中间代码生成
Part4：标号回填与控制流语句翻译

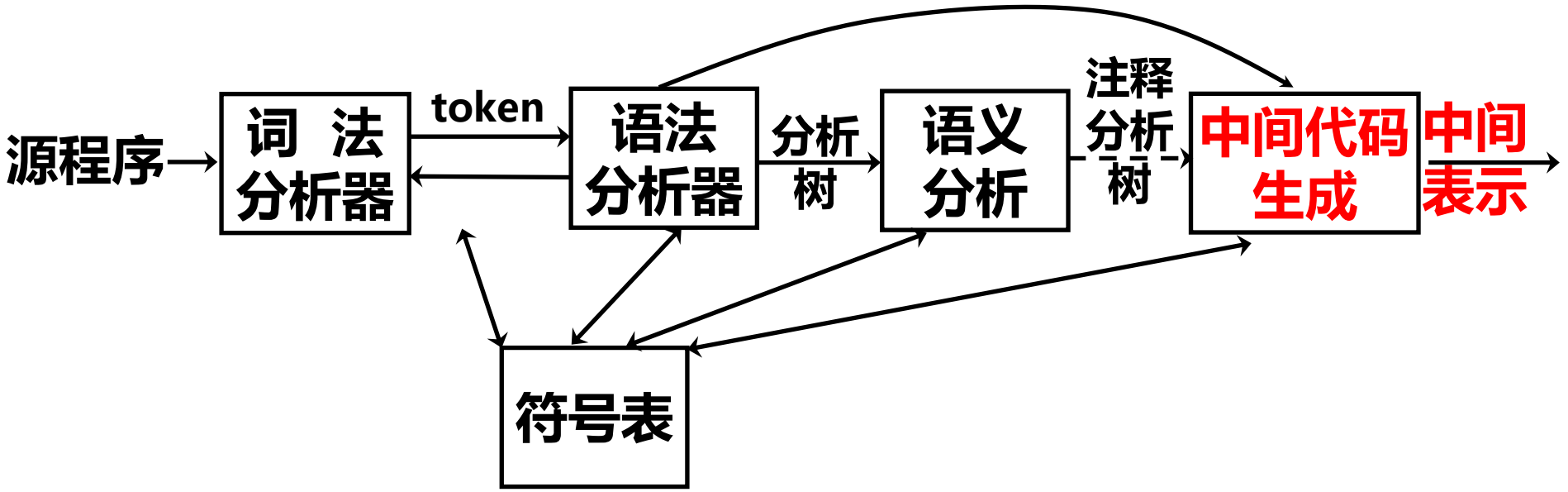
李 诚

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

2023年10月30日

本节提纲



- 基于标号回填的其他控制流语句翻译
- 控制流语句翻译举例

相关符号属性

- **对布尔表达式而言，有两个综合属性：**
  - B.truelist：代码中所有转向真出口的代码指令链；
  - B.falselist：所有转向假出口的代码指令链；
  - 在生成B的代码时，跳转指令goto是不完整的，目标标号尚未填写，用truelist和falselist来管理
- **对一般语句而言，有一个综合属性：**
  - S.nextlist：代码中所有跳转到紧跟S的代码之后的指令

例如：$S \rightarrow \{L\}$ //程序块

$S \rightarrow A$ //赋值语句

$S \rightarrow \text{if } B \text{ then } S_1 \text{ else } S_2$

控制流语句文法汇总

- **用S和L分别表示一条语句和语句列表**

  $S \rightarrow$ if B then S_1 // (B) 的括号此处省略

  $S \rightarrow$ if B then S_1 else S_2

  $S \rightarrow$ while B do S_1

  $S \rightarrow$ A //赋值语句

  $S \rightarrow$ {L} //大括号的作用是把内部的多个语句绑在一起，当成一个语句。

  $L \rightarrow L;S \mid S$ //语句列表，L和S之间用;分割

控制流语句文法-例

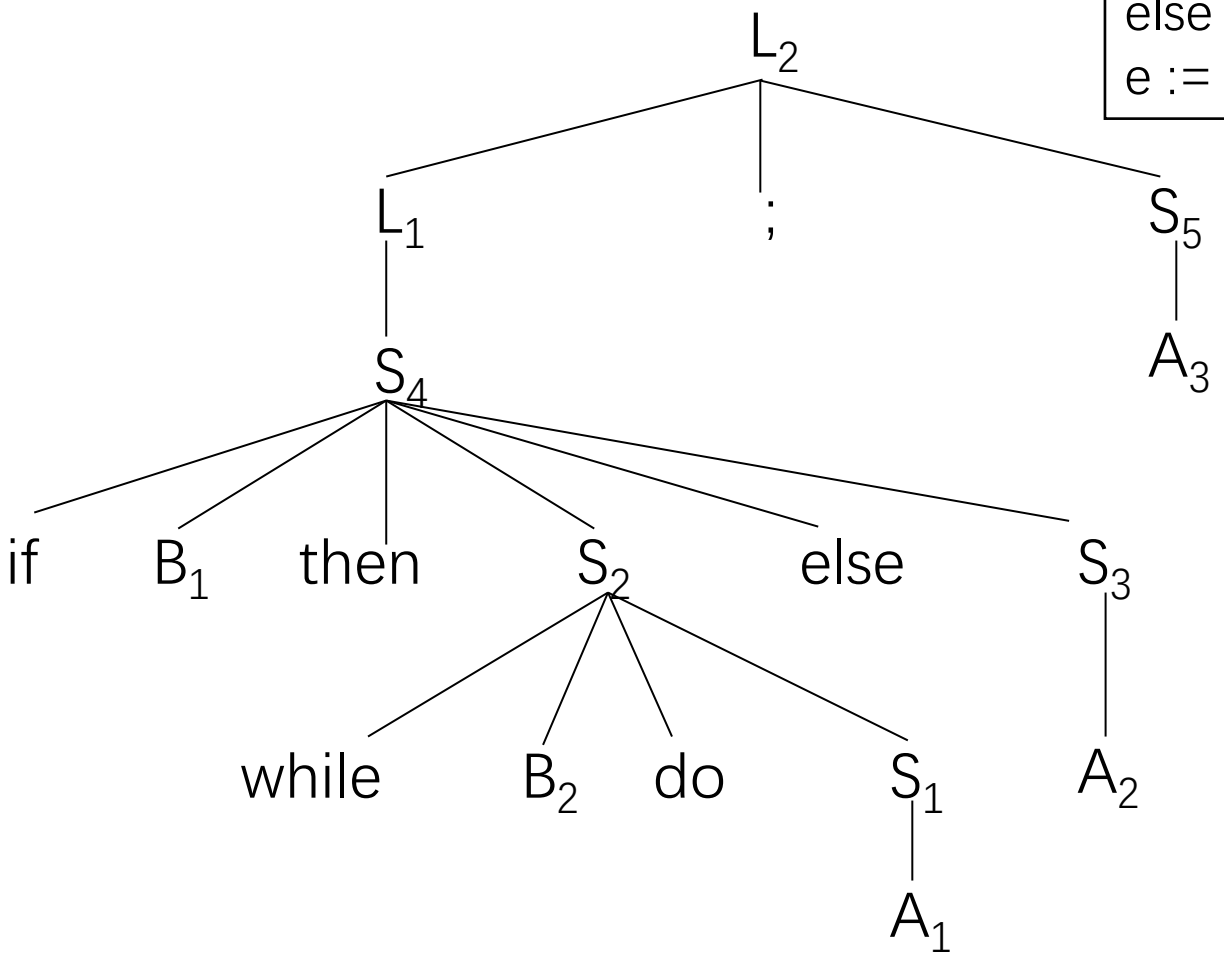
考虑以下语句序列：

```
if ( a<b or c<d and e<f )  then
   while ( a>c ) do c := c +1
else d := d + 1;
e := e + d;
```

控制流语句文法-例

- **分析树**

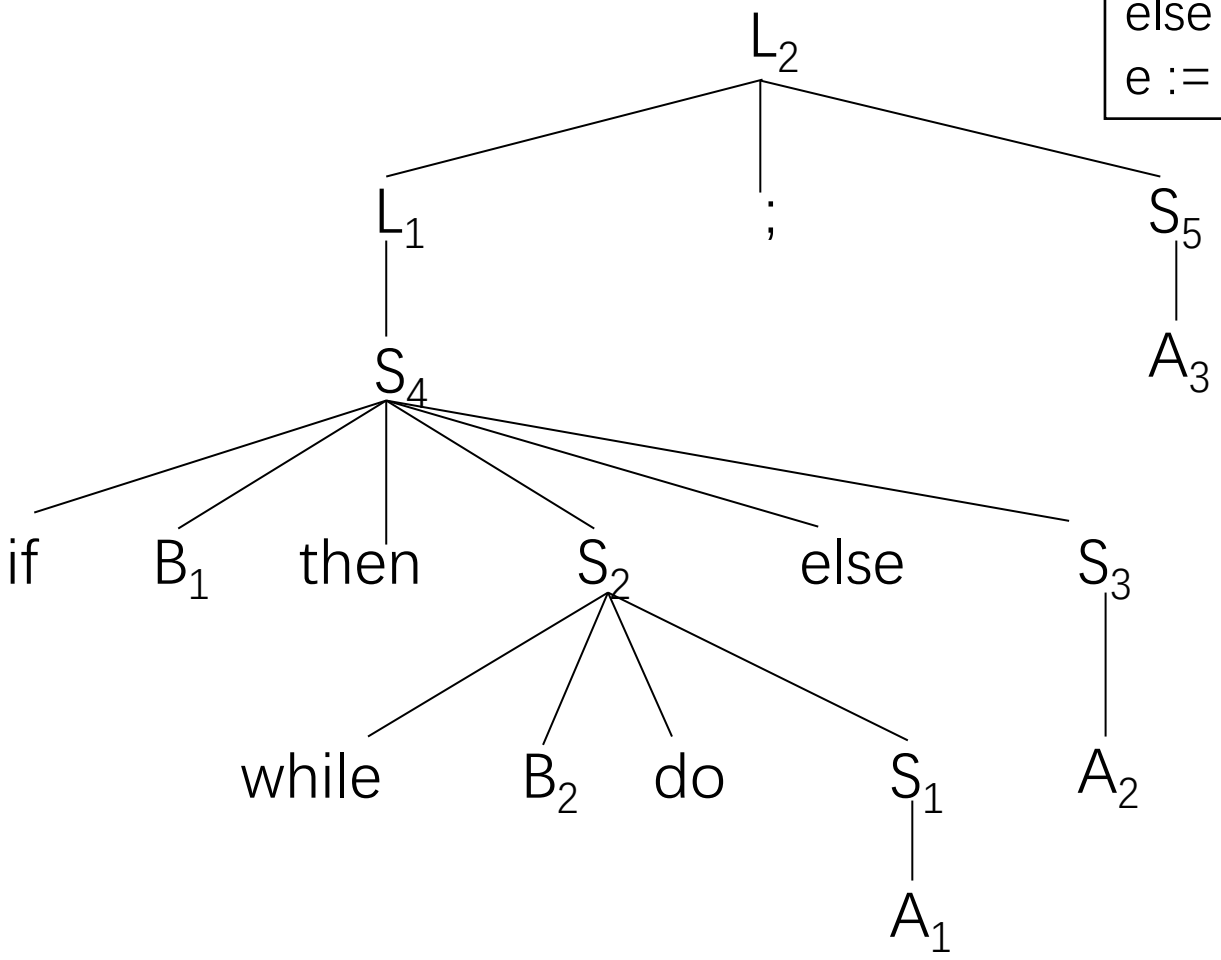
```
if ( a<b or c<d and e<f )  then
    while ( a>c ) do c := c +1
else d := d + 1;
e := e + d;
```



控制流语句文法-例

- **分析树**

```
if ( a<b or c<d and e<f ) then
    while ( a>c ) do c := c +1
else d := d + 1;
e := e + d;
```



当前的任务：

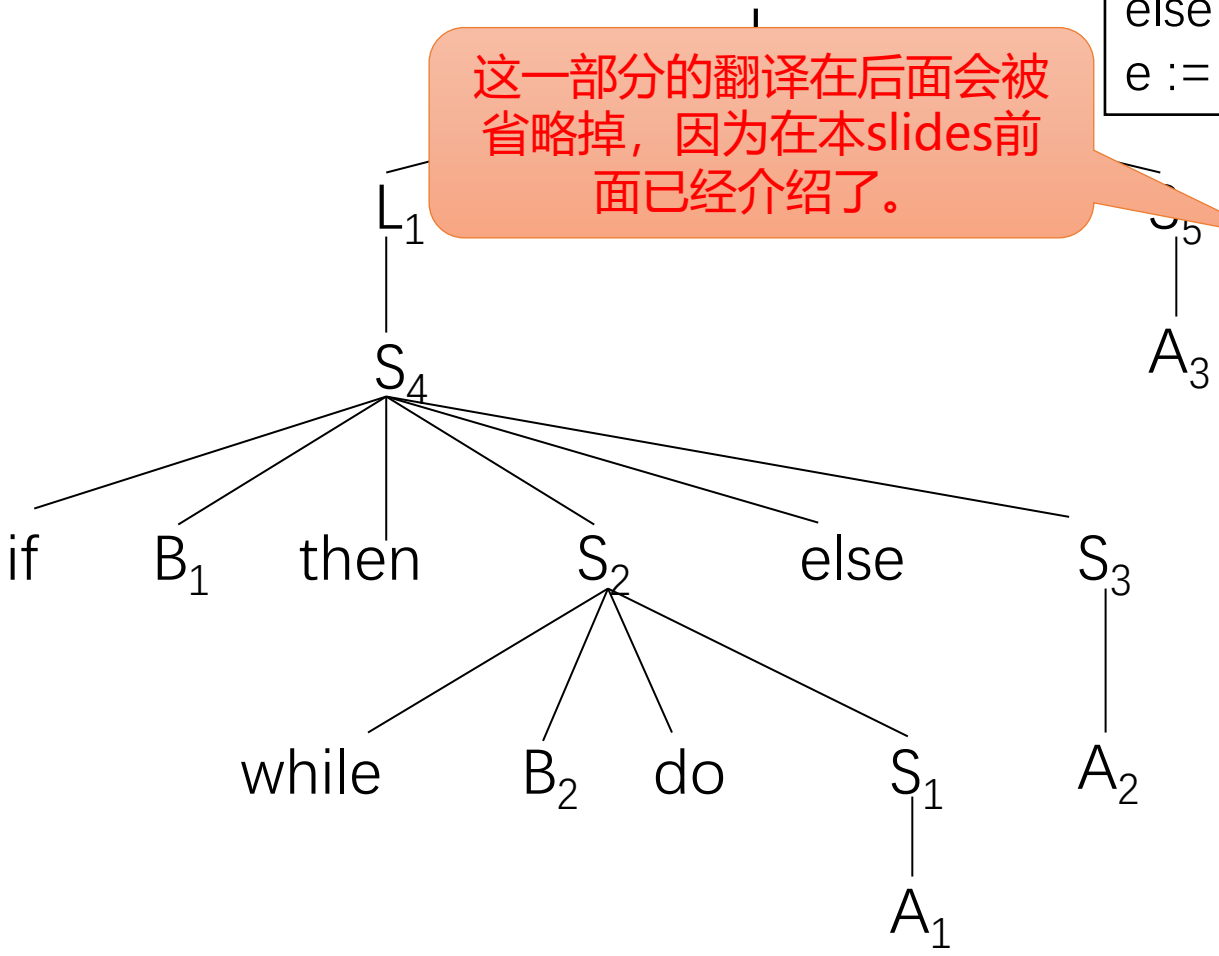
- **为每一条语句或表达式生成对应的三地址代码**
- **为B_1和B_2创建分别指向真出口和假出口的truelist和 falselist**
- **为五个S语句和两个L语句列表创建指向下一指令的 nextlist**
- **在特定的归约环节，将跳转目标指令标号回填对应的列表中的待填指令**
- **按需生成无条件转移指令**

控制流语句文法-例

- **分析树**

```
if ( a<b or c<d and e<f ) then
    while ( a>c ) do c := c +1
else d := d + 1;
e := e + d;
```

这一部分的翻译在后面会被省略掉，因为在本slides前面已经介绍了。

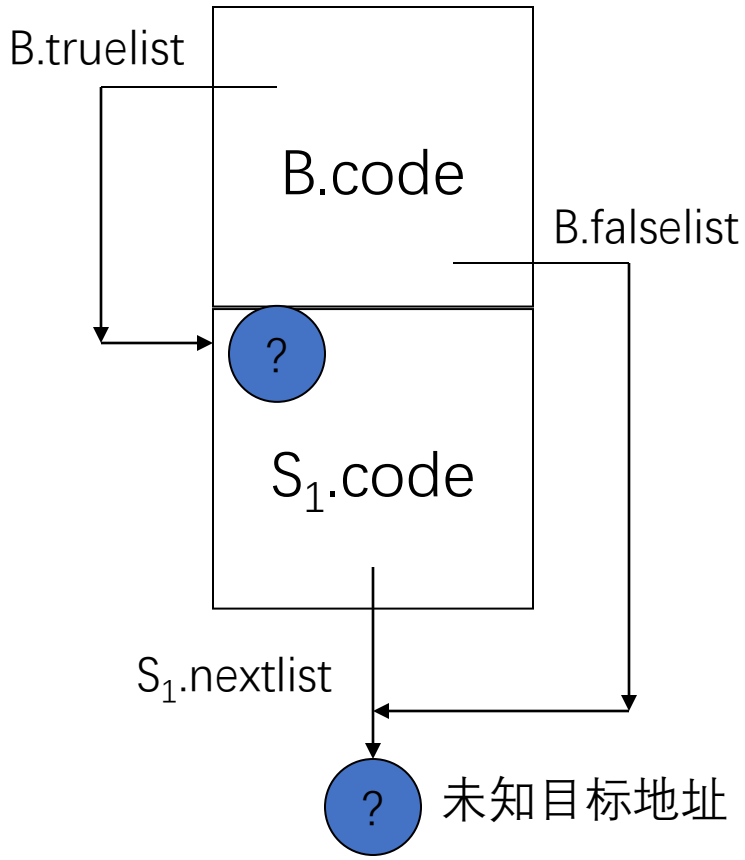


当前的任务：

- ~~为每一条语句或表达式生成对应的三地址代码~~
- 为B_1和B_2创建分别指向真出口和假出口的truelist和 falselist
- 为五个S语句和两个L语句列表创建指向下一指令的 nextlist
- 在特定的归约环节，将跳转目标指令标号回填对应的列表中的待填指令
- 按需生成无条件转移指令

条件语句的翻译方案 (1)

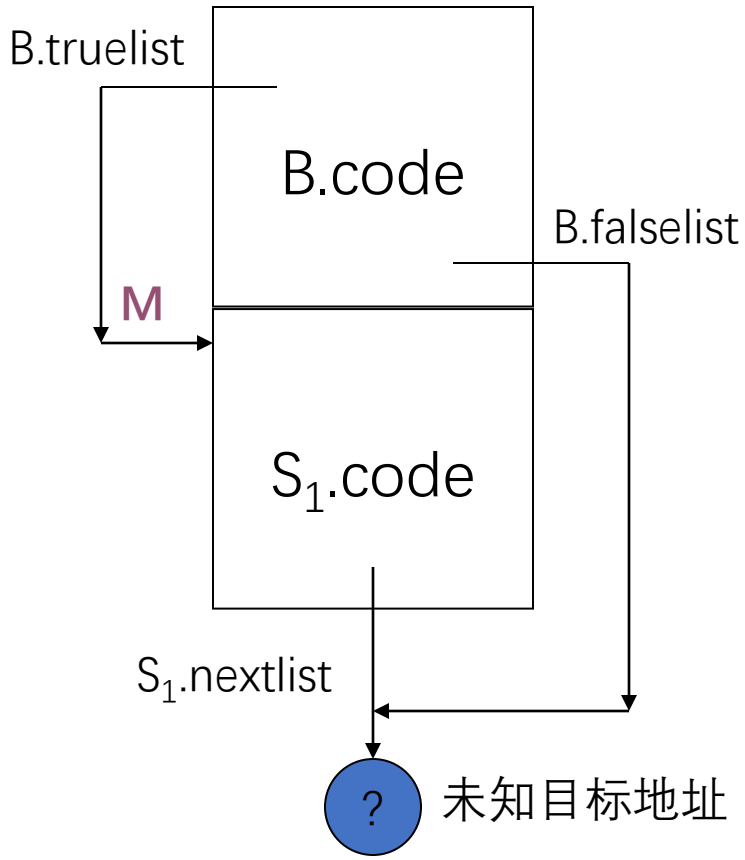
if B then S_1 的代码结构



- **四个跳转目标未知**
  - B的值为真跳转到S_1的开始
  - B的值为假/S_1结束/S结束应该跳转到同一个指令

条件语句的翻译方案 (1)

if B then S_1 的代码结构



- **四个跳转目标未知**
  - B的值为真跳转到S_1的开始
  - B的值为假/S_1结束/S结束应该跳转到同一个指令
- **解决方案**
  - 引入M标记，记录B.code之后的下一条新的指令标号，方便回填B.truelist
  - 将B.falselist、S_1.nextlist合并赋给S.nextlist

条件语句的翻译方案 (1)

$S \rightarrow$ if B then M S_1

{

backpatch(B.truelist, M.instr);

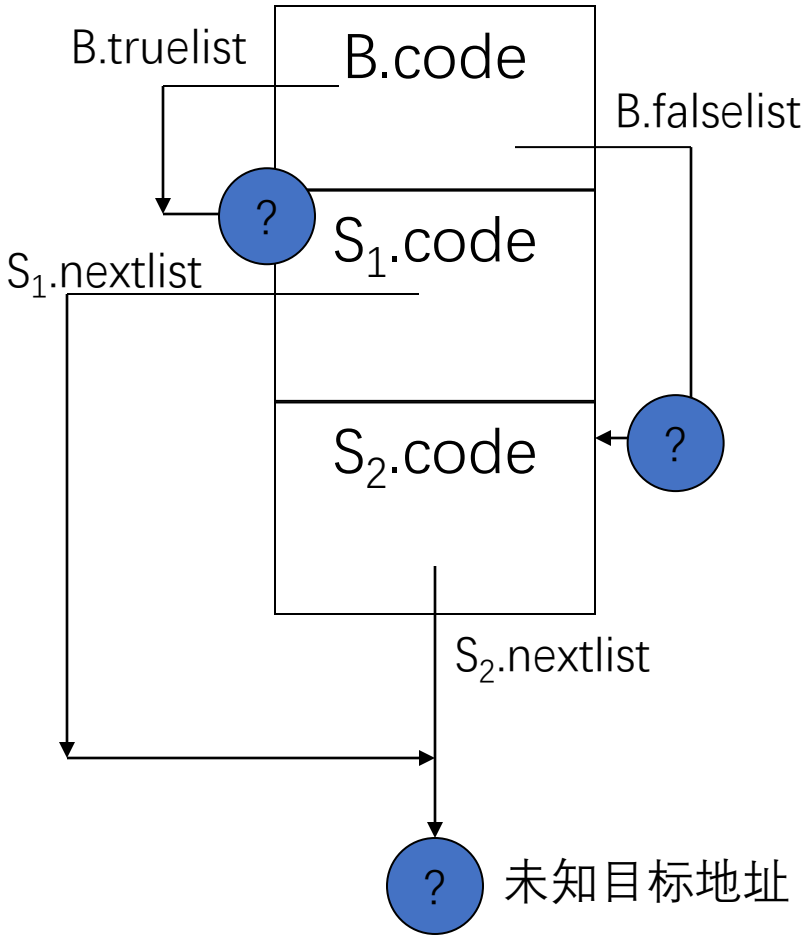
S.nextlist = merge(B.falselist, S_1.nextlist)

}

$M \rightarrow \varepsilon$ { M.instr = nextinstr}

条件语句的翻译方案 (2)

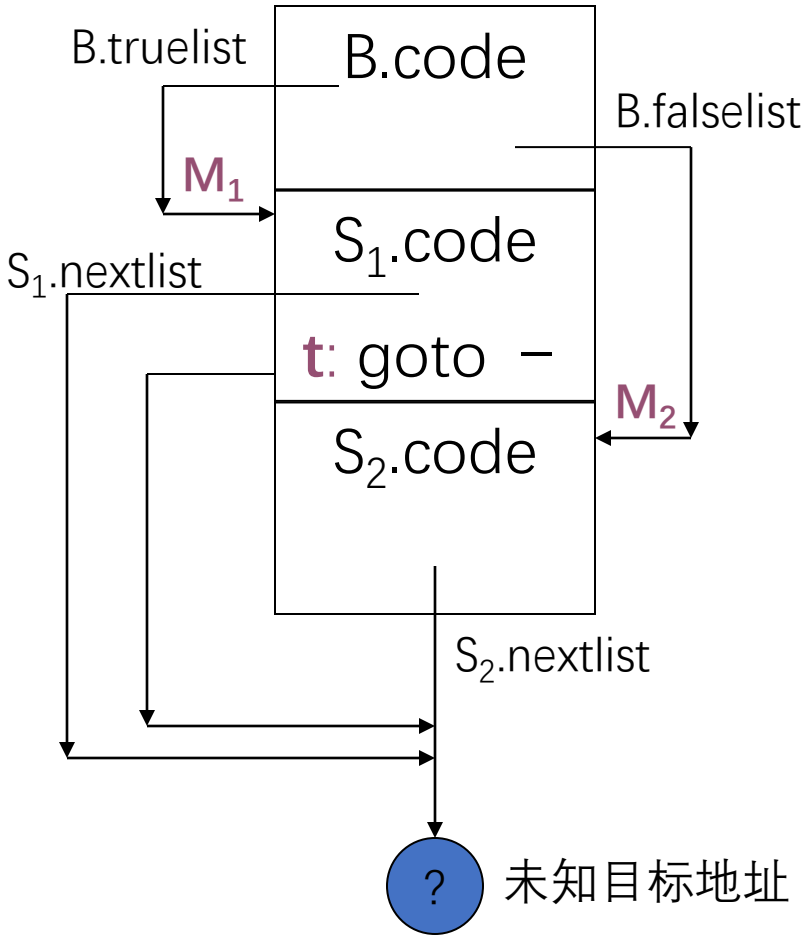
if B then S_1 else S2的结构



- **五个跳转目标未知**
  - B的值为真跳转到S_1的开始
  - B的值为假跳转到S_2的开始
  - S_1/ S_2 /S结束应该跳转到同一个指令
- **S_1结束要越过S_2**

条件语句的翻译方案 (2)

if B then S_1 else S2的结构



- **五个跳转目标未知**
  - B的值为真跳转到S_1的开始
  - B的值为假跳转到S_2的开始
  - S_1/ S_2 /S结束应该跳转到同一个指令
- **S_1结束要越过S_2**
- **解决方案**
  - 引入M_1和M_2标记
  - 引入N标记，在S_1后插入无条件跳转指令
  - 将S_1.nextlist、{t}和S_2.nextlist合并赋给S.nextlist

条件语句的翻译方案 (2)

S→ if B then M_1 S_1 *N* else M_2 S_2

{

}

N→ε { N.nextlist = makelist(nextinstr); //标号t

gen(“goto” -);

}

条件语句的翻译方案 (2)

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

{ backpatch(B.truelist, M_1.instr);

backpatch(B.falselist, M_2.instr);

temp = merge(S_1.nextlist, N.nextlist);

S.nextlist = merge(temp, S_2.nextlist) ;

}

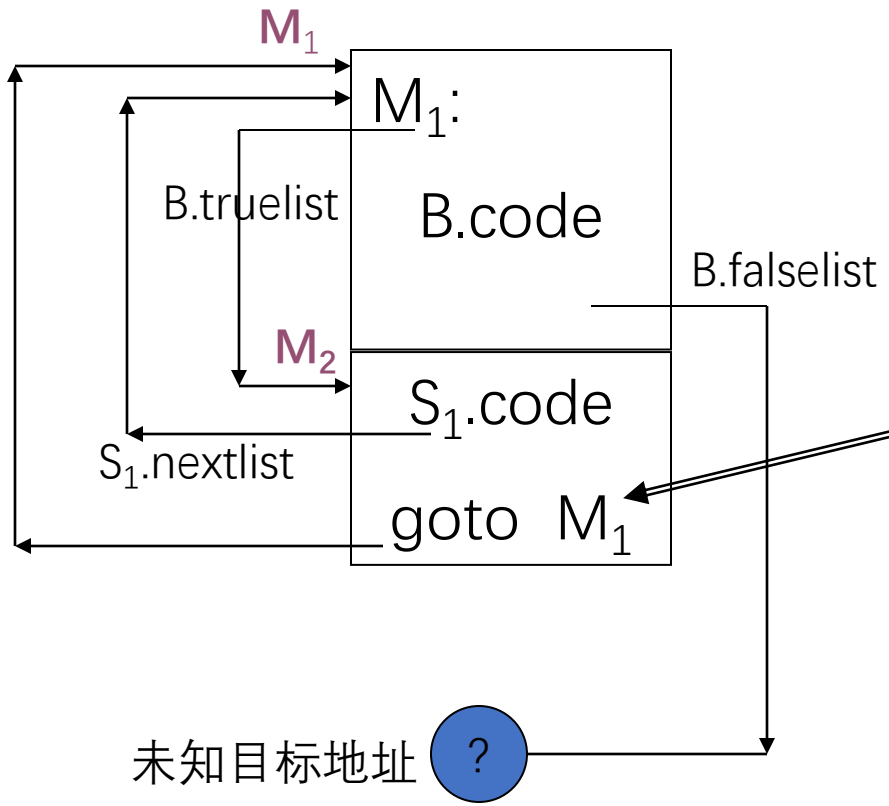
$N \rightarrow \varepsilon$ { N.nextlist = makelist(nextinstr); //标号t

gen(“goto” -);

}

循环语句的翻译方案

while B do S_1 的代码结构

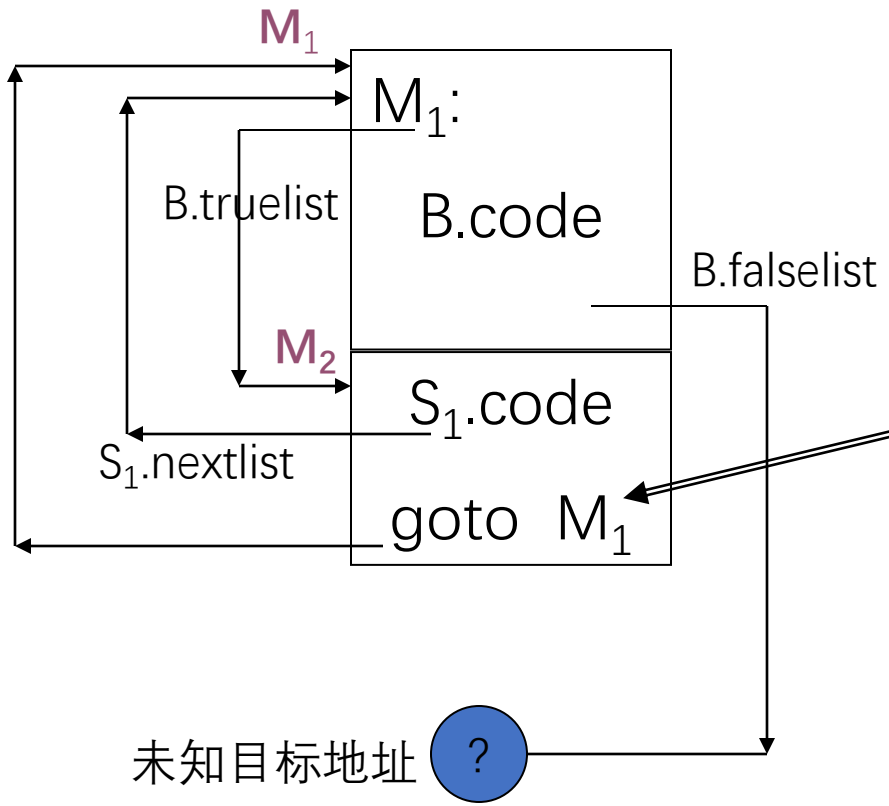


产生无条件跳转指令

goto M_1（跳转至循环条件测试代码开始处）

循环语句的翻译方案

while B do S_1 的代码结构



与 if B then M_1 S_1 N else M_2 S_2不同，此处不用引入N来生成一条无条件跳转指令，因为，S_1分析后已经看到句柄，因此，该指令的生成可以放到归约里。

产生无条件跳转指令

goto M_1（跳转至循环条件测试代码开始处）

循环语句的翻译方案

$S \rightarrow$ while M_1 B do M_2 S_1

{ backpatch(B.truelist, M_2.instr);

backpatch(S_1.nextlist, M_1.instr);

S.nextlist = B.falselist;

gen(“goto” M_1.instr);//已知

}

$M \rightarrow \varepsilon$ { M.instr = nextinstr}

简单语句的翻译方案

$S \rightarrow A$ {S.nextlist = {};}

$S \rightarrow \{L\}$ {S.nextlist = L.nextlist}

$L \rightarrow S$ {L.nextlist = S.nextlist}

语句列表的翻译方案

$L \rightarrow L_1;S$

当分析完L_1时，由于不知道S是否会出现，因此需要引入M标记符，记录S的第一条指令；

当S分析完后，进行L的归约，此时，将M记录的指令标号回填L_1.nextlist, 并将S的nextlist赋给L的nextlist

语句列表的翻译方案

$L \rightarrow L_1;S$

当分析完L_1时，由于不知道S是否会出现，因此需要引入M标记符，记录S的第一条指令；

当S分析完后，进行L的归约，此时，将M记录的指令标号回填L_1.nextlist, 并将S的nextlist赋给L的nextlist

$L \rightarrow L_1;M\ S$ {

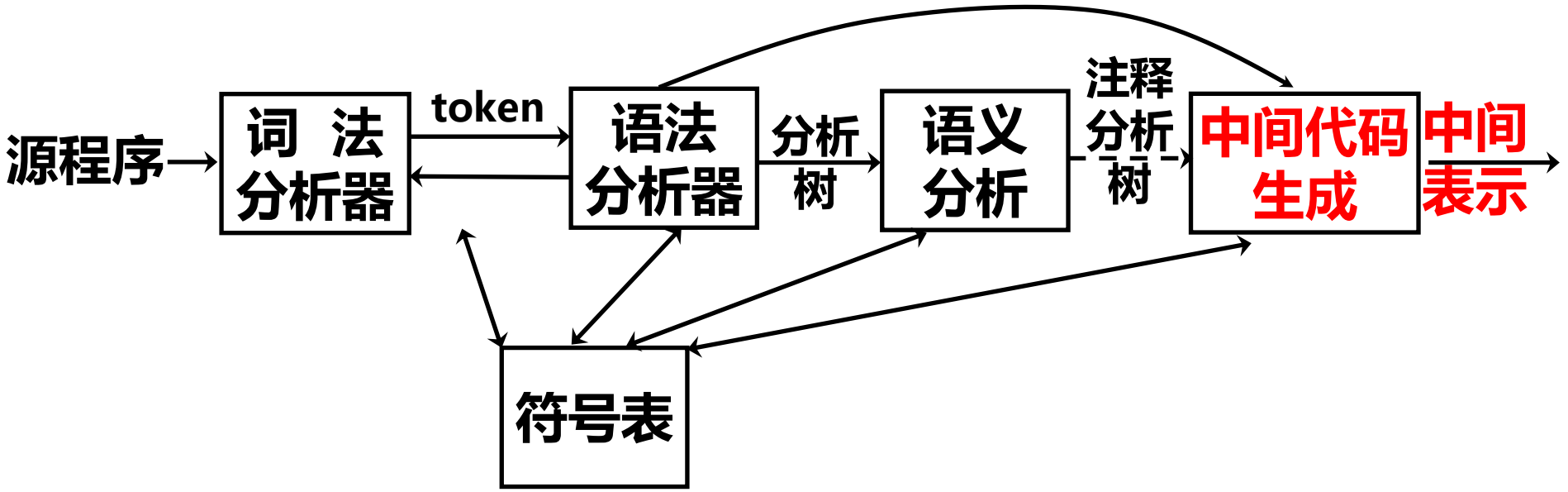
backpatch(L_1.nextlist, M.instr);

L.nextlist = S.nextlist;

}

$M \rightarrow \varepsilon$ { M.instr = nextinstr}

本节提纲



- 基于标号回填的其他控制流语句翻译
- **控制流语句翻译举例**

控制流语句的翻译-例

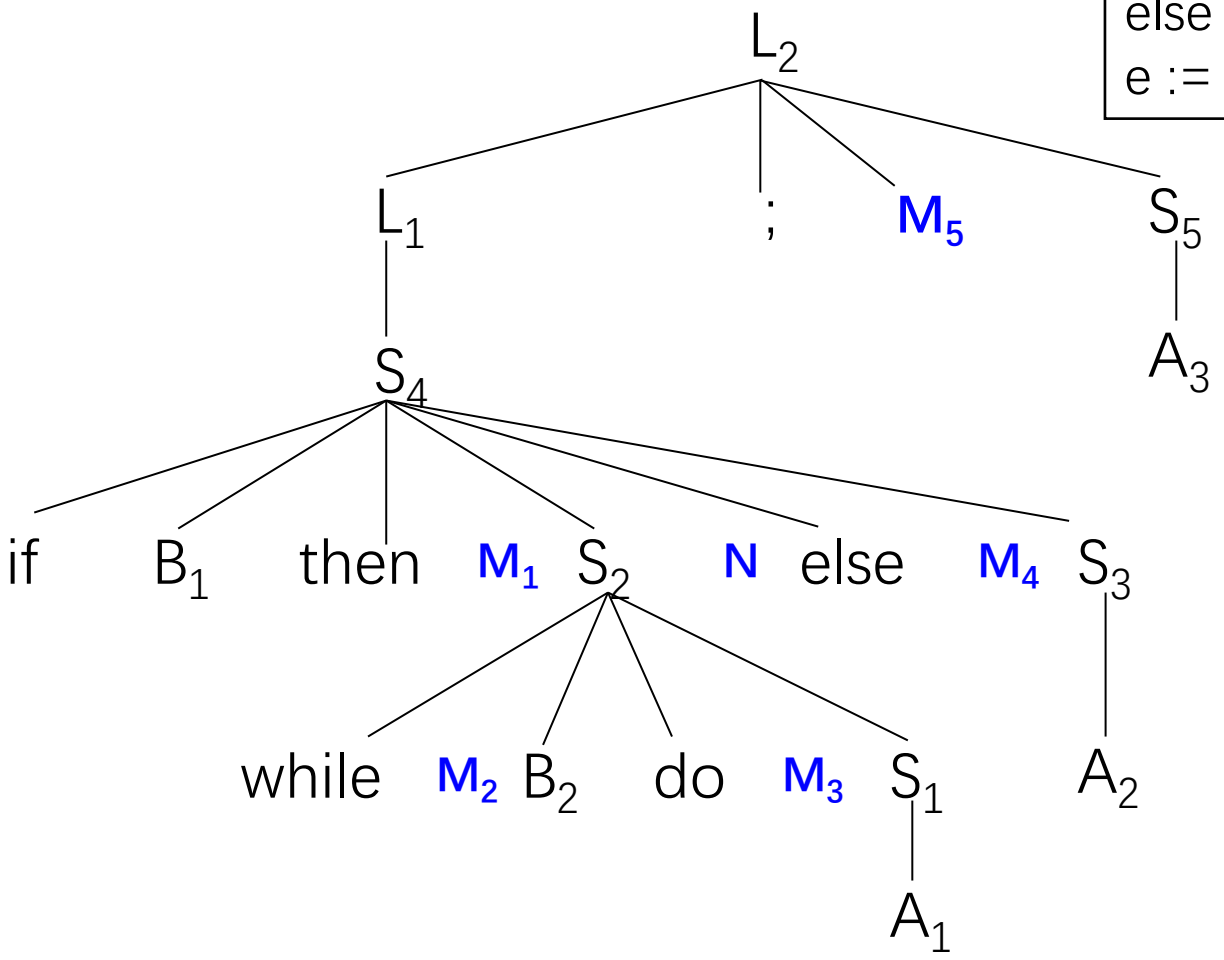
翻译以下语句序列：

```
if ( a<b or c<d and e<f )  then
   while ( a>c ) do c := c +1
else d := d + 1;
e := e + d;
```

控制流语句的翻译-例

- **分析树**

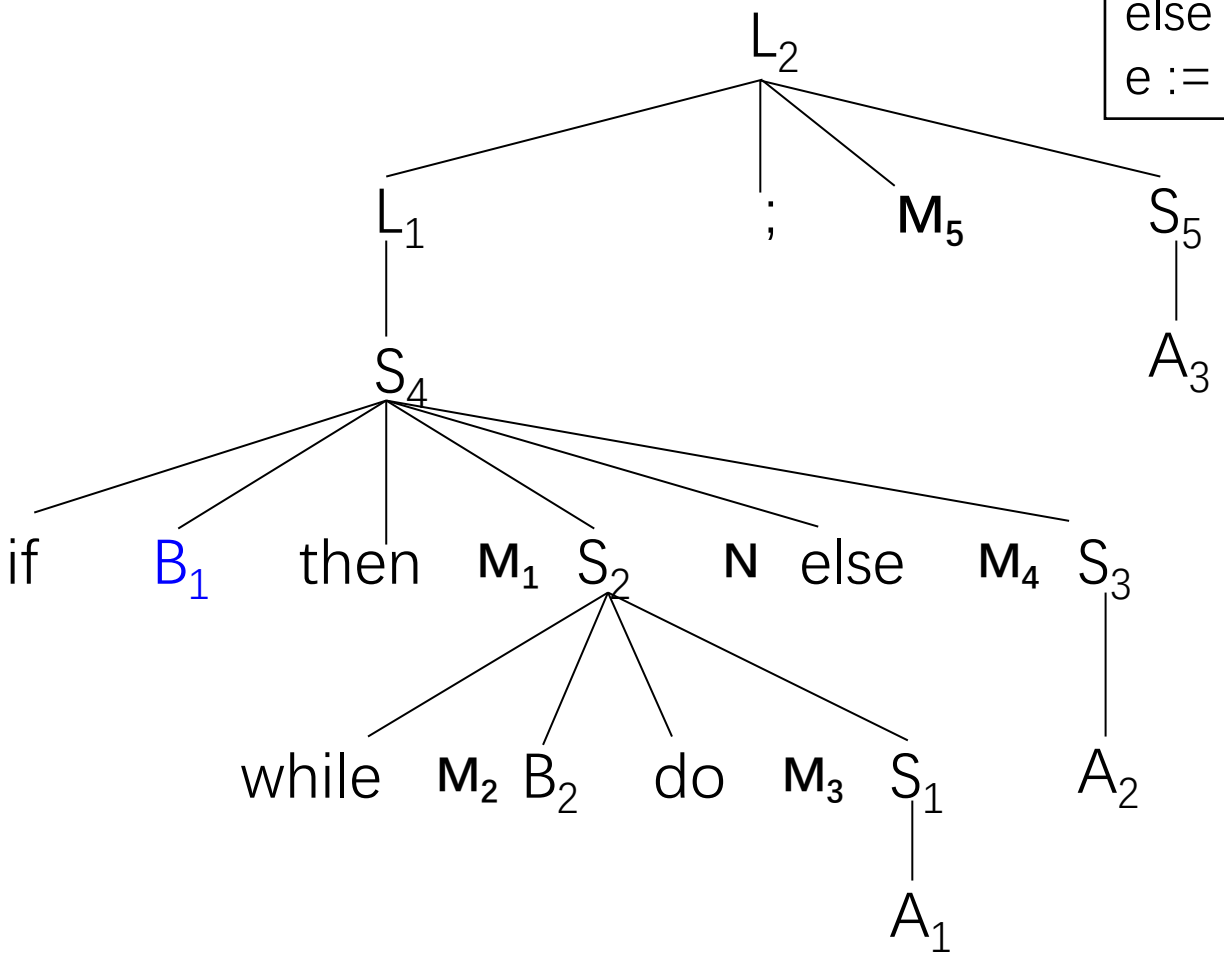
```
if ( a<b or c<d and e<f )  then
    while ( a>c ) do c := c +1
else d := d + 1;
e := e + d;
```



控制流语句的翻译-例

- **分析树**

```
if ( a<b or c<d and e<f ) then
    while ( a>c ) do c := c +1
else d := d + 1;
e := e + d;
```



蓝色表示即将翻译
红色表示需要回填

控制流语句的翻译-例

一、翻译 B_1：(a<b or c<d and e<f)

(100) if a<b goto -

(101) goto 102

(102) if c<d goto 104

(103) goto -

(104) if e<f goto -

(105) goto -

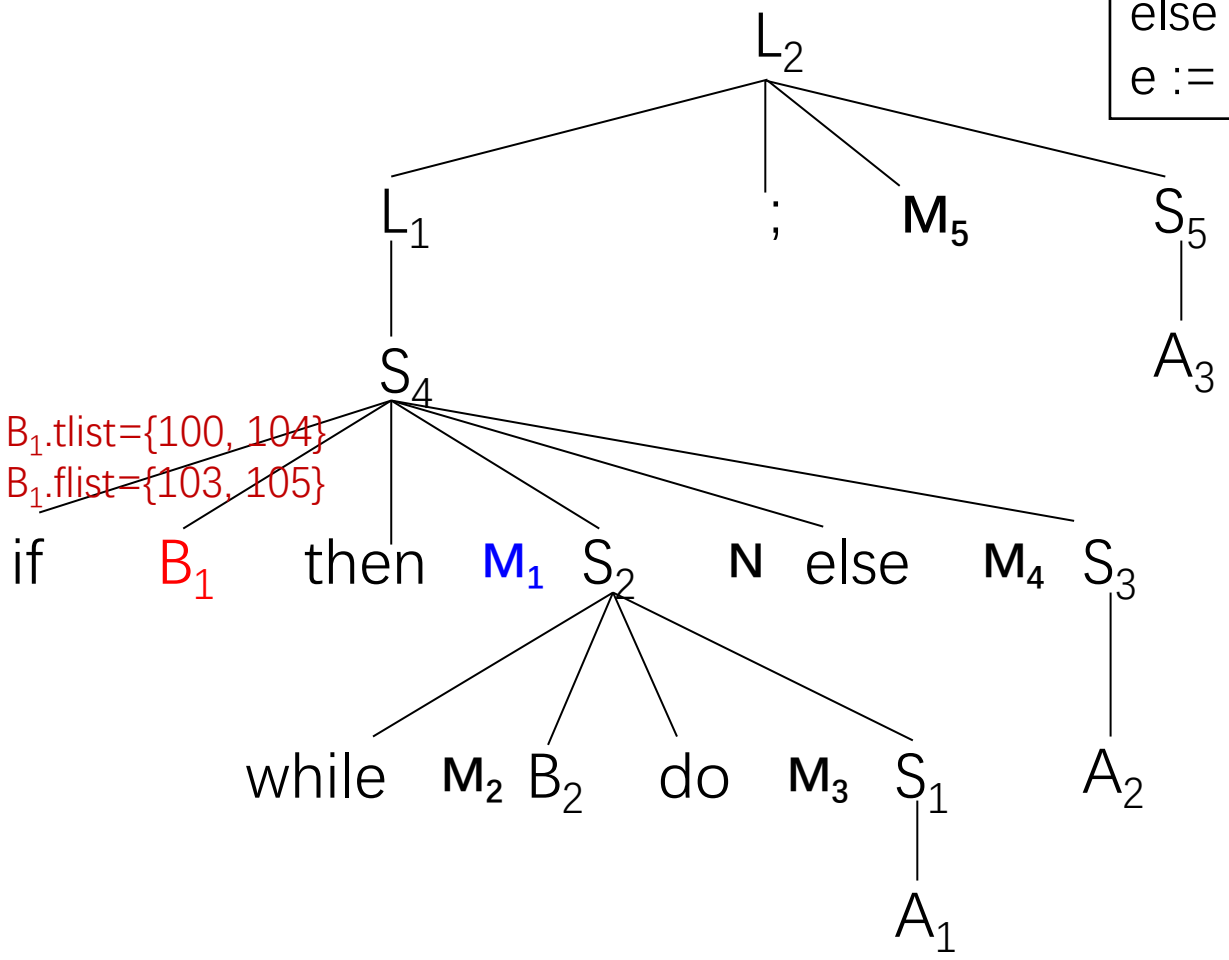
truelist: { 100, 104 } falselist: { 103, 105 }

在Lecture 15的ppt中已经进行了翻译，此处直接使用结果

控制流语句的翻译-例

- 分析树

```
if ( a<b or c<d and e<f ) then
    while ( a>c ) do c := c +1
else d := d + 1;
e := e + d;
```



蓝色表示即将翻译
红色表示需要回填

控制流语句的翻译-例

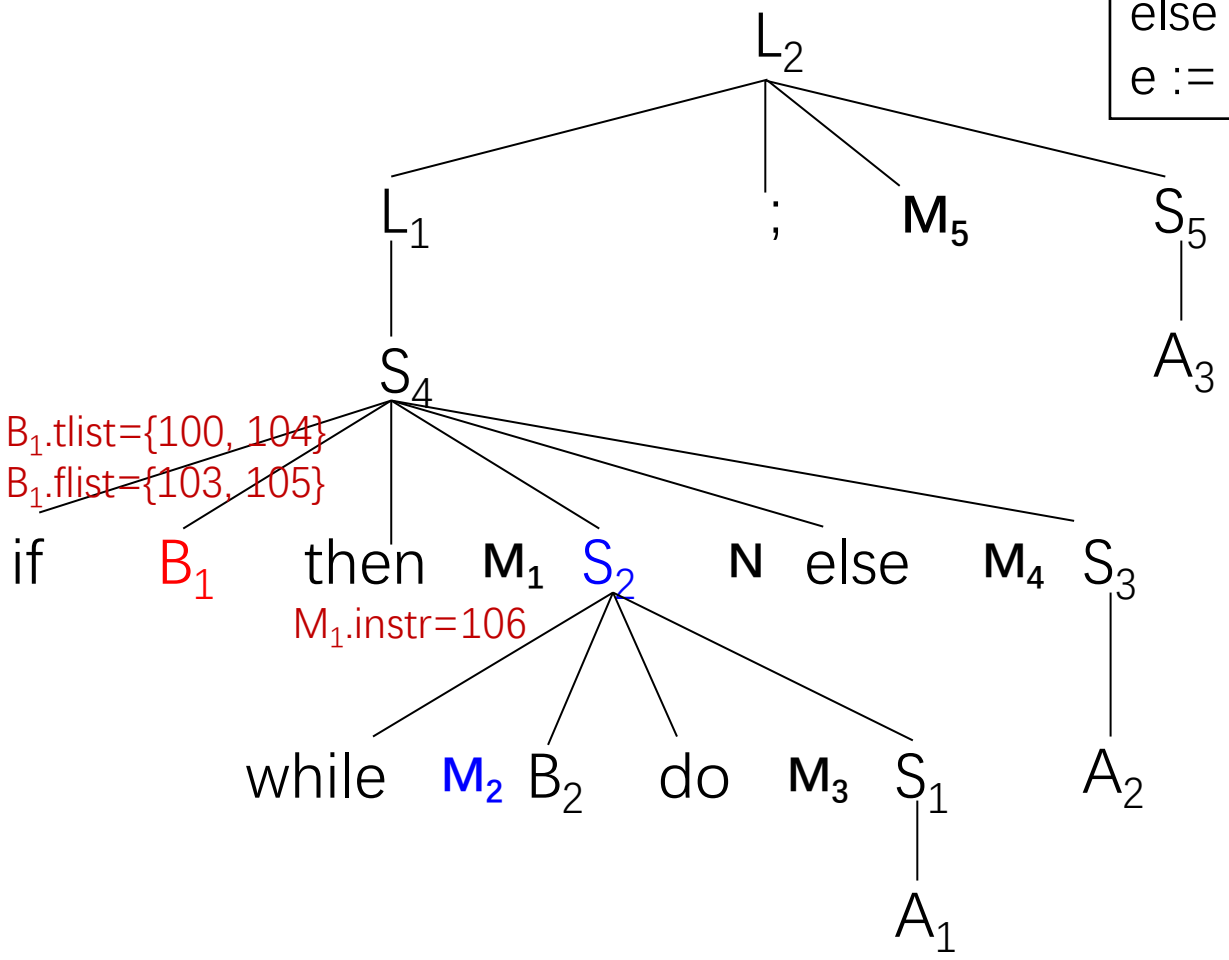
二、翻译 M_1： $M_1 \rightarrow \varepsilon$

记录下一个指令标号106，当if-then-else归约时，用106回填B_1的truelist { 100, 104 }

控制流语句的翻译-例

- 分析树

```
if ( a<b or c<d and e<f ) then
    while ( a>c ) do c := c +1
else d := d + 1;
e := e + d;
```



蓝色表示即将翻译
红色表示需要回填

控制流语句的翻译-例

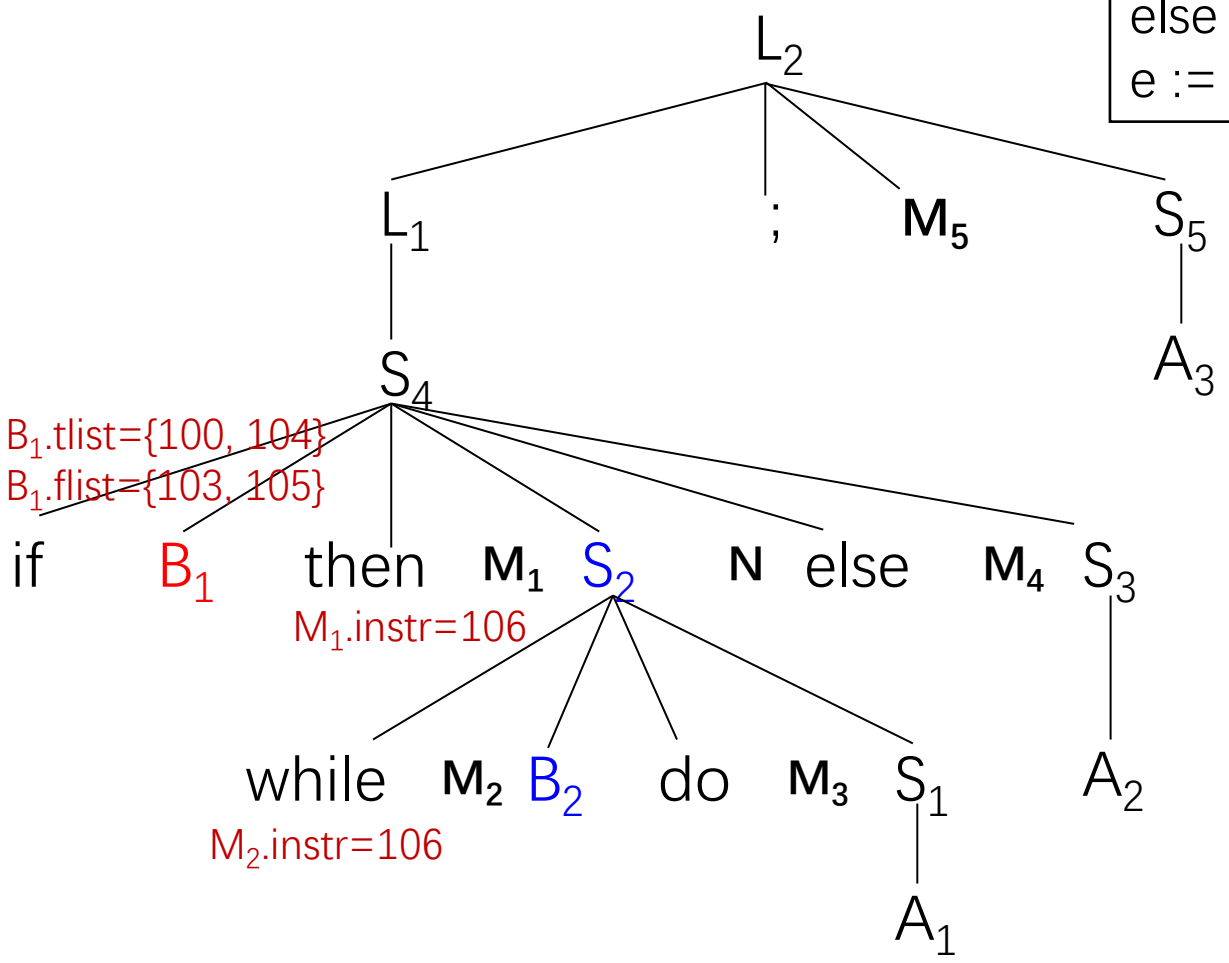
三、翻译 M_2： $M_2 \rightarrow \varepsilon$

记录下一个指令标号106，当while(B_2) S_1归约时，用106回填S_1的nextlist，并生成无条件跳转指令goto M_2.instr

控制流语句的翻译-例

- 分析树

```
if ( a<b or c<d and e<f ) then
    while ( a>c ) do c := c +1
else d := d + 1;
e := e + d;
```



蓝色表示即将翻译
红色表示需要回填

控制流语句的翻译-例

四、翻译S_2中B_2： while B_2 do S_1

(106) if a>c goto -

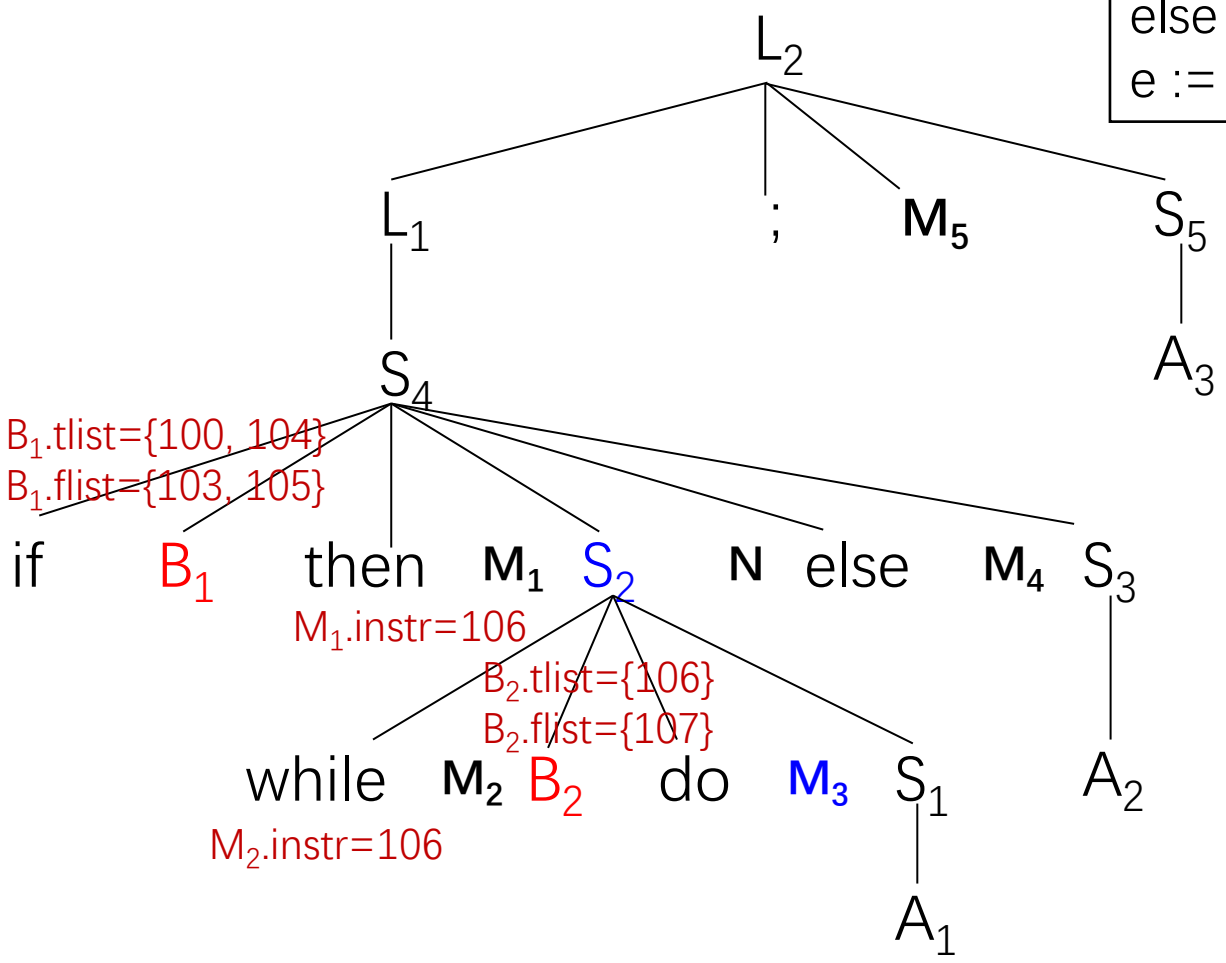
(107) goto -

truelist: { 106 } falselist: { 107 }//待回填

控制流语句的翻译-例

- 分析树

```
if ( a<b or c<d and e<f ) then
    while ( a>c ) do c := c +1
else d := d + 1;
e := e + d;
```



蓝色表示即将翻译
红色表示需要回填

控制流语句的翻译-例

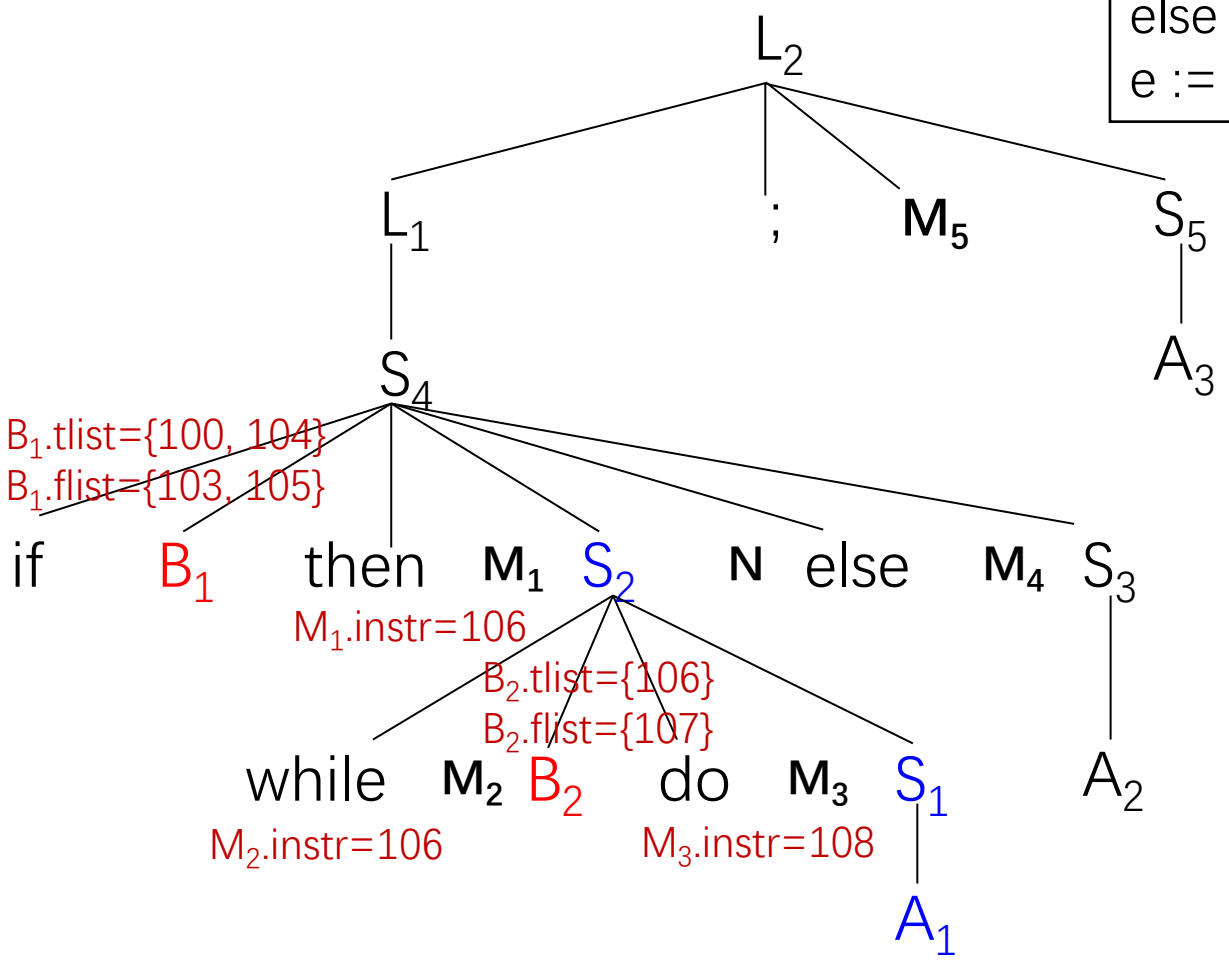
五、翻译 M_3： $M_3 \rightarrow \varepsilon$

记录下一个指令标号108，当while(B_2) S_1归约时，用108回填B_2的truelist

控制流语句的翻译-例

- 分析树

```
if ( a<b or c<d and e<f ) then
    while ( a>c ) do c := c +1
else d := d + 1;
e := e + d;
```



蓝色表示即将翻译
红色表示需要回填

控制流语句的翻译-例

六、翻译 S_1： while B_2 do S_1

(106) if a>c goto -

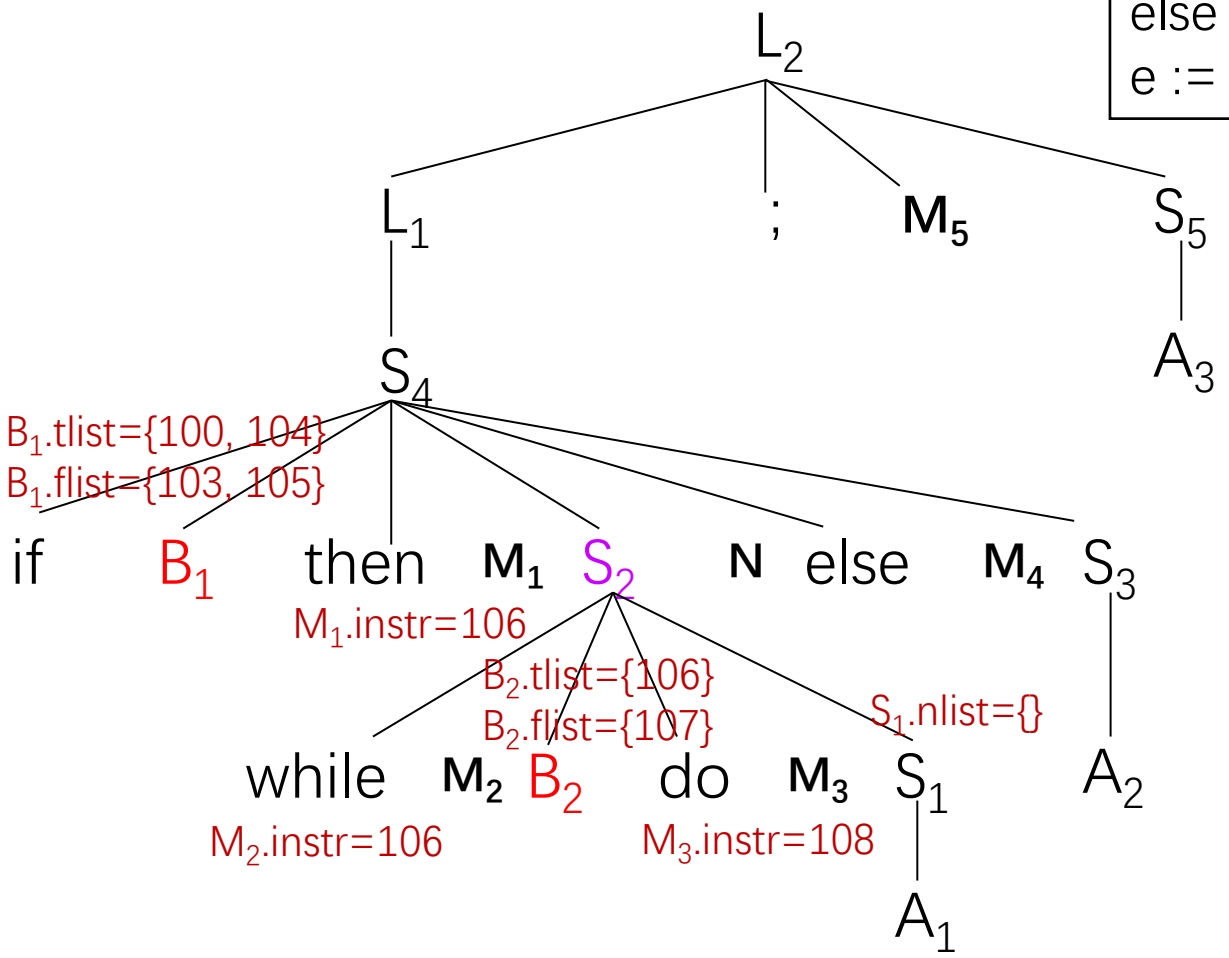
(107) goto -

(108) c := c + 1 // $S_1 \rightarrow A_1$ S_1.nextlist={}

控制流语句的翻译-例

- 分析树

```
if ( a<b or c<d and e<f ) then
    while ( a>c ) do c := c +1
else d := d + 1;
e := e + d;
```



蓝色表示即将翻译
红色表示需要回填
紫色表示即将归约

控制流语句的翻译-例

七、归约 S_2： while B_2 do S_1

(106) if a>c goto -

(107) goto -

(108) c := c + 1 // $S_1 \rightarrow A_1$ S_1.nextlist={}

控制流语句的翻译-例

七、归约 S_2： while B_2 do S_1

(106) if a>c goto 108 //用108回填106

(107) goto -

(108) c := c + 1 // $S_1 \rightarrow A_1$ S_1.nextlist={}

(109) goto 106 // 转至循环入口(106)

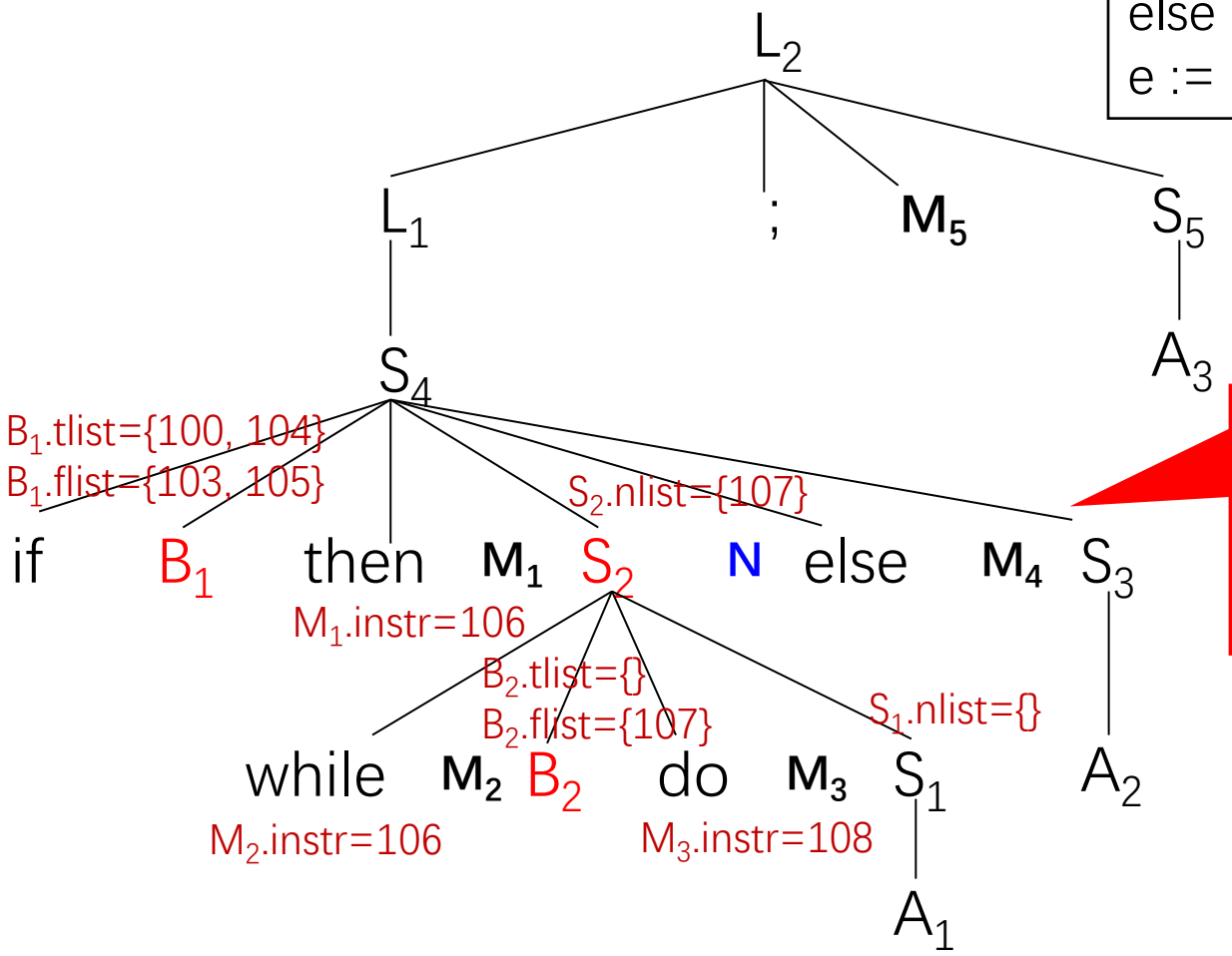
S_2.nextlist: { 107 } //转至循环外部

此处需要用106回填S_1.nextlist，但该list为空

控制流语句的翻译-例

- 分析树

```
if ( a<b or c<d and e<f ) then
    while ( a>c ) do c := c +1
else d := d + 1;
e := e + d;
```



虽然while语句归约到S_2，但是S_2的下一跳指令和B_2的假出口未定待填，它们指向相同。

蓝色表示即将翻译
红色表示需要回填

控制流语句的翻译-例

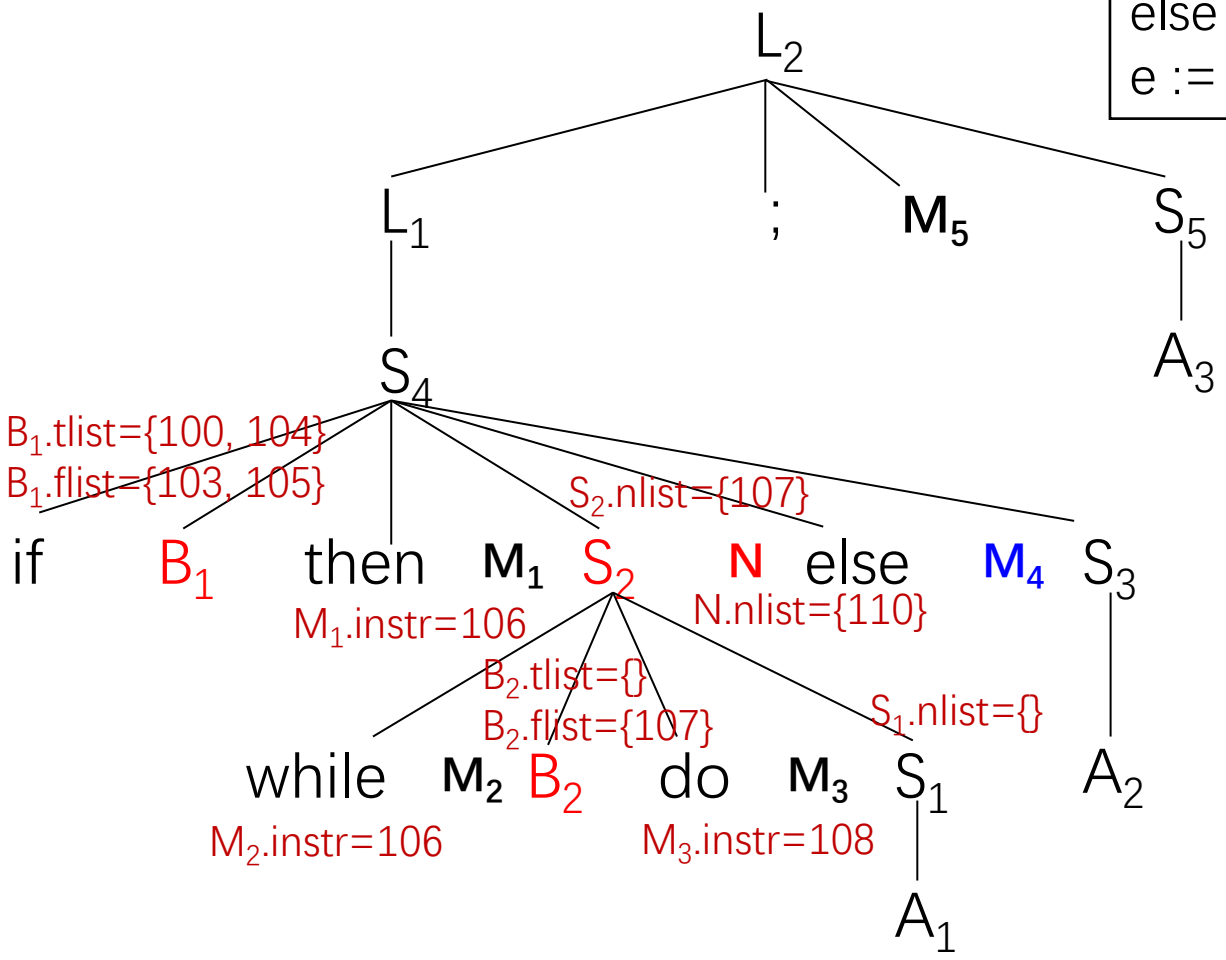
八、翻译 N： $N \rightarrow \varepsilon$

(110) goto - // N.nextlist = {110}

控制流语句的翻译-例

- 分析树

```
if ( a<b or c<d and e<f ) then
    while ( a>c ) do c := c +1
else d := d + 1;
e := e + d;
```



蓝色表示即将翻译
红色表示需要回填

控制流语句的翻译-例

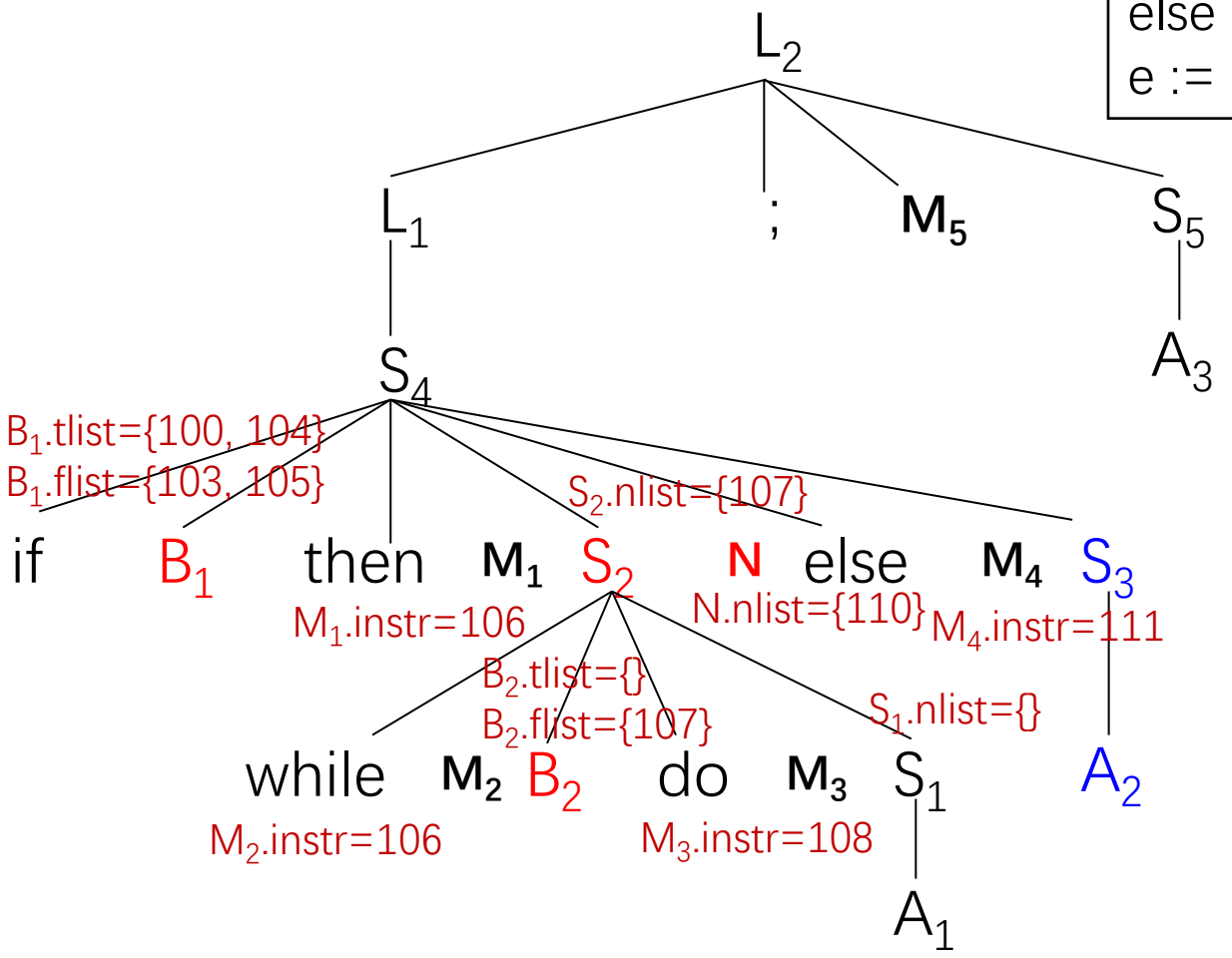
九、翻译 M_4： $M_4 \rightarrow \varepsilon$

记录下一个指令标号111，当if-then-else归约时，用111回填B_1的falselist{103, 105}

控制流语句的翻译-例

- 分析树

```
if ( a<b or c<d and e<f ) then
    while ( a>c ) do c := c +1
else d := d + 1;
e := e + d;
```



蓝色表示即将翻译
红色表示需要回填

控制流语句的翻译-例

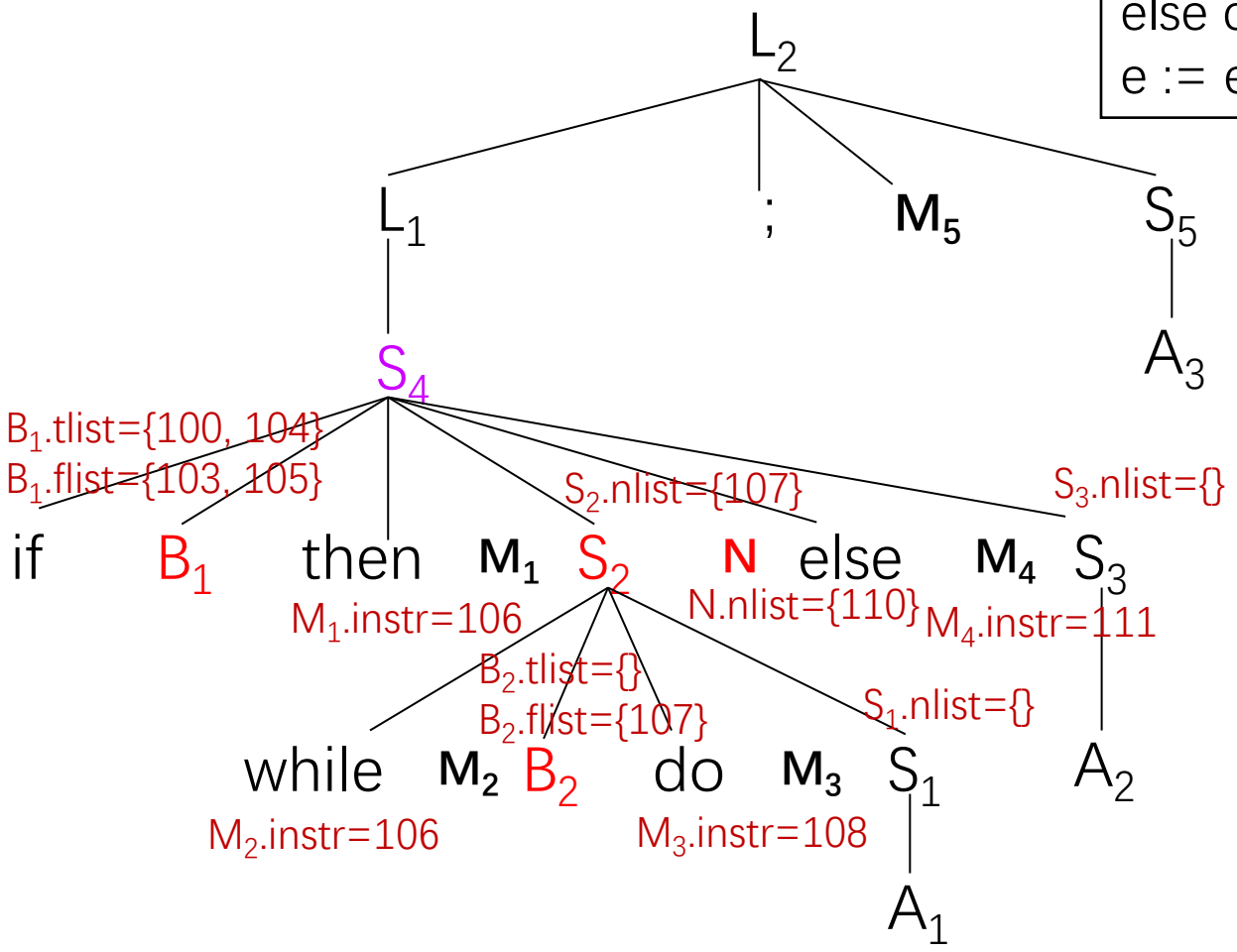
十、翻译 S_3： $S_3 \rightarrow A_2$

(111) d := d + 1 // S_3.nextlist={}

控制流语句的翻译-例

- 分析树

```
if ( a<b or c<d and e<f ) then
    while ( a>c ) do c := c +1
else d := d + 1;
e := e + d;
```



蓝色表示即将翻译
红色表示需要回填
紫色表示即将归约

控制流语句的翻译-例

十一、按if-then-else归约到S_4，进行如下操作

- 用M_1.instr即106回填布尔表达式B_1的truelist{100,104}

控制流语句的翻译-例

(100) if a<b goto 106

(101) goto 102

(102) if c<d goto 104

(103) goto -

(104) if e<f goto 106

(105) goto -

truelist: { 100, 104 } falselist: { 103, 105 }

控制流语句的翻译-例

十一、按if-then-else归约到S_4，进行如下操作

- 用M_1.instr即106回填布尔表达式B_1的truelist{100,104}
- **用M_4.instr即111回填布尔表达式B_1的falselist{103,105}**

控制流语句的翻译-例

(100) if a<b goto 106

(101) goto 102

(102) if c<d goto 104

(103) goto 111

(104) if e<f goto 106

(105) goto 111

truelist: { 100, 104 } falselist: { 103, 105 }

控制流语句的翻译-例

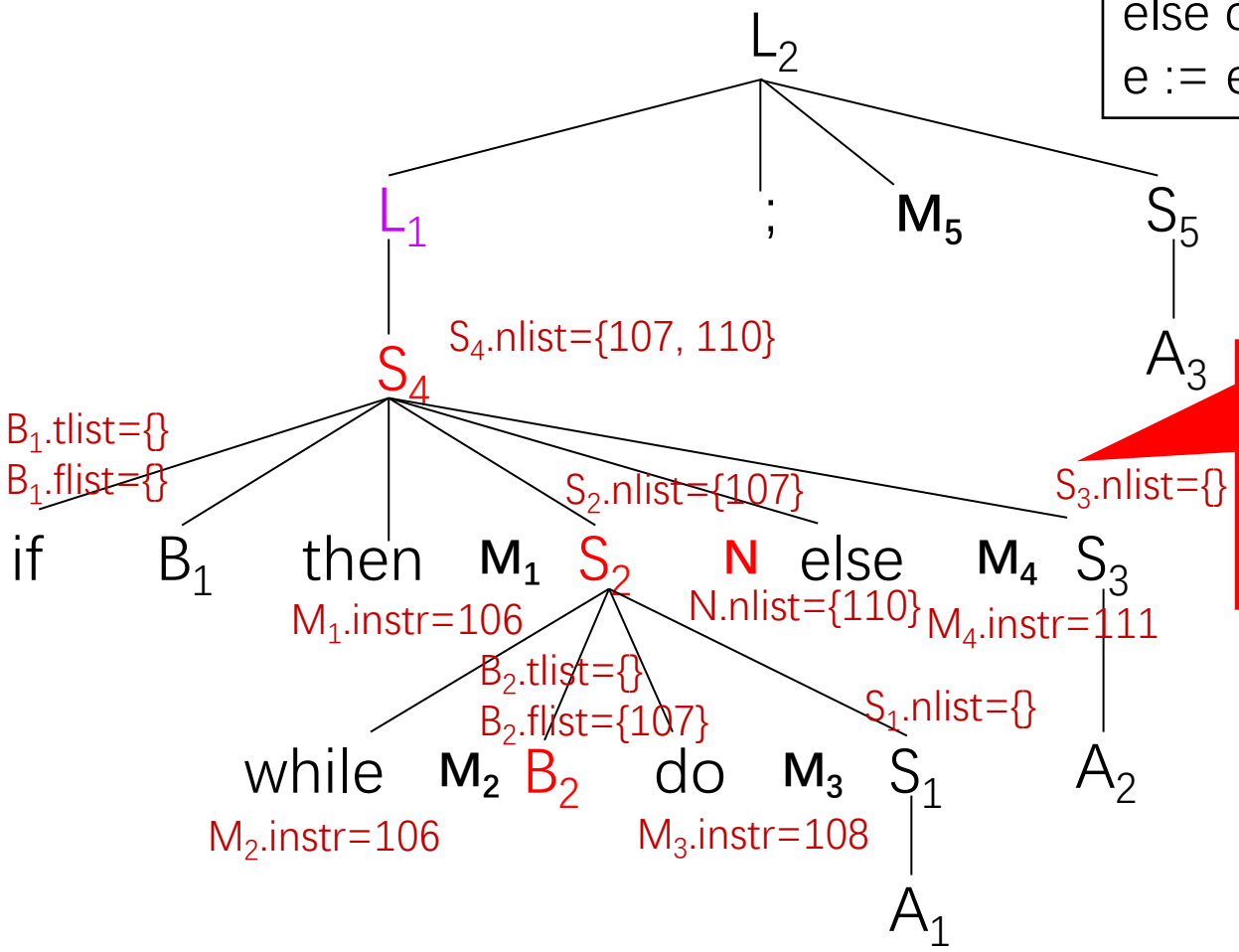
十一、按if-then-else归约到S_4，进行如下操作

- 用M_1.instr即106回填布尔表达式B_1的truelist{100,104}
- 用M_4.instr即111回填布尔表达式B_1的falselist{103,105}
- **S_4.nextlist等于S_2、N和S_3的nextlist的并集，即为{107, 110}**

控制流语句的翻译-例

- 分析树

```
if ( a<b or c<d and e<f ) then
    while ( a>c ) do c := c +1
else d := d + 1;
e := e + d;
```



S_4的下一跳指令、S_2的下一跳指令和B_2的假出口未定待填，它们指向相同。

蓝色表示即将翻译
红色表示需要回填
紫色表示即将归约

控制流语句的翻译-例

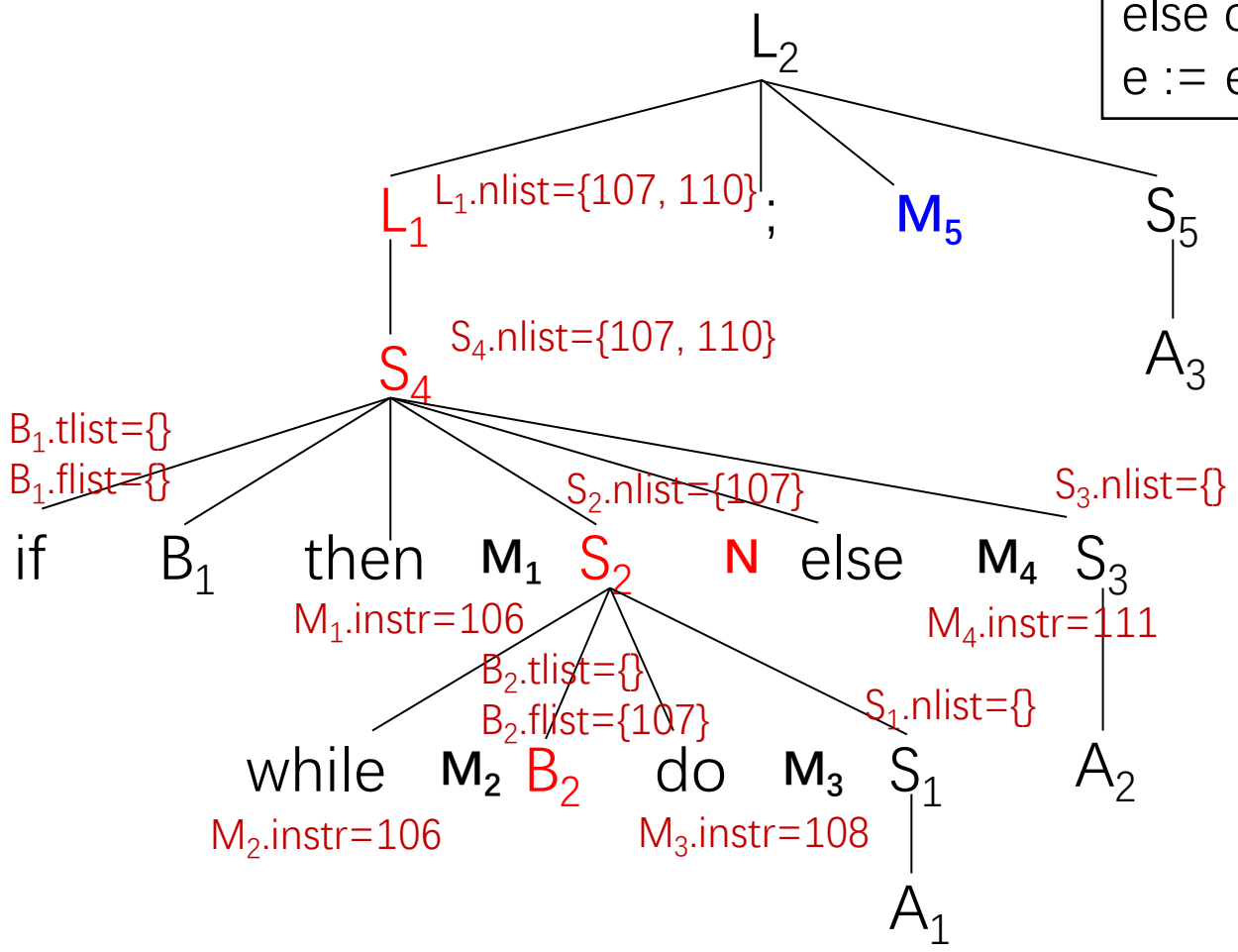
十二、归约L_1，将S_4.nextlist直接赋给L_1.nextlist

- L_1.nextlist: { 107, 110 }

控制流语句的翻译-例

- 分析树

```
if ( a<b or c<d and e<f ) then
    while ( a>c ) do c := c +1
else d := d + 1;
e := e + d;
```



蓝色表示即将翻译
红色表示需要回填

控制流语句的翻译-例

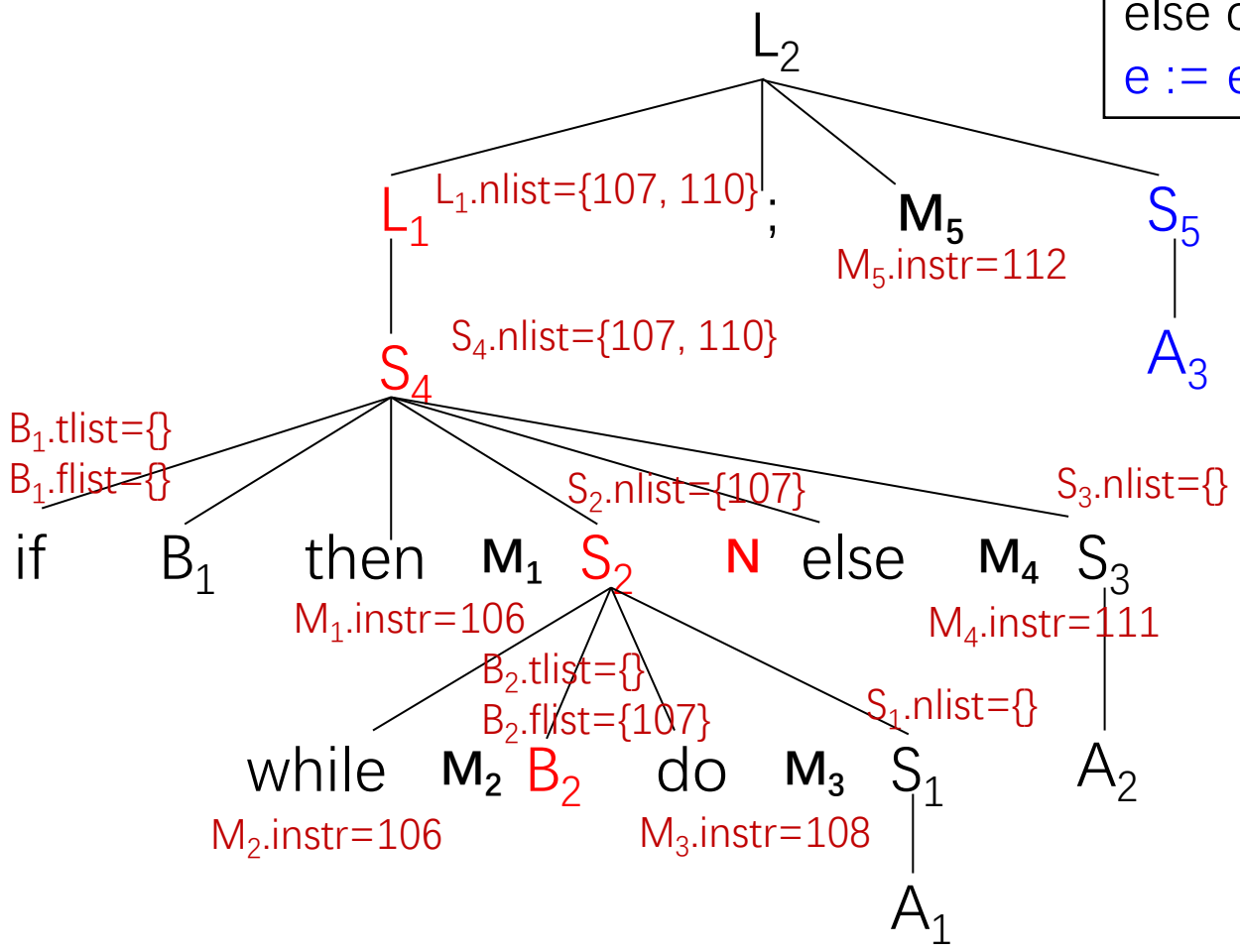
十三、翻译M_5： $M_5 \rightarrow \varepsilon$

记录下一个指令标号112，当L_1;S归约时，用112回填L_1的nextlist{107, 110}

控制流语句的翻译-例

- 分析树

```
if ( a<b or c<d and e<f ) then
    while ( a>c ) do c := c +1
else d := d + 1;
e := e + d;
```



蓝色表示即将翻译
红色表示需要回填

控制流语句的翻译-例

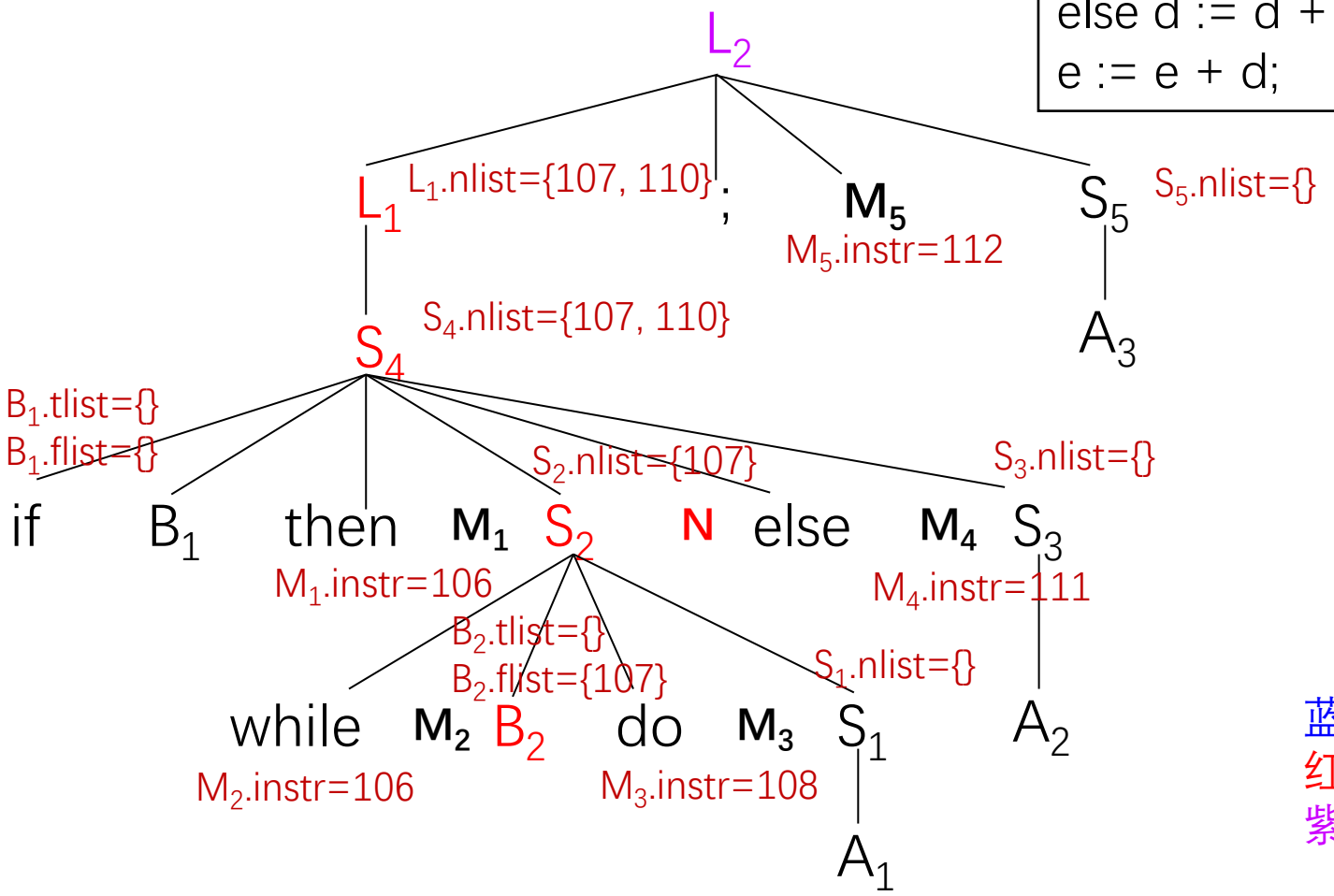
十四、翻译S_5

(112) e := e + d // $S_5 \rightarrow A_3$ S_5.nextlist={}

控制流语句的翻译-例

- 分析树

```
if ( a<b or c<d and e<f ) then
    while ( a>c ) do c := c +1
else d := d + 1;
e := e + d;
```



蓝色表示即将翻译
红色表示需要回填
紫色表示即将归约

控制流语句的翻译-例

十五、归约L_2

- 用M_5.instr即112回填L_1的nextlist{107，110}
- L_2.nextlist = S_5.nextlist，所以为空

控制流语句的翻译-例

(100) if a<b goto 106

(101) goto 102

(102) if c<d goto 104

(103) goto 111

(104) if e<f goto 106

(105) goto 111

(106) if a>c goto 108

(107) goto -

(108) c := c + 1

(109) goto 106

(110) goto -

(111) d := d + 1

(112) e := e + d

控制流语句的翻译-例-终

(100) if a<b goto 106

(101) goto 102

(102) if c<d goto 104

(103) goto 111

(104) if e<f goto 106

(105) goto 111

(106) if a>c goto 108

(107) goto 112

(108) c := c + 1

(109) goto 106

(110) goto 112

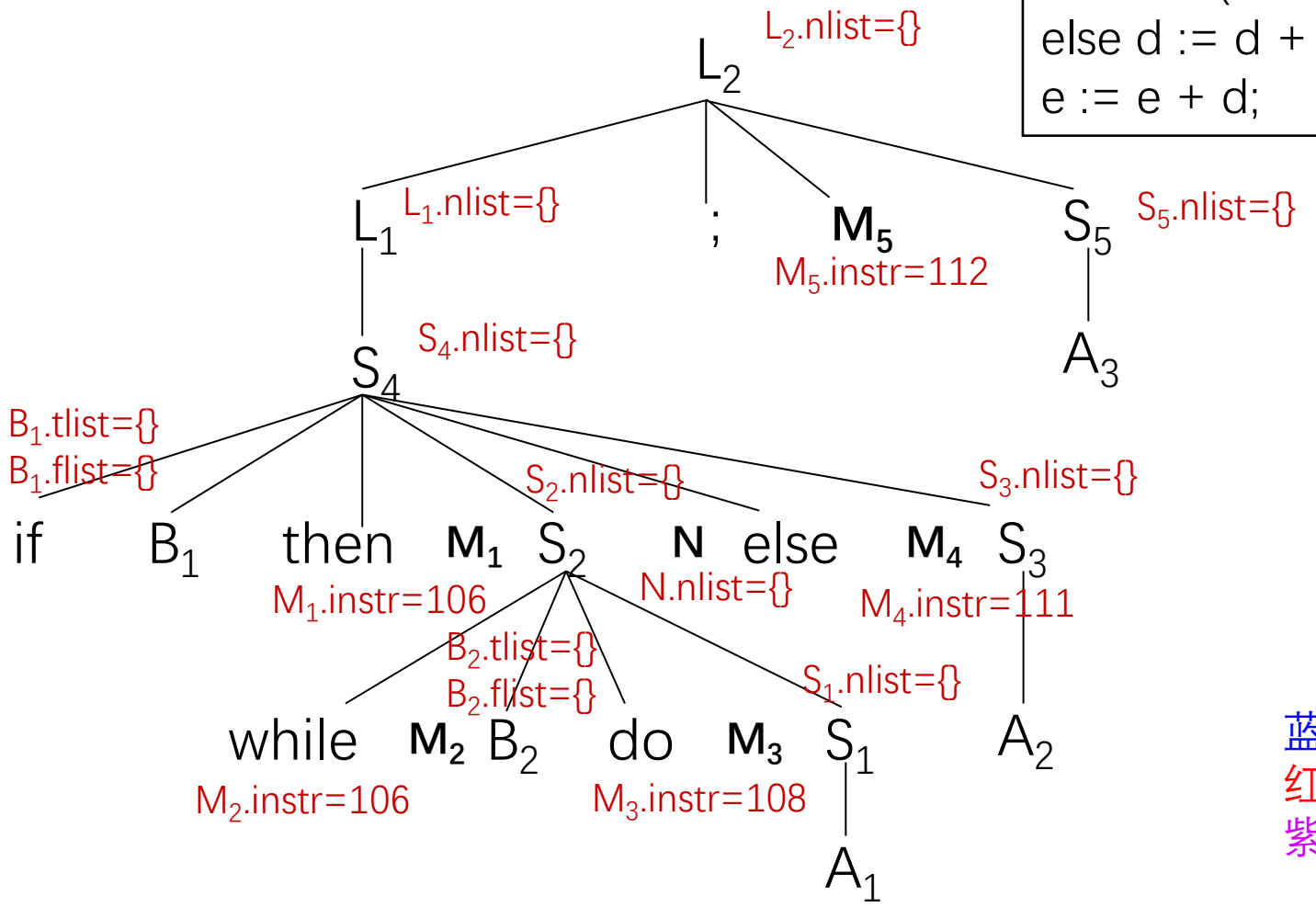
(111) d := d + 1

(112) e := e + d

控制流语句的翻译-例

- 分析树

```
if ( a<b or c<d and e<f ) then
    while ( a>c ) do c := c +1
else d := d + 1;
e := e + d;
```



蓝色表示即将翻译
红色表示需要回填
紫色表示即将归约

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

2023年10月30日