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

语法分析VI

《编译原理和技术(H)》、《编译原理(H)》

张昱

0551-63603804，yuzhang@ustc.edu.cn

中国科学技术大学

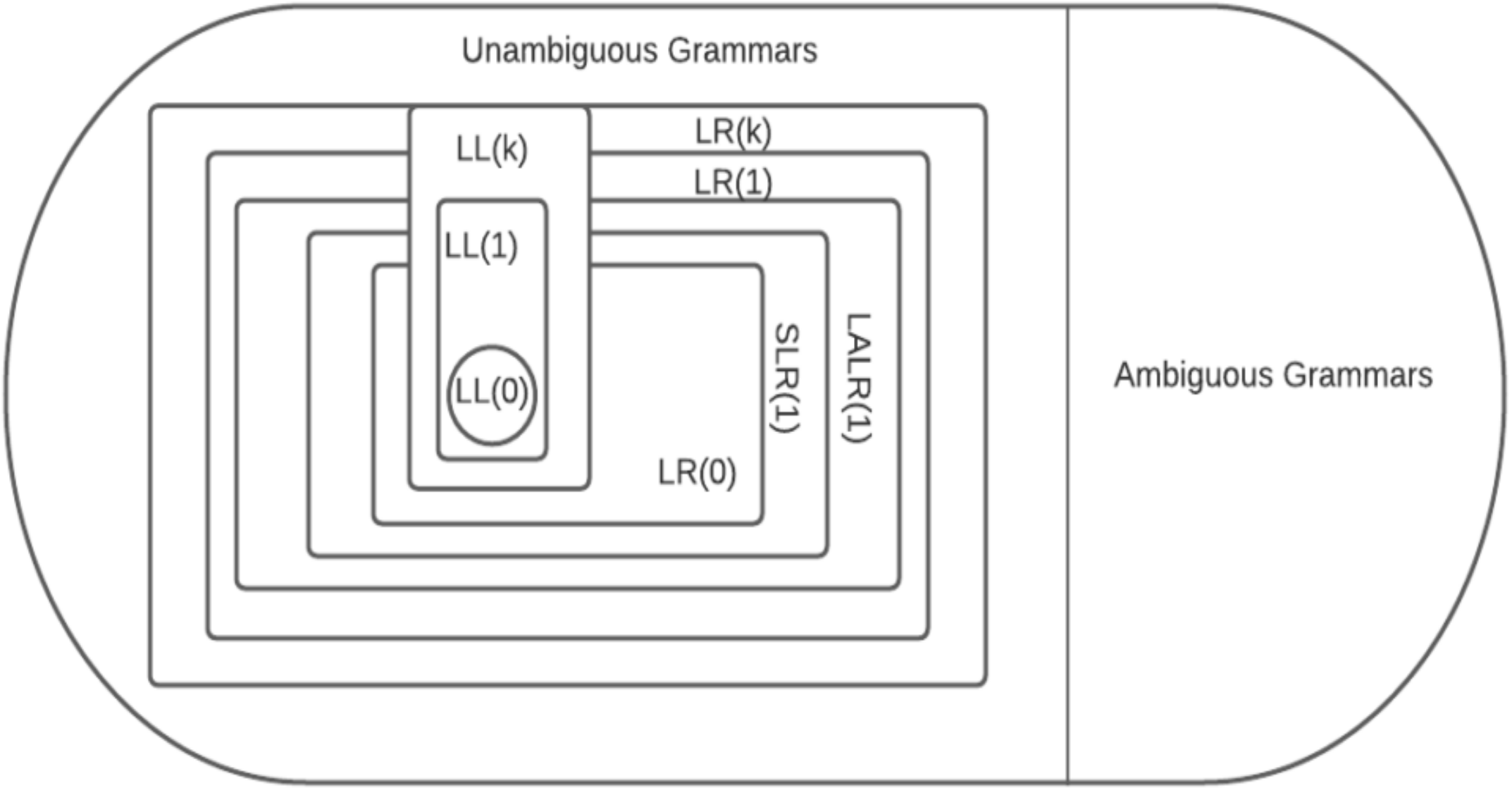
计算机科学与技术学院

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

3.7 二义文法的应用

- 通过其他手段消除二义文法的二义性
- LR解析的错误恢复

文法及其表达能力


Unambiguous Grammars
LL(k)
LR(k)
LR(1)
LL(1)
LL(0)
SLR(1)
LALR(1)
LR(0)
Ambiguous Grammars

二义文法的特点

- 特点
  - 绝不是LR 文法
  - 简洁、自然

例 二义文法 $E \to E + E \mid E * E \mid (E) \mid \mathrm{id}$

非二义的文法：

$E \to E + T \mid T$

$T \to T * F \mid F$

$F \to (E) \mid \mathrm{id}$

该文法有单个非终结符为右部的产生式（简称单非产生式）

单非产生式会增加
分析树的高度
=> 分析效率降低

二义文法的消除

特点

- 绝不是LR 文法
- 简洁、自然
- 可以用文法以外的信息来消除二义

例 二义文法 $E \to E + E \mid E * E \mid (E) \mid \mathrm{id}$

规定：*优先级高于+，两者都是左结合

LR(0)项目集I_7

$E \to E + E \cdot$

$E \to E \cdot + E$

$E \to E \cdot * E$

栈	输入
id + id	+ id

面临+，归约

二义文法的消除

特点

- 绝不是LR 文法
- 简洁、自然
- 可以用文法以外的信息来消除二义

例 二义文法 $E \to E + E \mid E * E \mid (E) \mid \mathrm{id}$

规定：*优先级高于+，两者都是左结合

LR(0)项目集I_7

$E \to E + E \cdot$

$E \to E \cdot + E$

$E \to E \cdot * E$

栈	输入
id + id	+ id
id + id	* id

面临+，归约　　面临*，移进

Follow(E)={+, *,), $}

面临)和$，归约

二义文法的消除

特点

- 绝不是LR 文法
- 简洁、自然
- 可以用文法以外的信息来消除二义

例 二义文法 $E \to E + E \mid E * E \mid (E) \mid \mathrm{id}$

规定：*优先级高于+，两者都是左结合

LR(0)项目集I_8

$E \to E * E \cdot$

$E \to E \cdot + E$

$E \to E \cdot * E$

栈	输入
id * id	+ id

面临+，归约

二义文法的消除

特点

- 绝不是LR 文法
- 简洁、自然
- 可以用文法以外的信息来消除二义

例 二义文法 $E \to E + E \mid E * E \mid (E) \mid \mathrm{id}$

规定：*优先级高于+，两者都是左结合

LR(0)项目集I_8

$E \to E * E \cdot$

$E \to E \cdot + E$

$E \to E \cdot * E$

Follow(E)={+, *,), $}

栈	输入	
id * id	+ id	面临+，归约
id * id	* id	面临*，归约
		面临)和$，归约

特殊情况引起的二义性

$E \rightarrow E$ sub E sup E

$E \rightarrow E$ sub E

$E \rightarrow E$ sup E

$E \rightarrow \{E\}$

$E \rightarrow c$

从定义形式语言的角度说，第一个产生式是多余的；

但联系到语义处理，第一个产生式是必要的.

对a sub i sup 2，需要下面第一种输出

$$a_i^2 \qquad a_i{}^2 \qquad a_{i^2}$$

特殊情况引起的二义性

$E \rightarrow E$ sub E sup E

$E \rightarrow E$ sub E

$E \rightarrow E$ sup E

$E \rightarrow \{E\}$

$E \rightarrow c$

I_{11}:
$E \rightarrow E$ sub E sup E ·
$E \rightarrow E$ sup E ·
…

按前面一个产生式归约

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

3.7 二义文法的应用

- 通过其他手段消除二义文法的二义性
- **LR解析的错误恢复**

LR解析的错误恢复

- LR解析器在什么情况下发现错误
  - 访问action表时遇到出错条目
  - 访问goto表时绝不会遇到出错条目
  - 绝不会把不正确的后继移进栈
  - 规范的LR解析器在报告错误之前绝不做任何无效归约
    - SLR和LALR在报告错误前有可能执行几步无效归约

规范的LR解析不会把错误移进

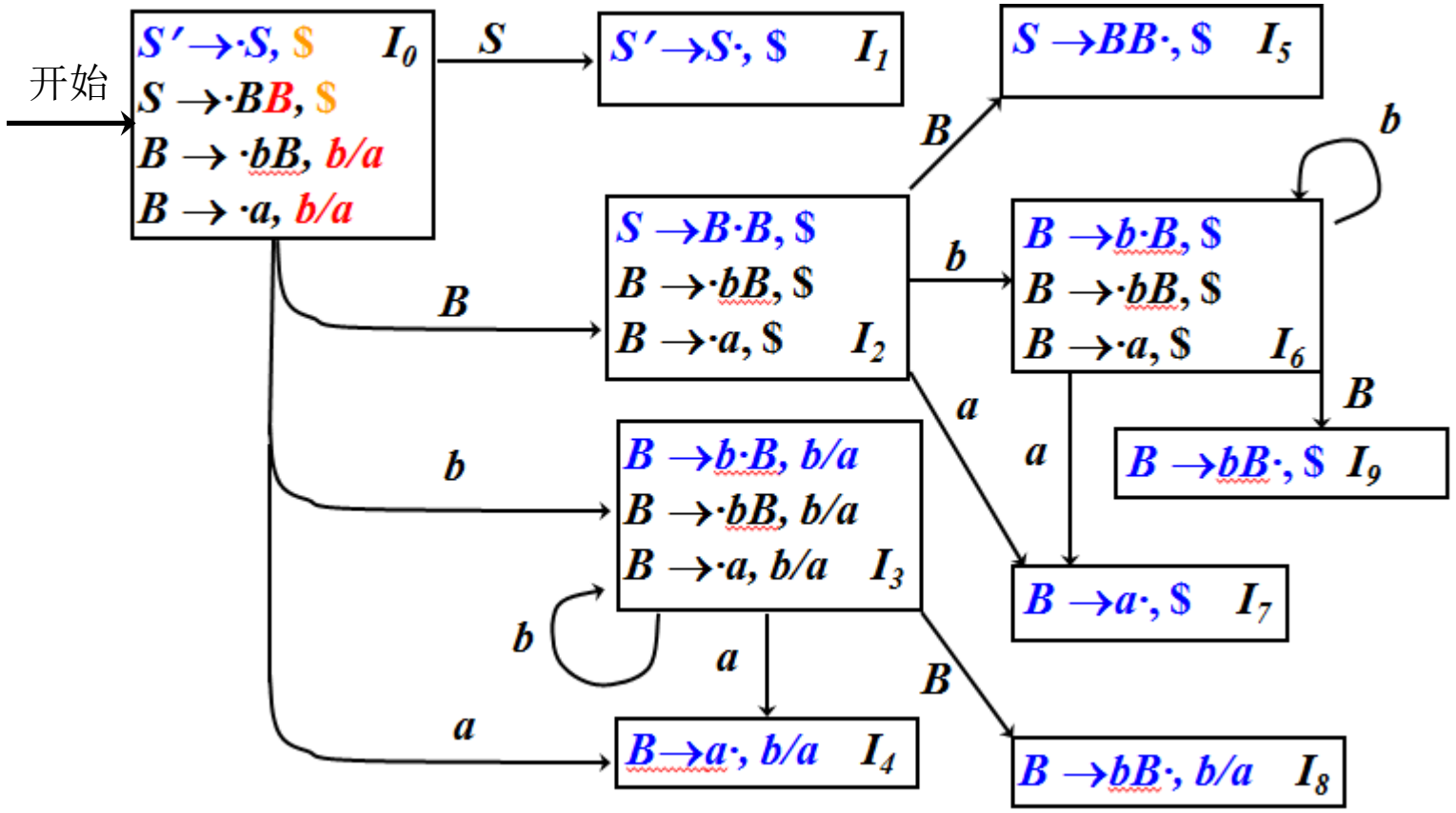
给出在以下输入下的LR解析过程

aa$

栈	输入
0	aa$
0a4	a$
0B2	a$
0B2a7	$
0B2B5	$
0S1	$
acc	

a$

栈	输入
0	a$
0a4	$
报错	



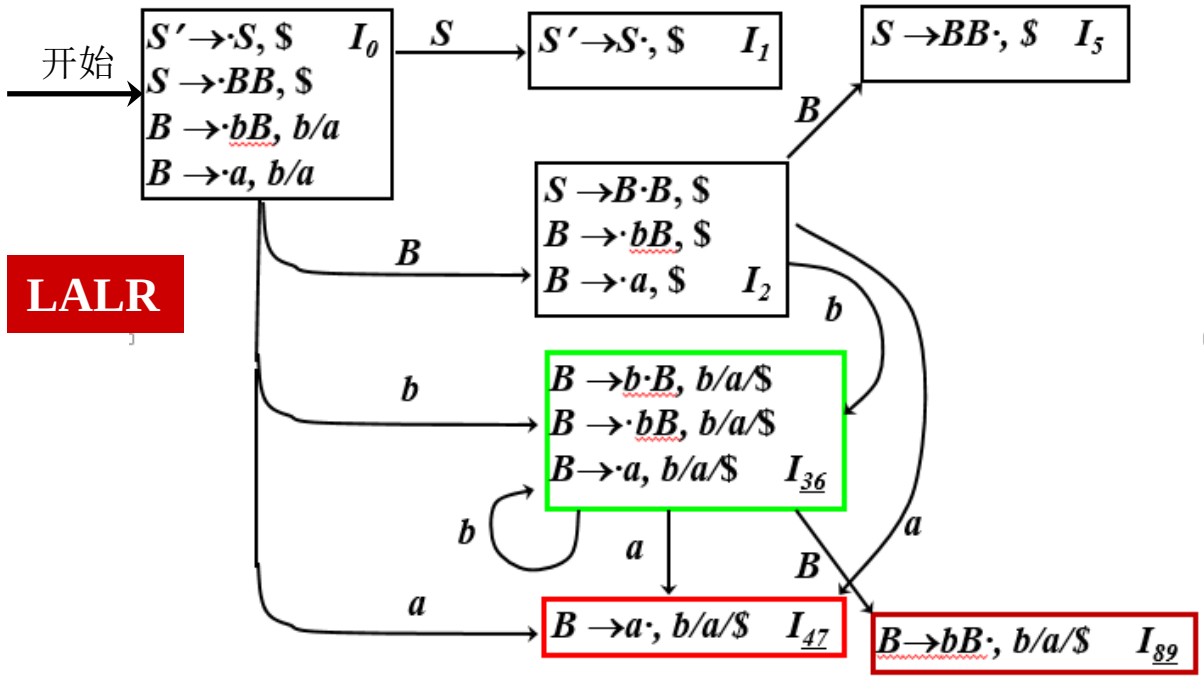
LALR解析不会把错误移进

给出在以下输入下的

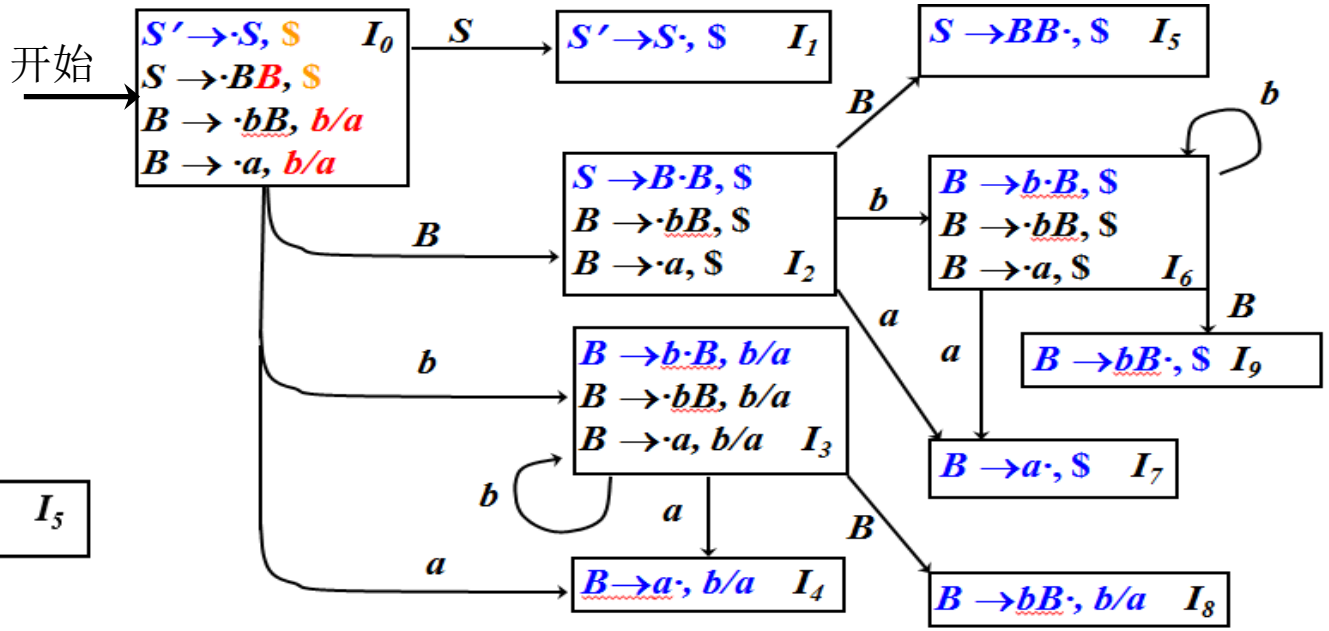
LR解析过程

a$

栈	输入
0	*a*$
0*a*4	$
报错	



LALR



栈	输入
0	*a*$
0*a*47	$
0*B*2	$
报错	

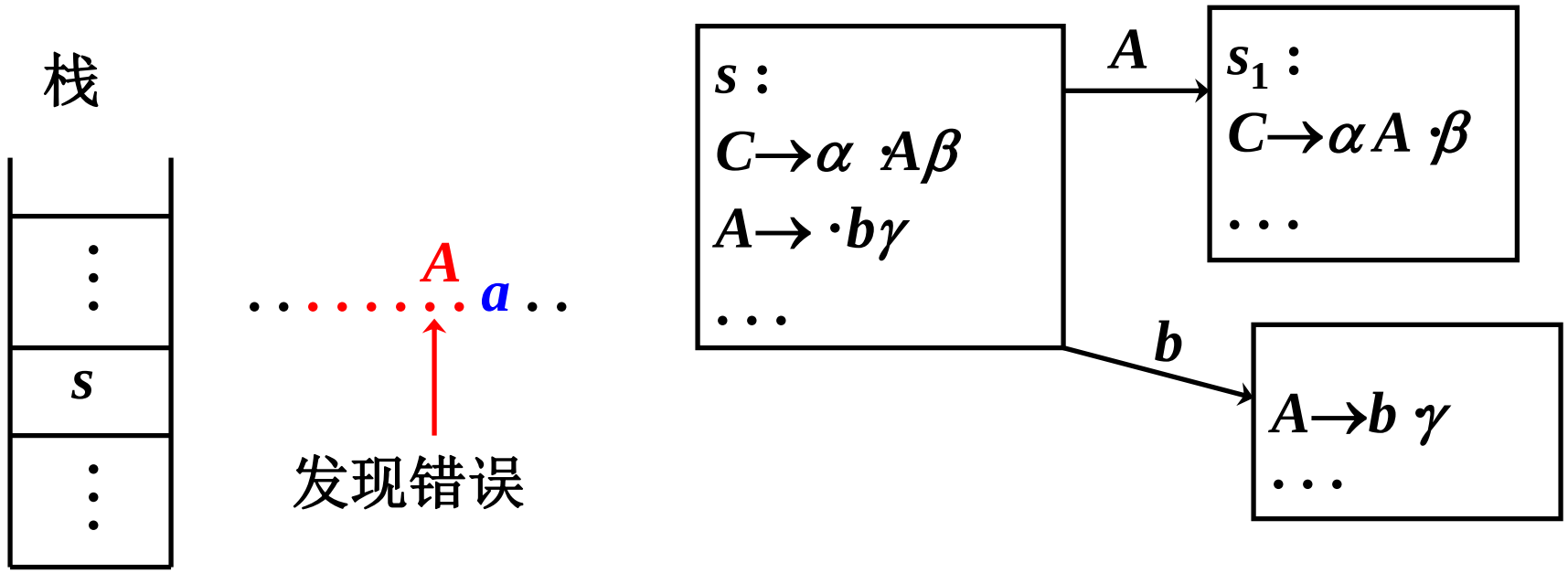
多执行无效归约

紧急方式的错误恢复

错误恢复策略

- 试图忽略含语法错误的短语：A推出的串含错误

1. 退栈，直至出现状态 s，它有预先确定的A的转移

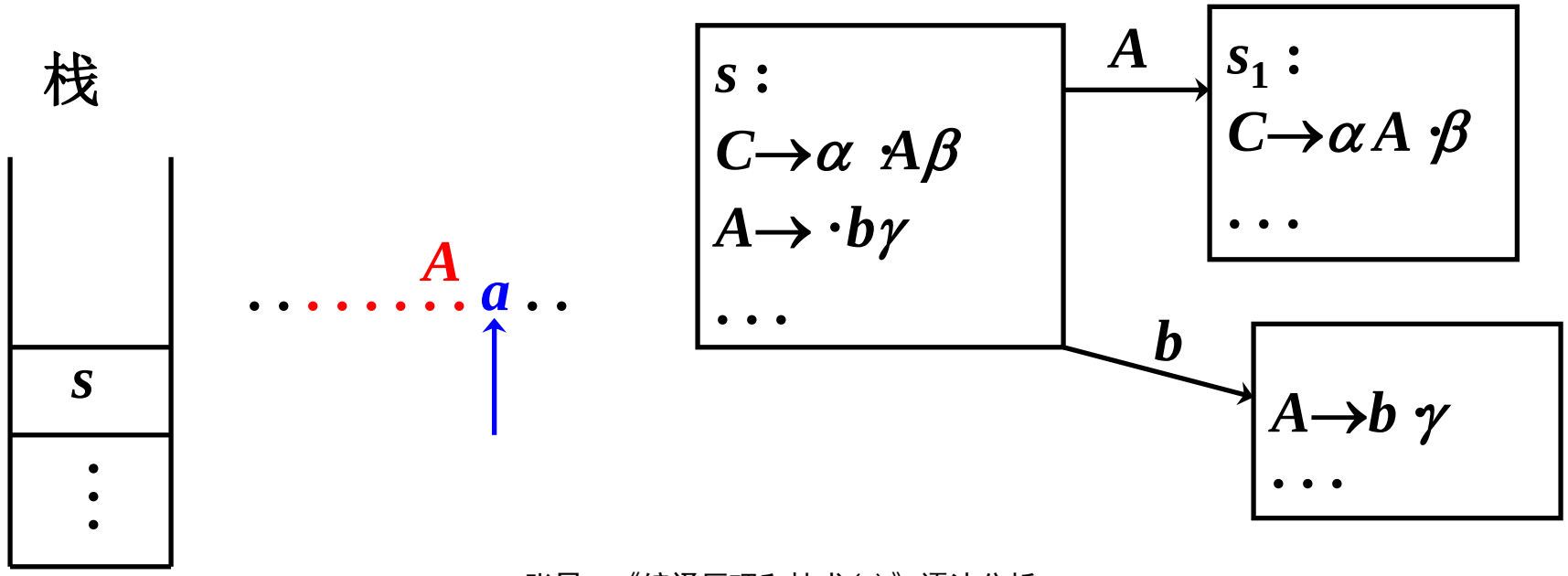


紧急方式的错误恢复

错误恢复策略

- 试图忽略含语法错误的短语：A推出的串含错误

1. 退栈，直至出现状态 s，它有预先确定的A的转移
2. 抛弃若干输入符号，直至找到a，它是A的合法后继

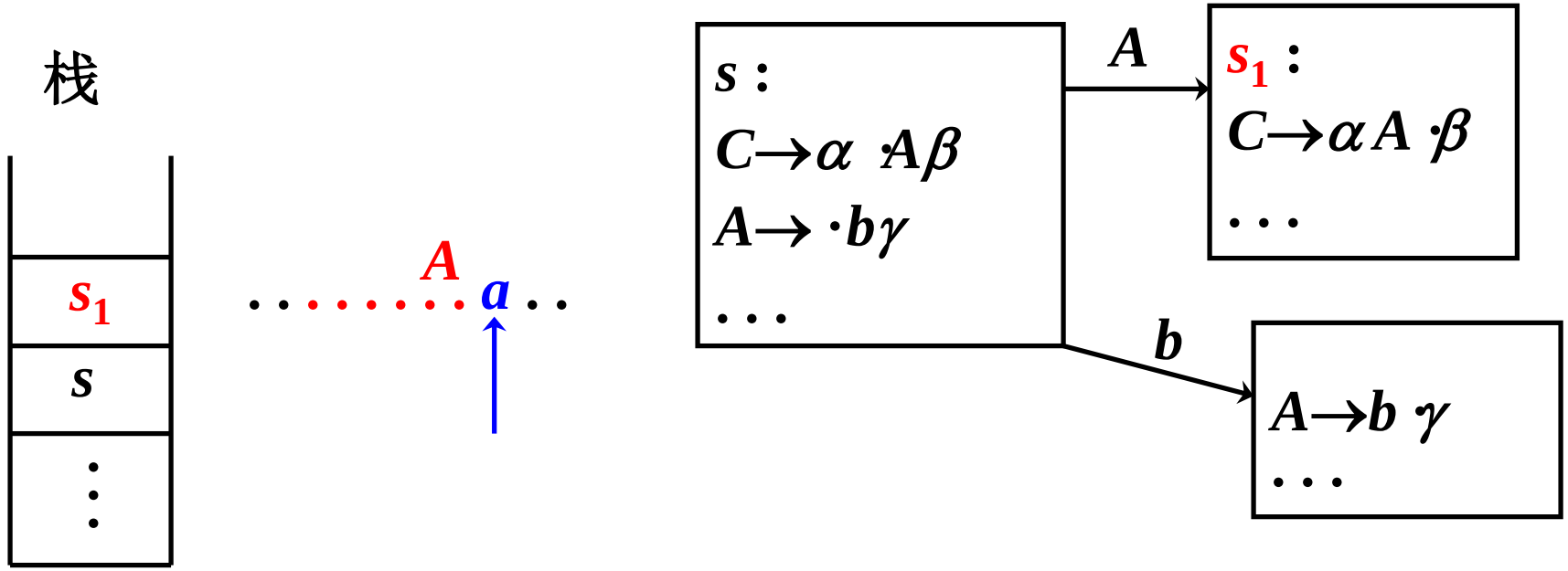


紧急方式的错误恢复

错误恢复策略

- 试图忽略含语法错误的短语：A推出的串含错误

1. 退栈，直至出现状态 s，它有预先确定的A的转移
2. 抛弃若干输入符号，直至找到a, 它是A的合法后继
3. 再把A和状态goto[s, A]压进栈，恢复正常分析



短语级恢复

短语级恢复

- 发现错误时，对剩余输入作局部纠正

  如用分号代替逗号，删除多余的分号，插入遗漏的分号

缺点：难以解决实际错误出现在诊断点以前的情况

- 实现方法

  在action表的每个空白条目填上指示器，指向错误处理例程

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

3.8 LR解析器的生成器：YACC

分析器的生成器

生成器

- 生成Lexer：Flex（for windows）、Jflex
- 生成Parser
  - LALR: Bison（for windows）、Java CUP
  - LL: JavaCC、ANTLR – LL(*)[PLDI2011], AdaptiveLL(*)[OOPSLA2014]

文法对Parser的影响

- LR Parser的优势：速度快、表达能力强
- LL Parser的优势：
  代码结构与文法对应，易理解，容易增加错误处理和错误恢复

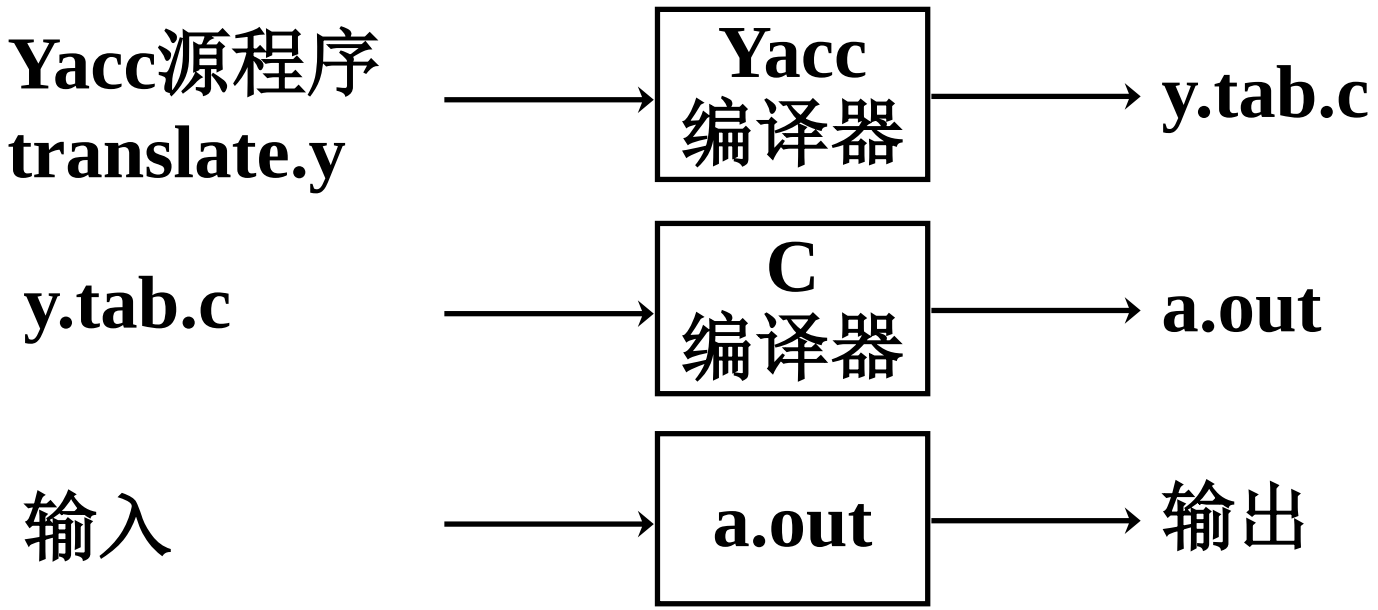
确定的分析技术

确定的分析(deterministic parsing)

- LL(k)、LR(k)、LALR(k)
- LR分析对左递归的处理能力
  - 直接左递归：✓
  - 隐藏的左递归（hidden left recursion）：可能不终止
    - $A \Rightarrow^* \beta A \mu$ 其中$\beta \Rightarrow^+ \varepsilon$

例如，$S \to C\,a \mid d$　　$B \to \varepsilon \mid a$　　$C \to b \mid B\,C\,b \mid b\,b$

YACC（Yet Another Compiler Compiler）



例　简单计算器

- 输入一个表达式并回车，显示计算结果
- 也可以输入一个空白行

声明部分

```
%{
# include  <ctype .h>
# include  <stdio.h >
# define YYSTYPE double /*将栈定义为double类型 */
%}

%token  NUMBER
%left  '+'  '–'
%left  '*'  '/ '
%right  UMINUS
%%
```

例　简单计算器

翻译规则部分

```
lines       : lines expr '\n'    {printf ( "%g \n", $2 ) }
            | lines '\n'
            |  /* ε */
            ;
expr        : expr '+' expr          {$$ = $1 + $3; }
            | expr '–' expr          {$$ = $1 – $3; }
            | expr '*' expr          {$$ = $1 * $3; }
            | expr '/ ' expr         {$$ = $1 / $3; }
            | '(' expr ')'           {$$ = $2; }
            | '–' expr  %prec UMINUS  {$$ = –$2; }
            | NUMBER
            ;
%%
```

例　简单计算器

翻译规则部分

```
lines       : lines expr '\n'    {printf ( "%g \n", $2 ) }
            | lines '\n'
            |  /* ε */
            ;
expr        : expr '+' expr          {$$ = $1 + $3; }
            | expr '–' expr          {$$ = $1 – $3; }
            | expr '*' expr          {$$ = $1 * $3; }
            | expr '/ ' expr         {$$ = $1 / $3; }
            | '(' expr ')'           {$$ = $2; }
            | '–' expr  %prec UMINUS  {$$ = –$2; }
            | NUMBER
            ;
%%
```

-5+10看成是-(5+10), 还是(-5)+10? 取后者

例　简单计算器

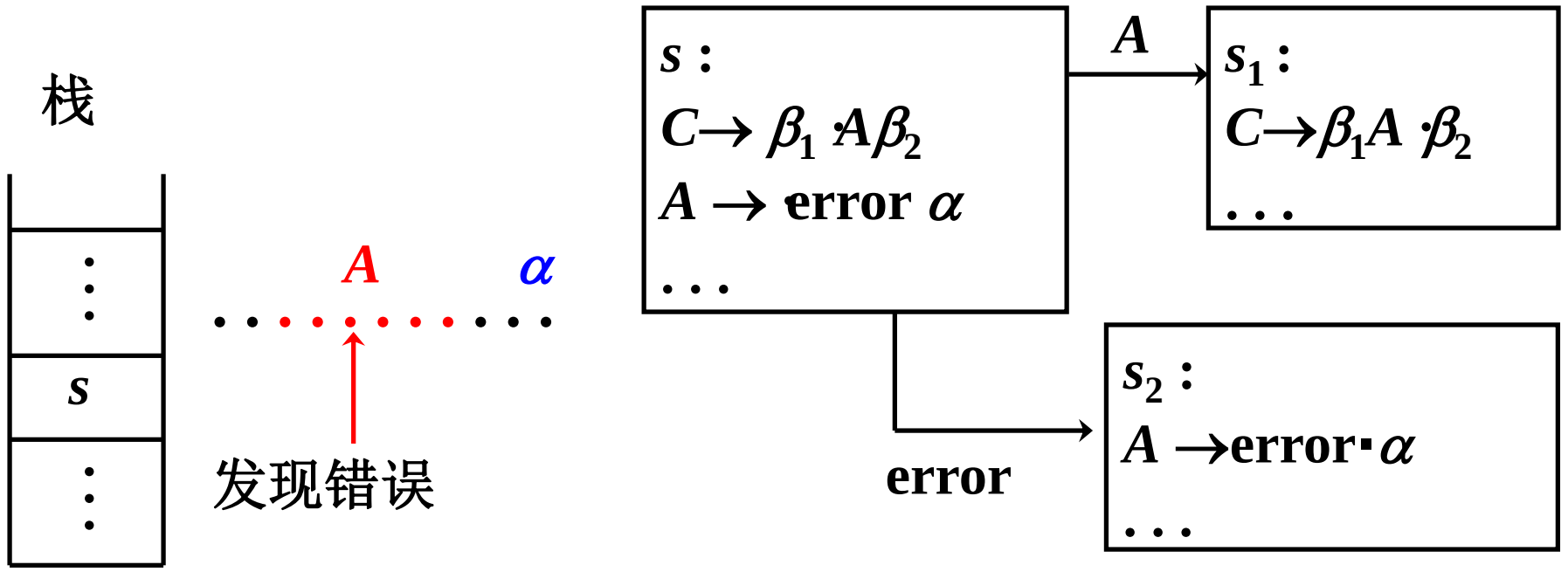
C例程部分

```
yylex ( ) {
    int c;
    while ( ( c = getchar ( ) ) == ‘  ’ );
    if ( ( c == ‘.’ ) | | (isdigit (c) ) ) {
            ungetc (c, stdin);
            scanf ( “% lf ”,  &yylval);
            return  NUMBER;
    }
    return c;
}
```

为了C编译器能准确报告yylex函数中错误的位置，
需要在生成的程序y.tab.c中使用编译命令#line

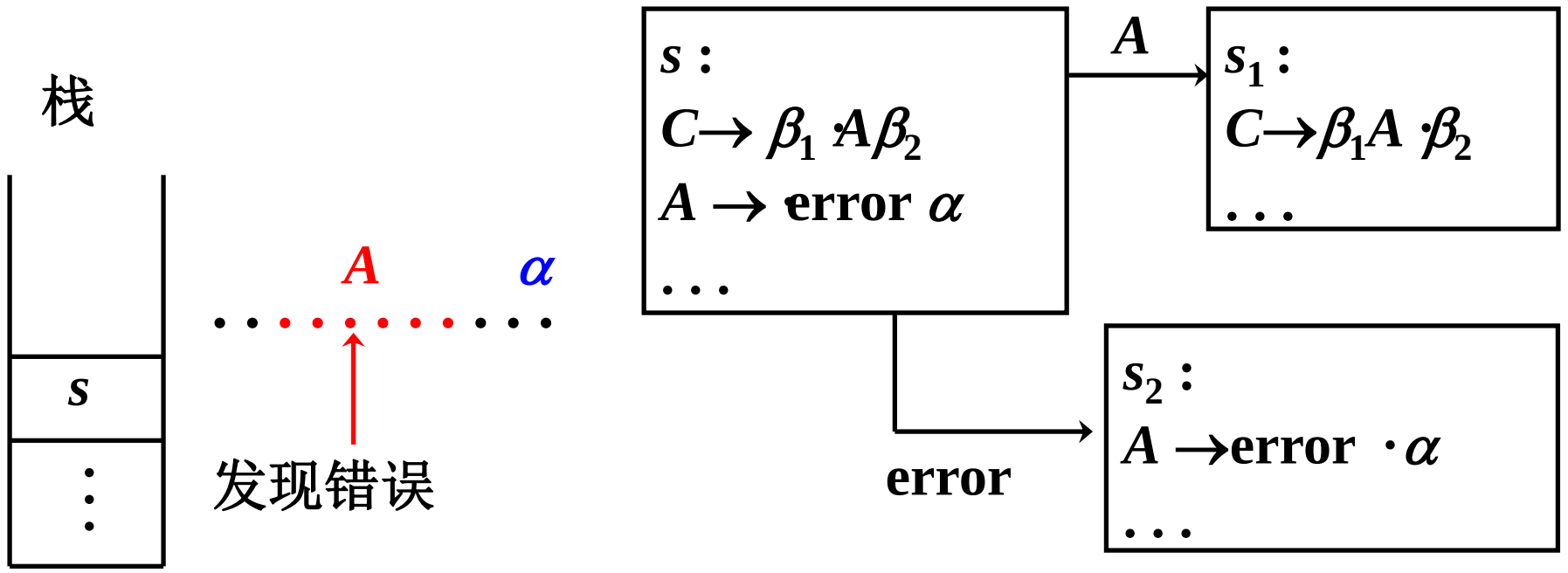
YACC的错误恢复

- 增加错误产生式 $A \rightarrow \text{error}\ \alpha$
- 遇到语法错误时



YACC的错误恢复

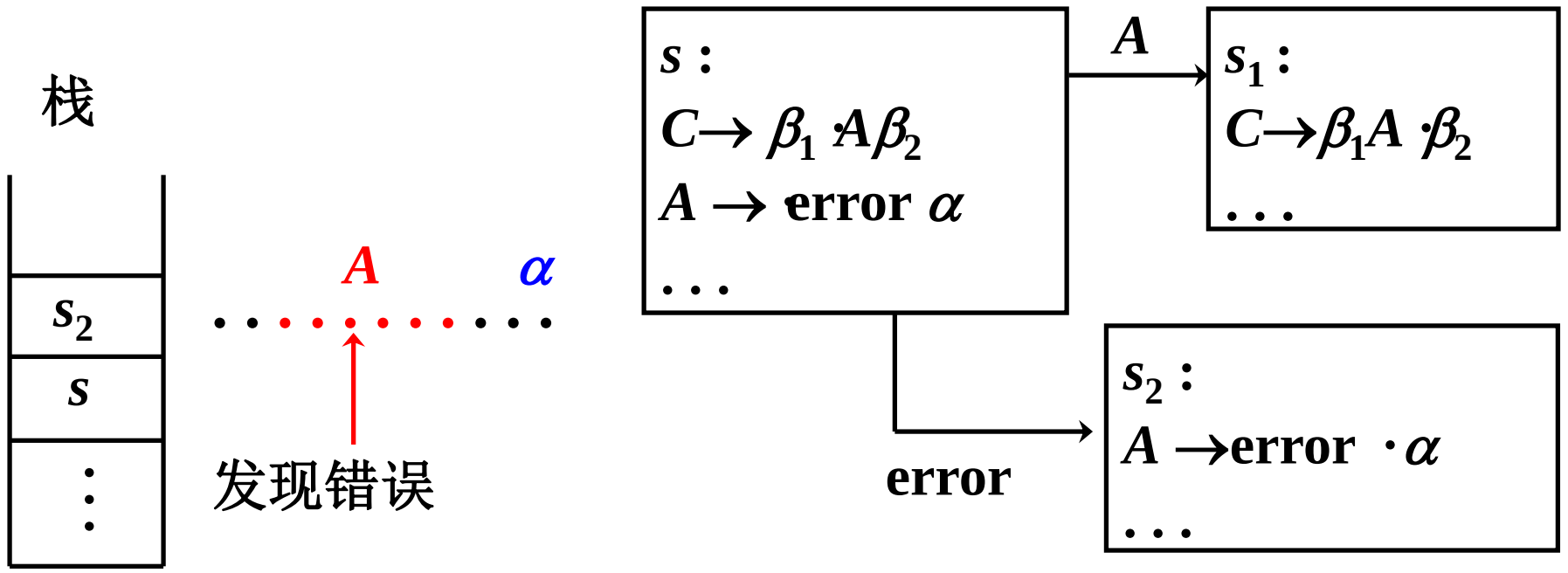
- 遇到语法错误时
  - 从栈中弹出状态，直到发现栈顶状态的项目集包含形为 $A \rightarrow \text{error}\ \alpha$的项目为止



YACC的错误恢复

遇到语法错误时

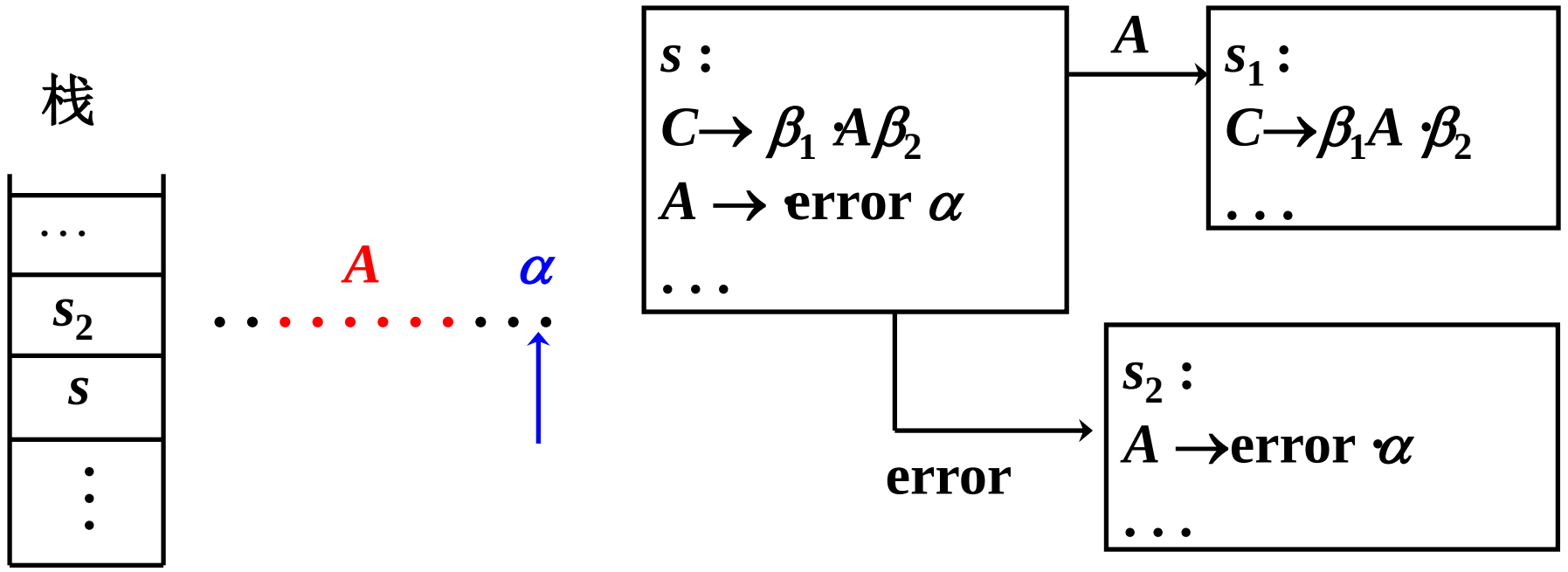
- 从栈中弹出状态，直到发现栈顶状态的项目集包含形为 $A \rightarrow \text{error}\ \alpha$的项目为止
- 把虚构的终结符error“移进”栈



YACC的错误恢复

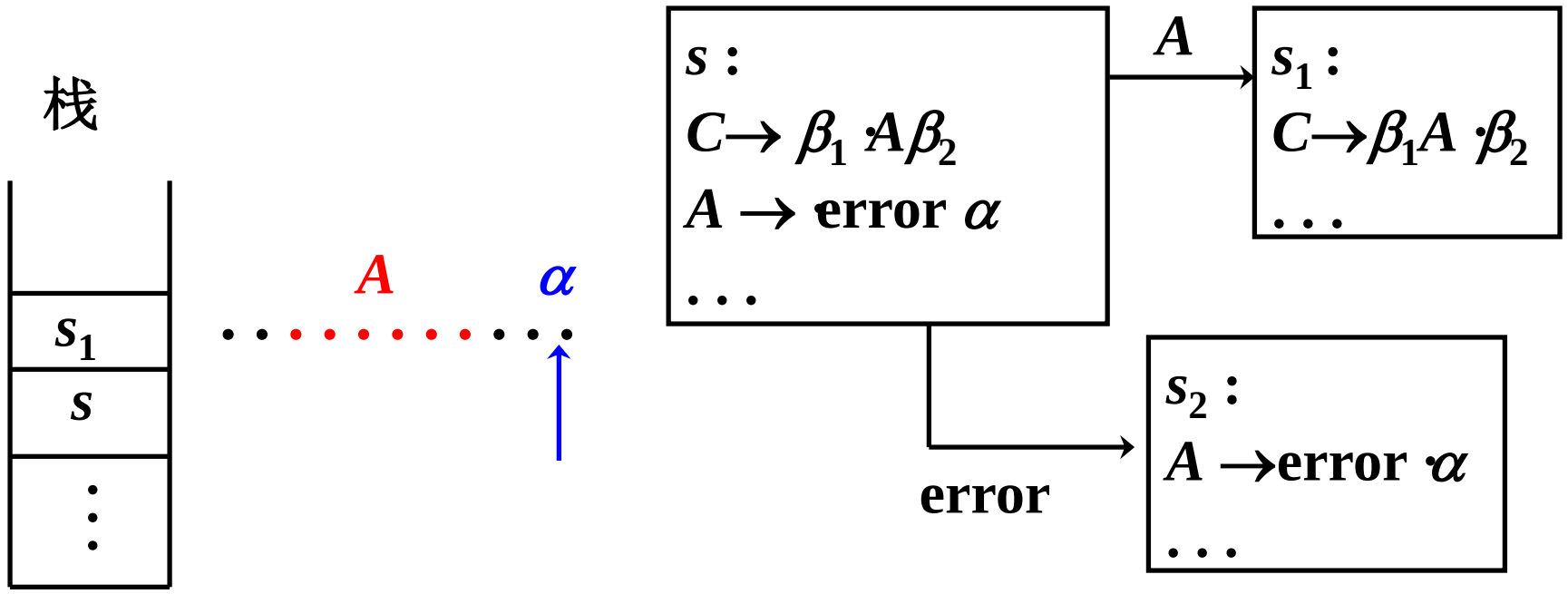
遇到语法错误时

- 从栈中弹出状态，直到发现栈顶状态的项目集包含形为 $A \rightarrow \text{error } \alpha$的项目为止
- 把虚构的终结符error“移进”栈
- 忽略若干输入符号，直至找到α，把α移进栈



YACC的错误恢复

- 从栈中弹出状态，直到发现栈顶状态的项目集包含形为 $A \rightarrow \text{error } \alpha$的项目为止
- 把虚构的终结符error“移进”栈
- 忽略若干输入符号，直至找到α，把α移进栈
- 把error α归约为A，恢复正常分析



例　简单计算器

- 增加错误恢复的简单计算器

```
lines     : lines expr '\n'      {printf ( "%g \n", $2 ) }
          | lines '\n'
          |  /* ε */
          | error '\n'{yyerror ( "重新输入上一行" );
                       yyerrok;}
          ;
```

本章要点

- 语法分析器的作用和接口，用高级语言编写语法分析器（递归下降的预测解析器）等
- 掌握下面的相关概念、方法或算法
  - 上下文无关文法：定义、与正规式相比的表达能力
  - 推导、归约；文法、句子、句型；句柄、活前缀等
  - 自上而下的解析：递归下降的预测分析、非递归的预测分析、LL(*)
  - 自下而上的解析：SLR、LR、LALR
  - 二义文法的利用
  - 解析器的生成工具：ANTLR、YACC