



编译器构造实验实验报告

题目 Title : 编译器构造实验

院系 Department : 计算机学院

专业 Major : 计算机科学与技术

学生姓名 Name : 唐晨轩

学号 Student No. : 19335182

目录

1. 实验要求

2. 提交内容

3. 实验目的

4. 实验内容

1) 编译器总体框架设计

2) 具体设计

(1) 词法分析器

(2) 语法分析器

(3) 中间代码及目标代码生成

3) 结果部分

5. 实验感想

[toc]

一：实验要求

- 一个简单文法的编译器的设计与实现
 - 一个简单文法的编译器前段的设计与实现
 - 定义一个简单程序设计语言文法（包括变量说明语句、算术运算表达式、赋值语句；扩展包括逻辑运算表达式、If语句、While语句等）；
 - 扫描器设计实现；
 - 符号表系统的设计实现；
 - 语法分析器设计实现；
 - 中间代码设计；
 - 中间代码生成器设计实现。

- 一个简单文法的编译器后段的设计与实现
 - 中间代码的优化设计与实现（鼓励）；
 - 目标代码的生成（使用汇编语言描述，指令集自选）；
 - 目标代码的成功运行。

二：提交内容

- 要求以个人为单位，提交压缩包，包括以下内容：
 - 设计报告
 - 源代码压缩包
 - 可执行文件
 - 源码测试文件（待编译的程序，程序必须覆盖所支持的文法单元）
 - 测试输出文件（目标代码文件）
 - readme.txt（程序复现说明书）

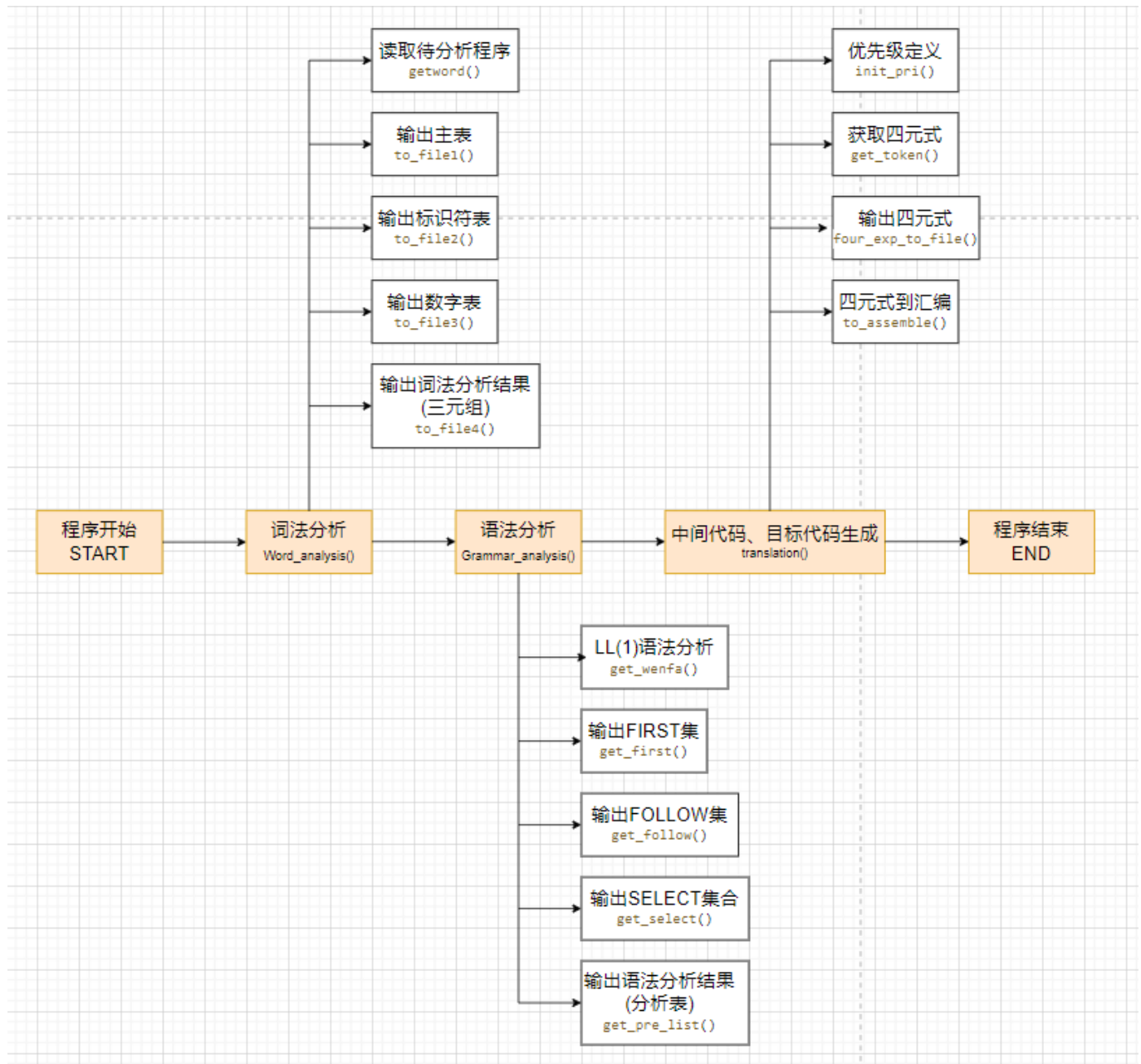
三：实验目的

- 通过编译器相关子系统的设计，进一步加深对编译器构造的理解；
- 培养学生独立分析问题、解决问题的能力，以及系统软件设计的能力；
- 提高程序设计能力、程序调试能力

四：实验内容

1. 编译器总体框架设计

经过多次的考虑和修改，最终确定下来本编译器总体架构的架构示意图如下图所示：



(draw.io文件在../img文件夹下)

- 程序开始：从main.cpp开始运行程序；
- 词法分析：返回词法分析结果true/false；
 - 读取待分析程序：从programe.txt读入待分析程序；
 - 输出主表：输出主表到main_table.txt；
 - 输出标识符表：输出标识符表到id_table.txt；
 - 输出数字表：输出数字表到number_table.txt；
 - 输出词法分析结果(三元式)：输出经词法分析得到存有各词法元素的三元式，存在twox.txt中；
- 语法分析：返回语法分析结果true/false；
 - LL(1)语法分析：从grammar.txt读入语法规则；
 - 输出FIRST集：输出FIRST集到FIRST.txt；
 - 输出FOLLOW集：输出FOLLOW集到FOLLOW.txt；
 - 输出SELECT集：输出SELECT集到SELECT.txt；
 - 输出语法分析结果(分析表)：输出分析表到pre_list.txt，分析过程到process.txt；
- 中间代码、目标代码生成：返回中间代码、目标代码生成结果true/false；
 - 优先级定义：定义运算符等的优先级；

- 获取四元式
- 输出四元式：输出四元式到four_exp.txt;
- 四元式到汇编：输出汇编指令到assemble.txt;
- 程序结束：END

编译器整体围绕 struct.h 文件展开，在 struct.h 文件中，存放了大量全局参数以及自定义的数据类型，比如四元式，数字结构体，词法node等等。

编译器前端大致可分为三个部分：词法分析，语法分析以及中间代码和目标代码生成。

我将词法分析，语法分析以及中间代码和目标代码生成三个部分分别在 word_analysis.h , grammar_analysis.h , translation.h 中编写，这样使得程序整体更加有序，也会减少不同任务之中可能存在的一些冲突隐患。总的来说降低了编程的复杂性。

词法分析器将从 programe.txt 中读入 string 流，将分析结果保存在如下自定义结构体中：

```
//词法
typedef struct node{
    string value;
    string type;
    int number;
}pro;
vector<pro> watest;
```

语法分析器使用的是LL(1)分析法，将语法动作插入到产生式中，输出 FIRST , FOLLOW , SELECT 集和具体分析过程。

LL(1)分析法负责识别结构较为简单，但是需要处理较多细节的部分，如算数表达式，逻辑表达式。由于此处编码时可能涉及到较多的修改，为了降低修改语法所带来的大量代码修改。在此处实现了LL(1)分析表的自动生成，修改语法仅需要修改储存文法的文件即可，不需要对分析器本身进行修改。而且，分析表的自动生成可以实现复杂的算数逻辑表达式，能够使语言具有更强的可用性。在语义分析上采用了属性文法的方法，在归约时执行语义动作。

编译器后端包括中间代码生成和目标代码生成。

后端大致思路为，将前端四元式用接口函数转换为后端待处理四元式的数据结构。接下来目标代码生成算法处理此序列得到目标汇编指令。其中，目标代码生成采用多寄存器分配方法，首先分配寄存器，处理操作数寻址方式，并生成对应的目标代码，然后生成运算部分的目标代码。处理了很多算法细节使算法更加健壮完备，生成的代码是基于Intel X86的汇编指令。

2. 具体设计

语法规则如下：

```
<函数定义> -> <类型> <变量> ( <参数声明> ) { <函数块> }
<类型> -> type
<变量> -> <标志符> <数组下标>
<标志符> -> id
<数组下标> -> [ <因式> ] | @
```

```

<因式> -> ( <表达式> ) | <变量> | <数字>
<数字> -> number
<表达式> -> <因子> <项>
<因子> -> <因式> <因式递归>
<因式递归> -> * <因式> <因式递归> | / <因式> <因式递归> | % <因式> <因式递归> | @
<项> -> + <因子> <项> | - <因子> <项> | @
<参数声明> -> <声明> <声明闭包> | @
<声明> -> <类型> <变量> <赋初值>
<赋初值> -> = <右值> | @
<右值> -> <表达式> | { <多个数据> }
<多个数据> -> <数字> <数字闭包>
<数字闭包> -> , <数字> <数字闭包> | @
<声明闭包> -> , <声明> <声明闭包> | @
<函数块> -> <声明语句闭包> <函数块闭包>
<声明语句闭包> -> <声明语句> <声明语句闭包> | @
<声明语句> -> <声明> ;
<函数块闭包> -> <赋值函数> <函数块闭包> | <for循环> <函数块闭包> | <条件语句> <函数块闭包> | <函数返回> <函数块闭包> | <while循环> <函数块闭包> | @
<赋值函数> -> <变量> <赋值或函数调用> | cin <cin闭包> ; | cout <cout闭包> ;
<cin闭包> -> >> <表达式> <cin闭包> | @
<cout闭包> -> << <表达式> <cout闭包> | @
<赋值或函数调用> -> = <右值> ; | ( <参数列表> ) ;
<参数列表> -> <参数> <参数闭包>
<参数闭包> -> , <参数> <参数闭包> | @
<参数> -> <标志符> | <数字>
<for循环> -> for ( <赋值函数> ; <逻辑表达式> ; <后缀表达式> ) { <函数块> }
<while循环> -> while ( <逻辑表达式> ) { <函数块> }
<逻辑表达式> -> <表达式> <逻辑运算符> <表达式>
<逻辑运算符> -> < | > | == | != | >= | <=
<后缀表达式> -> <变量> <后缀运算符>
<后缀运算符> -> ++ | --
<条件语句> -> if ( <逻辑表达式> ) { <函数块> } <否则语句>
<否则语句> -> else { <函数块> } | @
<函数返回> -> return <因式> ;

```

词法分析可识别标识符**符号表**如下：

```

//保留字
string key_word[n_key] = {"auto", "enum", "restrict", "unsigned", "break",
                          "extern", "return", "void", "case", "float",
                          "short", "volatile", "char", "for", "signed",
                          "while", "const", "goto", "sizeof", "_Bool",
                          "continue", "if", "static", "_Complex", "default",
                          "inline", "struct", "_Imaginary", "do", "int",
                          "switch", "double", "long", "typedef", "else",
                          "register", "union", "scanf", "printf", "cin",
                          "cout"};

//操作符
string oper[] = {"+", "-", "*", "/", "^",
                 "<", ">", "++", "--", "=",

```

```

        "!=", "/=", ">=", "<=", "<<",
        ">>", ">>=", "<<=", "%", "&",
        "^"
    };

};

//界符
char bound[] = {',', ';', '(', ')', '[', ']', '{', '}'};

//标识符

//数字
int my_stoi(string s){                                //get int
    int ans = 0;
    for(int i=0; i<s.size(); i++) ans = ans * 10 + s[i] - '0';
    return ans;
}

double my_stof(string s){                                //get double
    long long ans = 0;
    int fd = -1, fe = -1;
    for(int i=0; i<s.size(); i++){
        if(s[i] == '.'){
            fd = i;
            continue;
        }
        if(s[i] == 'e'){
            fe = i;
            continue;
        }
        ans = ans * 10 + s[i] - '0';
    }
    if(fd != -1 && fe == -1) return double(ans)/(pow(10, s.size() - fd - 1));
    else if(fd == -1 && fe != -1){
        long long temp = ans % (long long)pow(10, s.size() - fe - 1);    //得到e
        后的数字
        ans /= pow(10, s.size() - fe - 1);                                //得到e前的数字
        return double(ans*pow(10, temp));
    }
    else{
        long long temp = ans % (long long)pow(10, s.size() - fe - 1);    //得到e
        后的数字
        cout<<ans<<" "<<s.size() - fe - 1<<" "<<temp<<endl;
        ans /= pow(10, s.size() - fe - 1);                                //得到e
        前的数字
        cout<<ans<<endl;
        long long tt = (s.size() - fd - 1) - (s.size() - fe - 1) - 1;    //得到.
        后的数字
        cout<<tt<<endl;
        return (double)ans/pow(10, tt) * (pow(10, temp));
    }
}

```

目标代码指令集介绍如下：

对应部分 X86 指令

原语言	目标代码指令集
=	MOV
cin	IN
cout	OUT
+	MOV
	ADD
	MOV
-	MOV
	SUB
	MOV
*	MOV
	MUL
	MOV
/	MOV
	DIV
	MOV
%	MOV
	MOD
	MOV
>	CMP
	JG
	MOV
	MOV
<	CMP
	JNG
	MOV
	MOV
J=	CMP
	JZ

具体实现见 translation.h 文件中的 to_assemble() 函数。

2.1 词法分析器

2.1.1 功能

词法分析器主要功能是为语法分析器提供 TOKEN 串。该部分相关代码在 word_analysis.h。词法分析器将准备编译的源代码作为输入，实现对语句的分词功能。根据终结状态将分词划分为六类：保留字(关键字)、标识符、界符、常数常量、字符常量和字符串常量。最后再生成对应的 TOKEN 串。将结果存储在准备好的相应的数据结构中。

2.2.2 数据结构

词法分析相关数据结构如下：

```
const int maxn = 1002;
const int n_key = 41;           //保留字数目
const int n_oper = 21;          //操作符数目
char c;

//保留字
string key_word[n_key] = {"auto", "enum", "restrict", "unsigned", "break",
                          "extern", "return", "void", "case", "float",
                          "short", "volatile", "char", "for", "signed",
                          "while", "const", "goto", "sizeof", "_Bool",
                          "continue", "if", "static", "_Complex", "default",
                          "inline", "struct", "_Imaginary", "do", "int",
                          "switch", "double", "long", "typedef", "else",
                          "register", "union", "scanf", "printf", "cin",
                          "cout"};

};

//操作符
string oper[] = {"+", "-", "*", "/", "^",
                 "<", ">", "++", "--", "==",
                 "!=", "/", ">=", "<=", "<<",
                 ">>", ">>=", "<<=", "%", "&",
                 "^"};

};

//界符
char bound[] = {',', ';', '(', ')', '[', ']', '{', '}'};

//词结构体
struct Word{
    int id;
    string value;
};

//数字结构体
struct Num{
    int id;
    int vi;
    double vd;
```

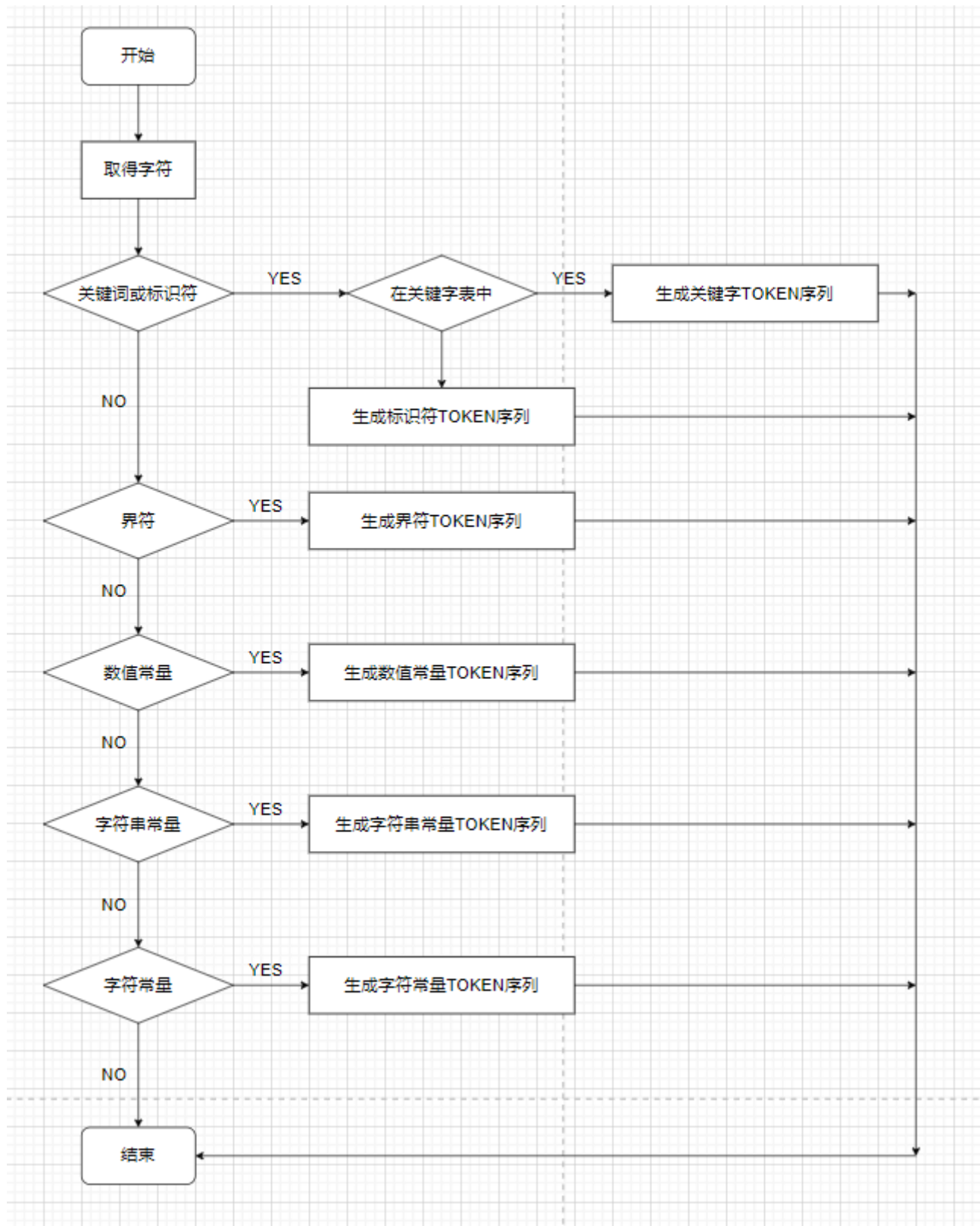
```
};

Num n[maxn];           //数字
Word w[maxn];          //词
map<string, int> m;      //标识符
int f = 0, ff = 0;

//词法
typedef struct node{
    string value;
    string type;
    int number;
}pro;
vector<pro> watest;
```

2.2.3 词法分析器的具体流程

词法分析器的具体流程如下：



对应的主体代码为：

代码中有详细注释，标注了判别判断分词是否属于关键字或标识符，常数常量，界符常量，字符串常量和字符常量的具体思路。

```

void getword(){
    freopen("./input/program.txt", "r", stdin);           //重定向

    string str = "";                                       //当前字符串
  
```

```

int flag, is_end;
is_end = scanf("%c", &c);
while(is_end != EOF){                                     //遍历输入文件
    flag = 0;
    if(isspace(c)){                                       //如果当前字符是空格
        while(isspace(c) && is_end != EOF){               //滤空格
            is_end = scanf("%c", &c);
        }
    }
    if(isalpha(c) || c == '_'){                           //如果当前字符以字母或下划线
        while(isalnum(c) || c == '_' || isalpha(c)){
            str += c;                                     //当前字符串
            is_end = scanf("%c", &c);
        }
        w[++f].value = str;
        if(is_key(str)){                                   //当前字符串为保留字
            w[f].id = 1;
            if(str == "int" || str == "float" || str == "long" || str ==
"double" || str == "char" || str == "bool")
                watest.push_back(pro{str, "type", 1});
            else watest.push_back(pro{str, str, 1});
        }
        else{                                             //当前字符串为标识符
            w[f].id = 2;
            m[str] ++;
            watest.push_back(pro{str, "id", 2});
        }
        str = "";
        flag = 1;
    }
    if(isdigit(c)){                                       //当前字符为数字
        int fd = 0, fe = 0, fflag = 0;
        while(isdigit(c) || c == '.' || c == 'e'){
            if(c == '.') fd ++;
            if(c == 'e') fe ++;
            if(c == '.' && fe) fflag = 1;
            str += c;
            is_end = scanf("%c", &c);
        }
        if(str[str.size()-1] == '.' || str[str.size()-1] == 'e') fflag = 1;
        if(fflag){
            cout<<"错误-->不合法数字: "<<str<<endl;      //忽略不合法输入
        }
        else{
            watest.push_back(pro{str, "number", 3});
            if(!fd && !fe){
                n[++ff].vi = my_stoi(str);
                n[ff].id = 1;
            }
            else{
                n[++ff].vd = my_stof(str);
                n[ff].id = 2;
            }
        }
    }
}

```

```

        w[++f].id = 3; w[f].value = str;
    }
    str = "";
    flag = 1;
}
if(is_bound(c)){ //当前字符为界符
    str += c;
    w[++f].value = str;
    w[f].id = 4;

    watest.push_back(pro{str, str, 4});

    is_end = scanf("%c", &c);
    str = "";
    flag = 1;
}
string ss = "";
ss += c;
if(is_oper(ss)){ //当前字符为操作符
    while(is_oper(ss)){
        str += c;
        is_end = scanf("%c", &c);
        ss += c;
    }
    if(is_oper(str)){
        w[++f].value = str;
        w[f].id = 5;

        watest.push_back(pro{str, str, 5});
    }
    str = "";
    flag = 1;
}
if(!flag && is_end != EOF){
    str += c;
    w[++f].value = str;
    w[f].id = 6;

    watest.push_back(pro{str, str, 6});

    is_end = scanf("%c", &c);
    str = "";
}
}
freopen("CON", "r", stdin); //关闭重定向,恢复标准
}

```

2.2 语法分析器

2.2.1 功能

输入为词法分析器产生的分析结果，已经存储在了相应的数据结构中。该部分相关代码在 grammar_analysis.h。通过对文法的解析，自动生成First, Follow, Select等集合，进而有Select集合自动构建LL(1)分析表，根据自动生成的LL(1)分析表，进行语法分析，以及为后续的四元式产生及目标代码生成做前置准备工作。语法分析的同时可以利用符号表中的信息进行类型检查。

2.2.2 数据结构

```
//语法
typedef pair<string, string> P;
map<P, string> pre_list;
typedef set<string> Sets;
map<string, Sets> first, follow, wenfa, select;      //first, follow
Sets Term, Nterm;                                //终极符, 非终极符
string Start;
```

2.2.3 算法

求推出空的非终结符集合 VNULL (也就是待分析部分)

算法思想:

非终结符 X 属于集合 VNULL, 当且仅当:

基本情况:

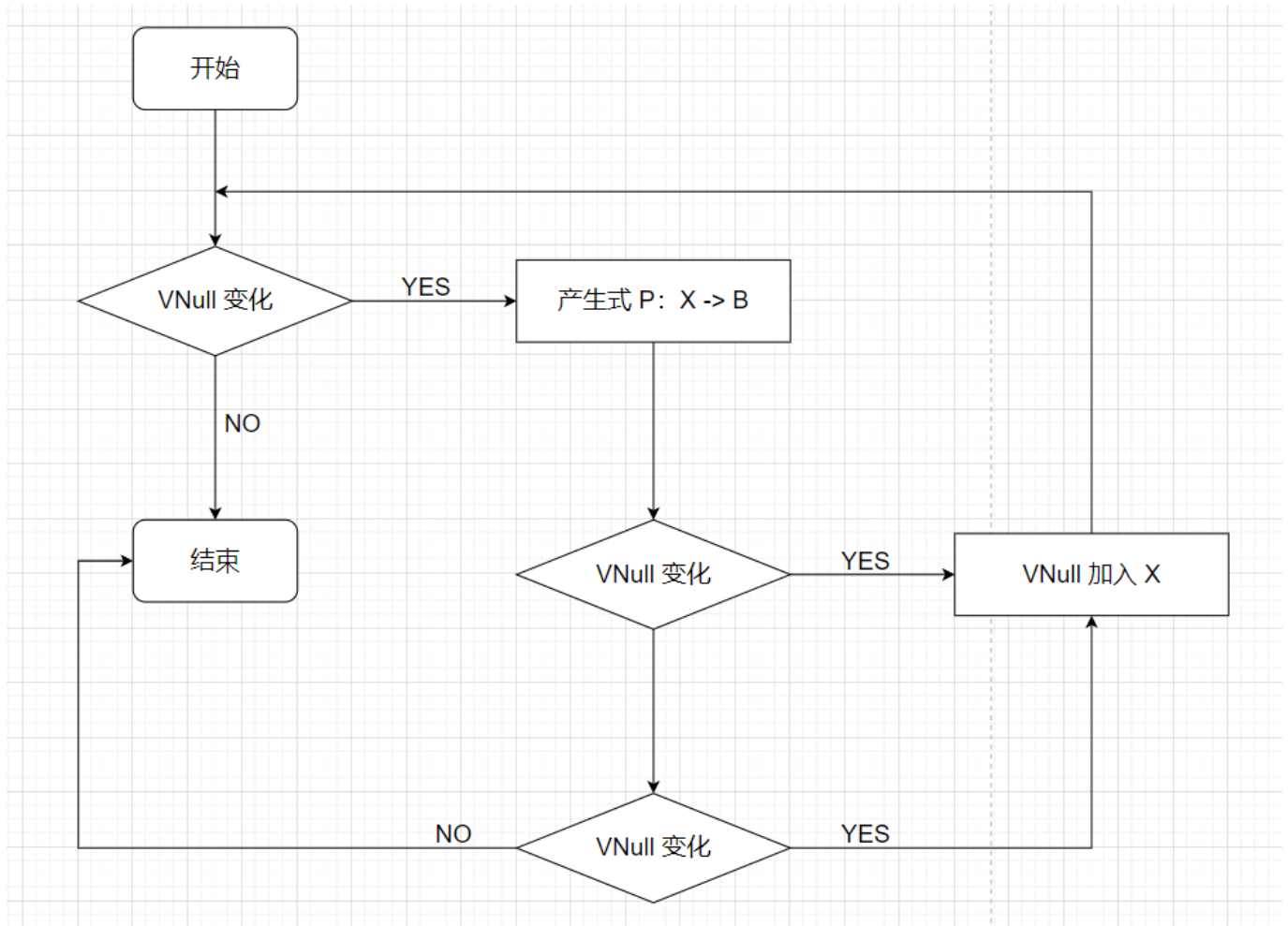
$X \rightarrow \epsilon$

归纳情况:

$X \rightarrow Y_1 \dots Y_n$

Y_1, \dots, Y_n 是 n 个非终结符, 且都属于 VNULL 集

语法分析器的具体流程演示如下:



求 First 集合:

算法思想:

$X \rightarrow a$

$FIRST(X) \cup = \{a\}$

归纳情况:

$X \rightarrow Y_1 Y_2 \dots Y_n$

$FIRST(X) \cup = FIRST(Y_1)$

if Y_1 NULLABLE, $FIRST(X) \cup = FIRST(Y_2)$

if Y_1, Y_2 NULLABLE, $FIRST(X) \cup = FIRST(Y_3)$

伪代码:

```

NULLABLE = {};
while (NULLABLE is still changing)
    foreach (production p:  $X \rightarrow \beta$ )
        if ( $\beta == \text{空}$ )
            NULLABLE  $\cup = \{X\}$ 
        if ( $\beta == Y_1 \dots Y_n$ )

```

```
if (Y1属于NULLABLE && ... && Yn属于NULLABLE)
    NULLABLE U = {X}
```

具体代码如下：

```
void get_first(){
    int flag = 1;
    Sets tt;
    while(flag){
        flag = 0;
        for(map<string, Sets>::iterator it = wenfa.begin(); it != wenfa.end(); it
++){ //所有非终结符
            string X = it->first; //对于非终结符X

            if(wenfa[X].count("@") && !first[X].count("@")){ //包含@, 加入FIRST
                first[X].insert("@");
                flag = 1;
            }

            for(Sets::iterator f = wenfa[X].begin(); f != wenfa[X].end(); f++){
//遍历s所有产生式
                string foo = *f, str = "", last = "";
//对于产生式X->Y1Y2Y3...

                int i = 0;
                while(foo[i] != ' ' && i < foo.size()) str += foo[i ++]; //找到
Y1

                if(str == "") continue;

                if(!(str[0] == '<' && str[str.size()-1] == '>')){ //Y1是终结符
                    if(!first[X].count(str)){
                        first[X].insert(str);
                        flag = 1;
                    }
                    if(str != "@") continue; //是终结符但不是@
                }
                else{ //Y1是非终结符
                    for(Sets::iterator ii = first[str].begin(); ii !=
first[str].end(); ii++){
                        if(*ii != "@" && !first[X].count(*ii)){
                            first[X].insert(*ii);
                            flag = 1;
                        }
                    }
                    if(!first[str].count("@")) continue;
                }

                for( ; i<foo.size(); i++){
                    if(foo[i] != ' '){
                        last = str;
                        str = "";
                        while(foo[i] != ' ' && i < foo.size()) str += foo[i ++];
```



```

        if(last == "@" || first[last].count("@")){
            for(Sets::iterator ii = first[str].begin(); ii !=
first[str].end(); ii ++){
                if(*ii != "@" && !first[X].count(*ii)){
                    first[X].insert(*ii);
                    flag = 1;
                }
            }
        }
        else break;
    }
}

if(i >= foo.size() && (str == "@" || first[str].count("@"))){
//Y1Y2Y3...Yn的FIRST都可产生@
    if(!first[X].count("@")){
        first[X].insert("@");
        flag = 1;
    }
}
}
}
}

//输出FIRST集
fstream out;
out.open("./output/FIRST.txt", ios::out);          //输出保存FIRST
for(map<string, Sets>::iterator t = first.begin(); t != first.end(); t ++){
    out<<"FIRST("<<t->first<<"): ";
    for(Sets::iterator it = t->second.begin(); it != t->second.end(); it ++){
        out<<" "<<*it;
    }
    out<<endl;
}
out.close();
}

```

求 Follow 集合:

伪代码:

```

foreach (nonterminal N)
    FOLLOW(N) = {}
while(some set is changing)
    foreach (production p: N-> $\beta_1 \dots \beta_n$ )
        temp = FOLLOW(N)
        foreach ( $\beta_i$  from  $\beta_n$  downto  $\beta_1$ ) // 逆序!
            if ( $\beta_i == a \dots$ )
                temp = {a}
            if ( $\beta_i == M \dots$ )
                FOLLOW(M)  $\cup$  temp
                if (M is not NULLABLE)

```

```
temp = FIRST(M)
else temp U= FIRST(M)
```

具体代码如下：

```
void get_follow(){
    int flag = 1;
    int cnt;
    string str, foo, s, last, tr;
    Sets tt;

    follow[Start].insert("#"); //把#加入follow(Start)

    while(flag){
        flag = 0;
        for(map<string, Sets>::iterator it = wenfa.begin(); it != wenfa.end(); it
        ++){
            str = it->first; //对于
            FOLLOW(str)

            for(Sets::iterator ti = it->second.begin(); ti != it->second.end(); ti
            ++){
                foo = *ti; //对于产生式str-
                >foo即str->ABC

                int len = foo.size(), i = 0;
                s = "";
                while(foo[i] != ' ' && i < len){ s += foo[i ++]; }
                if(s == "") continue;

                for( ; i<len; i++){
                    if(foo[i] != ' '){
                        last = s;
                        s = "";
                        while(foo[i] != ' ' && i < len){ s += foo[i ++]; }
                        if(last[0] != '<' || last[last.size()-1] != '>') continue;

                        //B是终结符，往后串

                        if(s[0] != '<' || s[s.size()-1] != '>'){ //C是终结符
                            if(s != "@" && !follow[last].count(s)){
                                follow[last].insert(s);
                                flag = 1;
                            }
                            if(s != "@") continue;
                        }
                        else{ //C是非终结符，先把first(C) - {@}加入
                            for(Sets::iterator ii = first[s].begin(); ii !=
                            first[s].end(); ii ++){
                                if(*ii != "@" && !follow[last].count(*ii)){
                                    follow[last].insert(*ii);
                                    flag = 1;
                                }
                            }
                        }
                    }
                }
            }
        }
    }
}
```

```

    }
}

if(first[s].count("@") || s == "@"){ //C->*@,就看后面的
    string next = s;
    int k = i;
    for( ; k < len; k++){
        if(foo[k] != ' '){
            next = "";
            while(foo[k] != ' ' && k < len){ next += foo[k]
++]; }

        if(next[0] != '<' || next[next.size()-1] !=
'>'){ //next是终结符

            if(next != "@" &&
!follow[last].count(next)){
                follow[last].insert(next);
                flag = 1;
            }
            if(next != "@") break;
        }
        else{ //next是非终结符
            for(Sets::iterator ii =
first[next].begin(); ii != first[next].end(); ii++){
                if(*ii != "@" &&
!follow[last].count(*ii)){
                    follow[last].insert(*ii);
                    flag = 1;
                }
            }
            if(!first[next].count("@")) break;
        }
    }
}
if(k >= len && (next == "@" ||
first[next].count("@"))){ //对于str->ABC,C->*@,则将follow(str) - {@}加到
follow(B)中
    for(Sets::iterator ii = follow[str].begin(); ii !=
follow[str].end(); ii++){
        if(!follow[last].count(*ii)){
            follow[last].insert(*ii);
            flag = 1;
        }
    }
}
}
}

if(i >= len && (s[0] == '<' && s[s.size()-1] == '>')){ //对于
str->ABC,则将follow(str) - {@}加到follow(C)中
    for(Sets::iterator ii = follow[str].begin(); ii !=
follow[str].end(); ii++){
        if(!follow[s].count(*ii)){
            follow[s].insert(*ii);

```

```

        flag = 1;
    }
}

//输出FOLLOW集
fstream out;
out.open("./output/FOLLOW.txt", ios::out);
for(map<string, Sets>::iterator t = follow.begin(); t != follow.end(); t++){
    out<<"FOLLOW("<<t->first<<"): ";
    for(Sets::iterator it = t->second.begin(); it != t->second.end(); it++){
        out<<" "<<*it;
    }
    out<<endl;
}
out.close();
}

```

求 Select 集合:

伪代码:

```

foreach (production p)
    FIRST_S(p) = {}
calculte_Select(production p: N-> $\beta_1$  ...  $\beta_n$ )
    foreach ( $\beta_i$  from  $\beta_1$  to  $\beta_n$ )
        if ( $\beta_i == a$  ...)
            Select(p)  $\cup = \{a\}$ 
            return;
        if ( $\beta_i == M$  ...)
            Select(p)  $\cup = FIRST(M)$ 
            if (M is not NULLABLE)
                return;
    Select(p)  $\cup = FOLLOW(N)$ 

```

具体代码如下:

```

void get_select(){
    int flag = 1;
    string str, foo, s, fxx;
    Sets tt;
    for(map<string, Sets>::iterator it = wenfa.begin(); it != wenfa.end(); it++){
        str = it->first; //对于str

        for(Sets::iterator ti = it->second.begin(); ti != it->second.end(); ti++){

```

```

        foo = *ti;
        fxx = str + " " + foo;                                //对于select(str->foo)

        tt.clear();
        int len = foo.size();
        for(int i=0; i<len; i++){
            if(foo[i] != ' '){
                s = "";
                while(foo[i] != ' ' && i < len){ s += foo[i ++]; }
                if(s[0] != '<' || s[s.size()-1] != '>'){ //s是终结符
                    if(s != "@"){
                        tt.insert(s);
                        break;
                    }
                }else{
                    for(Sets::iterator ii = first[s].begin(); ii !=
first[s].end(); ii ++){
                        if(*ii != "@") tt.insert(*ii);
                    }
                    if(!first[s].count("@")) break;
                }
            }
        }
        if(s == "@" || first[s].count("@")){
            set_union(select[fxx].begin(), select[fxx].end(),
follow[str].begin(), follow[str].end(), inserter(select[fxx],
select[fxx].begin()));
            set_union(select[fxx].begin(), select[fxx].end(), tt.begin(),
tt.end(), inserter(select[fxx], select[fxx].begin()));
        }
        else set_union(tt.begin(), tt.end(), select[fxx].begin(),
select[fxx].end(), inserter(select[fxx], select[fxx].begin()));
    }
}

//输出SELECT集
fstream out;
out.open("./output/SELECT.txt", ios::out);
for(map<string, Sets>::iterator t = select.begin(); t != select.end(); t ++){
    out<<"SELECT("<<t->first<<"): ";
    for(Sets::iterator it = t->second.begin(); it != t->second.end(); it ++){
        out<<" "<<*it;
        out<<endl;
    }
    out.close();
}

```

构建分析表：

具体代码如下：

```

void get_pre_list(){
    get_ch();
    pre_list.clear();
    string str, foo;
    for(map<string, Sets>::iterator it = select.begin(); it != select.end(); it
    ++){
        int i = 0;
        str = foo = "";
        while(it->first[i] != ' ' && i < it->first.size()) str += it->first[i ++];
        foo = it->first.substr(i+1, it->first.size() - i - 1);

        for(Sets::iterator ti = it->second.begin(); ti != it->second.end(); ti ++){
            pre_list[P(str ,*ti)] = foo;
        }
    }
    fstream out;
    out.open("./output/pre_list.txt", ios::out);

    out<<"          ";
    for(Sets::iterator ti = Term.begin(); ti != Term.end(); ti ++){
        out<<setw(8)<<*ti;
    }
    out<<endl;
    for(Sets::iterator it = Nterm.begin(); it != Nterm.end(); it ++){
        out<<setw(8)<<*it;
        for(Sets::iterator ti = Term.begin(); ti != Term.end(); ti ++){
            out<<setw(8)<<(pre_list[P(*it, *ti)] == "" ? "$" : pre_list[P(*it,
*ti)]));
        }
        out<<endl;
    }
    out.close();
}

```

最后是LL(1) 分析过程:

具体代码如下:

```

bool analysis(ofstream &out){                //分析过程
    vector<string> p;
    string t, foo, str, fxx;

    p.push_back("#");                //预处理
    p.push_back(Start);
    watest.push_back(pro{"#", "#", 0});

    out<<"-----\n";
    out<<"  步骤 |    当前栈顶    |    当前串首    |    推导所用产生式\n";
}

```

```

    out<<"-----\n";
    int step = 1, pos = 0;
    while(!p.empty() && pos < watest.size()){
        out<<setw(6)<<(step++)<<setw(18)<<p.back()<<setw(19)<<watest[pos].type;
        if(p.back() == "#" && watest[pos].type == "#"){
            out<<"    "<<"接受"<<endl;
            return true;
        }

        if(p.back() == watest[pos].type){
            out<<"    "<<"匹配"<<watest[pos].type<<" "<<"匹配"<<endl;
            p.pop_back();
            pos++;
        }
        else{
            t = pre_list[P(p.back(), watest[pos].type)];
            if(t == "") return false;
            out<<"    "<<p.back()<<" -> "<<t<<endl;
            if(t == "@") t = "";

            p.pop_back();

            int i = t.size()-1;
            for( ; i >= 0; i--){
                if(t[i] != ' '){
                    foo = "";
                    while(t[i] != ' ' && i >= 0) foo += t[i--];
                    reverse(foo.rbegin(), foo.rend());
                    p.push_back(foo);
                }
            }
        }
    }
    return false;
}

```

2.3 中间代码及目标代码生成

2.3.1 功能

通过语法分析中自动生成的 LL(1) 分析表，逆序压栈，当遇到语义动作的非终结符时，执行相应的语义动作，同时将产生的四元式输出并存储到 `vector<Four_exp>` 的结构中，作为下一阶段目标代码生成的输入部分。

目标代码生成模块将经过四元式作为输入，可以生成表达式语句、条件语句 if-else、循环语句 while 和跳转语句 goto 的目标代码（汇编语言），该部分相关代码在 `translation.h`。

2.3.2 数据结构

```

//翻译
int cnt = 0;
pro now, last;
vector<string> var;
struct Four_exp{    //四元式结构体
    string op;
    string r1, r2;
    string left;
};
vector<Four_exp> four_exp, assemble;    //四元式表, 汇编指令表
int cnt_temp = 0;
map<string, int> pri;    //优先级数组

//翻译
void init_pri(){    //优先级定义
    pri["("] = 10;
    pri["++"] = pri["--"] = 9;
    pri["*"] = pri["/"] = pri["%"] = 8;
    pri["+"] = pri["-"] = 7;
    pri[">>"] = pri["<"] = pri[">="] = pri["<="] = 6;
    pri["!="] = pri["=="] = 5;
    pri["&&"] = 4;
    pri["||"] = 3;
    pri["="] = 2;
    pri[")"] = pri["@"] = 1;
}

```

2.3.3 算法

产生四元式:

具体代码如下:

```

void get_token(){    //获取四元式
    last = now;
    now = watest[cnt ++];
}

bool expect(string Expect){    //匹配函数
    if(now.type == Expect || now.value == Expect){
        get_token();
        return true;
    }
    else return false;
}

string itos(int x){    //int to string
    stringstream ss;
    ss<<x;
    return ss.str();
}

```



```

string Caculate(string stop){ //表达式
    int bra = 0;
    string op;
    string arg1, arg2, t = "";
    string v;
    stack<string> num;
    stack<string> opr;
    opr.push("@");
    while(true) {
        v = now.value;
        //检验表达式是否结束
        if(v == "(") bra--;
        if(v == ")") bra++;
        if(bra > 0 || expect(stop)) v = "@";

        //表达式处理
        if(v != "@" && (now.type == "id" || now.type == "number")) { //当为变量或常
量时
            num.push(v);
            if(expect("id")) t = "";
            else if(expect("number")) t = "";
        }
        else { //当为运算符时
            op = opr.top();
            while(pri[v] <= pri[op] && !(op == "(" && v != "))") {
                if(op == "@" && v == "@"){
                    return num.top();
                }
                opr.pop();

                if(op == "(" && v == ")") {
                    break;
                }
                else if(op == "++" || op == "--") { //当为单目运算符
                    arg1 = num.top(); num.pop();
                    four_exp.push_back(Four_exp{op, arg1, "_", "t" + itos(cnt_temp
++))});
                }
                else { //当为双目运算符
                    arg2 = num.top(); num.pop();
                    arg1 = num.top(); num.pop();

                    four_exp.push_back(Four_exp{op, arg1, arg2, "t" +
itos(cnt_temp ++))});
                }

                num.push("t" + itos(cnt_temp - 1));
                op = opr.top();
            }
            if(v != ")" && v != "@") opr.push(v);
            expect(v);
        }
    }
}

```

```

}

void fuzhi(pro left, string stop){    //赋值语句
    expect("=");
    string tt = Caculate(stop);
    four_exp.push_back(Four_exp{"=", tt, "_", left.value});
}

bool body(){    //函数块
    while(true){
        if(expect("type")){            //声明语句
            if(expect("id")){
                var.push_back(last.value);
                expect(";");
            }
        }
        else if(expect("cin")){
            while(expect(">>") && expect("id")) four_exp.push_back(Four_exp{"cin",
            "_", "_", last.value});
            expect(";");
        }
        else if(expect("cout")){
            while(expect("<<") && expect("id"))
four_exp.push_back(Four_exp{"cout", "_", "_", last.value});
            expect(";");
        }
        else if(expect("id")){            //赋值语句
            // if(find(var.begin(), var.end(), now.value) == var.end()){
            //     cout<<"Variable"<<now.value<<"is not declare in here! "<<endl;
            //     return false;
            // }
            fuzhi(last, ";");
        }
        else if(expect("if") && expect("(")){
            string tt = Caculate(")");
            expect("{");
            four_exp.push_back(Four_exp{"J=", tt, "1", "(" +
itos(four_exp.size()+2) + ")}");
            four_exp.push_back(Four_exp{"J", "_", "_", ""});
            int ad = four_exp.size() - 1;
            body();
            if(expect("else") && expect("{")){
                four_exp.push_back(Four_exp{"J", "_", "_", ""});
                int sd = four_exp.size() - 1;
                four_exp[ad].left += "(" + itos(four_exp.size()) + " ";
                body();
                four_exp[sd].left += "(" + itos(four_exp.size()) + " ";
            }
            else four_exp[ad].left += "(" + itos(four_exp.size()) + " ";
        }
        else if(expect("while") && expect("(")){
            string tt = Caculate(")");
            expect(")");
            expect("{");

```

```

        four_exp.push_back(Four_exp{"J=", tt, "1", "(" +
itos(four_exp.size()+2) + ")"});
        four_exp.push_back(Four_exp{"J", "_", "_", ""});
        int ad = four_exp.size() - 1;
        body();
        four_exp.push_back(Four_exp{"J", "_", "_", "(" + itos(ad - 1) + ")"});
        four_exp[ad].left += "(" + itos(four_exp.size()) + ")";
    }
    else if(expect("for") && (expect("("))) {
        expect("id");
        //         if(find(var.begin(), var.end(), now.value) == var.end()){
        //             cout<<"Variable"<<now.value<<"is not declare in here! "<<endl;
        //             return false;
        //         }
        fuzhi(last, ";");

        string tt = Caculate(";");
        four_exp.push_back(Four_exp{"J=", tt, "1", "(" +
itos(four_exp.size()+3) + ")"});

        int ft = four_exp.size() + 2;
        expect("id");
        //         if(find(var.begin(), var.end(), now.value) == var.end()){
        //             cout<<"Variable"<<now.value<<"is not declare in here! "<<endl;
        //             return false;
        //         }
        fuzhi(last, ")");

        body();
        four_exp.push_back(Four_exp{"J", "_", "_", "(" + itos(ft) + ")"});

    }
    else {
        expect("}");
        return true;
    }
}
return false;
}

```

生成目标代码:

```

void to_assemble(){    //四元式到汇编
    int fxx = 0;
    int n = four_exp.size();
    int cnt = 0, temp = 0;
    for(int i=0; i<n; i++){
        if(four_exp[i].op == "="){
            assemble.push_back(Four_exp{"MOV", four_exp[i].left, four_exp[i].r1,
            "_"});
        }
        else if(four_exp[i].op == "cin"){

```

```

        assemble.push_back(Four_exp{"IN", four_exp[i].left, "_", "_});
    }
    else if(four_exp[i].op == "cout"){
        assemble.push_back(Four_exp{"OUT", four_exp[i].left, "_", "_});
    }
    else if(four_exp[i].op == "+"){
        assemble.push_back(Four_exp{"MOV", "R" + itos(temp), four_exp[i].r1,
"_});
        assemble.push_back(Four_exp{"ADD", "R" + itos(temp), four_exp[i].r2,
"_});
        assemble.push_back(Four_exp{"MOV", four_exp[i].left, "R" + itos(temp),
"_});
        temp ++;
        cnt += 2;
    }
    else if(four_exp[i].op == "-"){
        assemble.push_back(Four_exp{"MOV", "R" + itos(temp), four_exp[i].r1,
"_});
        assemble.push_back(Four_exp{"SUB", "R" + itos(temp), four_exp[i].r2,
"_});
        assemble.push_back(Four_exp{"MOV", four_exp[i].left, "R" + itos(temp),
"_});
        temp ++;
        cnt += 2;
    }
    else if(four_exp[i].op == "*"){
        assemble.push_back(Four_exp{"MOV", "R" + itos(temp), four_exp[i].r1,
"_});
        assemble.push_back(Four_exp{"MUL", "R" + itos(temp), four_exp[i].r2,
"_});
        assemble.push_back(Four_exp{"MOV", four_exp[i].left, "R" + itos(temp),
"_});
        temp ++;
        cnt += 2;
    }
    else if(four_exp[i].op == "/"){
        assemble.push_back(Four_exp{"MOV", "R" + itos(temp), four_exp[i].r1,
"_});
        assemble.push_back(Four_exp{"DIV", "R" + itos(temp), four_exp[i].r2,
"_});
        assemble.push_back(Four_exp{"MOV", four_exp[i].left, "R" + itos(temp),
"_});
        temp ++;
        cnt += 2;
    }
    else if(four_exp[i].op == "%"){
        assemble.push_back(Four_exp{"MOV", "R" + itos(temp), four_exp[i].r1,
"_});
        assemble.push_back(Four_exp{"MOD", "R" + itos(temp), four_exp[i].r2,
"_});
        assemble.push_back(Four_exp{"MOV", four_exp[i].left, "R" + itos(temp),
"_});
        temp ++;
        cnt += 2;
    }

```

```

    }
    else if(four_exp[i].op == ">"){
        assemble.push_back(Four_exp{"CMP", four_exp[i].r1, four_exp[i].r2,
    "_"});
        assemble.push_back(Four_exp{"JG", "(" + itos(assemble.size() + 2) +
    ")" , "_", "_"});
        assemble.push_back(Four_exp{"MOV", four_exp[i].left, "0", "_"});
        assemble.push_back(Four_exp{"MOV", four_exp[i].left, "1", "_"});
        temp ++;
        cnt += 3;
    }
    else if(four_exp[i].op == "<"){
        assemble.push_back(Four_exp{"CMP", four_exp[i].r1, four_exp[i].r2,
    "_"});
        assemble.push_back(Four_exp{"JNG", "(" + itos(assemble.size() + 2) +
    ")" , "_", "_"});
        assemble.push_back(Four_exp{"MOV", four_exp[i].left, "0", "_"});
        assemble.push_back(Four_exp{"MOV", four_exp[i].left, "1", "_"});
        temp ++;
        cnt += 3;
    }
    else if(four_exp[i].op == "J"){
        string s = four_exp[i].left;
        s.erase(0, 1);
        s.erase(s.size()-1, 1);
        int foo = my_stoi(s) + cnt;
        if(++fxx == 1) foo += 8;
        else foo -= cnt;

        assemble.push_back(Four_exp{"JMP", "(" + itos(foo) + ")" , "_", "_"});
    }
    else if(four_exp[i].op == "J="){
        string s = four_exp[i].left;
        s.erase(0, 1);
        s.erase(s.size()-1, 1);
        int foo = my_stoi(s) + cnt;

        assemble.push_back(Four_exp{"CMP", four_exp[i].r1, four_exp[i].r2,
    "_"});
        assemble.push_back(Four_exp{"JZ", "(" + itos(foo) + ")" , "_", "_"});
        cnt ++;
    }
}

//输出汇编指令
fstream out;
out.open("./output/assemble.txt", ios::out);

int len = assemble.size();
out<<"=====
<<endl;
out<<"                Assemble_code                "
<<endl;
out<<"=====

```

```

<<endl;
    for(int i=0; i<len; i++){
        if(assemble[i].op[0] == 'J' || assemble[i].op == "IN" || assemble[i].op ==
"OUT") out<< "("<<i<<")"<<"    "<<assemble[i].op<<"    "<<assemble[i].r1<<endl;
        else out<< "("<<i<<")"<<"    "<<assemble[i].op<<"    "<<assemble[i].r1<<" , "
<<assemble[i].r2<<endl;
    }
    out.close();
}

```

3. 结果部分

测试方法为尝试多种不同的输入，比如如果有错误的标识符，会在语法分析阶段报错，但由于时间优先就没有设置具体的报错信息了，只是会从 grammar_analysis() 函数中返回 false，从而打印“语法分析：失败！”

```

PS D:\课程\编译原理&实验\LAB\大作业> cd "d:\课程\编译原理&实验\LAB\大作业\src\" ; if ($?) { g++ main.cpp -o
词法分析：成功！
语法分析：失败！

```

而正确的输入则会打印如下：

```

PS D:\课程\编译原理&实验\LAB\大作业\src> cd "d:\课程\编译原理&实验\LAB\大作业\src\" ; if ($?) { g++ main.cpp -o main } ; if ($?) { .\main }
词法分析：成功！
语法分析：成功！
翻译：成功！

```

以下只展示一个比较合适的正确的输入样例(涵盖了大多数支持的文法) **输入文件**

progame.txt 待分析程序：

```

int main()
{
    int n;
    int ans;
    ans = 0;
    cin >> n;
    while(n > 0)
    {
        ans = ans * 10 + n % 10;
        n = n / 10;
    }
    cout << ans;
    return 0;
}

```

grammar.txt 语法规则：

```

<函数定义> -> <类型> <变量> ( <参数声明> ) { <函数块> }
<类型> -> type
<变量> -> <标志符> <数组下标>
<标志符> -> id
<数组下标> -> [ <因式> ] | @

```

```

<因式> -> ( <表达式> ) | <变量> | <数字>
<数字> -> number
<表达式> -> <因子> <项>
<因子> -> <因式> <因式递归>
<因式递归> -> * <因式> <因式递归> | / <因式> <因式递归> | % <因式> <因式递归> | @
<项> -> + <因子> <项> | - <因子> <项> | @
<参数声明> -> <声明> <声明闭包> | @
<声明> -> <类型> <变量> <赋初值>
<赋初值> -> = <右值> | @
<右值> -> <表达式> | { <多个数据> }
<多个数据> -> <数字> <数字闭包>
<数字闭包> -> , <数字> <数字闭包> | @
<声明闭包> -> , <声明> <声明闭包> | @
<函数块> -> <声明语句闭包> <函数块闭包>
<声明语句闭包> -> <声明语句> <声明语句闭包> | @
<声明语句> -> <声明> ;
<函数块闭包> -> <赋值函数> <函数块闭包> | <for循环> <函数块闭包> | <条件语句> <函数块闭包> | <函数返回> <函数块闭包> | @
<赋值函数> -> <变量> <赋值或函数调用> | cin <cin闭包> ; | cout <cout闭包> ;
<cin闭包> -> >> <表达式> <cin闭包> | @
<cout闭包> -> << <表达式> <cout闭包> | @
<赋值或函数调用> -> = <右值> ; | ( <参数列表> ) ;
<参数列表> -> <参数> <参数闭包>
<参数闭包> -> , <参数> <参数闭包> | @
<参数> -> <标志符> | <数字>
<for循环> -> for ( <赋值函数> ; <逻辑表达式> ; <后缀表达式> ) { <函数块> }
<while循环> -> while ( <逻辑表达式> ) { <函数块> }
<逻辑表达式> -> <表达式> <逻辑运算符> <表达式>
<逻辑运算符> -> < | > | == | != | >= | <=
<后缀表达式> -> <变量> <后缀运算符>
<后缀运算符> -> ++ | --
<条件语句> -> if ( <逻辑表达式> ) { <函数块> } <否则语句>
<否则语句> -> else { <函数块> } | @
<函数返回> -> return <因式> ;

```

输出文件

词法分析器——token序列，三元式 (twox.txt) :

```

int type 1
main id 2
( ( 4
) ) 4
{ { 4
int type 1
n id 2
; ; 4
int type 1
ans id 2
; ; 4
ans id 2
= = 6

```

```

0  number 3
; ; 4
cin cin 1
>> >> 5
n id 2
; ; 4
while while 1
( ( 4
n id 2
> > 5
0  number 3
) ) 4
{ { 4
ans id 2
= = 6
ans id 2
* * 5
10 number 3
+ + 5
n id 2
% % 5
10 number 3
; ; 4
n id 2
= = 6
n id 2
/ / 5
10 number 3
; ; 4
} } 4
cout cout 1
<< << 5
ans id 2
; ; 4
return return 1
0  number 3
; ; 4
} } 4

```

词法分析器——主表 (main_table.txt) :

1.保留字 2.标识符 3.数字 4.界符 5.操作符 6.其他

```

1 int
2 main
4 (
4 )
4 {
1 int
2 n
4 ;

```



```
1  int
2  ans
4  ;
2  ans
6  =
3  0
4  ;
1  cin
5  >>
2  n
4  ;
1  while
4  (
2  n
5  >
3  0
4  )
4  {
2  ans
6  =
2  ans
5  *
3  10
5  +
2  n
5  %
3  10
4  ;
2  n
6  =
2  n
5  /
3  10
4  ;
4  }
1  cout
5  <<
2  ans
4  ;
1  return
3  0
4  ;
4  }
```

词法分析器——标识符表 (id_table.txt) :

```
ans
main
n
```

词法分析器——数字表 (number_table.txt) :

```
1.int    2.double
```

```
1 0
1 0
1 10
1 10
1 10
1 0
```

语法分析器——语法分析表 (pre_list.txt) :

	!=	#	%	()	*	+	++	,	
-	--	/	;	<	<<	<=	=	==	>	>=
>>	@	[	]	cin	cout	else	for	id	if	number
return	type	while	{	|	}					
<cin闭包>	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
\$	\$	\$	@	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
\$>>	<表达式>	<cin闭包>	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
<cout闭包>	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
\$	\$	\$	@	\$<<	<表达式>	<cout闭包>	\$	\$	\$	\$
\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
<for循环>	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$for (	<赋值函数>	;	<逻辑表达式>	;
<后缀表达式>	)	{	<函数块>	}	\$	\$	\$	\$	\$	\$
\$	\$									
<while循环>	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
\$	\$	\$while (	<逻辑表达式>	)	{	<函数块>	}	\$	\$	\$
<变量>	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
<标志符>	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
<表达式>	\$	\$	\$<因子>	<项>	\$	\$	\$	\$	\$	\$
\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
<项>	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
<参数>	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$

```

$ $ $ $ $ $ $ $<标志符> $ <数字>
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $
<参数闭包> $ $ $ $ @ $ $ $ $ , <参数>
<参数闭包> $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $
<参数列表> $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $<参数> <参数闭包> $<
参数> <参数闭包> $ $ $ $ $ $ $ $
<参数声明> $ $ $ $ $ @ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$<声明> <声明闭包> $ $ $ $ $ $
<多个数据> $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $<数字> <
数字闭包> $ $ $ $ $ $ $ $
<否则语句> $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ @ @else { <函数块> } @ @ @
$ @ $ @ $ $ @
<赋初值> $ $ $ $ @ $ $ $ $ $ @
$ $ $ @ $ $ $= <右值> $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $
<赋值函数> $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $cin <cin闭包> ;cout <cout闭包> ; $ $<变量> <赋
值或函数调用> $ $ $ $ $ $ $ $ $ $
<赋值或函数调用> $ $ $( <参数列表> ) ; $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $= <右值> ;
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $
<函数定义> $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$<类型> <变量> ( <参数声明> ) { <函数块> } $ $ $ $ $
<函数返回> $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$return <因式> ; $ $ $ $ $ $
<函数块> $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $<声明语句闭包> <函数块闭包><声明语句闭包> <函数块闭包>
$<声明语句闭包> <函数块闭包><声明语句闭包> <函数块闭包><声明语句闭包> <函数块闭包>
$<声明语句闭包> <函数块闭包><声明语句闭包> <函数块闭包><声明语句闭包> <函数块闭包>
$ $<声明语句闭包> <函数块闭包>
<函数块闭包> $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $<赋值函数> <函数块闭包><赋值函数> <函数块闭包>
$<for循环> <函数块闭包><赋值函数> <函数块闭包><条件语句> <函数块闭包> $<函数返回>
<函数块闭包> $<while循环> <函数块闭包> $ $ @
<后缀表达式> $ $ $ $ $ $ $ $

```

```

$ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $<变量> <后缀运算符>
> $ $ $ $ $ $ $ $ $
<后缀运算符> $ $ $ $ $ $ $ $ ++
$ $ -- $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $
<类型> $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ type $ $ $ $
<逻辑表达式> $ $ $<表达式> <逻辑运算符> <表达式> $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $<
表达式> <逻辑运算符> <表达式> $<表达式> <逻辑运算符> <表达式> $ $
$ $ $ $
<逻辑运算符> != $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ < $ <= $ == >
>= $ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $
<声明> $ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$<类型> <变量> <赋初值> $ $ $ $
<声明闭包> $ $ $ $ @ $ $ $, <声明>
<声明闭包> $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $
<声明语句> $ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$<声明> ; $ $ $ $
<声明语句闭包> $ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ @ @ $ @ @ @
$ @<声明语句> <声明语句闭包> @ $ $ @
<数字> $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $ number
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $, <数字>
<数字闭包> $ $ $ $ $ $ $ $ $
<数字闭包> $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ @
<数组下标> @ $ @ @ @ @ @ @ @
@ @ @ @ @ @ @ @ @ @
@ $[ <因子> ] @ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $
<条件语句> $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ $
$ $ $ $ $ $ $ $ $ if ( <逻辑表达式>
) { <函数块> } <否则语句> $ $ $ $ $ $
<项> @ $ $ $ @ $+ <因子> <项> $
@- <因子> <项> $ $ @ @ @ @ $ @

```

@	@	@	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
<因式>	\$	\$	\$	(<表达式>)	\$	\$	\$	\$	\$	\$
\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	<变量>	\$
<数字>	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
<因式递归>	@	\$%	<因式>	<因式递归>	\$	@*	<因式>	<因式递归>		
@	\$	@	@	\$/ <因式>	<因式递归>	@	@	@		
@	\$	@	@	@	@	\$	\$	\$	\$	\$
\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
<因子>	\$	\$	\$	<因式>	<因式递归>	\$	\$	\$	\$	\$
\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	<因式>	<因式递归>
\$<因式>	<因式递归>	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$		
<右值>	\$	\$	\$	<表达式>	\$	\$	\$	\$	\$	\$
\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	<表达式>	<表达式>
\$	\$	\$	{ <多个数据> }	\$	\$					

语法分析器——语法分析过程（process.txt）：

LL(1)语法分析得到的结果如下：(相关代码在grammar_analysis.h中，默认为不打印的注释状态)

```

<cin闭包>->>> <表达式> <cin闭包> | @
<cout闭包>-><< <表达式> <cout闭包> | @
<for循环>->for ( <赋值函数> ; <逻辑表达式> ; <后缀表达式> ) { <函数块>
> }
<while循环>->while ( <逻辑表达式> ) { <函数块> }
<变量>-><标志符> <数组下标>
<标志符>->id
<表达式>-><因子> <项>
<参数>-><标志符> | <数字>
<参数闭包>->, <参数> <参数闭包> | @
<参数列表>-><参数> <参数闭包>
<参数声明>-><声明> <声明闭包> | @
<多个数据>-><数字> <数字闭包>
<否则语句>->@ | else { <函数块> }
<赋初值>->= <右值> | @
<赋值函数>-><变量> <赋值或函数调用> | cin <cin闭包> ; | cout <cout闭包> ;
<赋值或函数调用>->( <参数列表> ); | = <右值> ;
<函数定义>-><类型> <变量> ( <参数声明> ) { <函数块> }
<函数返回>->return <因式> ;
<函数块>-><声明语句闭包> <函数块闭包>
<函数块闭包>-><for循环> <函数块闭包> | <while循环> <函数块闭包> | <赋值函数> <函数块闭包> | <函数返回> <函数块闭包> | <条件语句> <函数块闭包> | @
<后缀表达式>-><变量> <后缀运算符>
<后缀运算符>->++ | --
<类型>->type
<逻辑表达式>-><表达式> <逻辑运算符> <表达式>
<逻辑运算符>->!= | < | <= | == | > | >=
<声明>-><类型> <变量> <赋初值>
<声明闭包>->, <声明> <声明闭包> | @
<声明语句>-><声明> ;
<声明语句闭包>-><声明语句> <声明语句闭包> | @
<数字>->number
<数字闭包>->, <数字> <数字闭包> | @
<数组下标>->@ | [ <因式> ]
<条件语句>->if ( <逻辑表达式> ) { <函数块> } <否则语句>
<项>->+ <因子> <项> | - <因子> <项> | @
<因式>->( <表达式> ) | <变量> | <数字>
<因式递归>->% <因式> <因式递归> | * <因式> <因式递归> | / <因式> <因式递归> | @
<因子>-><因式> <因式递归>
<右值>-><表达式> | { <多个数据> }
语法分析：成功！

```

步骤	当前栈顶	当前串首	推导所用产生式
----	------	------	---------

1	<函数定义>	type	<函数定义> -> <类型> <变量> (<参数声明>) { <函数块> }
---	--------	------	--

2	<类型>	type	<类型> -> type
3	type	type	"type"匹配
4	<变量>	id	<变量> -> <标志符> <数组下标>
5	<标志符>	id	<标志符> -> id
6	id	id	"id"匹配
7	<数组下标>	(	<数组下标> -> @
8	(	(	"("匹配
9	<参数声明>	)	<参数声明> -> @
10	)	)	"")匹配
11	{	{	"{"匹配
12	<函数块>	type	<函数块> -> <声明语句闭包> <函数块闭包>
>			
13	<声明语句闭包>	type	<声明语句闭包> -> <声明语句> <声明语句闭包>
14	<声明语句>	type	<声明语句> -> <声明> ;
15	<声明>	type	<声明> -> <类型> <变量> <赋初值>
16	<类型>	type	<类型> -> type
17	type	type	"type"匹配
18	<变量>	id	<变量> -> <标志符> <数组下标>
19	<标志符>	id	<标志符> -> id
20	id	id	"id"匹配
21	<数组下标>	;	<数组下标> -> @
22	<赋初值>	;	<赋初值> -> @
23	;	;	";"匹配
24	<声明语句闭包>	type	<声明语句闭包> -> <声明语句> <声明语句闭包>
25	<声明语句>	type	<声明语句> -> <声明> ;
26	<声明>	type	<声明> -> <类型> <变量> <赋初值>
27	<类型>	type	<类型> -> type
28	type	type	"type"匹配
29	<变量>	id	<变量> -> <标志符> <数组下标>
30	<标志符>	id	<标志符> -> id
31	id	id	"id"匹配
32	<数组下标>	;	<数组下标> -> @
33	<赋初值>	;	<赋初值> -> @
34	;	;	";"匹配
35	<声明语句闭包>	id	<声明语句闭包> -> @
36	<函数块闭包>	id	<函数块闭包> -> <赋值函数> <函数块闭包>
>			
37	<赋值函数>	id	<赋值函数> -> <变量> <赋值或函数调用>
38	<变量>	id	<变量> -> <标志符> <数组下标>
39	<标志符>	id	<标志符> -> id
40	id	id	"id"匹配
41	<数组下标>	=	<数组下标> -> @
42	<赋值或函数调用>	=	<赋值或函数调用> -> = <右值> ;
43	=	=	"="匹配
44	<右值>	number	<右值> -> <表达式>
45	<表达式>	number	<表达式> -> <因子> <项>
46	<因子>	number	<因子> -> <因式> <因式递归>
47	<因式>	number	<因式> -> <数字>
48	<数字>	number	<数字> -> number
49	number	number	"number"匹配
50	<因式递归>	;	<因式递归> -> @
51	<项>	;	<项> -> @

52	;	;	“;”匹配
53	<函数块闭包>	cin	<函数块闭包> -> <赋值函数> <函数块闭包
>			
54	<赋值函数>	cin	<赋值函数> -> cin <cin闭包> ;
55	cin	cin	“cin”匹配
56	<cin闭包>	>>	<cin闭包> -> >> <表达式> <cin闭包>
57	>>	>>	“>>”匹配
58	<表达式>	id	<表达式> -> <因子> <项>
59	<因子>	id	<因子> -> <因式> <因式递归>
60	<因式>	id	<因式> -> <变量>
61	<变量>	id	<变量> -> <标志符> <数组下标>
62	<标志符>	id	<标志符> -> id
63	id	id	“id”匹配
64	<数组下标>	;	<数组下标> -> @
65	<因式递归>	;	<因式递归> -> @
66	<项>	;	<项> -> @
67	<cin闭包>	;	<cin闭包> -> @
68	;	;	“;”匹配
69	<函数块闭包>	while	<函数块闭包> -> <while循环> <函数块闭包>
包>			
70	<while循环>	while	<while循环> -> while (<逻辑表达式>
) { <函数块> }			
71	while	while	“while”匹配
72	(	(	“(”匹配
73	<逻辑表达式>	id	<逻辑表达式> -> <表达式> <逻辑运算符>
<表达式>			
74	<表达式>	id	<表达式> -> <因子> <项>
75	<因子>	id	<因子> -> <因式> <因式递归>
76	<因式>	id	<因式> -> <变量>
77	<变量>	id	<变量> -> <标志符> <数组下标>
78	<标志符>	id	<标志符> -> id
79	id	id	“id”匹配
80	<数组下标>	>	<数组下标> -> @
81	<因式递归>	>	<因式递归> -> @
82	<项>	>	<项> -> @
83	<逻辑运算符>	>	<逻辑运算符> -> >
84	>	>	“>”匹配
85	<表达式>	number	<表达式> -> <因子> <项>
86	<因子>	number	<因子> -> <因式> <因式递归>
87	<因式>	number	<因式> -> <数字>
88	<数字>	number	<数字> -> number
89	number	number	“number”匹配
90	<因式递归>	)	<因式递归> -> @
91	<项>	)	<项> -> @
92	)	)	“)”匹配
93	{	{	“{”匹配
94	<函数块>	id	<函数块> -> <声明语句闭包> <函数块闭包>
>			
95	<声明语句闭包>	id	<声明语句闭包> -> @
96	<函数块闭包>	id	<函数块闭包> -> <赋值函数> <函数块闭包>
>			
97	<赋值函数>	id	<赋值函数> -> <变量> <赋值或函数调用>
98	<变量>	id	<变量> -> <标志符> <数组下标>
99	<标志符>	id	<标志符> -> id

100	id	id	"id"匹配
101	<数组下标>	=	<数组下标> -> @
102	<赋值或函数调用>	=	<赋值或函数调用> -> = <右值> ;
103	=	=	"="匹配
104	<右值>	id	<右值> -> <表达式>
105	<表达式>	id	<表达式> -> <因子> <项>
106	<因子>	id	<因子> -> <因式> <因式递归>
107	<因式>	id	<因式> -> <变量>
108	<变量>	id	<变量> -> <标志符> <数组下标>
109	<标志符>	id	<标志符> -> id
110	id	id	"id"匹配
111	<数组下标>	*	<数组下标> -> @
112	<因式递归>	*	<因式递归> -> * <因式> <因式递归>
113	*	*	"*"匹配
114	<因式>	number	<因式> -> <数字>
115	<数字>	number	<数字> -> number
116	number	number	"number"匹配
117	<因式递归>	+	<因式递归> -> @
118	<项>	+	<项> -> + <因子> <项>
119	+	+	"+"匹配
120	<因子>	id	<因子> -> <因式> <因式递归>
121	<因式>	id	<因式> -> <变量>
122	<变量>	id	<变量> -> <标志符> <数组下标>
123	<标志符>	id	<标志符> -> id
124	id	id	"id"匹配
125	<数组下标>	%	<数组下标> -> @
126	<因式递归>	%	<因式递归> -> % <因式> <因式递归>
127	%	%	"%"匹配
128	<因式>	number	<因式> -> <数字>
129	<数字>	number	<数字> -> number
130	number	number	"number"匹配
131	<因式递归>	;	<因式递归> -> @
132	<项>	;	<项> -> @
133	;	;	";"匹配
134	<函数块闭包>	id	<函数块闭包> -> <赋值函数> <函数块闭包>
>			
135	<赋值函数>	id	<赋值函数> -> <变量> <赋值或函数调用>
136	<变量>	id	<变量> -> <标志符> <数组下标>
137	<标志符>	id	<标志符> -> id
138	id	id	"id"匹配
139	<数组下标>	=	<数组下标> -> @
140	<赋值或函数调用>	=	<赋值或函数调用> -> = <右值> ;
141	=	=	"="匹配
142	<右值>	id	<右值> -> <表达式>
143	<表达式>	id	<表达式> -> <因子> <项>
144	<因子>	id	<因子> -> <因式> <因式递归>
145	<因式>	id	<因式> -> <变量>
146	<变量>	id	<变量> -> <标志符> <数组下标>
147	<标志符>	id	<标志符> -> id
148	id	id	"id"匹配
149	<数组下标>	/	<数组下标> -> @
150	<因式递归>	/	<因式递归> -> / <因式> <因式递归>
151	/	/	"/"匹配
152	<因式>	number	<因式> -> <数字>

153	<数字>	number	<数字> -> number
154	number	number	"number"匹配
155	<因式递归>	;	<因式递归> -> @
156	<项>	;	<项> -> @
157	;	;	","匹配
158	<函数块闭包>	}	<函数块闭包> -> @
159	}	}	"}"匹配
160	<函数块闭包>	cout	<函数块闭包> -> <赋值函数> <函数块闭包>
>			
161	<赋值函数>	cout	<赋值函数> -> cout <cout闭包> ;
162	cout	cout	"cout"匹配
163	<cout闭包>	<<	<cout闭包> -> << <表达式> <cout闭包>
164	<<	<<	"<<"匹配
165	<表达式>	id	<表达式> -> <因子> <项>
166	<因子>	id	<因子> -> <因式> <因式递归>
167	<因式>	id	<因式> -> <变量>
168	<变量>	id	<变量> -> <标志符> <数组下标>
169	<标志符>	id	<标志符> -> id
170	id	id	"id"匹配
171	<数组下标>	;	<数组下标> -> @
172	<因式递归>	;	<因式递归> -> @
173	<项>	;	<项> -> @
174	<cout闭包>	;	<cout闭包> -> @
175	;	;	","匹配
176	<函数块闭包>	return	<函数块闭包> -> <函数返回> <函数块闭包>
>			
177	<函数返回>	return	<函数返回> -> return <因式> ;
178	return	return	"return"匹配
179	<因式>	number	<因式> -> <数字>
180	<数字>	number	<数字> -> number
181	number	number	"number"匹配
182	;	;	","匹配
183	<函数块闭包>	}	<函数块闭包> -> @
184	}	}	"}"匹配
185	#	#	接受

-->LL(1)合法句子

语法分析器——FIRST 集 (FIRST.txt) :

```

FIRST(<cin闭包>): >> @
FIRST(<cout闭包>): << @
FIRST(<for循环>): for
FIRST(<while循环>): while
FIRST(<变量>): id
FIRST(<标志符>): id
FIRST(<表达式>): ( id number
FIRST(<参数>): id number
FIRST(<参数闭包>): , @
FIRST(<参数列表>): id number
FIRST(<参数声明>): @ type

```

```

FIRST(<多个数据>):  number
FIRST(<否则语句>):  @ else
FIRST(<赋初值>):    = @
FIRST(<赋值函数>):  cin cout id
FIRST(<赋值或函数调用>): ( =
FIRST(<函数定义>):  type
FIRST(<函数返回>):  return
FIRST(<函数块>):    @ cin cout for id if return type while
FIRST(<函数块闭包>): @ cin cout for id if return while
FIRST(<后缀表达式>): id
FIRST(<后缀运算符>): ++ --
FIRST(<类型>):      type
FIRST(<逻辑表达式>): ( id number
FIRST(<逻辑运算符>): != < <= == > >=
FIRST(<声明>):      type
FIRST(<声明闭包>):  , @
FIRST(<声明语句>): type
FIRST(<声明语句闭包>): @ type
FIRST(<数字>):      number
FIRST(<数字闭包>):  , @
FIRST(<数组下标>):  @ [
FIRST(<条件语句>):  if
FIRST(<项>):        + - @
FIRST(<因式>):      ( id number
FIRST(<因式递归>):  % * / @
FIRST(<因子>):      ( id number
FIRST(<右值>):      ( id number {

```

语法分析器——FOLLOW 集 (FOLLOW.txt) :

```

FOLLOW(<cin闭包>): ;
FOLLOW(<cout闭包>): ;
FOLLOW(<for循环>): cin cout for id if return while }
FOLLOW(<while循环>): cin cout for id if return while }
FOLLOW(<变量>):    != % ( ) * + ++ , - -- / ; < << <= = == > >= >> ]
FOLLOW(<标志符>):  != % ( ) * + ++ , - -- / ; < << <= = == > >= >> [ ]
FOLLOW(<表达式>):  != ) , ; < << <= == > >= >>
FOLLOW(<参数>):    ) ,
FOLLOW(<参数闭包>): )
FOLLOW(<参数列表>): )
FOLLOW(<参数声明>): )
FOLLOW(<多个数据>): }
FOLLOW(<否则语句>): cin cout for id if return while }
FOLLOW(<赋初值>):  ) , ;
FOLLOW(<赋值函数>): ; cin cout for id if return while }
FOLLOW(<赋值或函数调用>): ; cin cout for id if return while }
FOLLOW(<函数定义>): #
FOLLOW(<函数返回>): cin cout for id if return while }
FOLLOW(<函数块>):  }
FOLLOW(<函数块闭包>): }
FOLLOW(<后缀表达式>): )

```

```

FOLLOW(<后缀运算符>): )
FOLLOW(<类型>): id
FOLLOW(<逻辑表达式>): );
FOLLOW(<逻辑运算符>): ( id number
FOLLOW(<声明>): ), ;
FOLLOW(<声明闭包>): )
FOLLOW(<声明语句>): cin cout for id if return type while }
FOLLOW(<声明语句闭包>): cin cout for id if return while }
FOLLOW(<数字>): != % ) * + , - / ; < << <= == > >= >> ] }
FOLLOW(<数字闭包>): }
FOLLOW(<数组下标>): != % ( ) * + ++ , - -- / ; < << <= = == > >= >> ]
FOLLOW(<条件语句>): cin cout for id if return while }
FOLLOW(<项>): != ) , ; < << <= == > >= >>
FOLLOW(<因式>): != % ) * + , - / ; < << <= == > >= >> ]
FOLLOW(<因式递归>): != ) + , - ; < << <= == > >= >>
FOLLOW(<因子>): != ) + , - ; < << <= == > >= >>
FOLLOW(<右值>): ) , ;

```

语法分析器——SELECT 集 (SELECT.txt) :

```

SELECT(<cin闭包> >> <表达式> <cin闭包>): >>
SELECT(<cin闭包> @): ;
SELECT(<cout闭包> << <表达式> <cout闭包>): <<
SELECT(<cout闭包> @): ;
SELECT(<for循环> for ( <赋值函数> ; <逻辑表达式> ; <后缀表达式> ) { <函数块> }): for
SELECT(<while循环> while ( <逻辑表达式> ) { <函数块> }): while
SELECT(<变量> <标志符> <数组下标>): id
SELECT(<标志符> id): id
SELECT(<表达式> <因子> <项>): ( id number
SELECT(<参数> <标志符>): id
SELECT(<参数> <数字>): number
SELECT(<参数闭包> , <参数> <参数闭包>): ,
SELECT(<参数闭包> @): )
SELECT(<参数列表> <参数> <参数闭包>): id number
SELECT(<参数声明> <声明> <声明闭包>): type
SELECT(<参数声明> @): )
SELECT(<多个数据> <数字> <数字闭包>): number
SELECT(<否则语句> @): cin cout for id if return while }
SELECT(<否则语句> else { <函数块> }): else
SELECT(<赋初值> = <右值>): =
SELECT(<赋初值> @): ) , ;
SELECT(<赋值函数> <变量> <赋值或函数调用>): id
SELECT(<赋值函数> cin <cin闭包> ;): cin
SELECT(<赋值函数> cout <cout闭包> ;): cout
SELECT(<赋值或函数调用> ( <参数列表> ) ;): (
SELECT(<赋值或函数调用> = <右值> ;): =
SELECT(<函数定义> <类型> <变量> ( <参数声明> ) { <函数块> }): type
SELECT(<函数返回> return <因式> ;): return
SELECT(<函数块> <声明语句闭包> <函数块闭包>): cin cout for id if return type while
}
SELECT(<函数块闭包> <for循环> <函数块闭包>): for

```

```

SELECT(<函数块闭包> <while循环> <函数块闭包>): while
SELECT(<函数块闭包> <赋值函数> <函数块闭包>): cin cout id
SELECT(<函数块闭包> <函数返回> <函数块闭包>): return
SELECT(<函数块闭包> <条件语句> <函数块闭包>): if
SELECT(<函数块闭包> @): }
SELECT(<后缀表达式> <变量> <后缀运算符>): id
SELECT(<后缀运算符> ++): ++
SELECT(<后缀运算符> --): --
SELECT(<类型> type): type
SELECT(<逻辑表达式> <表达式> <逻辑运算符> <表达式>): ( id number
SELECT(<逻辑运算符> !=): !=
SELECT(<逻辑运算符> < >): <
SELECT(<逻辑运算符> <= >): <=
SELECT(<逻辑运算符> ==): ==
SELECT(<逻辑运算符> >): >
SELECT(<逻辑运算符> >=): >=
SELECT(<声明> <类型> <变量> <赋初值>): type
SELECT(<声明闭包> , <声明> <声明闭包>): ,
SELECT(<声明闭包> @): )
SELECT(<声明语句> <声明> ;): type
SELECT(<声明语句闭包> <声明语句> <声明语句闭包>): type
SELECT(<声明语句闭包> @): cin cout for id if return while }
SELECT(<数字> number): number
SELECT(<数字闭包> , <数字> <数字闭包>): ,
SELECT(<数字闭包> @): }
SELECT(<数组下标> @): != % ( ) * + ++ , - -- / ; < << <= = == > >= >> ]
SELECT(<数组下标> [ <因式> ]): [
SELECT(<条件语句> if ( <逻辑表达式> ) { <函数块> } <否则语句>): if
SELECT(<项> + <因子> <项>): +
SELECT(<项> - <因子> <项>): -
SELECT(<项> @): != ) , ; < << <= == > >= >>
SELECT(<因式> ( <表达式> )): (
SELECT(<因式> <变量>): id
SELECT(<因式> <数字>): number
SELECT(<因式递归> % <因式> <因式递归>): %
SELECT(<因式递归> * <因式> <因式递归>): *
SELECT(<因式递归> / <因式> <因式递归>): /
SELECT(<因式递归> @): != ) + , - ; < << <= == > >= >>
SELECT(<因子> <因式> <因式递归>): ( id number
SELECT(<右值> <表达式>): ( id number
SELECT(<右值> { <多个数据> }): {

```

语义分析器——中间代码生成 (four_exp.txt) :

```

=====
                                Four_expression
=====
(0) ( = , 0 , _ , ans )
(1) ( cin , _ , _ , n )
(2) ( > , n , 0 , t0 )
(3) ( J= , t0 , 1 , (5) )
(4) ( J , _ , _ , (12) )

```

```

(5) ( * , ans , 10 , t1 )
(6) ( % , n , 10 , t2 )
(7) ( + , t1 , t2 , t3 )
(8) ( = , t3 , _ , ans )
(9) ( / , n , 10 , t4 )
(10) ( = , t4 , _ , n )
(11) ( J , _ , _ , (3) )
(12) ( cout , _ , _ , ans )

```

代码生成——中间代码四元式 (four_exp.txt) :

```

=====
                                Four_expression
=====
(0) ( = , 0 , _ , ans )
(1) ( cin , _ , _ , n )
(2) ( > , n , 0 , t0 )
(3) ( J= , t0 , 1 , (5) )
(4) ( J , _ , _ , (12) )
(5) ( * , ans , 10 , t1 )
(6) ( % , n , 10 , t2 )
(7) ( + , t1 , t2 , t3 )
(8) ( = , t3 , _ , ans )
(9) ( / , n , 10 , t4 )
(10) ( = , t4 , _ , n )
(11) ( J , _ , _ , (3) )
(12) ( cout , _ , _ , ans )

```

代码生成——生成的目标代码即汇编语言 (assemble.txt) :

```

=====
                                Assemble_code
=====
(0)  MOV   ans , 0
(1)  IN    n
(2)  CMP   n , 0
(3)  JG    (5)
(4)  MOV   t0 , 0
(5)  MOV   t0 , 1
(6)  CMP   t0 , 1
(7)  JZ    (8)
(8)  JMP   (24)
(9)  MOV   R1 , ans
(10) MUL   R1 , 10
(11) MOV   t1 , R1
(12) MOV   R2 , n
(13) MOD   R2 , 10

```

```
(14)  MOV    t2 , R2
(15)  MOV    R3 , t1
(16)  ADD    R3 , t2
(17)  MOV    t3 , R3
(18)  MOV    ans , t3
(19)  MOV    R4 , n
(20)  DIV    R4 , 10
(21)  MOV    t4 , R4
(22)  MOV    n , t4
(23)  JMP    (3)
(24)  OUT    ans
```

五：实验感想

本次编译器构造实验是本课程的最后一个大实验，它涉及的知识涵盖了整个编译原理课程的大多数重点内容，从词法分析到语法分析到中间代码生成和目标代码生成。整个实验将本课程的重点内容都串联了起来，使得编译原理的知识结构更加的立体了，也让我对编译原理的整体认识更加的清晰。让我有了很多的收获。首先是自己实践了对于编译课程的理解，从文法开始入手，一点一点地探索编译器的整体。我自己在老师的基础上重新写了文法，对文法进行了扩展，在这个过程中我做了很多的尝试，也发现了诸多的问题，为此我查阅了很多的资料，也扩充了自己的知识储备，让自己能更好的理解一个编译器的工作流程和细节。

实验的进行过程中也遇到了很多杂七杂八大小的问题，就连编译器总体架构也是多次修正后才确定下来的。在实验的开始阶段，由于打算尝试直接服用之前实验的实验代码，结果在整合在一起调度的时候出现了诸多耦合性问题，最终选择整体重构才将这三个部分整合起来。时间有限加上期末开始在即，所以很遗憾没有实现中间代码优化。这是一次宝贵的经验教训，对未来的程序设计编码之路都会有很好的启示作用。

参考资料：

陈火旺.《程序设计语言编译原理》（第3版）.北京：国防工业出版社.2000.

美 Alfred V.Aho Ravi Sethi Jeffrey D. Ullman著.李建中，姜守旭译.《编译原理》.北京：机械工业出版社.2003.

美 Kenneth C.Louden著.冯博琴等译.《编译原理及实践》.北京：机械工业出版社.2002.

金成植著.《编译程序构造原理和实现技术》.北京：高等教育出版社. 2002.

以及上课涉及到的PPT

注：详细代码见src文件夹