第7章 语义分析与中间代码生成

重点： 三地址码，各种语句的目标代码结构、语法制导定义与翻译模式。

难点： 布尔表达式的翻译，对各种语句的目标代码结构、语法制导定义与翻译模式的理解。

第7章 语义分析与中间代码生成

7.1 中间代码的形式

- 中间代码的作用
  - 过渡：经过语义分析被译成中间代码序列
- 中间代码的优点
  - 形式简单、语义明确、独立于目标语言
  - 便于编译系统的实现、移植、代码优化
- 常用的中间代码
  - 抽象语法树(6.3.5节)
  - 逆波兰表示、三地址码(三元式和四元式)、DAG图表示

7.1.1 逆波兰表示

- 中缀表达式的计算顺序不是运算符出现的自然顺序，而是根据运算符间的**优先关系**来确定的，因此，从中缀表达式直接生成目标代码一般比较麻烦。
- 波兰逻辑学家扬·武卡谢维奇(J. Lukasiewicz)于1929年提出了后缀表示法，其优点为：表达式的**运算顺序就是运算符出现的顺序**，它不需要使用括号来指示运算顺序。

7.1.1 逆波兰表示

- 例7.1 下面给出的是一些表达式的中缀、前缀和后缀表示。

中缀表示	前缀表示	后缀表示
a+b	+ab	ab+
a*(b+c)	*a+bc	abc+*
(a+b)*(c+d)	*+ab+cd	ab+cd+*
a:=a*b+c*d	:=a+*ab*cd	abc*bd*+:=

7.1.2 三地址码

- 所谓三地址码，是指这种代码的每条指令最多只能包含三个地址，即两个操作数地址和一个结果地址。
- 如$x+y*z$三地址码为：$t_1 := y*z$　　$t_2 := x+t_1$
- 三地址码中地址的形式：
  - 名字、常量、编译器生成的临时变量。

7.1.2 三地址码

- 例7.2 赋值语句a:=(-b)*(c+d)-(c+d)的三地址码如图7.1所示

t_1 := minus b
t_2 := c+d
t_3 := t_1*t_2
t_4 := c+d
t_5 := t_3-t_4
a := t_5

7.1.2 三地址码

1．形如x:=y op z的赋值指令；

2．形如x:= op y的赋值指令；

3．形如 x := y的复制指令；

4．无条件跳转指令goto L；

5．形如 if x goto L (或if false x goto L)的条件跳转指令；

6．形如if x relop y goto L的条件跳转指令；

7.1.2 三地址码

7．过程调用和返回使用如下的指令来实现：

param x用来指明参数；

call p, *n*和y=call p, *n*用来表示过程调用和函数调用；

return y表示过程返回；

8．形如x := y[i]和x[i] := y的变址复制指令；

9．形如x := &y、 x := *y和*x := y的地址和指针赋值指令。

7.1.2 三地址码

- 三地址码是中间代码的一种抽象表示形式
- 常用的实现方式
  - 四元式
  - 三元式

四元式

- 四元式是一种比较常用的中间代码形式，它由四个域组成，分别称为op、arg1、arg2和result。
- op是一个一元或二元运算符
- arg1和arg2分别是op的两个运算对象，它们可以是变量、常量或编译器生成的临时变量
- 运算结果则放入result中

四元式

$t_1 := \text{minus } b$
$t_2 := c+d$
$t_3 := t_1 * t_2$
$t_4 := c+d$
$t_5 := t_3 - t_4$
$a := t_5$

	op	arg_1	arg_2	result
0	minus	b		t_1
1	+	c	d	t_2
2	*	t_1	t_2	t_3
3	+	c	d	t_4
4	-	t_3	t_4	t_5
5	assign	t_5		a
		...		

三元式

- 为了节省临时变量的开销，有时也可以使用只有三个域的三元式来表示三地址码
- 三元式的三个域分别称为op，arg1和arg2
- arg1和arg2的含义与四元式类似，区别只是arg1和arg2可以是某个三元式的编号，表示用该三元式的运算结果作为运算对象。

三元式

t_1 := minus b
t_2 := c+d
t_3 := t_1*t_2
t_4 := c+d
t_5 := t_3-t_4
a := t_5

	op	arg_1	arg_2
0	minus	b	
1	+	c	d
2	*	(0)	(1)
3	+	c	d
4	-	(2)	(3)
5	assign	a	(4)
		...	

生成三地址码的语法制导定义

产生式	语义规则
S→id:=E	S.code:=E.code‖gencode(id.addr':='E.addr)
$E \rightarrow E_1+E_2$	E.addr:=newtemp;E.code := E_1.code ‖ E_2.code ‖ gencode(E.addr':='E_1.addr'+' E_2.addr)
$E \rightarrow E_1*E_2$	E.addr:=newtemp;E.code := E_1.code ‖ E_2.code ‖ gencode(E.addr':='E_1.addr'*' E_2.addr)
$E \rightarrow -E_1$	E.addr:=newtemp; E.code := E_1.code ‖ gencode(E.addr':=' 'uminus' E_1.addr)
$E \rightarrow (E_1)$	E.addr:= E_1.addr; E.code := E_1.code
E→ id	E.addr:= id.addr; E.code := ''
E→ num	E.addr:= num.val; E.code := ''

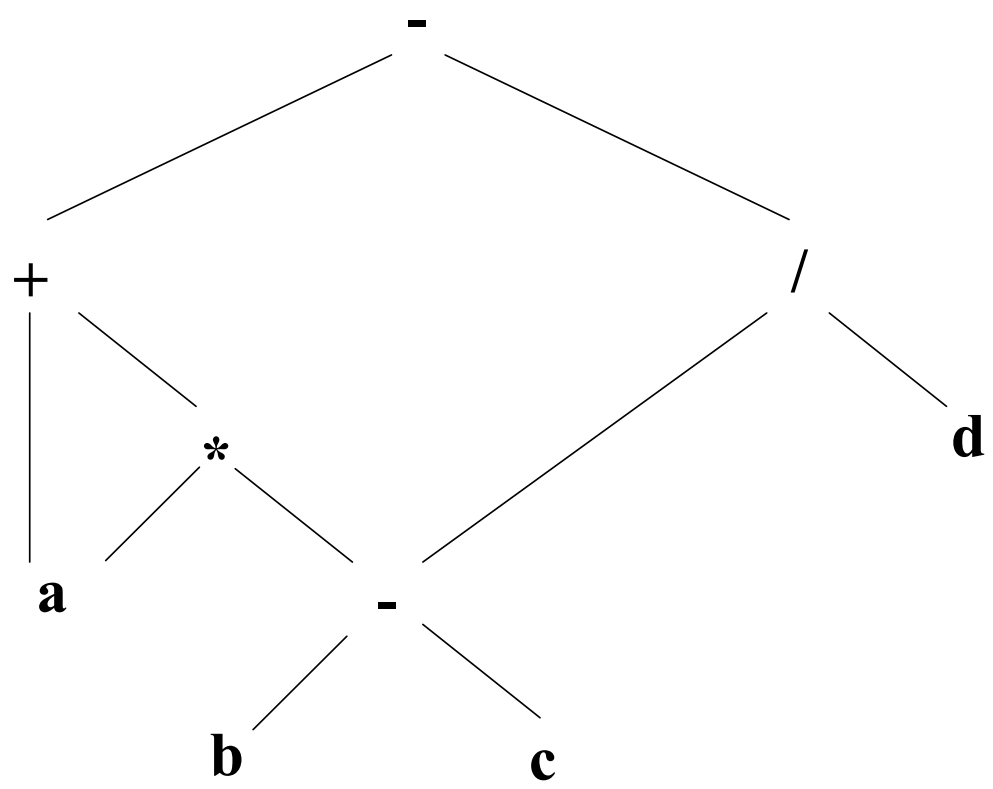
属性 code 表示生成的代码

7.1.3 图表示

- 利用无回路有向图(dag: directed acyclic graph)可以很容易地消除公共子表达式
- 在dag中，每个内节点对应一个运算符，代表表达式的一个子表达式，其子节点则与该运算符的运算对象相对应
- 叶节点对应的是变量或者常量，可以看成是原子运算
- 具有公共子表达式的节点具有多个父节点

7.1.3 图表示

- 例7.3 表达式a+a*(b-c)-(b-c)/d。



生成dag的语法制导定义

产生式	语义规则
(1) $E \rightarrow E_1 + T$	*E.node* := *mknode*('+', E_1.*node*, *T.node*)
(2) $E \rightarrow E_1 - T$	*E.node* := *mknode*('-', E_1.*node*, *T.node*)
(3) $E \rightarrow T$	*E.node* := *T.node*
(4) $T \rightarrow T_1 * F$	*de*)
(5) $T \rightarrow T_1 / F$	*de*)
(6) $T \rightarrow F$	
(7) $F \rightarrow (E)$	
(8) $F \rightarrow$ id	
(9) $F \rightarrow$ num	*F.node* := *mkleaf*(num, num.*val*)

在mkleaf和mknode时，首先检查是否已经存在一个相同的节点。如果已经存在一个之前创建的节点，则返回该节点。

7.2 声明语句的翻译

- 声明语句的作用：为程序中用到的变量或常量名指定类型

7.2 声明语句的翻译

- 类型的作用
  - 类型检查：验证程序运行时的行为是否遵守语言的类型的规定，也就是是否符合该语言关于类型的相关规则。
  - 辅助翻译：编译器从名字的类型可以确定该名字在运行时所需要的存储空间。在计算数组引用的地址、加入显式的类型转换、选择正确版本的算术运算符以及其它一些翻译工作时同样需要用到类型信息。

7.2 声明语句的翻译

- 编译的任务
  - 在符号表中记录被说明对象的属性(类型、相对地址、作用域等)，为执行做准备

7.2.1 类型表达式

- 类型可以具有一定的层次结构，因此用类型表达式来表示。
- 类型表达式或者是基本类型，或者是将类型构造符作用于类型表达式

7.2.1 类型表达式

- 类型表达式的定义如下：

  1．基本类型是类型表达式。

  典型的基本类型包括*boolean*、*char*、*integer*、*real*及*void*等。

  2．类型名是类型表达式。

  3．将类型构造符*array*应用于数字和类型表达式所形成的表达式是类型表达式。

  如果T是类型表达式，那么*array*(I, T)就是元素类型为T、下标集为I的数组类型表达式。

  4．如果$T1$和$T2$是类型表达式，则其笛卡尔乘积$T1 \times T2$也是类型表达式。

7.2.1 类型表达式

5．类型构造符*record*作用于由域名和域类型所形成的表达式也是类型表达式。

记录*record*是一种带有命名域的数据结构，可以用来构成类型表达式。例如，下面是一段Pascal程序段：

- type row = record
- address: integer;
- lexeme: array[1..15] of char
- end;
- var table : array [1..10] of row;

7.2.1 类型表达式

6．如果*T*是类型表达式，那么*pointer*(*T*)也是类型表达式，表示“指向类型为*T*的对象的指针”。

- 函数的类型可以用类型表达式D→R来表示。考虑如下的Pascal声明：
  - function *f*(a,b: char): ↑integer；
- 其定义域类型为*char*×*char*，值域类型为*pointer*(*integer*)。所以函数*f*的类型可以表示为如下的类型表达式：
- *char*×*char*→*pointer*(*integer*)

7.2.2 类型等价

- 许多**类型检查的规则**都具有如下的形式：
  - If 两个类型表达式等价
    then 返回一种特定类型
    else 返回*type_error*。
- **即需要定义两个类型表达式何时等价**

7.2.2 类型等价

- 如果用图来表示类型表达式，当且仅当下列条件之一成立时，称两个类型T_1和T_2是**结构等价**的：
  - T_1和T_2是相同的基本类型；
  - T_1和T_2是将同一类型构造符应用于结构等价的类型上形成的；
  - T_1是表示T_2的类型名。
- 如果将类型名看作只代表它们自己的话，则上述条件中的前两个将导致类型表达式的**名字等价**
  - 两个类型表达式名字等价当且仅当它们完全相同

7.2.2 类型等价

- 结构等价
  - *type tp1 = array [1, 10] of integer*
    type tp2 = array [1, 10] of interger
    var a: tp1, b:tp2;
    *a*和*b*是具有相同类型的变量
- 名字等价
  - *type tp = array [1, 10] of integer*
    var a, b:tp;
    *a*和*b*是具有相同类型的变量

7.2.3 声明语句的文法

- $P \rightarrow$ prog id (input, output) D ; S
- $D \rightarrow D$; D | $List$: T | proc id D ; S
- $List \rightarrow List_1$, id | id
- $T \rightarrow$ integer | real | array C of T_1 | $\uparrow T_1$ | record D
- $C \rightarrow$ [num] C | ε
- D ——程序说明部分的抽象
- S ——程序体部分的抽象
- T ——类型的抽象，需要表示成类型表达式
- C ——数组下标的抽象

语义属性、辅助过程与全局变量的设置

- 文法变量T(类型)的语义属性
  - type： 类型(表达式)
  - width：类型所占用的字节数
- 辅助子程序
  - enter：将变量的类型和地址填入符号表中
  - array：数组类型处理子程序
- 全局变量
  - offset：已分配空间字节数，用于计算相对地址

7.2.4 过程内声明语句的翻译

- 声明语句的翻译就是在符号表中为每个局部名字创建一个表项，同时维护该名字的类型及相对地址等信息

7.2.4 过程内声明语句的翻译

P→ { offset := 0 } *D*

D→D ; D

D→id : T {enter(id.name, T.type, offset);
offset := offset + T.width}

T→integer {T.type := integer; T.width := 4}

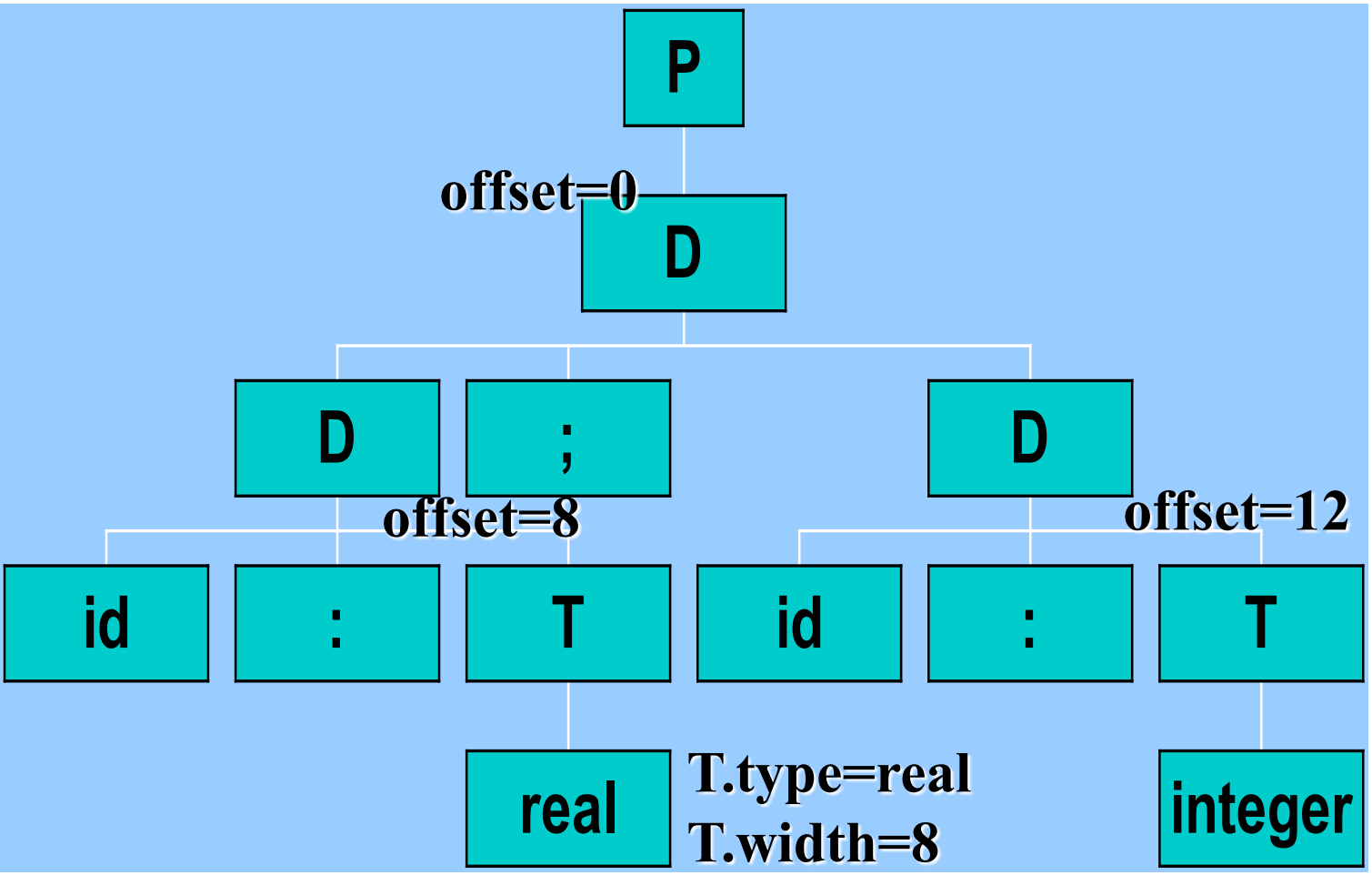
T→real {T.type := real; T.width := 8}

T→array[num] of T_1
{T.type := array(num.val, T_1.type);
T.width := num.val * T_1.width}

T→↑T_1 {T.type := pointer(T_1.type); T.width := 4}

例 x:real; i:integer 的翻译

D→id : T {enter(id.name, T.type, offset); offset := offset + T.width}



enter(x,real,0)

enter(i,integer,8)

例 x:real; i:integer 的翻译

P⇒{offset:=0}D

⇒{offset:=0}D;D

⇒{offset:=0}x:T{enter(x,T.type,offset);
offset:=offset+T.width};D

⇒{offset:=0}x:real{T.type:=real;T.width:=8}
{enter(x,T.type,offset);offset:=offset+T.width};D

⇒x:real{(x,real,0);offset:=8};D

⇒x:real{(x,real,0);offset:=8};i:T
{enter(id.name,T.type,offset); offset:=offset+T.width}

⇒x:real{(x,real,0);offset:=8};i:integer{T.type:=integer;
T.width:=4}{enter(i,T.type,offset);offset:=offset+T.width}

⇒x:real{(x,real,0)};i:integer{(i,integer,8);offset:=12}

7.2.5 嵌套过程中声明语句的翻译

- 嵌套过程的文法

  P → prog id (input, output) D ; S

  D → D ; D | id : T | proc id D1 ; S

- 遇到嵌套过程时，暂时挂起对外围过程中声明语句的处理
- 为每个过程设置一张单独的符号表
- 遇到proc id D1时，创建一张新的符号表，维护D1中声明的名字
- 嵌套过程的符号表利用栈tblptr维护，嵌套过程的偏移量利用栈offset维护

7.2.5 嵌套过程中声明语句的翻译

- 语义动作用到的函数
  - mktable(previous)：创建一个新的符号表，previous指外围符号表；
  - 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
  - addwidth(table, width)：将符号表table的所有表项的宽度之和存储于表头；
  - enterproc(table，name，newtable)：在table指向的符号表中为过程name建立一个新表项，newtable指向过程name的符号表；

7.2.5 嵌套过程中声明语句的翻译

P → prog id (input,output) M D; S {addwidth (top(tblptr), top(offset)); pop(tblptr); pop(offset) }

M → ε {t := mktable(nil);push(t,tblptr); push(0,offset) }

D → D_1 ; D_2

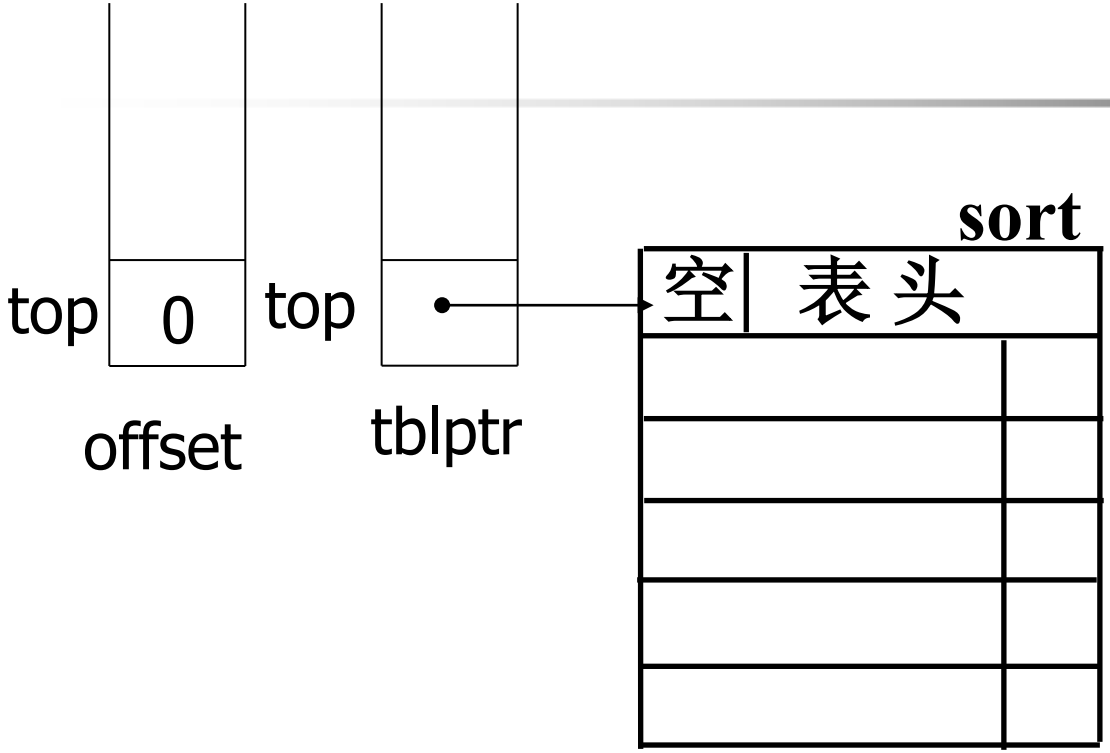
D → proc id ;N D_1; S {t := top(tblptr);
addwidth(t,top(offset));pop(tblptr);pop(offset);
enterproc(top(tblptr),id.name,t) }

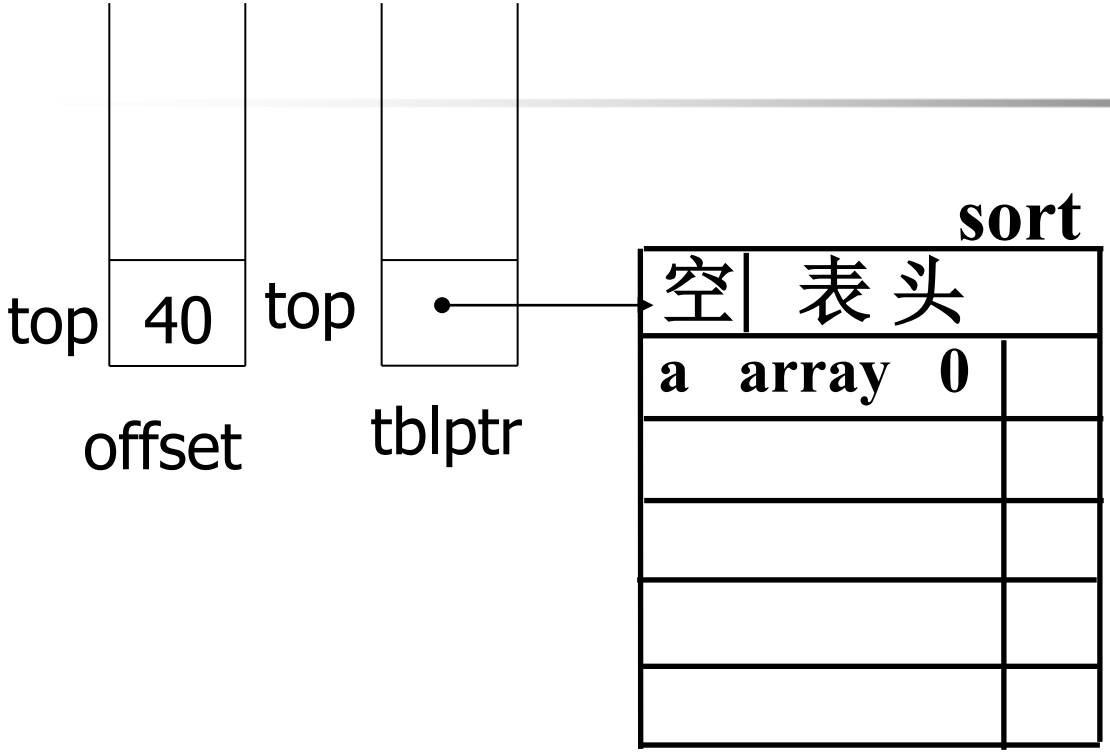
N → ε{t:=mktable(top(tblptr));push(t,tblptr); push(0,offset) }

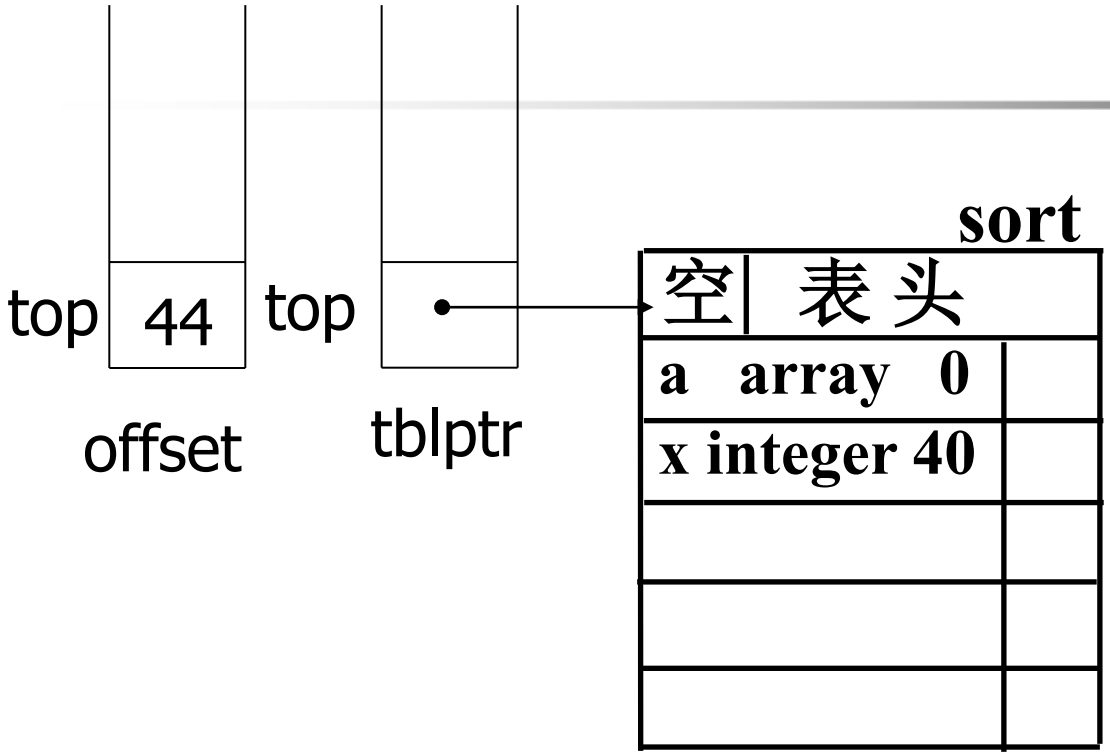
D→id:T {enter(top(tblptr),id.name,T.type,top(offset));
top(offset)：=top（offset）+ T.width}

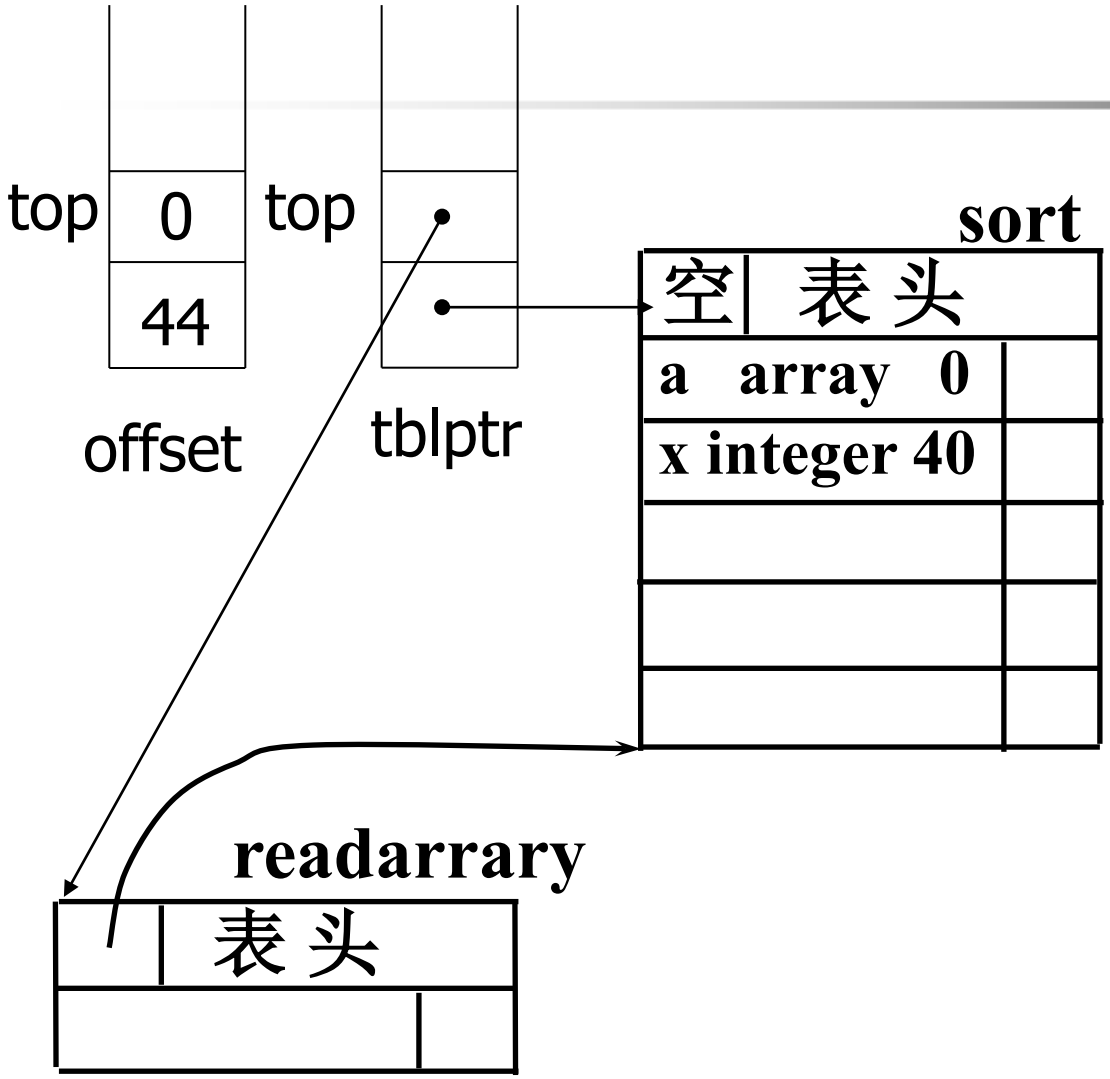
例 一个带有嵌套的pascal程序(图7.11)

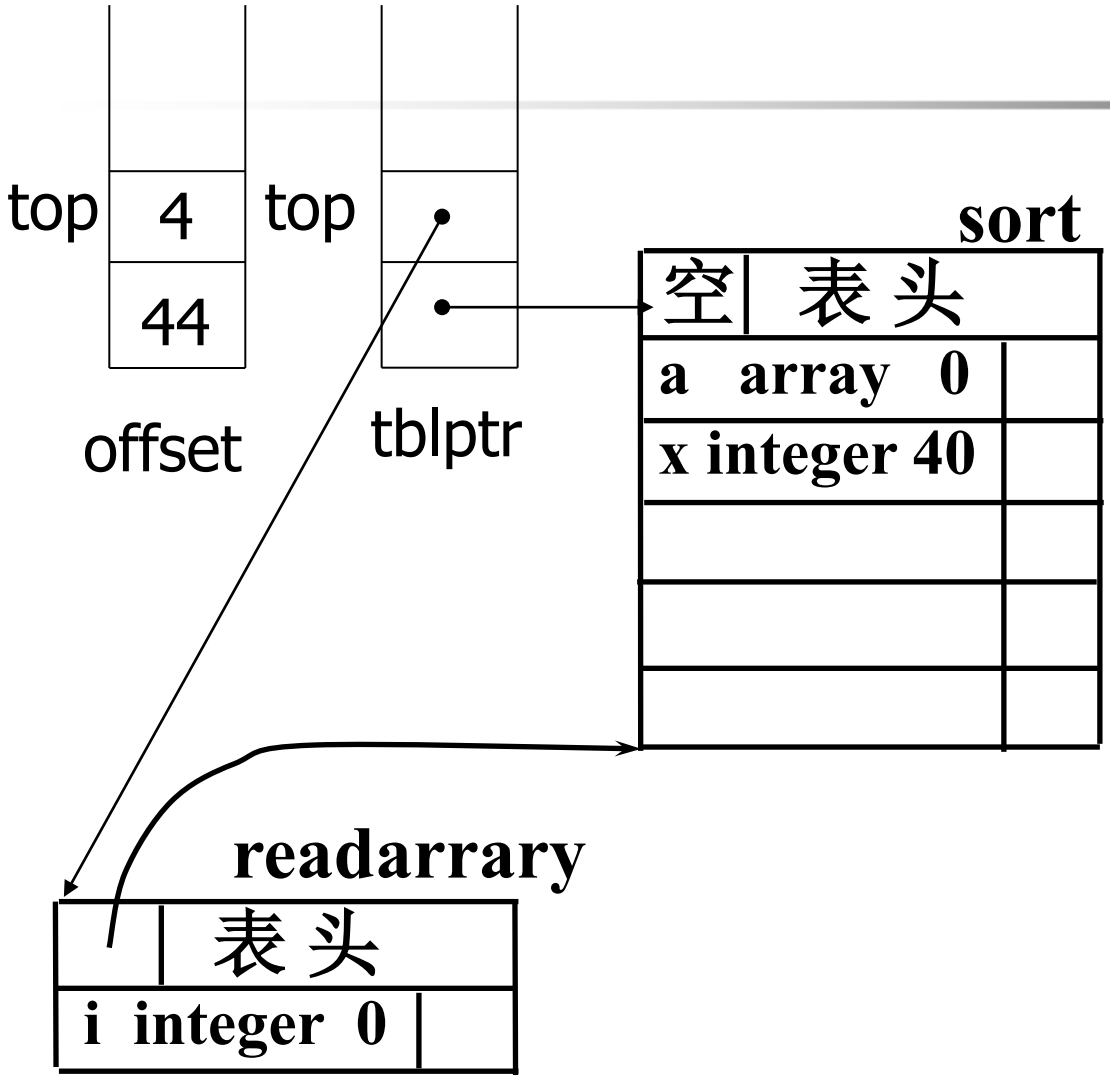
```
program sort(input,output);
  var a:array[0..10] of integer;
    x:integer;
  procedure readarray;
      var i:integer; begin …a…end;
  procedure exchange(i,j:integer);
      begin x:=a[i];a[i]:=a[j];a[j]:=x;end;
  procedure quicksort(m,n:integer);
      var k,v:integer;
      function partition(y,z:integer):integer;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

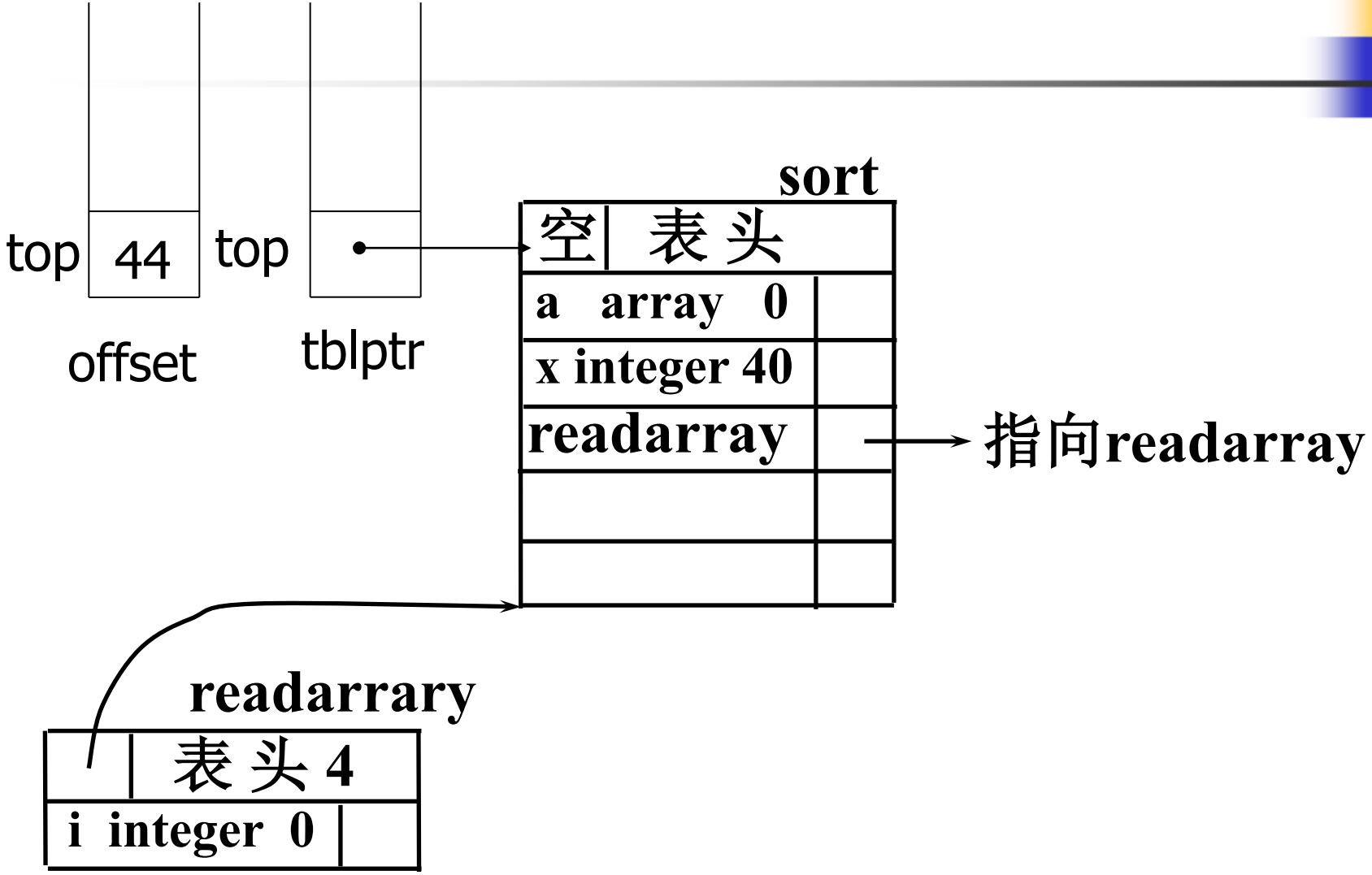

top
0
offset
top
tblptr
sort
空
表 头

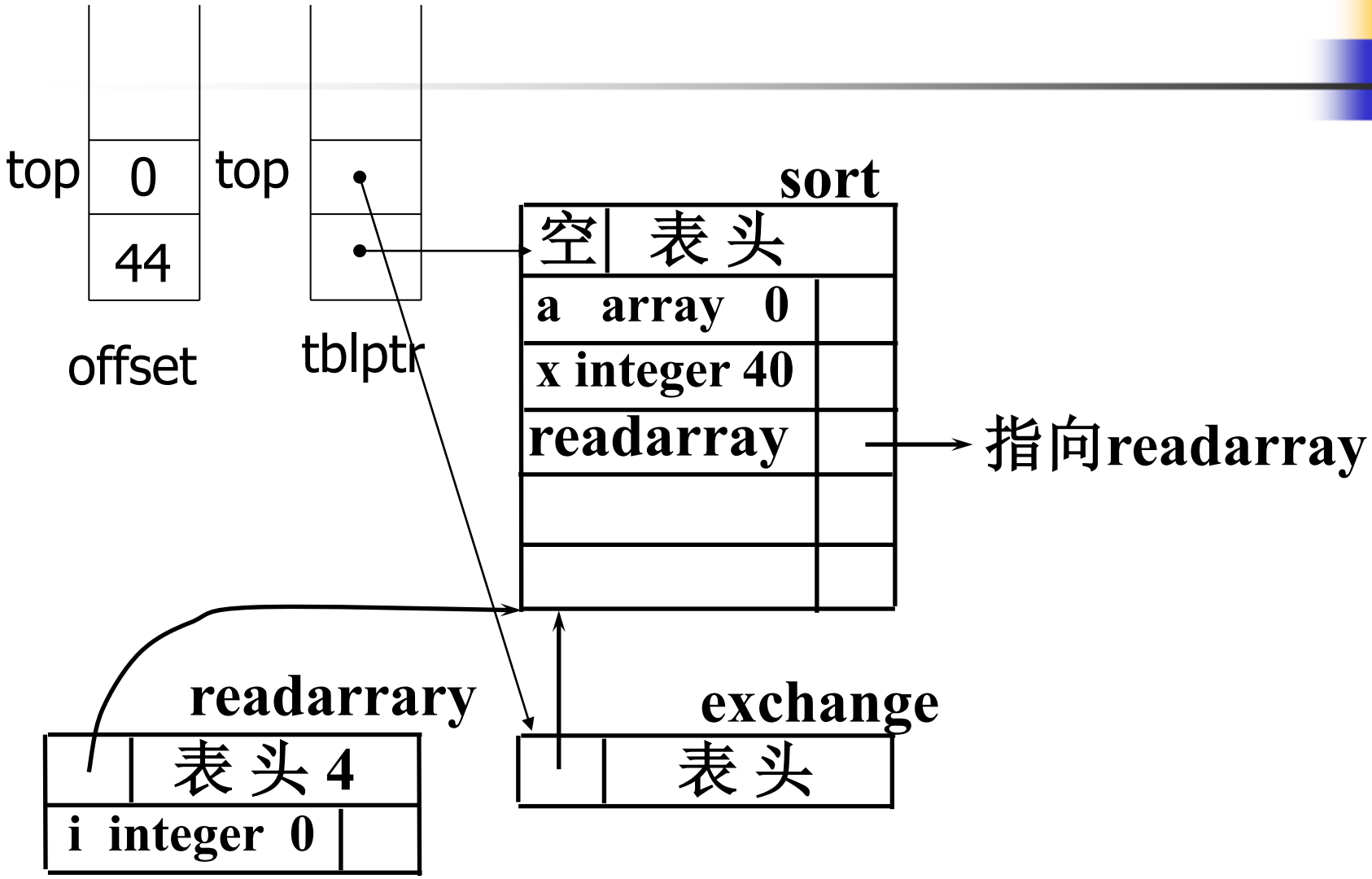

top
40
offset
top
tblptr
sort
空
表 头
a array 0

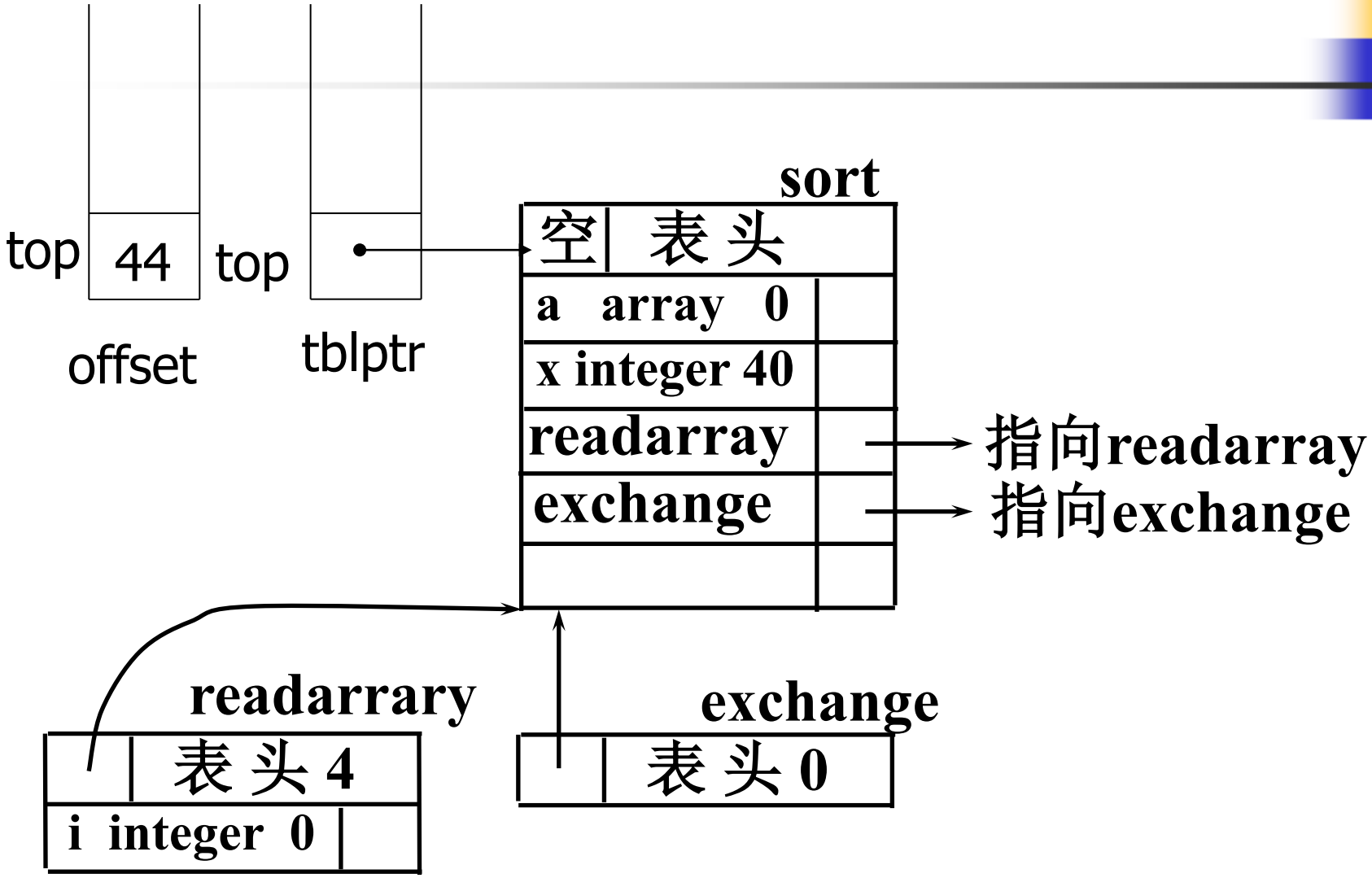

top
44
offset
top
tblptr
sort
空
表 头
a array 0
x integer 40

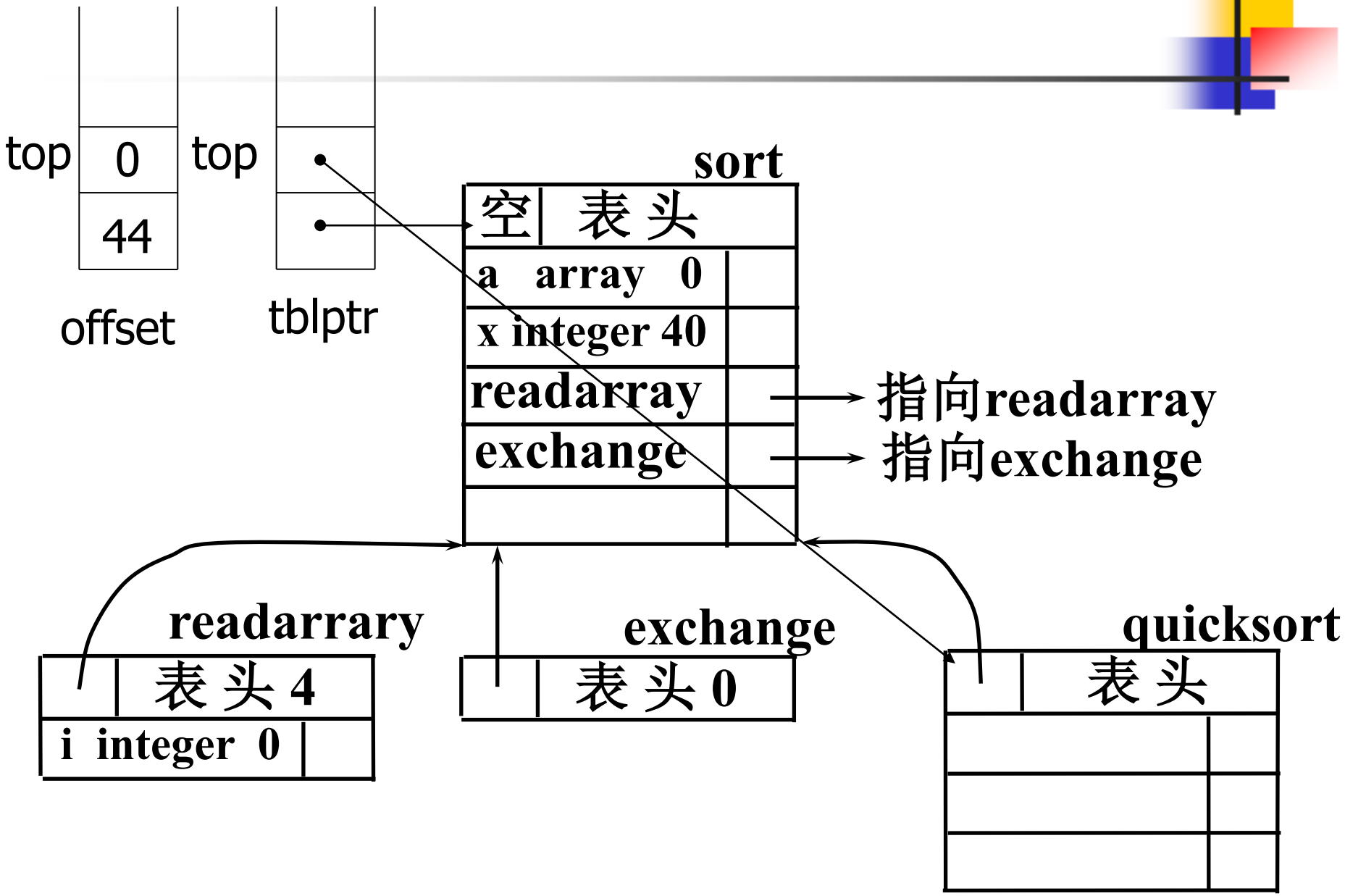

top
0
44
offset
top
tblptr
sort
空
表 头
a array 0
x integer 40
readarrary
表 头

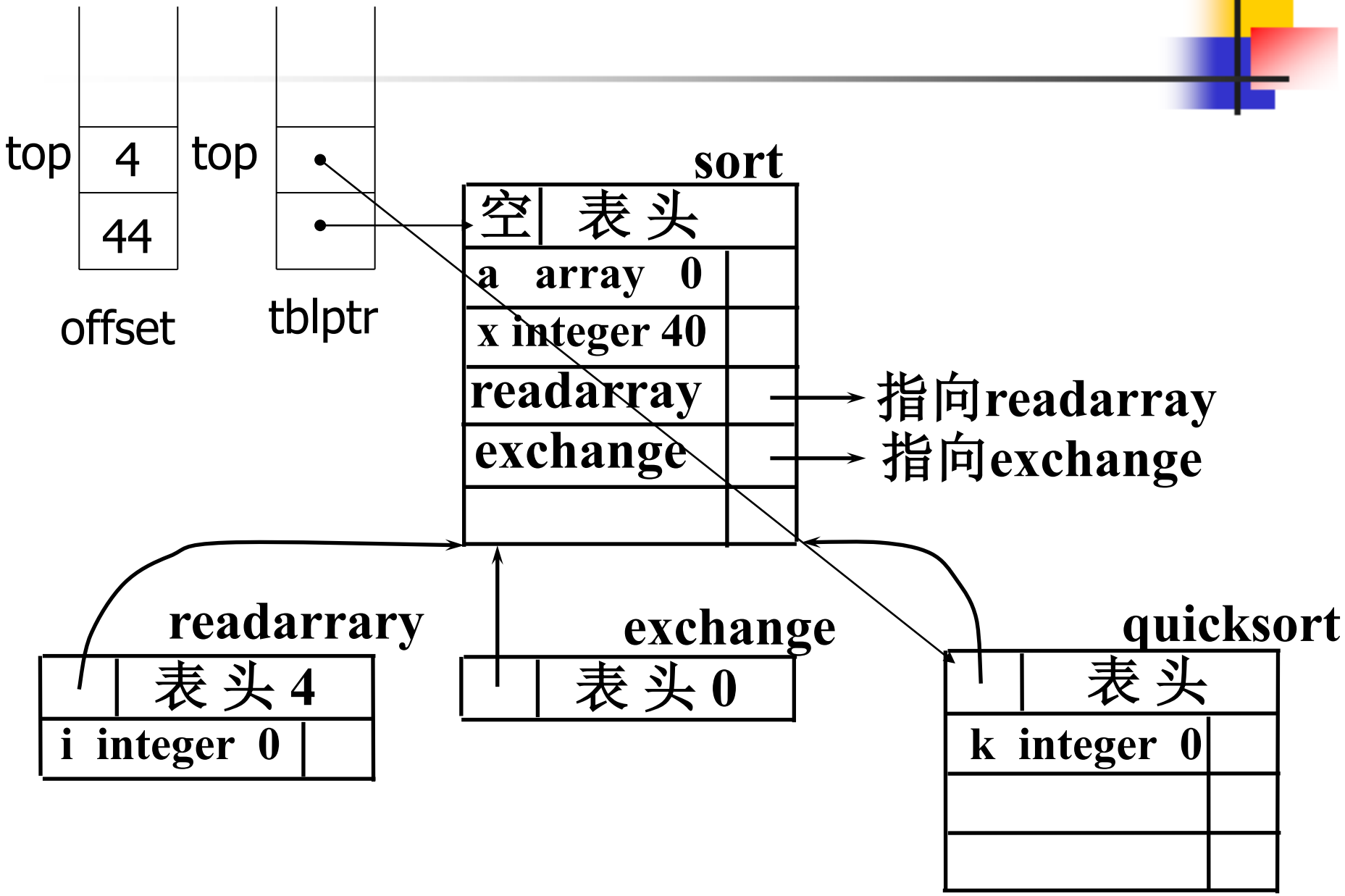

top
4
44
offset
top
tblptr
sort
空
表 头
a array 0
x integer 40
readarrary
表 头
i integer 0

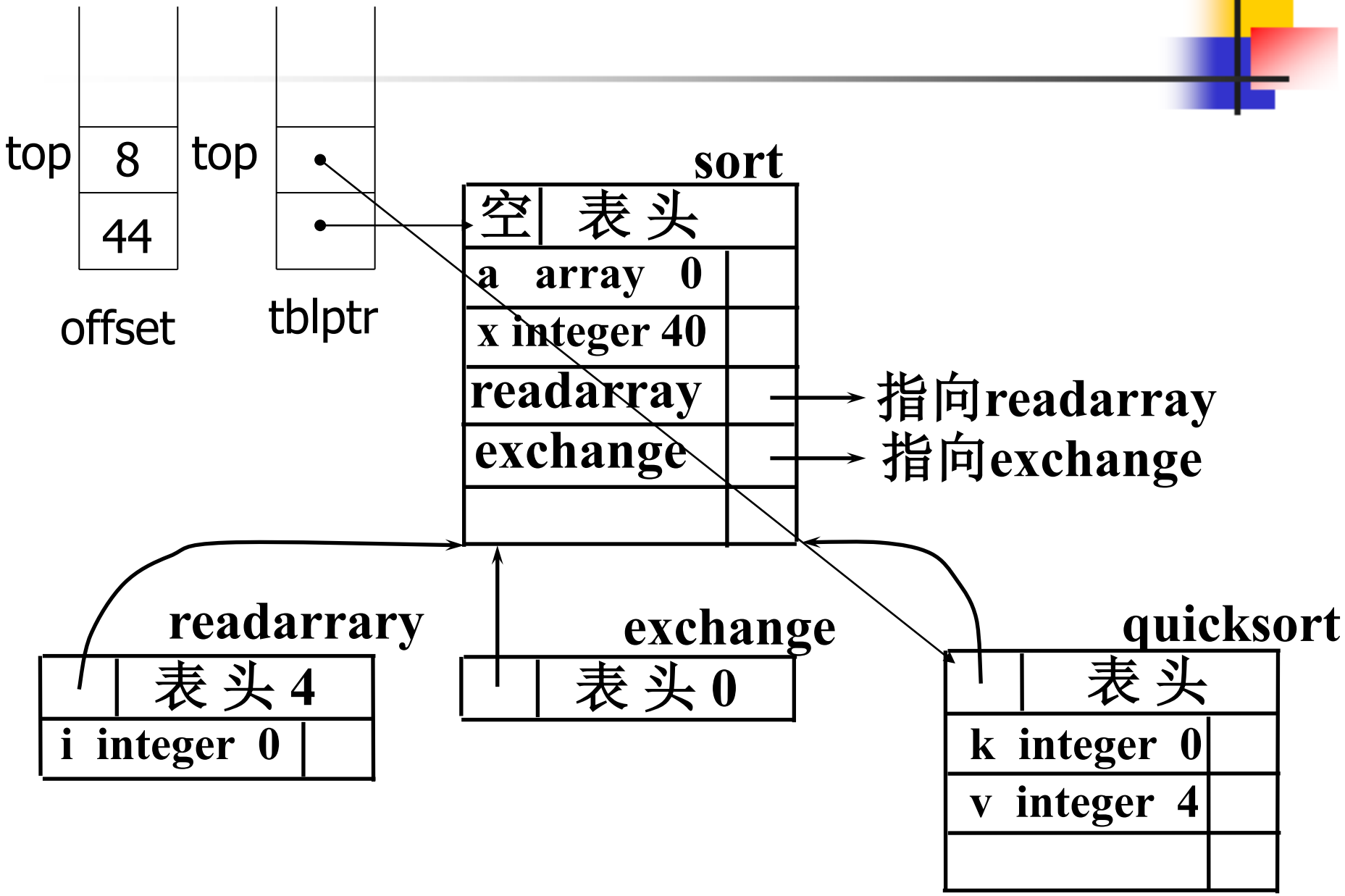

top
44
offset
top
tblptr
sort
空
表 头
a array 0
x integer 40
readarray
指向readarray
readarrary
表 头 4
i integer 0

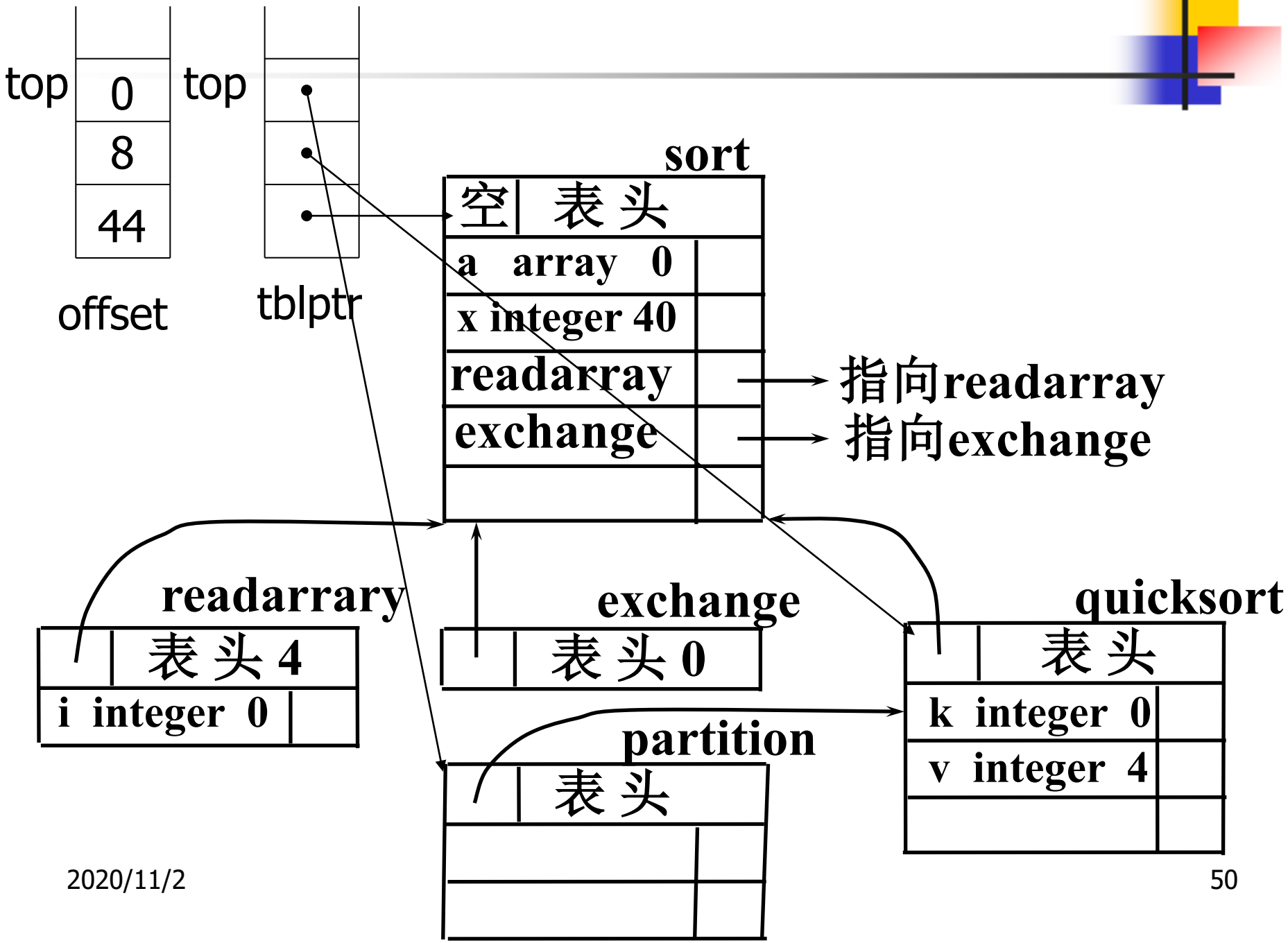

top
0
44
offset
top
tblptr
sort
空
表 头
a array 0
x integer 40
readarray
指向readarray
readarrary
表 头 4
i integer 0
exchange
表 头

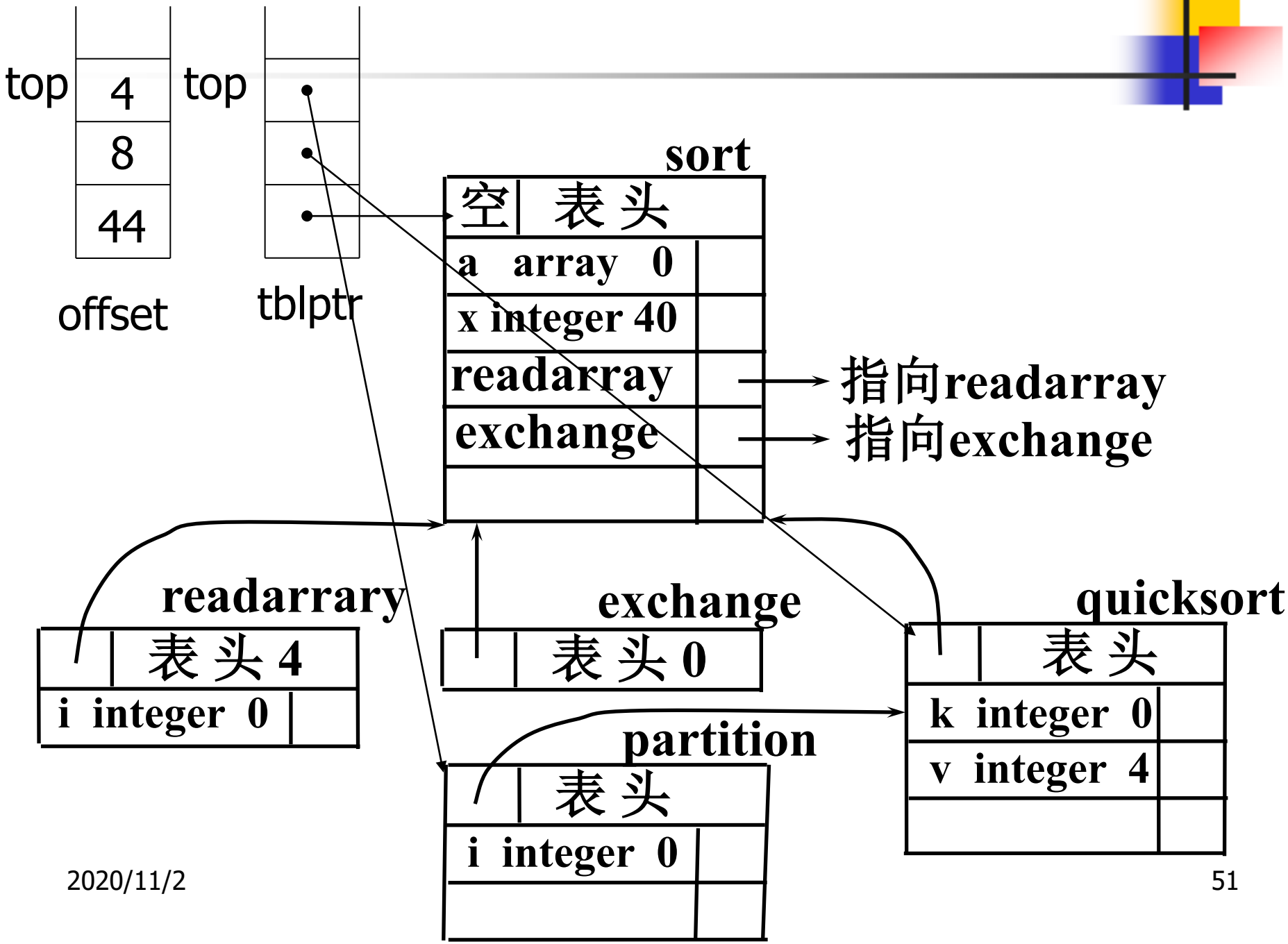

top
44
offset
top
tblptr
sort
空
表 头
a array 0
x integer 40
readarray
exchange
指向readarray
指向exchange
readarrary
表 头 4
i integer 0
exchange
表 头 0

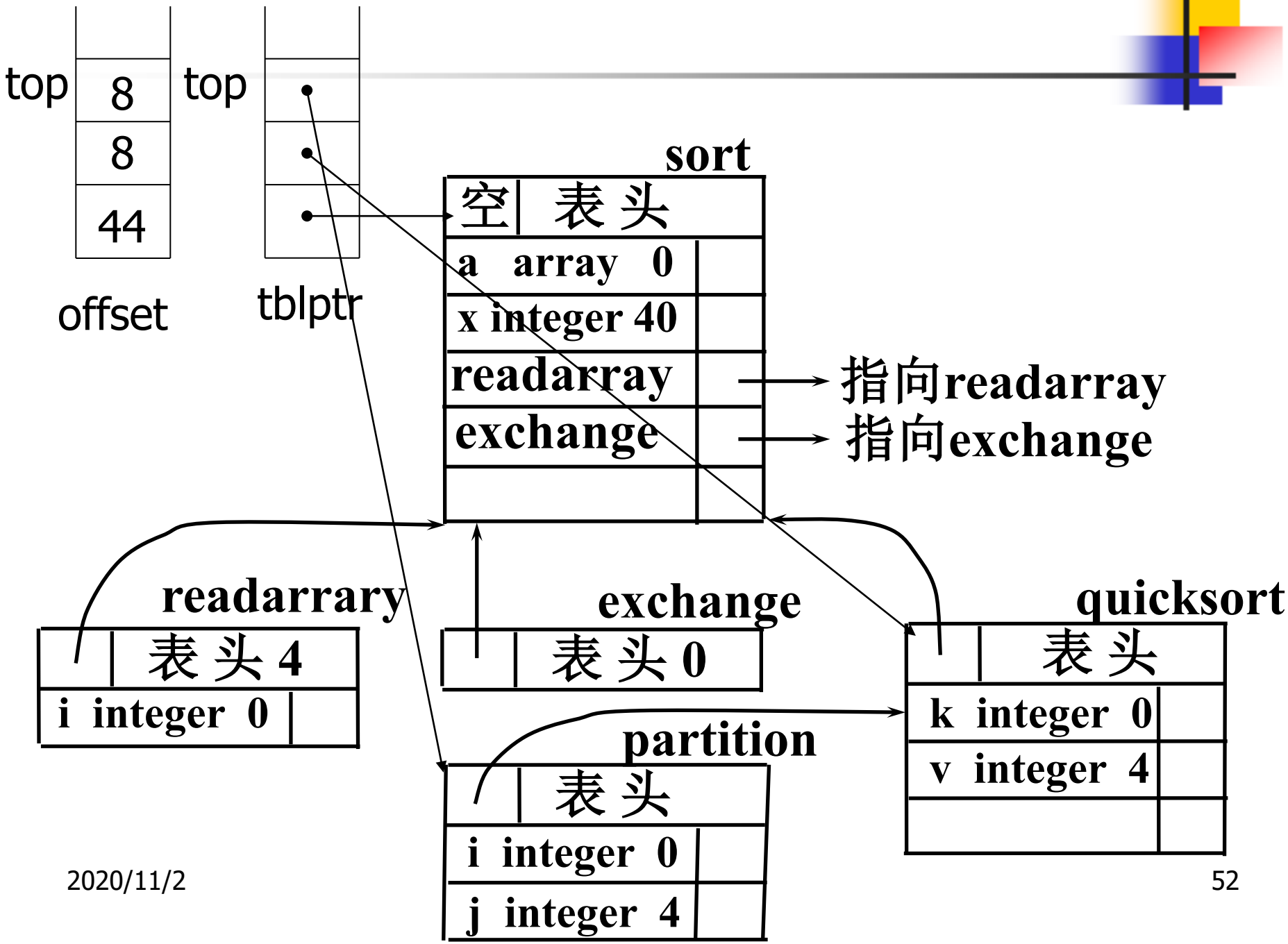

top
0
44
offset
top
tblptr
sort
空
表 头
a array 0
x integer 40
readarray
exchange
指向readarray
指向exchange
readarrary
表 头 4
i integer 0
exchange
表 头 0
quicksort
表 头

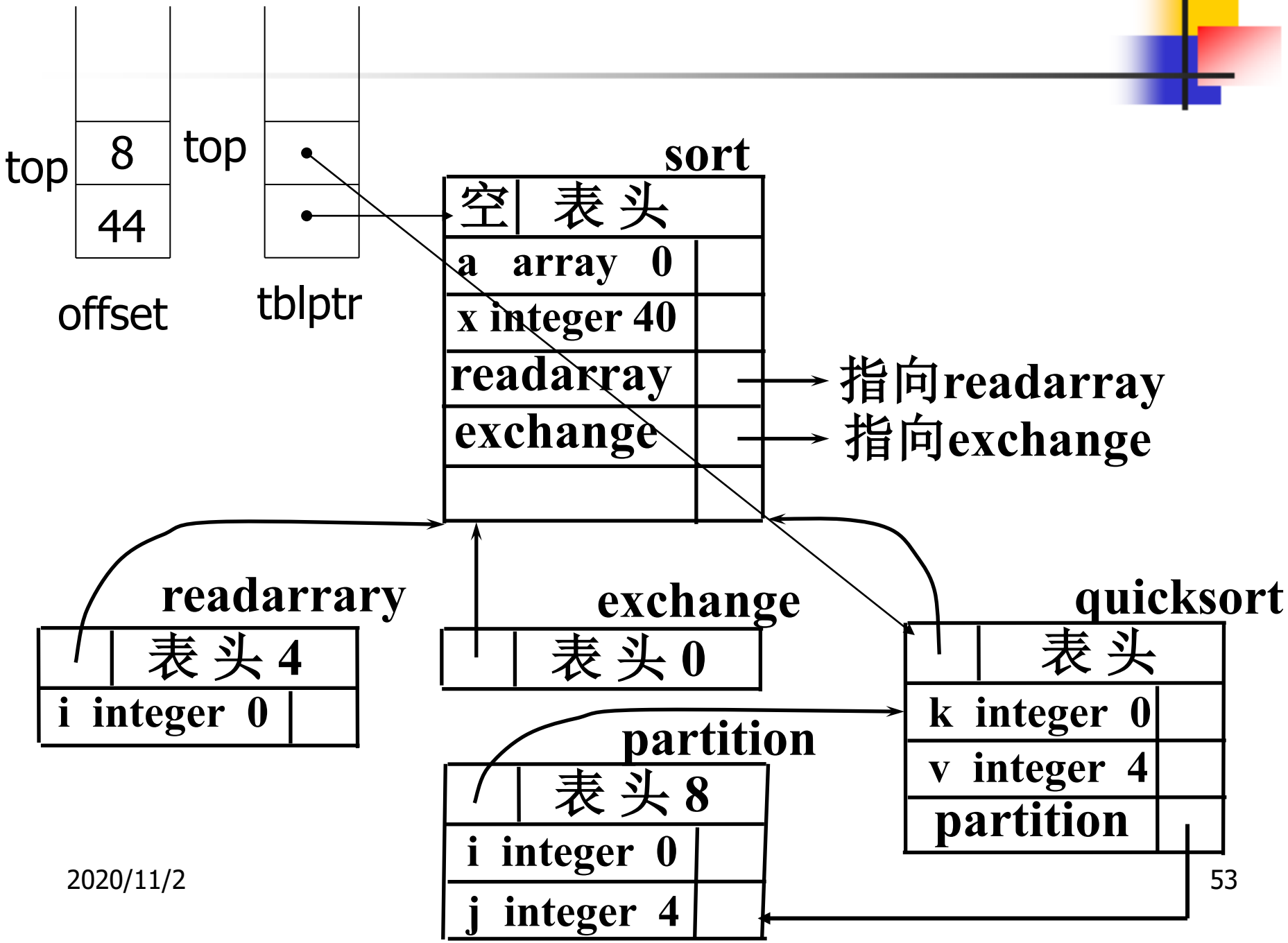

top
4
44
offset
top
tblptr
sort
空
表 头
a array 0
x integer 40
readarray
exchange
指向readarray
指向exchange
readarrary
表 头 4
i integer 0
exchange
表 头 0
quicksort
表 头
k integer 0

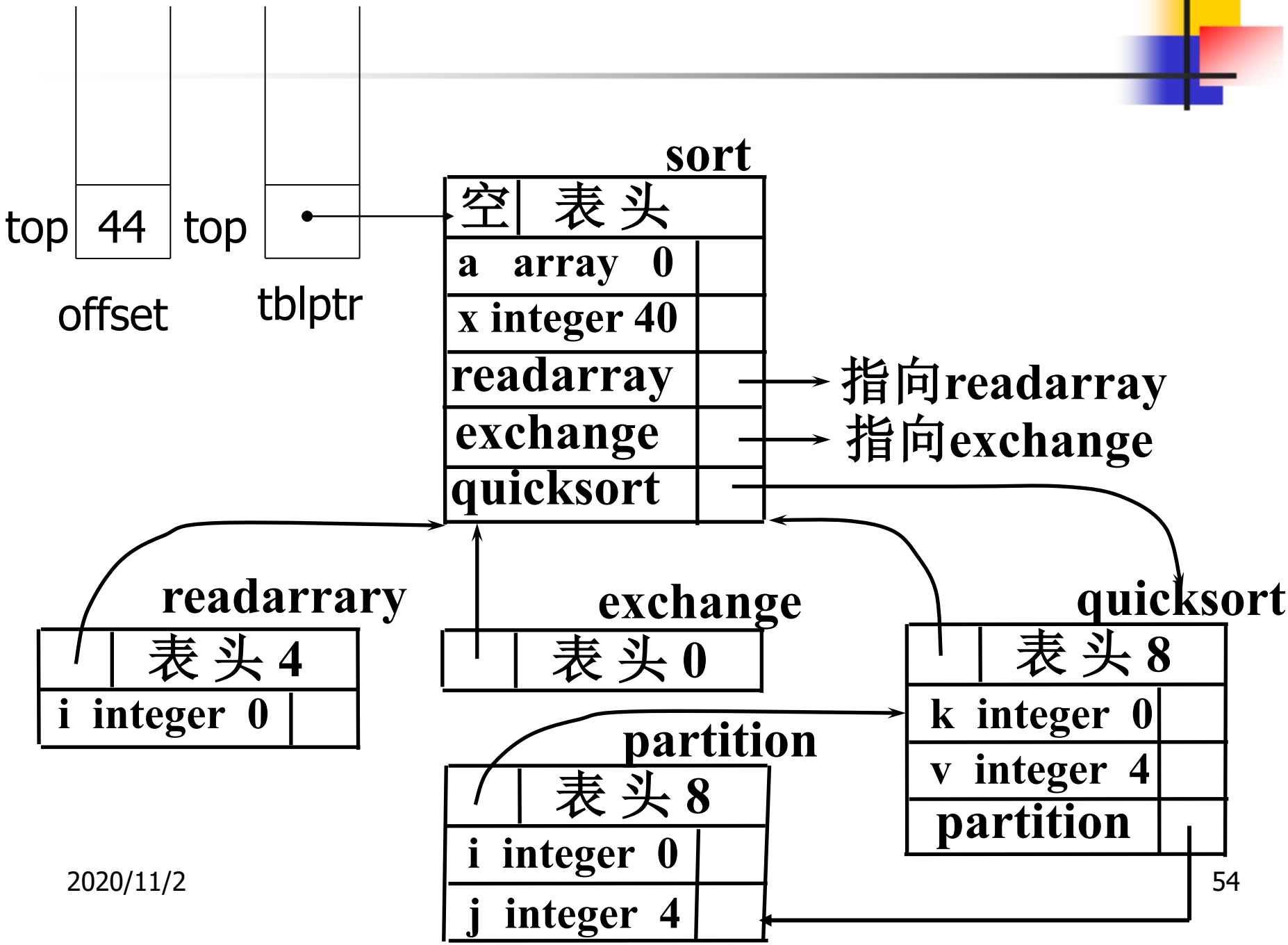

top
8
44
offset
top
tblptr
sort
空
表 头
a array 0
x integer 40
readarray
exchange
指向readarray
指向exchange
readarrary
表 头 4
i integer 0
exchange
表 头 0
quicksort
表 头
k integer 0
v integer 4

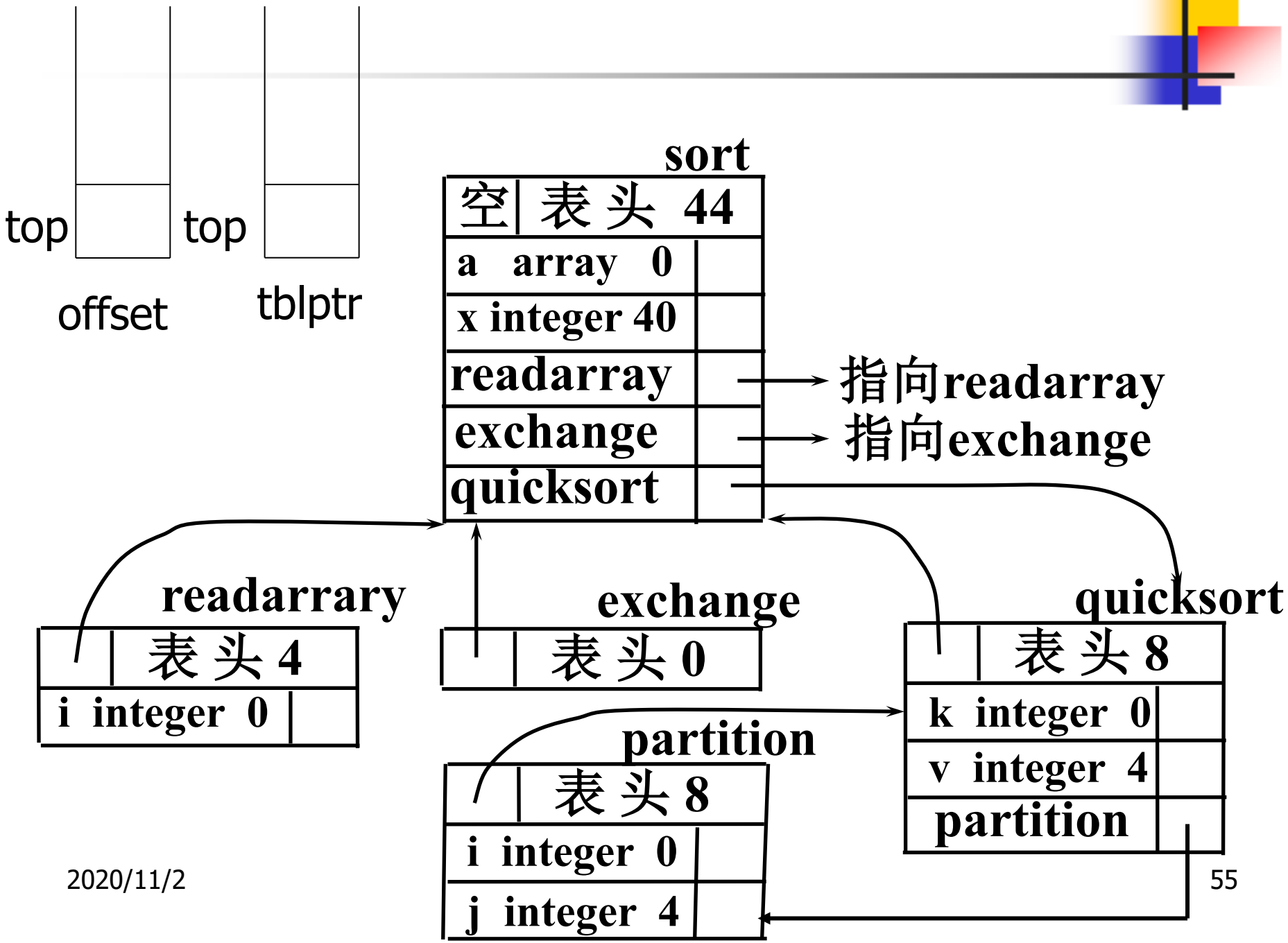

top
0
8
44
offset
top
tblptr
sort
空
表 头
a array 0
x integer 40
readarray
exchange
指向readarray
指向exchange
readarrary
表 头 4
i integer 0
exchange
表 头 0
quicksort
表 头
k integer 0
v integer 4
partition
表 头


top
4
8
44
offset
top
tblptr
sort
空
表 头
a array 0
x integer 40
readarray
exchange
指向readarray
指向exchange
readarrary
表 头 4
i integer 0
exchange
表 头 0
quicksort
表 头
k integer 0
v integer 4
partition
表 头
i integer 0


top
8
8
44
offset
top
tblptr
sort
空
表 头
a array 0
x integer 40
readarray
exchange
指向readarray
指向exchange
readarrary
表 头 4
i integer 0
exchange
表 头 0
quicksort
表 头
k integer 0
v integer 4
partition
表 头
i integer 0
j integer 4


top
8
44
offset
top
tblptr
sort
空
表 头
a array 0
x integer 40
readarray
exchange
指向readarray
指向exchange
readarrary
表 头 4
i integer 0
exchange
表 头 0
quicksort
表 头
k integer 0
v integer 4
partition
partition
表 头 8
i integer 0
j integer 4


top
44
offset
top
tblptr
sort
空
表 头
a array 0
x integer 40
readarray
exchange
quicksort
指向readarray
指向exchange
readarrary
表 头 4
i integer 0
exchange
表 头 0
quicksort
表 头 8
k integer 0
v integer 4
partition
partition
表 头 8
i integer 0
j integer 4

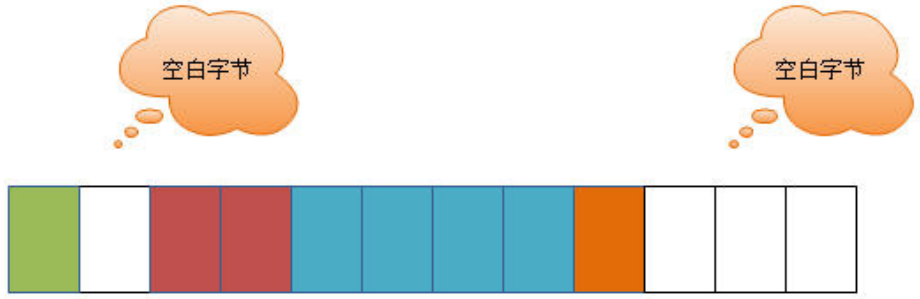

top
top
offset
tblptr
sort
空 表头 44
a array 0
x integer 40
readarray
exchange
quicksort
指向readarray
指向exchange
readarrary
表头 4
i integer 0
exchange
表头 0
quicksort
表头 8
k integer 0
v integer 4
partition
partition
表头 8
i integer 0
j integer 4

7.2.6 记录的翻译

- 空间分配
  - 设置首地址和各元素的相对地址
  - 对齐问题
- 例：

```
struct Node {
    float x, y;
    struct node *next;
} node;
```

```
struct test
{
    char  x1;
    short x2;
    float x3;
    char  x4;
};
```



7.2.6 记录的翻译

- 符号表及有关表格处理
  - 为每个记录类型单独构造一张符号表
  - 将域名id的信息(名字、类型、字节数)填入到该记录的符号表中
  - 所有域都处理完后，offset将保存记录中所有数据对象的宽度总和
  - T.type通过将类型构造器record应用于指向该记录符号表的指针获得

7.2.6 记录的翻译

T → record D end

T → record L D end
{T.type := record(top(tblptr));
T.width := top(offset);
pop(tblptr); pop(offset) }

L → ε {t := mktable(nil);
push(t,tblptr);push(0,offset)}

7.3 赋值语句的翻译

- 辅助子程序
  - gencode(code)：产生一条中间代码
  - newtemp：产生新的临时变量
  - lookup：检查符号表中是否出现某名字
- 语义属性设置
  - 中间代码序列：code
  - 地址：addr
  - 下一条四元式序号：nextquad

7.3.1 简单赋值语句的翻译

$S \rightarrow$ id := E {p := lookup(id.name);
if p ≠ nil then
gencode(p, ':=', E.addr)
else error }

$E \rightarrow E_1 + E_2$ {E.addr := newtemp;
gencode(E.addr,':=',E_1.addr,'+',E_2.addr)}

$E \rightarrow -E_1$ {E.addr := newtemp;
gencode(E.addr,':=','uminus',E_1.addr)}

$E \rightarrow (E_1)$ {E.addr := E_1.addr }

$E \rightarrow$ id {p := lookup(id.name);
if p ≠ nil then E.addr := p else error }

临时名字的重用

- 临时变量的使用对优化有利
  - x := a * b + c * d – e * f
- 大量临时变量会增加符号表管理的负担，也会增加运行时临时数据占据的空间

$E \rightarrow E_1 + E_2$的动作产生的代码的一般形式为

计算E_1到t_1

计算E_2到t_2

$t_3 := t_1 + t_2$

(( ))((( )( ))( ))

临时变量的生存期像配对括号那样嵌套或并列

基于临时变量生存期特征的三地址代码

x := a * b + c * d – e * f

语　句	计数器c的值
	0
$0 := a * b	1
$1 := c * d	2
$0 := $0 + $1	1
$1 := e * f	2
$0 := $0 – $1	1
x := $0	0

引入一个计数器c，它的初值为0。每当临时变量仅作为运算对象使用时，c减去1；每当要求产生新的临时名字时，使用$c并把c增加1。

7.3.2 数组元素的寻址

数组说明的翻译

- 符号表及有关表格的处理
- 维数、下标上界、下标下界、类型等
- 首地址、需用空间计算
- 按行存放、按列存放——影响具体元素地址的计算

- 数组元素引用的翻译
  - 完成上下界检查
  - 生成完成**相对地址**计算的代码
- 目标
  - x := y[i] 和 y[i] := x
  - y为数组地址的固定部分——相当于第1个元素的地址，i是相对地址

A[1, 1], A[1, 2], A[1, 3]
A[2, 1], A[2, 2], A[2, 3]

数组元素地址计算——行优先

- **一维数组A[low_1:up_1]（$n_k=up_k-low_k+1$）**

addr(A[i])=base+(i-low_1)*w

=(base-low_1*w)+i*w=c+i*w

- **二维数组A[low_1:up_1 ,low_2:up_2]； A[i_1,i_2]**

addr(A[i_1,i_2])=base+((i_1- low_1)*n_2+(i_2-low_2))*w

= base+(i_1- low_1)*n_2*w+(i_2-low_2)*w

= base- low_1* n_2*w-low_2*w +i_1 * n_2*w+ i_2*w

= base-(low_1* n_2 -low_2)*w +(i_1 * n_2 + i_2)*w

=c+(i_1*n_2+ i_2)*w

数组元素地址计算的翻译方案设计

下标变量访问的产生式

$L \rightarrow id[Elist] \mid id$

$Elist \rightarrow Elist, E \mid E$

为了使数组各维的长度n在我们将下标表达式合并到Elist时是可用的，需将产生式改写为：

$L \rightarrow Elist\ ] \mid id$

$Elist \rightarrow Elist, E \mid id[E$

数组元素地址计算的翻译方案设计

$L \rightarrow Elist\ ] \mid id$

$Elist \rightarrow Elist, E \mid id[E$

- 目的
  - 使我们在整个下标表达式列表Elist的翻译过程中随时都能知道符号表中相应于数组名id的表项，从而能够了解登记在符号表中的有关数组id的全部信息。
  - 于是我们就可以为非终结符Elist引进一个综合属性Elist.array，用来记录指向符号表中相应数组名字表项的指针。

数组元素地址计算的翻译方案设计

- 属性
  - Elist.array，用来记录指向符号表中相应数组名字表项的指针。
  - Elist.ndim，用来记录Elist中下标表达式的个数，即Elist的维数。
  - Elist.addr，用来临时存放Elist的下标表达式计算出来的值。
- 函数
  - limit(array, j)，返回n_j

7.3.3 带有数组引用的赋值语句的翻译

S → Left := E

E → E + E

E → (E)

E → Left

Left → Elist]

Left → id

Elist → Elist,E

Elist → id[E

赋值语句的翻译模式

Left→id {Left.addr :=id.addr; Left.offset:=null}

Elist→id[E {Elist.addr:=E.addr;
Elist.ndim := 1;
Elist.array := id.addr }

左值是简单名字

Elist→Elist$_1$,E {t:=newtemp; m:=Elist$_1$.ndim+1;
gencode(t,‘:=’,Elist$_1$.addr,‘*’, limit(Elist$_1$.array,m));
gencode(t,‘:=’,t,‘+’,E.addr);
Elist.array := Elist$_1$.array;
Elist.addr := t; Elist.ndim := m}

i_1*n_2

$(i_1*n_2)+i_2$

Left → Elist] { Left.addr := newtemp;
Left.offset := newtemp;
gencode(Left.addr,‘:=’,base(Elist.array),‘–’,invariant(Elist.array));
gencode(Left.offset,‘:=’,Elist.addr,‘*’,w)}

base-(low$_1$* n$_2$ -low$_2$)*w

$((i_1*n_2)+i_2)*w$

赋值语句的翻译模式

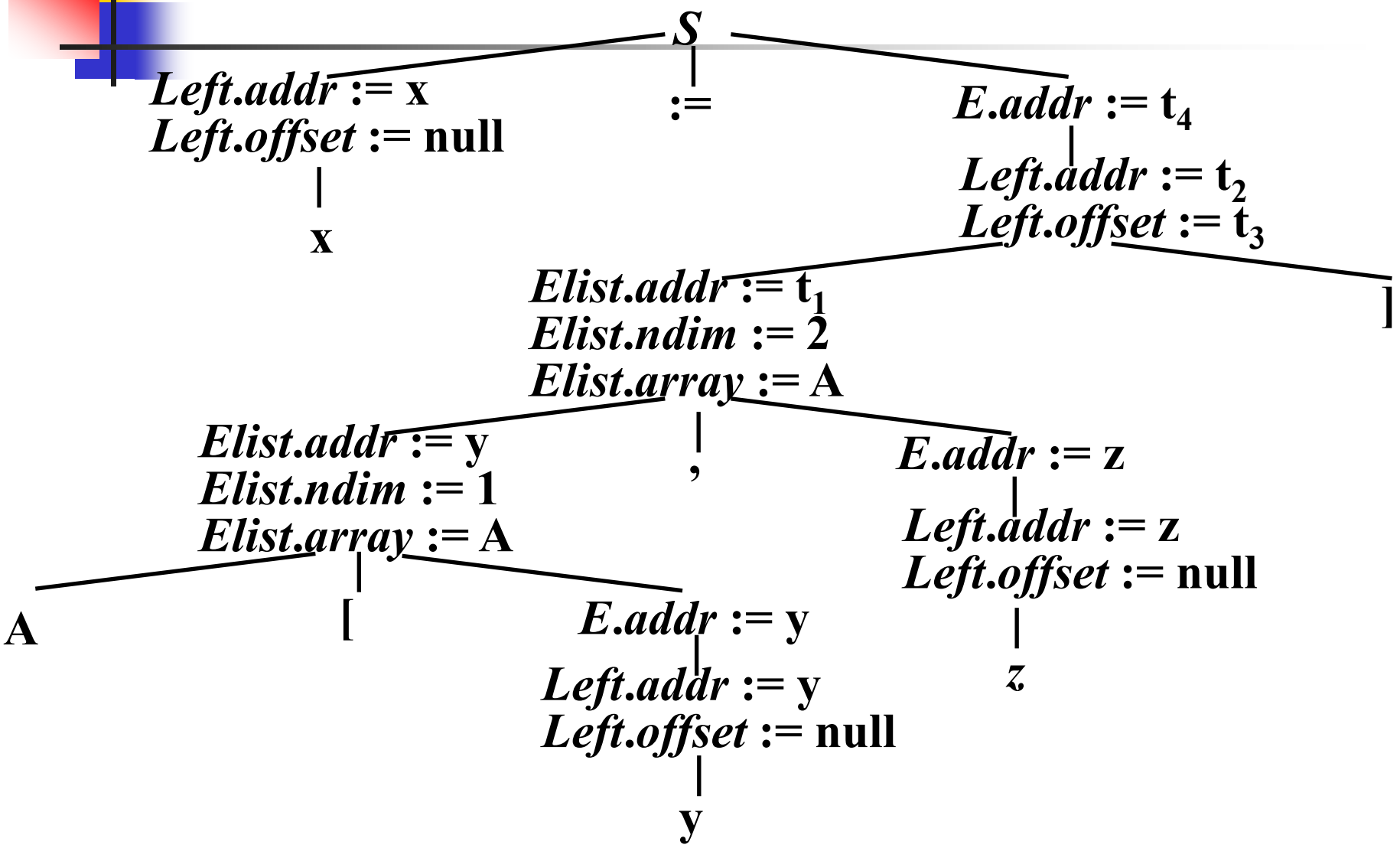
E → Left {if Left.offset = null then /* Left是简单变量 */
E.addr := Left.addr
else begin E.addr := newtemp;
gencode(E.addr,‘:=’,Left.addr,‘[’,Left.offset,‘]’)end}

E → E_1 + E_2 {E.addr := newtemp;
gencode(E.addr,‘:=’,E_1.place,‘+’,E_2.addr)}

E → (E_1) {E.addr := E_1.addr }

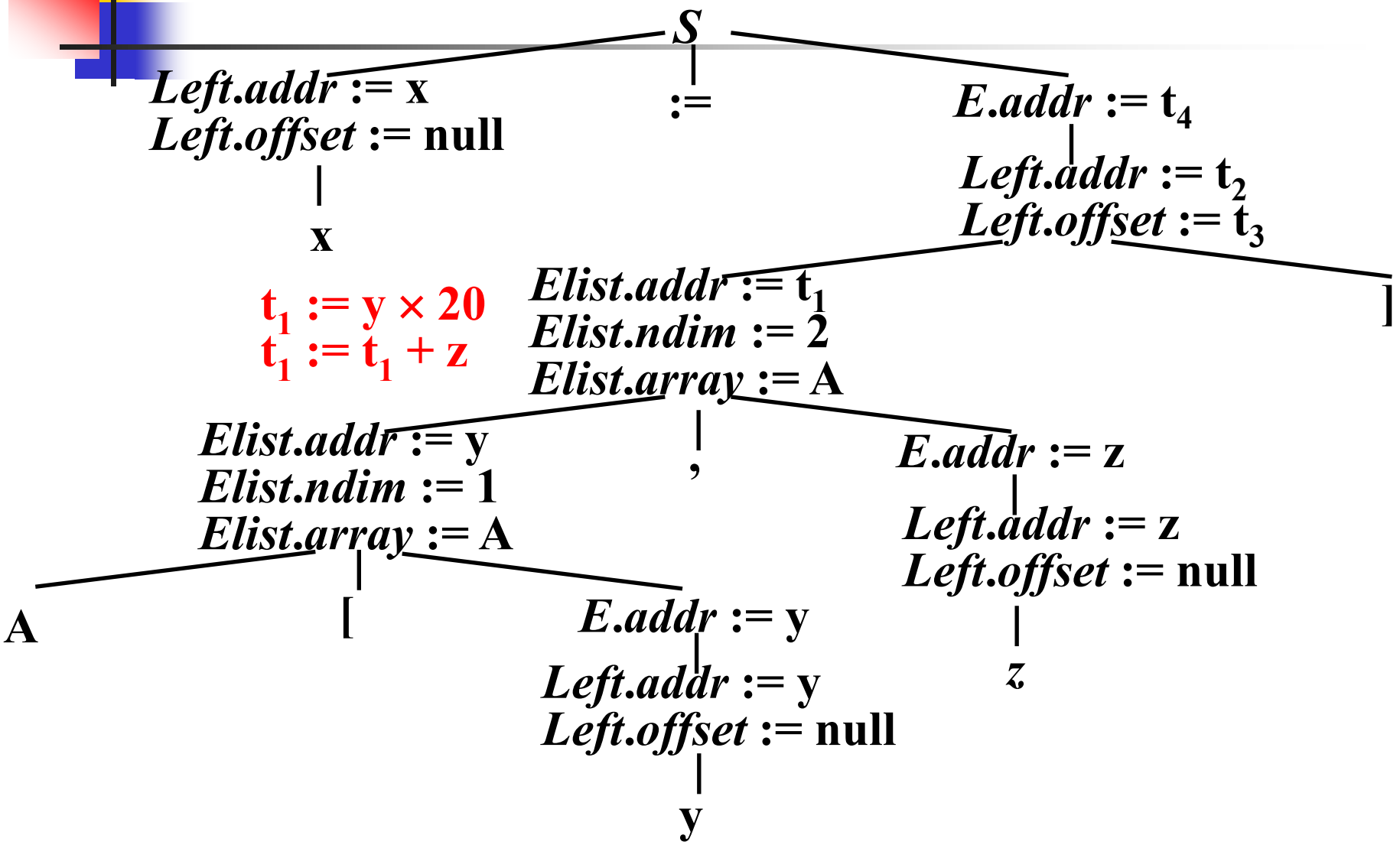
S → Left := E {if Left.offset=null then /*Left是简单变量*/
gencode(Left.addr, ‘:= ’, E.addr)
else
gencode(Left.addr,‘[’,Left.offset,‘]’,‘:=’,E.addr)}

例：设A是一个10×20的整型数组



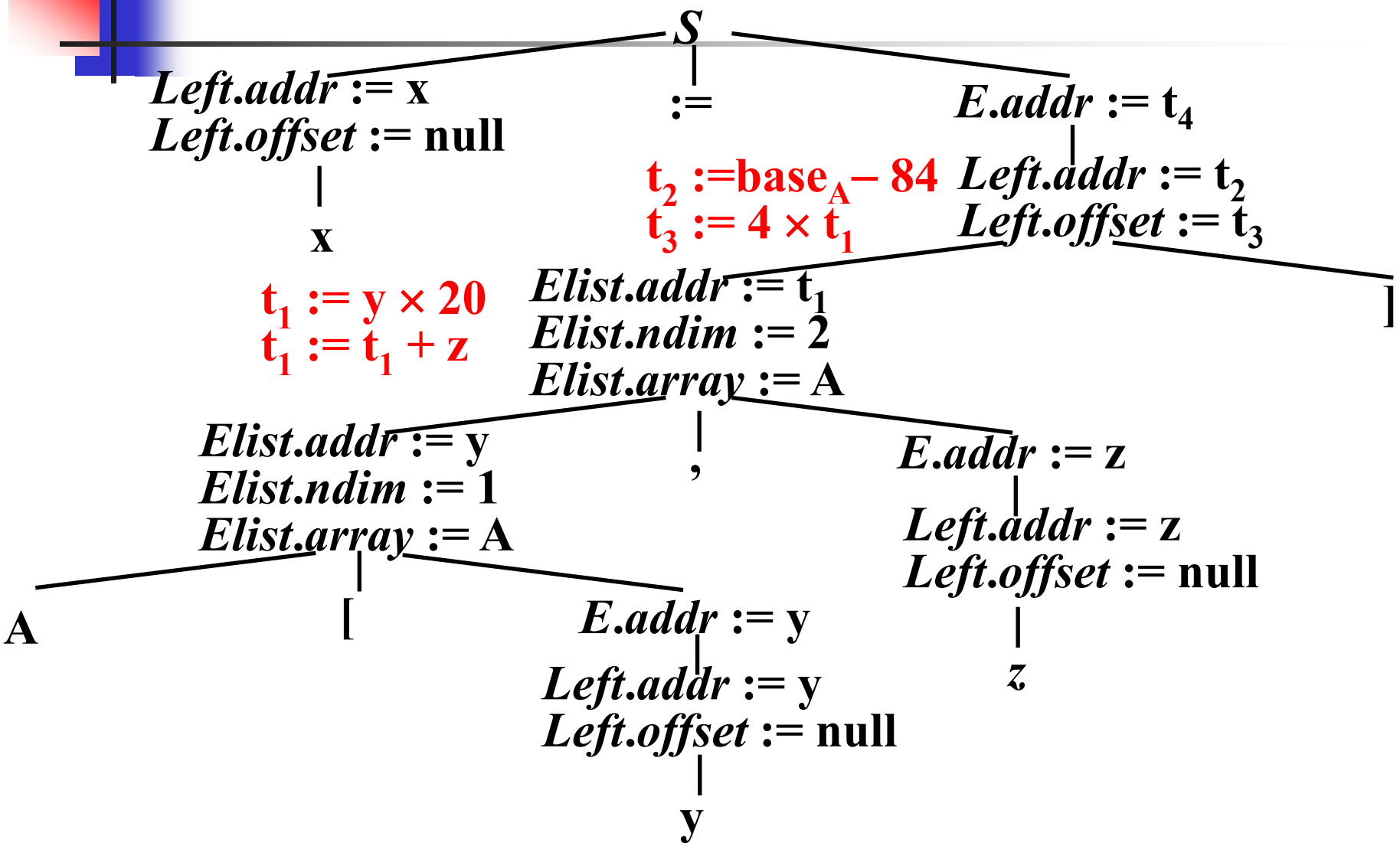
x := A[y, z]的注释分析树

例：设A是一个10×20的整型数组



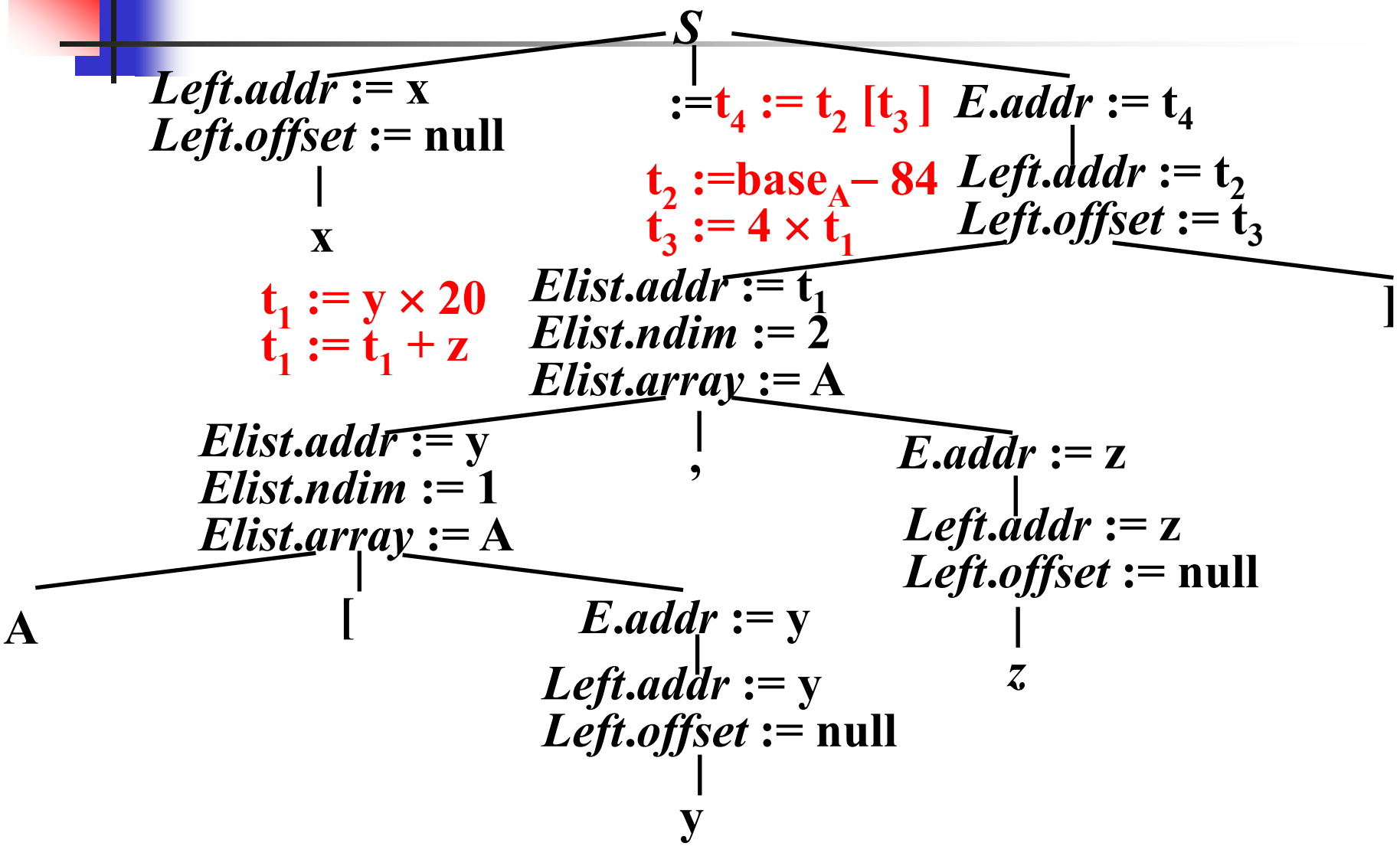
x := A[y, z]的注释分析树

例：设A是一个10×20的整型数组



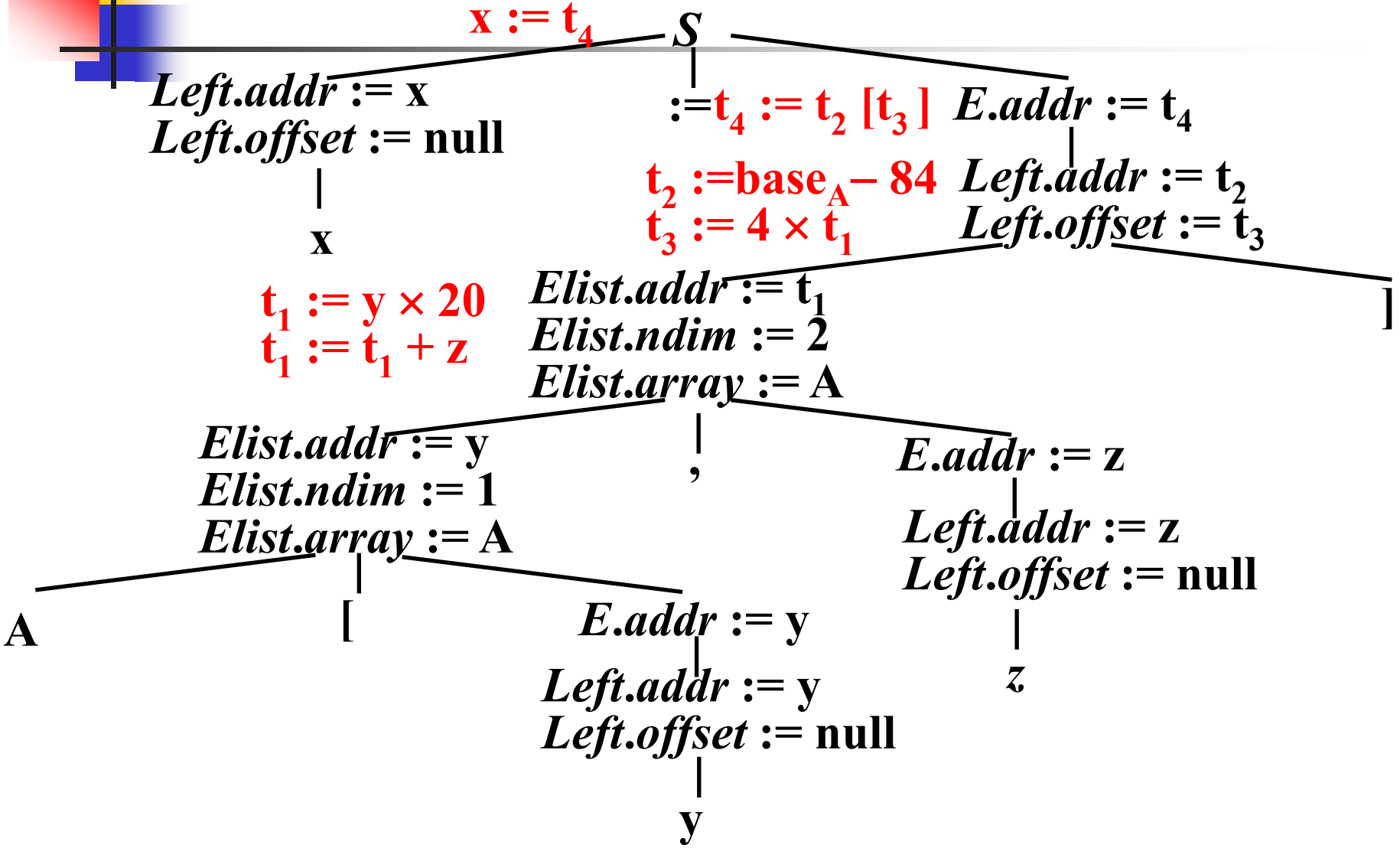
x := A[y, z]的注释分析树

例：设A是一个10×20的整型数组



x := A[y, z]的注释分析树

例：设A是一个10×20的整型数组



x := A[y, z]的注释分析树

7.4 类型检查

- 类型检查具有发现程序错误的能力，为了进行类型检查，编译程序需要为源程序的每个语法成分赋予一个类型表达式，名字的类型表达式保存在**符号表**中，其他语法成分(如表达式E或语句S)的类型表达式则作为文法符号的属性保存在**语义栈**中。
- 类型检查的任务就是确定这些类型表达式是否符合一定的规则，这些规则的集合通常称为源程序的**类型系统**

7.4.1 类型检查的规则

- 类型检查的两种形式
  - 类型综合
  - 类型推断

7.4.1 类型检查的规则

- 类型综合
  - 从子表达式的类型确定表达式的类型
  - 要求名字在引用之前必须先进行声明
  - if f的类型为$s \rightarrow t$ and x的类型为s then 表达式$f(x)$的类型为t

7.4.1 类型检查的规则

- 类型推断
  - 根据
  - 经常
  - if f(
    方式
    and

```
type link = * cell;
procedure mlist(lptr: link, procedure p)
begin
      while lptr<>nil do
      begin
            p(lptr)
            lptr = lptr.next
      end
end;
```

7.4.2 类型转换

x := y + i * j

（x和y的类型是real，i和j的类型是integer）

中间代码

t_1 := i int× j

t_2 := inttoreal t_1

t_3 := y real+ t_2

x := t_3

7.4.2 类型转换

$E \rightarrow E_1 + E_2$的语义子程序

{E.addr := newtemp
if E_1.type = integer and E_2.type = integer then begin
gencode(E.addr,':=',E_1.addr,'int+',E_2.addr);
E.type = integer
end
else if E_1.type = integer and E_2.type = real then begin
u := newtemp;
gencode(u,':=','inttoreal',E_1.addr);
gencode(E.addr,':=',u,'real+',E_2.addr);
E.type := real
end . . .}

7.5 控制结构的翻译

- 高级语言的控制结构
  - 顺序结构 begin 语句; … ； 语句end
  - 分支结构 if_then_else、if_then
    switch、case
  - 循环结构 while_do、do_while
    for、repeat_until
  - goto语句

7.5 控制结构的翻译

- 控制语句的翻译与布尔表达式的翻译有关
- 布尔表达式的两种作用
  - 计算逻辑值
  - 改变控制流程

7.5.1 布尔表达式的翻译

- 基本文法

$B \rightarrow B_1 \text{ or } B_2 \mid B_1 \text{ and } B_2 \mid \text{not } B_1 \mid (B_1) \mid E_1 \text{ relop } E_2 \mid \text{true} \mid \text{false}$

- 表示布尔表达式的值的两种形式
  - 数值表示法(与算术表达式的处理类似)
    - 真：B.addr = 1
    - 假：B.addr = 0
  - 真假出口表示法(作为其他语句的条件改变控制流程，用程序到达的位置表示布尔表达式的值)
    - 真出口：B.true
    - 假出口：B.false

用数值表示布尔值的翻译

- a or b and not c
  - t_1:=not c
  - t_2:=b and t_1
  - t_3:=a or t_2
- a<b (if a < b then 1 else 0)
  - 100: if a<b goto 103
  - 101: t:=0
  - 102: goto 104
  - 103: t:=1
  - 104

用数值表示布尔值的翻译

- *nextquad*是下一条三地址码指令的序号，每生成一条三地址码指令*gencode*便会将*nextquad*加1

$B \rightarrow B_1$ or B_2 {B.addr := newtemp;

gencode(B.addr':='B_1.addr‘or'B_2.addr)}

$B \rightarrow B_1$ and B_2 {B.addr := newtemp;

gencode(B.addr':='B_1.addr‘and'B_2.addr)}

$B \rightarrow$ not B_1 {B.addr := newtemp;

gencode(B.addr':= ' 'not'B_1.addr)}

用数值表示布尔值的翻译

$B \rightarrow (B_1)$ {B.addr:= B_1.addr}

$B \rightarrow E_1$ relop E_2 {B.addr := newtemp;

gencode('if'E_1.addr relop.op E_2.addr'goto'nextquad+3);

gencode(B.addr ':= ''0') ;

gencode('goto'nextquad+2);

gencode(B.addr ':= ''1')}

B → true {B.addr:= newtemp; gencode(B.addr ':= ''1')}

B → false {B.addr:= newtemp; gencode(B.addr ':= ''0')}

例7.8 对a<b or c<d and e<f的翻译

100: if a<b goto 103

101: t1:= 0

102: goto 104

103: t1 := 1

104: if c<d goto 107

105: t2 := 0

106: goto 108

107: t2 := 1

108: if e<f goto 111

109: t3 := 0

110: goto 112

111: t3 := 1

112: t4 := t2 and t3

113: t5 := t1 or t4

7.5.2 常见控制结构的翻译

- 文法
  - $S \rightarrow$ if B then $S1$
  - $S \rightarrow$ if B then $S1$ else $S2$
  - $S \rightarrow$ while B do $S1$
  - $S \rightarrow$ begin $Slist$ end
  - $Slist \rightarrow Slist; S \mid S$
- B是控制结构中的布尔表达式
- 函数newlabel返回一个新的语句标号
- 属性B.true和B.false分别用于保存B为真和假时控制流要转向的语句标号

7.5.2 常见控制结构的翻译

- 翻译*S*时允许控制从*S.code*中跳转到紧接在*S.code*之后的那条三地址码指令
- 在某些情况下，紧跟*S.code*的指令是跳转到某个标号*L*的跳转指令，用继承属性*S.next*避免从*S.code*中跳转到一条跳转指令这样的连续跳转。
- *S.next*的值是一个语句标号，它是*S*的代码执行后应执行的第一个三地址码指令的标号。
- while语句中用S.begin保存语句的开始位置，作为布尔表达式B的第一条指令的标号

7.5.2 常见控制结构的翻译

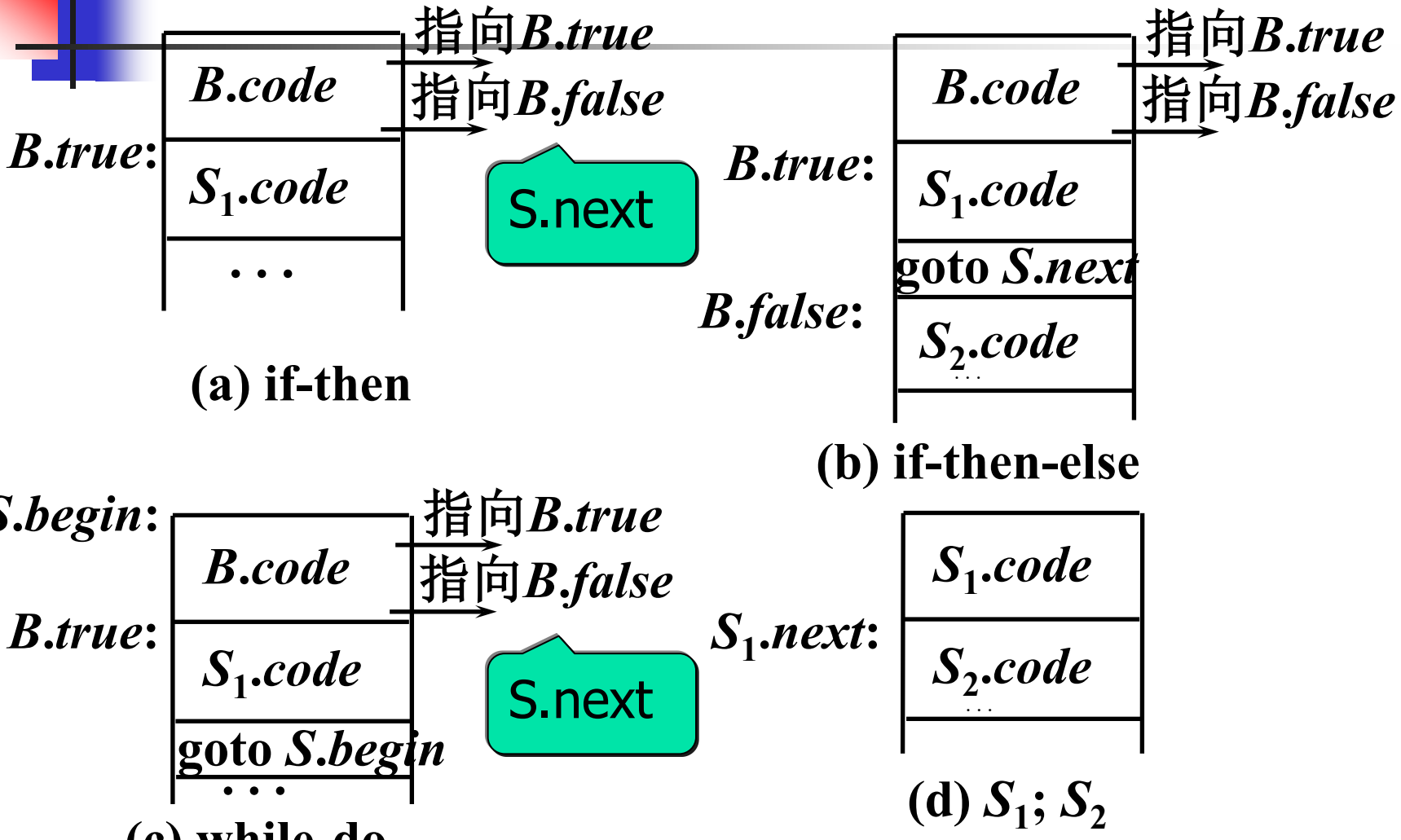
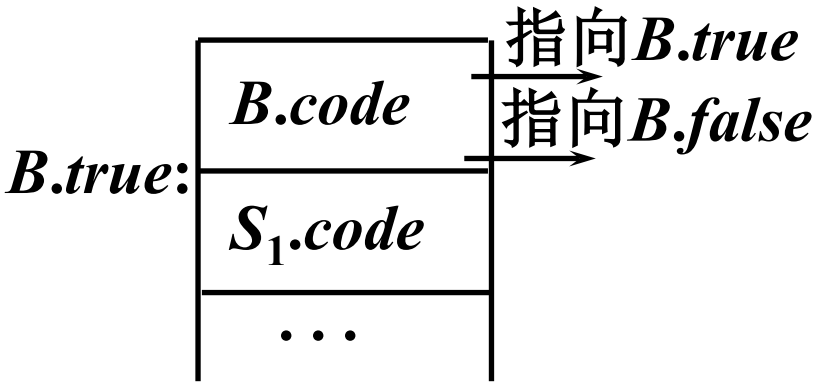


图7.25 if-then、if-then-else和while-do语句的目标代码结构

7.5.2 常见控制结构的翻译

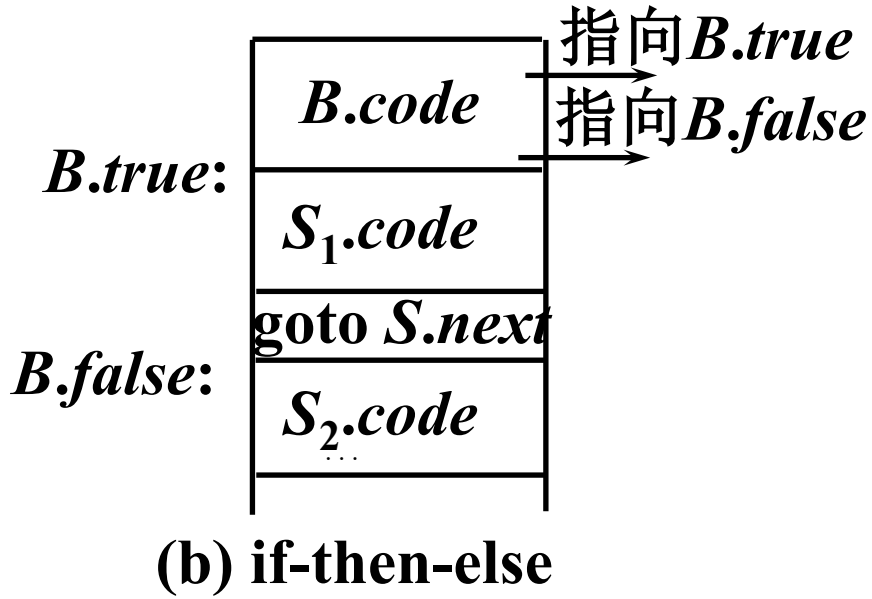


(a) if-then

$S \rightarrow$ if B then S_1

{B.true := newlabel;
B.false := S.next;
S_1.next := S.next;
S.code:=B.code||gencode(B.true,‘:’)||S_1.code }

7.5.2 常见控制结构的翻译



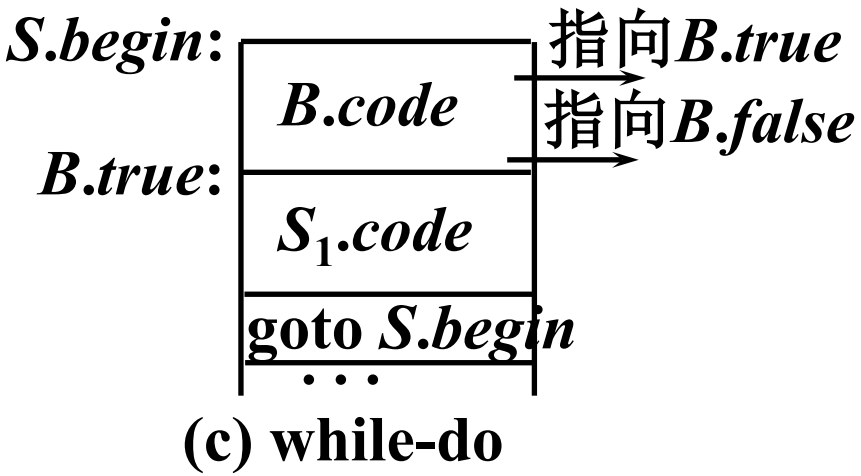
(b) if-then-else

$S \rightarrow$ if B then S_1 else S_2

{B.true := newlabel;
B.false := newlabel;
S_1.next := S.next;
S_2.next := S.next;
S.code :=B.code||gencode(B.true,':')||S_1.code ||
gencode('goto',S.next)||gen(B.false,':')||S_2.code}

7.5.2 常见控制结构的翻译

$S \rightarrow$ while B do S_1



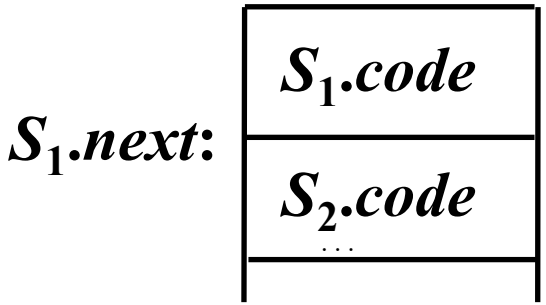
(c) while-do

{S.begin:= newlabel;
B.true := newlabel;
B.false := S.next;
S_1.next := S.begin;
S.code:=gencode(S.begin,':')||B.code||
gencode(B.true,':')||S_1.code||
gencode('goto',S.begin)}

7.5.2 常见控制结构的翻译

$S \rightarrow S_1; S_2$

{S_1.next:=newlabel;S_2.next:=S.next;
S.code:=S_1.code||gencode(S_1.next,‘:’)||S_2.code}



(d) S_1; S_2

7.5.3 布尔表达式的控制流翻译

- 属性
  - B.true，B为真时控制到达的位置；
  - B.false，B为假时控制到达的位置。
- a<b
  - if a<b goto B.true
  - goto B.false
- $B \rightarrow B_1$ or B_2
  - 如果B_1为真，则立即可知B为真，即B_1.true与B.true相同；
  - 如果B_1为假，则必须计算B_2的值，令B_1.false为B_2的开始
  - B_2的真假出口分别与B的真假出口相同

简单布尔表达式的翻译示例

——例7.9 a<b or c<d and e<f

if a<b goto Ltrue

goto L_1

L_1:if c<d goto L_2

goto Lfalse

L_2:if e<f goto Ltrue

goto Lfalse

7.5.3 布尔表达式的控制流翻译

$B \rightarrow B_1$ or B_2 {B_1.true:=B.true; B_1.false:=newlabel;

B_2.true=B.true; B_2.false:=B.false;

B.code := B_1.code||gencode(B_1.false':')||B_2.code}

$B \rightarrow B_1$ and B_2 {B_1.true:= newlabel; B_1.false:= B.false;

B_2.true=B.true; B_2.false:=B.false;

B.code := B_1.code||gencode(B_1.true':')||B_2.code}

$B \rightarrow$ not B_1 {B_1.true:=B.false; B_1.false:=B.true;

B.code :=B_1.code}

7.5.3 布尔表达式的控制流翻译

$B \rightarrow (B_1)$ {B_1.true:=B. true; B_1.false:=B.false;

B.code:=B_1.code}

$B \rightarrow E_1$ relop E_2

{B.code:=gencode('if'E_1.addr relop E_2.addr'goto'B.true);

|| gencode('goto' B.false)}

B → true {B.code:=gencode('goto' B.true)}

B → false {B.code:=gencode('goto' B.false)}

例7.10：翻译下列语句

while a < b do

B_1

if c < d then

B_2

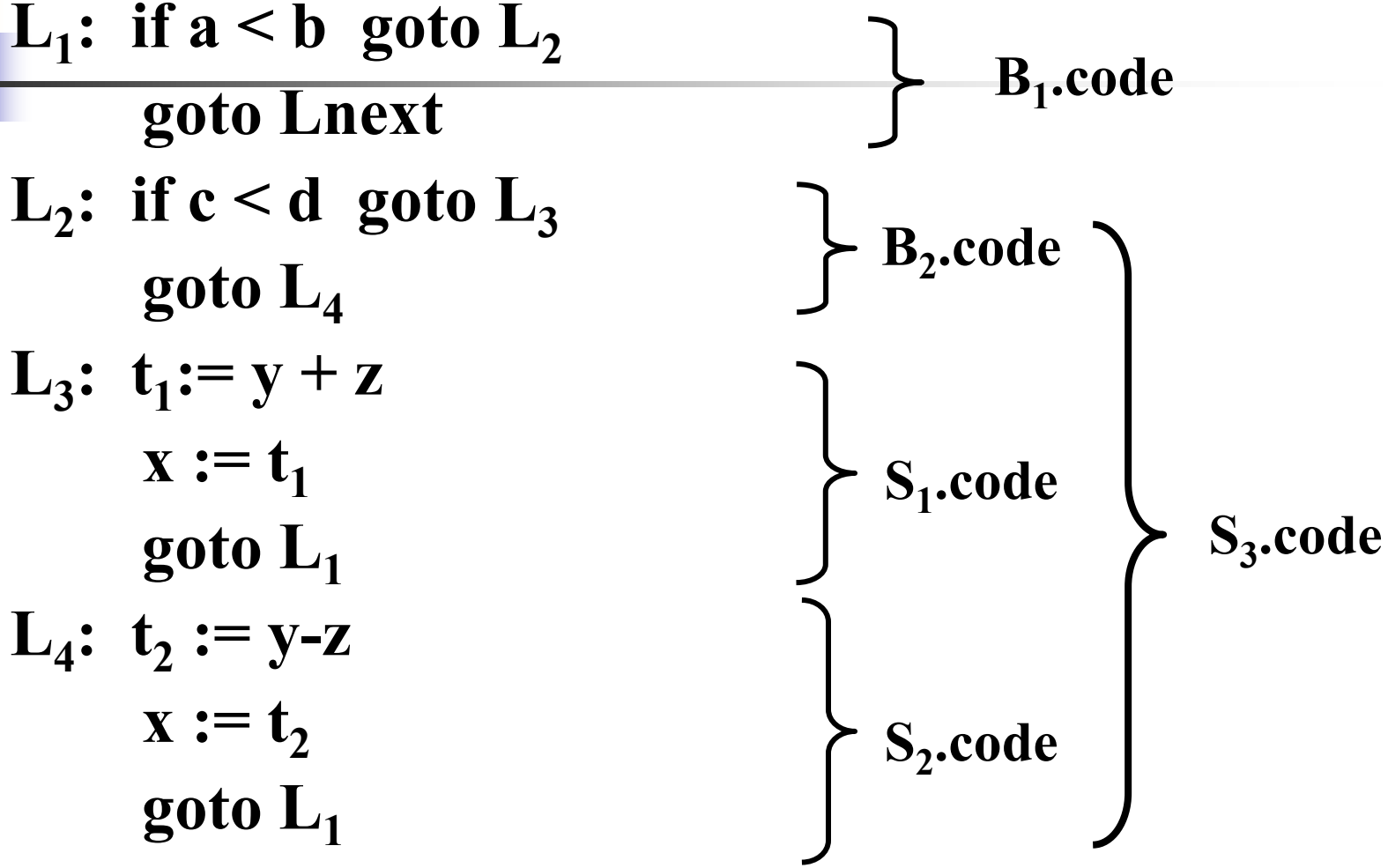
S_3 { S_1 x := y+z

else

S_2 x := y-z }

生成的三地址代码序列

while a<b do if c<d then x:=y+z else x:=y-z



7.5.4 混合模式的布尔表达式翻译

$E \rightarrow E_1$ relop $E_2 \mid E_1 + E_2 \mid E_1$ and $E_2 \mid$ id

- $E_1 + E_2$、 id 产生算术结果
- E_1 relop E_2 、 E_1 and E_2产生布尔值
- E_1 and E_2： E_1和E_2必须都是布尔型的
- 引入语义属性
  - E.type：arith 或者bool
  - E.true, E.false：E为布尔表达式
  - E.addr：E为算术表达式

7.5.4 混合模式的布尔表达式翻译

$E \rightarrow E_1$ relop E_2

{E.code := E_1.code||E_2.code||

gencode(‘if’E_1.addr relop E_2.addr ‘goto‘E.true)||

gencode('goto'E.false)}

7.5.4混合模式的布尔表达式翻译

$E \rightarrow E_1 + E_2$ {E.type:=arith;

if E_1.type = arith and E_2.type=arith then begin

E.addr:=newtemp; E.code:= E_1.code ||E_2.code||

gencode(E.addr':='E_1.addr '+'E_2.addr) end

else if E_1.type = arith and E_2.type=bool then begin

E.addr:=newtemp;E_2.true:=newlabel;E_2.false:=newlabel;

E.code:=E_1.code ||E_2.code|| gencode(E_2.true':'E.addr

':='E_1.addr+1)||gencode('goto' nextquad+2) ||

gencode(E_2.false':'E.addr ':='E_1.addr)

else if …….}

混合模式布尔表达式的翻译示例

——例如：4+a>b-c and d

t_1=4+a

t_2=b-c

if t_1>t_2 goto L_1

goto Lfalse

L_1: if d goto Ltrue

goto Lfalse

7.6 回填

- 两遍扫描
  - 语法制导定义的最简单实现方法
  - 从给定的输入构造出一棵语法树；
  - 对语法树按深度优先进行遍历,在遍历过程中执行语法制导定义中给出的翻译动作
  - 效率较低

7.6 回填

- 一遍扫描
  - 通过单遍扫描为布尔表达式和控制流语句生成代码

7.6 回填

- 问题：生成跳转语句时可能不知道要转向指令的标号
  - 先产生暂时没有填写目标标号的转移指令
  - 对于每一条这样的指令作适当的记录，建一个链表
  - 一旦确定了目标标号,再将它“回填”到相应的指令
- B.truelist和B.falselist分别用于保存B的值为真或者假时待回填的跳转代码序列

7.6 回填

翻译模式用到如下三个函数：

1．makelist(i)：创建一个只包含i的新表，i是四元式数组的一个索引(下标)，或者说i是四元式代码序列的一个标号。

2．merge(p1, p2)：合并由指针p1和p2指向的两个表并且返回一个指向合并后的表的指针。

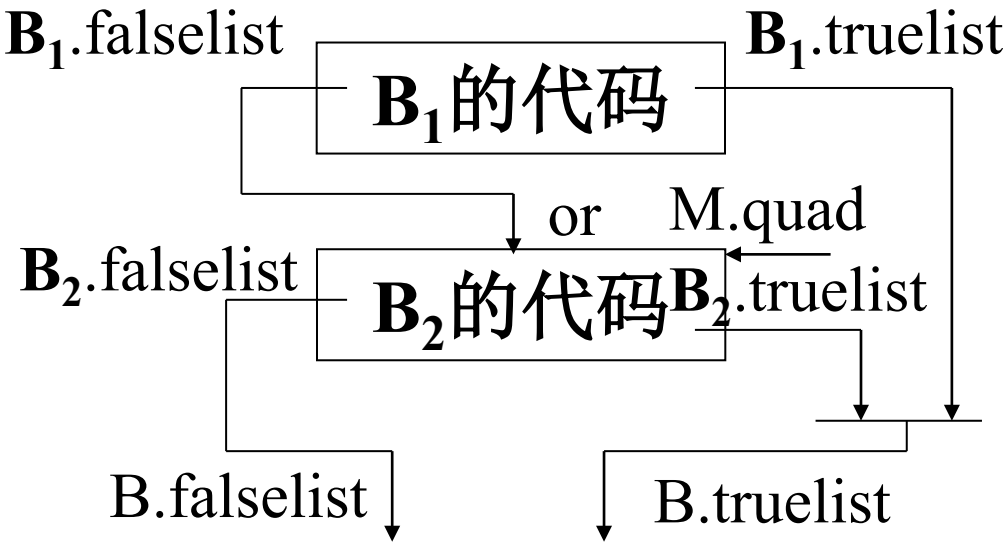
3．backpatch(p，i)：把i作为目标标号回填到p所指向的表中的每一个转移指令中去。

此处的“表”都是为“回填”所准备的链表

7.6.1 布尔表达式的回填式翻译

$B \rightarrow B_1$ or M B_2

{backpatch(B_1.falselist, M.quad);
B.truelist:=merge(B_1.truelist, B_2.truelist);
B.falselist := B_2.falselist}



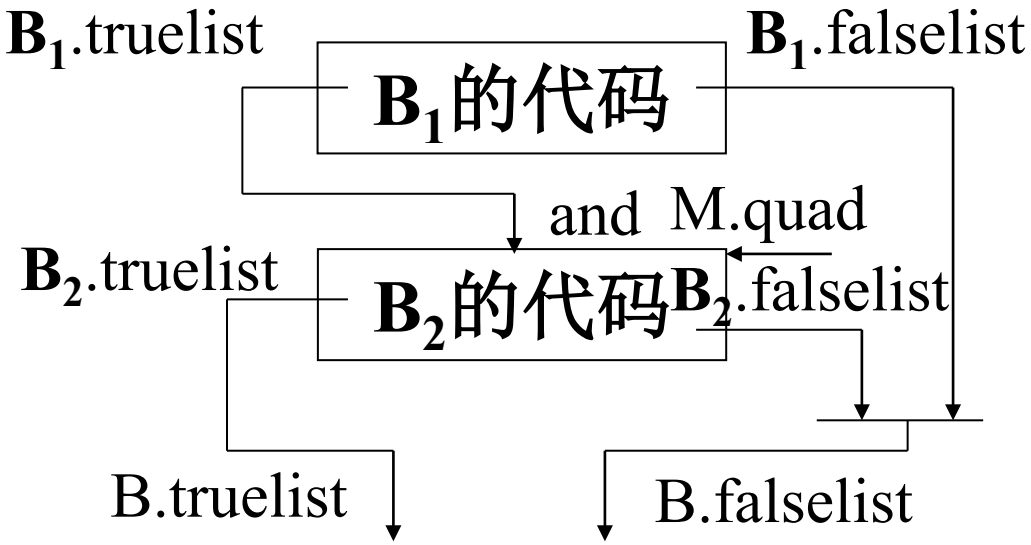
$M \rightarrow \varepsilon$

{M.quad:=nextquad}

7.6.1 布尔表达式的回填式翻译

$B \rightarrow B_1$ and M B_2

{backpatch(B_1.truelist, M.quad);
B.truelist := B_2.truelist;
B.falselist:=merge(B_1.falselist, B_2.falselist);}



7.6.1 布尔表达式的回填式翻译

$B \rightarrow \text{not } B_1$

{B.truelist := B_1.falselist;
B.falselist := B_1.truelist;}

$B \rightarrow (B_1)$

{B.truelist := B_1.truelist;
B.falselist := B_1.falselist;}

7.6.1 布尔表达式的回填式翻译

$B \rightarrow E_1$ relop E_2

{ B.truelist:=makelist(nextquad);
B.falselist:=makelist(nextquad+1);
gencode('if'E_1.addr relop E_2.addr 'goto-');
gencode('goto-') }

7.6.1 布尔表达式的回填式翻译

B → true

{B.truelist := makelist(nextquad);
gencode(‘goto-’)}

B → false

{B.falselist := makelist(nextquad);
gencode(‘goto-’)}

例7.11

100: if a<b goto –
101: goto 102
102: if c<d goto 104
103: goto –
104: if e<f goto –
105: goto -

B.t代表B.truelist
B.f代表B.falselist
M.q代表M.quad

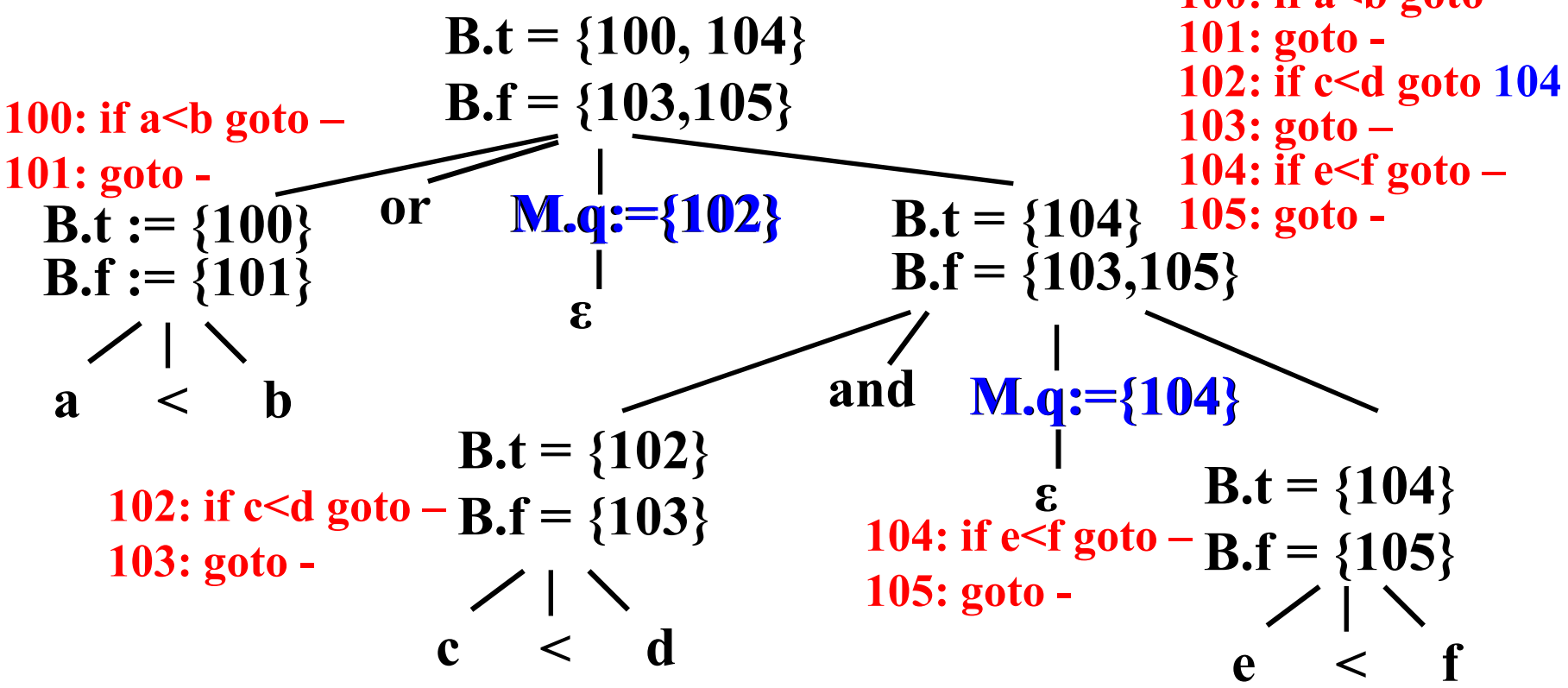


图7.27 a<b or c<d and e<f的注释分析树

7.6.2 常见控制结构的回填式翻译

$S \rightarrow$ if B then $M\ S_1$

| if B then $M_1\ S_1\ N$ else $M_2\ S_2$

| while M_1 B do $M_2\ S_1$

| S_1;$M\ S_2$

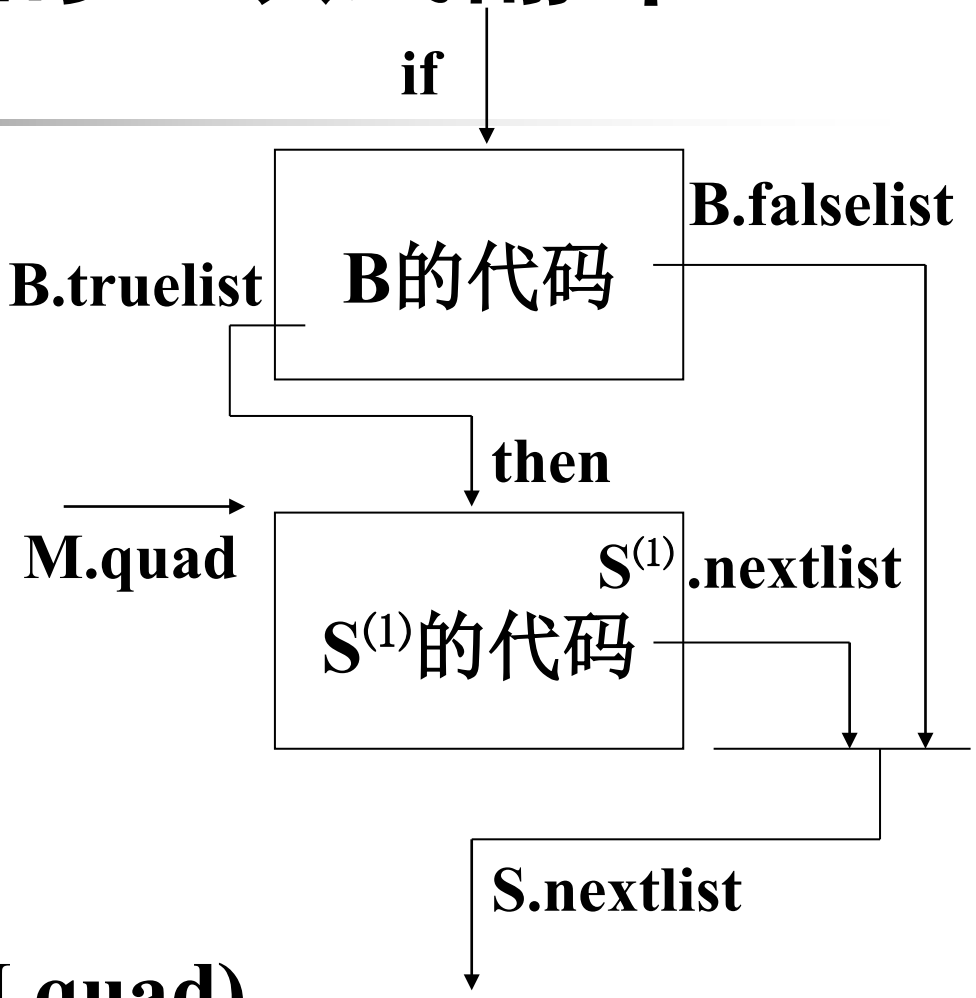
保存那些转向S.next的跳转语句，一旦确定S.next的位置，用它来回填S.nextlist中的跳转指令的目标

M -

$N \rightarrow \varepsilon$ {N.nextlist:=makelist(nextquad);

gencode('goto -)}

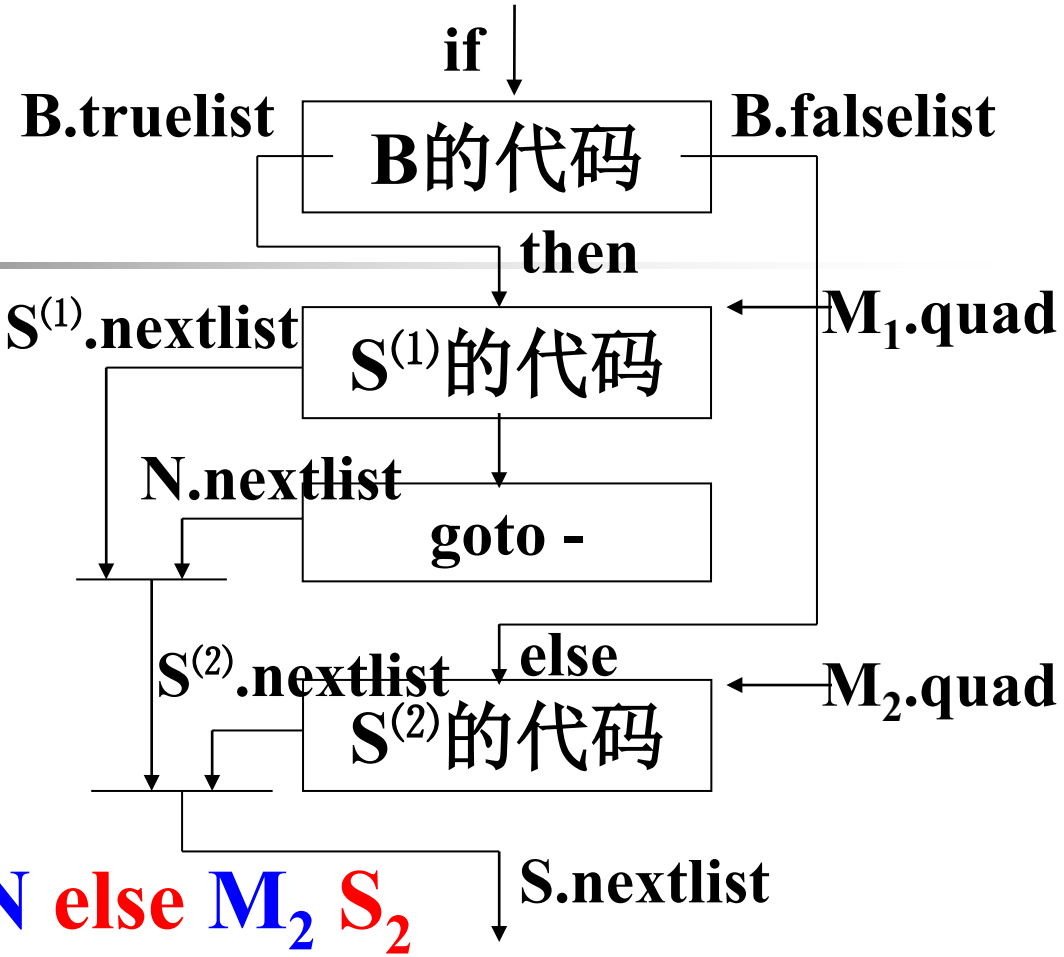
if-then语句的回填式翻译



$S \rightarrow$ if B then M S_1

{backpatch(B.truelist, M.quad)
S.nextlist:=merge(B.falselist, S_1.nextlist)}

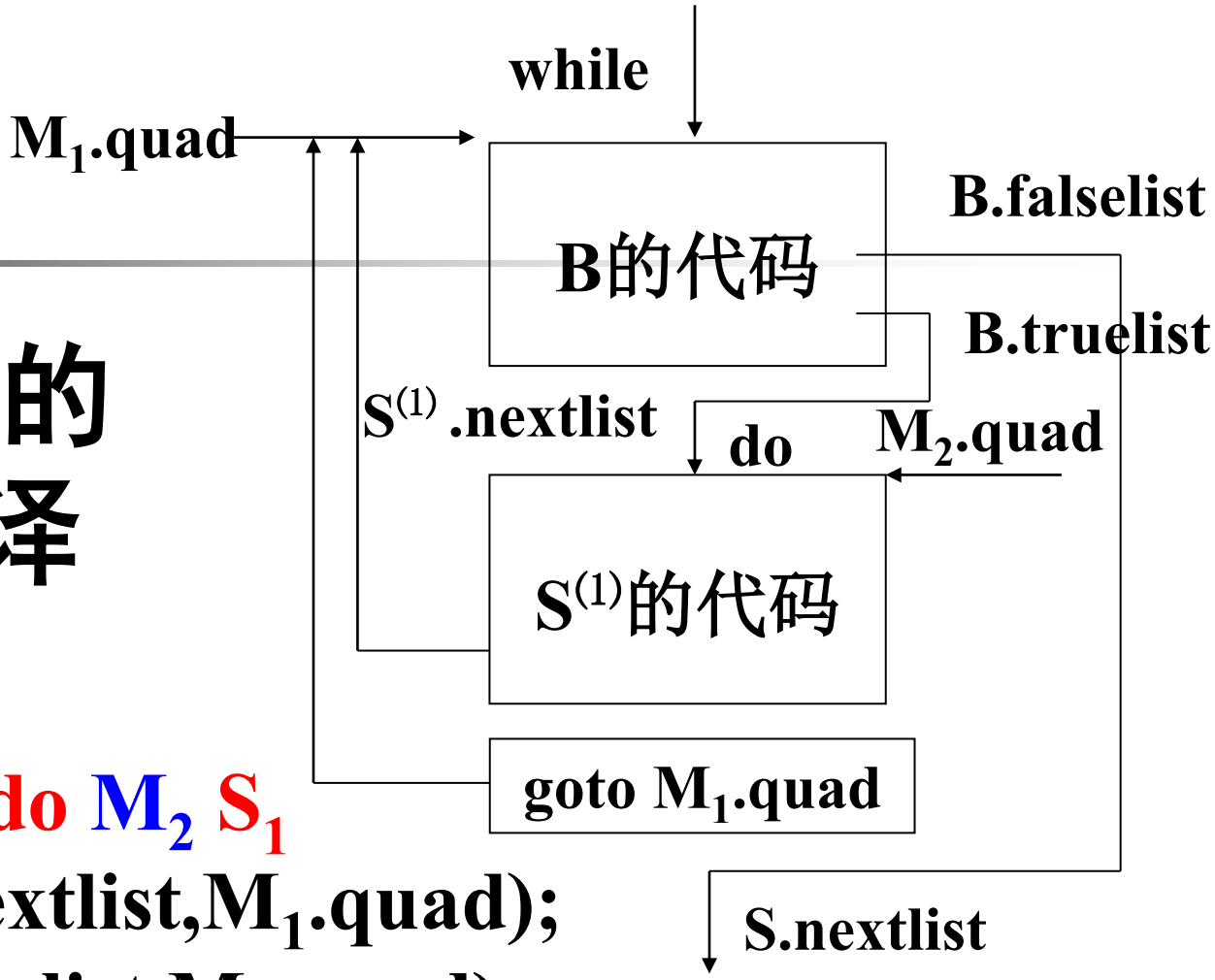
if-then-else语句的回填式翻译



$S \rightarrow$ if B then M_1 S_1 N else M_2 S_2

{backpatch(B.truelist, M_1.quad);
backpatch(B.falselist, M_2.quad);
S.nextlist:=
merge(S_2.nextlist,merge(N.nextlist,S_1.nextlist))}

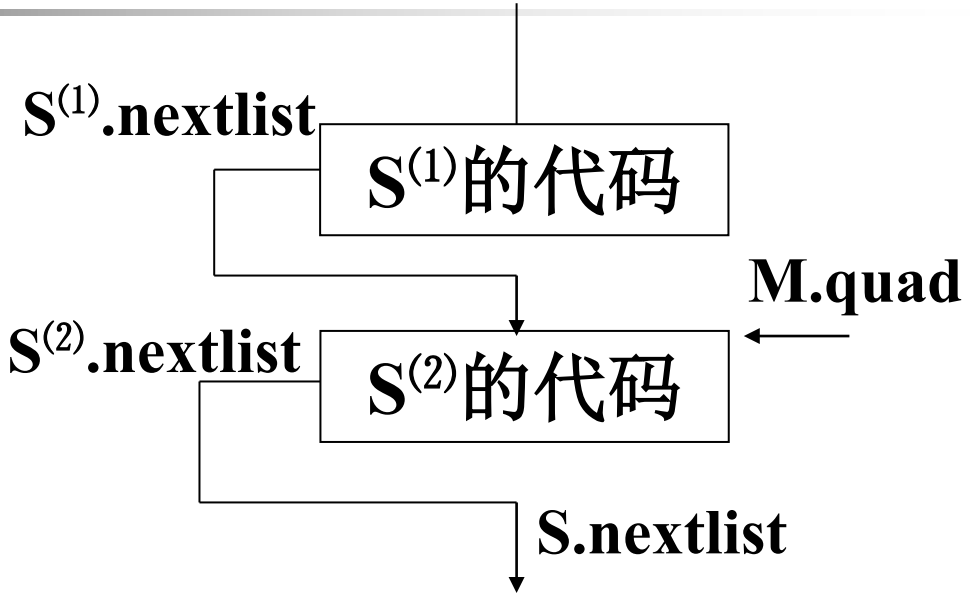
while语句的回填式翻译



$S \rightarrow$ while M_1 B do M_2 S_1

{backpatch(S_1.nextlist,M_1.quad);
backpatch(B.truelist,M_2.quad);
S.nextlist:=B.falselist;
gencode('goto'M_1.quad)}

语句序列的回填式翻译



$S \rightarrow S_1;M\ S_2$

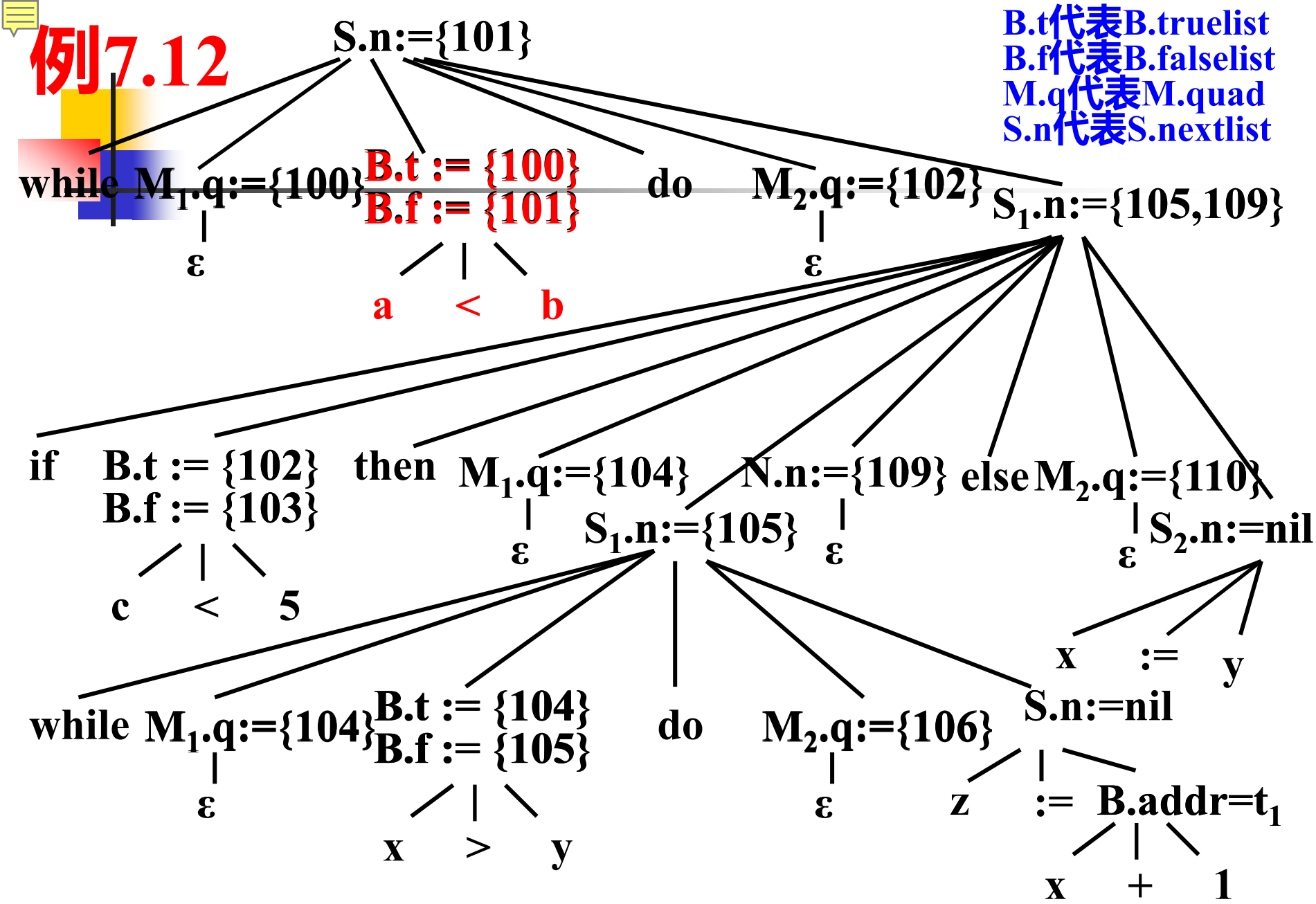
{backpatch(S_1.nextlist, M.quad);
S.nextlist:=S_2.nextlist}

例7.12 翻译下列语句

```
while  a < b  do
          B1
  if  c < 5  then
          B2
S3  S1   while x > y do z := x + 1;
  else
  S2    x := y
```

例7.12

B.t代表B.truelist
B.f代表B.falselist
M.q代表M.quad
S.n代表S.nextlist



while a<b do if c<5 then while x>y do z:=x+1 else x:=y的注释分析树

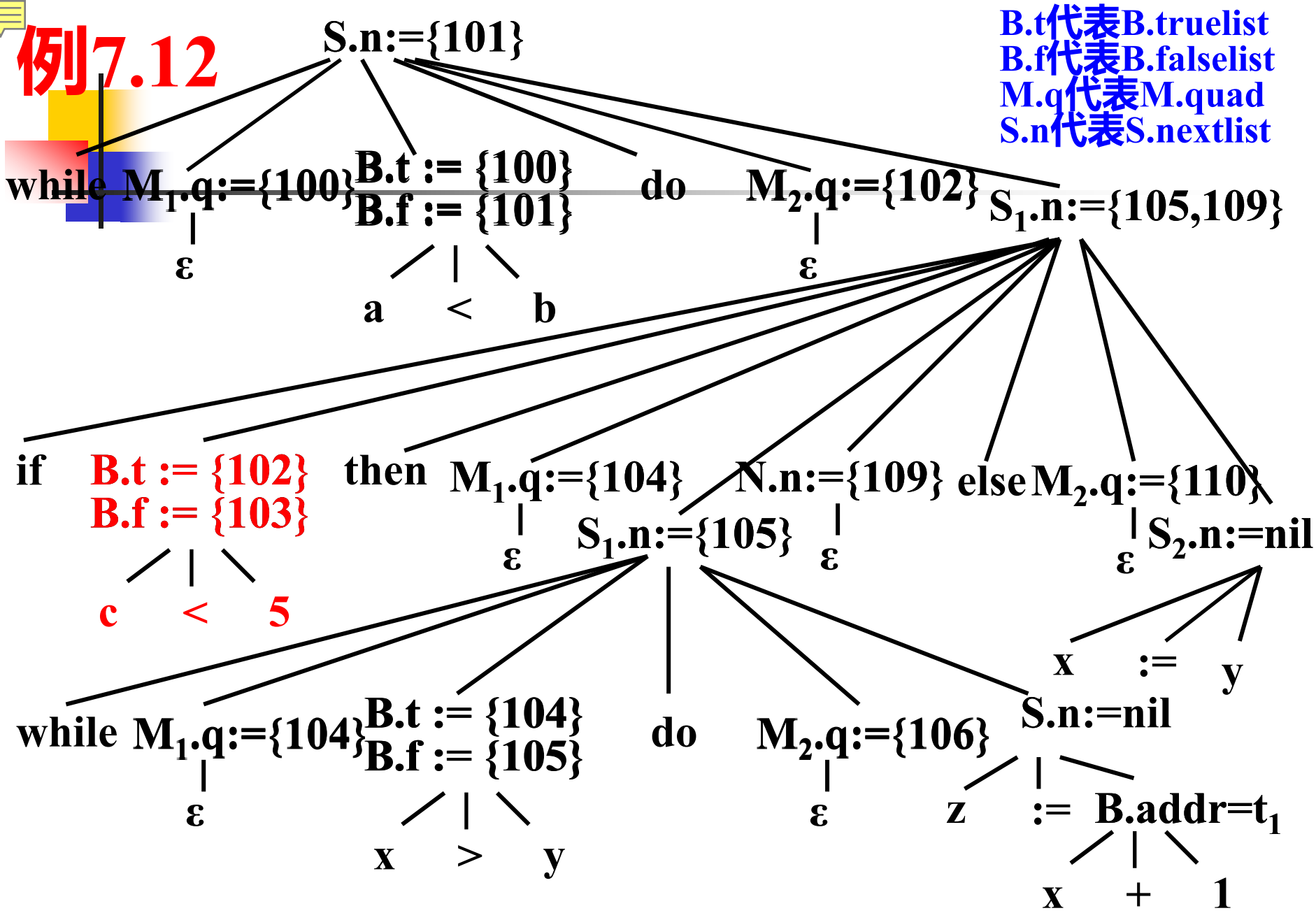
while a<b do if c<5 then while x>y do z:=x+1 else x:=y

100: if a < b goto ___ B(a<b).truelist = 100

101: goto ___ B(a<b).falselist= 101

例7.12

B.t代表B.truelist
B.f代表B.falselist
M.q代表M.quad
S.n代表S.nextlist



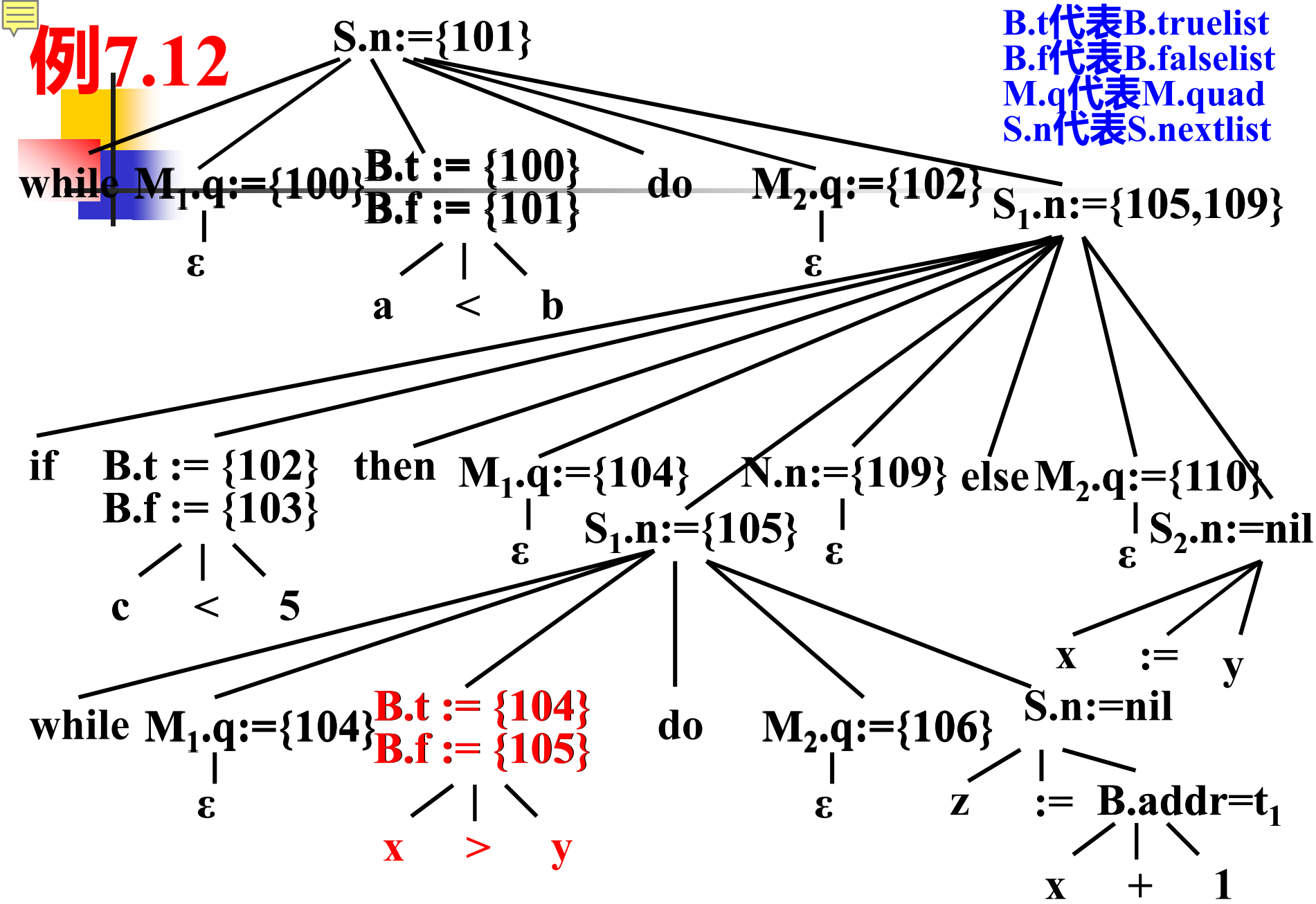
while a<b do if c<5 then while x>y do z:=x+1 else x:=y的注释分析树

while a<b do if c<5 then while x>y do z:=x+1 else x:=y

100:	if a < b goto ___	B(a<b).truelist = 100
101:	goto ___	B(a<b).falselist= 101
102:	if c < 5 goto ___	B(c<5).truelist = 102
103:	goto ___	B(c<5).falselist = 103

例7.12

B.t代表B.truelist
B.f代表B.falselist
M.q代表M.quad
S.n代表S.nextlist

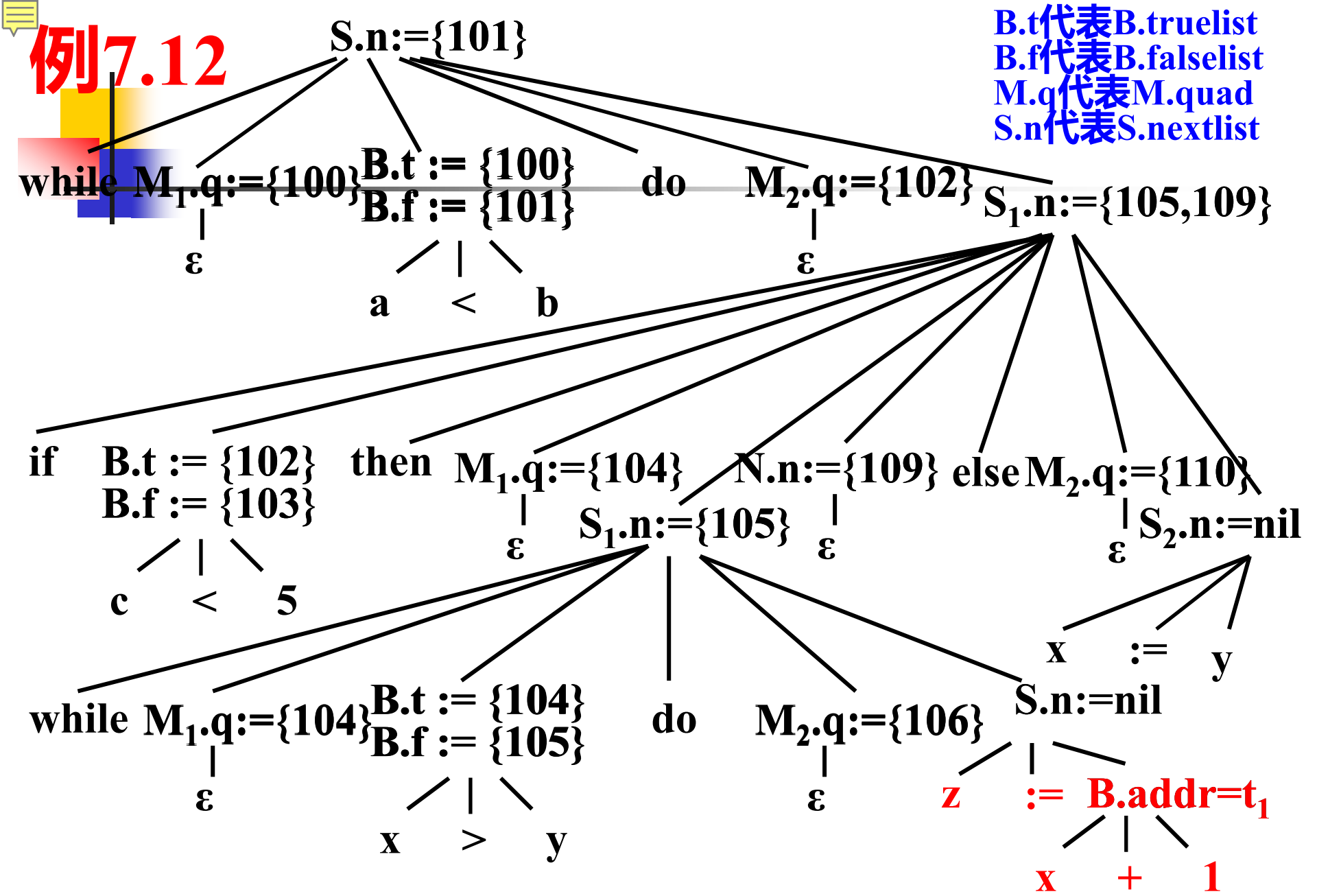


while a<b do if c<5 then while x>y do z:=x+1 else x:=y的注释分析树

while a<b do if c<5 then while x>y do z:=x+1 else x:=y

100:	if a < b goto ___	B(a<b).truelist = 100
101:	goto ___	B(a<b).falselist= 101
102:	if c < 5 goto ___	B(c<5).truelist = 102
103:	goto ___	B(c<5).falselist = 103
104:	if x > y goto ___	B(x>y).truelist=104
105:	goto ___	B(x>y).falselist=105

例7.12



while a<b do if c<5 then while x>y do z:=x+1 else x:=y的注释分析树

while a<b do if c<5 then while x>y do z:=x+1 else x:=y

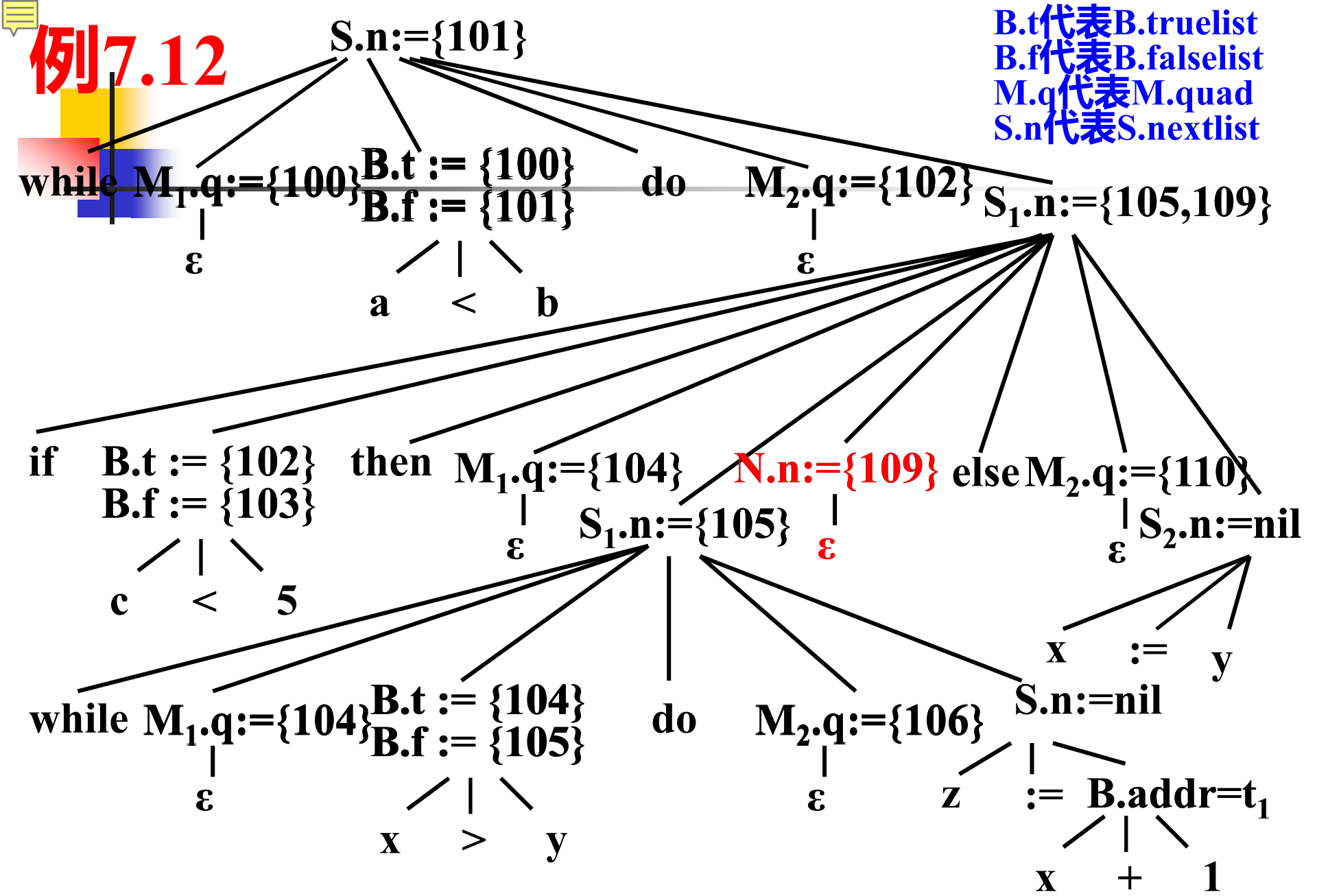
100:	if a < b goto ___	B(a<b).truelist = 100
101:	goto ___	B(a<b).falselist= 101
102:	if c < 5 goto ___	B(c<5).truelist = 102
103:	goto ___	B(c<5).falselist = 103
104:	if x > y goto ___	B(x>y).truelist=104
105:	goto ___	B(x>y).falselist=105
106:	$t_1 := x + 1$	
107:	$z := t_1$	

while a<b do if c<5 then while x>y do z:=x+1 else x:=y

100:	if a < b goto ___	B(a<b).truelist = 100
101:	goto ___	B(a<b).falselist= 101
102:	if c < 5 goto ___	B(c<5).truelist = 102
103:	goto ___	B(c<5).falselist = 103
104:	if x > y goto 106	B(x>y).truelist=104
105:	goto ___	B(x>y).falselist=105
106:	t_1 := x + 1	
107:	z := t_1	
108:	goto 104	

例7.12

B.t代表B.truelist
B.f代表B.falselist
M.q代表M.quad
S.n代表S.nextlist



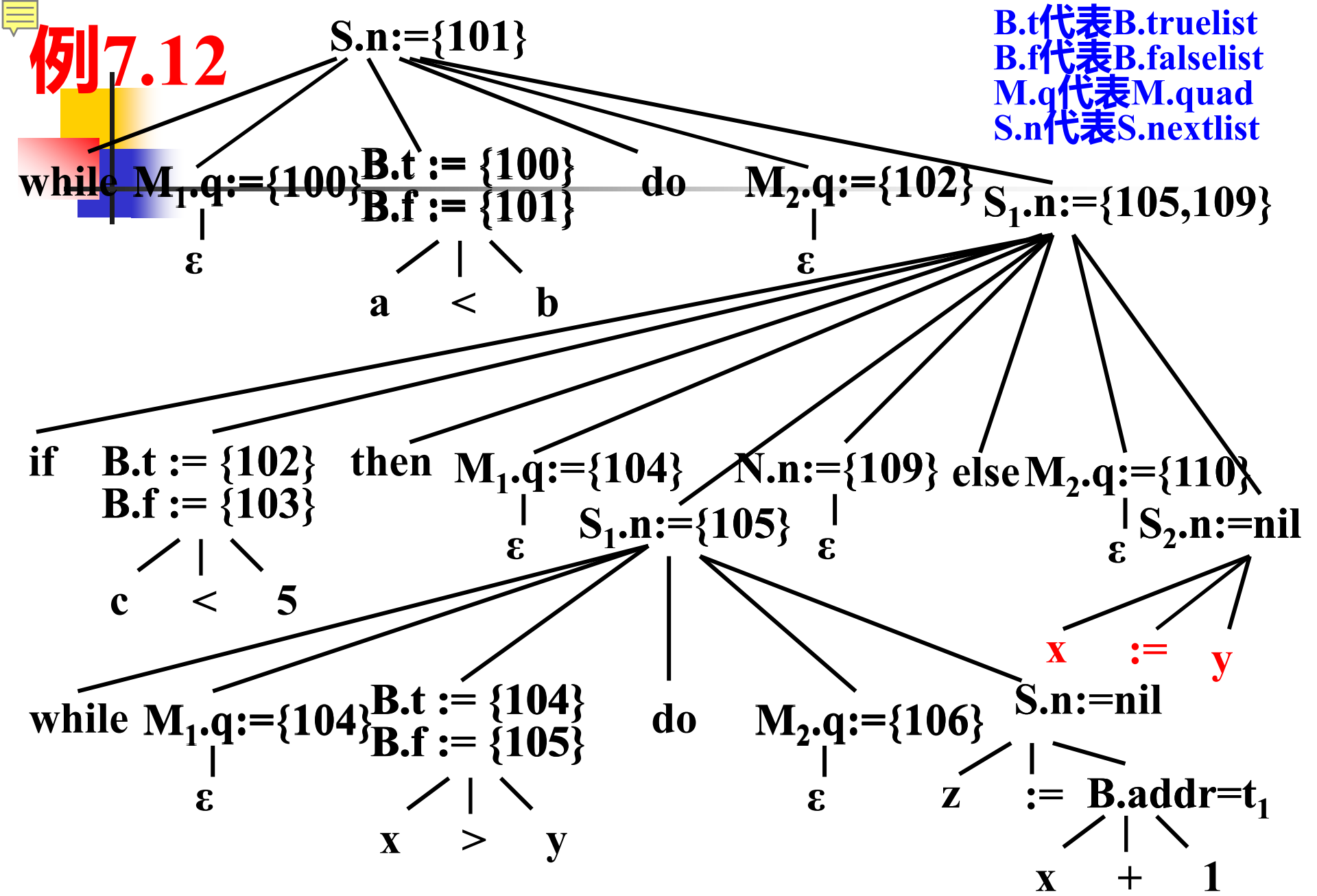
while a<b do if c<5 then while x>y do z:=x+1 else x:=y的注释分析树

while a<b do if c<5 then while x>y do z:=x+1 else x:=y

100:	if a < b goto ___	B(a<b).truelist = 100
101:	goto ___	B(a<b).falselist= 101
102:	if c < 5 goto ___	B(c<5).truelist = 102
103:	goto ___	B(c<5).falselist = 103
104:	if x > y goto 106	B(x>y).truelist=104
105:	goto ___	B(x>y).falselist=105
106:	t_1 := x + 1	
107:	z := t_1	
108:	goto 104	
109:	goto ___	(while x>y do z:=x+1).nextlist

例7.12

B.t代表B.truelist
B.f代表B.falselist
M.q代表M.quad
S.n代表S.nextlist



while a<b do if c<5 then while x>y do z:=x+1 else x:=y的注释分析树

while a<b do if c<5 then while x>y do z:=x+1 else x:=y

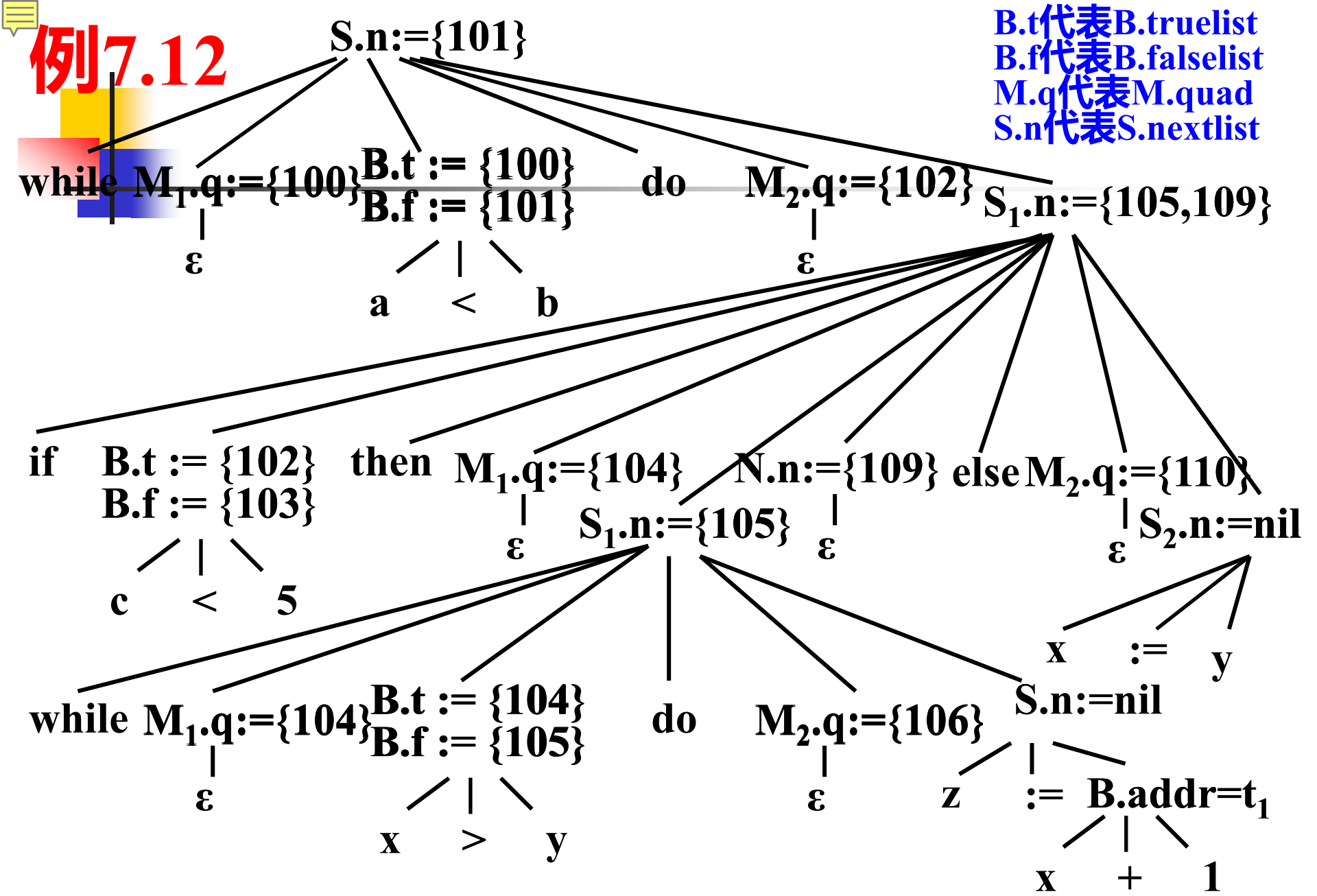
100:	if a < b goto ___	B(a<b).truelist = 100
101:	goto ___	B(a<b).falselist= 101
102:	if c < 5 goto 104	B(c<5).truelist = 102
103:	goto 110	B(c<5).falselist = 103
104:	if x > y goto 106	B(x>y).truelist=104
105:	goto ___	B(x>y).falselist=105
106:	t_1 := x + 1	
107:	z := t_1	
108:	goto 104	
109:	goto ___	(while x>y do z:=x+1).nextlist
110:	x := y	

while a<b do if c<5 then while x>y do z:=x+1 else x:=y

100:	if a < b goto ___	B(a<b).truelist = 100
101:	goto ___	B(a<b).falselist= 101
102:	if c < 5 goto 104	B(c<5).truelist = 102
103:	goto 110	B(c<5).falselist = 103
104:	if x > y goto 106	B(x>y).truelist=104
105:	goto ___	B(x>y).falselist=105
106:	t_1 := x + 1	
107:	z := t_1	
108:	goto 104	
109:	goto ___	(while x>y do z:=x+1).nextlist
110:	x := y	
111:	goto ___	(x:=y).nextlist

例7.12

B.t代表B.truelist
B.f代表B.falselist
M.q代表M.quad
S.n代表S.nextlist



while a<b do if c<5 then while x>y do z:=x+1 else x:=y的注释分析树

while a<b do if c<5 then while x>y do z:=x+1 else x:=y

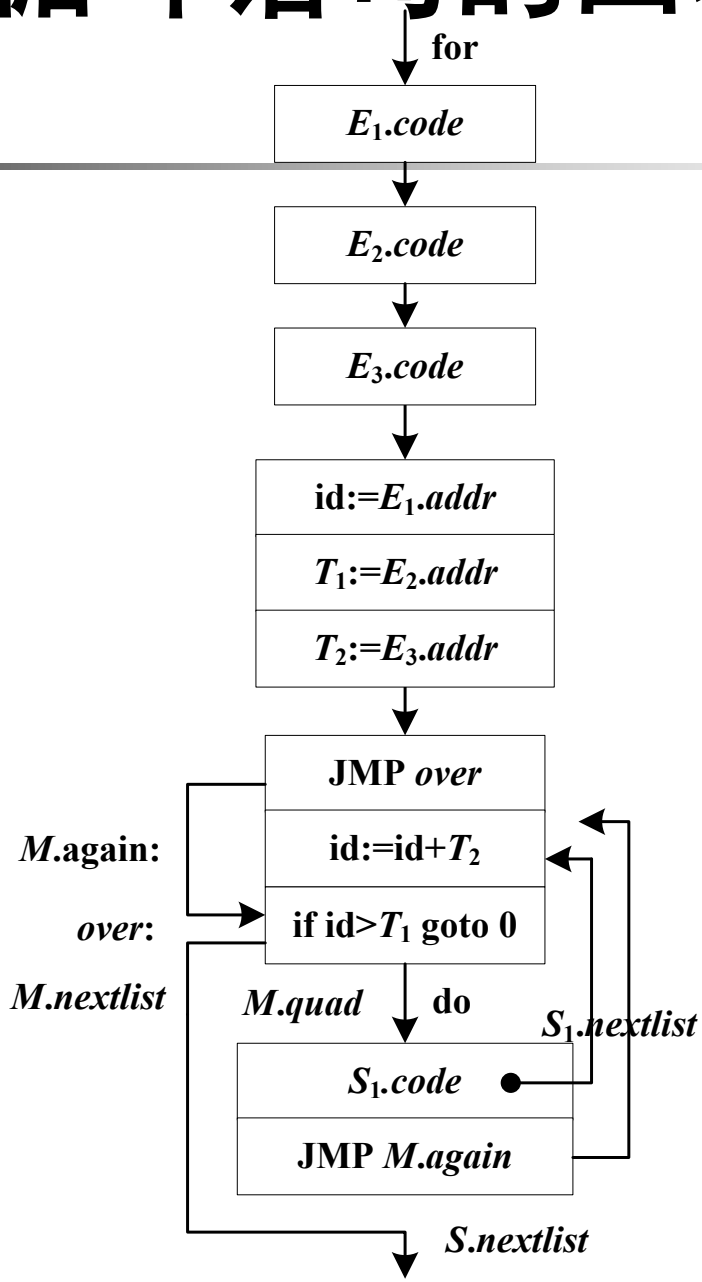
100:	if a < b goto 102	B(a<b).truelist = 100
101:	goto 112	B(a<b).falselist= 101
102:	if c < 5 goto 104	B(c<5).truelist = 102
103:	goto 110	B(c<5).falselist = 103
104:	if x > y goto 106	B(x>y).truelist=104
105:	goto 100	B(x>y).falselist=105
106:	t_1 := x + 1	
107:	z := t_1	
108:	goto 104	
109:	goto 100	(while x>y do z:=x+1).nextlist
110:	x := y	
111:	goto 100	(x:=y).nextlist
112:		

while a<b do if c<5 then while x>y do z:=x+1 else x:=y

生成的四元式序列

100: if a < b goto 102
101: goto 112
102: if c < 5 goto 104
103: goto 110
104: if x > y goto 106
105: goto 100
106: t_1 := x + 1
107: z := t_1
108: goto 104
109: goto 100
110: x := y
111: goto 100
112:

7.6.3 for循环语句的回填式翻译



for循环语句的目标结构

7.6.3 for循环语句的回填式翻译

$S \rightarrow$ for id := E_1 to E_2 step E_3 do M S_1

{*backpatch*(S_1.*nextlist*, *M*.*again*,);

gencode('goto', -, -, *M*.*again*);

S.*nextlist* := *M*.*nextlist*;}

7.6.3 for循环语句的回填式翻译

$M \rightarrow \varepsilon$

{*M.addr* := *entry*(id); *gencode*(':=', E_1.*addr*, -, *M.addr*);

T_1:=*newtemp*; *gencode*(':=', E_2.*addr*, -, T_1);

T_2:=*newtemp*; *gencode*(':=', E_3.*addr*, -, T_2);

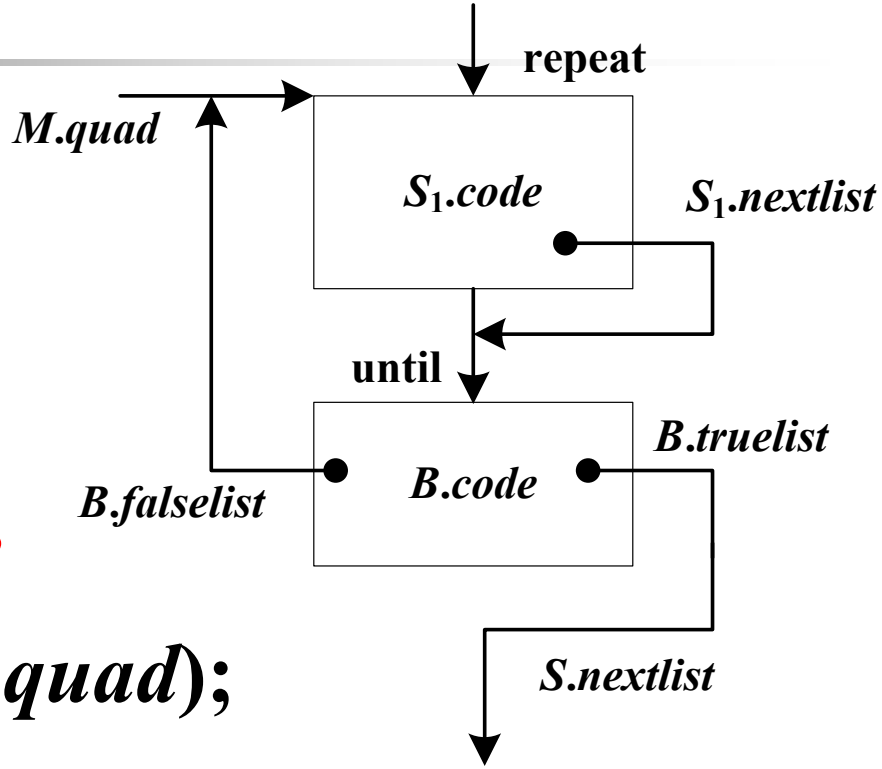
q:=*nextquad*; *gencode*('goto', -, -, *q*+2);

M.again:=*q*+1; *gencode*('+', *M.addr*, T_2, *M.addr*);

M.nextlist:=*nextquad*;

gencode('if' *M.addr* '>' T_1 'goto –');}

7.6.4 repeat语句的回填式翻译



$S \rightarrow$ repeat $M\ S_1$ until $N\ B$

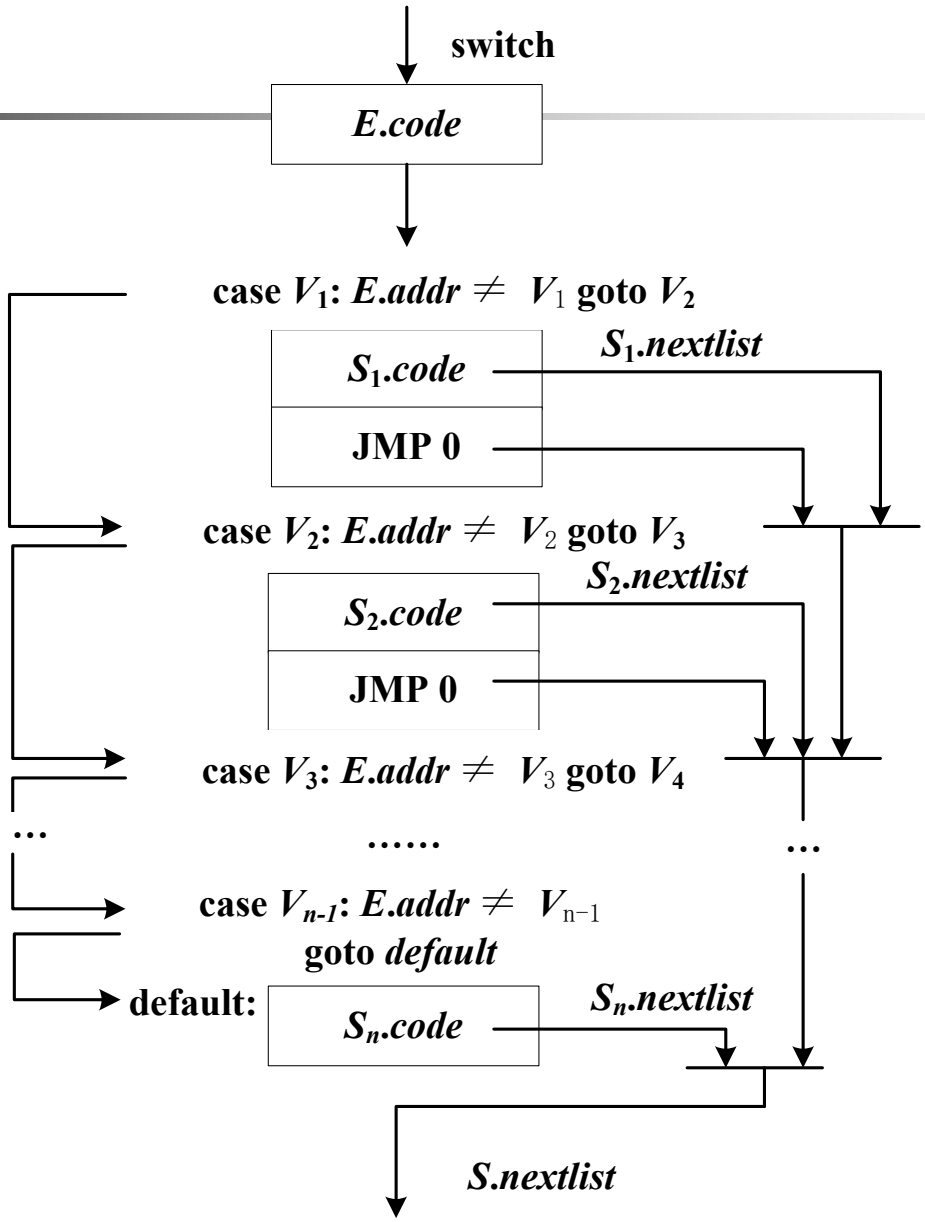
{*backpatch*(*B.falselist*,*M.quad*);

S.nextlist:=*B.truelist*}

$M \rightarrow \varepsilon$ {*M.quad* := *nextquad*}

$N \rightarrow \varepsilon$ {*backpatch*(S_1.*nextlist*, *nextquad*)}

7.7 switch语句的翻译



7.7.2 switch语句的语法制导翻译

S→switch (*E*){*i*:=0; S_i.*nextlist*:=0; push S_i.*nextlist*; push *E.addr*;

push *i*; *q*:=0; push *q*}

Clist{pop *q*;pop *i*;pop *E.addr*;pop

S_i.*nextlist*;*S.nextlist*:=*merge*(S_i.*nextlist*, *q*); push *S.nextlist*}

7.7.2 switch语句的语法制导翻译

Clist→case *V* :{pop *q*; pop *i*; *i*:=*i*+1; pop *E.addr*;

if *nextquad* ≠0 then *backpatch*(*q*, *nextquad*);

q:=*nextquad*;

gencode('if' *E.addr* '≠' V_i 'goto' *Li*);

push *E.addr*; push *i*;

push *q*}*S*{pop *q*; pop *i*; pop *E.addr*; pop S_{i-1}.*nextlist*;

p:=*nextquad*; *gencode*('goto -'); *gencode*(L_i':');

S_i.*nextlist*:=*merge*(S_i.*nextlist*, *p*);

S_i.*nextlist*:=*merge*(S_i.*nextlist*, S_{i-1}.*nextlist*);

push S_i.*nextlist*; push *E.addr*; push *i*; push *q*}*Clist*

7.7.2 switch语句的语法制导翻译

Clist→**default :**{pop *q*; pop *i*; *i*:=*i*+1; pop *E.addr*;
if *nextquad* ≠0 then *backpatch*(*q*, *nextquad*);
q:=*nextquad*;
gencode(‘if’ *E.addr* ‘≠’ V_i ‘goto’ V_{i+1});
push *E.addr*; push *i*;
push *q*}*S*{pop *q*; pop *i*; pop *E.addr*; pop S_{i-1}.*nextlist*;
p:=*nextquad*;
gencode(‘goto -’); *gencode*(L_i‘:’);
S_i.*nextlist*:=*merge*(S_i.*nextlist*, *p*);
S_i.*nextlist*:=*merge*(S_i.*nextlist*, S_{i-1}.*nextlist*);
push S_i.*nextlist*; push *E.addr*; push *i*; push *q*}

例7.14 翻译如下的switch语句

switch E
  begin
    case V_1: S_1
    case V_2: S_2
    . . .
    case V_{n-1}: S_{n-1}
    default: S_n
  end

E的代码
if E.addr ≠ V_1 goto L_1
S_1的代码
goto S.nextlist

L_1: if E.addr ≠ V_2 goto L_2
S_2的代码
goto S.nextlist

L_2: . . .

. . .

L_{n-2}: if E.addr ≠ V_{n-1} goto L_{n-1}
S_{n-1}的代码
goto S.nextlist

L_{n-1}: S_n的代码

S.nextlist :

7.8 过程调用和返回语句的翻译

S → call id (Elist)
Elist → Elist, E
Elist → E
S → return E

过程调用id(E_1, E_2, …, E_n)的中间代码结构

E_1.addr := E_1的代码
E_2.addr := E_2的代码
. . .
E_n.addr := E_n的代码
param E_1.addr
param E_2.addr
. . .
param E_n.addr
call id.addr, n

S → call id (Elist)
{ n :=0;
repeat
n:=n+1；从queue的队首取出一个实参地址p;
gencode('param', -, -, p);
until queue为空;
gencode('call', id.addr, n, -)}

Elist → Elist, E
{将E.addr添加到queue的队尾 }

Elist → E
{初始化queue，然后将E.addr加入到queue的队尾 }

S → return E {if 需要返回结果 then
gencode(‘:=’, E.addr, -, F);
gencode(‘ret’, -, -, -)}

7.9 输入输出语句的翻译

P→ prog id (*Parlist*) *M D* ; *S*

M→ε {*gencode*(‘*prog*’, *id*, *y*, -)}

/*y的值表示input,output或两者皆有*/

Parlist→ input(ε | , output)

7.9 输入输出语句的翻译

S→ (read | readln) (*N List*); {*n*:=0;

repeat

move(Queue, i_n);

gencode('par',-, -, i_n);

n:=*n*+1;

until Queue为空;

gencode('call', 'SYSIN', *n*, -);}

N→ε {设置一个语义队列Queue}

List→id, *L* (ε|*List*)

L→ε {*T*:=*entry*(*id*); *add*(*Queue*, *T*)}

7.9 输入输出语句的翻译

S→(write| writeln) (Elist); { *n:=0;*

repeat

move(Queue, i_n);

gencode('par', -, -, i_n);

n:=n+1;

*until Queue*为空;

gencode('call', 'SYSOUT', n, 'w')}

/**n*为输出参数个数，w是输出操作类型*/

EList→E, K (ε|EList)

K→ε {*T:= E.addr; add(Queue, T)*}

本章小结

- 典型的中间代码有逆波兰表示、三地址码、图表示；
- 声明语句的主要作用是为程序中用到的变量或常量名指定类型。类型可以具有一定的层次结构，可以用类型表达式来表示；
- 声明语句的翻译工作就是将名字的类型及相对地址等有关信息填加到符号表中；
- 赋值语句的语义是将赋值号右边算术表达式的值保存到左边的变量中，其翻译主要是算术表达式的翻译。要实现数组元素的寻址，需要计算该元素在数组中的相对位移；

本章小结

- 类型检查在于解决运算中类型的匹配问题，根据一定的规则来实现类型的转换；
- 控制语句的翻译中既可以通过根据条件表达式改变控制流程，也可以通过计算条件表达式的逻辑值的方式实现条件转移的控制；
- 回填技术是解决单遍扫描的语义分析中转移目标并不总是有效的问题；

本章小结

- switch语句的翻译通过对分支的实现来完成；
- 过程调用与返回语句的翻译主要在于实现参数的有效传递和相应的存储管理；
- I/O语句要求输出参数都是有效的。

随堂测试

试将下面的语句翻译成中间代码

```
while (a < c) ∧ (b < d) do
    if a = 1 then
        c = c + 1
    else
        while a <= d do
            a = a + 2
```