中间代码生成
Part7：数组寻址的翻译

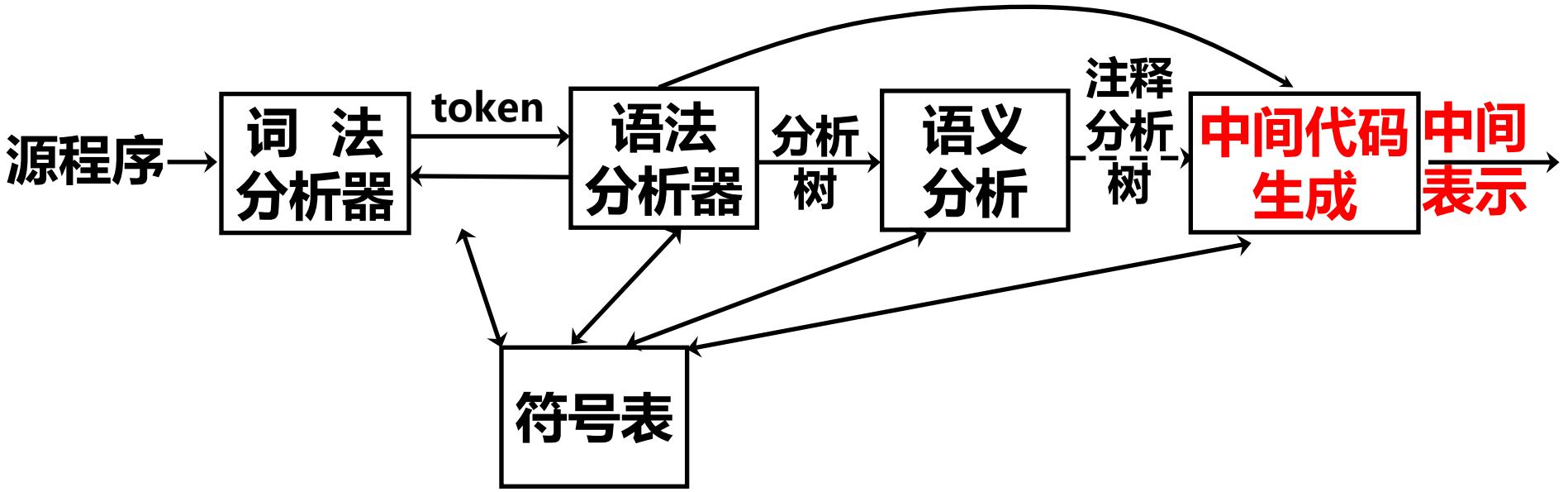
李 诚

国家高性能计算中心(合肥)、信息与计算机国家级实验教学示范中心

计算机科学与技术学院

2024年11月04日

本节提纲



- **数组寻址的翻译**
  - 数组元素地址的计算
  - 数组元素地址计算翻译方案
  - 举例说明

数组元素的翻译

- **数组类型的声明**

e.g. Pascal的数组声明，

A : array[low_1..$high_1$,…,low_n..$high_n$] of integer ;

数组元素： A[i , j, k,…] **或** A[i][j][k]…

（下界） $low_1 \le i \le high_1$ **（上界）** , …

e.g. C的数组声明，

int A [100][100][100];

数组元素： A[i][30][40] $0 \le i \le (100-1)$

数组元素的翻译

- **翻译的主要任务**
  - 输出(gen/emit)地址计算的指令
  - “基址[偏移]”相关的中间指令：t =b[o]，b[o]=t

数组元素的地址计算

- **一维数组A的第*i*个元素的地址计算**

$$base + (i - low) \times w$$

base: 整个数组的基地址，也是分配给该数组的内存块的相对地址

***low*: 下标的下界**

w: 每个数组元素的宽度

可以变换成

$$i \times w + (base - low \times w)$$

***low* × *w*是常量，编译时计算，减少了运行时计算**

数组元素的地址计算

- **二维数组**

  A: array[1..2, 1..3] of T

❖列为主

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

❖行为主

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

数组元素的地址计算

- **二维数组**

  A: array[1..2, 1..3] of T

❖列为主

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

❖行为主

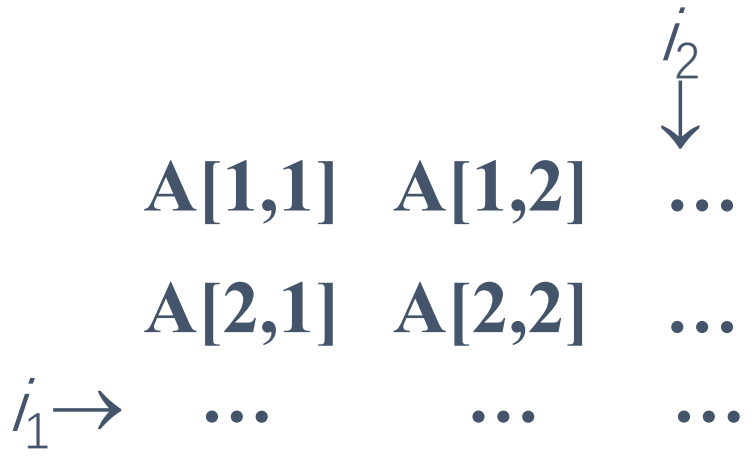
A[1, 1], A[1, 2], A[1, 3], A[2, 1], A[2, 2], A[2, 3]

$base + ((i_1 - low_1) \times n_2 + (i_2 - low_2)) \times w$

（A[i_1, i_2]的地址，其中$n_2 = high_2 - low_2 + 1$）

变换成 $((i_1 \times n_2) + i_2) \times w +$

$(base - ((low_1 \times n_2) + low_2) \times w)$



数组元素的地址计算

- **多维数组下标变量A[i_1, i_2, ..., i_k]的地址表达式**
  - 以行为主

$$((\ldots((i_1 \times n_2 + i_2) \times n_3 + i_3) \ldots) \times n_k + i_k) \times w$$

$$+ base - ((\ldots ((low_1 \times n_2 + low_2) \times n_3 + low_3) \ldots) \times n_k + low_k) \times w$$

数组元素的地址计算

- **多维数组下标变量A[$i_1, i_2, \ldots, i_k$]的地址表达式**
  - 以行为主

$$((\ldots((i_1 \times n_2 + i_2) \times n_3 + i_3) \ldots) \times n_k + i_k) \times w$$

$$+ base - ((\ldots ((low_1 \times n_2 + low_2) \times n_3 + low_3) \ldots) \times n_k + low_k) \times w$$

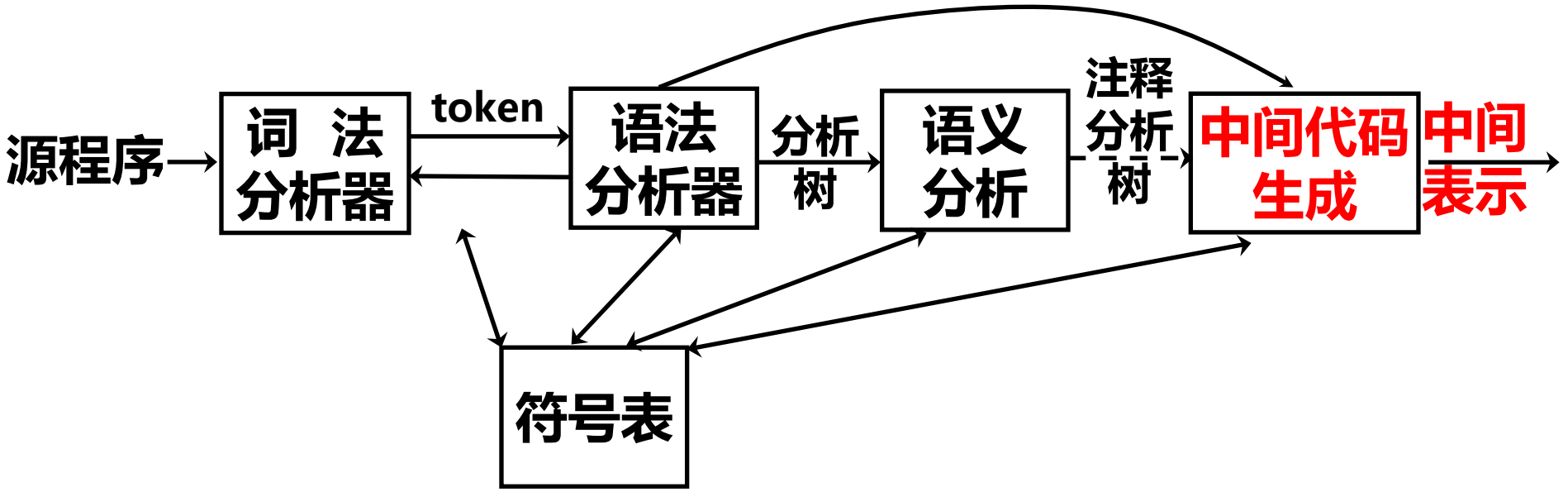
红色部分是数组访问翻译中的最重要的内容

递推公式：

$$e_1 = i_1$$

$$e_m = e_{m-1} \times n_m + i_m$$

本节提纲



- **数组寻址的翻译**
  - 数组元素地址的计算
  - 数组元素地址计算翻译方案
  - 举例说明

数组元素地址计算翻译方案

- 下标变量访问的产生式

$S \rightarrow L := E$　　$L \rightarrow \text{id} [Elist] \mid \text{id}$

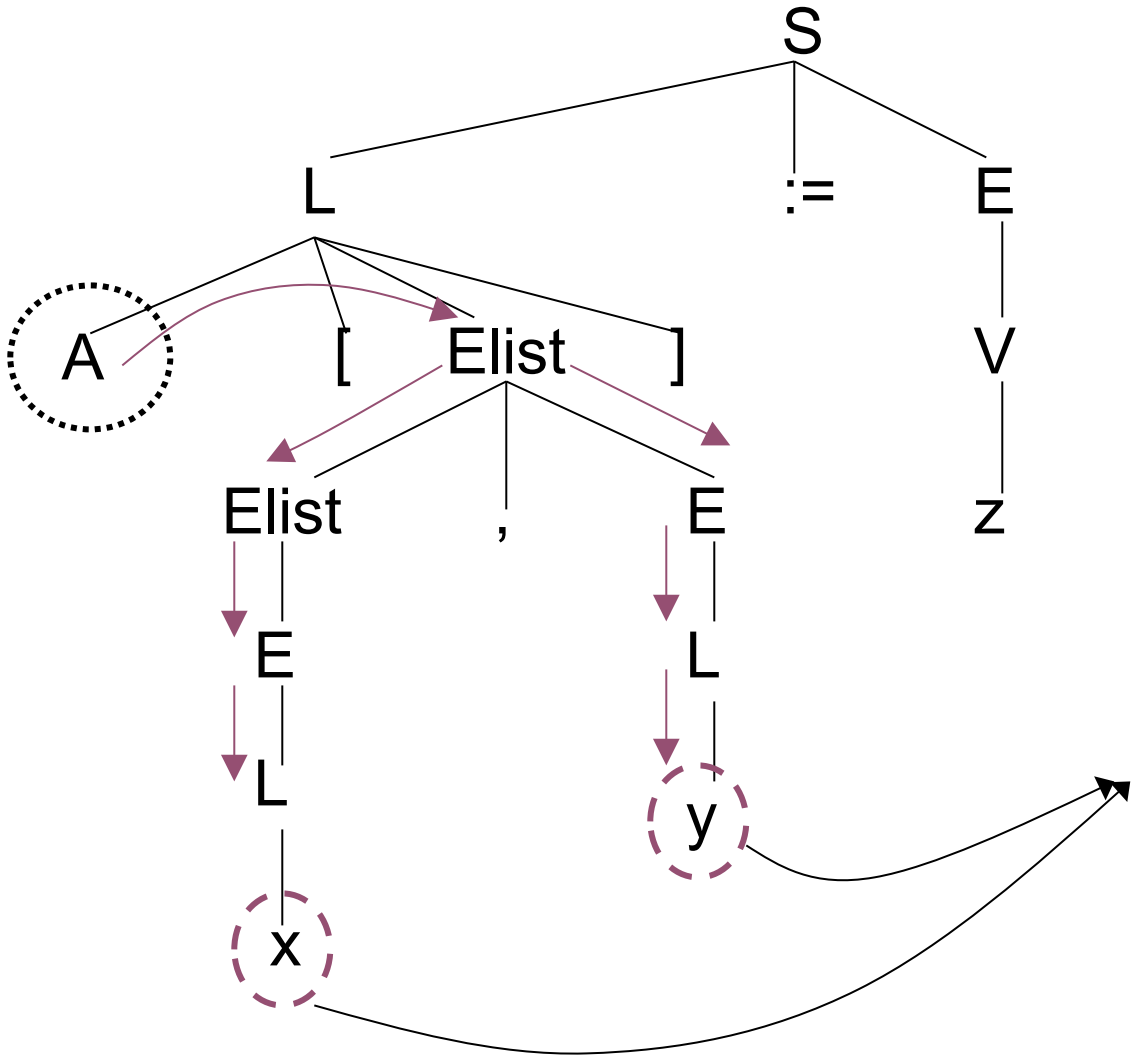
$Elist \rightarrow Elist, E \mid E$　　$E \rightarrow \text{L} \mid \ldots$

- 采用语法制导的翻译方案时存在的问题

$Elist \rightarrow Elist, E \mid E$

由Elist的结构只能得到各维的下标值，但无法获得数组的信息（如各维的长度）

A[x,y] := z的分析树



当分析到下标（表达式）x和y时，要计算地址中的“可变部分”。这时需要知晓数组A的有关的属性，如n_m，类型宽度w等，而这些信息存于在结点A处。若想使用必须定义有关继承属性来传递之。

但在移进—归约分析不适合继承属性的计算！

修改文法

- 所有产生式

$S \rightarrow L := E$

$E \rightarrow E + E$

$E \rightarrow (E)$

$E \rightarrow L$

$L \rightarrow Elist\ ]$

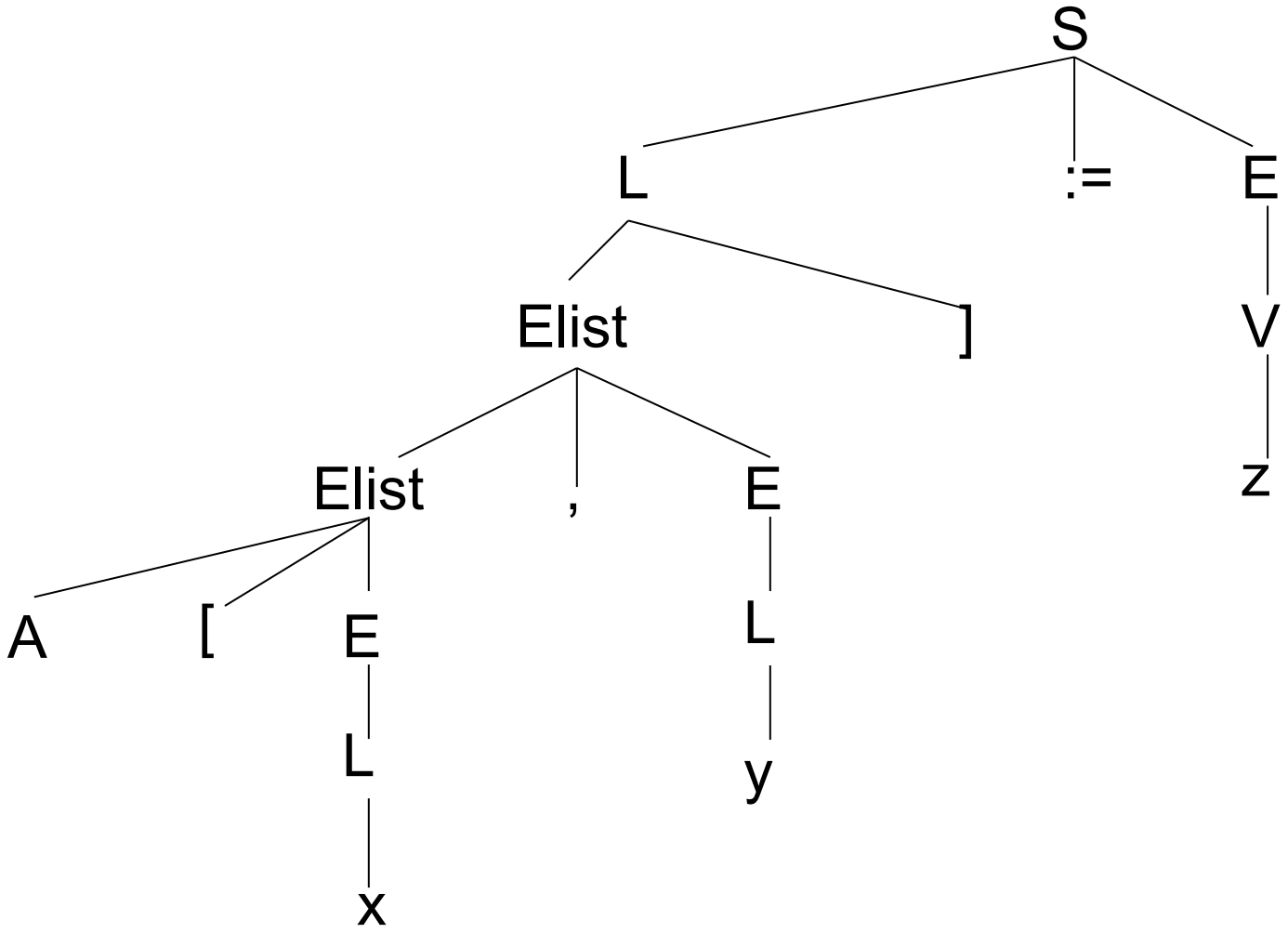
$L \rightarrow \mathrm{id}$

$Elist \rightarrow Elist, E$

$Elist \rightarrow \mathrm{id}\ [\ E$

修改文法，使数组名id成为Elist的子结点（类似于前面的类型声明），从而避免继承属性的出现

A[x,y] := z的分析树



相关符号属性定义：

L.place，L.offset ：

- 若L是简单变量，L.place为其“值”的存放场所，而L.offset为空（null）；
- 当L表示数组元素时，L.place是其地址的“常量值”部分；而此时L.offset为数组元素地址中可变部分的“值”存放场所，数组元素的表示为：**L.place [L.offset]**

相关符号属性定义：

- 属性信息

  Elist.place：存放“可变部分”值(下标计算值)的地址

  Elist.array：数组名条目的指针，比如可以查询base

  Elist.ndim ：当前处理的维数

- 辅助函数：

  limit(array, j)：第j维的大小

  width(array)：数组元素的宽度

  invariant(array)：静态可计算的值，即紫书7.4公式

数组元素的翻译

- **翻译时重点关注三个表达式：**
  - $Elist \rightarrow \text{id}\ [\ E$ ： 计算第1维
  - $Elist \rightarrow Elist_1, E$ ： 传递信息
  - $L \rightarrow Elist\ ]$ ： 计算最终结果

数组元素的翻译

$S \rightarrow L := E$ {if *L.offset* == null then /* *L*是简单变量 */

gen (*L.place*, '= ', *E.place*)

else

/*取数组元素的左值*/

gen (*L.place* , '[', *L.offset*, ']', '=', *E.place*) }

数组元素的翻译

$Elist \rightarrow \text{id}\ [\ E$ {*Elist.place* = *E.place*;

/*第一维下标*/

Elist.ndim = 1;

Elist.array = id.*place* }

数组元素的翻译

$Elist \rightarrow Elist_1, E$ {/*维度增加1*/

$m = Elist_1.ndim + 1;$

/* 第m维的大小*/

$n_m = limit(Elist_1.array, m);$

$t = newTemp();$

/*计算公式7.6 $e_{m-1} * n_m$ */

$gen(t, '=', Elist_1.place, '*', n_m);$

/*计算公式7.6 $e_m = e_{m-1} * n_m + i_m$*/

$gen\ (t, '=', t, '+', E.place);$

$Elist.array = Elist_1.array;$

$Elist.place = t;$

$Elist.ndim = m\}$

数组元素的翻译

$L \rightarrow Elist\ ]\ \{\ L.place = newTemp();$

/*获取数组元素地址的常量值*/

$gen\ (L.place,\ '=',\ invariant\ (Elist.array)\ );$

$L.offset = newTemp();$

/*获取数组元素地址的可变部分*/

$gen\ (L.offset,\ '=',\ Elist.place,\ '*',\ width(Elist.array))\}$

数组元素的翻译

$L \rightarrow$ id {*L.place* = id.*place*; *L.offset* = null }

$E \rightarrow L$ { if *L.offset* == null then /* *L*是简单变量 */

E.place = *L.place*

else begin *E.place* = *newTemp*();

gen (*E.place*, '=', *L.place*, '[', *L.offset*, ']') end }

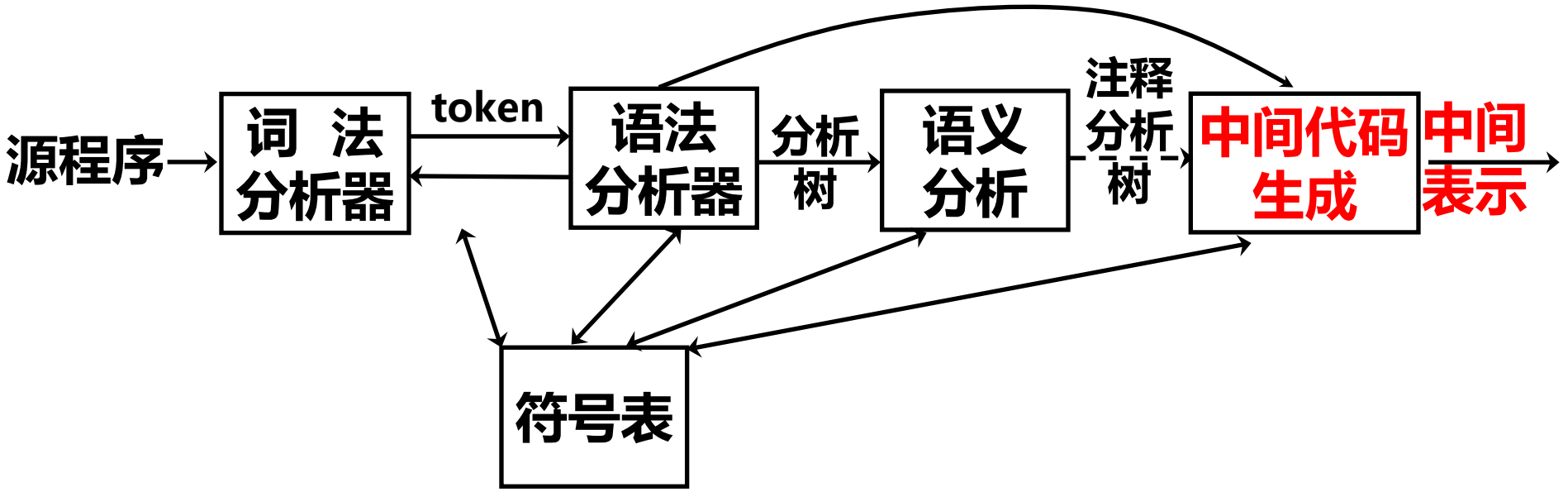
$E \rightarrow E_1 + E_2$ {*E.place* = *newTemp*();

gen (*E.place*, '=', E_1.*place* , '+', E_2.*place*) }

$E \rightarrow (E_1)$ {*E.place* = E_1.*place* }

其他翻译同前

本节提纲



- **数组寻址的翻译**
  - 数组元素地址的计算
  - 数组元素地址计算翻译方案
  - 举例说明

数组元素的翻译-举例

- 数组A的定义为： A[1…10, 1…20] of integer
- 数组的下界为1，即low为1
- 为赋值语句 x := A[y, z]生成中间代码

举例： x := A[y, z]

L.place = x
L.offset = null
|
x

A[1…10, 1…20] of integer

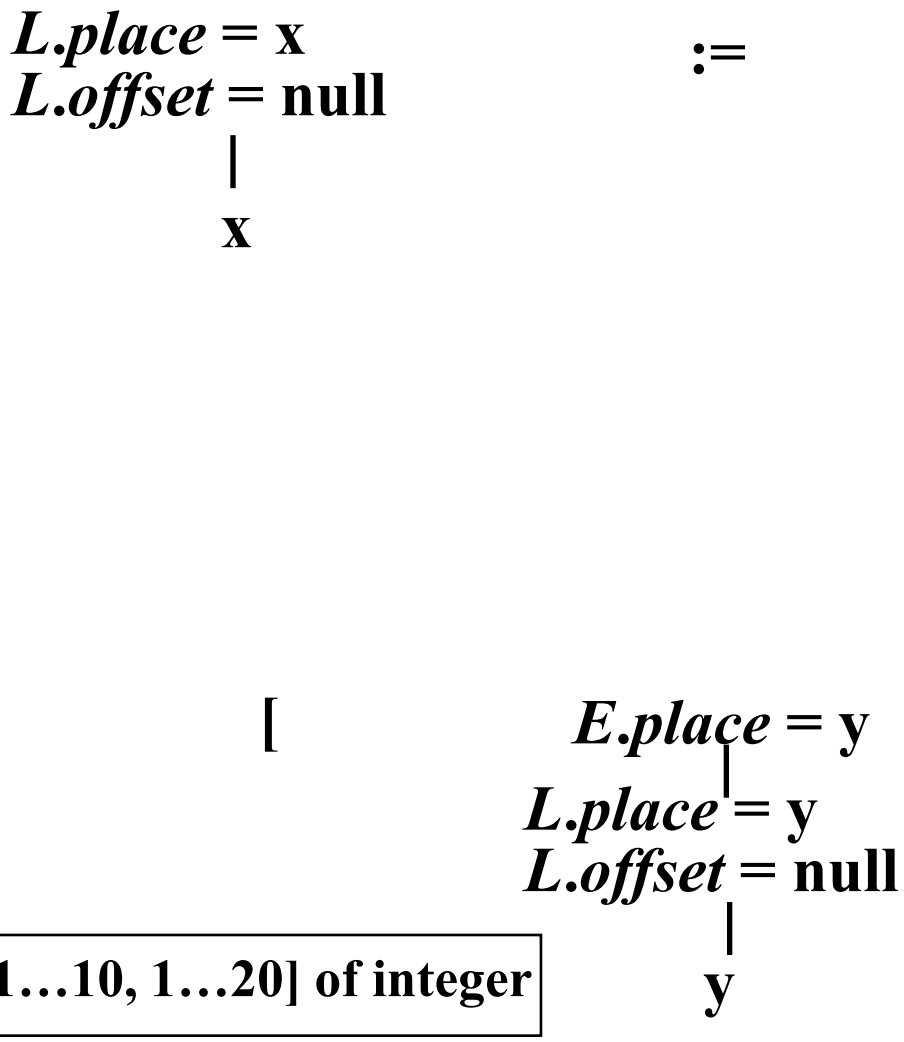
举例： x := A[y, z]

L.place = x
L.offset = null
|
x

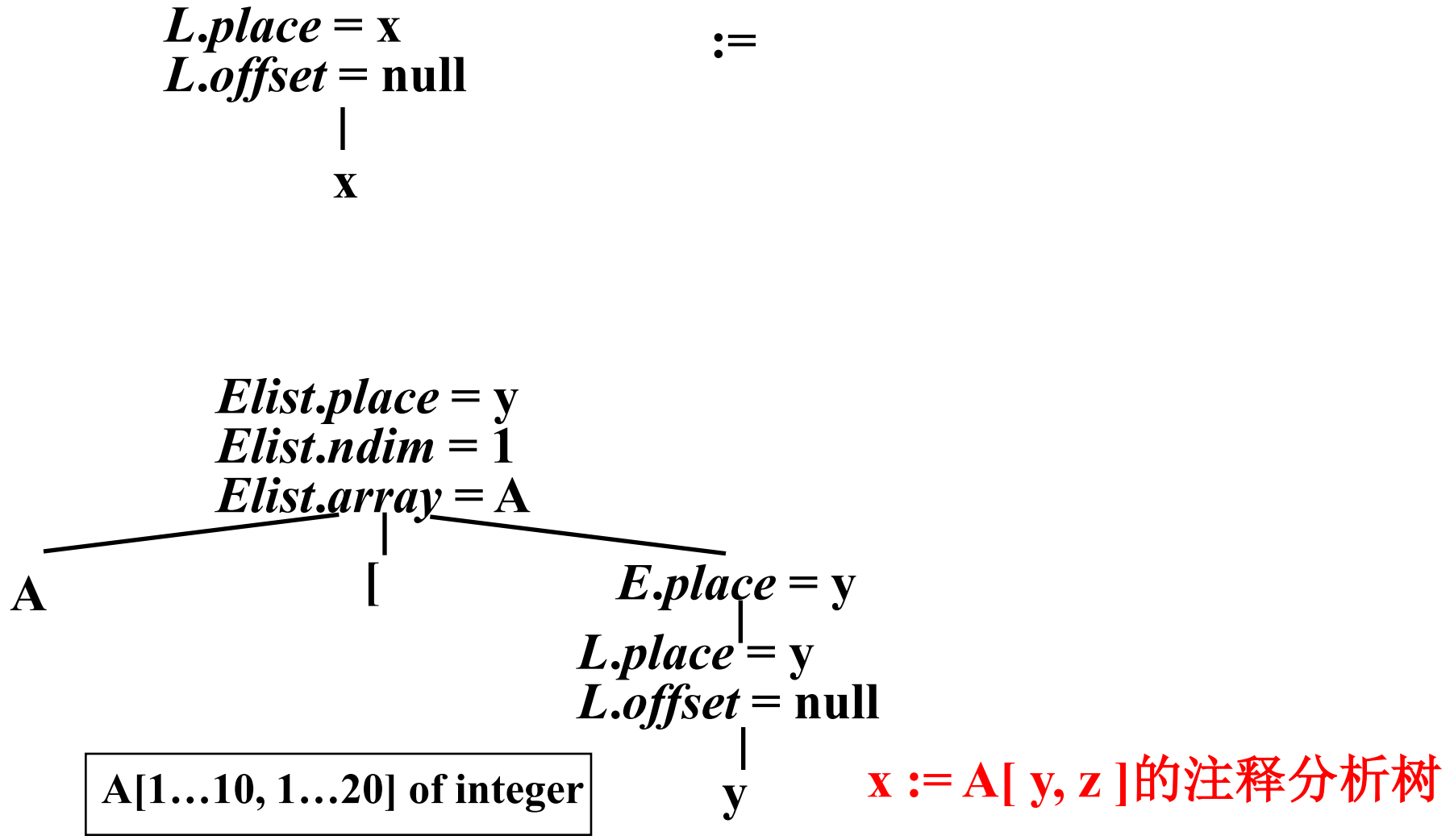
:=

A[1…10, 1…20] of integer

举例： x := A[y, z]

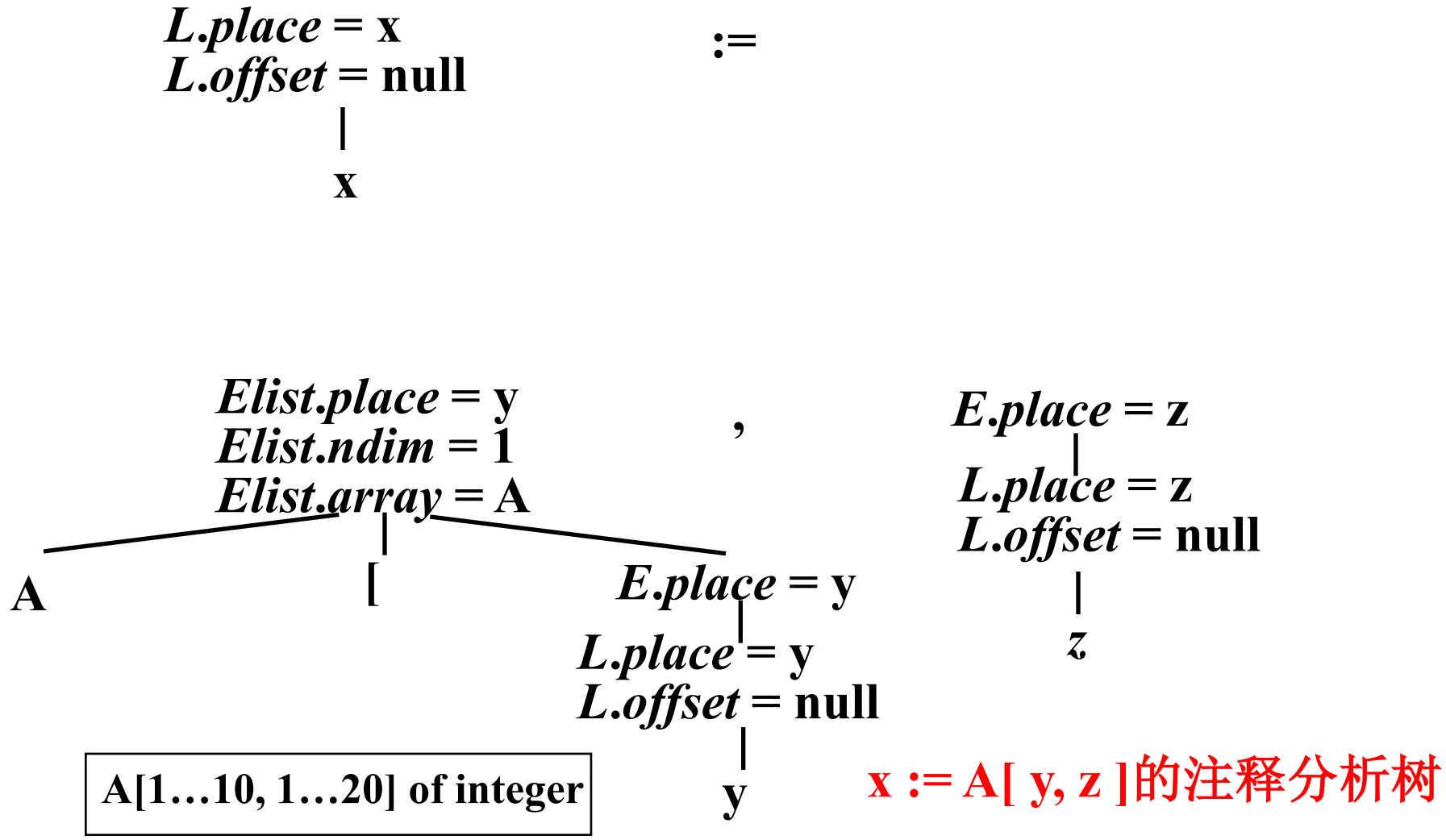

L.place = x
L.offset = null
x
:=
A
[
E.place = y
L.place = y
L.offset = null
y
A[1…10, 1…20] of integer

举例： x := A[y, z]



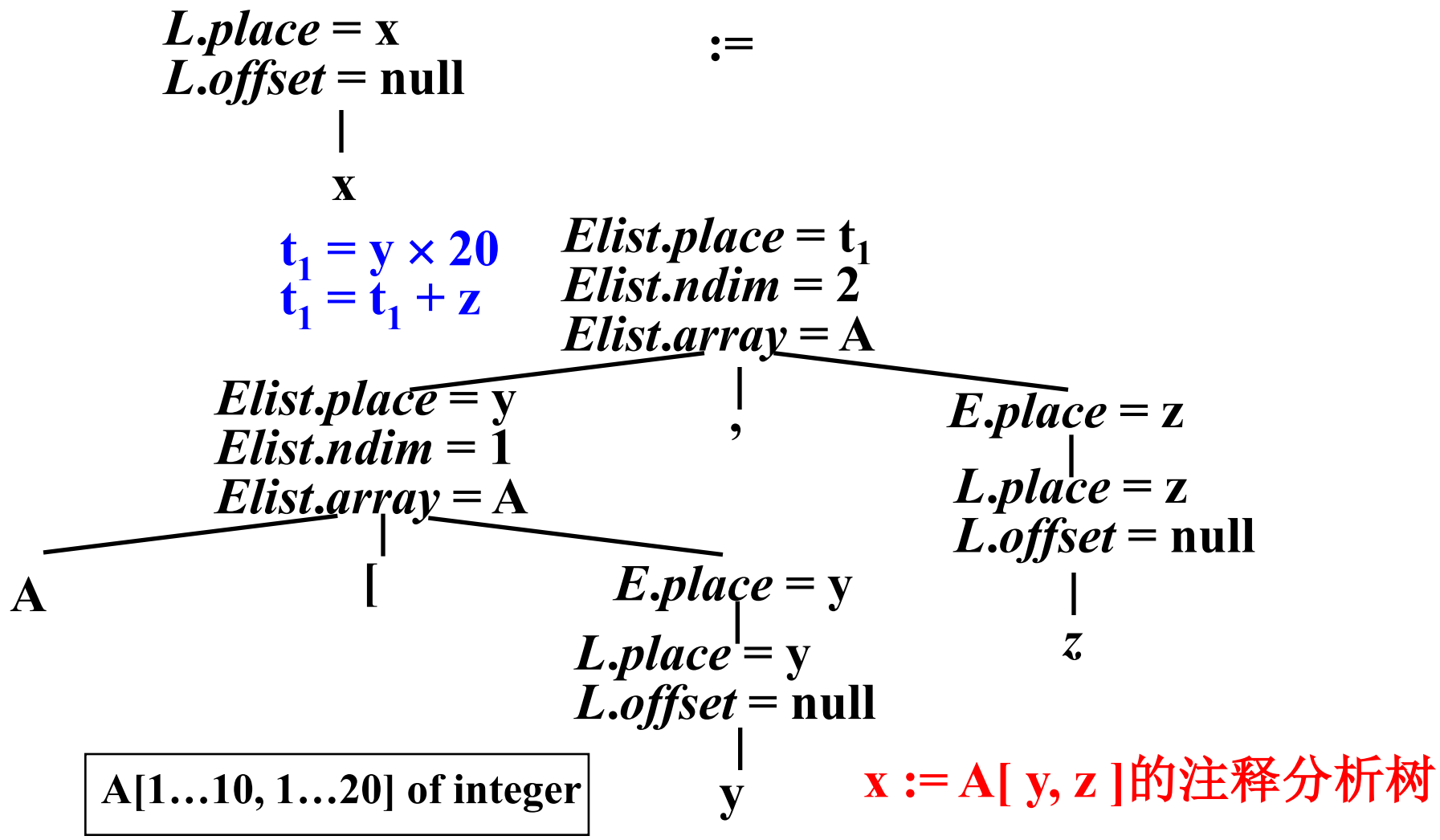
x := A[y, z]的注释分析树

举例： x := A[y, z]



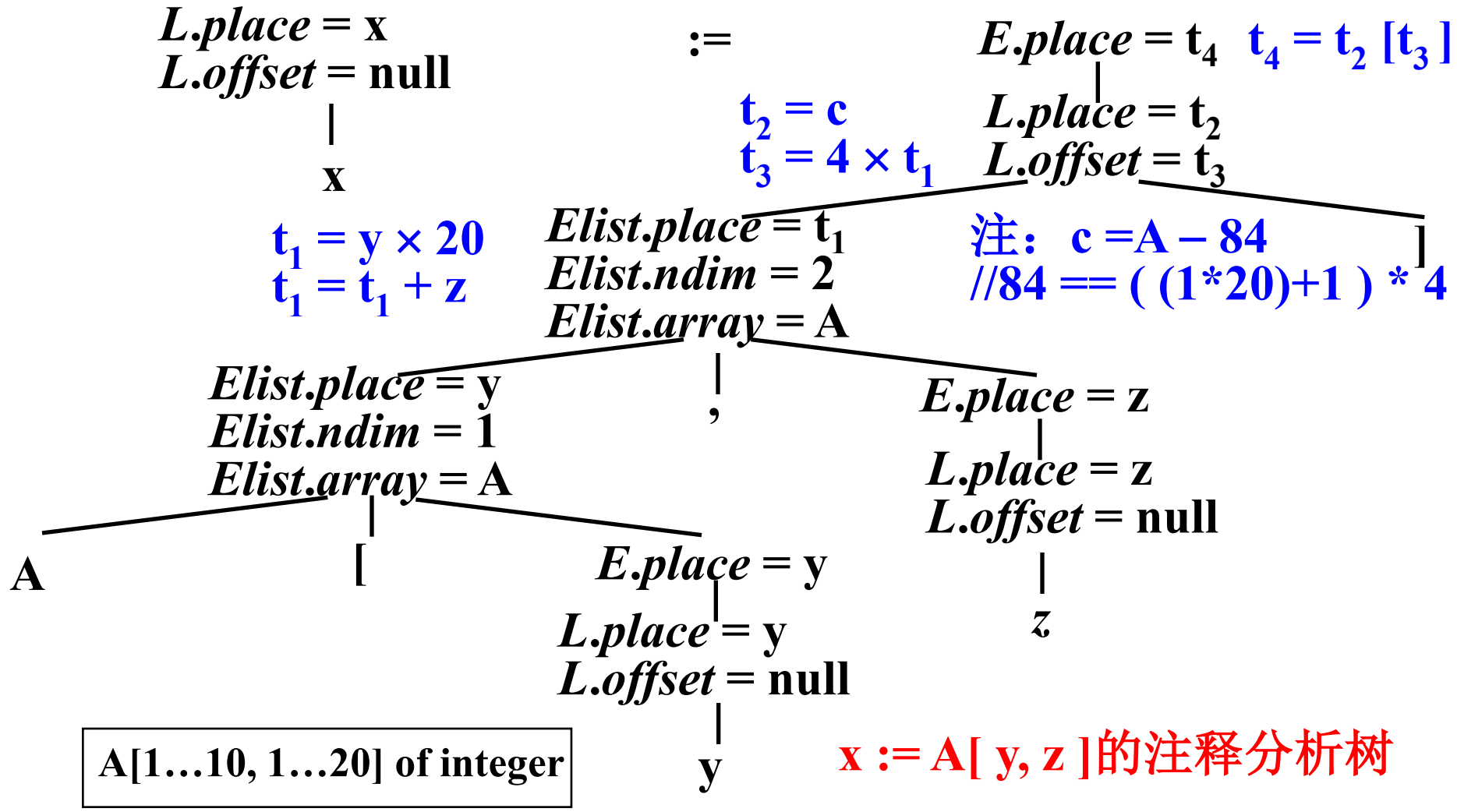
x := A[y, z]的注释分析树

举例： x := A[y, z]



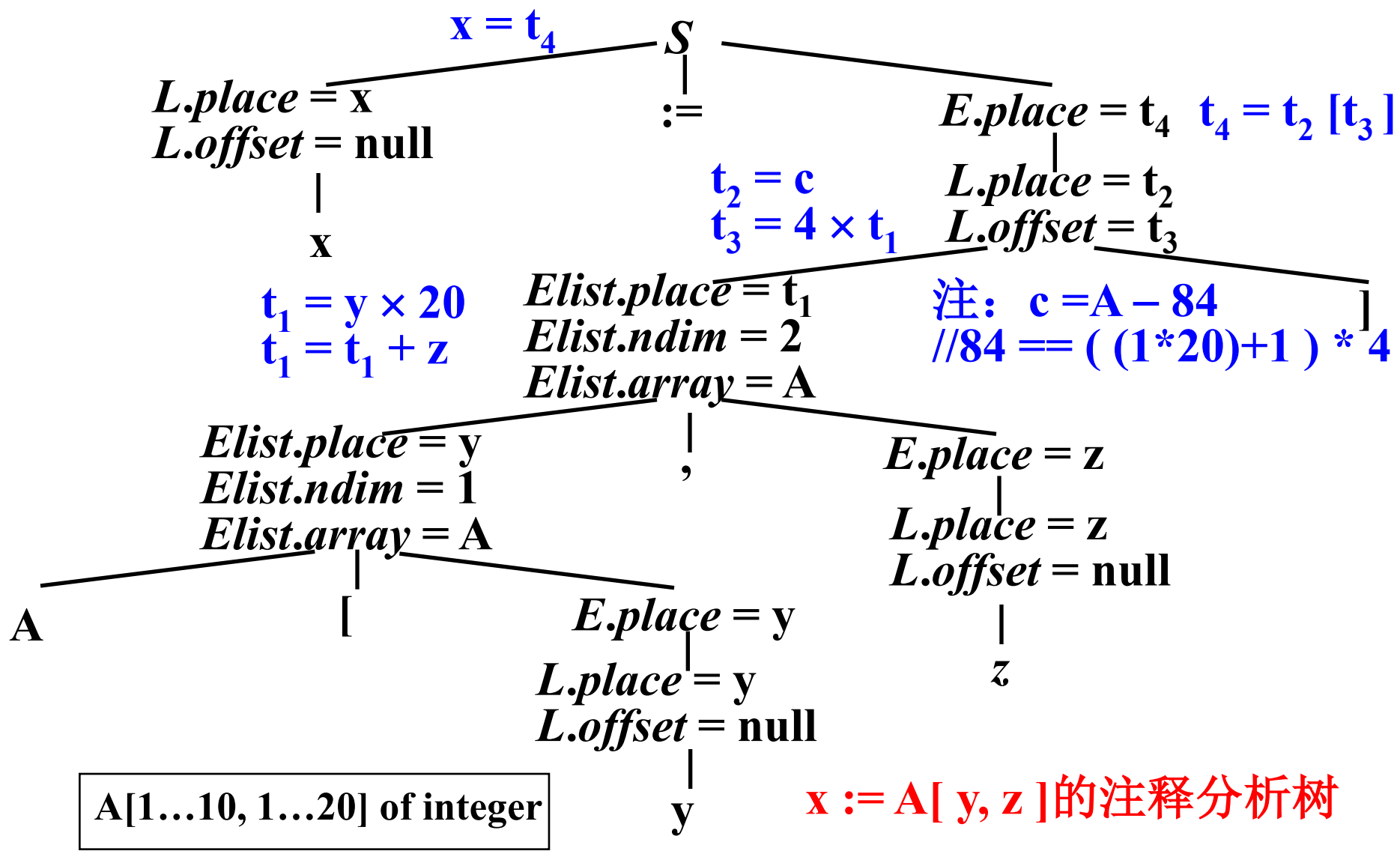
x := A[y, z]的注释分析树

举例： x := A[y, z]



x := A[y, z]的注释分析树

举例： x := A[y, z]



x := A[y, z]的注释分析树

举例：A[i, j] := B[i, j] * k

- 数组A：A[1..10, 1..20] of integer;

  数组B：B[1..10, 1..20] of integer;

  w ：4 （integer）

- TAC如下：

  (1) t_1 := i * 20

  (2) t_1 := t_1 + j

  (3) t_2 := A - 84 // 84 == ((1*20)+1) * 4

  (4) t_3 := t_1 * 4 // 以上A[i, j]的（左值）翻译

举例：A[i, j] := B[i, j] * k

TAC如下（续）：

(5) t_4 := i * 20

(6) t_4 := t_4 + j

(7) t_5 := B - 84

(8) t_6 := t_4 * 4

(9) t_7 := t_5[t_6]

//以上计算B[i,j]的右值

TAC如下（续）：

(10) t_8 := t_7 * k

//以上整个右值表达

//式计算完毕

(11) t_2[t_3] := t_8

// 完成数组元素的赋值

一起努力
打造国产基础软硬件体系！

李 诚

国家高性能计算中心(合肥)、信息与计算机国家级实验教学示范中心

计算机科学与技术学院

2024年11月04日