

【实验】算术表达式

一、词法分析

1. 定义词法规则

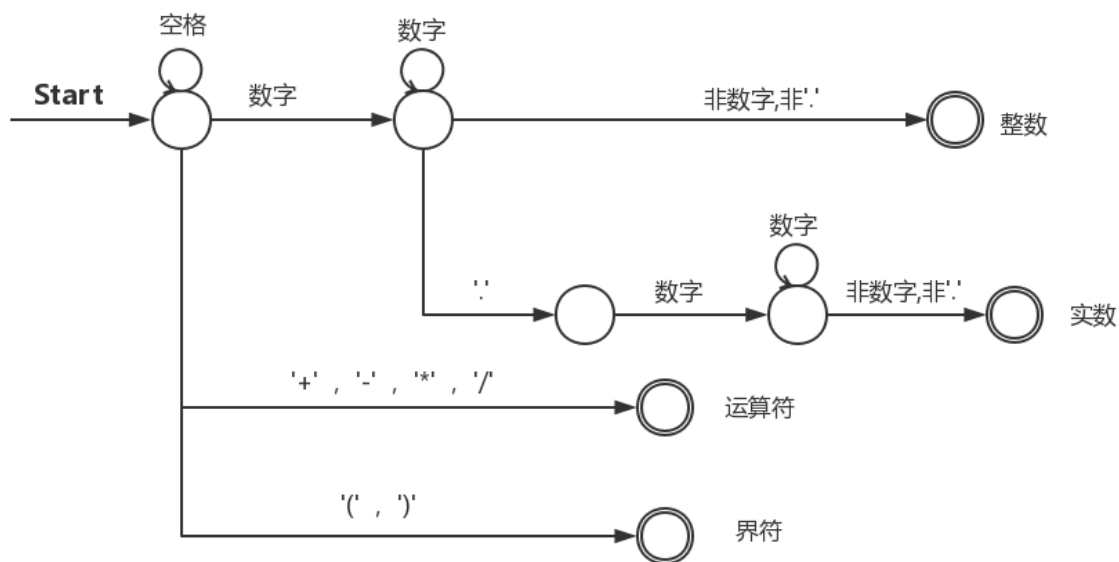
定义表达式语言词法规则，用EBNF/文法/正规式表示；

EBNF

1. $\langle \text{无符号整数} \rangle ::= \langle \text{数字} \rangle \{ \langle \text{数字} \rangle \}$
2. $\langle \text{无符号实数} \rangle ::= \langle \text{数字} \rangle \{ \langle \text{数字} \rangle \} ' . ' \langle \text{数字} \rangle \{ \langle \text{数字} \rangle \}$
3. $\langle \text{数字} \rangle ::= '0' \mid '1' \mid '2' \mid '3' \mid '4' \mid '5' \mid '6' \mid '7' \mid '8' \mid '9'$
4. $\langle \text{运算符} \rangle ::= '+' \mid '-' \mid '*' \mid '/'$
5. $\langle \text{界符} \rangle ::= '(' \mid ')'$

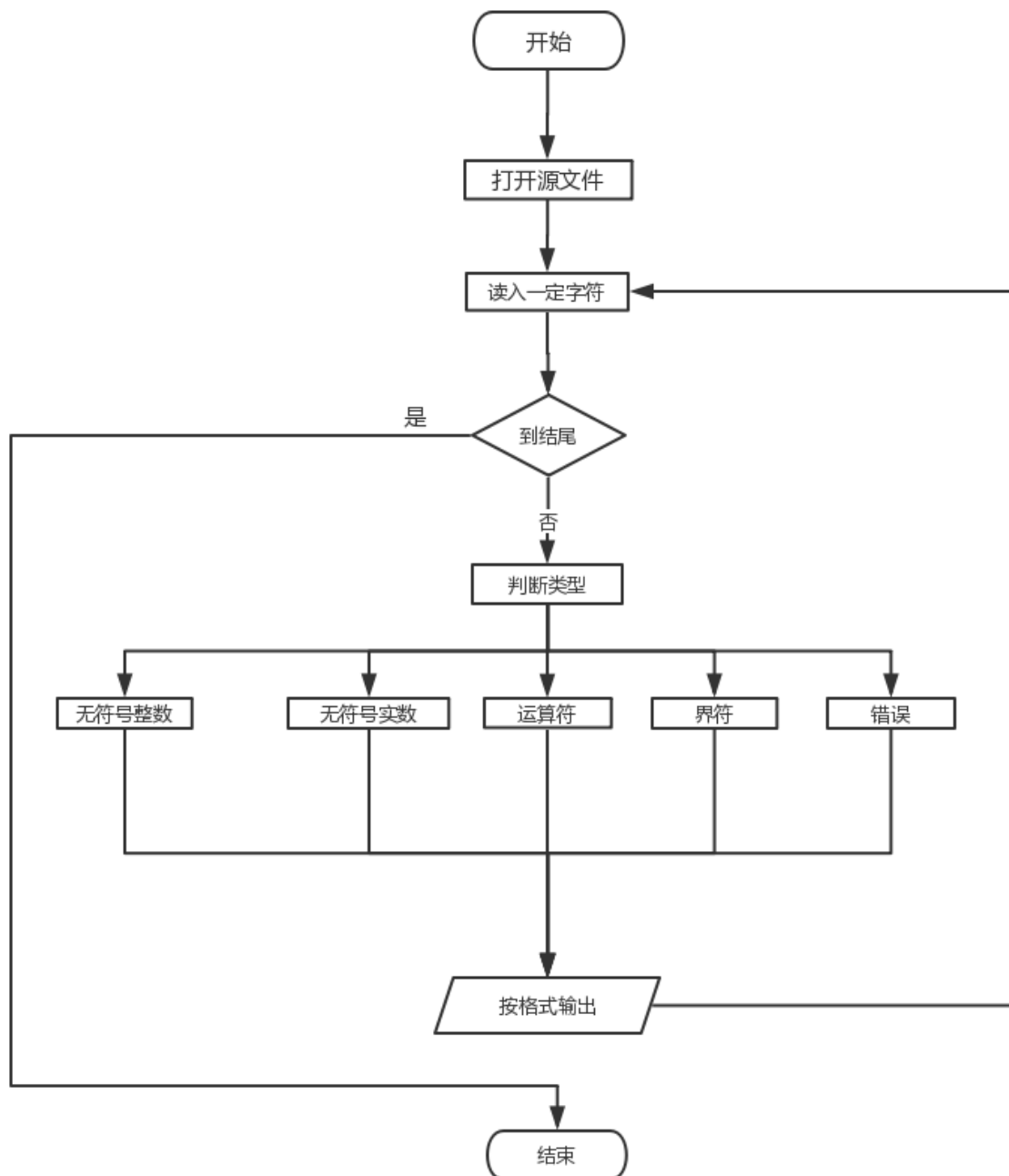
2. 状态转换图

为文法中各类单词符号作出状态转换图；



3. 扫描程序框图

根据状态转换图，得到各类单词的扫描程序框图；



4. 出错处理

考虑出错处理的出口；

词法错误类型

- 词法中未定义的字符及任何不符合词法单元定义的字符。
- 此例中不合法的单词，如字母等非法字符。

5. 设计并实现词法分析程序

词法分析表：

类型type	单词记号token	单词种别symbol	种别码
1 Constant 常数	<INTEGER_LITERAL>	INTEGER	0
	<REAL_LITERAL>	REAL	1
2 Operator 运算符	+	PLUS	2
	-	MINUS	3
	*	TIMES	4
	/	DIVIDE	5
3 Delimiter 界符	(LEFT_BRA	6
)	RIGHT_BRA	7

再加上出错类型：ERROR。

全局变量

- sym 传递单词种别
- num传递无符号整数或无符号实数单词自身的值，即其数值

6. 设计典型用例并测试

测试目标

能正确识别给定字符串中合法单词；能对不合法的字符报错。

测试用例

- 正确用例：
 - $2+3*6+2.5/7$
 - $-3+3*(4.2+5)+7/4$
 - $2.0+3$
 - $+++3$
- 错误用例：含有不合法的字符
 - 32!
 - 23.3.45
 - ae34
 - $3>2$
 - -fere}
 - 20..
 - 20.+

预期结果

词法分析结果打印格式：(种别码, Token)

- 正确用例：

- $2+3*6+2.5/7$:

```
1  (0, 2)
2  (2, +)
3  (0, 3)
4  (4, *)
5  (0, 6)
6  (2, +)
7  (1, 2.5)
8  (5, /)
9  (0, 7)
```

- $-3+3*(4.2+5)+7/4$:

```
1  (3, -)
2  (0, 3)
3  (2, +)
4  (0, 3)
5  (4, *)
6  (6, ())
7  (1, 4.2)
8  (2, +)
9  (0, 5)
10 (7, ))
11 (2, +)
12 (0, 7)
13 (5, /)
14 (0, 4)
```

- $2.0+3$

```
1  (1, 2.0)
2  (2, +)
3  (0, 3)
```

- $+++3$

```
1  (2, +)
2  (2, +)
3  (2, +)
4  (0, 3)
```

- 错误用例：含有不合法的字符

- $32!$

```
1  (0, 32)
2  含有不合法字符: '!'
```

- $23.3.45$

```
1 (1, 23.3)
2 含有不合法字符: '.'
3 (0, 45)
```

◦ ae34

```
1 含有不合法字符: 'a'
2 含有不合法字符: 'e'
3 (0, 34)
```

◦ 3>2

```
1 (0, 3)
2 含有不合法字符: '>'
3 (0, 2)
```

◦ -fere}

```
1 (3, -)
2 含有不合法字符: 'f'
3 含有不合法字符: 'e'
4 含有不合法字符: 'r'
5 含有不合法字符: 'e'
6 含有不合法字符: '}'
```

◦ 20..

```
1 (0, 20)
2 含有不合法字符: '.'
3 含有不合法字符: '.'
```

◦ 20.+

```
1 (0, 20)
2 含有不合法字符: '.'
3 (2, +)
```

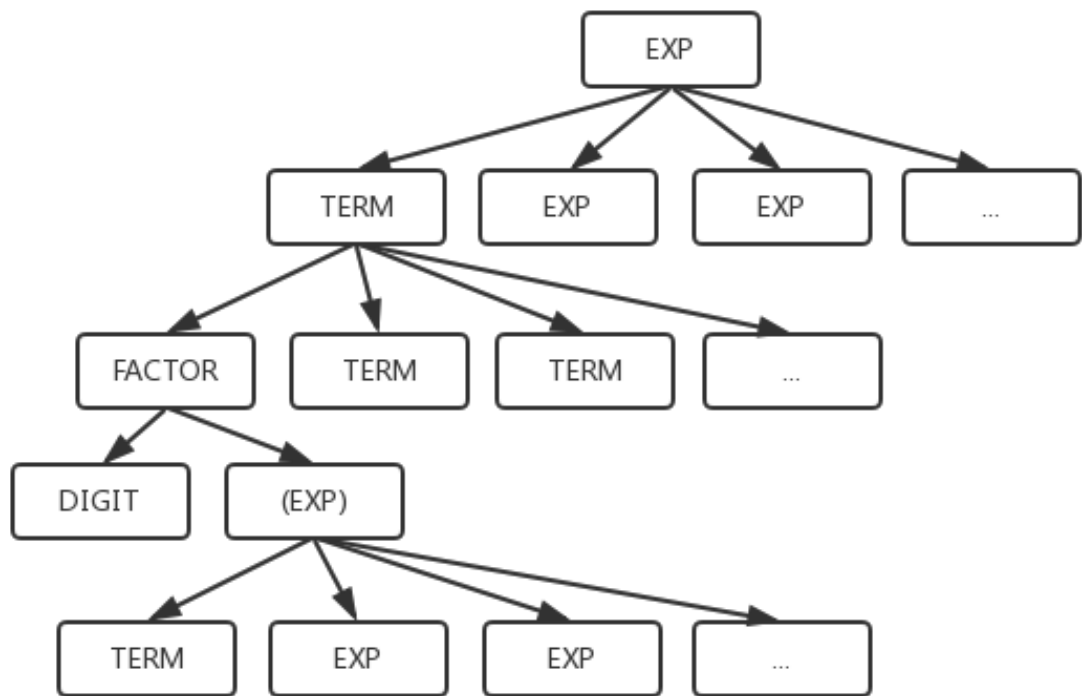
二、语法分析

使用自顶向下递归子程序的方法实现语法分析。

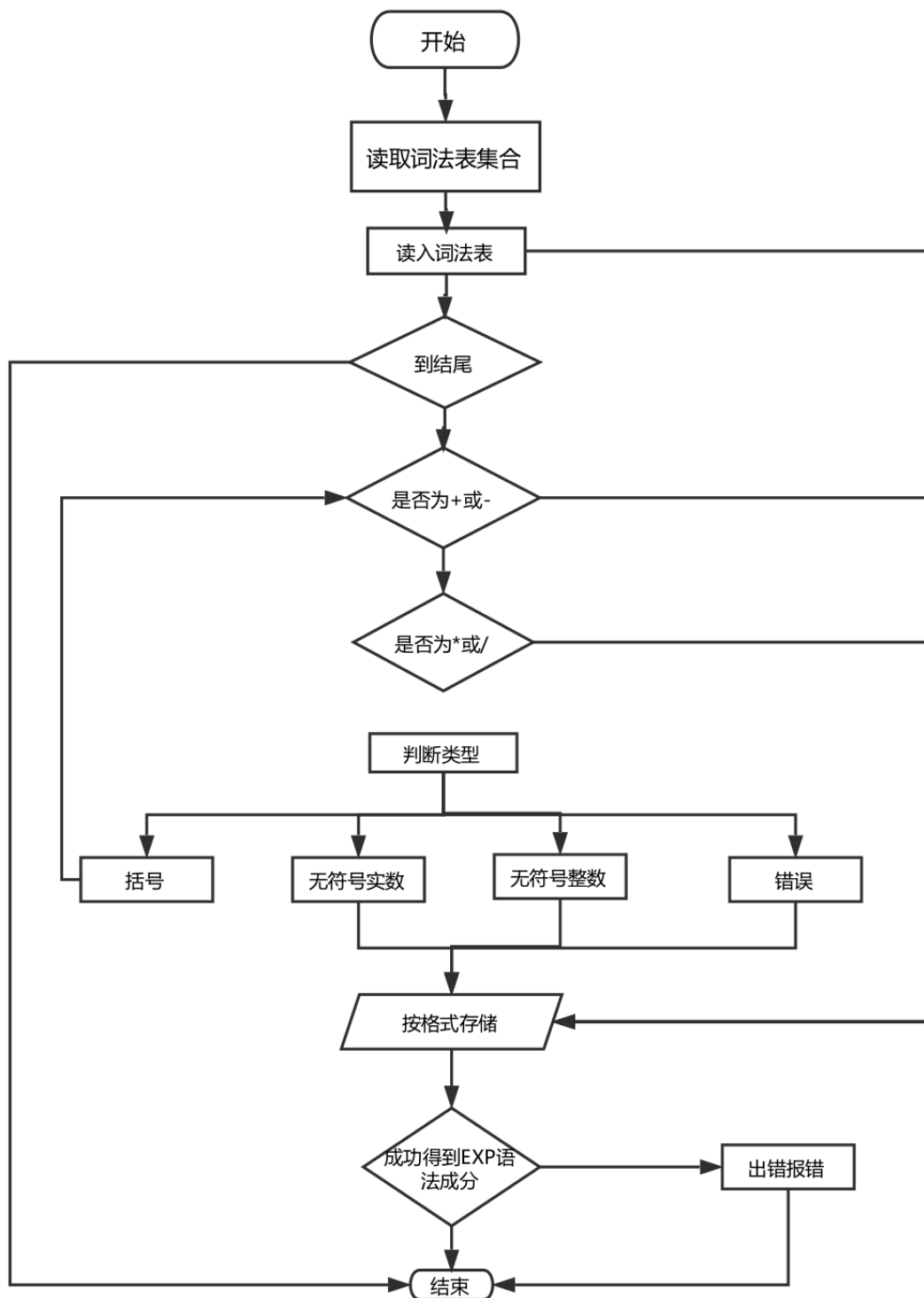
1. 定义语法规则

- $EXP \rightarrow TERM + EXP \mid TERM - EXP \mid TERM$
- $TERM \rightarrow FACTOR * TERM \mid factor/TERM \mid FACTOR$
- $FACTOR \rightarrow DIGIT \mid (EXP)$
- $DIGIT \rightarrow (0|1|2|3|4|5|6|7|8|9)$

2. 语法树



3. 扫描程序框图



4. 设计典型用例并测试

测试目标

能分析所有的token，并画出对应的语法树；对于不符合规则的语法错误进行报错。

测试用例及预期结果

正确用例

```

1      -2+3+41
2      2+42-3
3      +2+3-6
4      24+3*5
5      33-(12-3)+5
6      4/2+51
7      25*4-6/(3+4)-1
8      2/3
9      2+((3+2)*6+3)/2
10
11     ----语法分析----
12     第1行算数式分析结果：
13                                     ( 0 , Factor )
14                                   ( - , Exp )
15                                 ( 2 , Factor )
16                               ( + , Exp )
17                             ( 3 , Factor )
18                          ( + , Exp )
19                      ( 41 , Factor )
20
21     第2行算数式分析结果：
22                                   ( 2 , Factor )
23                              ( + , Exp )
24                            ( 42 , Factor )
25                         ( - , Exp )
26                     ( 3 , Factor )
27
28     第3行算数式分析结果：
29                                     ( 0 , Factor )
30                                   ( + , Exp )
31                                 ( 2 , Factor )
32                               ( + , Exp )
33                             ( 3 , Factor )
34                          ( - , Exp )
35                      ( 6 , Factor )
36
37     第4行算数式分析结果：
38                                   ( 24 , Factor )
39                              ( + , Exp )
40                            ( 3 , Factor )
41                         ( * , Term )
42                     ( 5 , Factor )
43
44     第5行算数式分析结果：
45                                   ( 33 , Factor )
46                              ( - , Exp )

```



```

47                                     ( 12 , Factor )
48                                     ( - , Exp )
49                                     ( 3 , Factor )
50 ( + , Exp )
51                                     ( 5 , Factor )
52
53 第6行算数式分析结果:
54                                     ( 4 , Factor )

```

2. 小数加减乘除:

```

1  2.0+1.0
2  2.3*(4.0-2.2)
3  3.2/1.6+5.2
4  3.3/2.1-2.0
5  6.1-(2.0+1.3)
6
7  ----语法分析----
8  第1行算数式分析结果:
9                                     ( 2.0 , Factor )
10 ( + , Exp )
11                                     ( 1.0 , Factor )
12
13 第2行算数式分析结果:
14                                     ( 2.3 , Factor )
15 ( * , Term )
16                                     ( 4.0 , Factor )
17                                     ( - , Exp )
18                                     ( 2.2 , Factor )
19
20 第3行算数式分析结果:
21                                     ( 3.2 , Factor )
22                                     ( / , Term )
23                                     ( 1.6 , Factor )
24 ( + , Exp )
25                                     ( 5.2 , Factor )
26
27 第4行算数式分析结果:
28                                     ( 3.3 , Factor )
29                                     ( / , Term )
30                                     ( 2.1 , Factor )
31 ( - , Exp )
32                                     ( 2.0 , Factor )
33
34 第5行算数式分析结果:
35                                     ( 6.1 , Factor )
36 ( - , Exp )
37                                     ( 2.0 , Factor )
38                                     ( + , Exp )
39                                     ( 1.3 , Factor )

```

3. 实数加减乘除:

```

1  2.0+1
2  3/2+2.4
3  0.5/2-2+5
4  2.3/1.2*5
5
6  ----语法分析----
7  第1行算数式分析结果:
8              ( 2.0 , Factor )
9  ( + , Exp )
10              ( 1 , Factor )
11
12  第2行算数式分析结果:
13              ( 3 , Factor )
14              ( / , Term )
15              ( 2 , Factor )
16  ( + , Exp )
17              ( 2.4 , Factor )
18
19  第3行算数式分析结果:
20              ( .5 , Factor )
21              ( / , Term )
22              ( 2 , Factor )
23              ( - , Exp )
24              ( 2 , Factor )
25  ( + , Exp )
26              ( 5 , Factor )
27
28  第4行算数式分析结果:
29              ( 2.3 , Factor )
30  ( / , Term )
31              ( 1.2 , Factor )
32              ( * , Term )
33              ( 5 , Factor )
34

```

错误用例

1. 除以0:

```

1  2/0
2  0/0
3  3.0/0
4  0.0/0
5  4/0.0
6  5.2/0.0
7  0/0.0
8
9  ----语法分析----
10  第1行算数式分析结果:
11  Syntax Error : position (3) "0"不可作为除数
12  第2行算数式分析结果:
13  Syntax Error : position (3) "0"不可作为除数

```

```

14 第3行算数式分析结果：
15 Syntax Error : position (3) "0"不可作为除数
16 第4行算数式分析结果：
17 Syntax Error : position (3) "0"不可作为除数
18 第5行算数式分析结果：
19 Syntax Error : position (3) "0"不可作为除数
20 第6行算数式分析结果：
21 Syntax Error : position (3) "0"不可作为除数
22 第7行算数式分析结果：
23 Syntax Error : position (3) "0"不可作为除数

```

2. 符号错误：

```

1  +
2  /
3  ++1
4  1++
5  1++2
6  3--54
7  6**2
8  2*
9  /3
10 4..2+1
11 23.3.4+1
12
13 ----语法分析----
14 第1行算数式分析结果：
15 Syntax Error : position (1) 运算符后无运算数
16 第2行算数式分析结果：
17 Syntax error: 运算符前无被运算数
18 第3行算数式分析结果：
19 Syntax Error : position (2) 符号重叠
20 第4行算数式分析结果：
21 Syntax Error : position (3) 运算符后无运算数
22 第5行算数式分析结果：
23 Syntax Error : position (3) 符号重叠
24 第6行算数式分析结果：
25 Syntax Error : position (3) 符号重叠
26 第7行算数式分析结果：
27 Syntax Error : position (3) 符号重叠
28 第8行算数式分析结果：
29 Syntax Error : position (2) 运算符后无运算数
30 第9行算数式分析结果：
31 Syntax error: 运算符前无被运算数
32 第10行算数式分析结果：
33 Lexical Error!
34 第11行算数式分析结果：
35 Lexical Error!

```

3. 未知的字符：

```

1  2\1

```

```

2  3#67
3  32!
4  3>2
5  -fere}
6
7  ----语法分析----
8  第1行算数式分析结果:
9  Lexical Error!
10 第2行算数式分析结果:
11 Lexical Error!
12 第3行算数式分析结果:
13 Lexical Error!
14 第4行算数式分析结果:
15 Lexical Error!
16 第5行算数式分析结果:
17 Lexical Error!

```

4. 括号不匹配:

```

1  2+3-(4-7+6+5
2  1+2)*4
3  2+((3+2)*6+3/2
4  2+(3+2)*6+3)/2
5
6  ----语法分析----
7  第1行算数式分析结果:
8  Syntax Error : position (12) 右括号缺失
9                                     ( 2 , Factor )
10                                ( + , Exp )
11                                ( 3 , Factor )
12  ( - , Exp )
13                                     (
14                                4 , Factor )
15                                     ( - , Exp )
16                                     (
17                                7 , Factor )
18                                ( + , Exp )
19                                ( 6 , Factor )
20                                ( + , Exp )
21                                ( 5 , Factor )
22
23 第2行算数式分析结果:
24 Syntax Error : position (4) 右括号冗余
25                                ( 1 , Factor )
26  ( + , Exp )
27                                ( 2 , Factor )
28                                ( * , Term )
29                                ( 4 , Factor )
30
31 第3行算数式分析结果:
32 Syntax Error : position (14) 右括号缺失
33                                ( 2 , Factor )

```

```

32  ( + , Exp )
33                                     (
34      3 , Factor )
35                                     ( + , Exp )
36                                     (
37      2 , Factor )
38                                     ( * , Term )
39                                     ( 6 , Factor )
40                                     ( + , Exp )
41                                     ( 3 , Factor )
42                                     ( / , Term )
43                                     ( 2 , Factor )
44
45 第4行算数式分析结果:
46 Syntax Error : position (12) 右括号冗余
47                                     ( 2 , Factor )
48                                     ( + , Exp )
49                                     (
50      3 , Factor )
51                                     ( + , Exp )
52                                     (
53      2 , Factor )
54                                     ( * , Term )
55                                     ( 6 , Factor )
56                                     ( + , Exp )
57                                     ( 3 , Factor )
58                                     ( / , Term )
59                                     ( 2 , Factor )

```

5. 错误使用代码

```

1  (
2  )+2
3  7/(
4  )-4
5  (-)
6  (-9)0
7  (-9)-
8  2(-9)
9  2-(-9)
10 2+3-(4-)7+6+5
11 (5/6)/
12 2(9)
13
14 ----语法分析----
15 第1行算数式分析结果:
16 Syntax Error : position (1) 算数式中仅有左括号
17 第2行算数式分析结果:
18 Syntax Error : position (1) 右括号位置错误
19      ( 0 , Factor )
20  ( + , Exp )
21      ( 2 , Factor )

```

```

22
23 第3行算数式分析结果:
24 Syntax Error: position (3) 括号不可单独作为运算数.
25 第4行算数式分析结果:
26 Syntax Error: position (2) 括号内为空!
27           ( 0 , Factor )
28 ( - , Exp )
29           ( 4 , Factor )
30
31 第5行算数式分析结果:
32 Syntax Error : position (2) 运算符前无被运算数
33 第6行算数式分析结果:
34 Syntax Error : position (4) 右括号后不可直接运算
35 第7行算数式分析结果:
36 Syntax Error : position (5) 运算符后无运算数
37 第8行算数式分析结果:
38 Syntax Error : position (2) 左括号位置错误
39 Syntax Error : position (5) 右括号冗余
40           ( 2 , Factor )
41 ( - , Exp )
42           ( 9 , Factor )
43
44 第9行算数式分析结果:
45 Syntax Error : position (5) 符号重叠
46 第10行算数式分析结果:
47 Syntax Error: position (8) 运算符后不可直接使用右括号.
48 Syntax Error : position (13) 右括号缺失
49           ( 2 , Factor )
50           ( + , Exp )
51           ( 3 , Factor )
52 ( - , Exp )
53                                     (
54 4 , Factor )
55                                     ( - , Exp )
56                                     (
57 7 , Factor )
58                                     ( + , Exp )
59                                     ( 6 , Factor )
60                                     ( + , Exp )
61                                     ( 5 , Factor )
62
63 第11行算数式分析结果:
64 Syntax Error : position (6) 运算符后无运算数
65 第12行算数式分析结果:
66 Syntax Error : position (2) 左括号前后都为数字不可进行运算

```

三、语义分析

算术表达式的语义分析就是算出算术表达式的结果。

设计典型用例并测试

测试目标

由输入的语法树得到最后算术表达式的结果，并得到后缀表达式；对于不符合规则的错误进行报错。

测试用例及预期结果

语法分析结果打印格式：打印两行分别是后缀表达式和计算结果。

正确用例

1. 整数加减乘除：

```
1      -2+3+41
2      2+42-3
3      +2+3-6
4      24+3*5
5      33-(12-3)+5
6      4/2+51
7      25*4-6/(3+4)-1
8      2/3
9      2+((3+2)*6+3)/2
10
11     -----结果-----
12     第1行算数式分析结果：
13     后缀表达式是：0 2 - 3 + 41 +
14     计算结果 ： 42
15     第2行算数式分析结果：
16     后缀表达式是：2 42 + 3 -
17     计算结果 ： 41
18     第3行算数式分析结果：
19     后缀表达式是：0 2 + 3 + 6 -
20     计算结果 ： -1
21     第4行算数式分析结果：
22     后缀表达式是：24 3 5 * +
23     计算结果 ： 39
24     第5行算数式分析结果：
25     后缀表达式是：33 12 3 - - 5 +
26     计算结果 ： 29
27     第6行算数式分析结果：
28     后缀表达式是：4 2 / 51 +
29     计算结果 ： 53
30     第7行算数式分析结果：
31     后缀表达式是：25 4 * 6 3 4 + / - 1 -
32     计算结果 ： 98.14286
33     第8行算数式分析结果：
34     后缀表达式是：2 3 /
35     计算结果 ： 0.6666667
36     第9行算数式分析结果：
37     后缀表达式是：2 3 2 + 6 * 3 + 2 / +
38     计算结果 ： 18.5
```

2. 小数加减乘除：

```
1    2.0+1.0
2    2.3*(4.0-2.2)
3    3.2/1.6+5.2
4    3.3/2.1-2.0
5    6.1-(2.0+1.3)
6
7    -----结果-----
8    第1行算数式分析结果：
9    后缀表达式是： 2.0 1.0 +
10   计算结果   ： 3
11   第2行算数式分析结果：
12   后缀表达式是： 2.3 4.0 2.2 - *
13   计算结果   ： 4.14
14   第3行算数式分析结果：
15   后缀表达式是： 3.2 1.6 / 5.2 +
16   计算结果   ： 7.2
17   第4行算数式分析结果：
18   后缀表达式是： 3.3 2.1 / 2.0 -
19   计算结果   ： -0.42857134
20   第5行算数式分析结果：
21   后缀表达式是： 6.1 2.0 1.3 + -
22   计算结果   ： 2.8
```

3. 实数加减乘除：

```
1    2.0+1
2    3/2+2.4
3    0.5/2-2+5
4    2.3/1.2*5
5
6    -----结果-----
7    第1行算数式分析结果：
8    后缀表达式是： 2.0 1 +
9    计算结果   ： 3
10   第2行算数式分析结果：
11   后缀表达式是： 3 2 / 2.4 +
12   计算结果   ： 3.9
13   第3行算数式分析结果：
14   后缀表达式是： .5 2 / 2 - 5 +
15   计算结果   ： 3.25
16   第4行算数式分析结果：
17   后缀表达式是： 2.3 1.2 5 * /
18   计算结果   ： 0.38333333
```

错误用例

1. 除以0：

```
1    2/0
2    0/0
3    3.0/0
```



```
4  0.0/0
5  4/0.0
6  5.2/0.0
7  0/0.0
8
9  -----结果-----
10 第1行算数式分析结果:
11 Syntax error
12 第2行算数式分析结果:
13 Syntax error
14 第3行算数式分析结果:
15 Syntax error
16 第4行算数式分析结果:
17 Syntax error
18 第5行算数式分析结果:
19 Syntax error
20 第6行算数式分析结果:
21 Syntax error
22 第7行算数式分析结果:
23 Syntax error
```

2. 符号错误:

```
1  +
2  /
3  ++1
4  1++
5  1++2
6  3--54
7  6**2
8  2*
9  /3
10 4..2+1
11 23.3.4+1
12
13 -----结果-----
14 第1行算数式分析结果:
15 Syntax error
16 第2行算数式分析结果:
17 Syntax error
18 第3行算数式分析结果:
19 Syntax error
20 第4行算数式分析结果:
21 Syntax error
22 第5行算数式分析结果:
23 Syntax error
24 第6行算数式分析结果:
25 Syntax error
26 第7行算数式分析结果:
27 Syntax error
28 第8行算数式分析结果:
29 Syntax error
```

```

30  第9行算数式分析结果：
31  Syntax error
32  第10行算数式分析结果：
33  Syntax Error!
34  第11行算数式分析结果：
35  Syntax Error!

```

3. 未知的字符：

```

1    2\1
2    3#67
3    32!
4    3>2
5    -fere}
6
7    -----结果-----
8    第1行算数式分析结果：
9    Syntax Error!
10   第2行算数式分析结果：
11   Syntax Error!
12   第3行算数式分析结果：
13   Syntax Error!
14   第4行算数式分析结果：
15   Syntax Error!
16   第5行算数式分析结果：
17   Syntax Error!

```

4. 括号不匹配：

```

1    2+3-(4-7+6+5
2    1+2)*4
3    2+((3+2)*6+3/2
4    2+(3+2)*6+3)/2
5
6    -----结果-----
7    第1行算数式分析结果：
8    后缀表达式是：2 3 + 4 7 - 6 + 5 + -
9    计算结果 ： -3
10   第2行算数式分析结果：
11   后缀表达式是：1 2 4 * +
12   计算结果 ： 9
13   第3行算数式分析结果：
14   后缀表达式是：2 3 2 + 6 * 3 2 / + +
15   计算结果 ： 33.5
16   第4行算数式分析结果：
17   后缀表达式是：2 3 2 + 6 * + 3 2 / +
18   计算结果 ： 33.5

```

5. 错误使用括号

```

1    (
2    )+2
3    7/(

```

```
4      ()-4
5      (-)
6      (-9)0
7      (-9)-
8      2(-9)
9      2-(-9)
10     2+3-(4-)7+6+5
11     (5/6)/
12     2(9)
13
14     -----结果-----
15     第1行算数式分析结果:
16     Syntax error
17     第2行算数式分析结果:
18     后缀表达式是: 0 2 +
19     计算结果 : 2
20     第3行算数式分析结果:
21     Syntax error
22     第4行算数式分析结果:
23     后缀表达式是: 0 4 -
24     计算结果 : -4
25     第5行算数式分析结果:
26     Syntax error
27     第6行算数式分析结果:
28     Syntax error
29     第7行算数式分析结果:
30     Syntax error
31     第8行算数式分析结果:
32     后缀表达式是: 2 9 -
33     计算结果 : -7
34     第9行算数式分析结果:
35     Syntax error
36     第10行算数式分析结果:
37     后缀表达式是: 2 3 + 4 7 - 6 + 5 + -
38     计算结果 : -3
39     第11行算数式分析结果:
40     Syntax error
41     第12行算数式分析结果:
42     Syntax error
```