M1IF12, TD 5 : Génération de code intermédiaire + optims

Hinde Bouziane et Laure Gonnord

27 octobre 2008

Remplissage des tables

Un petit exercice pour vérifier que l'on sait bien remplir les tables :

```
program trier;

type tarray : array [ 1.. 10 ] of integer;
var t0, t1, t2 : tarray;

procedure remplirTab ( var dest : tarray );
var i : integer;
begin
(* bla bla bla *)
end;

procedure afficherTab ( src : tarray );
var i : integer;
begin
(* bla bla bla *)
end;

procedure copyTab ( src : tarray ; var dest : tarray );
var i : integer;
begin
for i := 1 to 10 do
dest [ i ] := src [ i ];
end;

(* tri par insertion du minimum *)
procedure triMinimum ( src : tarray ; var dest : tarray );
(* recupere la valeur min d'un tableau entre 2 indices *)
var i : integer;
function getMinimum ( src : tarray ; i0, i1 : integer ) : integer;
var i, indice : integer;
begin
indice := i0;
for i := i0+1 to i1 do begin
if src [ indice ] > src [ i ] then
indice := i
end
getMinimum := indice
end;
(*
echange deux valeurs dans un tableau
```

```
*)
procedure swap ( i0, i1 : integer ; var src : tarray )
var v : integer;
begin
v := src [ i0 ];
src [ i0 ] := src [ i1 ];
src [ i1 ] := v
end;
begin
copyTab ( src, dest );
for i := 1 to 10 do
swap ( i, getMinimum ( dest, i, 10 ), dest )
end;

(* tri a bulles *)
procedure triABulles ( src : tarray ; var dest : tarray );
var i,j,t:Integer;
begin
copyTab ( src, dest );
for i := 1 To 9 do
for j := i+1 to 10 do
If dest[i]>dest[j] then begin
t:=dest[i];
dest[i]:=dest[j];
dest[j]:=t;
end;
end;

begin
remplirTab ( t0 );
triMinimum ( t0, t1 );
triABulles ( t0, t2 );
afficherTab ( t1 );
afficherTab ( t2 );
end.
```

Correction : Pour les ids :

ident	nom
0	trier
1	tarray
2	t0
3	t1
4	t2
5	remplirTab
6	dest
7	i
8	afficherTab
9	src
10	copyTab
11	triMinimum
12	getMinimum
13	i0
14	i1
15	indice
16	swap
17	v
18	triABulles
19	j
20	t

et pour les symboles :

TS0 (du programme)	parent=NULL	
ident	categorie	parametres
0	programme	(code=???,TS=TS0)
1	type	(type=array,indices=(1..10),elements=integer)
2	variable	(type=1)
3	variable	(type=1)
4	variable	(type=1)
5	procedure	(arite=1,code=???,TS=TS1)
6	procedure	(arite=1,code=???,TS=TS2)
7	procedure	(arite=2,code=???,TS=TS3)
11	procedure	(arite=2,code=???,TS=TS4)
18	procedure	(arite=2,code=???,TS=TS7)

TS1 (remplirTab)	parent=TS0	
ident	categorie	parametres
6	argument	(modifiable=vrai,type=1)
7	variable	(type=integer)

TS2 (afficherTab)	parent=TS0	
ident	categorie	parametres
9	argument	(modifiable=faux,type=1)
7	variable	(type=integer)
TS3 (copyTab)	parent=TS0	
ident	categorie	parametres
9	argument	(modifiable=faux,type=1)
6	argument	(modifiable=vrai,type=1)
7	variable	(type=integer)
TS4 (triMinimum)	parent=TS0	
ident	categorie	parametres
9	argument	(modifiable=faux,type=1)
6	argument	(modifiable=vrai,type=1)
7	variable	(type=integer)
12	fonction	(arite=3,retour=integer,code=???,TS=TS5)
16	procedure	(arite=3,code=???,TS=TS6)

TS5 (getMinimum)		parent=TS4
ident	categorie	parametres
9	argument	(modifiable=faux,type=1)
13	argument	(modifiable=faux,type=integer)
14	argument	(modifiable=faux,type=integer)
7	variable	(type=integer)
15	variable	(type=integer)
TS6 (swap)		parent=TS4
ident	categorie	parametres
13	argument	(modifiable=faux,type=integer)
14	argument	(modifiable=faux,type=integer)
6	argument	(modifiable=vrai,type=1)
17	variable	(type=integer)
TS7 (triABulles)		parent=TS0
ident	categorie	parametres
9	argument	(modifiable=faux,type=1)
6	argument	(modifiable=vrai,type=1)
7	variable	(type=integer)
19	variable	(type=integer)
20	variable	(type=integer)

Génération de code intermédiaire

Le code 3 adresses est utilisé ici comme représentation intermédiaire. La traduction est dirigée par la syntaxe («à la yacc»). Dans un premier temps, on considère que l'on a un nombre de registre infini.

On considère la syntaxe suivante pour les expressions

```
E -> id=E | id[E]=E | E+E | id | n | true ... | E=E | E ou E | ...
```

On utilise les attributs «code» pour le code (!) et «place» pour le nom du registre dans lequel on stocke le calcul, et on se réfère à la feuille distribuée pour la production du code.

Pour les programmes on utilise le «mini langage while» suivant :

```
Prog - > ListeInstructions
ListeInstructions -> Instruction ; ListeInstruction | eps
..
Instruction -> id:=E | If E then ListeInstruction else ..
                     | while E do ... done;
```

EXERCICE 1 **Génération de code 3 adresses : expressions, instructions**

En utilisant les fonctions de génération de code pour machine à registre, écrivez la séquence de code produite pour les fragments de programme suivants :

```
x1 := 3 ; x2 := 3 + x1 + x2 ;
if not (x2 = x1) then
   x1 := x2
else
   x2 := 0
```

```
x2 : = 0 ;
while x3
   x3 := not x3 and (x2 = (x2 + 2)) ;
```

```
var x,y:int
while not x=y do
      if x>y then x:=x-y else y:=y-x
done
```

CORRECTION :

```
#### Code A :

On doit générer le code d'une séquence d'instructions, donc on va
faire des appels concaténés

Code-prog-A =

   x1 := 3            /*  E → entier { E.code = '';  E.val = entier.val}
                          I → id := E { I.code = E.code Id.place ':=' E.val}
                       */

   t1 := 3 + x1       /*  E → entier { E.code = '';  E.val = entier.val}
                          E → Id {E.place = Id.place;  E.code = ''}
                          E0 → E1 + E2 { E0.place = nouvTemp()
                                         E0.code = E0.place ':=' E1.val '+' E2.place
                                       }
                       */

   t2 := t1 + x2      /* E → Id {E.place = Id.place;  E.code = '' pour x2}
                         E0 → E1 + E2 { E0.place = nouvTemp()
                                         E0.code = E0.place ':=' E1.place '+' E2.place
                                       }
                       */

  t3 := x2 == x1     /* E0 → E1 == E2 {E0.place = nouvTemp();
                        E0.code = '' E0.place ':=' E1.place '==' E2.place}
  t4 := ! t3         /* E0 → non E1 {E0.place = nouvTemp();
                        E0.code = '' E0.place ':=' '!' E1.place}
  si t4 aller à lvrai1   /* pour étiq on aurait du mettre l1, l2... mais pour lisibilité...*/
  x2 := 0            /* I → id := E { I.code = '' Id.place ':=' E.val}
  aller à lsuivant1
 lvrai1:
  x1 := x2           /* I → id := E { I.code = '' Id.place ':=' E.place}
 lsuivant1:          /* I0 → if E then I1 esle I2
                                {lsuivant = nouvelleEtiquette()
                                 lvrai = nouvelleEtiquette()
                                 I0.code =
                                   E.code
                                   si E.place aller à lvrai
```

```
                                    L2.code
                                    aller à lsuivant
                                 lvrai:
                                    L1.code
                                 lsuivant:
                              }
                    */

#### Code B :

Code-prog-B =

   x2 := 0  /* voir ci dessus*/

 ldebutBoucle1:
         /* code expression booleene = ''*/
  si x3 aller à lbody1
  aller à lfinBoucle1
 lbouble1:
  t1 := ! x3
  t2 := x2 + 2
  t3 := x2 == t2     /* x3 := .... même principe qu'avant*/
  t4 := t1 & t3
  x3 := t4
  aller à  ldebutBoucle1
 lfinBoucle1:          /*
                        I0  → while E do I1 done
                           { ldebutBoucle = nouvEtiquette()
                              lboucle = nouvEtiquette()
                              lfinBoucle = nouvEtiquette()
                             I0.code =
                               I0.ldebutBoucle:
                                 E.code
                                 si E.place aller à lboucle
                                 aller à lfinBoucle
                               lboucle:
                                 I1.code
                                 aller à ldebutBoucle
                               lfinBoucle:
                           }
                       */


### Code C :
 ldebutBoucle:
  t1 := x == y
  t2 := ! t1
  si t2 aller à lboucle
  aller à lfinBoucle

 lboucle:
  t3 :=  x > y
  si t3 aller à lvrai
  t5 := x - y
  y := t5               /* attention: indices des temporaires */
```

```
 aller à lsuivant
lvrai:
 t4 := x - y
 x := t4
lsuivant:
 aller à ldebutBoucle
lfinBoucle
```

EXERCICE 2 **Génération de code 3 adresses : xor et repeat until**

On étend le langage `while` en lui ajoutant :
- l'opérateur booléen "ou exclusif" (`e1 xor e2` est vrai ssi un seul des deux opérandes est vrai) ;
- l'instruction `repeat C until E`.

Complétez les fonctions de génération de code pour prendre en compte ces extensions.

CORRECTION :

XOR:

```
plusieurs façons de faire:
1) traduire le xor en fonction de and et or
E  → E1 xor E2  {
                            v1 = nouvTemp()
                            v2 = nouvTemp()
                            E.code =
                              E1.code
                              E2.code
                              v1 := E1.place '|' E2.place
                              v2 := E1.place '&' E2.place
                              v3 := '!'  v2
                              E.place := v1 '&' v3
                          }


2) selon E1  vrai ou faux
E  → E1 xor E2  {
                         lvrai1 = nouvEtiquette()
                         lsuivant = nouvEtiquette()
                         E.code =
                           E1.code
                           E2.code
                           si E1.place aller à lvrai1
                           E.place ':=' E2.place
                           aller à lsuivant
                          lvrai1:
                           E.place ':=' ! E2.place
                          lsuivant:
                        }


REPEAT:
I → repeat c until e  { ldebutBoucle = nouvEtiquette()
                        lfinBoucle = nouvEtiquette()
                        I.code =
                        ldebutBoucle:
```

```
                    c.code
                    E.code
                    si E.place aller à lfinBoucle
                    aller à ldebutBoucle
                   lfinBoucle:
                }
```

EXERCICE 3 **Génération de code 3@ - for, pointeurs, tableaux, ...**

Pour chacun des (bouts de) programmes suivants, repérer les difficultés, construire les règles, générer le code

1. Boucle for :

```
var i,tmp : int;
tmp:=0;
for (i=0,i<10, i++) do
    tmp := tmp+i;
done;
```

2. Tableaux :

```
a[i]:=a[i-1];
```

3. Pointeurs :

```
var u:integer;
var x,p : ^integer;
p^ := 4;
x := p;
u := p^;
```

CORRECTION :

For:

```
I → for (I1, e, I2) do I3 done {ldebuBoucle = nouvEtiquette()
                                lboucle = nouvEtiquette()
                                lfinBoucle =   nouvEtiquette()
                                I.code = I1.code
                                ldebuBoucle:
                                 e.code
                                 si e.place aller à lboucle
                                 aller à lfinBoucle
                                lboucle:
                                 I3.code
                                 I2.code
                                 aller à  ldebuBoucle
                                lfinBoucle:
                              }
```

Sur l'exemple:

```
tmp := 0
i := 0
ldebuBoucle1:
  t1 := i < 10
  si t1 aller à lboucle1
  aller à lfinBoucle1

lboucle1:
```

```
  t2 := tmp + i
  tmp := t2
  t3 := i + 1
  i := t3
  aller à ldebutBoucle1
lfinBoucle1:


Tableaux:

E → E1[E2, E3] { t1 = nouvTemp()
                 t2 = nouvTemp
                 t3 = nouvTemp
                 E.code =
                  E1.code
                  E2.code
                  E3.code
                  /* on suppose que les indices de 0 à N-1 et placement par ligne en memoire*/
                  t1 := E1.tailleLigne '*' E2.place
                  t2 := t1 + E2.place
                  t3 := E1.place[t2]
               }


I → E1[E2,E3] := E4 { I.code =
                 E1.code
                 E2.code
                 E3.code
                 E4.code
                 t1 := E1.tailleLigne '*' E2.place
                 t2 := t1 + E2.place
                 E1.place [t2] ':=' E4.place
              }

Sur exemple:



Pointeurs:
E → E1^ { E.code =
            E2.code
            E.place ':=' * E2.place
          }

I → E1^ { E.code =

Sur l'exemple:

* p := 4
x := p
u := *p
```

EXERCICE 4 **Génération de code pour les fonctions/procédures**

Générer le code 3 adresses pour les codes suivants :

1. Fonction retournant un entier :

```
int mafonction (a:int, b:int)
{
  return (a+b);
}
```

2. Procédure modifiant un paramètre booléen

```
void maproc (var b:bool)
{
  b := true
}
```

Correction :

```
Fonction :

DeclF → enteteF corpsF { TS [ f ].code =
              enter n // nb arguments
              res m // taille en memoire des variables locales
              corpsF.code
                    }

Sur l'exemple:
t1 := a +b
return t1


Procédure
DeclP → enteteP corpsP {TS [ p ].code =
              enter n // nb arguments
              res m // taille en memoire des variables locales
              corpsP.code
              return
                  }

Sur l'exemple
b := 1    /* si je suppose que true est un entier != 0 dans le code 3 adresses*/
return
```

Exercice 5 **Optimisation du nombre de registres**

Soit le code suivant :

```
int x,y,z,a,b,c ;
  x := a+b+c;
  y := a*b + 2 *c ;
```

1. Générer du code 3 adresses et de l'assembleur en supposant un nombre non borné de registres.
2. Générer du code 3 adresses et de l'assembleur en supposant que l'on dispose uniquement de 4 registres : R1, R2, R3 et R4

Correction :

```
Nombre de registre illimité:

t1 := a + b
t2 := t1 + c
x := t2
t3 := a * b
t4 := 2 * c
t5 := t3 + t4
y := t5

Nombre de registre limité:

t1 := a + b
x := t1 + c
t2 := a * b
t3 := 2 * c
y := t2 + t3
```

Optimisation indépendante de la machine

Il reste ensuite à faire la production du code assembleur :
- Sélection des instructions
- Allocation des registres
- Optimisations ...

Problèmes spécifiques à la machine cible Pour en savoir plus : **Compilateurs (dragon book) Aho, Sethi, Ullman**

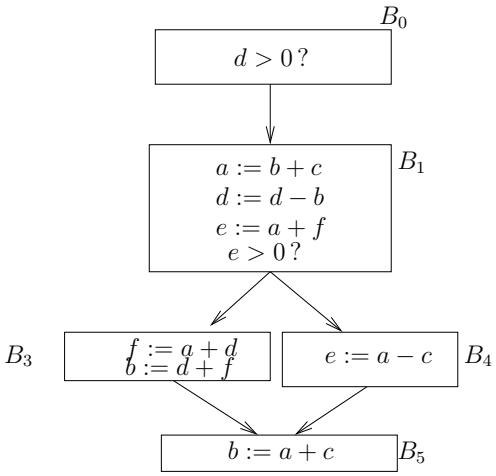
Dans la suite nous regardons les optimisations indépendantes de machine cible. Elles sont en général réalisées sur le graphe de flot de contrôle (cf document joint).

EXERCICE 6 **Graphe de flot**

Générer le graphe de flot de contrôle pour le code suivant :

```
while d>0 do{
    a:=b+c;
    d:=d-b;
    e:=a+f;
    if e>0
        {f:=a-d;b:=d+f}
    else
        {e:=a-c}
    b:=a+c}
```

CORRECTION : On obtient pour graphe de flot de contrôle :



On met le test dans le bloc B_1, oui oui !

Exercice 7 **Variables actives**

Sur le graphe de flot de l'exercice précédent :

1. Écrire et résoudre le système d'équations relatif aux ensembles Gen, $Kill$, In et Out, en prenant bien soin d'initialiser les ensembles correctement.
2. Supprimer les instructions inutiles ("code mort").

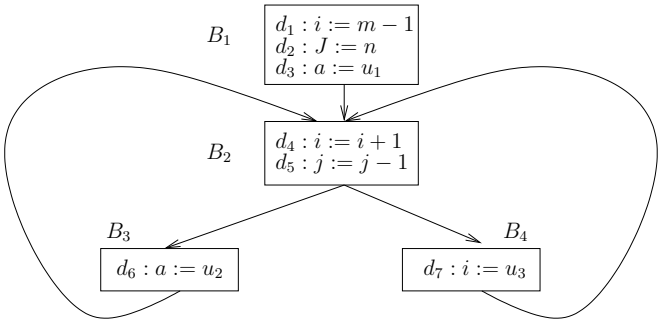
Correction :

B_i	Gen	$Kill$	In	Out	In	Out	In	Out	In	Out	In	Out	In	Out
B_0	d	$\emptyset$	d	$bcdf$	$bcdf$	$bcdf$	$bcdf$	$bcdf$	$bcdf$	$bcdf$	$bcdf$	$bcdf$	$bcdf$	$bcdf$
B_1	$bcdf$	ade	$bcdf$	e	$bcdf$	$acde$	$bcdf$	$acde$	$bcdf$	$acde$	$bcdf$	$acde$	$bcdf$	$acde$
B_2	e	$\emptyset$	e	acd	$acde$	acd	$acde$	acd	$acde$	$acdf$	$acdef$	$acdf$	$acdef$	$acdef$
B_3	ac	e	ad	ac	acd	acd	acd	$acdf$	$acdf$	$acdf$	acd	$acdf$	acd	$acdf$
B_4	ad	bf	ac	ac	ac	acd	acd	$acdf$	acd	$acdf$	$acdf$	$acdf$	$acdf$	$acdf$
B_5	ac	b	ac	d	acd	$bcdf$	$acdf$	$bcdf$	$acdf$	$bcdf$	$acdf$	$bcdf$	$acdf$	$bcdf$

On a donc : $Out(B_3) = \{a, c, d, f\}$. b est affectée en B_3 mais n'est pas vivante en sortie de B_3, on peut donc enlever cette affectation.
De même, dans le bloc 4, e n'est pas vivante en sortie, donc on peut supprimer l'affectation $e := ....$

Exercice 8 **Variables Actives**

Après génération de code, on obtient le programme suivant :



Supprimer le code mort.

Correction :
Initialisation :

B_i	Gen	$Kill$
B_1	m, n, u_1	i, J, a
B_2	i, j	i, j
B_3	u_2	a
B_4	u_3	i

Itérations

B_i	In	Out	In	Out	In	Out	In	Out
B_1	m, n, u_1	i, j	m, n, j, u_1	u_2, u_3, i, j	m, n, u_1, u_2, u_3, j	u_2, u_3, i, j	u_1, u_2, u_3, m, n, j	$idem$
B_2	i, j	u_2, u_3	u_2, u_3, i, j	i, j, u_2, u_3	u_2, u_3, i, j	u_2, u_3, i, j	u_2, u_3, i, j	$idem$
B_3	u_2	i, j	i, j, u_2	u_2, u_3, i, j	u_2, u_3, i, j	u_2, u_3, i, j	u_2, u_3, i, j	$idem$
B_4	u_3	i, j	u_3, j	u_2, u_3, i, j	u_2, u_3, j	u_2, u_3, i, j	u_2, u_3, j	$idem$

Conclusion : on peut supprimer d_2, d_3 et d_6 car $J, a \notin Out(B_1)$ et $a \notin Out(B_3)$.