);
             var i, j:int; {…a…v…exchange…}
      {…a…v…partition…quicksort…}
   {…a…readarray…quicksort…}
```

例




```
program sort;
    var a:int[11]; x:int;
    proc readarray;
       var i:int; {…a…}
    proc exchange(i,j:integer); {…x…a…}
    proc quicksort(m, n:integer);
       var k, v:int;
       func partition(y, z:integer);
            var i, j:int; {…a…v…exchange…}
      {…a…v…partition…quicksort…}
    {…a…readarray…quicksort…}
```

例

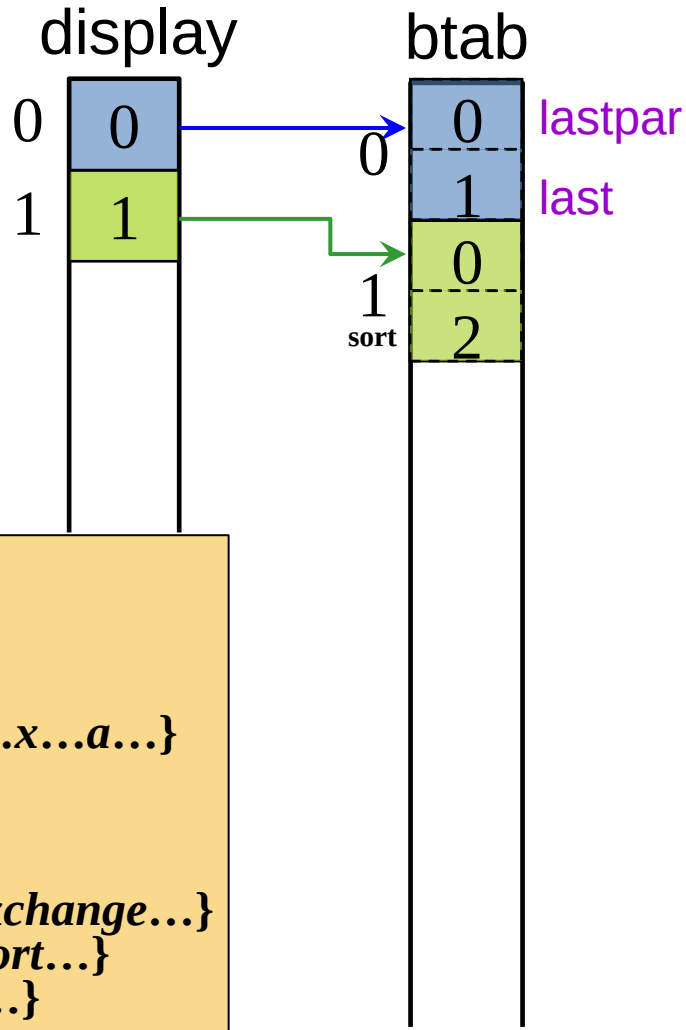


nametab

	name	link
0		
1	*sort*	0
2	*a*	0

```
program sort;
    var a:int[11]; x:int;
    proc readarray;
       var i:int; {…a…}
    proc exchange(i,j:integer); {…x…a…}
    proc quicksort(m, n:integer);
       var k, v:int;
       func partition(y, z:integer);
            var i, j:int; {…a…v…exchange…}
      {…a…v…partition…quicksort…}
   {…a…readarray…quicksort…}
```

例

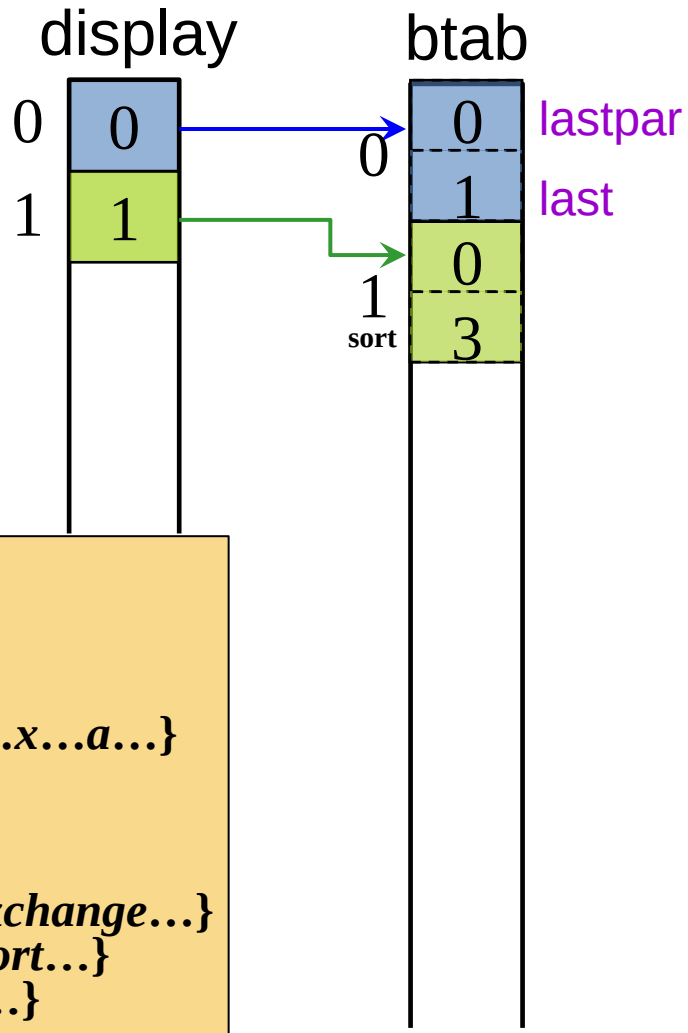


nametab

	name	link
0		
1	*sort*	0
2	*a*	0
3	*x*	2

```
program sort;
    var a:int[11]; x:int;
    proc readarray;
       var i:int; {…a…}
    proc exchange(i,j:integer); {…x…a…}
    proc quicksort(m, n:integer);
       var k, v:int;
       func partition(y, z:integer);
            var i, j:int; {…a…v…exchange…}
      {…a…v…partition…quicksort…}
   {…a…readarray…quicksort…}
```

例

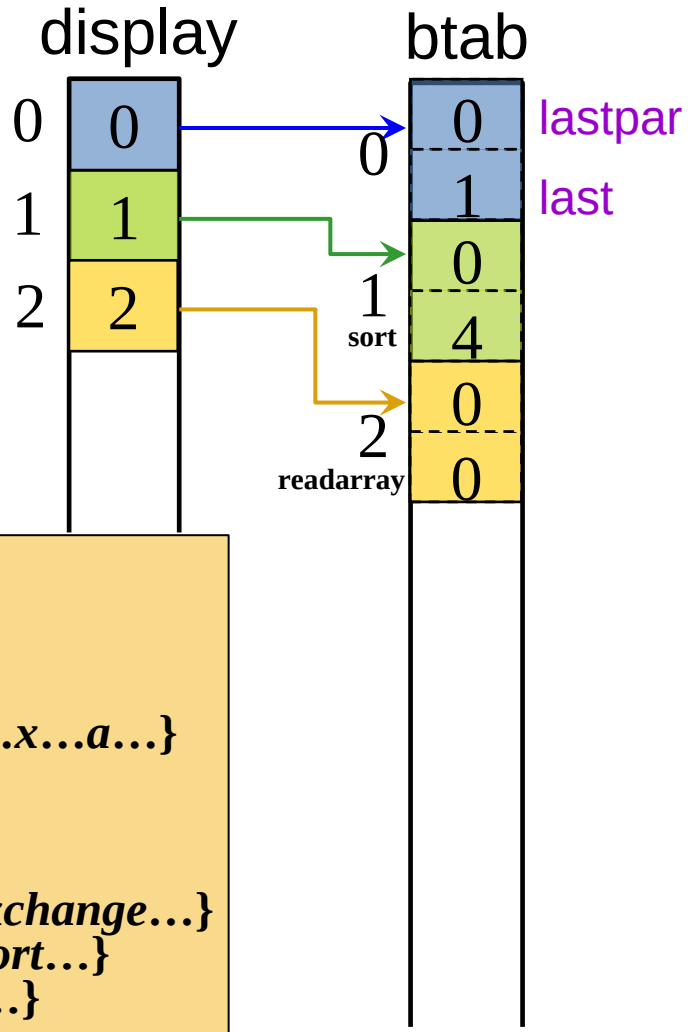


nametab

	name	link
1	*sort*	0
2	*a*	0
3	*x*	2
4	*readarray*	3

```
program sort;
    var a:int[11]; x:int;
    proc readarray;
       var i:int; {…a…}
    proc exchange(i,j:integer); {…x…a…}
    proc quicksort(m, n:integer);
       var k, v:int;
       func partition(y, z:integer);
            var i, j:int; {…a…v…exchange…}
      {…a…v…partition…quicksort…}
   {…a…readarray…quicksort…}
```

例

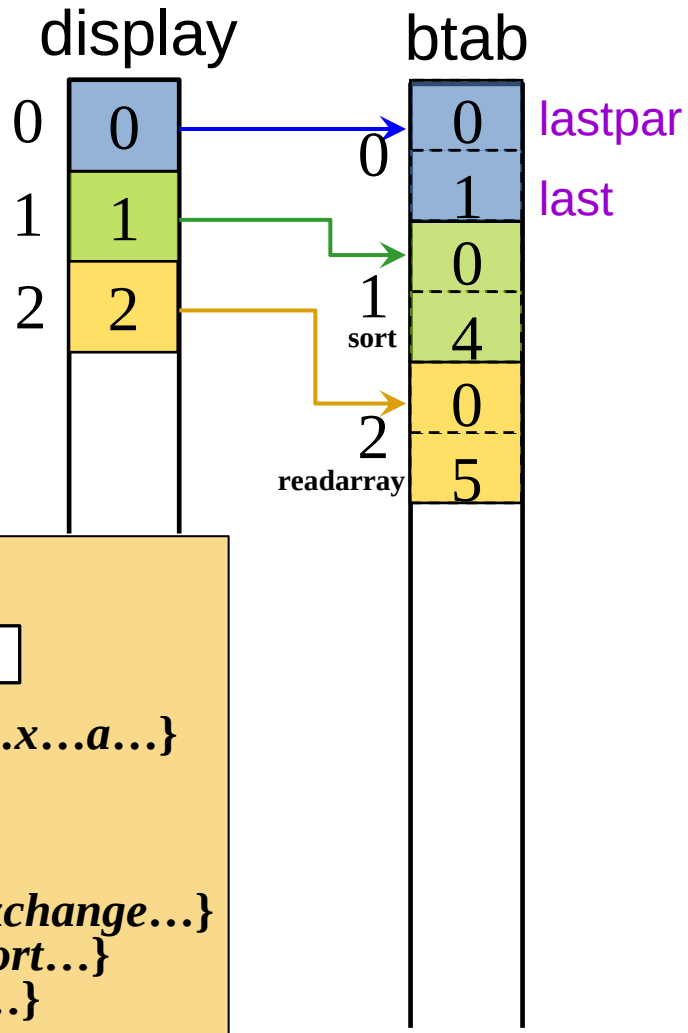


nametab

	name	link
1	*sort*	0
2	*a*	0
3	*x*	2
4	*readarray*	3
5	*i*	0

```
program sort;
    var a:int[11]; x:int;
    proc readarray;
       var i:int; {…a…}
    proc exchange(i,j:integer); {…x…a…}
    proc quicksort(m, n:integer);
       var k, v:int;
       func partition(y, z:integer);
            var i, j:int; {…a…v…exchange…}
      {…a…v…partition…quicksort…}
   {…a…readarray…quicksort…}
```

例



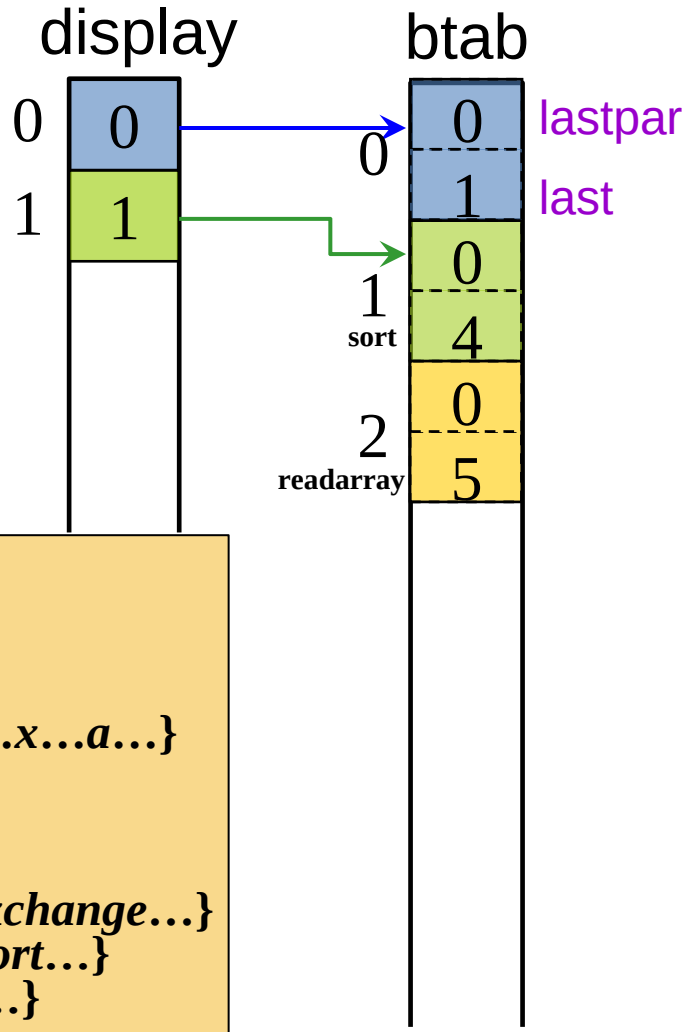
nametab

	name	link
1	*sort*	0
2	*a*	0
3	*x*	2
4	*readarray*	3
5	*i*	0

```
program sort;
    var a:int[11]; x:int;
    proc readarray;
       var i:int; {…a…}
    proc exchange(i,j:integer); {…x…a…}
    proc quicksort(m, n:integer);
       var k, v:int;
       func partition(y, z:integer);
            var i, j:int; {…a…v…exchange…}
      {…a…v…partition…quicksort…}
   {…a…readarray…quicksort…}
```

[a(1,0)]

例

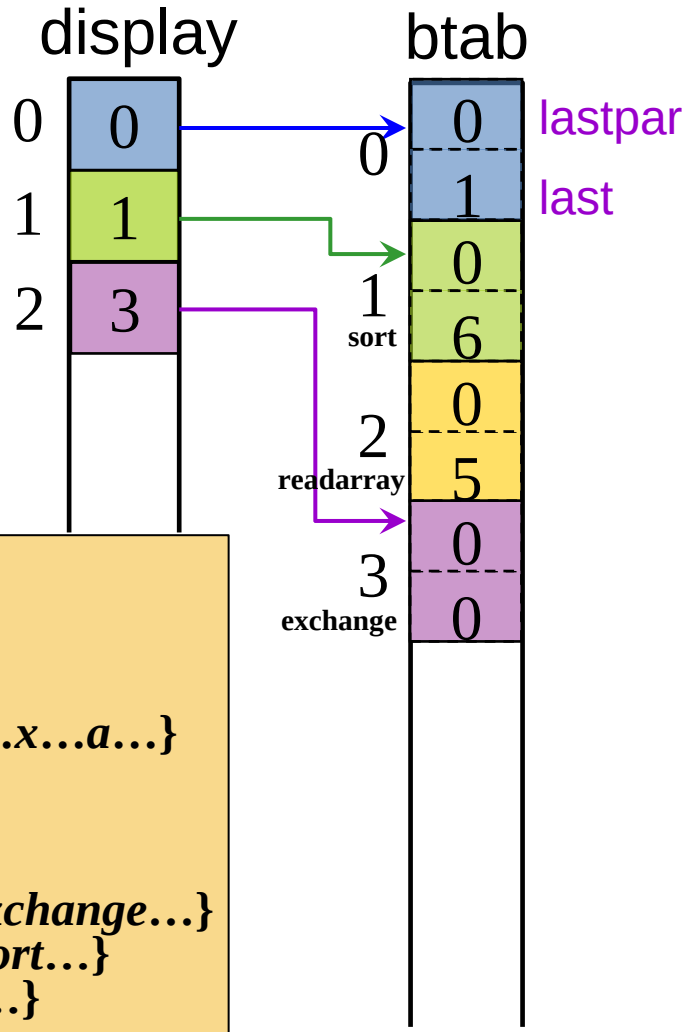


nametab

	name	link
1	*sort*	0
2	*a*	0
3	*x*	2
4	*readarray*	3
5	*i*	0
6	*exchange*	4

```
program sort;
    var a:int[11]; x:int;
    proc readarray;
       var i:int; {…a…}
    proc exchange(i,j:integer); {…x…a…}
    proc quicksort(m, n:integer);
       var k, v:int;
       func partition(y, z:integer);
            var i, j:int; {…a…v…exchange…}
      {…a…v…partition…quicksort…}
   {…a…readarray…quicksort…}
```

例

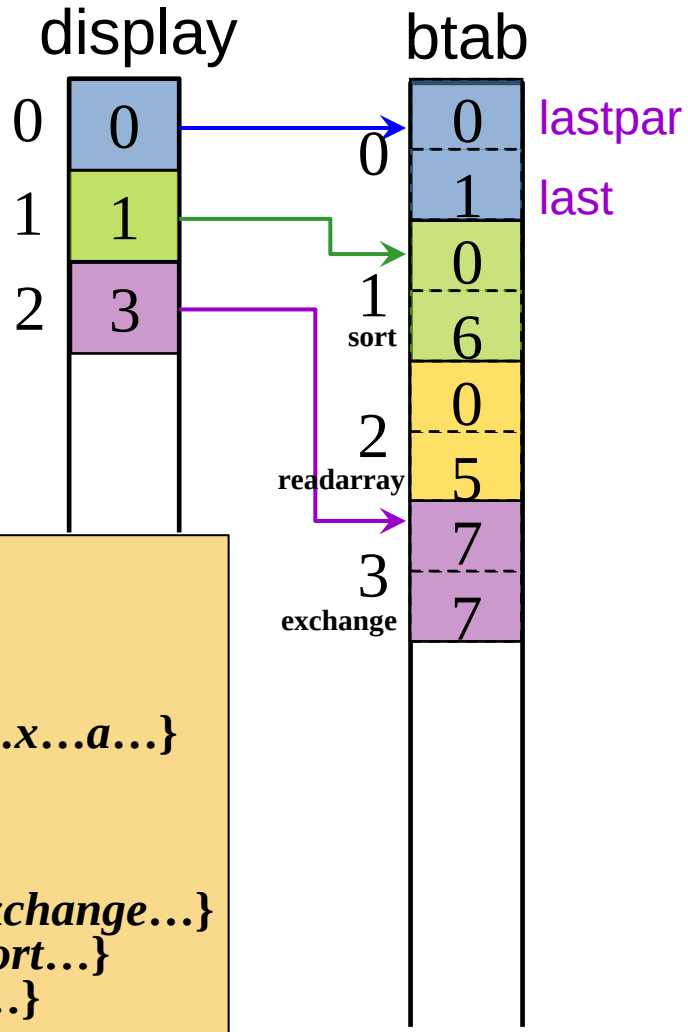


nametab

	name	link
1	*sort*	0
2	*a*	0
3	*x*	2
4	*readarray*	3
5	*i*	0
6	*exchange*	4
7	*i*	0

```
program sort;
    var a:int[11]; x:int;
    proc readarray;
       var i:int; {…a…}
    proc exchange(i,j:integer); {…x…a…}
    proc quicksort(m, n:integer);
       var k, v:int;
       func partition(y, z:integer);
            var i, j:int; {…a…v…exchange…}
      {…a…v…partition…quicksort…}
   {…a…readarray…quicksort…}
```

例

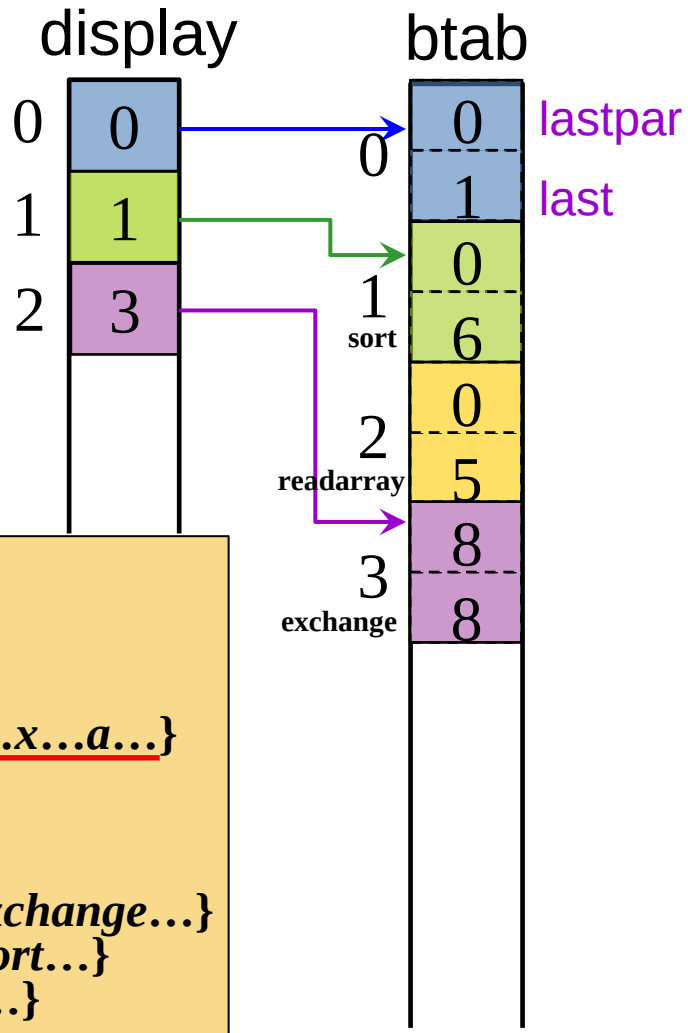


nametab

	name	link
1	*sort*	0
2	*a*	0
3	*x*	2
4	*readarray*	3
5	*i*	0
6	*exchange*	4
7	*i*	0
8	*j*	7

```
program sort;
    var a:int[11]; x:int;
    proc readarray;
       var i:int; {…a…}
    proc exchange(i,j:integer); {…x…a…}
    proc quicksort(m, n:integer);
       var k, v:int;
       func partition(y, z:integer);
            var i, j:int; {…a…v…exchange…}
      {…a…v…partition…quicksort…}
   {…a…readarray…quicksort…}
```

例

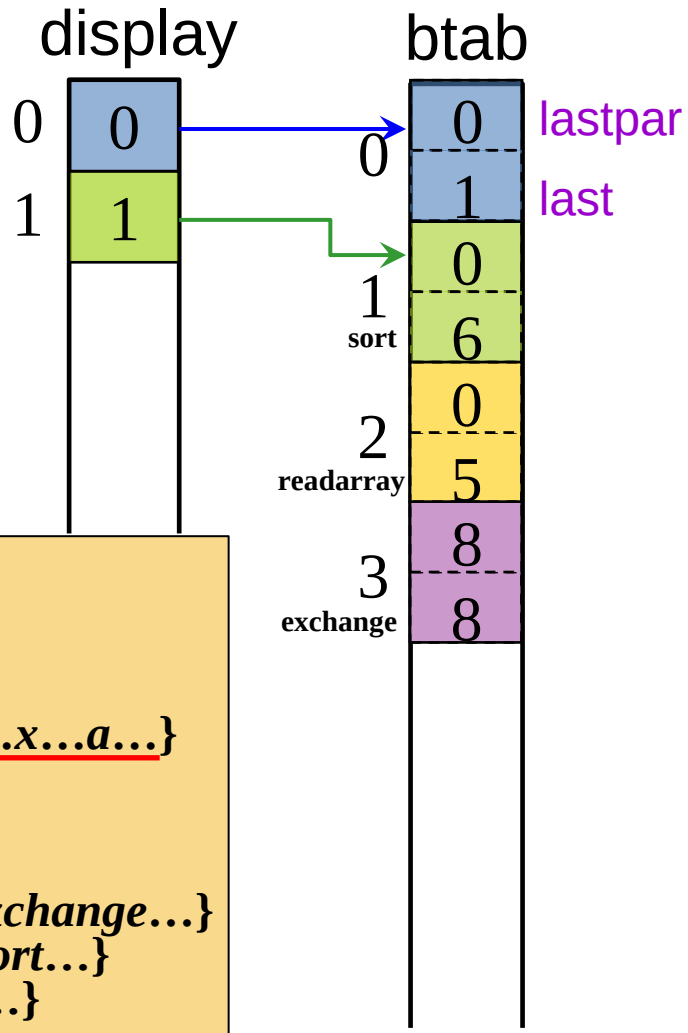


nametab

	name	link
1	*sort*	0
2	*a*	0
3	*x*	2
4	*readarray*	3
5	*i*	0
6	*exchange*	4
7	*i*	0
8	*j*	7

```
program sort;
    var a:int[11]; x:int;
    proc readarray;
       var i:int; {…a…}
    proc exchange(i,j:integer); {…x…a…}
    proc quicksort(m, n:integer);
       var k, v:int;
       func partition(y, z:integer);
             var i, j:int; {…a…v…exchange…}
      {…a…v…partition…quicksort…}
   {…a…readarray…quicksort…}
```

例

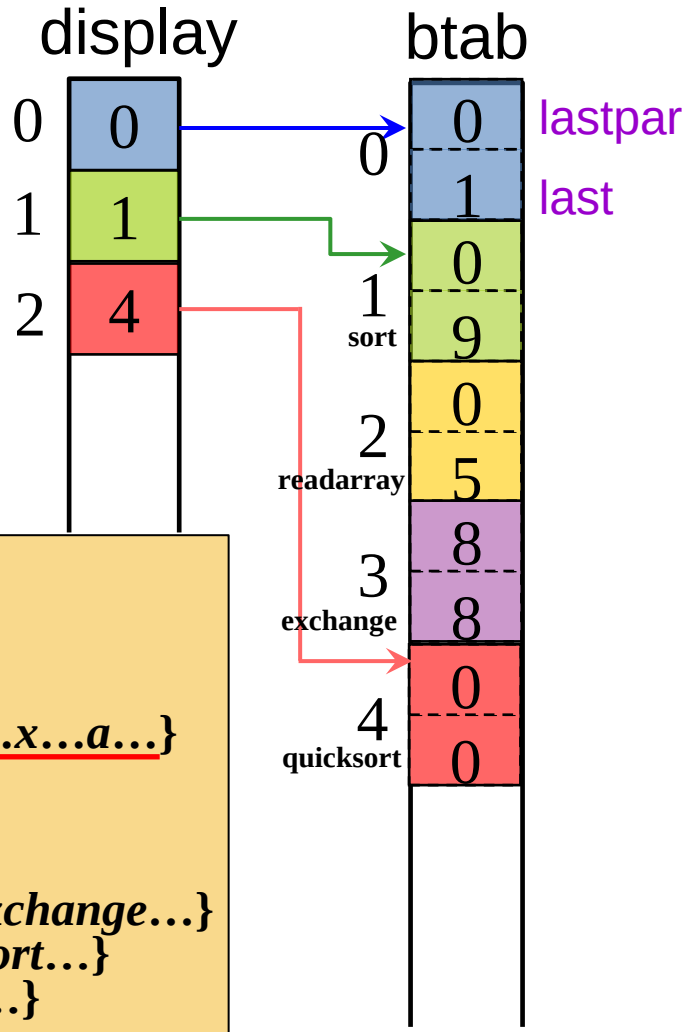


nametab

	name	link
1	*sort*	0
2	*a*	0
3	*x*	2
4	*readarray*	3
5	*i*	0
6	*exchange*	4
7	*i*	0
8	*j*	7
9	*quicksort*	6

```
program sort;
    var a:int[11]; x:int;
    proc readarray;
       var i:int; {…a…}
    proc exchange(i,j:integer); {…x…a…}
    proc quicksort(m, n:integer);
       var k, v:int;
       func partition(y, z:integer);
            var i, j:int; {…a…v…exchange…}
      {…a…v…partition…quicksort…}
   {…a…readarray…quicksort…}
```

例

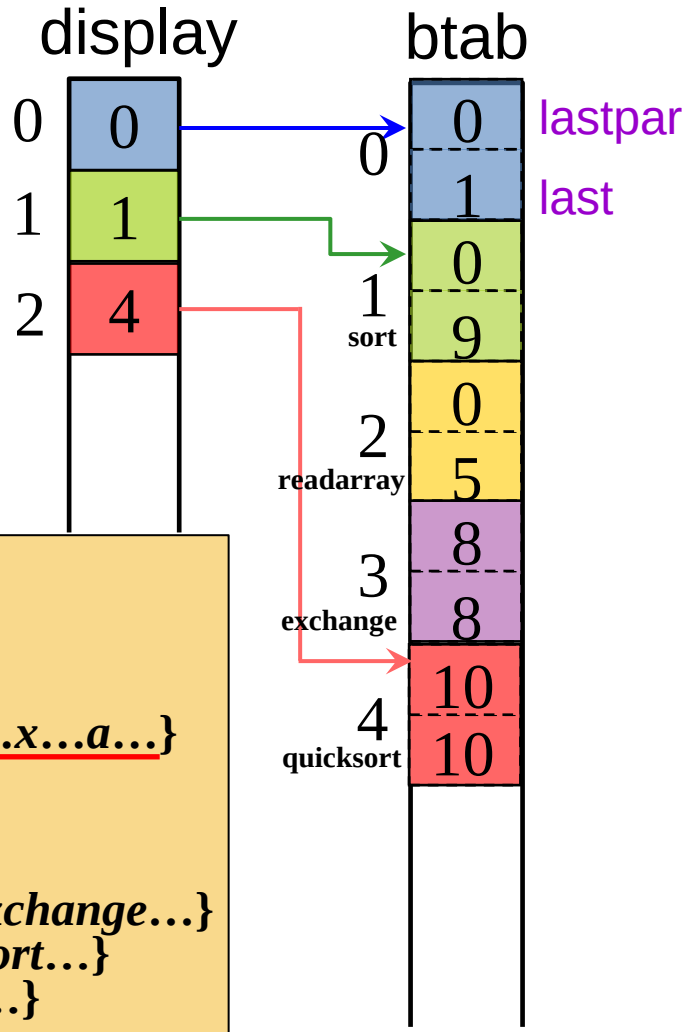


nametab

	name	link
1	*sort*	0
2	*a*	0
3	*x*	2
4	*readarray*	3
5	*i*	0
6	*exchange*	4
7	*i*	0
8	*j*	7
9	*quicksort*	6
10	*m*	0

```
program sort;
    var a:int[11]; x:int;
    proc readarray;
       var i:int; {…a…}
    proc exchange(i,j:integer); {…x…a…}
    proc quicksort(m, n:integer);
       var k, v:int;
       func partition(y, z:integer);
            var i, j:int; {…a…v…exchange…}
      {…a…v…partition…quicksort…}
   {…a…readarray…quicksort…}
```

例

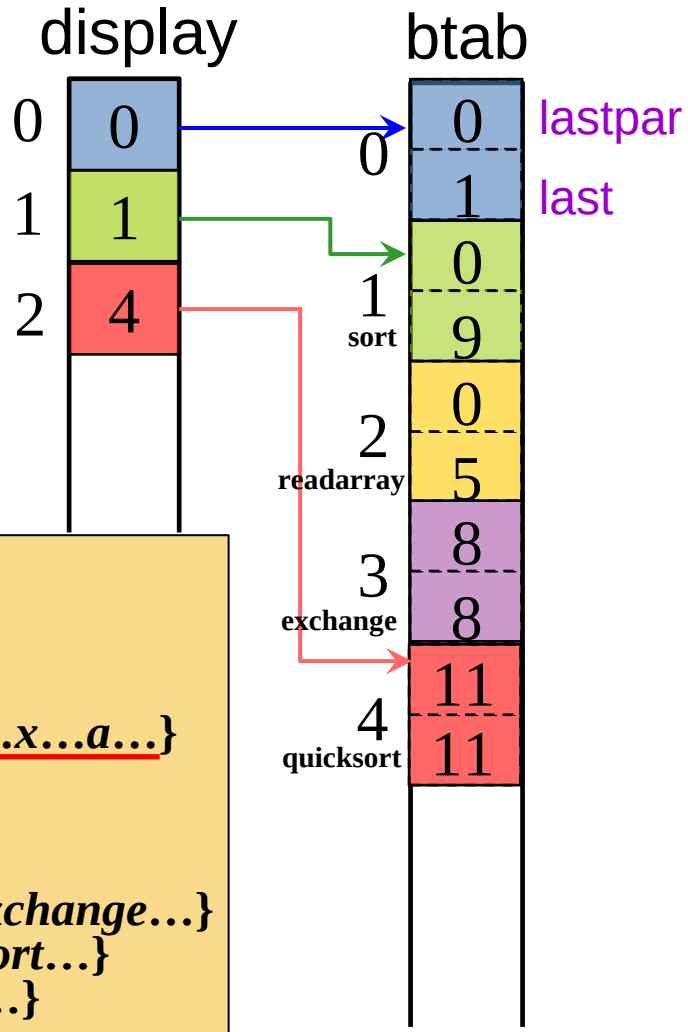


nametab

	name	link
1	*sort*	0
2	*a*	0
3	*x*	2
4	*readarray*	3
5	*i*	0
6	*exchange*	4
7	*i*	0
8	*j*	7
9	*quicksort*	6
10	*m*	0
11	*n*	10

```
program sort;
    var a:int[11]; x:int;
    proc readarray;
       var i:int; {…a…}
    proc exchange(i,j:integer); {…x…a…}
    proc quicksort(m, n:integer);
       var k, v:int;
       func partition(y, z:integer);
            var i, j:int; {…a…v…exchange…}
      {…a…v…partition…quicksort…}
   {…a…readarray…quicksort…}
```

例

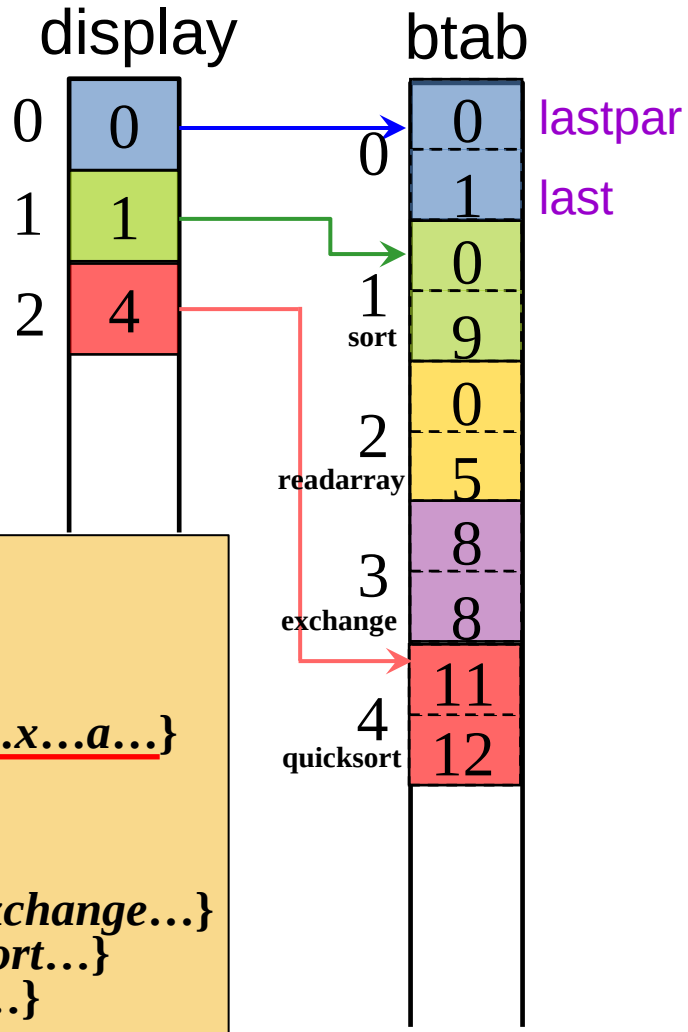


nametab

	name	link
1	*sort*	0
2	*a*	0
3	*x*	2
4	*readarray*	3
5	*i*	0
6	*exchange*	4
7	*i*	0
8	*j*	7
9	*quicksort*	6
10	*m*	0
11	*n*	10
12	*k*	11

```
program sort;
    var a:int[11]; x:int;
    proc readarray;
       var i:int; {…a…}
    proc exchange(i,j:integer); {…x…a…}
    proc quicksort(m, n:integer);
       var k, v:int;
       func partition(y, z:integer);
             var i, j:int; {…a…v…exchange…}
      {…a…v…partition…quicksort…}
   {…a…readarray…quicksort…}
```

例

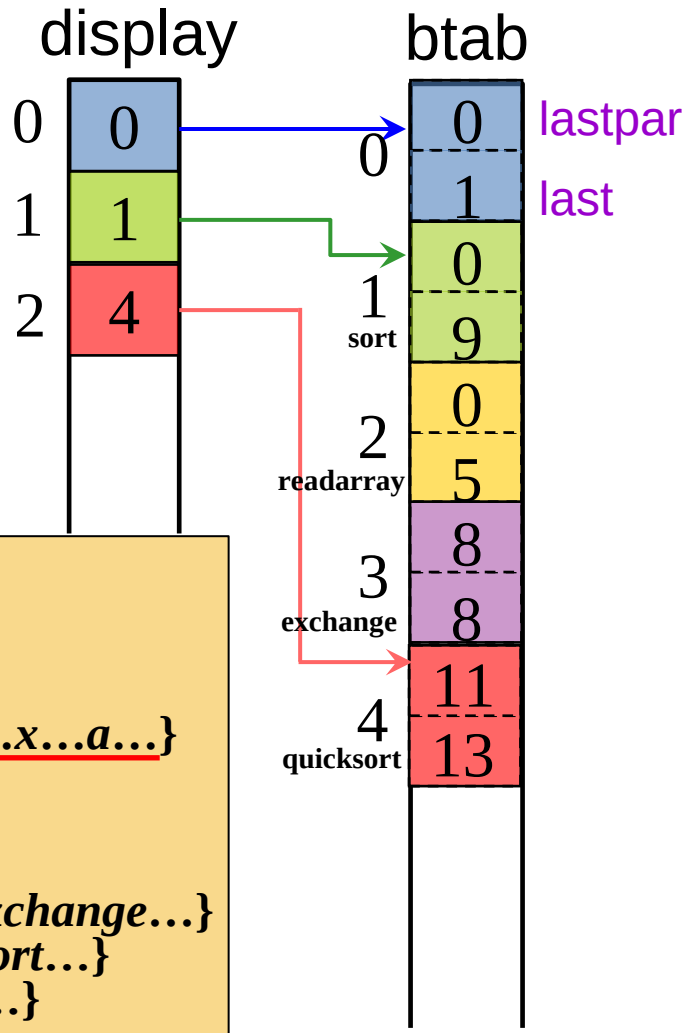


nametab

	name	link
1	*sort*	0
2	*a*	0
3	*x*	2
4	*readarray*	3
5	*i*	0
6	*exchange*	4
7	*i*	0
8	*j*	7
9	*quicksort*	6
10	*m*	0
11	*n*	10
12	*k*	11
13	*v*	12

```
program sort;
    var a:int[11]; x:int;
    proc readarray;
       var i:int; {…a…}
    proc exchange(i,j:integer); {…x…a…}
    proc quicksort(m, n:integer);
       var k, v:int;
       func partition(y, z:integer);
            var i, j:int; {…a…v…exchange…}
      {…a…v…partition…quicksort…}
   {…a…readarray…quicksort…}
```

例

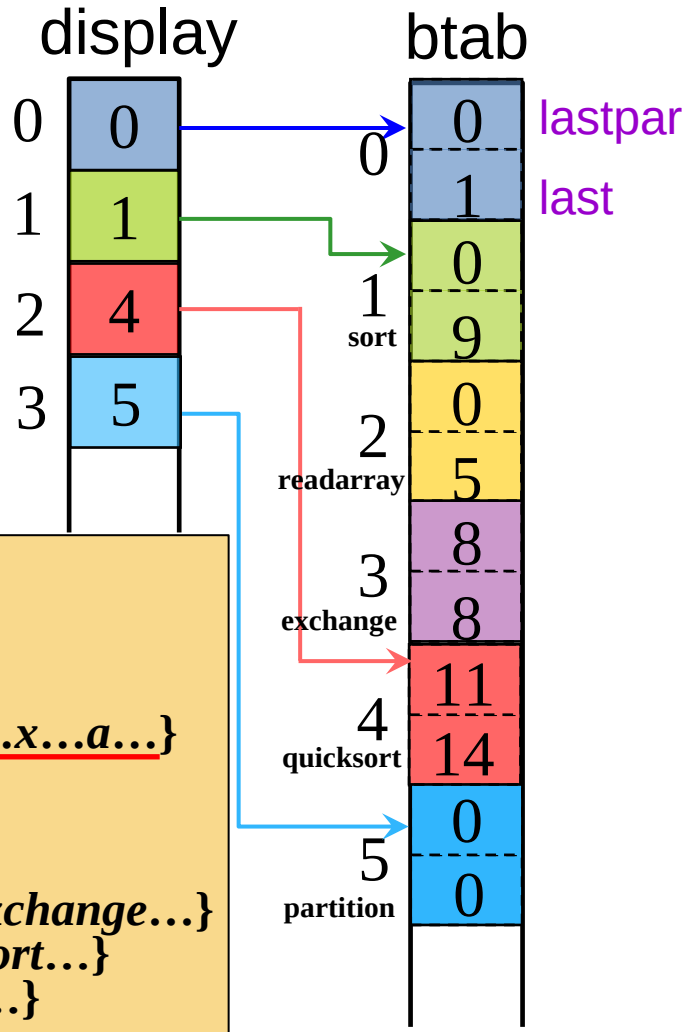


nametab

	name	link
1	*sort*	0
2	*a*	0
3	*x*	2
4	*readarray*	3
5	*i*	0
6	*exchange*	4
7	*i*	0
8	*j*	7
9	*quicksort*	6
10	*m*	0
11	*n*	10
12	*k*	11
13	*v*	12
14	*partition*	13

```
program sort;
    var a:int[11]; x:int;
    proc readarray;
       var i:int; {…a…}
    proc exchange(i,j:integer); {…x…a…}
    proc quicksort(m, n:integer);
       var k, v:int;
       func partition(y, z:integer);
             var i, j:int; {…a…v…exchange…}
      {…a…v…partition…quicksort…}
   {…a…readarray…quicksort…}
```

例

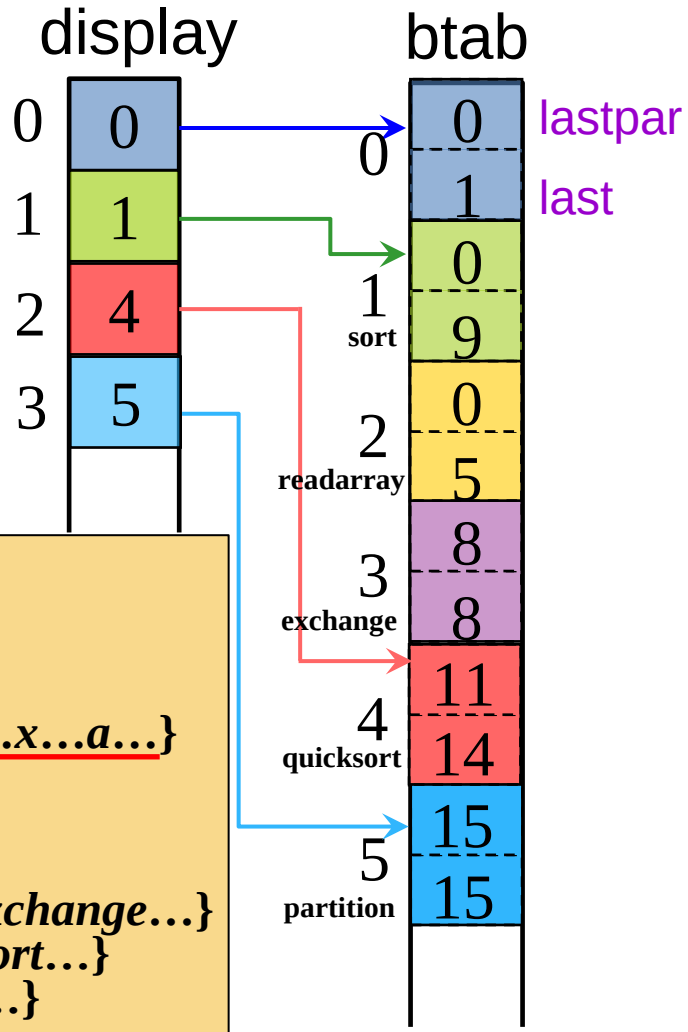


nametab

	name	link
1	*sort*	0
2	*a*	0
3	*x*	2
4	*readarray*	3
5	*i*	0
6	*exchange*	4
7	*i*	0
8	*j*	7
9	*quicksort*	6
10	*m*	0
11	*n*	10
12	*k*	11
13	*v*	12
14	*partition*	13
15	*y*	0

```
program sort;
    var a:int[11]; x:int;
    proc readarray;
       var i:int; {…a…}
    proc exchange(i,j:integer); {…x…a…}
    proc quicksort(m, n:integer);
       var k, v:int;
       func partition(y, z:integer);
             var i, j:int; {…a…v…exchange…}
      {…a…v…partition…quicksort…}
   {…a…readarray…quicksort…}
```

例

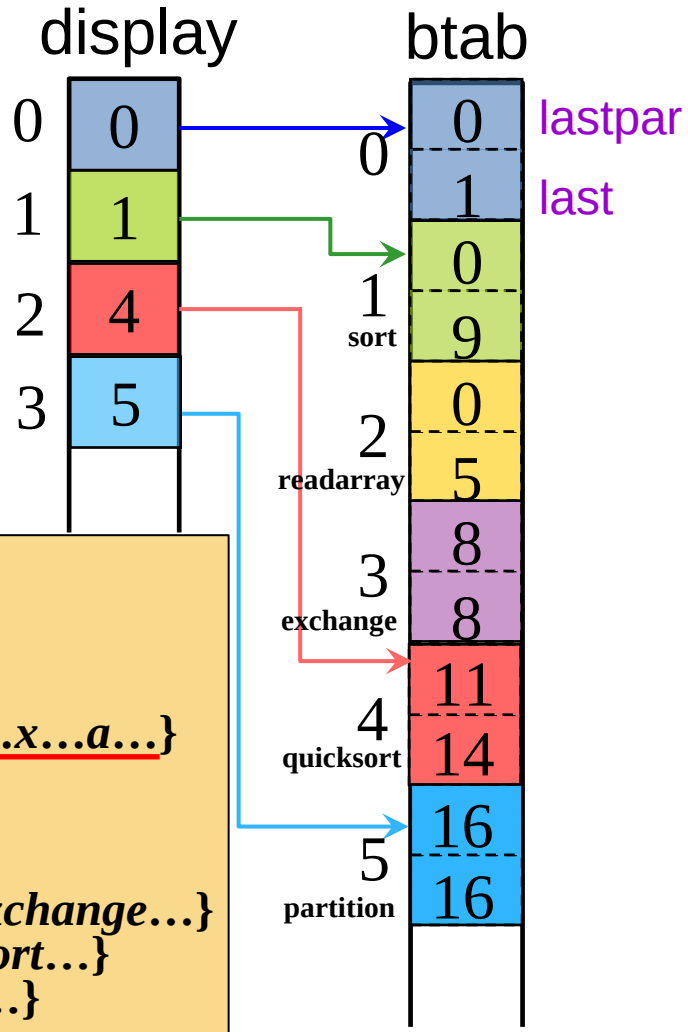


nametab

	name	link
1	*sort*	0
2	*a*	0
3	*x*	2
4	*readarray*	3
5	*i*	0
6	*exchange*	4
7	*i*	0
8	*j*	7
9	*quicksort*	6
10	*m*	0
11	*n*	10
12	*k*	11
13	*v*	12
14	*partition*	13
15	*y*	0
16	*z*	15

```
program sort;
    var a:int[11]; x:int;
    proc readarray;
      var i:int; {…a…}
    proc exchange(i,j:integer); {…x…a…}
    proc quicksort(m, n:integer);
      var k, v:int;
      func partition(y, z:integer);
            var i, j:int; {…a…v…exchange…}
       {…a…v…partition…quicksort…}
   {…a…readarray…quicksort…}
```

例

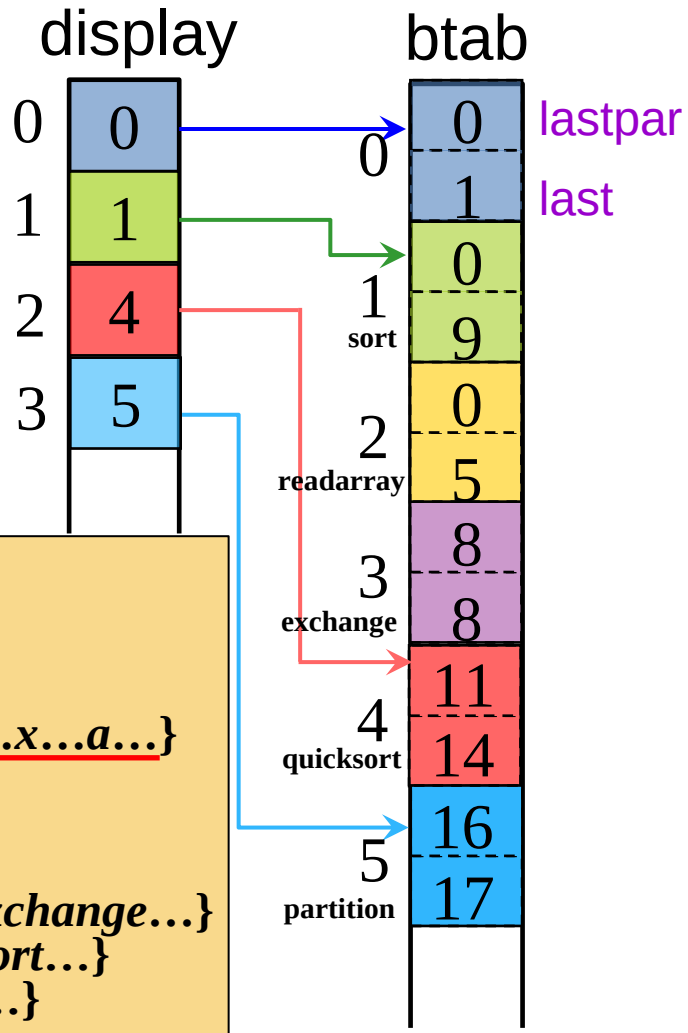


nametab

	name	link
1	*sort*	0
2	*a*	0
3	*x*	2
4	*readarray*	3
5	*i*	0
6	*exchange*	4
7	*i*	0
8	*j*	7
9	*quicksort*	6
10	*m*	0
11	*n*	10
12	*k*	11
13	*v*	12
14	*partition*	13
15	*y*	0
16	*z*	15
17	*i*	16

```
program sort;
    var a:int[11]; x:int;
    proc readarray;
       var i:int; {…a…}
    proc exchange(i,j:integer); {…x…a…}
    proc quicksort(m, n:integer);
       var k, v:int;
       func partition(y, z:integer);
             var i, j:int; {…a…v…exchange…}
      {…a…v…partition…quicksort…}
   {…a…readarray…quicksort…}
```

例

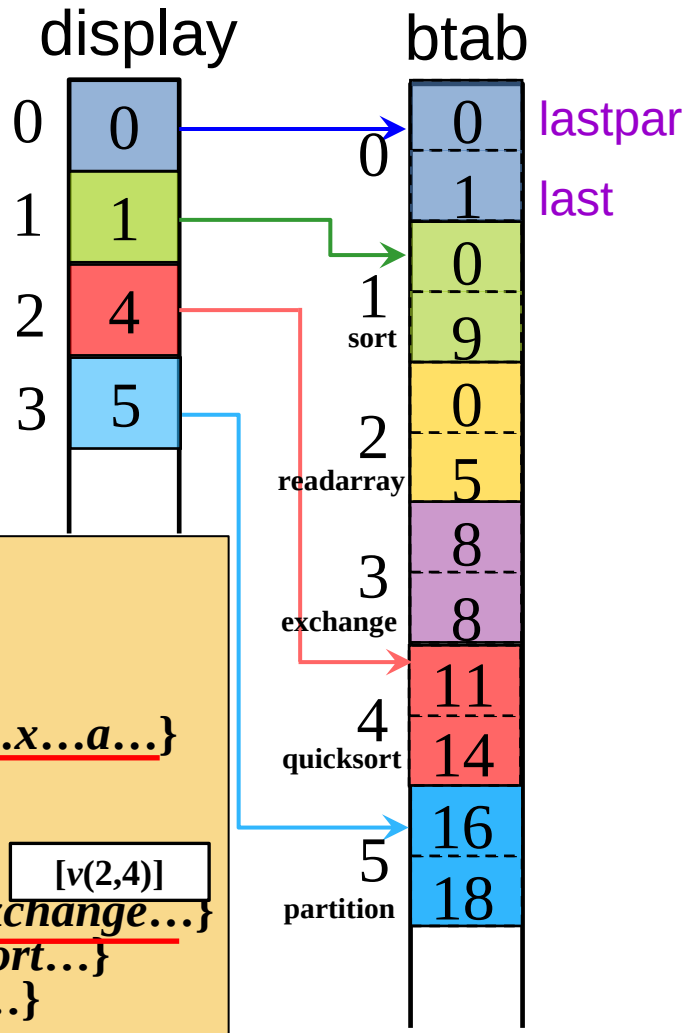


nametab

	name	link
1	*sort*	0
2	*a*	0
3	*x*	2
4	*readarray*	3
5	*i*	0
6	*exchange*	4
7	*i*	0
8	*j*	7
9	*quicksort*	6
10	*m*	0
11	*n*	10
12	*k*	11
13	*v*	12
14	*partition*	13
15	*y*	0
16	*z*	15
17	*i*	16
18	*j*	17

```
program sort;
    var a:int[11]; x:int;
    proc readarray;
       var i:int; {…a…}
    proc exchange(i,j:integer); {…x…a…}
    proc quicksort(m, n:integer);
       var k, v:int;
       func partition(y, z:integer);
             var i, j:int; {…a…v…exchange…}
      {…a…v…partition…quicksort…}
   {…a…readarray…quicksort…}
```

例



nametab

	name	link
1	*sort*	0
2	*a*	0
3	*x*	2
4	*readarray*	3
5	*i*	0
6	*exchange*	4
7	*i*	0
8	*j*	7
9	*quicksort*	6
10	*m*	0
11	*n*	10
12	*k*	11
13	*v*	12
14	*partition*	13
15	*y*	0
16	*z*	15
17	*i*	16
18	*j*	17

```
program sort;
    var a:int[11]; x:int;
    proc readarray;
       var i:int; {…a…}
    proc exchange(i,j:integer); {…x…a…}
    proc quicksort(m, n:integer);
       var k, v:int;
       func partition(y, z:integer);
            var i, j:int; {…a…v…exchange…}
      {…a…v…partition…quicksort…}
   {…a…readarray…quicksort…}
```

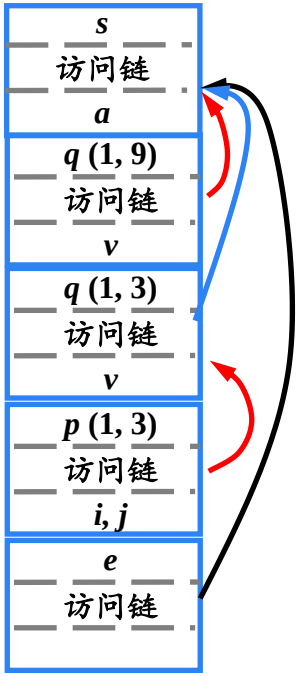
[a(1,0)]

[v(2,4)]

访问链的建立

- 建立访问链的代码属于调用序列的一部分
- 假设嵌套深度为n_x的过程x调用嵌套深度为n_y的过程y $(x \rightarrow y)$
  - $n_x < n_y$的情况(外层调用内层)
  - $n_x = n_y$的情况(本层调用本层)
  - $n_x > n_y$的情况(内层调用外层，如： $p \rightarrow e$)
    - 调用者x必定嵌套在某个过程z中，而z中直接定义了被调用者y
    - 从x的活动记录开始，沿着访问链经过$n_x - n_y + 1$步就可以找到离栈顶最近的z的活动记录。y的访问链必须指向z的这个活动记录

嵌套深度是在编译阶段通过静态分析就能确定的



过程	嵌套深度
sort	1
readarray	2
exchange	2
quicksort	2
partition	3

本章小结

- 存储组织
- 静态存储分配
- 栈式存储分配
- 非局部数据的访问
- 参数传递
- 符号表

结束