中山大學
SUN YAT-SEN UNIVERSITY

国家超级计算广州中心
NATIONAL SUPERCOMPUTER CENTER IN GUANGZHOU

DCS290

Compilation Principle

编 译 原 理

第四章 语法分析（7）

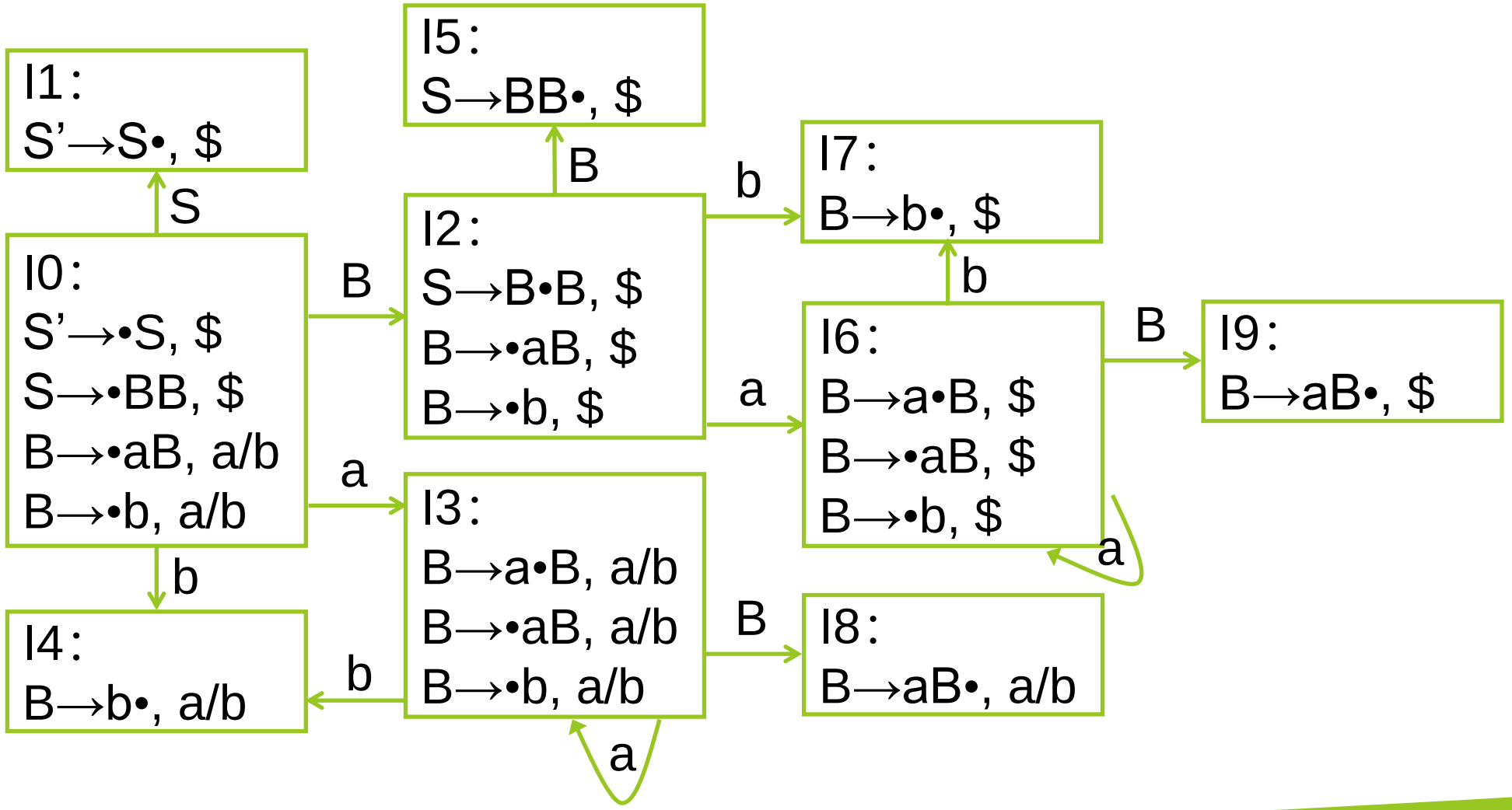
郑馥丹
zhengfd5@mail.sysu.edu.cn

CONTENTS

目 录

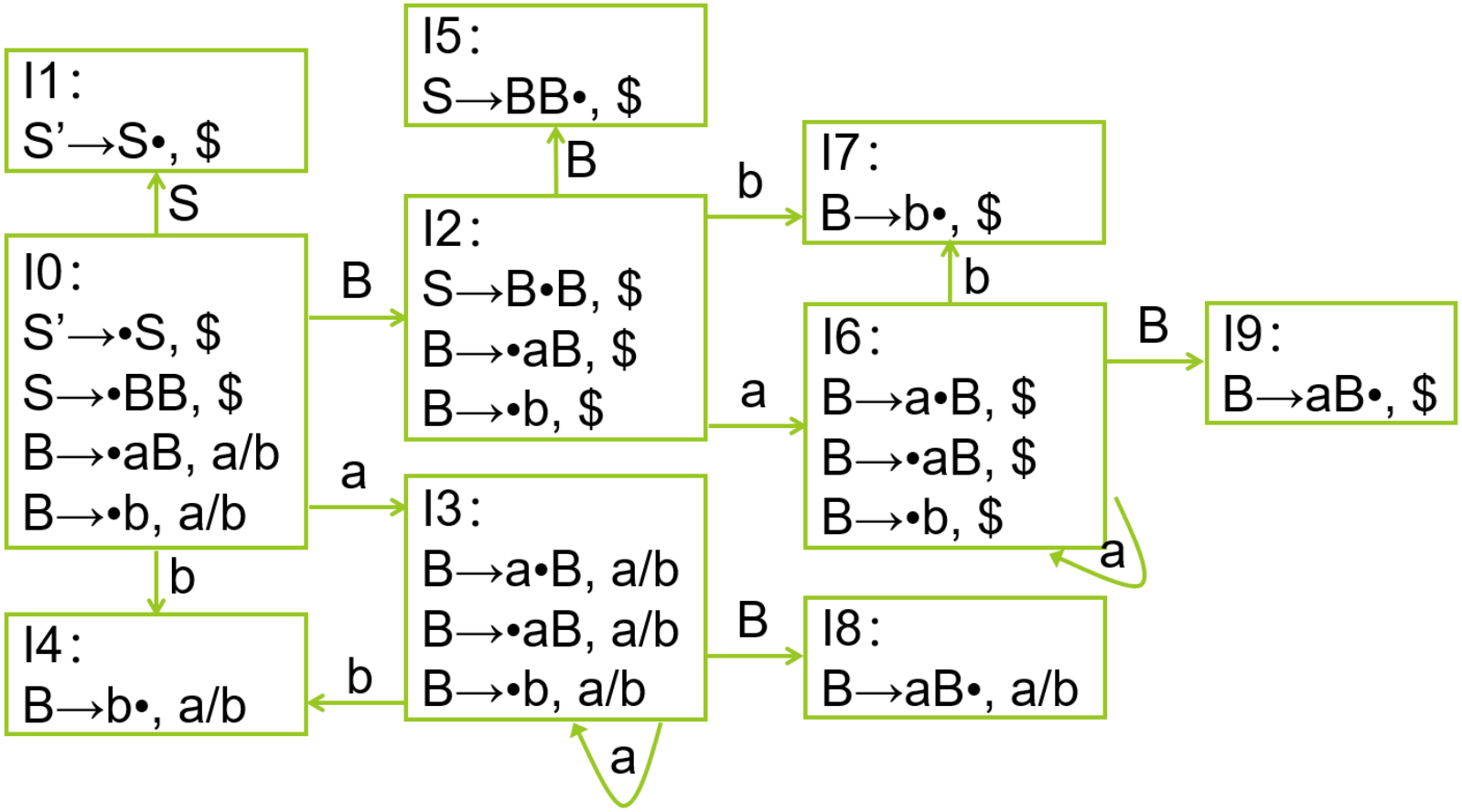
随堂练习（9）

- 若文法G'为：(0) S'→S　(1) S→BB　(2) B→aB　(3) B→b，请画出其对应的LR(1)DFA。



4. LR(1)分析

- 构造LR(1)分析表
  - G': (0)S'→S (1)S→BB (2)B→aB (3)B→b

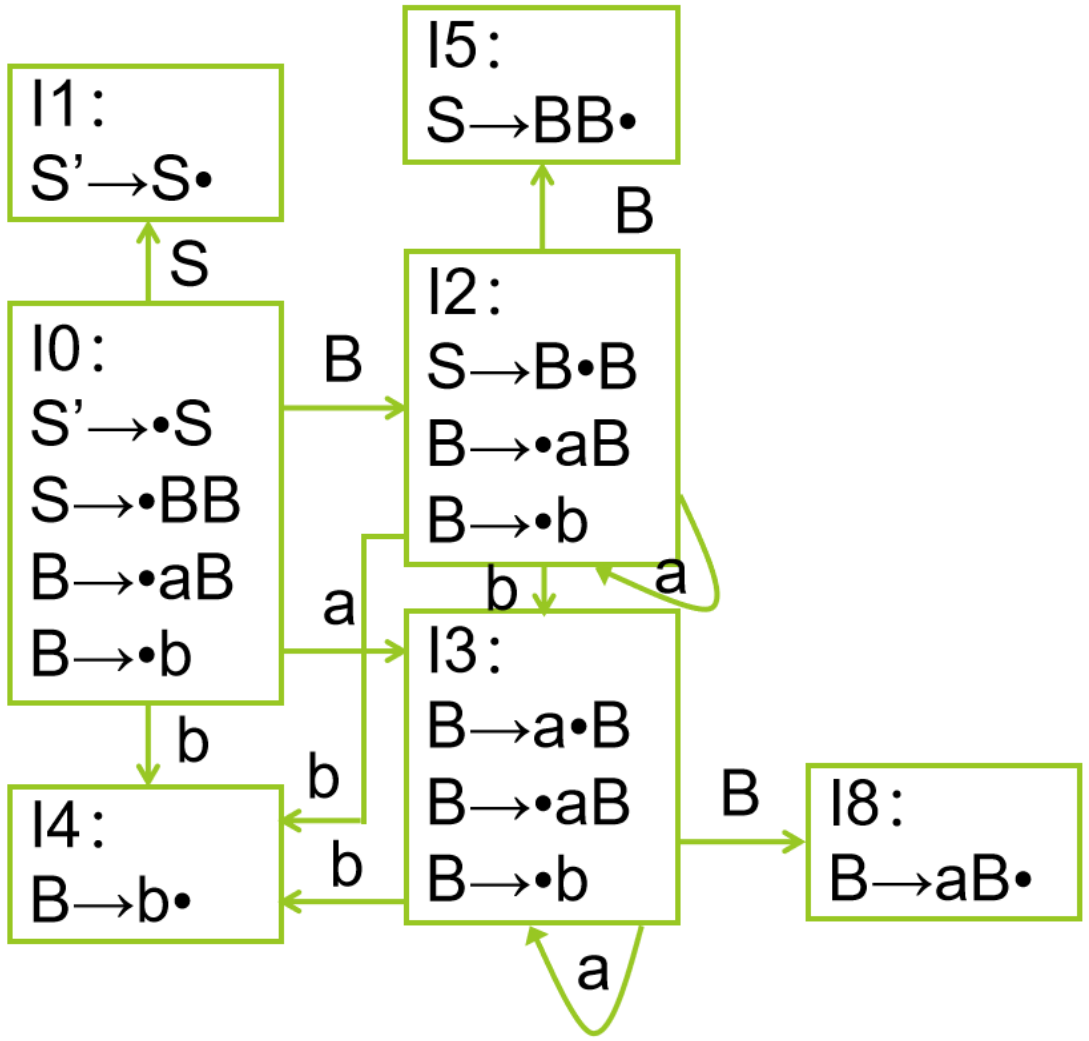


状态	ACTION			GOTO	
	a	b	$	S	B
0	S_3	S_4		1	2
1			acc		
2	S_6	S_7			5
3	S_3	S_4			8
4	r_3	r_3			
5			r_1		
6	S_6	S_7			9
7			r_3		
8	r_2	r_2			
9			r_2		

发现在该例子中，即使不考查搜索符，也不存在冲突
——实际上是一个LR(0)文法

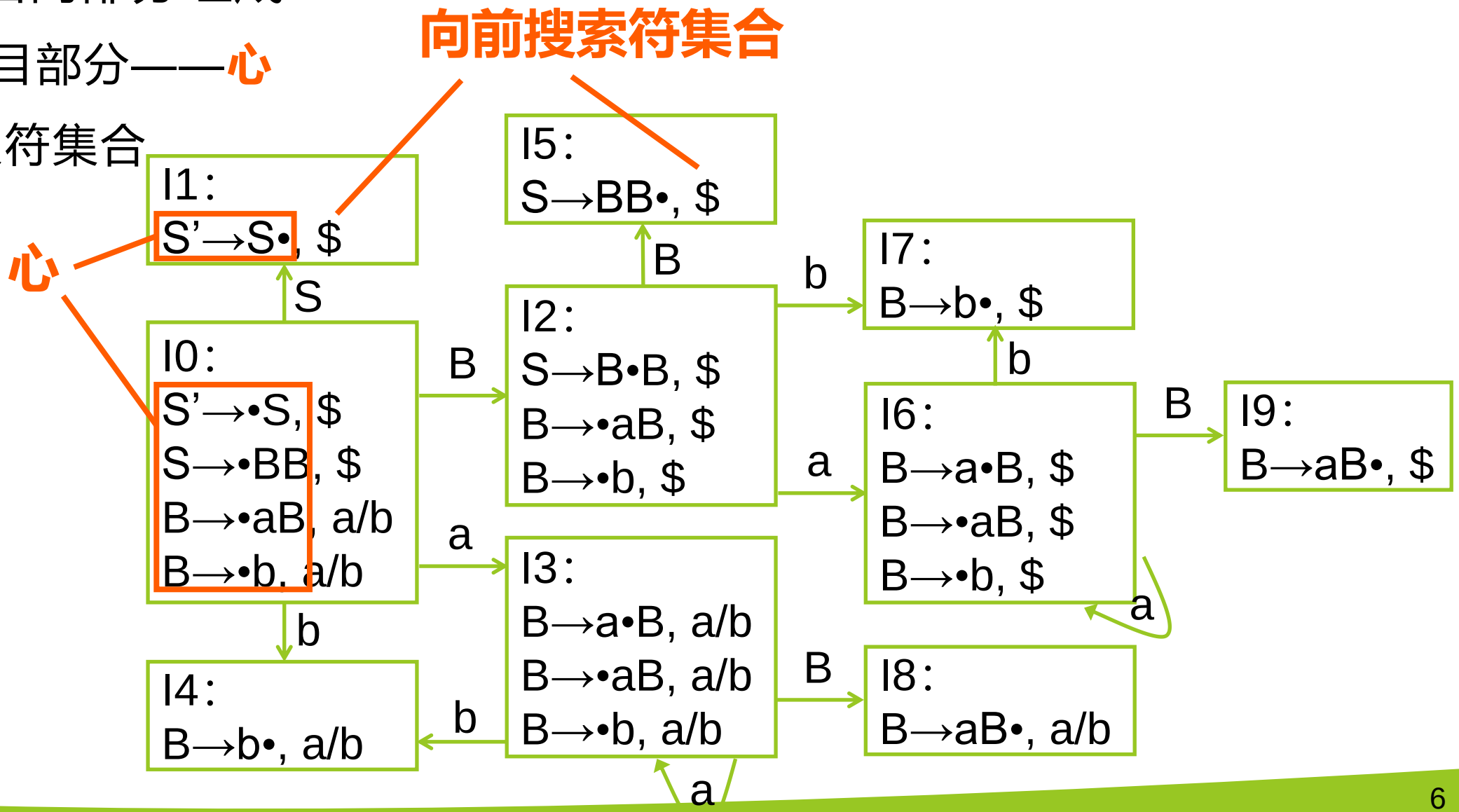
4. LR(1)分析

- 一个文法是LR(0)文法，就一定也是SLR(1)文法，也是LR(1)文法，反之则不一定成立
- 上述例子的LR(0)项目集，仅有7个状态
- LR(1)的优缺点：
  - 优点：LR(1)分析对搜索符的计算方法比较确切，能消除更多的无效归约，适应的文法更广
  - 缺点：LR(1)分析表的状态数目庞大，可能存在项目集的冗余——**合并，LALR(1)**；LR(1)分析方法也不能解决所有冲突——**LR(k), k>2**。



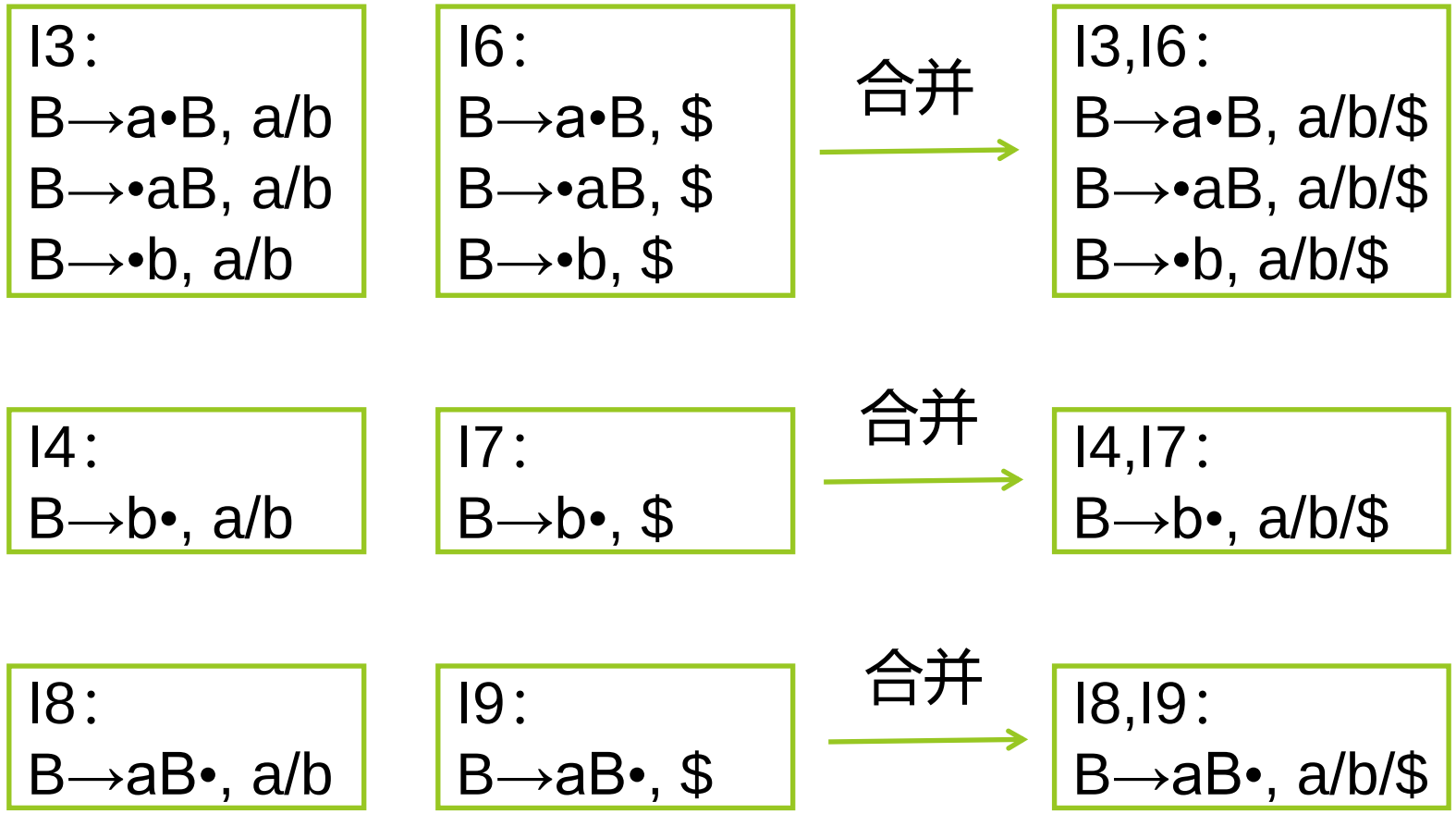
5. LALR(1)分析

- LR(1)项目由两部分组成：
  - LR(0)项目部分——心
  - 向前搜索符集合



5. LALR(1)分析

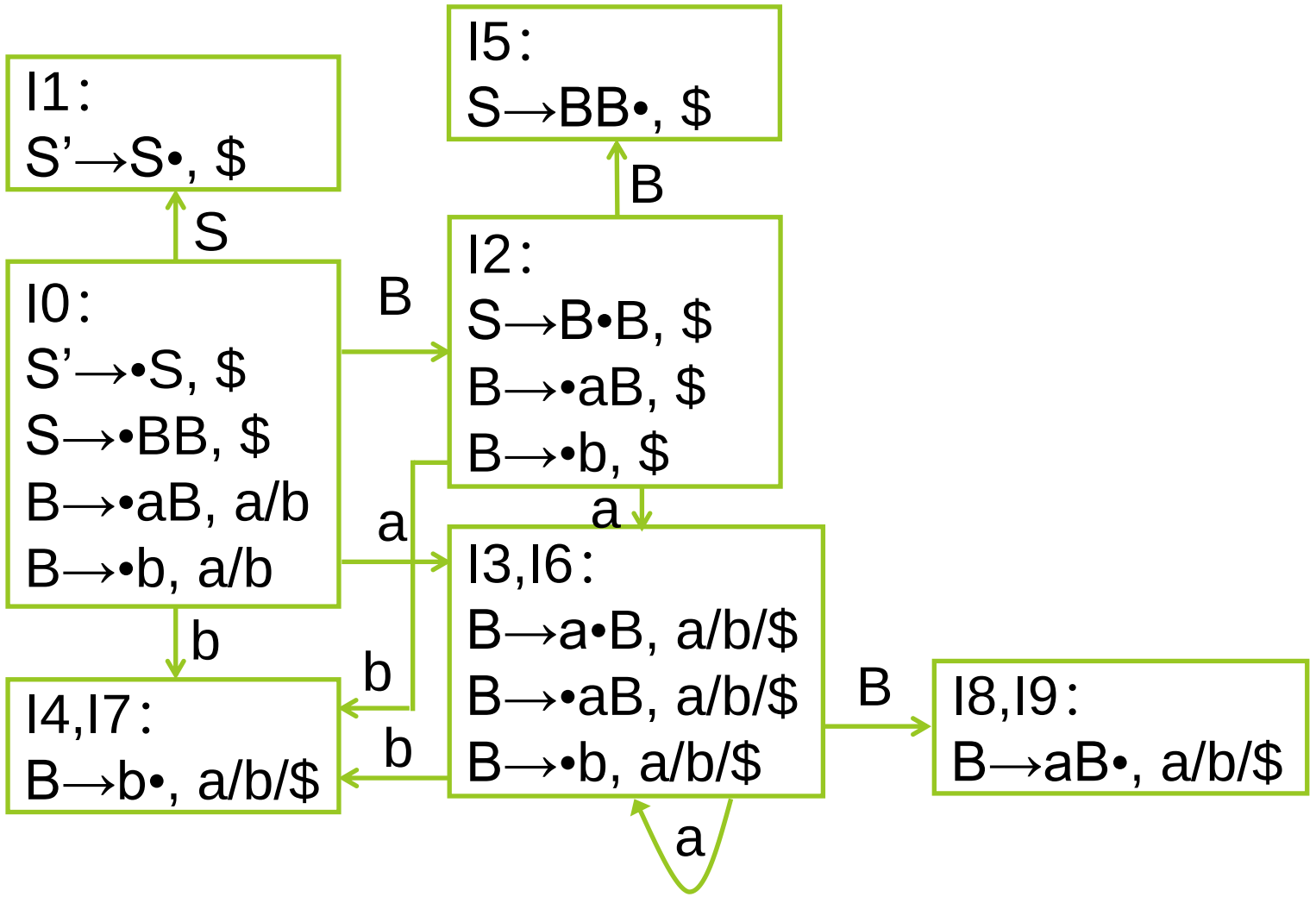
- 对同心的项目集，合并——**合并同心集**



同心集合并后不包含冲突，是LALR(1)项目集，文法是LALR(1)文法，可以用LALR(1)方法分析

5. LALR(1)分析

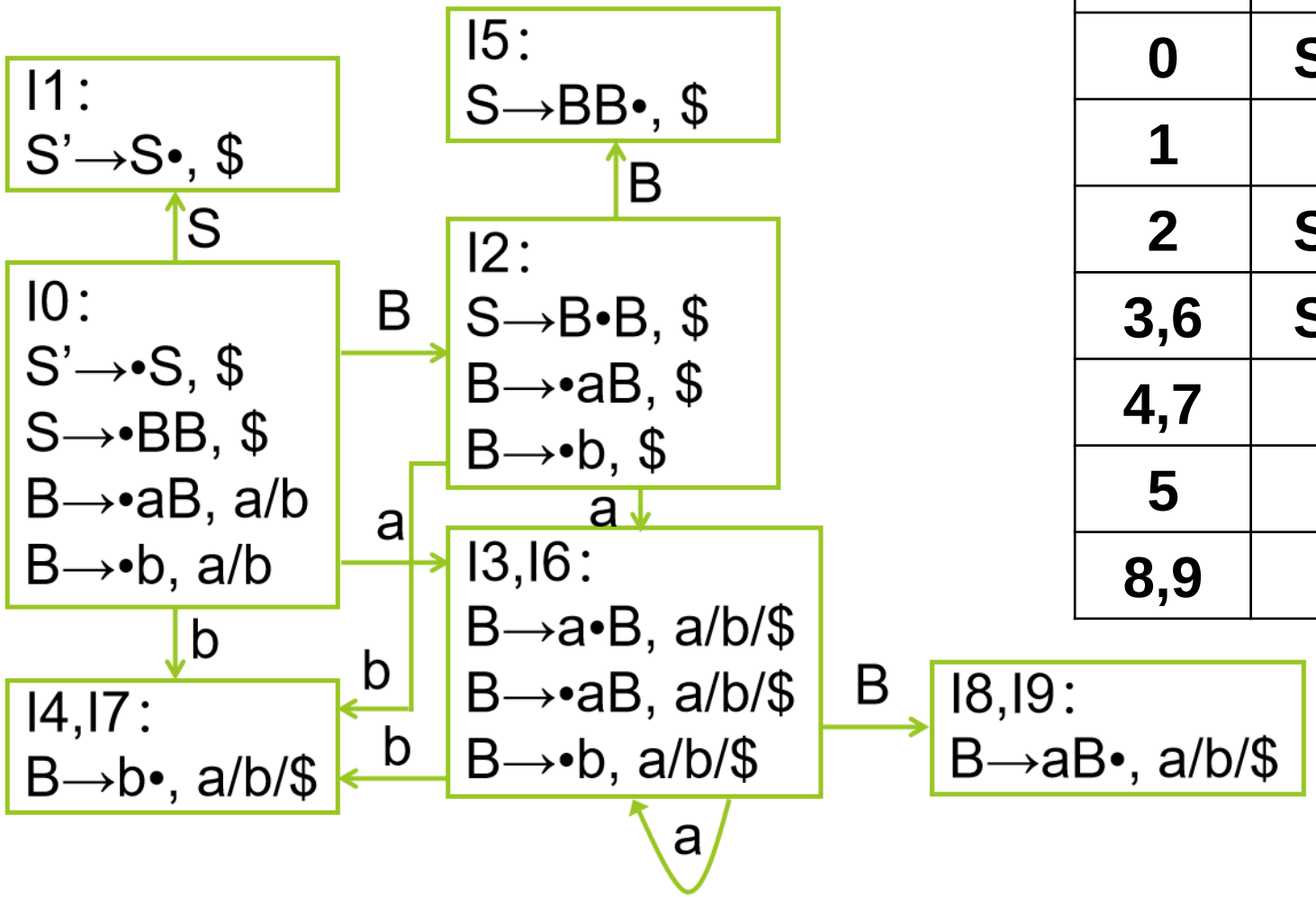
- 构造LALR(1)分析的DFA（合并同心集后）



5. LALR(1)分析

- 构造LALR(1)预测分析表

(0)S'→S (1)S→BB (2)B→aB (3)B→b



状态	ACTION			GOTO	
	a	b	$	S	B
0	$S_{3,6}$	$S_{4,7}$		1	2
1			acc		
2	$S_{3,6}$	$S_{4,7}$			5
3,6	$S_{3,6}$	$S_{4,7}$			8,9
4,7	r_3	r_3	r_3		
5			r_1		
8,9	r_2	r_2	r_2		

5. LALR(1)分析

- 利用LALR(1)分析对某些错误发现的时间可能会产生推迟，但错误的出现位置仍是准确的

(0)S'→S (1)S→BB (2)B→aB (3)B→b

对输入串ab$

步骤	状态栈	符号栈	输入串	ACTION	GOTO
1	0	$	ab$	$S_{3,6}$	
2	0(3,6)	$a	b$	$S_{4,7}$	
3	0(3,6)(4,7)	$ab	$	r_3	8,9
4	0(3,6)(8,9)	$aB	$	r_2	2
5	02	$B	$	ERROR	

状态	ACTION			GOTO	
	a	b	$	S	B
0	$S_{3,6}$	$S_{4,7}$		1	2
1			acc		
2	$S_{3,6}$	$S_{4,7}$			5
3,6	$S_{3,6}$	$S_{4,7}$			8,9
4,7	r_3	r_3	r_3		
5			r_1		
8,9	r_2	r_2	r_2		

第5步才发现错误!

5. LALR(1)分析

- 若利用LR(1)分析表进行分析：

(0)S'→S (1)S→BB (2)B→aB (3)B→b

对输入串ab$

步骤	状态栈	符号栈	输入串	ACTION	GOTO
1	0	$	ab$	S_3	
2	03	$a	b$	S_4	
3	034	$ab	$	ERROR	

第3步即发现错误！

原因：LALR(1)分析合并同心集后，向前搜索符集合扩大了，因此推迟发现错误

状态	ACTION			GOTO	
	a	b	$	S	B
0	S_3	S_4		1	2
1			acc		
2	S_6	S_7			5
3	S_3	S_4			8
4	r_3	r_3			
5			r_1		
6	S_6	S_7			9
7			r_3		
8	r_2	r_2			
9			r_2		

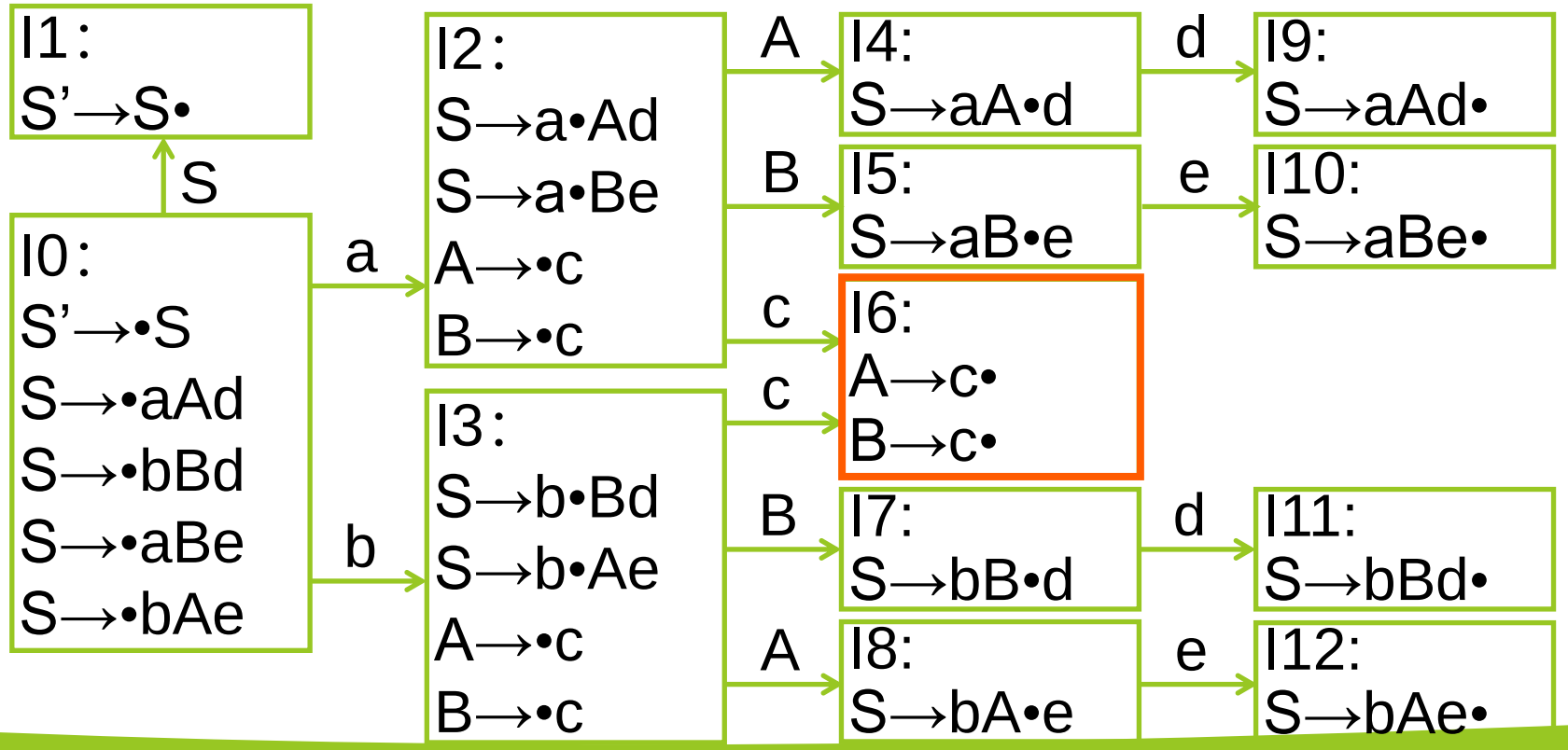
随堂练习（10）

- 请验证以下文法是LR(0)文法或SLR(1)文法或LR(1)文法或LALR(1)文法

文法G'[S']:

(0)S'→S (1)S→aAd (2)S→bBd (3)S→aBe (4)S→bAe (5)A→c (6)B→c

1. 验证是否为LR(0)文法：



存在归约-归约冲突
不是LR(0)文法

随堂练习（10）

- 请验证以下文法是LR(0)文法或SLR(1)文法或LR(1)文法或LALR(1)文法

文法G’[S’]:

(0)S’→S (1)S→aAd (2)S→bBd (3)S→aBe (4)S→bAe (5)A→c (6)B→c

2. 验证是否为SLR(1)文法：

I6:
A→c•
B→c•

FOLLOW(A)={d,e}
FOLLOW(B)={d,e}

FOLLOW(A)={c,d}与FOLLOW(B)={d,e}交集不为空，SLR(1)仍无法解决冲突，不是SLR(1)文法。

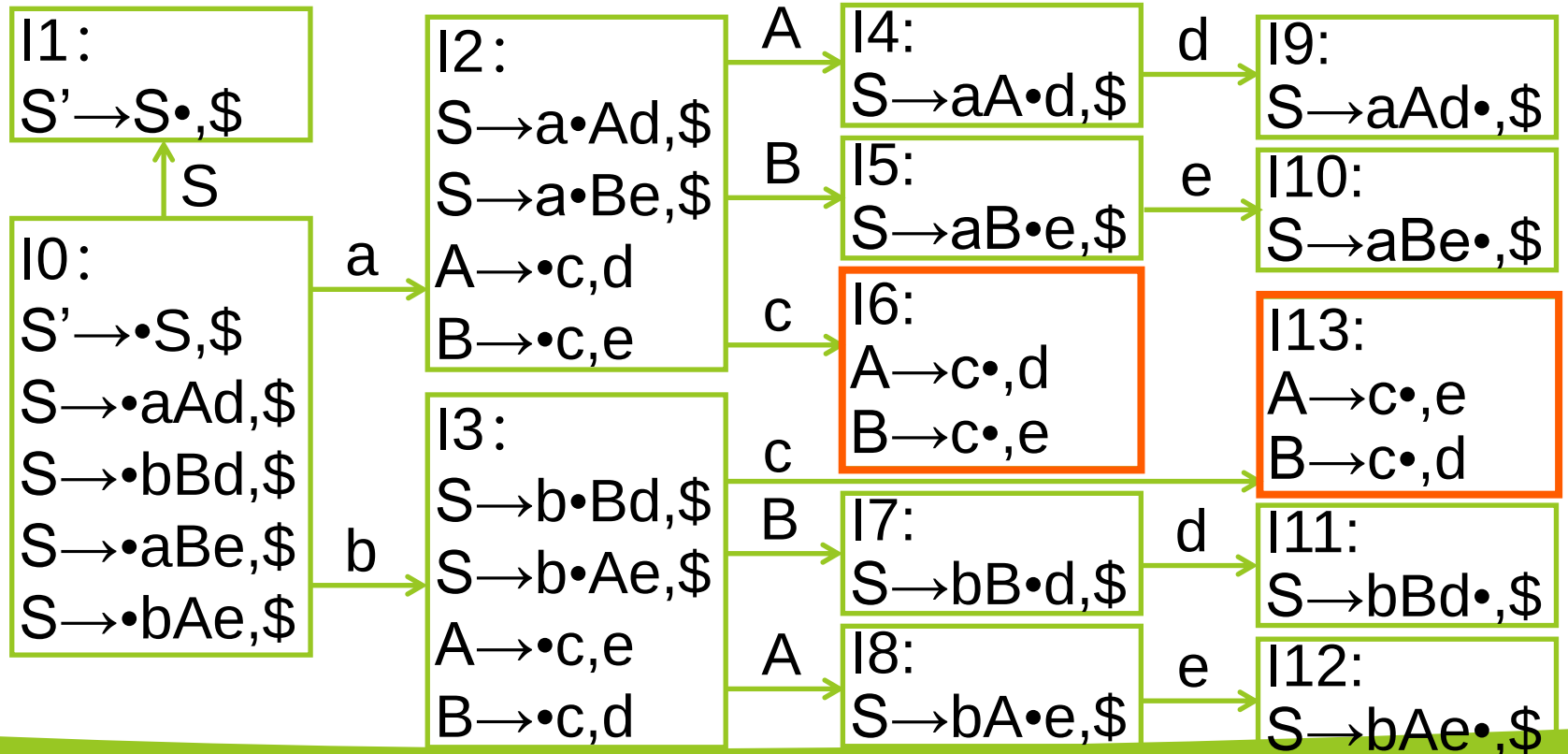
随堂练习（10）

- 请验证以下文法是LR(0)文法或SLR(1)文法或LR(1)文法或LALR(1)文法

文法G'[S']:

(0)S'→S (1)S→aAd (2)S→bBd (3)S→aBe (4)S→bAe (5)A→c (6)B→c

3. 验证是否为LR(1)文法：



归约-归约冲突得以解决，是LR(1)文法

随堂练习（10）

- 请验证以下文法是LR(0)文法或SLR(1)文法或LR(1)文法或LALR(1)文法

文法G’[S’]:

(0)S’→S (1)S→aAd (2)S→bBd (3)S→aBe (4)S→bAe (5)A→c (6)B→c

4. 可再进一步验证是否为LALR(1)文法：

I6:	I13:	合并	I6,13:
A→c•,d	A→c•,e	→	A→c•,d/e
B→c•,e	B→c•,d		B→c•,e/d

合并同心集后出现归约-归约冲突，不是LALR(1)文法

结论：该文法是LR(1)文法，非LR(0)、SLR(1)和LALR(1)文法。

5. LALR(1)分析

- LALR(1)分析
  - LALR(1)是LR(1)的优化版本，对LR(1)项目集规范族**合并同心集**，若合并同心集后不产生新的冲突，则为LALR(1)项目集
  - LALR(1)分析可以大大减少项目集（状态）的数目。
  - LALR(1)方法是介于SLR(1)和LR(1)之间的一种方法，即其功能比LR(0)和SLR(1)强，比LR(1)弱。
  - 它具有LR(0)和SLR(1)的状态数少的优点和LR(1)的适用范围广的优点。
  - 能处理大多数编程语言语法
  - Yacc/Bison等工具默认使用它

LR(0)/SLR(1)/LALR(1)/LR(1)小结

- LR(**0**):
  - **无需向前查看**任何输入字符，仅依赖当前状态即可归约;
  - 分析表中一整行均为r_j;
  - 如果存在冲突，即，同一个项目集中既有归约项目，又有移进项目，或存在多条归约项目，则可尝试采用SLR(1)方法解决;

状态	ACTION					GOTO		
	a	b	c	d	$	E	A	B
0	S_2	S_3				1		
1					acc			
2			S_5	S_6			4	
3			S_8	S_9				7
4	r_1	r_1	r_1	r_1	r_1			
5			S_5	S_6			10	

I_3 $S \rightarrow rD\bullet$
$D \rightarrow D\bullet,i$

移进-归约冲突

LR(0)/SLR(1)/LALR(1)/LR(1)小结

- SLR(1):
  - 在LR(0)的基础上，其他不变，仅当**当前输入字符∈FOLLOW(A)时才归约**;
  - 分析表中只有FOLLOW(A)中字符所在的列填写r_j；比LR(0)更精确;
  - **当移进符号集和归约符号集无交集时，可解决LR(0)冲突**;
  - 否则，仍存在冲突，可尝试采用LR(1)方法解决。

I3:
S→rD•
D→D•,i

FOLLOW(S)={$}

当前输入符为$时，进行归约；
当前输入符为,时，进行移进操作；
冲突得以解决。

I5:
S→ae•c
A→e•

FOLLOW(A)={c,d}

FOLLOW(A)={c,d}与移进符号集{c}交集不为空，SLR(1)仍无法解决冲突。

LR(0)/SLR(1)/LALR(1)/LR(1)小结

- LR(**1**)：
  - 在LR(0)的基础上，每个项目**显式**增加一个**向前搜索符号集**[A→α•β，**a**]；
  - 该符号集由**FIRST集**计算而得，或由信息传递而得；
    - ✓若有项目[A→α•Bβ，a]属于CLOSURE(I)，B→γ是文法的产生式，β∈V*，**b∈FIRST(βa)**，则[B→•γ，**b**]也属于CLOSURE(I)
  - 分析表中只有向前搜索符号集所在列填写r_j，比SLR(1)更精确；
  - 可解决绝大部分冲突；
  - 但也无法保证解决所有冲突，若仍有冲突，则应考虑LR(k)，k>=2。

I5：
S→ae•c, $
A→e•, d

遇到输入字符c时，移进；
遇到输入字符d时，用产生式A→e归约；
冲突得以解决。

LR(0)/SLR(1)/LALR(1)/LR(1)小结

- LALR(1)：
  - 如果LR(1)的项目集中有同心集，则合并同心集；
  - 若合并后不存在归约-归约冲突，则可进行LALR(1)分析；
  - LALR(1)分析基于合并后的项目集进行；
  - 若合并后有冲突，则该文法只能用LR(1)方法进行分析；
  - 比LR(1)弱，比SLR(1)强，是两者的trade-off。

同心集合并后不包含冲突，是LALR(1)项目集，文法是LALR(1)文法，可以用LALR(1)方法分析

LR(0)/SLR(1)/LALR(1)/LR(1)小结

- 主要区别：**归约的判定方法**
  - LR(**0**)**不看**下一个字符即可判定归约；
  - SLR(**1**)**看**下一个字符，但把所有B→γ•的向前搜索字符集均定义为Follow(B)，即把符号栈顶上的句柄γ归约为B的条件是：向前搜索字符为Follow(B)中的元素；
  - LR(**1**)也是**看**下一个字符，但**归约不同位置上的B时，采用不同的向前搜索字符集，**每个项由心与向前搜索符组成，**搜索符长度为1；**由于LR(1)方法对于归约条件的判定比SLR(1)更精确，可大大减少移入/归约冲突；
  - LALR(1): 对LR(1)项目集规范族合并同心集，减少状态个数。

LR(0)/SLR(1)/LALR(1)/LR(1)小结

- 评价
  - LR(0)分析表局限性大，但其构造方法是其他构造方法的基础；
  - SLR(1)分析表虽然不是对所有文法都存在，但这种分析表较易实现又极有使用价值；
  - LR(1)分析表的分析能力最强，能适用于一大类文法，但是，实现代价过高（表过大）；
  - LALR(1)分析表的能力介于SLR(1)和LR(1)之间，实现效率较高。

LR(0)/SLR(1)/LALR(1)/LR(1)小结

方法	核心思想	向前看符号	分析能力	冲突情况	适用场景
LR(0)	基于LR(0)项，无向前看符号，仅依赖当前状态决定动作	**无**	最弱，只能处理极简单的无冲突文法	极易出现移进-归约冲突	仅用于教学，实际工程极少使用（因冲突太多）
SLR(1)	在LR(0)基础上，用FOLLOW集解决冲突，仅归约时检查FOLLOW符号	**FOLLOW集**	比LR(0)强，但仍有限	比LR(0)少，但仍有部分冲突	早期简单解析器，现较少使用（因LALR(1)更优）
LALR(1)	合并LR(1)的同心项集	**局部向前看符号**	比SLR(1)强，接近LR(1)	可能因合并状态引入延迟冲突	**最常用（在分析能力和状态数间取得平衡）**，是Yacc/Bison默认的方法
LR(1)	每个项精确记录不同的向前看符号，不合并任何状态	**精确向前看符号**	**最强**，能处理所有确定性上下文无关文法	几乎没有冲突，除非文法本身有二义性	需要最强分析能力时使用(但状态数大，解析表可能爆炸，一般仅用于理论研究)

LR(0)/SLR(1)/LALR(1)/LR(1)小结

- 思考：句柄哪去了？LR分析的过程中，好像感受不到句柄的存在？
  - LR分析中，句柄仍是核心概念
  - 但它是**隐式存在**的：句柄的识别是通过状态栈和符号栈的动态组合完成的，而非显式标记
  - LR分析器通过DFA跟踪可能的句柄，当你看到“移进-归约”动作时，本质是DFA在识别句柄的边界
  - 当LR分析器按产生式A→β执行“归约”动作时，**栈顶的符号串β就是句柄**
  - LR分析表（ACTION/GOTO）预计算了所有可能的句柄识别路径
  - 用户无需手动识别句柄

第四章课后作业（2）

- 证明文法G[S]：S→Aa|bAe|Be|bBa，A→d，B→d是LR(1)而不是LALR(1)的，构造LR(1)分析表，并对输入字符串bde$进行LR(1)分析，写出分析的全过程（表格形式）。
- 提交要求：
  - 文件命名：学号-姓名-第四章作业(2)；
  - 文件格式：.pdf文件；
  - 手写版、电子版均可；若为手写版，则拍照后转成pdf提交，但**须注意将照片旋转为正常角度，且去除照片中的多余信息**；电子版如word等转成pdf提交；
  - 提交到超算习堂（第四章作业(2)）处；
  - 提交ddl：**4月15日晚上12:00**；
  - **重要提示：不得抄袭！**