تولید کد میانی

کد میانی چیست ؟

کدی است در سطح زبان ماشین، اما مستقل از ساختار هر ماشین خاص، در واقع یك شبه اسمبلی ست، که متعلق به هیچ ماشین خاصی نیست، لذا به آن ماشین مجازی (Virtual Machine) نیز گفته می شود، برای مثال JVM که همان ByteCode است که :

- امکان پیاده سازی راست و بدون اشکال دستورالعمل های جاوا را به شبه اسمبلی فراهم نمود.

(در پاسکال Pcode و در C، Ccode داریم)

علت استفاده از کد میانی چیست؟

کد میانی :

- قابل اجرا در روی هر کامپیوتری می باشد (Portableity).
- بهینه سازی خوبی دارد (Optimization).

انواع کدهای میانی :

۱. **دستورالعملهای شبه اسمبلی.**

در واقع این دستورالعملها بیانگر یك ماشین مجازی می باشند، زیرا محدودیت در تعداد ثباتها را ندارند.

۲. **دستورالعملهای سه آدرسه.**

۳. **درختهای خلاصه نحوی.**

روش تولید کد میانی :

۱. آیا در مرحله ای جداگانه کد میانی ایجاد می شود (از لحاظ سرعت بسیار کند می باشد).

۲. آیا همگام با تحلیل نحوی، این کار صورت می گیرد (از لحاظ پیاده سازی دارای مشکل می باشد).

حل مشکل :

پاسخ در روشی ست تحت عنوان ترجمه هدایت شده همگام با تحلیل نحوی(Syntax Directed Translation).

روش :

- بعد از تشخیص هر ترم میانی.
- بعد از Reduce در روش بالا به پایین.
- بعد از فراخوانی روال هر ترم میانی در روش بالا به پایین، کد مربوطه تکمیل می شود.

مثال :

تولید کد میانی برای عبارت زیر :

a*(b+c)+d*e

```
mov T1, a
mov T2, b
add T2, c
mul T1, T2
mov T2, d
mul T2, e
add T2, T1
```

هدف :

تولید مولد کد شبه اسمبلی برای عبارات چهار عمل اصلی.

E ➔ E + T | E - T | T
T ➔ T * F | T / F | F
F ➔id | no | '(' E ')'

برای اینکه بتوان تجزیه گر کاهینه بازگشتی برای گرامر عبارات ایجاد نماییم، ابتدا باید گرامر را به فرم LL(1) تبدیل می کنیم.

E ➔ T{(+ | -) T}
T ➔ F{(* | /) F}
F ➔ id | no | '(' E ')'

هر بار که New Temp اجرا می شود، String جدیدی را بعنوان متغیر کمکی بر می گرداند.

```
Var
  Target, Source : Text;
  TempNo : integer;      //مقدار اولیه صفر

  TempVar : string;      //شامل رشته موقتی متغیر

Procedure  NewTemp;  //متغیر موقتی جدید ایجاد می کند

Begin
  Tempno := TempNo + 1;
  TempVar := 'T' + str( TempNo );
End;
Procedure  RemTemp;  //متغیر موقتی را برگشت می دهد

Begin
  Tempno := TempNo - 1;
End;
Procedure  Emitln( string s );
```

```
Begin
  Writeln( Target, S);
End;
Procedure  Emit( string s );
Begin
  Write( Target, S);
End;
```

حال شروع به نوشتن تك تك تابع می کنیم :

```
Stops : set of symbols;
//-------------------------------------------------------------------------------
----------------
(*F ➔  id | no | '( ' E ' )' *)
Procedure F ( Stop : Stops; Var Resf : string; R : integer;);
Var
  R  : integer;
  ResF : string;
Begin
  R := 0;
  If ( CurrentSymbol = S-id ) or ( CurrentSymbol = S_no) then
    Begin
      ResF := CurrentToken.Lexeme;
      NextSymbol;
    End
  Else
    Begin
      Expect( S_OpenPar, Stop + [S_id, S_no, S_OpenPar]);
      E ( Stop + [S_ClosePar], ResF, R);
      Expect( S_ClosePar, Stop);
    End;
End;
//-------------------------------------------------------------------------------
----------------
(*  T ➔  F{( * |  /)  F}  *)
Procedure  E ( Stop : Stops; Var ResT : string; R : integer;);
Var
  OpCode : Symbols;
  Operand : string;
  R1 : integer;
Begin
  F( Stop + [S_mul, S_div], ResT, R);
  While ( CurrentSymbol = S_div) or ( CurrentSymbol = S_mul) do
    Begin
      OpCode := CurrentSymbol;
      NextSymbol;
      If R = 0 then
        Begin
          NewTemp;
          OpCode := TempVar;
          Emitln('mov ' + Operand + ',' + ResT);
          R := 1;
          ResT := Operand;
```

```
        End;
      F ( Stop + [ S_mul, S_div], Operand, R1);
      If (OpCode = S_mul) then
        Emit('mul ')
      Else Emit('div ');
      Emitln(ResT + ',' + Operand);
      If R1 = 1 then
        RemTemp;
   End;
End;
//-------------------------------------------------------------------------------
-----------------
(*  E ➔  T{( + | - ) T}  *)
Procedure E ( Stop : Stops; Var ResE : string; R : integer;);
Var
  OpCode : Symbols;
  Operand : string;
  R1 : integer;
Begin
  T( Stop + [S_add, S_sub], ResT, R);
  While (CurrentSymbol = S_add) or (CurrentSymbol = S_sub) do
    Begin
      OpCode := CurrentSymbol;
      If R = 0 then
        begin
          NewTemp;
          Operand := TempVar;
          Emitln('mov ' + Operand +  ',' + ResE);
          R = 1;
          ResE := Operand;
      End; { end of  if }
      If OpCode = S_add then
        Emit('add ')
      Else Emit('sub ');
      T(Stop + [S_add, S_sub], Operand, R1);
      Emitln(ResE + ',' + Operand);
      If R1 = 1 then
        RemTemp;
   End; { end of  while }
End; { end of  procedure }
```

هدف :

تولید دستورالعملهای شبه اسمبلی برای انواع جملات.

روش :

ترجمه همراه با هدایت نحوی (Syntax Directed Translation)

```
  (* id := E *)
Procedure Assignment( Stop : Stops; Var ResA : string; R : integer);
Var
```

```
  ResE : string;
Begin
  ResA := CurrentToken.Lexeme;
  Expect(S_id, Stop + [S_assign]);
  Expect(S_assign, Stop + [S_id, S_no, S_OpenPar]);
  E(Stop, ResE);
  Emitln('mov ' + ResA + ',' + ResE);
  If R = 1 then
  RemTemp;
  R := 0;
End;
```

مثال :

الف-جملات تخصیصی

ب-جملات شرطی (جملات If)

```
If a > b then c :=  a - b
Else c := a + b;

mov T1, a
cmp T1, b
jle L1
mov T1, a
sub T1, b
mov c, T1
jmp L2
L1:
mov T1, a
add T1, b
mov c, T1
L2:

Var
  LabelNo : integer;
Function NewLabel : string;
Begin
  LabelNo := LabelNo + 1;
  NewLabel := 'L' + str(LabelNo);
End;

(* Condition ›    E Relop E *)
Procedure Condition( Stop : Stops; Var ResC : string; R : integer);
Var
  ResE , ResE1 : string;
  LFalse : string;
  R1, R2 : integer;
  OpCode : Symbols;
Begin
  E(Stop + [S_lt, S_le, S_gt, S_ge, S_ne, S_e], ResE, R1);
  OpCode := CurrentSymbol;
  Relop(Stop + [ S_id, S_if,…]);
```

```
  E(Stop, ResE1, R2);
  Emitln('cmp ' + ResE + ',' + ResE1);
  If R1 = 1 then
    RemTemp;
  R := 1;
  ResC := NewTemp;
  Emitln('xor ' + ResC + ',' + ResC);
  LFalese := NewLabel;
  Case OpCode of
    S_lt :
      Emitln('jge ' + LFalse);
    S_le :
      Emitln('jg ' + LFalse);
    S_ne :
      Emitln('je ' + LFalse);
    …
  end;
  Emitln('inc ' + ResC);
  Emitln(LFalse + ':');
End;
```

تمرین :

برای عبارات If ، Case و While با در نظر گرفتن گرامر Condition ، کد شبه اسمبلی تولید نمایید.

```
(* Ifst ›    If  Condition Then  st  Else st *)
Procedure Ifst( Stop : Stops; Var ResIf : string; R : integer);
Var
  ResCond : string;
  LabelElse, LabelEnd : string;
  RC : integer;
Begin
  Expect(S_if, Stop + [S_OpenPar, S_id, S_no, S_not]);
  Condition(Stop + [S_then], ResCond, RC);
  Emitln('cmp ' + ResCond + ',' + '0');
  LabelElse := NewLabel;
  RemTemp;
  Emitln('je ' + LabelElse);
  Expect(S_then, Stop + [S_id, S_while, S_begin, …]);
  st(Stop + [S_Else], '0', 0);
  if CurrentSymbol = S_Else then
    Begin
      LabelEnd := NewLabel;
      Emitln('jmp ' + LabelEnd);
      Emitln(LabelElse + ':');
      NextSymbol;
      st(Stop, '0', 0);
    End
  Else
    LabelEnd := LabelElse;
  Emitln(LabelEnd + ':');
End;
```

مثال :

```
If a > b then  c := a + 1
Else c := b + a;
  xor T1, T1
  mov T2, a
  cmp T2, b
  jle L1
  inc T1
L1:
  cmp T1, 0
  je L2
  mov T1, a
  add T1, 1
  mov c, T1
  jmp L3
L2:
  mov T1, b
  add T1, a
  mov c, T1
L3:
  …
```

نکته :

باید توجه نمود که در تابع Condition که قبلا نوشته شده است، باید کد بصورتی تولید شود که ابتدا متغیر موقتی به ResC تخصیص داده شود تا پس از انجام مقایسه بتوان به درستی RemTemp را به اجرا در آورد.

تمرین :

رویه هایی بنویسید که برای جملات Case کد تولید نمایند.

```
Case› Case id of
            CasePart {CasePart}
            [ElsePart]
          End;
Casepart› (id  | no ) {, ( id | no )} ':' st ';'
```

تولید کد اسمبلی

هدف :

استفاده از دستورالعملهای اسمبلی پروسسورهای اینتل جهت تولید کد اسمبلی.

در این راستا می بایست قوانین اسمبلی رعایت شود و در عملیاتی مانند جمع و ضرب از اکومولاتور (ثبات AX) به عنوان اولین عملگر استفاده شود.

محدودیت دیگر، تعداد ثباتها می باشد که محدود هستند، دیگر اینکه همواره اولین عملگر می بایست در یك ثبات قرار گیرد. برای چگونگی تخصیص ثباتها از تابعی به نامRegister Management استفاده می شود.

Register Management :

RM یا مدیریت ثباتها، یك جدول به نام Register Table می باشد که دارای وضعیت تخصیصی Registerها را در آن مشخص می کنیم. این کلاس در تابع اصلی به نام Get و Free دارد که جهت گرفتن و با آزاد کردن Registerها مورد استفاده Code Generator قرار می دهد.

یك نکته ای که RM در نظر می گیرد علاوه بر تخصیص ثبات مشخص می کند که ثبات حافظه مقدار کدام متغیر است.

```
mov DI, 1
add AX, DI
add AX, 1
mov DI, AX
mov AX, DI
mul AX, 2
mov SI, AX
Reg := GetReg('AX');
Reg2 := CheckReg(CurrentToken.Lexeme);
Reg := GetReg('j');
Reg := RM.GetReg(CurrentToken.Lexeme);
'mov DI, 1'
Reg := RM.GetReg('AX');
Reg2 := CheckReg(CurrentToken.Lexeme);
'mov AX, DI'
'add AX, 1'
Reg := GetReg(CurrentToken.Lexeme);
'mov DI, AX'
```

تا به حال برای تولید کدهای اسمبلی از متغیرهای موقتی استفاده می کردیم ، برای مثال

```
(a+b*c) * (d+c*f)

Mov  t1,a
Mov  t2,b
Mul  t2,c
Add  t1,t2
Mov  t2,d
Mov  t3,c
Mul  t3,f
Add  t2,t3
Mul  t1,t2
```

اما چنانچه که میدانیم کدهای بالا به صورت عملی کاربردی ندارد و اجرا نخواهد شد. برای اینکه بتوانیم کدهـای بـالا را قابل اجرا کنیم باید به جای متغیرهای موقتی از ثباتها استفاده کنیم به این طدیق که به جای متغیرهای موقـتی ، ثباتهـا را جایگزین کنیم.

سئوال: چرا نیاز به مدیریت ثباتها داریم؟

۱) تعداد ثباتها به اندازه تعداد متغیرهای موقتی نیست(محدودیت ثباتها)

۲) نسبت دادن متغیر های موقتی به ثباتها مشکل بوجود می آورد.

یک روش کلی (جایگزاری):

برای تبدیل کد بالا به کد قابل اجرا باید جای متغیرهای موقتی از ثباتها استفاده کنیـم. بـرای ایـن کـار ابتـدا کـد بـرای متغیرهای موقتی ایجاد کرده و سپس در تبدیل به جای هر متغیر موقتی ثبات قرار می دهیم . در این اینجا دو سئوال پیش می آید :

۱) تعداد ثباتها محدود است .

۲) چه وقت نیاز به آن ثباتی که استفاده شده است نداریم؟

جواب ۱) فرض کنید ما دو ثبات داریم، داخل یکی مقدار T1 را قرار دادهایم وداخل دیگری T2را.حال بـه یـك ثبـات دیگر نیاز داریم، می توانیم بسته به قراردادی که برای خودمان در نظر می گیریم یکی از ثباتها را برای انجام کارمان خالی کنیم یعنی مقدارش را در یك متغیر محلی به نام X1قرار دهیم . سپس از آن ثبات استفاده کنیم در اینجـا مـا از FIFO استفاده می کنیم ، یعنی اینکه آن ثباتی که دارای شماره کمتری از نظر الویت است مقدارش را در متغیر موقـتی X1 قـرار می دهیم که خواهیم داشت :

ثبات	الویت
Ax -> T1	**1**
Bx -> T2	**2**

الویت Ax کمتر است :

X1 -> Ax	
Ax -> T3	**3**

برای انجام این کار به صورت عملی به رکوردهای زیر نیاز داریم :

رکورد RegTableRow :

۱) نام ثبات (RegName)--› از نوع String

۲) نام متغیر (VarName) --› از نوع String

۳) شماره الویت (Turm) --› از نوع Integer

۴) آیا ثبات در حال استفاده هست ؟ (Turn) --› از نوع Boolean

برای هر متغیر که به آن یك ثبات اختصاص میدهیم رکورد بالا را پر میکنیم ، برای مثال :

Ax -> T1

خواهیم داشت :

RegName = Ax
VarName = T1
Turn = 1
Busy = True

برای زمانی که ثبات کم می آوریم ، باید یك ثبات را خالی کنیم . یك رکورد دیگر باید داشته باشیم .

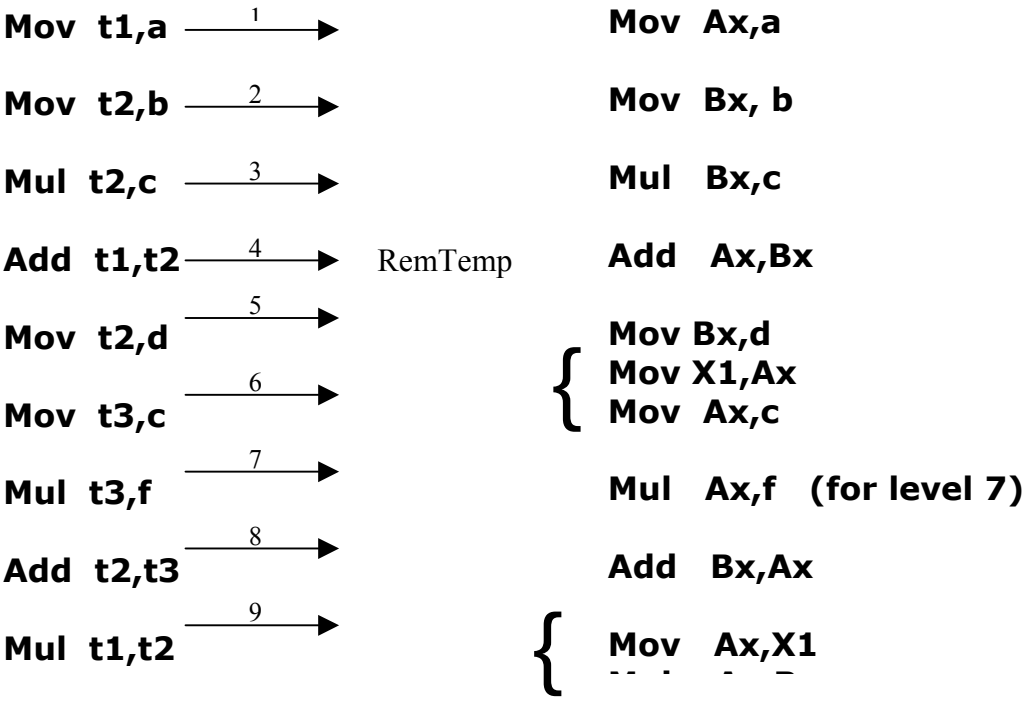
رکورد TempTableRow :

۱) نام متغیر موقتی (TempName) --› از نوع String

۲) نام متغیر یا ثبات (varName) --› از نوع String

به مثال زیر توجه کنید :

(a+b*c) * (d+c*f)



در مورد کد بالا به موارد زیر توجه کنید :

۱) ما فقط دو ثبات داریم : AX,BX

۲) به انجام مراحل زیر توجه کنید :

مرحله ۱ :

Regname=AX
Varname=T1
Turn=1
Busy=True

داخل جدول ثباتها و متغیرها را جستجو میکنیم ,
اگر به T1 ثبات اختصاص نـداده باشـیم , بـه آن
ثبات اختصاص می دهیم.

مرحله ۲ :

داخل جدول ثباتها و متغیرها را جستجو میکنیم ,
اگر به T1 ثبات اختصاص نـداده باشـیم , بـه آن
ثبات اختصاص می دهیم.

Regname=BX
Varname=T2
Turn=2
Busy=True

مرحله ۳ :

در داخل جدول ثباتها جستجو می کنیم چون به T2 یکبار ثبات داده شده است از همان در این مرحله استفاده میکنیـم .

مرحله ۴ :

در داخل جدول ثباتها جستجو می کنیم چون به T2 , T1یکبار ثبات داده شده است از همان در ایـن مرحلـه اسـتفاده میکنیم .

نکته : وقتی یك متغییر در سمت راست آورده می شود در هر مرحله أی که باشیم آن متغیـیر را در داخـل جـدول ثباتـه جستجو می کنیم اگر آن متغییر دارای یك ثبات باشد ، اشغالی آن ثبات را False می کنیـم چـون دیـگر نیـازی بـه آن نیست ، چون مقدارش در متغییر سمت چپ ریخته شده است (کاملا مثل قبل عمل می کنیم در قبل ما Remteoup مـی کردیم) .

باید یك رجیستر پیدا کنیم که خالی باشد تا مقدار D را در آن قرار دهیم داخل جدول رجیستر جستجو می کنیـم چـون bx ، Busy اش False است می یوانیم از این ثبات برای قرار دادن d استفاده کنیم .

باید داخل جدول ثباتها جستجو کنیم تا یك ثبات خالی پیدا کنیم ولی چون دیگر ثبات خالی دیگری وجود ندارد مجبوریم یکی از ثباتها را به یك متغییر موقتی بریزیم و از آن ثبات خالی شده استفاده کنیم ، برای این کار به صورت زیر عمل می کنیم .

(1) داخل جدول متغییر ها

Temp name = x1
Vov name = T1
X1 ← ax

(2) **Reg name = ax**

Vav name = T3
Turn = 3
Busy = True

مانند قبل عمل می کنیم داخل جدول ثباتها چون به T3 یك بار ثبات اختصاص داده شده اسـت دیـگر بـرای آن ثبـات جدیدی در نظر نمی گیریم و عمل ضرب را انجام می دهیم .

عمل جم++ع انجام می شود ولی چون ax در سمت راست قرار دارد دیگر نیازی به آن نیســت و (Busy = False) اشغال آنرا برابر False قرار می دهیم (یعنی می توان از این استفاده کرد) .

در مرحله (q) باید T1, T2 را جستجو کنیم T2 را در جدول مربوط به ثباتها پیدا کرده و مقدارش که bx را در نظـر می گیریم ولی T1 در جدول ثباتها وجود ندارد پس جدول مربوط به متغییر ها را نیز جستجو می کنیم آنرا پیدا می کینم

می فهمیم مقدارش در x1 وجود دارد آنرا داخل یك ثبات خالی قرار می دهیم (اگر وجود نداشت یك ثبات را خالی می کنیم) و سپس عمل Mul را انجام میدهیم .