

# Extended PL/0 Compiler 详细设计文档

胡京徽(11061191)

January 4, 2014

# 1 需求说明

## 1.1 文法说明

鉴于中文的文法在编程时的对应关系容易混乱，我就先将所给的文法翻译成了英文。具体文法如下：

```
program    ::=    block .

block      ::=    [ constdec ][ vardec ]{ [ procdec ][ fundec ] } compstmt

constdec   ::=    const constdef { , constdef };

constdef   ::=    ident = const

const      ::=    [+|-] unsign | character

character   ::=    ' letter ' | ' digit '

string     ::=    “{ASCII characters with decimal code number varys from 32 to 126 exclude 34}”

unsign     ::=    digit { digit }

ident      ::=    letter { letter | digit }

vardec     ::=    var vardef ; { vardef ; }

vardef     ::=    ident { , ident } : type

type       ::=    basictype | array ' [ unsign ] ' of basictype

basictype  ::=    integer | char

procdec    ::=    prothead block { ; prothead block };

fundec     ::=    funhead block { ; funhead block };

prothead   ::=    procedure ident ' ( [ paralist ] ) ' ;

funhead    ::=    function ident ' ( [ paralist ] ) ' : basictype ;

paralist   ::=    [ var ] ident { , ident } : basictype { ; paralist }

statement  ::=    assignstmt | ifstmt | repeatstmt | pcallstmt
                  | compstmt | readstmt | writestmt | forstmt | nullstmt

assignstmt ::=    ident := expression | funident := expression
                  | ident ' [ expression ] ' := expression

funident   ::=    ident

expression ::=    [+|-] term { addop term }

term       ::=    factor { multop factor }

factor     ::=    ident | ident ' [ expression ] ' | unsign | ' ( expression ) ' | fcallstmt

fcallstmt  ::=    ident ' ( [ arglist ] '

arglist    ::=    argument { , argument }

argument   ::=    expression

addop      ::=    +|-
```

```

multop ::= *|/
condition ::= expression relop expression
relop ::= < | <= | > | >= | = | <>
ifstmt ::= if condition then statement
           | if condition then statement else statement
repeatstmt ::= repeat statement until condition
forstmt ::= for ident := expression (to|downto) expression do statement
pcallstmt ::= ident '(' [arglist] ')'
compstmt ::= begin statement { ; statement } end
readstmt ::= read '(' ident { , ident } ')'
writestmt ::= write '(' string , expression ')' | write '(' string ')' | write '(' expression ')'
letter ::= a|b|c|...|z|A|B|C|...|Z
digit ::= 0|1|2|3|...|9

```

## 1.2 目标代码说明

最终生成的目标代码是x86汇编遵寻Intel的x86传统。具体细节可参考Intel的手册。这里就不多说了。

## 1.3 文法解读

接下来对文法进行具体解释：

### 1.3.1 程序的解读

```
program ::= block .
```

这句定义了程序是由分程序加“.”组成，其中“.”可以判定程序的结束。这句的语法图见Figure 1。具体实例：

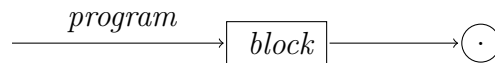


Figure 1: program 语法图

```
count a = 2; .
```

这就是一个完整的程序，“.”表示程序的结束。

### 1.3.2 分程序的解读

```
block    ::= [ constdec ][ vardec ][ procdec ][ fundec ] compstmt
constdec ::= const constdef {, constdef };
constdef ::= ident = const
vardec   ::= var vardef {, vardef };
vardef   ::= ident {, ident } : type
procdec  ::= prohead block {, prohead block };
fundec   ::= funhead block {, funhead block };
prohead  ::= procedure ident '([ paralist ])' ;
funhead  ::= function ident '([ paralist ])' : basictype ;
compstmt ::= begin statement {, statement } end
```

这几句定义了 *block* 文法的完整视图，语法图见Figure 2。在分程序 *block* 中先进行常量定义 *constdec*，然后是变量定义 *vardef*，接着是过程的声明 *procdec* 和函数声明 *fundec* 最终的 *block* 通过一个复合语句 *compstmt* 退出。这样的顺序是不能改变的。具体实例：

```
const numbera=0, numberb=1; // 常量定义
var i, j, sum: integer;      // 变量定义
procedure test();           // 过程声明部分
    test 的程序 (略)
function add():integer;      // 函数声明部分
begin
    sum := numbera + numberb; // add 的分程序部分
    add := sum
end;
                                // 复合语句部分

begin
    i := sum
end
```

说明：

1. 常量定义必须在变量前面，这种顺序不能改变。如： `var i:integer;const a=1;` 就是错误的。
2. 相连的过程和函数的声明是可以打乱顺序的，过程和函数都可以右参数列表，用于传入参数。
3. 常量是可以连续定义的，之间使用逗号隔开，最后以分号结束常量的定义。
4. 变量的定义也可以连续定义，之间使用逗号隔开，另外使用冒号后跟变量类型来说明定义的变量的类型。变量的定义的结束是使用分号。
5. 常量定义，变量定义，过程声明，函数声明对一个分程序来说是可有可无的，只有复合语句是必须部分。

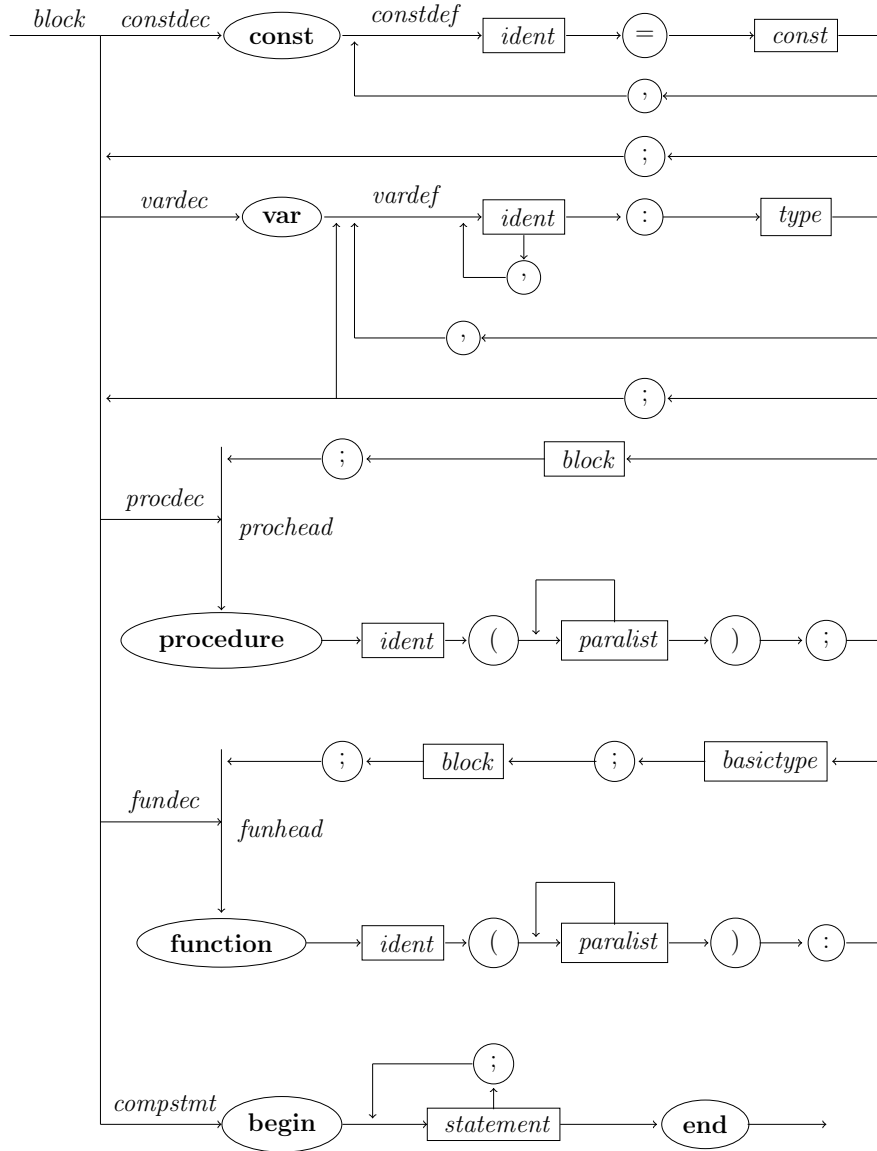


Figure 2: block 语法图

#### 1.4 语句的解读

$statement ::= assignstmt \mid ifstmt \mid repeatstmt \mid pcallstmt$   
 $\quad \mid compstmt \mid readstmt \mid writestmt \mid forstmt \mid nullstmt$   
 $assignstmt ::= ident := expression \mid funident := expression$   
 $\quad \mid ident '[expression'] := expression$

$ifstmt ::= \text{if } condition \text{ then } statement$   
 $\quad \quad \quad | \text{if } condition \text{ then } statement \text{ else } statement$   
 $repeatstmt ::= \text{repeat } statement \text{ until } condition$   
 $forstmt ::= \text{for } ident := expression \text{ (to|downto) } expression \text{ do } statement$   
 $pcallstmt ::= ident'([ arglist ])'$   
 $compstmt ::= \text{begin } statement \{ ; statement \} \text{end}$   
 $readstmt ::= \text{read}'( ident \{ , ident \} )'$   
 $writestmt ::= \text{write}'( string , expression )' | \text{write}'( string )' | \text{write}'( expression )'$

这几句定义了语句的文法的完整视图,语句的文法图见Figure 3。具体实例:

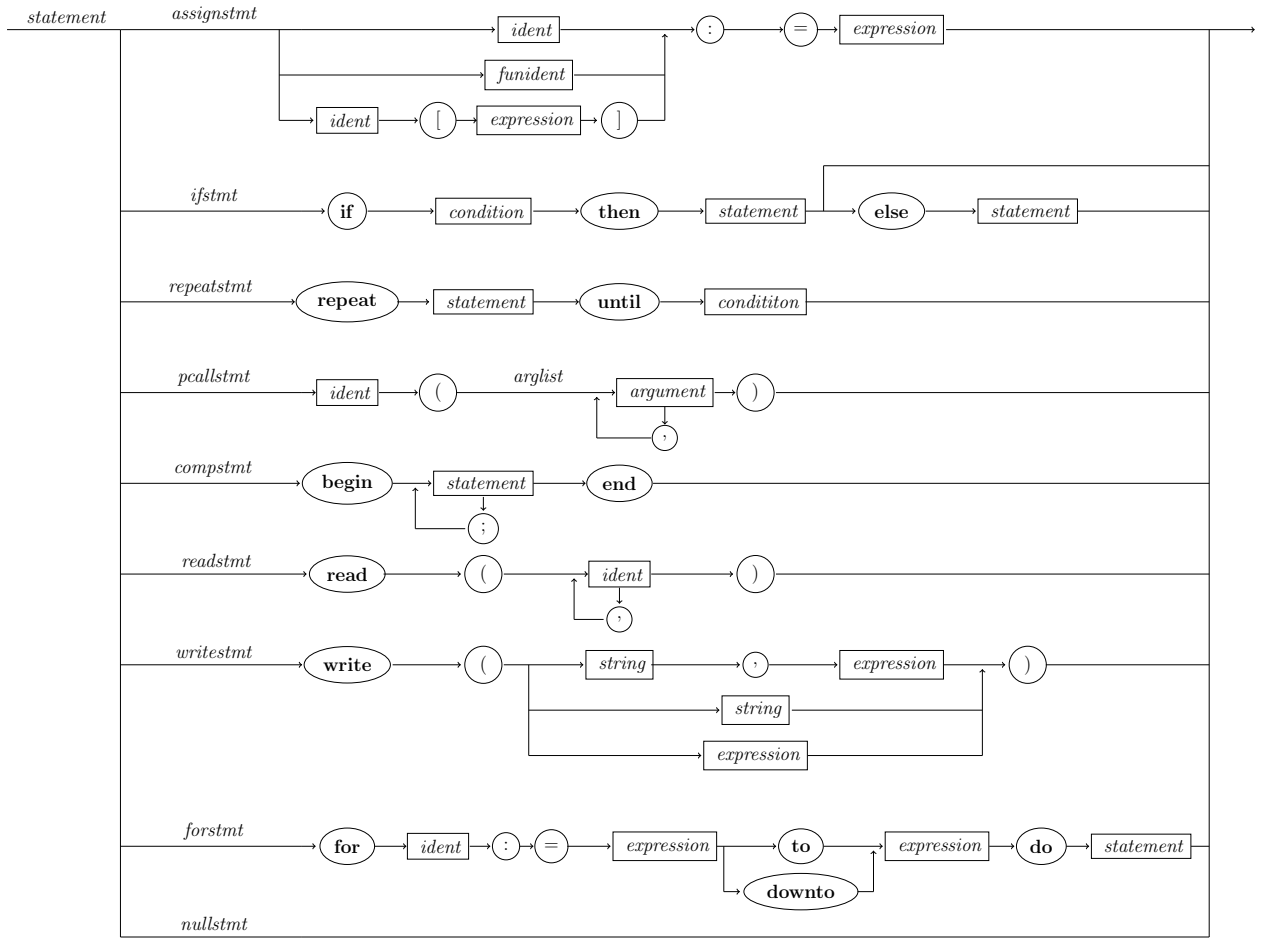


Figure 3: statement 语法图

```

const a=1, b=2, test=11, i=1;
var sum, k: integer; A:array[3] of integer;
procedure testproc();
    testproc具体实现略;
begin
    // 赋值语句
    sum := a + b;
    A[i] := b;
    // 条件语句
    if a > b then
        sum := a;
    else
        sum := b;
    // 重复语句
    repeat
        sum := sum + 1;
    until sum > 4
    // for语句 (步长为一)
    for i := 1 to 10 do
        sum := sum + i
    //过程调用语句
    testproc();
    //读语句
    read (k, sum);
    //写语句
    write("hello world!");
    write(sum)
end

```

说明:

1. 赋值语句可以是表达式给变量的赋值，可以是表达式给数组赋值，还可以给表达式给函数给返回值。
2. 条件语句的**else**悬挂的解决方法是总将**else** 和最近的**if**进行匹配。
3. for语句的步长设为一，**to**表示变量值加一，**downto** 表示变量值减一。
4. 读语句，写语句和过程调用语句比较简单。
5. 复合语句被**begin**和**end**围起来，之间是以分号隔开。
6. 语句可以为空，即什么都没有。

## 1.5 类型的解读

*type* ::= *basictype* | **array**[' *unsign* ']' **of** *basictype*

*basictype* ::= **integer** | **char**

*const* ::= [**+** | **-**] *unsign* | *character*

*character* ::= ' *letter* ' | ' *digit* '

*string* ::= "{ASCII characters with decimal code number varys from 32 to 126 exclude 34}"

$$\begin{aligned} \text{unsign} &::= \text{digit} \{ \text{digit} \} \\ \text{letter} &::= a|b|c|\dots|z|A|B|C|\dots|Z \\ \text{digit} &::= 0|1|2|3|\dots|9 \end{aligned}$$

类型的定义比较简单，就不画语法图了。直接说明。

1. 具体的类型分为两类：基本类型和数组。
2. 基本类型包括**integer**和**char**。整型包含正负的整数；char型包含数字位和大小写字母，定义时以单引号隔开。
3. 字符串包含十进制ASCII码值从32到126的所有的值但是得剔除值为34的双引号。这样有利于词法分析的状态机的设计。另外字符串不是一种类型，只用于写语句的打印。
4. 常量的定义可以是正负整数，也可以是字符。若是字符，则会使用ASCII 码值进行运算。

## 1.6 表达式，项，因子的解读

### 1.6.1 表达式

$$\text{expression} ::= [+|-] \text{term} \{ \text{addop } \text{term} \}$$

表达式的语法图见Figure 4。下面是一些表达式的样例：

- 3 + a  
a + b  
1 - 10  
a + 1 - 5

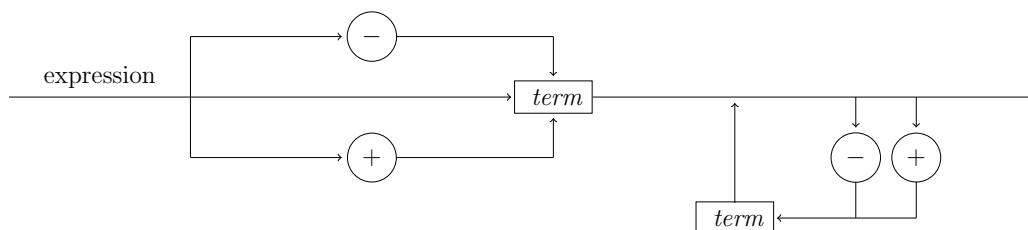


Figure 4: expression 语法图

### 1.6.2 项

$$\text{term} ::= \text{factor} \{ \text{multop } \text{factor} \}$$

项的语法图见Figure 5。下面是一些项的样例：

a \* b  
1 / 10  
a / 1 \* 5



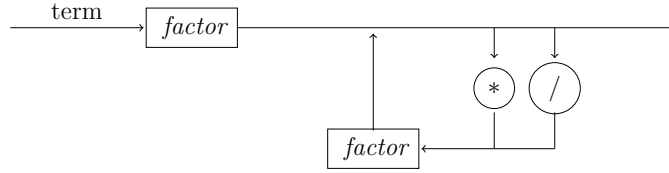


Figure 5: term 语法图

### 1.6.3 因子

$factor ::= ident \mid ident '[expression]'$   $unsign '(' expression ')'$   $fcallstmt$   
 $fcallstmt ::= ident '([arglist]'$

因子的语法图见Figure 6。下面是一些因子的样例:

```
const a = 1;
var A:array[3] of integer;
function somefun(): integer;
    somefun程序略;
// 下面的是因子
a
A[2]
(a + b)
somefun()
```

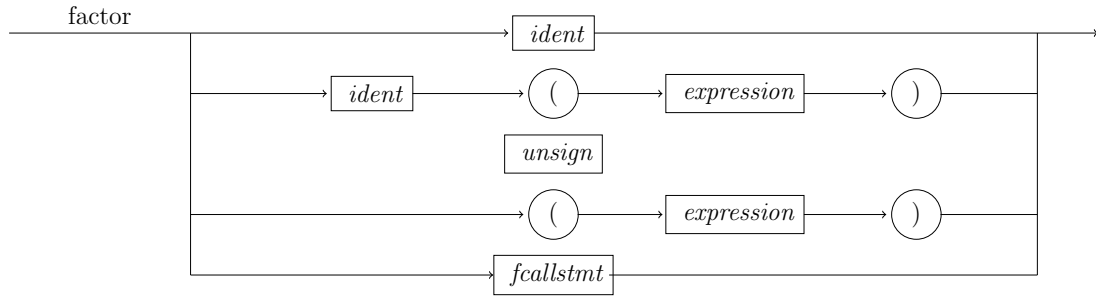


Figure 6: factor 语法图

## 1.7 其他一些杂项

$ident ::= letter \{ letter \mid digit \}$   
 $paralist ::= [\mathbf{var}] ident \{, ident \} : basictype \{; paralist \}$   
 $funident ::= ident$   
 $arglist ::= argument \{, argument \}$   
 $argument ::= expression$

```

addop ::= +|-
multop ::= */
condition ::= expression relop expression
relop ::= <|<=|>|>=|=|<>

```

杂项的说明:

1. 关于标识符的解析可以总结成一个状态机，见Figure 7
2. 形参列表需要给出参数类型。
3. 参数列表是由实参组成，之间使用逗号隔开。
4. 实参被定义成一个表达式。
5. 条件是基于一些比较，零表示假，非零表示真。

## 1.8 优化方案

DAG图消除公共子表达式。

数据流分析（活跃变量分析，消除冗余代码）

全局寄存器分配（引用计数）

## 2 详细设计

### 2.1 程序结构

程序的文件列表如下:

```

analyse.c analyse.h code.c code.h error.c error.h
global.h main.c nspace.c nspace.h parse.c parse.h
quad.c quad.h scan.c scan.h symtab.c symtab.h
util.c util.h elf.h elf.c

```

代码优化文件列表如下:

```

fgraph.h fgraph.c bblock.h bblock.c dag.h dag.c
live_variable.h live_variable.c reg.h reg.c

```

`main` 是主函数入口；`scan` 做词法分析；`parse` 做语法分析生成语法树；`analyse` 对语法树打印，并进行一些分析；`code` 语义分析，解析语法树，生成四元式；`symtab` 管理符号表；`nspace` 管理命名空间；`quad` 发射四元式；`elf` 将四元式生成x86汇编；`util` 是一些工具函数。

### 2.2 函数功能

捡几个比较重要的说。

`getToken()`:词法分析，获取单词

`parse()`:语法分析，生成语法树

`analyse()`:分析语法树

`code()`:生成四元式

`elf()`:生成elf文本格式的x86汇编

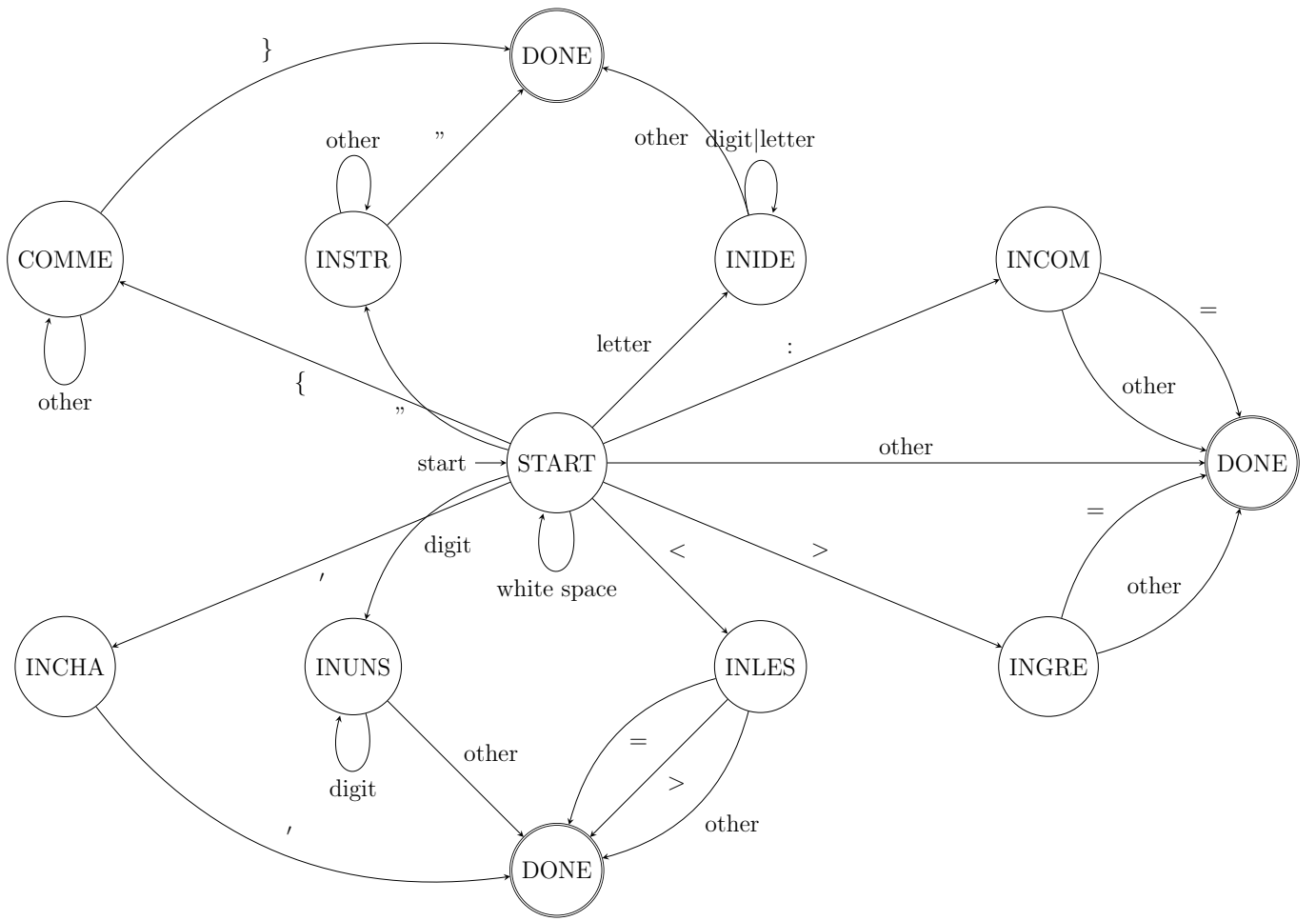


Figure 7: getToken 状态机

## 2.3 调用关系

main -> parse -> analyse -> code

parse 使用递归下降分析法建立语法树。里面有很多建立节点的函数，这些节点定义根据文法而来，具体如下：

```
static PgmSP PgmB(void);
static BlockSP BlockB(void);
static ConstDecSP ConstDecB(void);
static ConstDefSP ConstDefB(void);
static VarDecSP VarDecB(void);
static VarDefSP VarDefB(void);
static PFDecListSP PFDecListB(void);
static ProcDecSP ProcDecB(void);
...
```

```

static TermSP TermB(void);
static FactorSP FactorB(void);
static CondSP CondB(void);
static IdentSP IdentB(IDREADMODE mode);
static ParaListSP ParaListB(void);
static ParaDefSP ParaDefB(void);
static ArgListSP ArgListB(void);

```

每个节点的数据结构，如下：

```

typedef struct _PgmS *PgmSP;
typedef struct _BlockS *BlockSP;
typedef struct _ConstDecS *ConstDecSP;
typedef struct _ConstDefS *ConstDefSP;
typedef struct _VarDecS *VarDecSP;
typedef struct _VarDefS *VarDefSP;
typedef struct _PFDecListS *PFDecListSP;
typedef struct _ProcDecS *ProcDecSP;
...
typedef struct _FactorS *FactorSP;
typedef struct _CondS *CondSP;
typedef struct _IdentS *IdentSP;
typedef struct _ParaListS *ParaListSP;
typedef struct _ParaDefS *ParaDefSP;
typedef struct _ArgListS *ArgListSP;
/* declaretion of a bundle of node type */
typedef enum {
    Fun_PFDec_t , Proc_PFDec_t
} PFDec_t;
...
typedef enum {
    /* normal identifier type */
    Init_Ident_t, Proc_Ident_t, Int_Fun_Ident_t,
    Char_Fun_Ident_t,
    /* const identifier type */
    Int_Const_Ident_t, Char_Const_Ident_t,
    /* variable identifier type */
    Int_Var_Ident_t, Char_Var_Ident_t,
    IntArr_Var_Ident_t, CharArr_Var_Ident_t,
    /* parameter identifier type */
    /* call by value */
    Int_Para_Val_Ident_t, Char_Para_Val_Ident_t,
    /* call by address */
    Int_Para_Ref_Ident_t, Char_Para_Ref_Ident_t
} Ident_t;
...
typedef enum {
    StrId_Write_t, Str_Write_t, Id_Write_t
} Write_t;
/* declaretion of a bundle of struct */

```

```

/* Program */
typedef struct _PgmS {
    BlockSP bp;
} PgmS;
/* block */
typedef struct _BlockS {
    ConstDecSP cdp;
    VarDecSP vdp;
    PFDecListSP pfdlp;
    CompStmtSP csp;
} BlockS;
typedef struct _ConstDecS {
    ConstDefSP cdp;
    ConstDecSP next;
} ConstDecS;
typedef struct _ConstDefS {
    IdentSP idp;
} ConstDefS;
...
typedef struct _ArgListS {
    ExprSP ep;
    ArgListSP next;
} ArgListS;

```

analyse 做语法分析，code 遍历语法树各个节点，生成四元式。数据结构有点多，就不粘贴了。

## 2.4 符号表管理

符号表采用栈式符号表，每个函数或过程进入是申请符号表，退出时弹出。每个符号表项使用符号名hash查找，从栈顶往栈底查。数据结构如下：

```

/* hash size */
extern int HASHSIZE;
/* hash shift */
extern int SHIFT;

typedef struct _SymTabS *SymTabSP;
typedef struct _SymLineS *SymLineSP;
typedef struct _SymBucketS *SymBucketSP;
typedef struct _SymTabES *SymTabESP;

typedef enum { 表项类型
    Nop_Obj_t, Const_Obj_t, Var_Obj_t,
    Proc_Obj_t, Fun_Obj_t, Array_Obj_t,
    Para_Obj_t, Tmp_Obj_t
} Obj_t;

typedef enum { 符号类型
    Int_Type_t, Char_Type_t, Nop_Type_t
} Type_t;

```

```

/**
 * symbol table stack
 * is a stack that
 * manage symbol table in
 * each function
 */
typedef struct _SymTabS { 符号表链, 使用栈式符号表
    SymBucketSP *sbp;      hash 符号索引表头
    char *ns;              // namespace for a block
    SymTabSP prev;
    SymTabSP next;
} SymTabS;

/**
 * store which line a variable
 * be referenced
 */
typedef struct _SymLineS { 符号的行号记录
    int lineno;
    SymLineSP next;
} SymLineS;

/**
 * symbol table entry
 * bucket list
 */
typedef struct _SymBucketS {
    SymTabESP ep;          // element infomation
    SymBucketSP next;
} SymBucketS;

typedef struct _SymTabES { 符号表项
    char *name;            // identifier name
    char *label;           // namespace label
    int val;               // array length
                        // or const value
    SymLineSP lines;       // referenced lines
    Obj_t obj;            // object type
    Type_t type;          // type
    SymTabSP stp;         // point to symbol table
} SymTabES;
对应的符号表操作
SymTabSP pop(void);
SymTabSP newstab(void);
void push(SymTabSP);
char *mkUsi(int);
SymTabESP sym_insert_const(IdentSP);
SymTabESP sym_insert_var(IdentSP);

```

```

SymTabESP sym_insert_para(IdentSP);
SymTabESP sym_insert_fun(IdentSP, ParaListSP);
SymTabESP sym_insert_proc(IdentSP, ParaListSP);
SymTabESP sym_insert_tmp();
char *genLabel(void);
SymTabESP sym_lookup(char *);
void printTab(SymTabSP);

```

## 2.5 存储分配

常量编译时候直接嵌入汇编里，无需分配空间；变量动态分配存储空间见下面：运行栈示意图的variables 部分，数组也能分配在这个区域，不同的是数组是分配一段连续的内存空间。临时变量动态分配在变量空间下面。参数压每个函数栈。那些saved ebp 是display 区。

```

/**
 *          RUNTIME STACK OVERVIEW
 *
 *          high addr
 *
 *          | ... ... |
 *          | ... ... |
 *          | parameter(1) |
 *          | parameter(2) | ||
 *          | parameter(3) | ||
 *          | saved ebp(3) | ||
 *          | saved ebp(2) | ||
 *          | saved ebp(1) | ||
 *          ebp+8 -> | return addr | || stack
 *          ebp+4 -> | prev ebp   | || pointer
 *          ebp ->  | return value | || increase
 *          | variables(1) | ||
 *          | variables(2) | \\\|/
 *          | variables(3) | \|/
 *          | temporary(1) |
 *          | temporary(2) |
 *          | temporary(3) |
 *          | saved ebx    |
 *          | saved esi    |
 *          | saved edi    |
 *          | ... ...     |
 *          esp -> | ... ... |
 *
 *          low addr
 */

```

## 2.6 四元式设计

四元式设计如下：

算术指令：

ADD r, s, d	$d = r + s$
SUB r, s, d	$d = r - s$
MUL r, s, d	$d = r * s$
DIV r, s, d	$d = r / s$
INC -, -, d	$d++$
DEC -, -, d	$d--$
NEG r, -, d	$d = -r$

存取赋值指令:

LOAD r, -, d	load the value of r into d
ASS r, -, d	assign r into d; $d:=r$
ASSA r, s, d	$d := r[s]$

条件指令:

EQU r, s, d	brance to label d if ( $r == s$ )
NEQ r, s, d	brance to label d if ( $r != s$ )
GTT r, s, d	brance to label d if ( $r > s$ )
GEQ r, s, d	brance to label d if ( $r >= s$ )
LST r, s, d	brance to label d if ( $r < s$ )
LEQ r, s, d	brance to label d if ( $r <= s$ )

无条件跳转指令:

JMP -, -, d(label)	jump to label
--------------------	---------------

栈操作指令:

PUSH -, -, d	push d into stack
PUSHA -, -, d	push the address of d into stack
POP -, -, d	pop d out of stack

函数调用:

LABEL -, -, d(label)	label for brance
CALL r(funlabel), , d	$d = r()$
SRET -, -, d	set function return value
ENTER -, -, d(funlabel)	enterance of a function
FIN -, -, -	finish a function

IO指令:

READ -, -, d	read a integer
READC -, -, d	read a char
WRI -, -, d	write a integer
WRC -, -, d	write a char
WRS -, -, d	write a string

## 2.7 优化方案

### 2.7.1 DAG图

基本块结构如下:

```
typedef struct _BBS *BBSP;
typedef struct _BBLIST *BBLISTSP;

typedef struct _BBLIST {
```



```

        BBSP bbp;
        BBLISTSP next;
} BBLISTSP;

typedef struct _BBS {
    int id;
    // point to a function or procedure quadruples
    QuadSP qhead;
    QuadSP qtail;
    QuadSP scope;
    QuadSP first; // first position of basic block
    QuadSP last;  // last position of basic block
} BBS;

```

DAG图的优化见dag.c 文件。主要是先建立dag图在使用递归式从DAG图重新推导出四元式序列。

```

// dag node entry pointer
typedef struct _DNodeES *DNodeESP;
// dag node list pointer
typedef struct _DNListS *DNListSP;
// node table entry pointer
typedef struct _NtabES *NtabESP;
// node table list pointer
typedef struct _NTListS *NTListSP;

typedef struct _DNodeES {
    int id;
    union {
        Quad_t op;
        SymTabESP ste;
    } attr;
    DNodeESP left;
    DNodeESP right;
    BOOL visit;
    NTListSP iter;
} DNodeES;

typedef struct _DNListS {
    DNodeESP dne;
    DNListSP next;
} DNListS;

typedef struct _NtabES {
    SymTabESP ste;
    DNodeESP dne;
} NtabES;

typedef struct _NTListS {
    NtabESP nte;
    NTListSP next;
} NTListS;

```

```
} NTListS;
```

dag图需要维护一张节点表NTListS, 和一个dag图节点列表DNListS

### 2.7.2 数据流分析

```
void dataflow(void)
{
    cal_use_def();
    do_dataflow();
    rm_useless_assign();
}
```

上面的代码是fgraph.c 中的数据流函数。按照书中的算法, 先计算 use 和 def 集合, 见cal\_use\_def()。  
。do\_dataflow() 是迭代法求 in 和 out 集合。rm\_useless\_assign() 删除一些冗余的赋值语句。

### 2.7.3 全局寄存器分配

```
void _do_use_count(void)
{
    BBLISTSP bl;
    BBSP b;
    QuadSP q;
    int mi;
    clear_all_count();
    for (bl = fun_head; bl->bbp->posts->bbp; bl = bl->next) {
        b = bl->bbp;
        for (q = b->qhead; q; q = q->next) {
            if (q->r && COUNT_VARS(q->r))
                increaseCount(q->r);
            if (q->s && COUNT_VARS(q->s))
                increaseCount(q->s);
            if (q->d && COUNT_VARS(q->d))
                increaseCount(q->d);
        }
    }
    mi = find_max_count();
    global_reg[find_var_pos(b->scope->d)] = all_variables[mi];
}
```

```
void do_use_count(void)
{
    BBLISTSP bl;
    for (bl = bblst; bl && !bl->bbp->pres->bbp; ) {
        fun_head = bl;
        // fun_block_tail = bl;
        _do_use_count();
        for (bl = bl->next; bl && bl->bbp->pres->bbp ; bl = bl->next)
            ;
    }
}
```

```

    }
}

```

计算每个函数里面的变量，选取其中引用最多的几个，进行分配寄存器。

## 2.8 错误处理

错误处理的数组向量如下：

```

char *ERRVEC[MAXERROR] =
{
    "Fatal, Unexpect symbol token -> ",
    "Char defination is too long",
    "Char can only be defined as digit or letter",
    "Wrong defination of a string type",
    "Missing a '.' at the end of a program",

    "Missing a ';' after -> ",
    "Missing a '=' after -> ",
    "Missing a unsign number after -> ",
    "Missing a ':' after -> ",
    "Missing a '[' after -> ",

    "Missing a ']' after -> ",
    "Missing a '(' after -> ",
    "Missing a ')' after -> ",
    "Missing a keyword 'of' after -> ",
    "Missing a ':' after -> ",

    "Missing a keyword 'then' after -> ",
    "Missing a keyword 'until' after -> ",
    "Missing a keyword 'to' or 'downto' after -> ",
    "Missing a keyword 'do' after -> ",
    "Missing a function or procedure body",

    "Missing a identifier after -> ",
    "Missing a keyword 'end' after -> ",
    "Duplicate defined symbol -> ",
    "First used an undefined symbol -> ",
    "Should be a array type symbol -> ",

    "Should be var/fun/para symbol -> ",
    "Should be a procedure type symbol -> ",
    "Should be a function type symbol -> ",
    "Different size of parameters and arguments while using -> ",
    "Error use pass value by reference -> ",

    "Missing a ',' after -> "
};

```

这里标记了一些可以处理的错误类型列表。

## 3 操作说明

### 3.1 运行平台

操作系统: ubuntu 12.04

汇编器: nasm 2.09.10

连接器: gcc 4.6.3

gcc ubuntu 下已经集成, 无需安装。nasm 汇编器安装步骤很简单, 只需向shell里键入如下指令:

```
$ sudo apt-get install nasm
```

### 3.2 操作步骤

打开shell后: 键入如下指令即可编译运行。

```
$ make # make编译生成一个compiler的可执行文件
$ ./compiler filename.xxx # 编译filename.xxx 生成 filename.asm 的 elf文件
$ nasm -f elf filename.asm # 使用 nasm 汇编 filename.asm 生成 filename.o 文件
$ gcc filename.o # gcc 连接 filename.o 文件 生成 a.out 可执行文件
$ ./a.out # 运行 a.out
```

## 4 测试报告

### 4.1 测试程序及测试结果

#### 4.1.1 test1.txt (正确)

冒泡排序

```
1: {program bubble sort;}
2: var
3:   a:array[5] of integer {= (4, 5, 2, 7, 0)};
4:   i, j: integer;
5: procedure swap(var x,y:integer);
6:   var
7:     t: integer;
8:   begin
9:     t := x;
10:    x := y;
11:    y := t
12:  end;
13: begin { main }
14:   a[0] := 4;
15:   a[1] := 5;
16:   a[2] := 2;
17:   a[3] := 7;
18:   a[4] := 0;
19:   for i := 0 to 4 do
20:     begin
21:       for j := i to 4 do
22:         begin
```

```

23:         if a[i] > a[j] then
24:             begin
25:                 swap(a[i], a[j])
26:             end;
27:         end;
28:     end;
29:     for i := 0 to 4 do
30:         begin
31:             write(a[i])
32:         end
33:     end.

```

运行结果:

```

0
2
4
5
7

```

#### 4.1.2 test2.txt (正确)

求阶层，同时测试了多层次的display区。

```

1: { test for multi-level and display region disign}
2: var vn, out: integer;
3: function fac(n:integer): integer; {find factorial of n}
4: begin
5:     if n=0 then
6:         begin
7:             fac := 1
8:         end
9:     else
10:        begin
11:            fac := fac(n-1) * n
12:        end;
13:    end;
14:
15: function level1(n:integer):integer; {test for mutilevel}
16:     function level2(n:integer):integer;
17:         function level3(n:integer):integer;
18:             begin
19:                 level3 := fac(n)
20:             end;
21:         begin
22:             level2 := level3(n)
23:         end;
24:     begin
25:         level1 := level2(n)
26:     end;
27:

```

```

28: begin
29:   for vn := 0 to 4 do
30:     write(level1(vn))
31:   end.

```

运行结果:

```

1
1
2
6
24

```

#### 4.1.3 test3.txt (正确)

快排测试，输入的第一个数是要排序的总数（小于10），接着输入所有要求排序的数字。这里测试的读写。

```

1: {qsort test}
2: var a: array [10] of integer;
3:   i,num,temp:integer;
4: procedure qsort(l,h:integer);
5: var i,j,t,m:integer;
6:   procedure swap(var i, j:integer);
7:     var temp:integer;
8:     begin temp:=i;i:=j;j:=temp end;
9:
10: begin
11:   i:=l;
12:   j:=h;
13:   m:=a[(i+j) / 2];
14:   repeat
15:     begin
16:       if a[i]<m then repeat i:=i+1 until a[i]>=m;
17:       if m<a[j] then repeat j:=j-1 until m>=a[j];
18:
19:       if i<=j then
20:         begin
21:           swap(a[i],a[j]);
22:           i:=i+1;
23:           j:=j-1;
24:         end;
25:       end
26:     until i>j;
27:
28:     if j>l then qsort(l,j);
29:     if i<h then qsort(i,h);
30:   end;
31:
32: begin
33:   write("please input num <10 ");
34:   read(num);

```

```

35: for i:=1 to num do begin
36: write("please input number> ");read(temp); a[i-1]:=temp end;
37:
38: qsort(0, num-1);
39: write("number after sort");
40: for i:=0 to num-1 do write(a[i]);
41: end.

```

运行结果:

视具体情况而定，输出排序后的序列（升序）。下面是一种可能的情况。

```

please input num <10
4
please input number>
-1
please input number>
4
please input number>
0
please input number>
2431
number after sort
-1
0
4
2431

```

#### 4.1.4 text4.txt（正确）

用来测试取余，和条件分支。

```

1: var x,y,g,m:integer;
2:   i:integer;
3:   a,b:integer;
4: procedure swap();
5:   var temp:integer;
6:   begin
7:     temp:=x;
8:     x:=y;
9:     y:=temp
10:  end;
11: function mod(var fArg1,fArg2:integer):integer;
12:   begin
13:     fArg1:=fArg1-fArg1/fArg2*fArg2;
14:     mod:=fArg1
15:   end;
16: begin
17:   for i:=3 downto 1 do
18:     begin
19:       write("input x: ");
20:       read(x);

```

```

21:      write("input y: ");
22:      read(y);
23:
24:      x:=mod(x,y);
25:      write("x mod y = ",x);
26:      write("choice 1 2 3: ");
27:      read(g);
28:      if g = 1 then
29:          write("good ")
30:      else if g = 2 then
31:          write("better ")
32:      else if g = 3 then
33:          write("best ")
34:      end
35:  end.

```

运行结果：下面是某种输入下对应的输出。

```

input x:
4
input y:
4
x mod y =
0
choice 1 2 3:
1
good
input x:
7
input y:
5
x mod y =
2
choice 1 2 3:
2
better
input x:
-3
input y:
2
x mod y =
1
choice 1 2 3:
3
best

```

#### 4.1.5 text5.txt (正确)

GCD 测试



```

1: {greatest common divisor , recursive}
2: var i,m,n:integer;
3: function gcd(i,j:integer):integer;
4: begin
5:   if i=j then gcd:=i;
6:   if i>j then gcd:=gcd(i-j,j);
7:   if i<j then gcd:=gcd(i,j-i);
8: end;
9: begin
10:   for i := 1 to 3 do
11:     begin
12:       read(m, n);
13:       write(gcd(m,n))
14:     end
15:   end.

```

运行结果:

```

2 34
2
45 3
3
2343 23
1

```

#### 4.1.6 text6.txt (错误)

```

1: {program bubble sort;}
2: var
3:   a:array[5] of integer {=(4, 5, 2, 7, 0)};
4:   i, j: integer;
5: procedure swap(var x,y:integer);
6:   var
7:     t: integer;
8:   begin
9:     t := x;
10:    x := y;
11:    y := t
12:   end;
13: begin { main }
14:   a[0] = 4;
15:   a[1] = 5;
16:   a[2] = 2;
17:   a[3] = 7;
18:   a[4] = 0;
19:   for i := 0 to 4 do
20:     begin
21:       for j := i to 4 do
22:         begin
23:           if a[i] > a[j] then

```

```

24:      begin
25:          swap(a[i], a[j])
26:      end;
27:  end;
28: end;
29:  for i := 0 to 4 do
30:      begin
31:          write(a[i])
32:      end
33: end.

```

报错, 第14, 15, 16, 17, 18行]后缺少:=

```

compiler version 0.9.7 starting ...
syntax error:14: Missing a ':' after -> ]
syntax error:15: Missing a ':' after -> ]
syntax error:16: Missing a ':' after -> ]
syntax error:17: Missing a ':' after -> ]
syntax error:18: Missing a ':' after -> ]

```

#### 4.1.7 text7.txt (错误)

```

1: { test for multi-level and display region design}
2: var vn, out: integer;
3: function fac(n:integer): integer; {find factorial of n}
4: begin
5:     if n=0 then
6:         begin
7:             fac := 1
8:         end
9:     else
10:        begin
11:            fac := fac(n-1) * n
12:        end;
13: end;
14:
15: function level1(n:integer); {test for mutilevel}
16:     function level2(n:integer):integer;
17:         function level3(n:integer):integer;
18:             begin
19:                 level3 := fac(n)
20:             end;
21:         begin
22:             level2 := level3(n)
23:         end;
24:     begin
25:         level1 := level2(n)
26:     end;
27:
28: begin

```

```

29:   for vn := 0 to 4 do
30:       write(level1(vn))
31:   end.

```

语法错误: 15行)后面缺少:。函数没有返回值类型。

```

compiler version 0.9.7 starting ...
syntax error:15: Missing a ':' after -> )
syntax error:16: Fatal, Unexpect symbol token -> function

```

#### 4.1.8 text8.txt (错误)

```

1: {qsort test}
2: var a: array [10] of integer;
3:   i, a, num:integer;
4: procedure qsort(l,h:integer);
5:   var i,j,t,m:integer;
6:   procedure swap(var i, j:integer);
7:     var temp:integer;
8:     begin temp:=i;i:=j;j:=temp end;
9:
10:  begin
11:    i:=1;
12:    j:=h;
13:    m:=a[(i+j) / 2];
14:    repeat
15:      begin
16:        if a[i]<m then repeat i:=i+1 until a[i]>=m;
17:        if m<a[j] then repeat j:=j-1 until m>=a[j];
18:
19:        if i<=j then
20:          begin
21:            swap(a[i],a[j]);
22:            i:=i+1;
23:            j:=j-1;
24:          end;
25:        end
26:      until i>j;
27:
28:      if j>1 then qsort(1,j);
29:      if i<h then qsort(i,h);
30:    end;
31:
32:  begin
33:    write("please input num <10 ");
34:    read(num);
35:    for i:=1 to num do begin
36:      write("please input number> ");read(temp); a[i-1]:=temp end;
37:
38:    qsort(0, num-1);

```

```

39: write("number after sort");
40: for i:=0 to num-1 do write(a[i]);
41: end.

```

语义错误：第3行a重复定义，36行的tmep未定义就使用。

```

compiler version 0.9.7 starting ...
semantic error:3: Duplicate defined symbol -> a
semantic error:36: First used an undefined symbol -> temp
semantic error:36: First used an undefined symbol -> temp

```

#### 4.1.9 text9.txt (错误)

```

1: var x,y,g,m:integer;
2:   i:integer;
3:   a,b:integer;
4: procedure swap;
5:   var temp:integer;
6:   begin
7:     temp:=x;
8:     x:=y;
9:     y:=temp
10:  end;
11: function mod(var fArg1,fArg2:integer):integer;
12:   begin
13:     fArg1:=fArg1-fArg1/fArg2*fArg2;
14:     mod:=fArg1
15:   end;
16: begin
17:   for i:=3 downto 1 do
18:     begin
19:       write("input x: ");
20:       read(x);
21:       write("input y: ");
22:       read(y);
23:
24:       x:=mod(x,y);
25:       write("x mod y = ",x);
26:       write("choice 1 2 3: ");
27:       read(g);
28:       if g = 1 then
29:         write("good ")
30:       else if g = 2 then
31:         write("better ")
32:       else if g = 3 then
33:         write("best ")
34:       end
35:   end.

```

swap函数头出现错误。

```
compiler version 0.9.7 starting ...
syntax error:4: Missing a '(' after -> swap
syntax error:6: Missing a identifier after -> ;
syntax error:7: Missing a ':' after -> begin
syntax error:7: Fatal, Unexpect symbol token -> :=
```

#### 4.1.10 text10.txt (错误)

```
1: {greatest common divisor , recursive}
2: var i,m,n:integer;
3: function gcd(i,j:integer):integer;
4: begin
5:   if i=j then gcd:=i;
6:   if i>j then gcd:=gcd(i-j,j);
7:   if i<j then gcd:=gcd(i,j-i);
8: end;
9: begin
10:   for i := 1 to 3 do
11:     begin
12:       read(m, n);
13:       write(gcd(m,n), m)
14:     end
15:   end.
```

write语句同时写两个表达式，这是错误的。

```
compiler version 0.9.7 starting ...
syntax error:13: Missing a ')' after -> )
syntax error:13: Missing a keyword 'end' after -> ,
syntax error:13: Missing a keyword 'end' after -> m
syntax error:14: Missing a '.' at the end of a program
```

## 4.2 测试结果分析

### 4.2.1 test1.txt (正确)

这个程序是冒泡排序。主要测试了函数调用，控制流，表达式以及一些基本语句。对数组的引用。

### 4.2.2 test2.txt (正确)

这个程序就是一个简单的求阶乘，但是使用了多层嵌套的调用模式，主要是测试display区是否调试正确。

### 4.2.3 test3.txt (正确)

这是一个快排的程序。除了对函数调用，以及传值和传引用的区别，还测试了数组访问，以及递归运行栈调用的正确性。

### 4.2.4 test4.txt (正确)

这是一个取余的测试程序，测试了整数除法的运算，以及一些基本表达式的运算。对函数调用以及全局变量的访问，外部变量寻址进行了测试。

#### 4.2.5 test5.txt (正确)

这个程序是求最大公约数的例程，主要是用来测试多重递归问题，同时也测试了控制流的正确性。对读取语句也进行了相关的测试。

#### 4.2.6 text6.txt (错误)

这个程序着重强调了报多个字符缺少的错误。对于文法中的赋值符号:=被勿用成=，错误处理可以找到多处这样的错误。

#### 4.2.7 text7.txt (错误)

这个例程的错误在于函数忘记写返回值类型，这种错误相当与函数头处缺一个冒号，然后后面缺少类型。

#### 4.2.8 text8.txt (错误)

这个程序错误出现与名字的未定义以及名字的重复定义，a在程序中重复定义了，这里报错了。temp变量在程序中未声明就使用了，这属于未定义就使用的错误。

#### 4.2.9 text9.txt (错误)

这里的错误属于违法语法的错误，swap过程定义后没有添加括号。这里就直接指出，但是这样会引起其他的错误。

#### 4.2.10 text10.txt (错误)

这里的错误就是写语句只有三种格式，（字符串，表达式）；（字符串）；（表达式）。而不能像源程序中的错误，写成（表达式，表达式）。

## 5 总结感想

进行了几周的努力，终于完成了拓展的PL/0编译器的建设。期间遇到的难关都在不断摸索中慢慢变得清晰。下面总结一下自己这几周的工作。

1. 进行了PL/0文法的解读很分析
2. 自己设计和不断修改四元式
3. 9000多行的c代码
4. 自己学习了x86汇编（运行栈太难调了）
5. 熟悉了Linux编程，和使用gcc调试汇编

回想这些日子以来自己不知不觉地已经做了这么多的工作，编译器在自己的工作下一天天的强大，感觉很好。但是自己还是没有时间做太多的优化，首先是自己当时没有组织好数据结构。白白浪费了很多时间重整数据结构，这是比较繁琐的。四元式的设计也是不断迭代才得到的最终版。

学习是循序渐进的过程，我没有奢求一次就完成整个编译器的构建的野心。只有在不断调试之后我才获得更好的实现方式，同时自己的代码能力也是在不断提高。

最后的话，写这个编译器是很值的。