



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



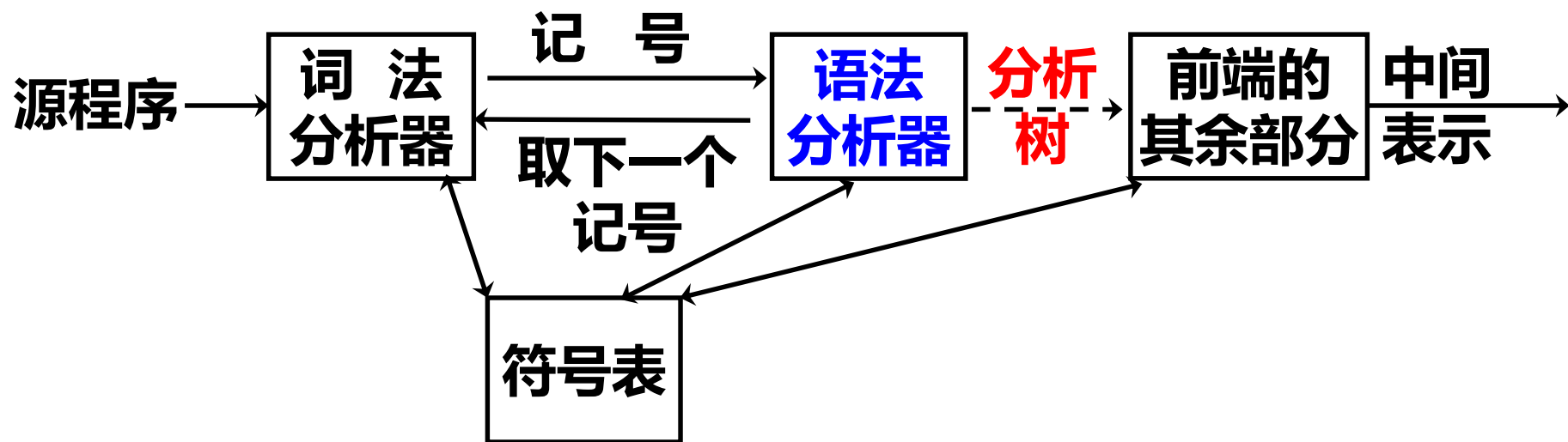
# 《编译原理与技术》

## 语法分析 III

计算机科学与技术学院

李 诚

27/09/2018



## □自底向上分析方法

- ❖ 归约(右推导的逆过程)
- ❖ 句柄(可归约串), 可能不唯一
- ❖ 冲突: 移进-归约、归约-归约



## □ 自顶向下 (Top-down)

❖ 针对输入串，从文法的开始符号出发，尝试根据产生式规则**推导 (derive)**出该输入串。

❖ 大部分的程序语言都不是LL(1)文法

## □ 自底向上 (Bottom-up)

❖ 针对输入串，尝试根据产生式规则**归约 (reduce)**到文法的开始符号。

❖ 比top-down分析方法更一般化

□把输入串归约成文法的开始符号，是最右推导的逆过程

例  $S \rightarrow aABe$   
 $A \rightarrow Abc / b$   
 $B \rightarrow d$

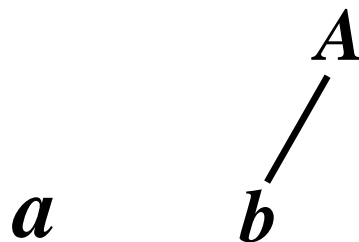
□把输入串归约成文法的开始符号，是最右推导的逆过程

例  $S \rightarrow aABe$   
 $A \rightarrow Abc / b$   
 $B \rightarrow d$   
 $abbcde$  (读入 $ab$ )

$a$        $b$

□把输入串归约成文法的开始符号，是最右推导的逆过程

例  $S \rightarrow aABe$   
 $A \rightarrow Abc / b$   
 $B \rightarrow d$   
 $a**b**cde$  (读入 $ab$ )  
 $aAbcde$  (归约)



□把输入串归约成文法的开始符号，是最右推导的逆过程

例  $S \rightarrow aABe$

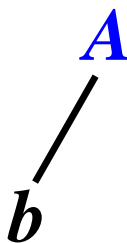
$A \rightarrow \textcolor{blue}{A}bc / b$

$B \rightarrow d$

$a\textcolor{blue}{b}bcde$  (读入 $ab$ )

$a\textcolor{blue}{A}bcde$  (再读入 $bc$ )

$a \quad b \quad \textcolor{blue}{A} \quad b \quad c$



□把输入串归约成文法的开始符号，是最右推导的逆过程

例  $S \rightarrow aABe$

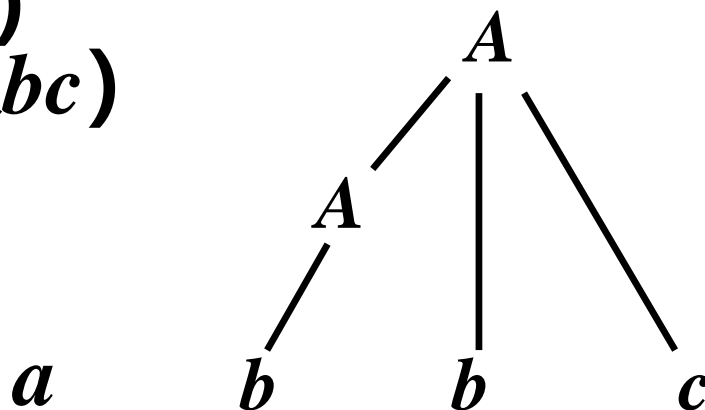
$A \rightarrow Abc / b$

$B \rightarrow d$

$a**b**bcde$  (读入 $ab$ )

$a**A**bcd$  (再读入 $bc$ )

$aAde$  (归约)





□把输入串归约成文法的开始符号，是最右推导的逆过程

例  $S \rightarrow aABe$

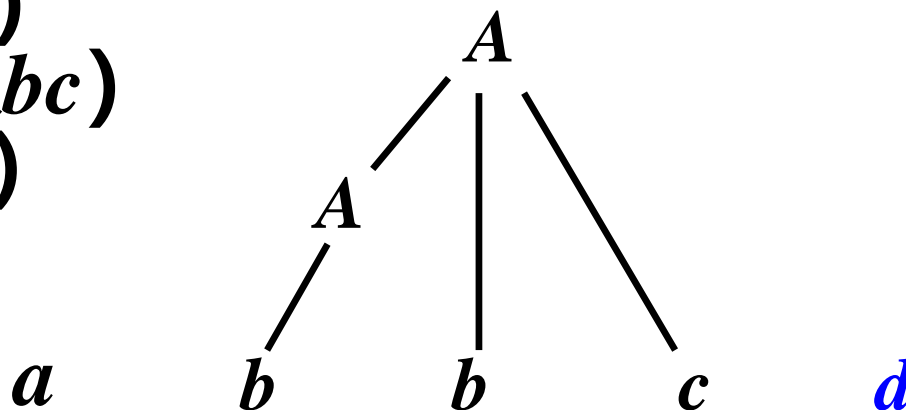
$A \rightarrow Abc / b$

$B \rightarrow d$

$a**b**bcde$  (读入 $ab$ )

$a**A**bcde$  (再读入 $bc$ )

$aA**d**e$  (再读入 $d$ )



□把输入串归约成文法的开始符号，是最右推导的逆过程

例  $S \rightarrow aABe$

$A \rightarrow Abc / b$

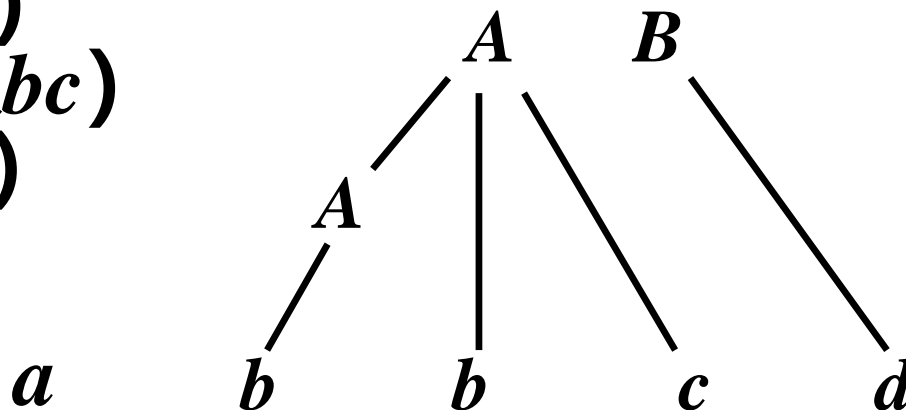
$B \rightarrow d$

$a**b**bcde$  (读入 $ab$ )

$a**A**bcde$  (再读入 $bc$ )

$aA**d**e$  (再读入 $d$ )

$aABe$  (归约)



□把输入串归约成文法的开始符号，是最右推导的逆过程

例  $S \rightarrow aABe$

$A \rightarrow Abc / b$

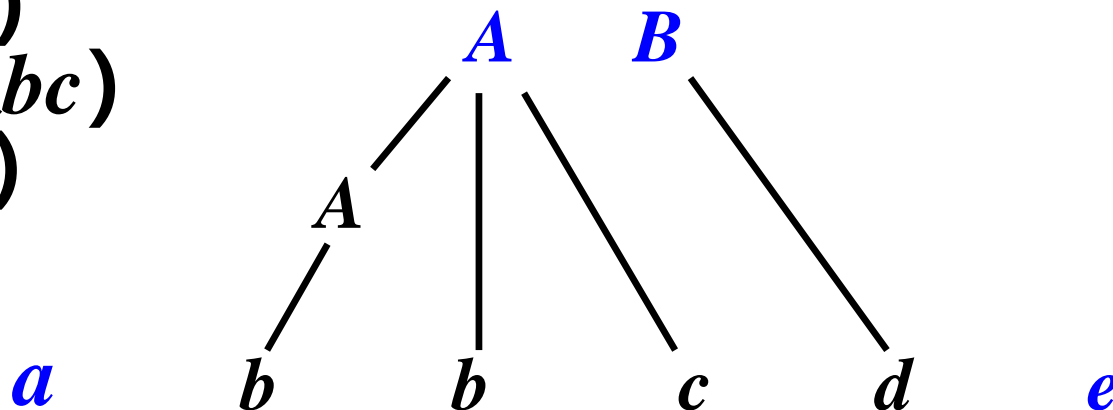
$B \rightarrow d$

$abbcde$  (读入 $ab$ )

$aAbcde$  (再读入 $bc$ )

$aAde$  (再读入 $d$ )

$aABe$  (再读入 $e$ )



□把输入串归约成文法的开始符号，是最右推导的逆过程

例  $S \rightarrow aABe$

$A \rightarrow Abc / b$

$B \rightarrow d$

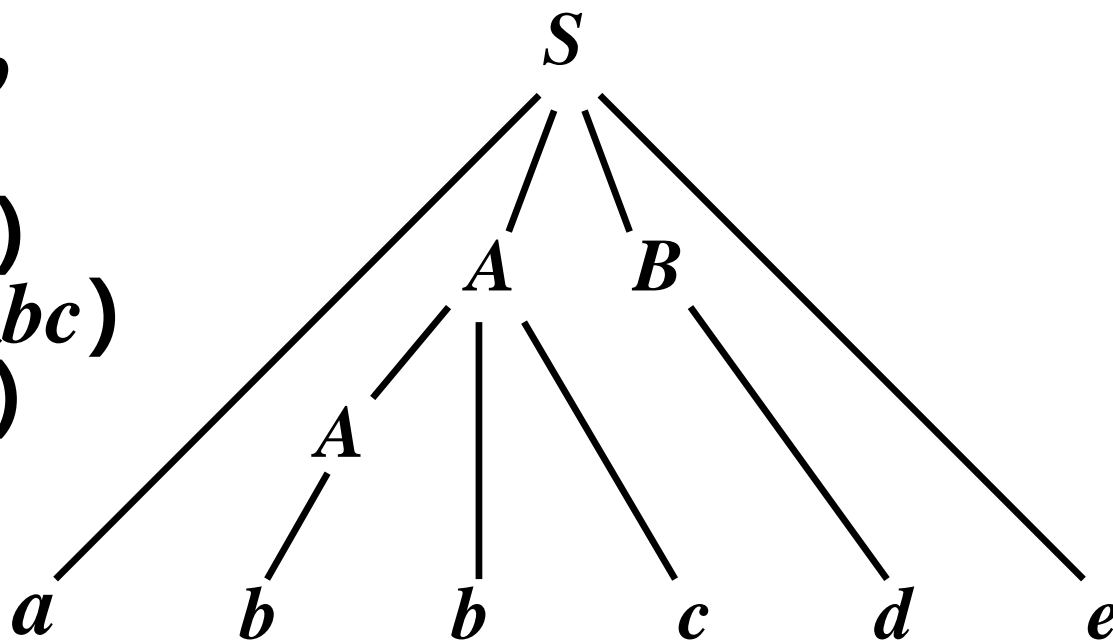
$abbcde$  (读入 $ab$ )

$aAbcde$  (再读入 $bc$ )

$aAde$  (再读入 $d$ )

$aABe$  (再读入 $e$ )

$S$  (归约)



□把输入串归约成文法的开始符号，是最右推导的逆过程

例  $S \rightarrow aABe$

$A \rightarrow Abc / b$

$B \rightarrow d$

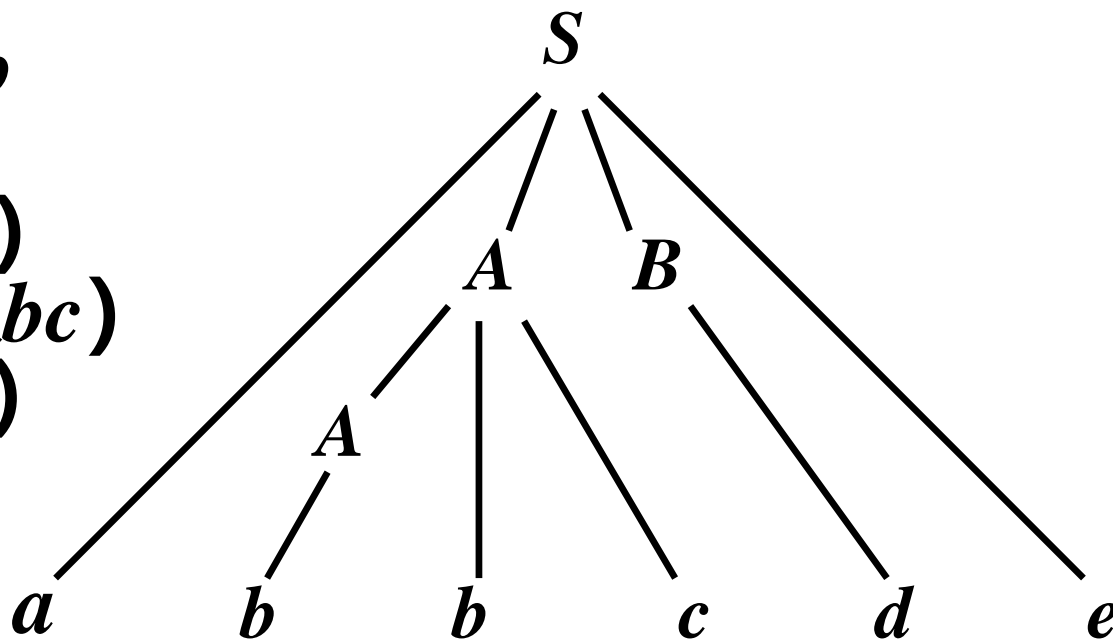
$abbcde$  (读入 $ab$ )

$aAbcde$  (再读入 $bc$ )

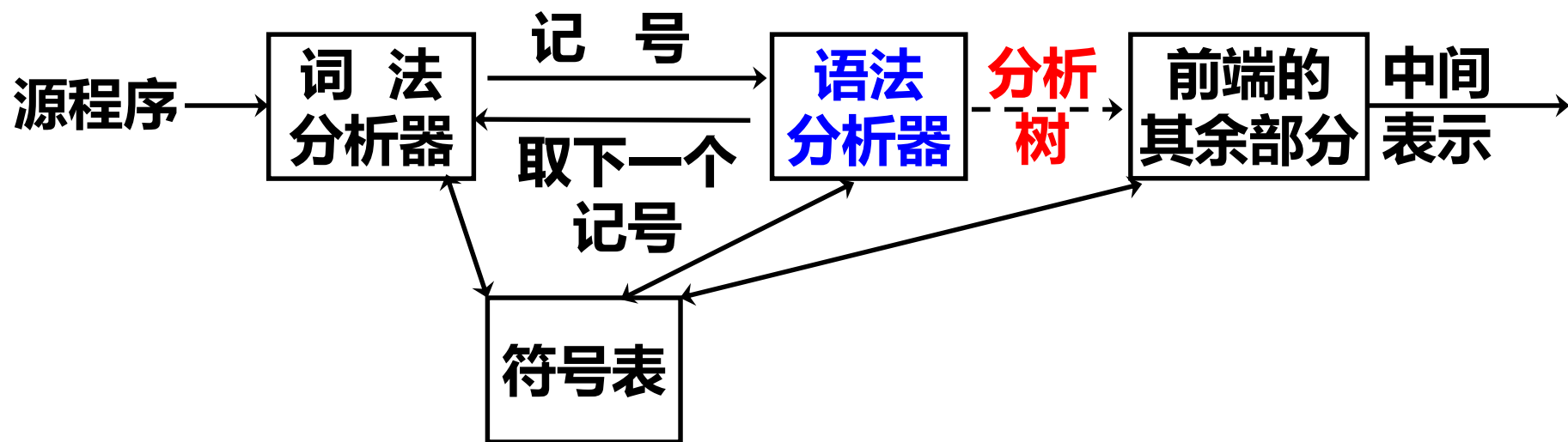
$aAde$  (再读入 $d$ )

$aABe$  (再读入 $e$ )

$S$  (归约)



$S \Rightarrow_{rm} aABe \Rightarrow_{rm} aAde \Rightarrow_{rm} aAbcde \Rightarrow_{rm} abbcde$



## □自底向上分析方法

- ❖ 归约(右推导的逆过程)
- ❖ 句柄(可归约串), 可能不唯一
- ❖ 冲突: 移进-归约、归约-归约



## □句型的句柄 (可归约串)

- ❖ 该句型中和某产生式右部匹配的子串,并且
- ❖ 把它归约成该产生式左部的非终结符代表了最右推导的逆过程的一步

$$S \rightarrow aABe$$

$$A \rightarrow Abc / b$$

$$B \rightarrow d$$

$$S \Rightarrow_{rm} aABe \Rightarrow_{rm} aAde \Rightarrow_{rm} aAbcde \Rightarrow_{rm} abbcde$$

- ❖ 句柄的右边仅含终结符
- ❖ 如果文法二义, 那么句柄可能不唯一

$$E \rightarrow E + E / E * E / (E) / \text{id}$$





# 例句柄不唯一



$$E \rightarrow E + E / E * E / (E) / \text{id}$$

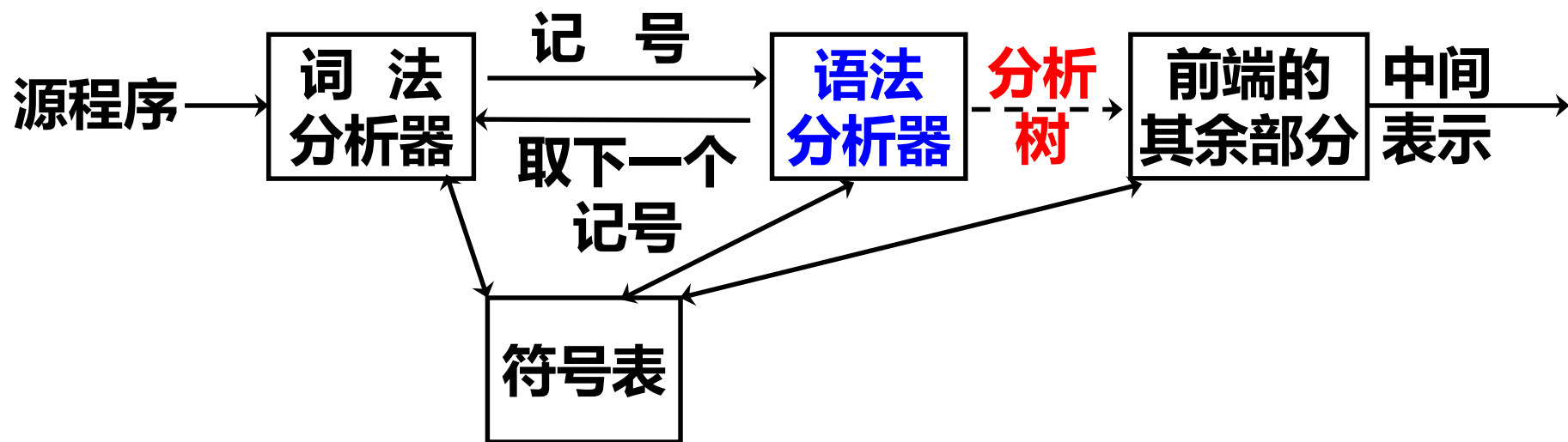
$$\begin{aligned} E &\Rightarrow_{rm} E * E \\ &\Rightarrow_{rm} E * E + E \\ &\Rightarrow_{rm} E * E + \text{id}_3 \\ &\Rightarrow_{rm} E * \text{id}_2 + \text{id}_3 \\ &\Rightarrow_{rm} \text{id}_1 * \text{id}_2 + \text{id}_3 \end{aligned}$$

$$E \rightarrow E + E / E * E / (E) / \text{id}$$

$$\begin{aligned} E &\Rightarrow_{rm} E * E \\ &\Rightarrow_{rm} E * E + E \\ &\Rightarrow_{rm} E * E + \text{id}_3 \\ &\Rightarrow_{rm} E * \text{id}_2 + \text{id}_3 \\ &\Rightarrow_{rm} \text{id}_1 * \text{id}_2 + \text{id}_3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &\Rightarrow_{rm} E + E \\ &\Rightarrow_{rm} E + \text{id}_3 \\ &\Rightarrow_{rm} E * E + \text{id}_3 \\ &\Rightarrow_{rm} E * \text{id}_2 + \text{id}_3 \\ &\Rightarrow_{rm} \text{id}_1 * \text{id}_2 + \text{id}_3 \end{aligned}$$

在句型  $E * E + \text{id}_3$  中，句柄不唯一



## □自底向上分析方法

- ❖ 归约(右推导的逆过程)
- ❖ 句柄(可归约串), 可能不唯一
- ❖ 移进(shift)-归约(reduce)分析技术
  - 冲突: 移进-归约、归约-归约



## □用栈实现移进-归约分析

- ❖ 栈保存已扫描过得文法符号，缓冲区存放还未分析的其余符号
- ❖ 移进(shift): 将下一个输入符号放到栈顶，以形成句柄
- ❖ 归约(reduce): 将句柄替换为对应的产生式的左部非终结符
- ❖ 接受(accept): 分析成功
- ❖ 报错(error): 发现语法错误



## □ 用栈实现移进-归约分析

❖ 先通过分析输入串  $id_1 * id_2 + id_3$  时的动作序列来了解移进-归约分析的工作方式



# 移进-归约 $id_1 * id_2 + id_3$



栈	输 入	动 作
\$	$id_1 * id_2 + id_3$ \$	



# 移进-归约 $id_1 * id_2 + id_3$



栈	输 入	动 作
\$	$id_1 * id_2 + id_3$ \$	移进



# 移进-归约 $id_1 * id_2 + id_3$



栈	输 入	动 作
\$	$id_1 * id_2 + id_3 \$$	移进
\$ $id_1$	$* id_2 + id_3 \$$	





# 移进-归约 $id_1 * id_2 + id_3$



栈	输 入	动 作
\$	$id_1 * id_2 + id_3 \$$	移进
\$ $id_1$	$* id_2 + id_3 \$$	按 $E \rightarrow id$ 归约



# 移进-归约 $id_1 * id_2 + id_3$



栈	输 入	动 作
\$	$id_1 * id_2 + id_3 \$$	移进
\$ $id_1$	$* id_2 + id_3 \$$	按 $E \rightarrow id$ 归约
$\$E$	$* id_2 + id_3 \$$	



# 移进-归约 $id_1 * id_2 + id_3$



栈	输 入	动 作
\$	$id_1 * id_2 + id_3 \$$	移进
\$ $id_1$	$* id_2 + id_3 \$$	按 $E \rightarrow id$ 归约
\$ $E$	$* id_2 + id_3 \$$	移进

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]



# 移进-归约 $id_1 * id_2 + id_3$



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

栈	输 入	动 作
\$	$id_1 * id_2 + id_3 \$$	移进
\$ $id_1$	$* id_2 + id_3 \$$	按 $E \rightarrow id$ 归约
\$ $E$	$* id_2 + id_3 \$$	移进
\$ $E*$	$id_2 + id_3 \$$	移进
\$ $E*id_2$	$+ id_3 \$$	按 $E \rightarrow id$ 归约
\$ $E*E$	$+ id_3 \$$	





# 移进-归约 $id_1 * id_2 + id_3$



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

栈	输 入	动 作
\$	$id_1 * id_2 + id_3 \$$	移进
\$ $id_1$	$* id_2 + id_3 \$$	按 $E \rightarrow id$ 归约
$\$E$	$* id_2 + id_3 \$$	移进
$\$E*$	$id_2 + id_3 \$$	移进
$\$E*id_2$	$+ id_3 \$$	按 $E \rightarrow id$ 归约
$\$E*E$	$+ id_3 \$$	移进



# 移进-归约 $id_1 * id_2 + id_3$



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

栈	输 入	动 作
\$	$id_1 * id_2 + id_3 \$$	移进
\$ $id_1$	$* id_2 + id_3 \$$	按 $E \rightarrow id$ 归约
\$ $E$	$* id_2 + id_3 \$$	移进
\$ $E*$	$id_2 + id_3 \$$	移进
\$ $E*id_2$	$+ id_3 \$$	按 $E \rightarrow id$ 归约
\$ $E*E$	$+ id_3 \$$	移进
\$ $E*E+$	$id_3 \$$	



# 移进-归约 $id_1 * id_2 + id_3$



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

栈	输 入	动 作
\$	$id_1 * id_2 + id_3 \$$	移进
\$ $id_1$	$* id_2 + id_3 \$$	按 $E \rightarrow id$ 归约
\$ $E$	$* id_2 + id_3 \$$	移进
\$ $E*$	$id_2 + id_3 \$$	移进
\$ $E*id_2$	$+ id_3 \$$	按 $E \rightarrow id$ 归约
\$ $E*E$	$+ id_3 \$$	移进
\$ $E*E+$	$id_3 \$$	移进



# 移进-归约 $id_1 * id_2 + id_3$



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

栈	输 入	动 作
\$	$id_1 * id_2 + id_3 \$$	移进
\$ $id_1$	$* id_2 + id_3 \$$	按 $E \rightarrow id$ 归约
\$ $E$	$* id_2 + id_3 \$$	移进
\$ $E*$	$id_2 + id_3 \$$	移进
\$ $E*id_2$	$+ id_3 \$$	按 $E \rightarrow id$ 归约
\$ $E*E$	$+ id_3 \$$	移进
\$ $E*E+$	$id_3 \$$	移进
\$ $E*E+id_3$	\$	



# 移进-归约 $id_1 * id_2 + id_3$



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

栈	输 入	动 作
\$	$id_1 * id_2 + id_3 \$$	移进
\$ $id_1$	$* id_2 + id_3 \$$	按 $E \rightarrow id$ 归约
\$ $E$	$* id_2 + id_3 \$$	移进
\$ $E*$	$id_2 + id_3 \$$	移进
\$ $E*id_2$	$+ id_3 \$$	按 $E \rightarrow id$ 归约
\$ $E*E$	$+ id_3 \$$	移进
\$ $E*E+$	$id_3 \$$	移进
\$ $E*E+id_3$	\$	按 $E \rightarrow id$ 归约



# 移进-归约 $id_1 * id_2 + id_3$



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

栈	输 入	动 作
\$	$id_1 * id_2 + id_3 \$$	移进
\$ $id_1$	$* id_2 + id_3 \$$	按 $E \rightarrow id$ 归约
\$ $E$	$* id_2 + id_3 \$$	移进
\$ $E*$	$id_2 + id_3 \$$	移进
\$ $E*id_2$	$+ id_3 \$$	按 $E \rightarrow id$ 归约
\$ $E*E$	$+ id_3 \$$	移进
\$ $E*E+$	$id_3 \$$	移进
\$ $E*E+id_3$	\$	按 $E \rightarrow id$ 归约
\$ $E*E+E$	\$	



# 移进-归约 $id_1 * id_2 + id_3$



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

栈	输 入	动 作
\$	$id_1 * id_2 + id_3 \$$	移进
\$ $id_1$	$* id_2 + id_3 \$$	按 $E \rightarrow id$ 归约
\$ $E$	$* id_2 + id_3 \$$	移进
\$ $E*$	$id_2 + id_3 \$$	移进
\$ $E*id_2$	$+ id_3 \$$	按 $E \rightarrow id$ 归约
\$ $E*E$	$+ id_3 \$$	移进
\$ $E*E+$	$id_3 \$$	移进
\$ $E*E+id_3$	\$	按 $E \rightarrow id$ 归约
\$ $E*E+E$	\$	按 $E \rightarrow E+E$ 归约



# 移进-归约 $id_1 * id_2 + id_3$



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

栈	输 入	动 作
\$	$id_1 * id_2 + id_3 \$$	移进
\$ $id_1$	$* id_2 + id_3 \$$	按 $E \rightarrow id$ 归约
\$ $E$	$* id_2 + id_3 \$$	移进
\$ $E*$	$id_2 + id_3 \$$	移进
\$ $E*id_2$	$+ id_3 \$$	按 $E \rightarrow id$ 归约
\$ $E*E$	$+ id_3 \$$	移进
\$ $E*E+$	$id_3 \$$	移进
\$ $E*E+id_3$	\$	按 $E \rightarrow id$ 归约
\$ $E*E+E$	\$	按 $E \rightarrow E+E$ 归约
\$ $E*E$	\$	





# 移进-归约 $id_1 * id_2 + id_3$



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

栈	输 入	动 作
\$	$id_1 * id_2 + id_3 \$$	移进
$\$ id_1$	$* id_2 + id_3 \$$	按 $E \rightarrow id$ 归约
$\$ E$	$* id_2 + id_3 \$$	移进
$\$ E *$	$id_2 + id_3 \$$	移进
$\$ E * id_2$	$+ id_3 \$$	按 $E \rightarrow id$ 归约
$\$ E * E$	$+ id_3 \$$	移进
$\$ E * E +$	$id_3 \$$	移进
$\$ E * E + id_3$	$\$$	按 $E \rightarrow id$ 归约
$\$ E * E + E$	$\$$	按 $E \rightarrow E + E$ 归约
$\$ E * E$	$\$$	按 $E \rightarrow E * E$ 归约



# 移进-归约 $id_1 * id_2 + id_3$



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

栈	输 入	动 作
\$	$id_1 * id_2 + id_3 \$$	移进
$\$ id_1$	$* id_2 + id_3 \$$	按 $E \rightarrow id$ 归约
$\$ E$	$* id_2 + id_3 \$$	移进
$\$ E *$	$id_2 + id_3 \$$	移进
$\$ E * id_2$	$+ id_3 \$$	按 $E \rightarrow id$ 归约
$\$ E * E$	$+ id_3 \$$	移进
$\$ E * E +$	$id_3 \$$	移进
$\$ E * E + id_3$	$\$$	按 $E \rightarrow id$ 归约
$\$ E * E + E$	$\$$	按 $E \rightarrow E + E$ 归约
$\$ E * E$	$\$$	按 $E \rightarrow E * E$ 归约
$\$ E$	$\$$	

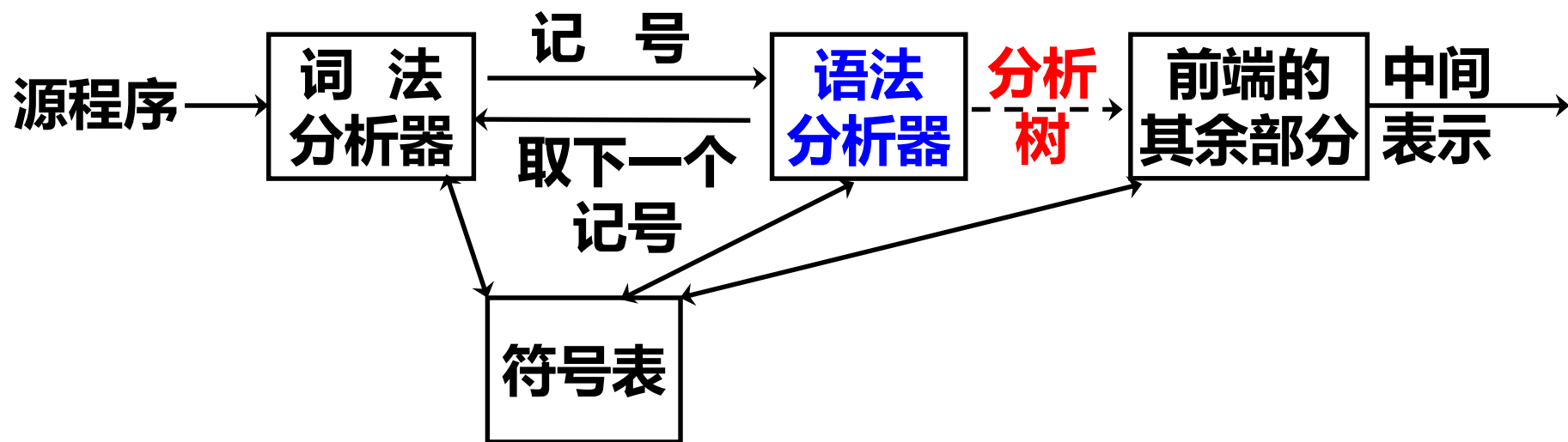


# 移进-归约 $id_1 * id_2 + id_3$



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

栈	输 入	动 作
\$	$id_1 * id_2 + id_3 \$$	移进
\$ $id_1$	$* id_2 + id_3 \$$	按 $E \rightarrow id$ 归约
\$ $E$	$* id_2 + id_3 \$$	移进
\$ $E*$	$id_2 + id_3 \$$	移进
\$ $E*id_2$	$+ id_3 \$$	按 $E \rightarrow id$ 归约
\$ $E*E$	$+ id_3 \$$	移进
\$ $E*E+$	$id_3 \$$	移进
\$ $E*E+id_3$	\$	按 $E \rightarrow id$ 归约
\$ $E*E+E$	\$	按 $E \rightarrow E+E$ 归约
\$ $E*E$	\$	按 $E \rightarrow E*E$ 归约
\$ $E$	\$	接受



## □自底向上分析方法

- ❖ 归约(右推导的逆过程)
- ❖ 句柄(可归约串), 可能不唯一
- ❖ 移进(shift)-归约(reduce)分析技术
  - 冲突: 移进-归约、归约-归约



## □要想很好地使用移进-归约方式，尚需解决一些问题

- ❖ 如何决策选择移进还是归约
- ❖ 进行归约时，确定右句型中将要归约的子串
- ❖ 进行归约时，如何确定选择哪一个产生式



## □移进-归约冲突 例

$stmt \rightarrow$  if  $expr$  then  $stmt$   
          | if  $expr$  then  $stmt$  else  $stmt$   
          | other

如果移进-归约分析器处于格局(configuration)

栈

... if  $expr$  then  $stmt$

归约?

输入

else ... \$

移进?



## □ 归约-归约冲突

$stmt \rightarrow id (parameter\_list) \mid expr = expr$

$parameter\_list \rightarrow parameter\_list, parameter \mid parameter$

$parameter \rightarrow id$

$expr \rightarrow id (expr\_list) \mid id$

$expr\_list \rightarrow expr\_list, expr \mid expr$

由  $A(I, J)$  开始的语句

栈

...  $id ( id$

归约成  $expr$  还是  $parameter$  ?

输入

,  $id )$ ...



## □ 归约-归约冲突

$stmt \rightarrow id (parameter\_list) \mid expr = expr$   
 $parameter\_list \rightarrow parameter\_list, parameter \mid parameter$   
 $parameter \rightarrow id$   
 $expr \rightarrow id (expr\_list) \mid id$   
 $expr\_list \rightarrow expr\_list, expr \mid expr$

由  $A(I, J)$  开始的语句 (词法分析查符号表, 区分第一个  $id$ )

栈

... **procid** ( id

输入

, id )...

需要修改文法中的第一个产生式





# 《编译原理与技术》

## 语法分析 III

**Imagination is more important than knowledge. For knowledge is limited, whereas imagination embraces the entire world, stimulating progress, giving birth to evolution.**

**—— *Albert Einstein***