天津大學

编译原理与技术大作业报告

学　院 智能与计算学部

专　业 计算机科学与技术

姓　名 周翔 卢锐 向旭 吕鹏程

学　号 周翔 3019244136

卢锐 3020244006

向旭 3020244005

吕鹏程 3020244179

目录

一.整体概述

1.1 整体流程

该编译器的 demo 的整体流程如下所示

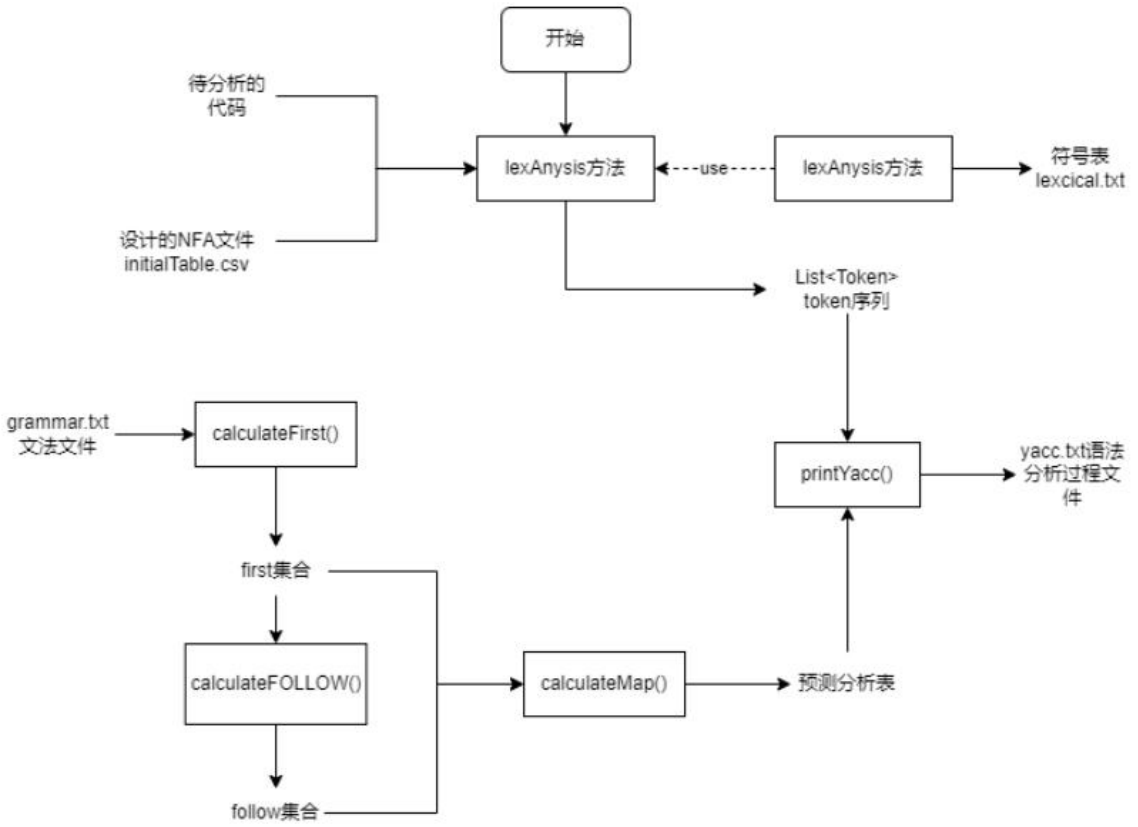


图 1 编译器的 demo 的整体流程

1.2 目录树介绍

项目的目录树如下

```
├─.idea
│  ├─artifacts
│  ├─inspectionProfiles
│  └─libraries
├─log
├─src
│  ├─main
│  │  ├─java
│  │  └─resources
```

```
|   └─test
|       ├─java
|       └─resources
└─target
```

各文件夹的作用如下所示

- .idea: 使用 idea 的配置文件目录，在本地登录时请删除
- log: 记录错误日志的目录
- src: 源代码和程序所用资源所在的目录
  - main/java: 主体程序源码
  - main/resources: 程序主体所用的资源文件
  - test/java: 测试程序源码
  - test/resources: 测试程序所用的资源文件
- target: 编译后生成文件所在目录

1.3 源码结构介绍

主体程序源码结构如下

```
src
├─lex
|   ├─entity
|   ├─implement
|   └─itf
├─log
├─test
├─utils
└─yacc
    ├─entity
    ├─implement
    └─itf
```

- lex: 词法分析器部分
  - entity：实体类
  - implement: 接口的实现类
  - itf: 对外开放的接口

- log: 日志记录部分
- test: 最终生成的函数入口部分
- utils: 编码时用到的工具
- yacc: 语法分析部分
  - entity：实体类
  - implement: 接口的实现类
  - itf: 对外开放的接口

二.词法分析器简介

2.1 词法分析器工作流程

词法分析器工作的主要流程由下图所示

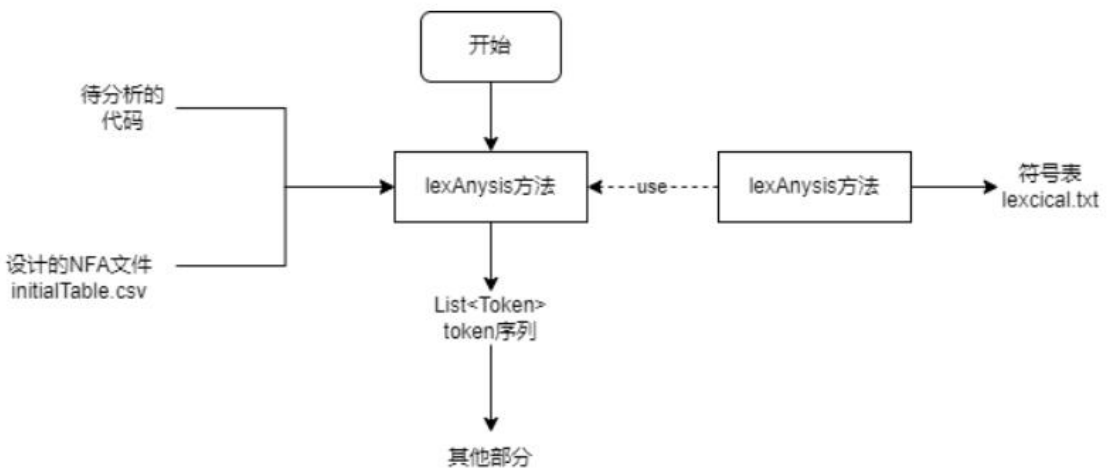


图 2-1 词法分析器工作的主要流程图

2.2 设计的 NFA

NFA 的设计图如下所示

注意：
1.遇到图中未标示的字符，表中会显示返回0，意为图中没有这样的状态转移
2.符号$标识空，即没有字符串输入

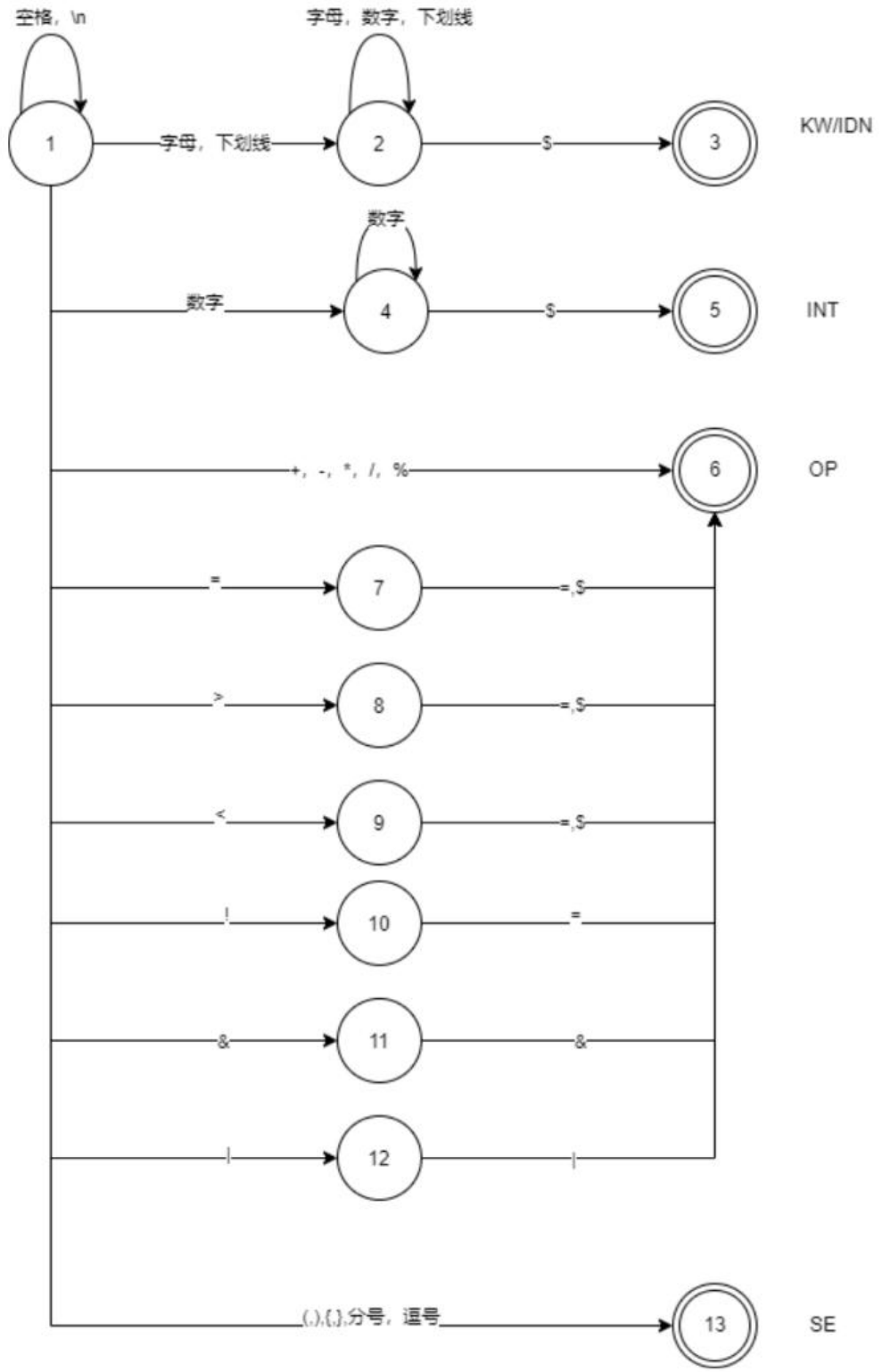


图 2-2 NFA 的设计图

由此设计出的 initialTable 如下图所示

stateId	start	endSymbol	letter	digit	_	+	-	*	/	%	=	$	>	<	!	&	|	(	)	{	}	dot	;		\n	others
1	TRUE	NOT_END	2	4	2	6	6	6	6	6	7	0	8	9	10	11	12	13	13	13	13	13	13	1	1	0
2	FALSE	NOT_END	2	2	2	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	FALSE	KW/IDN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	FALSE	NOT_END	0	4	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	FALSE	INT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	FALSE	OP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	FALSE	NOT_END	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	FALSE	NOT_END	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	FALSE	NOT_END	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	FALSE	NOT_END	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	FALSE	NOT_END	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	FALSE	NOT_END	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	FALSE	SE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2.3 词法分析器类简介

词法分析器主要类如下

```
lex
├─entity
│      DFA.java
│      NFA.java
│      State.java
│      StateList.java
│      Token.java
│
├─implement
│      LexImpl.java
│
└─itf
     Lex.java
```

2.3.1 lex.entity.DFA:

是 dfa 实体，用来描述一个 DFA

重要字段:

```
FA //所有状态的集合
   private List<State> allStates;
   //字母表
   private String[] alpha;
   // 状态转化表，因为是 DFA，所以一个输入字符只会对应一个输出,List 的序号对应`状态序号 - 1`
   private List<Map<String, Integer>> functionList;
   //唯一初态
   private State startState;
   //终止状态集合
   private List<State> endStates;
重要方法:
   /**
    * @param :
    * @return DFA 最小化后的 DFA
    * @author ZhouXiang
    * @description 将所给的 DFA 最小化
    * @exception
    */
   public DFA minimizeDFA()
```

2.3.2 lex.entity.NFA:

NFA 实体类,用来描述一个 NFA

重要字段:

```
//所有状态的集合
```

```
    private List<State> allStates;
    //字母表
    private String[] alpha;
    //状态转化表，因为是 NFA，所以一个输入字符可能对应多个输出
    private List<Map<String, Integer[]>> functionList;
    //初始状态集合
    private List<State> startStates;
    //终止状态集合
    private List<State> endStates;
```

重要方法:

```
    /**
     * @param :fileName 初始设计的 NFA 表文件所在路径
     * @return NFA
     * @author ZhouXiang
     * @description 获取初始的 NFA，从文件中获取 nfa
     * @exception 文件 IO 异常
     */
    public static NFA generateNFA(String fileName) throws IOException;
```

2.3.3 lex.entity.State

状态的实体类，用来描述状态 NFA 和 DFA 中状态的变化

重要字段:

```
//状态 id
        private int stateId;
        //是否为起始状态
    private boolean start;
        //若为结束状态，则为其对应的标识的数组，否则为空数组
    private String[] endSymbol;
```

```
        //状态转换表
    private Map<String, Integer[]> moveMap;
```

2.3.4 lex.entity.StateList

状态集合的实体类，是 nfa 确定化和 dfa 最小化的算法中间产生的实体类

重要字段

```
//集合中包含的状态
        private List<State> states;
        //状态集合编号 0
    private int stateListId;
    //标识有没有起始状态
    private boolean start;
    //若为结束状态，则为其对应的标识的数组，否则为 null
    private String[] endSymbol;
        //key 为转移符号，value 为转移到的状态集合编号
    //注意，这里的状态转移与 a 弧转换不同，只是简单的将所有状态的状态转移加和，没有算加和的空弧转换
    private Map<String, Integer[]> moveMap;
```

2.3.5 lex.entity.Token

输出 Token 序列中的 Token 实体类

重要字段

```
 //符号种别
```

```
private String type;
//符号对应的字符串内容
private String content;
    //符号在进行语法分析时的存在形式
private String dealing;
```

2.3.6 lex.implement.LexImpl

是 lex.itf.Lex 的实现类，实现了 lex.itf.Lex 声明的抽象方法

2.3.7 lex.itf.Lex

是词法分析器对外声明的接口，声明了词法分析器要实现的两个方法

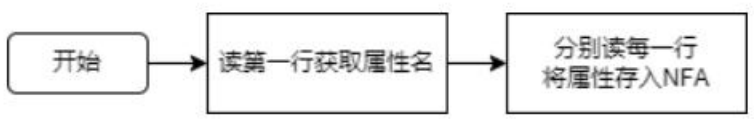
```
/**
 * @param input: 输入的字符串
 * @return List<Token> 识别出的符号表
 * @author ZhouXiang
 * @description 将输入的字符串经过词法分析转为对应的 token 序列，输出 Token 序列
 */
public List<Token> lexAnalysis(String input) throws IOException;


/**
 * @param inputFile: 输入文件名
 * @param outputFile: 输出文件名
 * @return boolean: 是否输出成功
 * @author ZhouXiang
 * @description 对输入文件的语句进行词法分析，结果输出到输出文件中
```

```
   */
   public boolean lexAnalysisToFile(String inputFile,String outputFile) throws
IOException;
```

2.4 词法分析器主要算法

2.4.1 NFA 的获取

从 initialTable.csv 文件中获取 NFA 主要步骤如下



具体实现代码在 lex.entity.NFA.generateNFA(String fileName)

```
 public static NFA generateNFA(String fileName) throws IOException {
      List<State> stateList = new ArrayList<>();


      InputStream in = ClassLoader.getSystemResourceAsStream(fileName);
      Scanner scanner = new Scanner(in);


      String[] attribute = null; //存所有状态转移表的所有属性，即 initialStateTable 的
第一行
      if(scanner.hasNextLine()){
         attribute = scanner.nextLine().split(",");
      }


      while (scanner.hasNextLine()){
         String[] line = scanner.nextLine().split(",");
```

```
int stateId = -1;
boolean start = false;
String[] endSymbol = new String[0];
//从表中读除了状态转移以外的数据
for (int i = 0; i < line.length; i++){
   switch (attribute[i]){
      case "stateId":
         stateId = Integer.parseInt(line[i]);
         break;
      case "start":
         if(line[i].equals("TRUE")){
            start = true;
         }
         break;
      case "endSymbol":
         endSymbol = line[i].split("/");
         break;
      default:
   }
}

//取出状态转移的部分
int attributeNum = 3; //State 类中除状态转移 Map 外的属性数
Integer[][] move = new Integer[line.length - attributeNum][];
for(int i = 0; i < move.length; i++){
   String[] moveString = line[i + attributeNum].split("/");
   Integer[] moveInteger = new Integer[moveString.length];
   for(int j = 0; j < moveInteger.length; j++){
      moveInteger[j] = Integer.parseInt(moveString[j]);
   }
```

```
            move[i] = moveInteger;
        }
        Map<String, Integer[]> moveMap = new HashMap<>();
        for(int i = 0; i < move.length; i++){
            moveMap.put(attribute[i + attributeNum], move[i]);
        }

        State state = new State(stateId, start, endSymbol, moveMap);

        stateList.add(state);
    }

    return NFA.getNFAInstance(stateList);
}
```

2.4.2 NFA 的确定化

NFA 确定化步骤：

1. 求 nfa 初始状态的闭包，将其放到转换结果 `List<StateList> result` 中去
2. 对于 result 中的每一个 StateList，求其 a 弧转换，加入到 result 中去
3. 重复 2，直到不再有新的 StateList 加入 result
4. 将 result 转为对应的 DFA

具体代码实现在 lex.entity.NFA.determineNFA()

```
public DFA determineNFA(){
    List<StateList> dfa1 = new ArrayList<>();
```

```
        StateList beginList = new StateList(startStates).moveWithBlank(this);
        dfa1.add(beginList);
        dfs(beginList, dfa1);

        //将 StateList 转为 State
        List<State> dfa = new ArrayList<>();
        int cnt = 1;
        for(StateList stateList: dfa1){
            stateList.setStateListId(cnt);
            cnt++;
        }

        for (StateList stateList: dfa1){
            dfa.add(stateList.turn2State(dfa1, this));
        }

        return DFA.getDFAInstance(dfa);
    }

    //搜索整个 nfa
    private void dfs(StateList stateList, List<StateList> result){
        List<StateList> tempStateList = new ArrayList<>(); //暂存一行中状态转移的
StateList

        //求该 stateList 的所有 a 弧转换
        for(String input: alpha){
            //排除空弧转换的情况
            if(input.equals("$")){
                continue;
            }
```

```
        //当 a 弧转换找到的结果是什么都没有时，不要加入
        StateList temp = stateList.moveWithInput(input, this);
        if(!temp.getStates().isEmpty()){
            tempStateList.add(temp);
        }

    }

    //判断每一个 StateList 是否已经在收集的![](../../../../../../文档/初始状态转换图.png)结果里了
    for(StateList list: tempStateList){
        boolean isRepeat = false;
        for(StateList stateList1: result){
            if(stateList1.equals(list)){
                isRepeat = true;
                break;
            }
        }

        if(!isRepeat){
            result.add(list);
            dfs(list, result);
        }
    }
}
```

在本项目中，NFA 确定化后的状态转换图为

注意：
1.遇到图中未标示的字符，表中会显示返回0，意为图中没有这样的状态转移

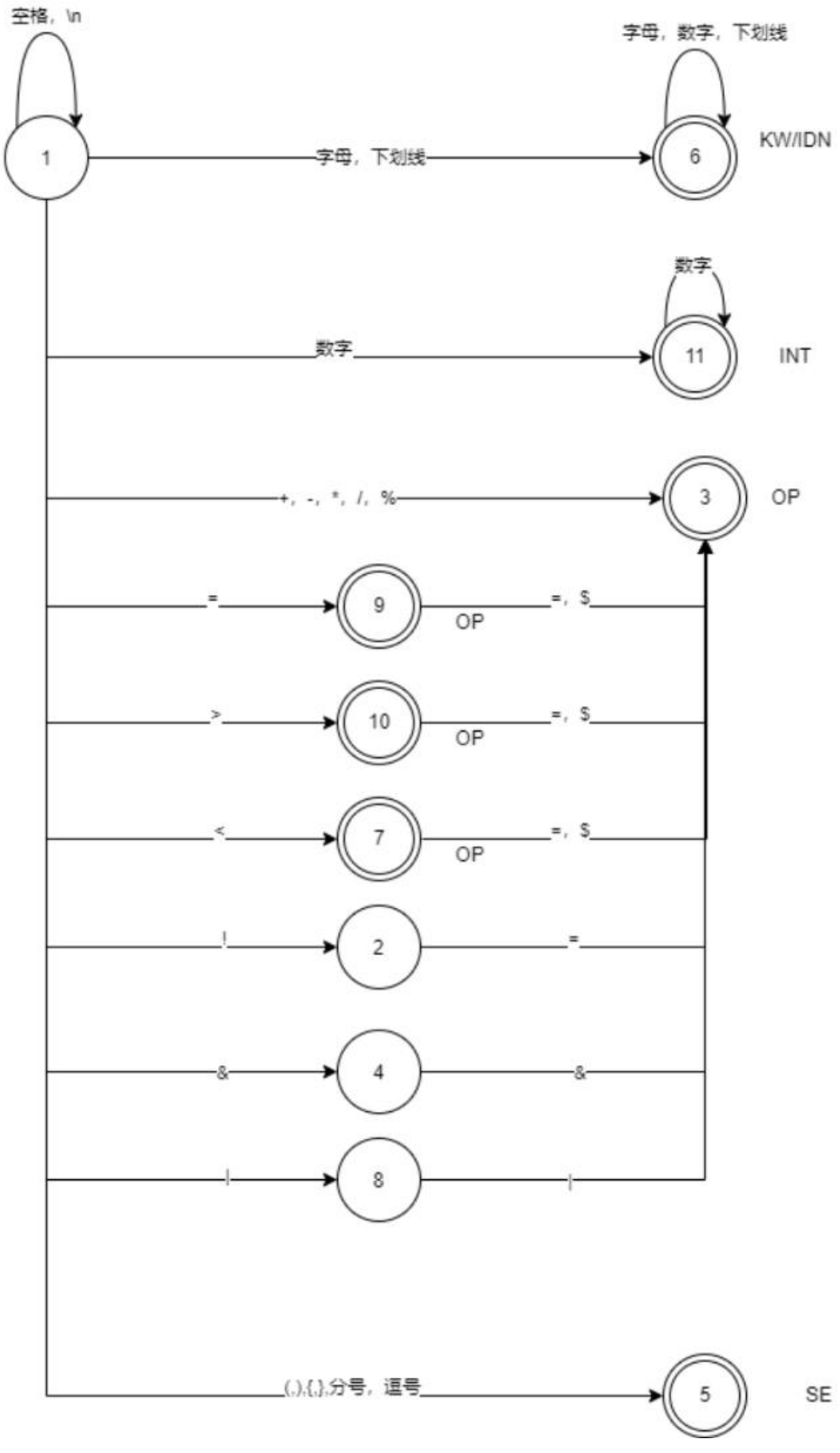


图 2-3 NFA 确定化后的状态转换图

2.4.3 NFA 的最小化

NFA 最小化步骤：

1. 对 NFA 中的所有状态，根据 endSymbol 类型分成不同的组，将分组加入转换结果 `List<StateList> curList` 中
2. 对字母表中的每一个字母 `input`，执行划分操作操作：
    1. 将 `result` 中的所有 `StateList` 加入队列 `queue` 中
    2. 从 `queue` 中取出一个 `StateList`
    3. 求该 `StateList` 中每一个 `State` 的 a 弧转换的结果
    4. 根据每一个 `State` 的 a 弧转换结果是 result 中的哪一个 StateList，将其分为不同的组
    5. 若只有一个分组，将其加入 `List<StateList> finalList` 中
    6. 若有多个分组，从 `curList` 中删除原分组，加入新分组，并将新分组入队
    7. 重复执行 2-5，直到没有新分组入队
3. 对 `curList` 进行检查操作:
    1. 存储 `curList` 到 `oldList` 中，对字母表中的每一个字母 `input`，执行划分操作操作
    2. 比较经过划分操作后的 `curList` 和 `oldList`，若相同则进行 4，否则继续进行检查操作
4. 将 `finalList` 转为对应的 DFA

具体代码实现在 `lex.entity.DFA.minimizeDFA()`中

```
public DFA minimizeDFA(){
    List<StateList> curList = new ArrayList<>();
    //根据 endSymbol 的不同，对 State 进行第一次划分
    //因为 java 对 String[]的比较未重写，所以要将 String[]转为 String
    Map<State, String> map =new HashMap<>();
    for (State state: this.allStates){
      StringBuilder sb = new StringBuilder();
      for(String str: state.getEndSymbol()){
```

```
            sb.append(str + "_");
        }
        map.put(state, sb.toString());
    }

    Set<String> set = new HashSet<>(map.values());
    for(String str: set){
        List<State> list = new ArrayList<>();
        for(Map.Entry<State, String> entry: map.entrySet()){
            State key = entry.getKey();
            String value = entry.getValue();
            if(value.equals(str)){
                list.add(key);
            }
        }
        curList.add(new StateList(list));
    }

    for(String input: alpha){
        if(input.equals("$")){
            continue;
        }

        curList = separate(curList, input);
    }

    List<StateList> result = check(curList);

    //将 StateList 转为 State
    List<State> dfa = new ArrayList<>();
```

```
    int cnt = 1;
    for(StateList stateList: result){
        stateList.setStateListId(cnt);
        cnt++;
    }

    for (StateList stateList: result){
        dfa.add(stateList.turn2State(result, this));
    }

    return DFA.getDFAInstance(dfa);
}

//检查，直到不发生改变
private List<StateList> check(List<StateList> curList){
    List<StateList> oldList = curList;
    for(String input: alpha){
        if(input.equals("$")){
            continue;
        }
        curList = separate(curList, input);
    }
    if(!oldList.equals(curList)){
        check(curList);
    }
    return oldList;
}

//使用某字母对目前的 dfa(List<StateList>)进行一次划分,返回划分后的结果
private List<StateList> separate(List<StateList> curList, String input){
```

```
    List<StateList> finalStateList = new ArrayList<>();


    Queue<StateList> queue = new LinkedList<>();
    for (StateList list: curList){
       queue.offer(list);
    }
    List<StateList> oldList = new ArrayList<>(curList);


    while (!queue.isEmpty()){
       StateList tempStateList = queue.poll();


       //调试用
//          if(tempStateList.getStates().size() == 4){
//             int a = 0;
//          }


       //根据 a 弧转换，对 tempStateList 中的状态进行分类
       //tempStateList 中的每一个 State，会对应到一个 StateList
       //取 StateList 为 key，若不用划分，应只有一个键值对，否则，就要根据 value 划分成不同的 StateList
       Map<StateList, List<State>> map = new HashMap<>();
       for(State state: tempStateList.getStates()){
          StateList next = state.getMove(this, input);


          Pair<StateList, List<State>> pair = personalGetOrDefault(map, next, new ArrayList<>());
          List<State> list = pair.getValue();
          list.add(state);
          map.put(pair.getKey(), list);
```

```
        }

        if(map.size() == 1){//包含在 oldList 里面，说明是最终分组
            finalStateList.add(tempStateList);
        }else {//不包含在 oldList 里面，删除原来的分组，创建新分组，将新分组入队
            oldList.remove(tempStateList);
            for(List<State> stateList: map.values()){
                StateList stateList1 = new StateList(stateList);
                oldList.add(stateList1);
                queue.add(stateList1);
            }
        }
    }

    return finalStateList;
}

//实现 getOrDefault 功能，用 api 的无法比较 StateList 是否相同
private static Pair<StateList, List<State>> personalGetOrDefault(Map<StateList, List<State>> map, StateList testKey, List<State> defaultResult){
    for(Map.Entry<StateList, List<State>> entry: map.entrySet()){
        StateList key = entry.getKey();
        List<State> value = entry.getValue();

        if(testKey.equals(key)){
            return new Pair<>(key, value);
        }
    }

    return new Pair<>(testKey, defaultResult);
```

```
}
```

在本项目中，DFA 确定化后的状态转换图如下

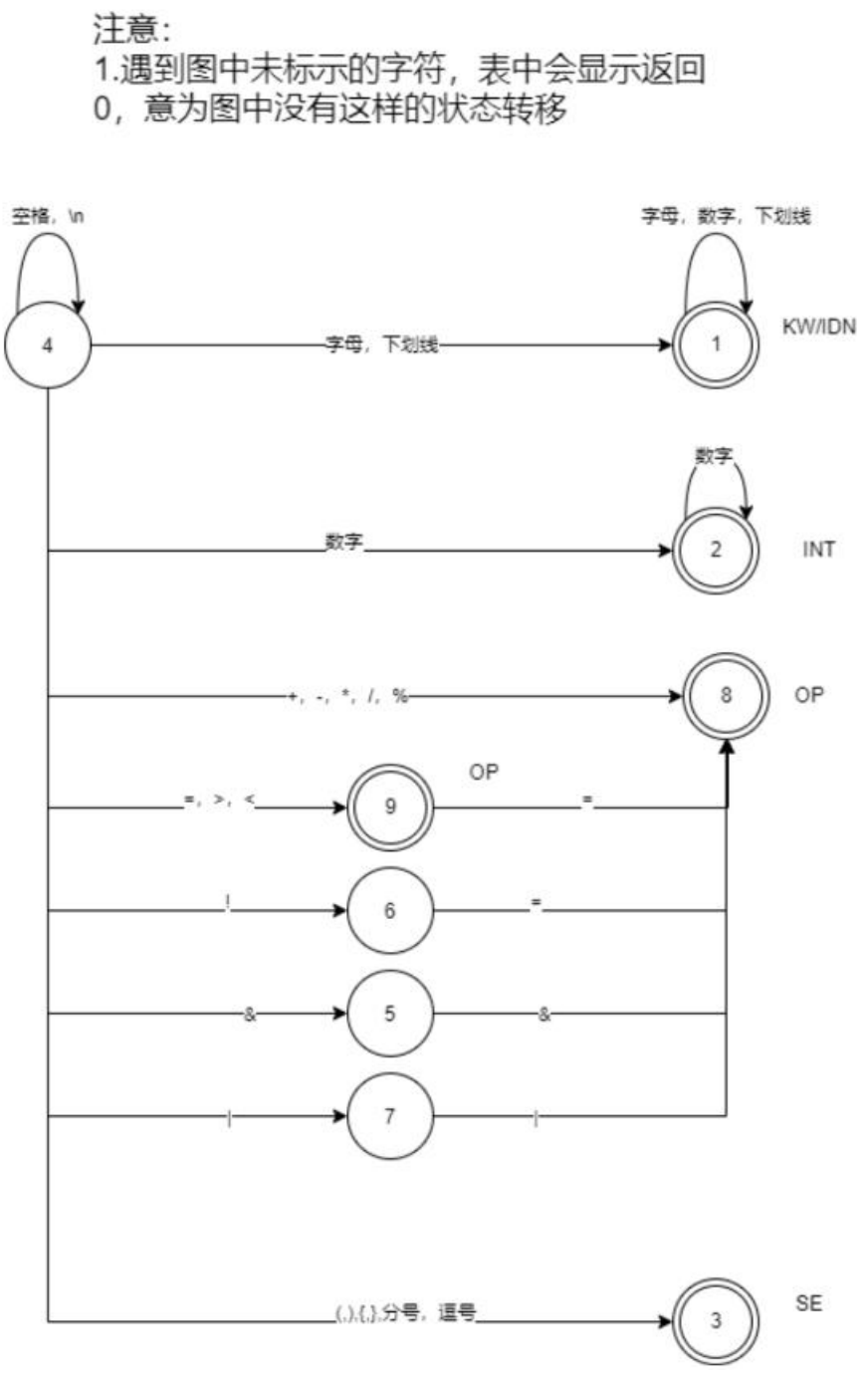


图 2-4 DFA 确定化后的状态转换图

2.4.4 Token 序列的生成

根据最小化的 DFA，获取待分析代码的 Token 序列的主要步骤如下:

1. 初始化当前状态为起始状态，初始化 `firstLetter`，`curLetter` 指针为第一个读入的字符，初始创建一个空的 `List<Token> result`
2. 判断 `curLetter` 是否超过了 `input` 的长度，若超过了，跳到 9；若没有，则从 `curLetter` 的位置读取一个字符
3. 对读入的字符进行预处理
4. 根据当前状态和遇到的字符，看还有没有下一个状态
5. 若有，则将 `curLetter + 1`，然后跳转到 2 继续执行
6. 若没有，则判断当前状态是否是终结状态
7. 若是终结状态，读取 `firstLetter` 和 `curLetter` 之间的部分作为一个 `Token` 的 `content` 内容，目前 `State` 的 `endSymbol` 作为 `Token` 的 `type`，将 `firstLetter` 指针移到 `curLetter` 位置，`curLetter + 1`，然后跳转到 2 继续执行
8. 若不是终结状态，说明代码存在错误，使用 `Log.errorLog()`记录错误，退出程序
9. 遍历 `result`，根据后面是 `INT`，前面是 `null || KW || INT || { || (`的原则找到要将`-`和 `INT` 合并成 `INT` 的位置
10. 遍历 `result`，计算每一个 `Token` 的 `dealing`，同时在要合并的地方对`-`和 `INT` 进行合并

具体实现代码在 `lex.implement.LexImp` 中

```
public List<Token> lexAnalysis(String input) throws IOException {
    List<Token> tokens = new ArrayList<>();
    //加空格是为了保证能读取最后的 token
    //当最后的字符的 currentState 为起始状态时，证明最后是由空格和\n 组成的符号串，不该加入 tokens，加入" "无影响
    //当最后的字符的 currentState 为非终结状态时，证明到最后了还没读到可判断断词的字符，说明出现错误，加入" "无影响
    //当最后的字符的 currentState 为终结状态时，因为所有终结状态遇到" "都会断词，且不会将最后一个" "读进，加入" "能帮助断词，否则该词就无法读进了
    input = input + " ";

    //获取 dfa
//          String fileName = "D:\\大学\\课程\\编译原理\\My 大作业\\C--
```

```
Complier\\complier\\src\\main\\resources\\initialStateTable.csv";
//      String fileName = "./src/main/resources/config/initialStateTable.csv";
    //generateNFA 是 静 态 方 法 ， 用 的 是 ClassLoader.getSystemResourceAsStream(fileName)获取输入流，前面不加/
    String fileName = "config/initialStateTable.csv";


    NFA nfa = NFA.generateNFA(fileName);
    DFA dfa = nfa.determineNFA();
    dfa = dfa.minimizeDFA();


    State currentState = dfa.getStartState(); //字符当前所处的状态
    int currentNum = 0; //当前识别到哪一个字符
    int startNum = 0; //每个 token 内容的开始字符
    int endNum = 0; //每个 token 内容的结束字符


    while (currentNum < input.length()){
      //字符预处理
      char currentChar = input.charAt(currentNum);
      String currentLetter = "";
      if(Character.isDigit(currentChar)){
        currentLetter = "digit";
      }else if(Character.isLetter(currentChar)){
        currentLetter = "letter";
      }else if(currentChar == ','){
        currentLetter = "dot";
      }else {
        currentLetter = String.valueOf(currentChar);
      }
      if(!Arrays.asList(dfa.getAlpha()).contains(currentLetter)){
        currentLetter = "others";
```

```
        }

        //找开始位置,会将空格，\n 都去除
        if(currentState.isStart()){
            startNum = currentNum;
        }

//          if(currentChar == '}'){
//              int a = 1;
//          }

        //找结束位置
        State nextState = dfa.move(currentState, currentLetter);
        if(nextState == null){
            if(currentState.isEnd()){
                endNum = currentNum;
                String content = input.substring(startNum, endNum);
                String type = "";
                if(currentState.getEndSymbol().length == 1){
                    type = currentState.getEndSymbol()[0];
                }else {
                    if(content.equals("int") || content.equals("void") || content.equals("return") || content.equals("const")){
                        type = "KW";
                    }else {
                        type = "IDN";
                    }
                }

                Token token = new Token(type, content);
```

```
            tokens.add(token);


            currentState = dfa.getStartState();
          }else {
            String errorInfo = currentLetter + "不能被识别，它是输入的第" + currentNum + "个字符";
            Log.errorLog(errorInfo, logger);
            System.exit(1);
          }
        }else {
          currentState = nextState;
          //后移 currentNum
          currentNum++;
        }
      }


    //处理负数
    //找到应该合并的位置
    List<Integer> list = new ArrayList<>();
    for(int i = 0; i < tokens.size(); i++){
      Token before = null;
      if(i != 0){
        before = tokens.get(i - 1);
      }
      Token cur = tokens.get(i);
      Token after = null;
      if(i != tokens.size() - 1){
        after = tokens.get(i + 1);
      }
```

```
        if(cur.getContent().equals("-") && after != null && after.getType().equals("INT")){
            if(before == null || before.getType().equals("KW") || before.getType().equals("OP")){
                list.add(new Integer(i));
            }else {
                if(before.getContent().equals("(") || before.getContent().equals("{")){
                    list.add(new Integer(i));
                }
            }
        }
    }

    List<Token> result = new ArrayList<>();
    int skip = 0;
    for(int i = 0; i < tokens.size() - list.size(); i++){
        if(list.contains(i + skip)){
            String content = tokens.get(i + skip).getContent() + tokens.get(i + skip + 1).getContent();
            Token token = new Token("INT", content);
            //加入结果前要计算其在语法分析中的 dealing
            token.calculateDealing();
            result.add(token);
            skip++;
        }else {
            Token token = tokens.get(i + skip);
            //加入结果前要计算其在语法分析中的 dealing
            token.calculateDealing();
            result.add(token);
        }
    }
```

```
    return result;
}
```

2.5 词法分析器输出格式说明

2.5.1 符号表 lexical.txt 说明

输出格式为

[待测代码中的单词符号] [TAB] [单词符号种别]

```
int         <KW>
a           <IDN>
=           <OP>
10          <INT>
;           <SE>
int         <KW>
main        <IDN>
(           <SE>
)           <SE>
{           <SE>
a           <IDN>
=           <OP>
10          <INT>
;           <SE>
return      <KW>
0           <INT>
;           <SE>
}           <SE>
```

其中，单词符号种别为 KW（关键字）、OP（运算符）、SE（界符）、IDN（标识符）INT（整形数）；单词符号内容第一个维度为其种别，第二个维度为其属性。[TAB]为一个制表符'\t'

2.5.2 Token 序列说明

Token 序列是一个 Token 组成的 List，即 `List<Token>`，它是 `lexAnalysis(String input)`方法的返回值，将作为参数，传入语法分析器中。

三. 语法分析器简介

3.1 语法分析器工作流程

语法分析器工作流程如下

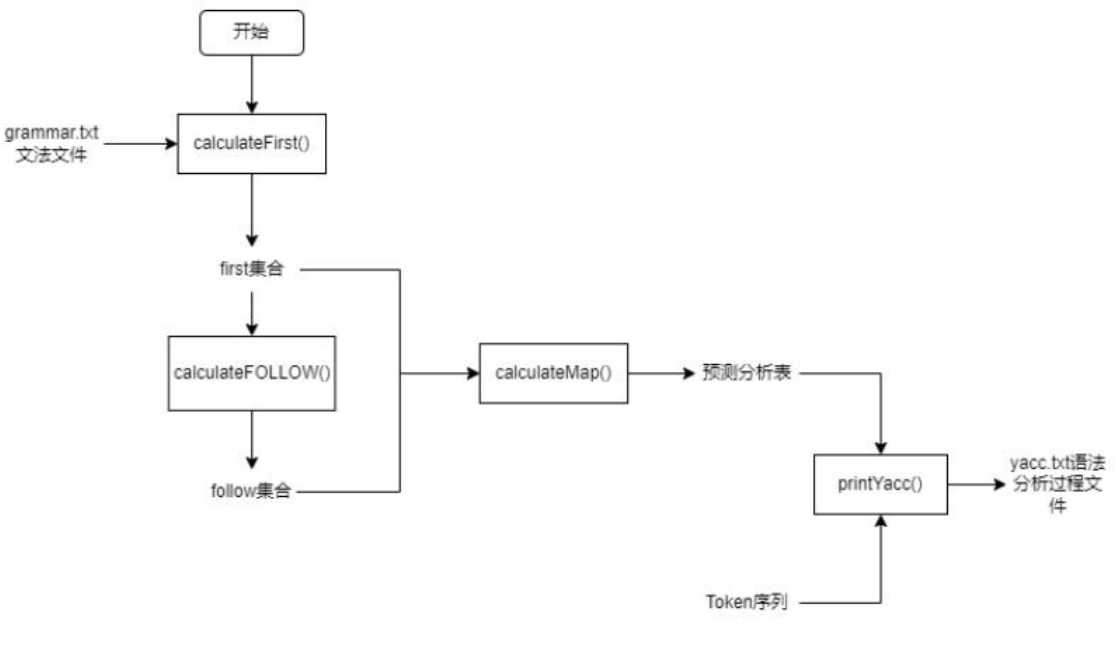


图 3-1 语法分析器工作流程

3.2 文法文件与预测分析表

3.2.1 文法文件

文法文件 grammar.txt 由助教给出，具体如下：

```
program -> compUnit
compUnit -> decl compUnit
compUnit -> funcDef compUnit
compUnit -> $
decl -> constDecl
decl -> varDecl
```

```
constDecl -> const bType constDef argConst ;
argConst -> , constDef argConst
argConst -> $
constDef -> IDN = constInitVal
constInitVal -> constExp
constExp -> assignExp
varDecl -> bType varDef argVarDecl ;
argVarDecl -> , varDef argVarDecl
argVarDecl -> $
varDef -> IDN argVarDef
argVarDef -> = initVal
argVarDef -> $
initVal -> exp
bType -> int
funcDef -> funcType IDN ( funcFParams ) block
funcType -> void
funcFParams -> funcFParam argFunctionF
funcFParams -> $
argFunctionF -> , funcFParam argFunctionF
argFunctionF -> $
funcFParam -> bType IDN
block -> { blockItem }
blockItem -> decl blockItem
blockItem -> stmt blockItem
blockItem -> $
stmt -> exp ;
stmt -> ;
stmt -> block
stmt -> return argExp ;
callFunc -> ( funcRParams )
```

```
callFunc -> $
funcRParam -> exp
funcRParams -> funcRParam argFunctionR
funcRParams -> $
argFunctionR -> , funcRParam argFunctionR
argFunctionR -> $
argExp -> exp
argExp -> $
exp -> assignExp
assignExp -> eqExp assignExpAtom
assignExpAtom -> = eqExp assignExpAtom
assignExpAtom -> $
eqExp -> relExp eqExpAtom
eqExpAtom -> == relExp eqExpAtom
eqExpAtom -> != relExp eqExpAtom
eqExpAtom -> $
relExp -> addExp relExpAtom
relExpAtom -> < addExp relExpAtom
relExpAtom -> > addExp relExpAtom
relExpAtom -> <= addExp relExpAtom
relExpAtom -> >= addExp relExpAtom
relExpAtom -> $
addExp -> mulExp addExpAtom
addExpAtom -> + mulExp addExpAtom
addExpAtom -> - mulExp addExpAtom
addExpAtom -> $
mulExp -> unaryExp mulExpAtom
mulExpAtom -> * unaryExp mulExpAtom
mulExpAtom -> / unaryExp mulExpAtom
mulExpAtom -> % unaryExp mulExpAtom
```

mulExpAtom -> $

number -> INT

unaryExp -> number

unaryExp -> IDN callFunc

3.2.2 预测分析表

程序分析过程中产生的预测分析表超链接为：

程序分析过程中产生的预测分析表.xlsx

具体内容如下所示：

	==	<=	void	const	%	(	)	*	+	,	-	INT	int	/	IDN	;	{	!=	<	=	}	return	>	>=
argFunctionR							argFunctionR -> $			argFunctionR -> , funcRParam argFunctionR														
eqExpAtom	eqExpAtom -> == relExp eqExpAtom						eqExpAtom -> $			eqExpAtom -> $										eqExpAtom -> $		eqExpAtom -> != relExp eqExpAtom		eqExpAtom -> $
decl				decl -> constDecl													decl -> varDecl							
constInitVal																		constInitVal -> constExp		constInitVal -> constExp				
constDef																				constDef -> IDN = constInitVal				
compUnit				compUnit -> funcDef compUnit													compUnit -> decl compUnit							
funcRPara																		funcRPara		funcRPara				

m

addExp

program

program -> compUnit

program -> compUnit

m -> exp

addExp -> mulExp addExpAtom

program -> compUnit

m -> exp

addExp -> mulExp addExpAtom

addExpAtom

addExpAtom -> $

addExpAtom -> $

addExpAtom -> $

addExpAtom -> + mulExp addExpAtom

addExpAtom -> $

addExpAtom -> - mulExp addExpAtom

addExpAtom -> $

addExpAtom -> $

addExpAtom -> $

addExpAtom -> $

addExpAtom -> $

addExpAtom -> $

relExp

relExp -> addExp relExpAtom

relExp -> addExp relExpAtom

mulExpAtom

mulExpAtom -> $

mulExpAtom -> $

mulExpAtom -> % unaryExp mulExpAtom

mulExpAtom -> $

mulExpAtom -> * unaryExp mulExpAtom

mulExpAtom -> $

mulExpAtom -> $

mulExpAtom -> $

mulExpAtom -> / unaryExp mulExpAtom

mulExpAtom -> $

mulExpAtom -> $

mulExpAtom -> $

mulExpAtom -> $

mulExpAtom -> $

mulExpAtom -> $

funcRParams

funcRParams -> $

funcRParams -> funcRParam argFunctionR

funcRParams -> funcRParam argFunctionR

argVarDecl

argVarDecl -> , varDef argVarDecl

argVarDecl -> $

initVal

initVal -> exp

initVal -> exp

number

number -> INT

argConst

argConst -> , constDef argConst

argConst -> $

eqExp

eqExp -> relExp

eqExp -> relExp

							p eqExpAtom		p eqExpAtom							
funcFParams					funcFParams -> $			funcFParams -> funcFParam argFunctionF								
block											block -> { blockItem }					
mulExp							mulExp -> unaryExp mulExpAtom		mulExp -> unaryExp mulExpAtom							
argExp							argExp -> exp		argExp -> exp	argExp -> $						
exp							exp -> assignExp		exp -> assignExp							
constExp							constExp -> assignExp		constExp -> assignExp							
funcType			funcType -> void													
assignExp							assignExp -> eqExp assignExpAtom		assignExp -> eqExp assignExpAtom							
relExpAtom	relExpAtom -> $	relExpAtom -> <= addExp relExpAtom			relExpAtom -> $	relExpAtom -> $				relExpAtom -> $		relExpAtom -> $	relExpAtom -> < addExp relExpAtom	relExpAtom -> $	relExpAtom -> > addExp relExpAtom	relExpAtom -> >= addExp relExpAtom
constDecl				constDecl -> const bType constDef argConst ;												
assignExpAtom					assignExpAtom -> $	assignExpAtom -> $				assignExpAtom -> $				assignExpAtom -> = eqExp		

																			assignExpAtom					
callFunc	callFunc -> $	callFunc -> $			callFunc -> $	callFunc -> (funcRParams)	callFunc -> $	callFunc -> $	callFunc -> $	callFunc -> $	callFunc -> $			callFunc -> $		callFunc -> $		callFunc -> $	callFunc -> $	callFunc -> $			callFunc -> $	callFunc -> $
bType													bType -> int											
unaryExp												unaryExp -> number			unaryExp -> IDN callFunc									
argVarDef										argVarDef -> $						argVarDef -> $				argVarDef -> = initVal				
funcFParam													funcFParam -> bType IDN											
varDef															varDef -> IDN argVarDef									
blockItem				blockItem -> decl blockItem								blockItem -> stmt blockItem	blockItem -> decl blockItem		blockItem -> stmt blockItem	blockItem -> stmt blockItem	blockItem -> stmt blockItem				blockItem -> $	blockItem -> stmt blockItem		
argFunctionF							argFunctionF -> $			argFunctionF -> , funcFParam argFunctionF														
varDecl													varDecl -> bType varDef argVarDecl ;											
stmt												stmt -> exp ;			stmt -> exp ;	stmt -> ;	stmt -> block					stmt -> return argExp ;		
funcDef			funcDef -> funcType IDN (funcFPara																					

ms)
block

3.3 语法分析器类简介

语法分析器主要的类如下

```
yacc
├─entity
│      Analysis.java
│      Grammar.java
│      Rool.java
│
├─implement
│      YaccImpl.java
│
└─itf
        Yacc.java
```

3.3.1 yacc.entity.Analysis

使用预测分析表分析时每一条分析的实体类

主要字段如下

```
//操作序号
        private String no;
  //使用的规则序号
  private String roolNo;
  //栈顶符号
  private String stackSym;
  //面对的输入符号
  private String faceSym;
  //进行的动作
  private String action;
```

3.3.2 yacc.entity.Rool

每一条从 grammar.txt 中获取的规则的实体类

主要字段如下

```
//规则序号
        private String no;
  //规则左部
  private String left;
  //规则右部
  private String right;
```

3.3.3 yacc.entity.Grammar

语法实体，一个文法文件对应一个 Grammar 实体，采用构造工厂模式，只能用 getGrammarInstance()方式构建实例

主要字段如下

```
      //非终结符集合
      private List<String> nonEndSymbol;
//终结符集合，此处将$也算在了终结符中
private List<String> endSymbol;
//开始符号
private String startSymbol;
//一条一条单个的规则
private List<Rool> rools;
      //一个非终结符对应的一组规则
private Map<String,Set<String>> newRools;
//单个符号的 first 集合
private Map<String, List<String>> first;
```

```
//非终结符的 follow 集合
private Map<String, Set<String>> nonFollow;
// 存储在查找 FOLLOW 集合时非终结符的状态,仅在本类中使用
private Map<String, Integer> status;
//预测分析表，第一个 String 是非终结符，第二个是终结符
private Map<String,Map<String, Rool>> predictMap;
```

主要方法如下

```
/**
 * @param :
 * @return Map<String,List<String>>
 * @author ZhouXiang
 * @description 计算本语法终结符与非终结符的 First 集
 */
private Map<String,List<String>> calculateFirst();

    /**
 * @param :
 * @return void
 * @author ZhouXiang
 * @description 计算 Fowllow 集合
 */
private void calculateFOLLOW();

    /**
 * @param :
 * @return void
 * @author ZhouXiang
 * @description 计算预测分析表
```

```
 */
private void calculateMap();
```

3.3.4 yacc.implement.YaccImpl

是 yacc.itf.Yacc 的实现类，实现了 yacc.itf.Yacc 中声明的抽象方法

3.3.5 yacc.itf.Yacc

是语法分析器对外声明的接口，声明了语法分析器要实现的方法

```
    /**
 * @param tokens: 词法分析产生的序列
 * @param filePath: 语法分析产生文件的路径
 * @return boolean 语法分析是否成功
 * @author ZhouXiang
 * @description 根据词法分析的结果，产生语法分析的结果，输入到文件中
 */
public boolean printYacc(List<Token> tokens, String filePath) throws IOException;
```

3.4 语法分析器主要算法

3.4.1 Rool 序列的获取

获取 `Rool` 序列的方法是按行读取 `grammar.txt` 文件，解析出每一条 `Rool` 的左部和右部

具体实现在 `yacc.entity.Grammar.getGrammarByFile()`方法

```
public static Grammar getGrammarByFile(String filePath,String start) throws IOException {
    List<Rool> rools = new ArrayList<>();
    List<String> nonEndSymbols = new ArrayList<>();
    List<String> endSymbols = new ArrayList<>();
    String roolStr = "";
```

```
InputStream in = ClassLoader.getSystemResourceAsStream(filePath);
Scanner scanner = new Scanner(in);

int cnt = 1; //用于记录规则号
while (scanner.hasNextLine()){
   roolStr = scanner.nextLine();
   if(roolStr.equals("")){
      continue;
   }

   //获取规则
   Rool rool = new Rool();
   String roolNo = String.valueOf(cnt);
   cnt++;
   String content = roolStr;
   String left = content.split("->",2)[0].trim();
   String right = content.split("->",2)[1].trim();
   rool.setNo(roolNo);
   rool.setLeft(left);
   rool.setRight(right);
   rools.add(rool);

   //获取非终结符，出现在左边的全是非终结符，且非终结符只会在左边出现
   if(!nonEndSymbols.contains(left)){
      nonEndSymbols.add(left);
   }

   //获取终结符，先将右边的符号都放进去，后面进行对右边的符号分割，去除终结符的操作
```

```
        if(!endSymbols.contains(right)){
            endSymbols.add(right);
        }
    }

    //对终结符，进行分割，去除终结符的操作
    List<String> realEndSymbols = new ArrayList<>();
    Iterator<String> it = endSymbols.iterator();
    while (it.hasNext()){
        String endSymbol = it.next();

        if(endSymbol.equals("{ blockItem }")){
            int a = 3;
        }

        //如果它是非终结符，不用加入
        if(nonEndSymbols.contains(endSymbol)){;
            continue;
        }
        String[] endSymbolStr = endSymbol.split(" ");
        //进行分割，找终结符
        if(endSymbolStr.length != 1){
            for(int j = 0;j < endSymbolStr.length;j++){
                if(!nonEndSymbols.contains(endSymbolStr[j])
&& !realEndSymbols.contains(endSymbolStr[j])){
                    realEndSymbols.add(endSymbolStr[j]);
                }
            }
            it.remove();
        }else {
```

```
            realEndSymbols.add(endSymbol);
        }
    }
    endSymbols = realEndSymbols;

    //对非终结符与终结符去重
    Set<String> set = new HashSet<>(nonEndSymbols);
    nonEndSymbols.clear();
    nonEndSymbols.addAll(set);

    set = new HashSet<>(endSymbols);
    endSymbols.clear();
    endSymbols.addAll(set);

    Grammar grammar = new Grammar(nonEndSymbols,endSymbols,start,rools);
    return grammar;
}
```

3.4.2 First 集合的计算

计算 First 集合的规则是：

- 如果 x 是终结符，`FIRST(x)`为`{x}`。
- 如果 x 是空串，`FIRST(x)`为`{空串}`。
- 如果 x 是非终结符，`x->Y1Y2Y3...`，逐步地从 Y1 计算起，如果 Y1 的 FIRST 集包含空串，将 `FIRST(Y1)`-空串加入到 `FIRST(X)`，继续计算 `FIRST(Y2)`，…，如果计算到某个符号 `Yn` 不包含空串，就结束计算。如果计算到最后一个符号也包含空串，也就是说 `Y1Y2Y3...->`空串，则加入最后一个符号的 FIRST 集。

计算某一个符号的 First 集合的主要步骤如下：

1. 对单个终结符，其 First 集合是它自身，返回自身所形成的 `List<String>`
2. 对单个非终结符 `a`

1. 初始化其 First 集合 `List<String> result` 为空
2. 遍历文法的 `Rool`，找到 `rool.right` 中包含 `a` 的所有 `rool.right`
3. 求这些 `rool.right` 的 First 集合，将其加入到 `result` 中
4. 返回 `result`

3. 对所有不止一个的符号 S，将 S 用空格分割成 `String[] patterns`，初始化其 First 集合 `List<String> result` 为空
    1. 若 `paterns[0]`是终结符，`result.add(patterns[0])`，返回 `result`
    2. 若 `patterns[0]`不是终结符，遍历整个 `patterns`，遍历过程中执行下面的操作
        1. 计算 `patterns[i]`的 First 集合 `patternsFirst`
        2. 判断 `patternsFirst` 是否包含空(在本程序中用`$`替代)
        3. 若不包含，执行 `result.addAll(patternsFirst)`，结束遍历
        4. 若包含，判断是否是最后一个符号(即 `i == patterns.length - 1`)
        5. 若是最后一个符号，执行 `result.addAll(patternsFirst)`
        6. 若不是最后一个符号，将 `patternsFirst` 去掉`$`，执行 `result.addAll(patternsFirst)`
    3. 返回 `result`

具体代码实现在 `yacc.entity.Grammar.calculateFirst()`中

```
private Map<String,List<String>> calculateFirst(){
    Map<String,List<String>> result = new HashMap<>();

    //终结符，first 集合是他本身
    for(String endSymbol : this.endSymbol){
       List<String> first = new ArrayList<>();
       first.add(endSymbol);
       result.put(endSymbol,first);
    }

    //非终结符，first 集合要递归地计算
```

```
    for(String nonSymbol : this.nonEndSymbol){
//          if(nonSymbol.equals("querySpecification unionStatements")){
//              System.out.println("error");
//          }
          result.put(nonSymbol,getFirstBySingle(nonSymbol));
      }

      return result;
   }



   private List<String> getFirstBySingle(String symbol){
      Set<String> result = new HashSet<>();

      if(this.endSymbol.contains(symbol)){ //单个终结符，first 集合是自身
          result.add(symbol);

      } else if(this.nonEndSymbol.contains(symbol)){ //单个非终结符，其 First 集合是其所在的，所有产生该非终结符的规则的右部，的 first 集合之和
          Set<String> rights = this.newRools.get(symbol);
          for(String right : rights){
              result.addAll(this.getFirstBySingle(right));
          }

      }else {//处理有几个符号的情况
          String[] patterns = symbol.split(" ");
          if(this.endSymbol.contains(patterns[0])){
              //第一个符号是终结符，其 first 集合就是这个终结符
              result.add(patterns[0]);
```

```
        } else {
            for(int i = 0;i < patterns.length;i++){
                List<String> patternsFirst = this.getFirstBySingle(patterns[i]);
                if(!patternsFirst.contains("$")){
                    result.addAll(patternsFirst);
                    break;
                } else {
                    if(i == patterns.length - 1){
                        result.addAll(patternsFirst);
                    }else {
                        patternsFirst.remove("$");
                        result.addAll(patternsFirst);
                    }
                }
            }
        }

        List<String> realResult = new ArrayList<>(result);
        return realResult;
    }
```

3.4.3 Follow 集合的计算

计算 Follow 集合，按以下方式进行处理:

- 对于开始符号 S，先将界符加入到其 FOLLOW 集中。
- 对于 `A->aBp`，如果 `p` 不能推导出空串，就将 `FIRST(p)`加入到 B 的 FOLLOW 集。
- 如果 `p` 能推导出空串，就将 `FIRST(p)`-空串和 `FOLLOW(A)`加入到 B 的 FOLLOW 集。

具体的实现在 `yacc.entity.grammar` 中

```
private void calculateFOLLOW(){

    status = new HashMap<>();

    nonFollow = new HashMap<>();

    for (String character : this.nonEndSymbol) {

        // 初始化非终结符的状态
        // 状态 1 表示还没找过
        // 状态 2 表示正在查找
        // 状态 3 表示已经结束查找
        status.put(character, 1);
        nonFollow.put(character, new HashSet<>());
    }

    // 首先在开始符号的 FOLLOW 集中加入界符
    Set<String> startFollow = new HashSet<>();
    startFollow.add("#");
    this.nonFollow.put(this.startSymbol, startFollow);

    for (String character : this.nonEndSymbol){
        // 如果已经查找完，就跳过
        if (status.get(character) == 3){
            continue;
        }

        FOLLOWx(character);
    }
```

```
}

private Set<String> FOLLOWx(String x){
    // 首先置当前查找的非终结符的状态为正在查找
    status.put(x, 2);

    // 在产生式中搜索所有非终结符出现的位置
    for (String character : this.nonEndSymbol){
      Set<String> rightSet = this.newRools.get(character);
      String[] rightItems = rightSet.toArray(new String[rightSet.size()]);

      RightItemLoop:for (String item : rightItems){
        // 获取符号列表
        List<String> cList = this.disassemble(item);

        // 接下来，搜索当前查找的非终结符的位置
        for (int i=0; i<cList.size(); i++){
          String nonEndChar = cList.get(i);
          if (nonEndChar.equals(x)){
            // 判断是否处于最右的位置
            if (i < cList.size() - 1){
              // 如果没在最右边的位置
              // 下面循环判断后一个符号是否是非终结符
              for (int j=i+1; j<cList.size(); j++){
                String nextChar = cList.get(j);
                if (this.nonEndSymbol.contains(nextChar)){
                  // 如果是非终结符，查看其 FIRST 集是否包含空串
                  Set<String> nextFirst =
this.first.get(nextChar).stream().collect(Collectors.toSet());
                  // 如果包含空串，并且此时这个符号是最后一个符号
```

```
                    // 就要将其 FIRST 除去空串的集合加入 FOLLOW 集，且左部的 FOLLOW 集加入 FOLLOW 集
                    if (nextFirst.contains("$")){
                        // 判断是否是最后一个符号
                        if (j == cList.size() - 1){
                            // 这里首先判断一下要递归查找的非终结符的状态
                            // 如果为正在查找，就会陷入死循环
                            // 所以要略过这一条产生式
                            // 在略过产生式之前，因为直接略过会遗漏掉之前正在查找的非终结符的 FOLLOW 集中的元素，所以要加上
                            if (status.get(character) == 2){
                                Set<String> follow = this.nonFollow.get(character);
                                if (follow.size() != 0){
                                    addCharsToFOLLOW(follow, x);
                                }
                                continue RightItemLoop;
                            }
                            Set<String> leftFOLLOW = FOLLOWx(character);
                            Set<String> nextFirstExceptNULL = new HashSet<>(nextFirst);
                            nextFirstExceptNULL.remove("$");
                            addCharsToFOLLOW(leftFOLLOW, x);
                            addCharsToFOLLOW(nextFirstExceptNULL, x);
                        } else{
                            // 如果不是最后一个符号，将 FIRST 集合加入
                            Set<String> nextFirstExceptNULL = new HashSet<>(nextFirst);
                            nextFirstExceptNULL.remove("$");
                            addCharsToFOLLOW(nextFirstExceptNULL, x);
                        }
                    } else{
                        // 如果不包含空串加入 FIRST 之后跳出循环
```

```
                    addCharsToFOLLOW(nextFirst, x);
                    break;
                  }
                } else{
                  // 如果不是非终结符，把此符号加入到当前查找的非终结符的
FOLLOW 集中
                  addCharToFOLLOW(nextChar, nonEndChar);
                  break;
                }
              }
            }
            // 如果在最右边，将 FOLLOW（左部）加入到当前非终结符的 FOLLOW
集合
            else{
              // 这里首先判断一下要递归查找的非终结符的状态
              // 如果为正在查找，就会陷入死循环
              // 所以要略过这一条产生式
              // 在略过产生式之前，因为直接略过会遗漏掉之前正在查找的非终结
符的 FOLLOW 集中的元素，所以要加上
              if (status.get(character) == 2){
                Set<String> follow = this.nonFollow.get(character);
                if (follow.size() != 0){
                  addCharsToFOLLOW(follow, x);
                }
                continue RightItemLoop;
              }
              Set<String> leftFOLLOW = FOLLOWx(character);
              addCharsToFOLLOW(leftFOLLOW, x);
            }
          }
```

```
        }
      }
    }

    // 如果 return，说明已经查找完
    status.put(x, 3);
    return this.nonFollow.get(x);
}
```

3.4.5 预测分析表的计算

计算步骤如下：

1. 将预测分析表 M 的所有位置置为 `errorRool`
2. 遍历所有的 `Rool`，执行 2，3 步
3. 求 `rool.right` 的 First 集合，对其中的每一个终结符 `a`，把 `M[rool.left, a]`置为 `rool`
4. 若 `rool.right` 的 First 集合中有`$(空)`，对 `rool.left` 的 Follow 集合中的每一个终结符 `b`，把 `M[rool.left, b]`置为 `rool`

具体实现在 `yacc.entity.Grammar.calculateMap()`中

```
private void calculateMap(){
    this.predictMap = new HashMap<>();

    Rool error = new Rool("error","error","error");
    //初始化，置为 error
    for (String nonEnd : this.nonEndSymbol){
      Map<String,Rool> map = new HashMap<>();
      for(String end : this.endSymbol){
        if(end.equals("$")){
          continue;
```

```
            }
            map.put(end,error);
        }
        this.predictMap.put(nonEnd,map);
    }



    //遍历 rool 来看预测分析表
    for (Rool rool : this.rools){


        List<String> first = this.getFirstBySingle(rool.getRight()); //右边的 first 集合
        Set<String> follow = this.nonFollow.get(rool.getLeft()); //左边的 follow 集合，
左边必定是非终结符
        String non = rool.getLeft();


        //在终结符中加#,此时$还包含在 endSymbol 中
        List<String> newSym = new ArrayList<>(this.endSymbol);
        newSym.add("#");



        if(!first.contains("$")){
            for(String end : newSym){
                //去掉 endSymbol 中的$的影响
                if(end.equals("$")){
                    continue;
                }
                if(first.contains(end)){
                    editPredictMap(non,end,rool);
```

```
            }
        }
    }else {
        for(String end : newSym){
            if(end.equals("$")){
                continue;
            }
            if(first.contains(end)){
                editPredictMap(non,end,rool);
            }
        }

        for(String endB : newSym){
            if (endB.equals("$")){
                continue;
            }

            if(follow.contains(endB)){
                editPredictMap(non,endB,rool);
            }
        }
    }
  }

}
```

3.4.5 语法分析过程文件的生成

根据 Token 序列和预测分析表来生成语法分析过程文件 yacc.txt 的过程如下：

1. 初始化一个 `stack`，将#和开始符号入栈，在 Token 序列末端加上#，初始化 token 序列的指针 i

2. 判断 stack 是否为空
3. 若为空，执行 14
4. 若不为空，从栈中取出(不移除)栈顶元素 now，从 token 中取出 token[i]为 face
5. 若 now 与 face 相同，判断是不是#，
6. 若都为#，则操作为 accept，执行
7. 若不是#，则操作为 move，移除栈顶元素，i++
8. 若 now 与 face 不同，查找 M[now，face]的 rool
9. 若 rool 为 error，则说明语法分析遇到错误，记日志，退出程序
10. 若 rool 不为 error，则操作为 reduction，如果 rool.right 是不是为$(空)
11. 若 rool.right 为$(空)，从 stack 中移除栈顶元素
12. 若 rool.right 不为$(空)，从 stack 中移除栈顶元素，将 rool 右边的元素入栈
13. 执行 2
14. 遍历储存的 analysis 信息
15. 将每一条 analysis 信息输出到语法分析过程文件 yacc.txt 中

具体实现在 yacc.implement.YaccImpl.printYacc()中

```
public boolean printYacc(List<Token> tokens, String filePath) throws IOException {
    String grammarFile = "config/grammar.txt";
    Grammar grammar = Grammar.getGrammarByFile(grammarFile, "program");

    Stack<String> stack = new Stack<>();
    Map<String,Map<String, Rool>> table = grammar.getPredictMap();

    stack.push("#");
    stack.push(grammar.getStartSymbol());
    List<Analysis> analysises = new ArrayList<>();
    Token endToken = new Token("#","#");
    endToken.calculateDealing();
```

```
tokens.add(endToken);


int i = 0;
Integer analysisNo = 1;
while (!stack.empty()){

   Token token = tokens.get(i);
   Analysis analysis = new Analysis();

   analysis.setNo(analysisNo.toString());
   analysis.setStackSym(stack.peek());
   analysis.setFaceSym(token.getDealing());

   String now = analysis.getStackSym();
   String face = analysis.getFaceSym();

   //调试使用
//      if(now.equals("compUnit") && !face.equals("void")){
//         int a = 3;
//      }

   if(now.equals(face)){
      if(now.equals("#")){
         analysis.setAction("accept");
         analysis.setRoolNo("/");
         analysises.add(analysis);
         break;
      }else {
```

```
                analysis.setAction("move");
                analysis.setRoolNo("/");
                analysises.add(analysis);

                stack.pop();
                i++;

            }
        } else {
            Rool rool = this.dictionary(now,face,table);
            if(rool.getNo() == "error"){
                analysis.setAction("error");
                analysis.setRoolNo("/");
                analysises.add(analysis);

                String info = "语法分析遇到错误, 非终结符: " + now + ", 面临的终结符: " + fac
e;
                Log.errorLog(info, logger);
                break;
//                System.exit(401);
//                stack.pop();
//                i++;
            } else {
                analysis.setAction("reduction");
                analysis.setRoolNo(rool.getNo());
                analysises.add(analysis);

                if(rool.getRight().equals("$")){
                    stack.pop();
```

```
            }else {
                stack.pop();
                String[] rights = rool.getRight().split(" ");
                for(int j = rights.length - 1; j >= 0; j--){
                    stack.push(rights[j]);
                }
            }
        }
    }

    analysisNo++;
}

File file = new File(filePath);
if(!file.exists()){
    file.createNewFile();
}
FileWriter fw = new FileWriter(file,false);
BufferedWriter bw = new BufferedWriter(fw);

for(Analysis analysis : analysises){
    //将"#"转为 EOF
    if(analysis.getFaceSym().equals("#")){
        analysis.setFaceSym("EOF");
    }
    if(analysis.getStackSym().equals("#")){
        analysis.setStackSym("EOF");
    }
```

```
        String content = "";
        content = content + analysis.getStackSym() + "#" + analysis.getFaceSym() + "\t" +
analysis.getAction() + "\n";
        bw.write(content);
    }

    bw.close();
    return true;

  }
```

3.5 语法分析器输出格式说明

3.5.1 语法分析过程文件 yacc.txt 格式说明

输出格式为

[栈顶符号]#[面临输入符号][TAB][执行动作]

```
1     program#int     reduction
2     compUnit#int    reduction
3     decl#int        reduction
4     valDecl#int     reduction
5     btype#int       reduction
6     int#int         move
7     varDef#IDN      reduction
                ……
85    }#}             move
86    compUnit#EOF    reduction
87    EOF#EOF         accept
```

四. 程序检测

本程序使用 junit 进行单元检测，执行 `mvn test` 命令会自动执行检测单元，生成检测报告在 `target/surefire-reports` 下。

4.1 实现代码

检测的实现的代码如下所示。

以下是词法分析器部分的检测：

```
public class LexImplTest {

   @Test
   public void lexAnalysisToFile() throws IOException {
      String dir = "./src/test/resources";
      Lex lex = new LexImpl();
      for(int i = 0; i < 5; i++){
         String inputFile = dir + "/" + i + "/" + i + ".txt";
         String testFile = dir + "/" + i + "/lexical.txt";
         String expectedFile = dir + "/" + i + "/" + i + "_lexical.txt";

         lex.lexAnalysisToFile(inputFile, testFile);

         Scanner sc = new Scanner(new File(testFile));
         StringBuilder testBuilder = new StringBuilder();
         while (sc.hasNext()){
            String line = sc.nextLine();
            testBuilder.append(line + System.lineSeparator());
         }
         String test = testBuilder.toString();

         sc = new Scanner(new File(expectedFile));
         StringBuilder expectedBuilder = new StringBuilder();
         while (sc.hasNext()){
            String line = sc.nextLine();
            expectedBuilder.append(line + System.lineSeparator());
         }
         String expected = expectedBuilder.toString();
         assertEquals(expected, test);
      }
   }
}
```

以下是语法分析器检测的实现代码

```
public class YaccTest {

   @Test
   public void printYacc() throws IOException {
      String dir = "D:\\大学\\课程\\编译原理\\My 大作业\\C--Complier\\complier\\src\\test\\resources";
      Lex lex = new LexImpl();
      Yacc yacc = new YaccImpl();

      for(int i = 0; i < 4; i++){
         String inputFile = dir + "\\" + i + "\\" + i + ".txt";
         String testFile = dir + "\\" + i + "\\grammar.txt";
         String expectedFile = dir + "\\" + i + "\\" + i + "_grammar.txt";

         String input = Util.readFile(inputFile);
         List<Token> tokens = lex.lexAnalysis(input);
         yacc.printYacc(tokens, testFile);

         String expected = Util.readFile(expectedFile);
         String test = Util.readFile(testFile);

         Assert.assertEquals(expected, test);
      }
   }
}
```

4.2 检测结果

使用助教给的样例的检测结果如下所示

4.2.1 测试用例 00

用例的输入文件 00.txt

```
void main(){
   return 3;
}
```

产生的 38lex.txt

```
void    <KW>
main    <IDN>
```

```
(       <SE>
)       <SE>
{       <SE>
return <KW>
3       <INT>
;       <SE>
}       <SE>
```

产生的 38gra.txt

```
program#void        reduction
compUnit#void       reduction
funcDef#void reduction
funcType#void       reduction
void#void     move
IDN#IDN       move
(#(     move
funcFParams#)       reduction
)#)     move
block#{       reduction
{#{     move
blockItem#return    reduction
stmt#return reduction
return#return       move
argExp#INT  reduction
exp#INT       reduction
assignExp#INT       reduction
eqExp#INT   reduction
relExp#INT  reduction
```

```
addExp#INT  reduction
mulExp#INT  reduction
unaryExp#INT        reduction
number#INT  reduction
INT#INT     move
mulExpAtom#;        reduction
addExpAtom#;        reduction
relExpAtom#;reduction
eqExpAtom#; reduction
assignExpAtom#;     reduction
;#;     move
blockItem#}  reduction
}#}     move
compUnit#EOF        reduction
EOF#EOF     accept
```

4.2.2 测试用例 01

用例的输入文件 01.txt

```
int a = 3;
int b = 5;


void main(){
   int a = 5;
   return a + b;
}
```

产生的 38lex.txt

```
int     <KW>
```

```
a       <IDN>
=       <OP>
3       <INT>
;       <SE>
int     <KW>
b       <IDN>
=       <OP>
5       <INT>
;       <SE>
void    <KW>
main    <IDN>
(       <SE>
)       <SE>
{       <SE>
int     <KW>
a       <IDN>
=       <OP>
5       <INT>
;       <SE>
return  <KW>
a       <IDN>
+       <OP>
b       <IDN>
;       <SE>
}       <SE>
```

产生的 38gra.txt

```
program#int  reduction
compUnit#intreduction
```

```
decl#int        reduction
varDecl#int     reduction
bType#int       reduction
int#intmove
varDef#IDN      reduction
IDN#IDN         move
argVarDef#=     reduction
=#=     move
initVal#INT     reduction
exp#INT         reduction
assignExp#INT           reduction
eqExp#INT       reduction
relExp#INT      reduction
addExp#INT      reduction
mulExp#INT      reduction
unaryExp#INT            reduction
number#INT      reduction
INT#INT         move
mulExpAtom#;            reduction
addExpAtom#;            reduction
relExpAtom#;reduction
eqExpAtom#; reduction
assignExpAtom#;         reduction
argVarDecl#;    reduction
;#;       move
compUnit#intreduction
decl#int        reduction
varDecl#int     reduction
```

```
bType#int     reduction
int#intmove
varDef#IDN    reduction
IDN#IDN       move
argVarDef#=   reduction
=#=     move
initVal#INT   reduction
exp#INT       reduction
assignExp#INT         reduction
eqExp#INT     reduction
relExp#INT    reduction
addExp#INT    reduction
mulExp#INT    reduction
unaryExp#INT          reduction
number#INT    reduction
INT#INT       move
mulExpAtom#;          reduction
addExpAtom#;          reduction
relExpAtom#;reduction
eqExpAtom#; reduction
assignExpAtom#;       reduction
argVarDecl#;  reduction
;#;       move
compUnit#void         reduction
funcDef#void reduction
funcType#void         reduction
void#void     move
IDN#IDN       move
```

```
(#(     move
funcFParams#)       reduction
)#)     move
block#{         reduction
{#{     move
blockItem#int           reduction
decl#int        reduction
varDecl#int     reduction
bType#int       reduction
int#intmove
varDef#IDN      reduction
IDN#IDN         move
argVarDef#=     reduction
=#=     move
initVal#INT     reduction
exp#INT         reduction
assignExp#INT           reduction
eqExp#INT       reduction
relExp#INT      reduction
addExp#INT      reduction
mulExp#INT      reduction
unaryExp#INT            reduction
number#INT      reduction
INT#INT         move
mulExpAtom#;            reduction
addExpAtom#;            reduction
relExpAtom#;reduction
eqExpAtom#; reduction
```

```
assignExpAtom#;     reduction
argVarDecl#; reduction
;#;       move
blockItem#return     reduction
stmt#return   reduction
return#return          move
argExp#IDN   reduction
exp#IDN       reduction
assignExp#IDN         reduction
eqExp#IDN    reduction
relExp#IDN    reduction
addExp#IDN  reduction
mulExp#IDN  reduction
unaryExp#IDN         reduction
IDN#IDN       move
callFunc#+     reduction
mulExpAtom#+         reduction
addExpAtom#+         reduction
+#+     move
mulExp#IDN  reduction
unaryExp#IDN         reduction
IDN#IDN       move
callFunc#;      reduction
mulExpAtom#;         reduction
addExpAtom#;         reduction
relExpAtom#;reduction
eqExpAtom#; reduction
assignExpAtom#;     reduction
```

```
;#;       move
blockItem#}   reduction
}#}       move
compUnit#EOF        reduction
EOF#EOF       accept
```

4.2.3 测试用例 02

用例的输入文件 02.txt

```
void main(){
   int a, b0, _c;
   a = 1;
   b0 = 2;
   _c = 3;
   return b0 + _c;
}
```

产生的 38lex.txt

```
void    <KW>
main    <IDN>
(       <SE>
)       <SE>
{       <SE>
int     <KW>
a       <IDN>
,       <SE>
b0      <IDN>
,       <SE>
```

```
_c      <IDN>
;       <SE>
a       <IDN>
=       <OP>
1       <INT>
;       <SE>
b0      <IDN>
=       <OP>
2       <INT>
;       <SE>
_c      <IDN>
=       <OP>
3       <INT>
;       <SE>
return <KW>
b0      <IDN>
+       <OP>
_c      <IDN>
;       <SE>
}       <SE>
```

产生的 38gra.txt

```
program#void        reduction
compUnit#void       reduction
funcDef#void reduction
funcType#void       reduction
void#void     move
IDN#IDN       move
```

```
(#(     move
funcFParams#)       reduction
)#)     move
block#{         reduction
{#{     move
blockItem#int           reduction
decl#int        reduction
varDecl#int     reduction
bType#int       reduction
int#intmove
varDef#IDN      reduction
IDN#IDN         move
argVarDef#,     reduction
argVarDecl#,    reduction
,#,         move
varDef#IDN      reduction
IDN#IDN         move
argVarDef#,     reduction
argVarDecl#,    reduction
,#,         move
varDef#IDN      reduction
IDN#IDN         move
argVarDef#;     reduction
argVarDecl#;    reduction
;#;         move
blockItem#IDN           reduction
stmt#IDN        reduction
exp#IDN         reduction
```

```
assignExp#IDN       reduction
eqExp#IDN   reduction
relExp#IDN   reduction
addExp#IDN  reduction
mulExp#IDN  reduction
unaryExp#IDN        reduction
IDN#IDN       move
callFunc#=    reduction
mulExpAtom#=        reduction
addExpAtom#=        reduction
relExpAtom#=        reduction
eqExpAtom#=         reduction
assignExpAtom#=     reduction
=#=     move
eqExp#INT   reduction
relExp#INT   reduction
addExp#INT  reduction
mulExp#INT  reduction
unaryExp#INT        reduction
number#INT  reduction
INT#INT       move
mulExpAtom#;        reduction
addExpAtom#;        reduction
relExpAtom#;reduction
eqExpAtom#; reduction
assignExpAtom#;     reduction
;#;       move
blockItem#IDN       reduction
```

```
stmt#IDN	reduction
exp#IDN	reduction
assignExp#IDN	reduction
eqExp#IDN	reduction
relExp#IDN	reduction
addExp#IDN	reduction
mulExp#IDN	reduction
unaryExp#IDN	reduction
IDN#IDN	move
callFunc#=	reduction
mulExpAtom#=	reduction
addExpAtom#=	reduction
relExpAtom#=	reduction
eqExpAtom#=	reduction
assignExpAtom#=	reduction
=#=	move
eqExp#INT	reduction
relExp#INT	reduction
addExp#INT	reduction
mulExp#INT	reduction
unaryExp#INT	reduction
number#INT	reduction
INT#INT	move
mulExpAtom#;	reduction
addExpAtom#;	reduction
relExpAtom#;	reduction
eqExpAtom#;	reduction
assignExpAtom#;	reduction
```

```
;#;	move
blockItem#IDN	reduction
stmt#IDN	reduction
exp#IDN	reduction
assignExp#IDN	reduction
eqExp#IDN	reduction
relExp#IDN	reduction
addExp#IDN	reduction
mulExp#IDN	reduction
unaryExp#IDN	reduction
IDN#IDN	move
callFunc#=	reduction
mulExpAtom#=	reduction
addExpAtom#=	reduction
relExpAtom#=	reduction
eqExpAtom#=	reduction
assignExpAtom#=	reduction
=#=	move
eqExp#INT	reduction
relExp#INT	reduction
addExp#INT	reduction
mulExp#INT	reduction
unaryExp#INT	reduction
number#INT	reduction
INT#INT	move
mulExpAtom#;	reduction
addExpAtom#;	reduction
relExpAtom#;reduction
```

```
eqExpAtom#; reduction
assignExpAtom#;     reduction
;#;     move
blockItem#return    reduction
stmt#return  reduction
return#return        move
argExp#IDN  reduction
exp#IDN      reduction
assignExp#IDN        reduction
eqExp#IDN   reduction
relExp#IDN   reduction
addExp#IDN  reduction
mulExp#IDN  reduction
unaryExp#IDN        reduction
IDN#IDN      move
callFunc#+   reduction
mulExpAtom#+        reduction
addExpAtom#+        reduction
+#+    move
mulExp#IDN  reduction
unaryExp#IDN        reduction
IDN#IDN      move
callFunc#;     reduction
mulExpAtom#;        reduction
addExpAtom#;        reduction
relExpAtom#;reduction
eqExpAtom#; reduction
assignExpAtom#;     reduction
```

```
;#;       move
blockItem#}   reduction
}#}       move
compUnit#EOF        reduction
EOF#EOF       accept
```

4.2.1 测试用例 07

用例的输入文件 07.txt

```
void main(){
   const int a = 10, b = 5;
   return b;
}
```

产生的 38lex.txt

```
void    <KW>
main    <IDN>
(       <SE>
)       <SE>
{       <SE>
const   <KW>
int     <KW>
a       <IDN>
=       <OP>
10      <INT>
,       <SE>
b       <IDN>
=       <OP>
```

```
5       <INT>
;       <SE>
return <KW>
b       <IDN>
;       <SE>
}       <SE>
```

产生的 38gra.txt

```
program#void        reduction
compUnit#void       reduction
funcDef#void reduction
funcType#void       reduction
void#void     move
IDN#IDN       move
(#(     move
funcFParams#)       reduction
)#)     move
block#{       reduction
{#{     move
blockItem#const     reduction
decl#const    reduction
constDecl#const     reduction
const#const   move
bType#int     reduction
int#intmove
constDef#IDN        reduction
IDN#IDN       move
=#=     move
```

```
constInitVal#INT      reduction
constExp#INT          reduction
assignExp#INT         reduction
eqExp#INT     reduction
relExp#INT    reduction
addExp#INT    reduction
mulExp#INT    reduction
unaryExp#INT          reduction
number#INT    reduction
INT#INT       move
mulExpAtom#,          reduction
addExpAtom#,          reduction
relExpAtom#,reduction
eqExpAtom#, reduction
assignExpAtom#,       reduction
argConst#,    reduction
,#,       move
constDef#IDN          reduction
IDN#IDN       move
=#=     move
constInitVal#INT      reduction
constExp#INT          reduction
assignExp#INT         reduction
eqExp#INT     reduction
relExp#INT    reduction
addExp#INT    reduction
mulExp#INT    reduction
unaryExp#INT          reduction
```

```
number#INT  reduction
INT#INT     move
mulExpAtom#;        reduction
addExpAtom#;        reduction
relExpAtom#;reduction
eqExpAtom#; reduction
assignExpAtom#;     reduction
argConst#;  reduction
;#;     move
blockItem#return    reduction
stmt#return reduction
return#return       move
argExp#IDN  reduction
exp#IDN     reduction
assignExp#IDN       reduction
eqExp#IDN   reduction
relExp#IDN  reduction
addExp#IDN  reduction
mulExp#IDN  reduction
unaryExp#IDN        reduction
IDN#IDN     move
callFunc#;  reduction
mulExpAtom#;        reduction
addExpAtom#;        reduction
relExpAtom#;reduction
eqExpAtom#; reduction
assignExpAtom#;     reduction
;#;     move
```

```
blockItem#}   reduction
}#}     move
compUnit#EOF        reduction
EOF#EOF      accept
```

五. 编译使用说明

5.1 编译说明

本项目是 maven 项目，只要在安装了 maven 的情况下，在工程根目录(pom.xml 所在目录)下执行 `mvn package`，文件将自动编译并打包，编译后的文件都会输出到 target 文件夹下

5.2 使用说明

在打包完成后，进入 target 文件夹，其中的 complier-1.0-SNAPSHOT-jar-with-dependencies.jar 就是带所有依赖的 jar 包，此时执行 `java -jar ./complier-1.0-SNAPSHOT-jar-with-dependencies.jar` 即可执行程序。

六. 贡献说明

任务	贡献者
词法分析器	周翔 卢锐
语法分析器	周翔 向旭
junit 单元检测	周翔 向旭
联合调试	周翔 吕鹏程
开发文档	周翔 吕鹏程
PPT 制作	卢锐