WI

Metody kompilacji

Wykład 13, Generowanie kodu maszynowego II

Włodzimierz Bielecki, Piotr Błaszyński

Wydział Informatyki Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego

27 maja 2019

Generowanie kodu

Do wygenerowania kodu w asemblerze potrzebne są:

- deklaracje,
- wyrażenia,
- przepływ sterowania,
- wywołanie procedur.

Generowanie kodu - deklaracje

Przetwarzanie deklaracji polega na sprawdzeniu przez generator kodu kilku informacji:

- czy zmienna lokalna czy globalna;
- jak przydzielić pamięć dla zmiennych;
- jakie podstawowe typy występują: *integer*, *boolean*, ...;
- jakie złożone typy występują: *records*, *arrays*, ...

Generowanie kodu - deklaracje

Poniżej znajduje się fragment opisujący przydział pamięci; jest to kod wygenerowany na podstawie deklaracji.

```
1  .data
2  var_name1:          .word   0
3  var_name2:          .word  29,10
4  var_name3:          .space  40
5  var_name4:          .space  80
```

W powyższym kodzie instrukcje w liniach 2 i 3 oznaczają przydział 4 bajtów do każdego słowa; dodatkowo w linii 3 zaprezentowana została inicjalizacja wartością początkową, a w linii 4 i 5 przydzielone zostały większe obszary pamięci.

Generowanie kodu - deklaracje

Podstawowe dyrektywy SPIM:

- *.data* – poprzedza dane,
- *.ascii "str"* – zapisuje *str* w pamięci bez znaku końca wiersza \0;
- *.asciiz "str"* – to samo jak wyżej, ale z \0;
- *.byte* $3, 4, 16$ – zapisuje 3 wartości; każda zajmuje jeden bajt;
- *.double* $3.14, 2.72$ – zapisuje 2 wartości zmiennoprzecinkowe z podwójną dokładnością,
- *.float* $3.14, 2.72$ – zapisuje 2 wartości zmiennoprzecinkowe,
- *.word* $3, 4, 16$ – zapisuje 3 wartości; każda zajmuje 32 bity;
- *.space* 100 – rezerwuje 100 bajtów;
- *.text* – zaczyna segment tekstu z instrukcjami.

Generowanie kodu - wyrażenia

Przetwarzanie wyrażeń polega na:

- generowaniu poprawnego kodu,
- kontroli typów,
- obliczaniu adresów elementów tablicy,
- obliczaniu wyrażeń warunkowych w konstrukcjach sterowania,
- generowaniu skoków w konstrukcjach sterowania.

Generowanie kodu - wyrażenia

Na rysunku przedstawione zostało drzewo parsowania i kolejność generowania kodu z poniższego fragmentu kodu obliczającego wyrażenie $a = b + c + d + e$. Napisy $t0$ i $t1$ oznaczają użyte do przechowania danej wartości zmienne tymczasowe, natomiast liczby w okręgach oznaczają numer linii z poniższego kodu:

```
lw t0,b
lw t1,c
add $t0,$t0,$t1
sw $t0,tmp1
lw $t0,tmp1
lw t1,d
add $t0,$t0,$t1
lw $t1,e
add $t0,$t0,$t1
sw $t0,a
```

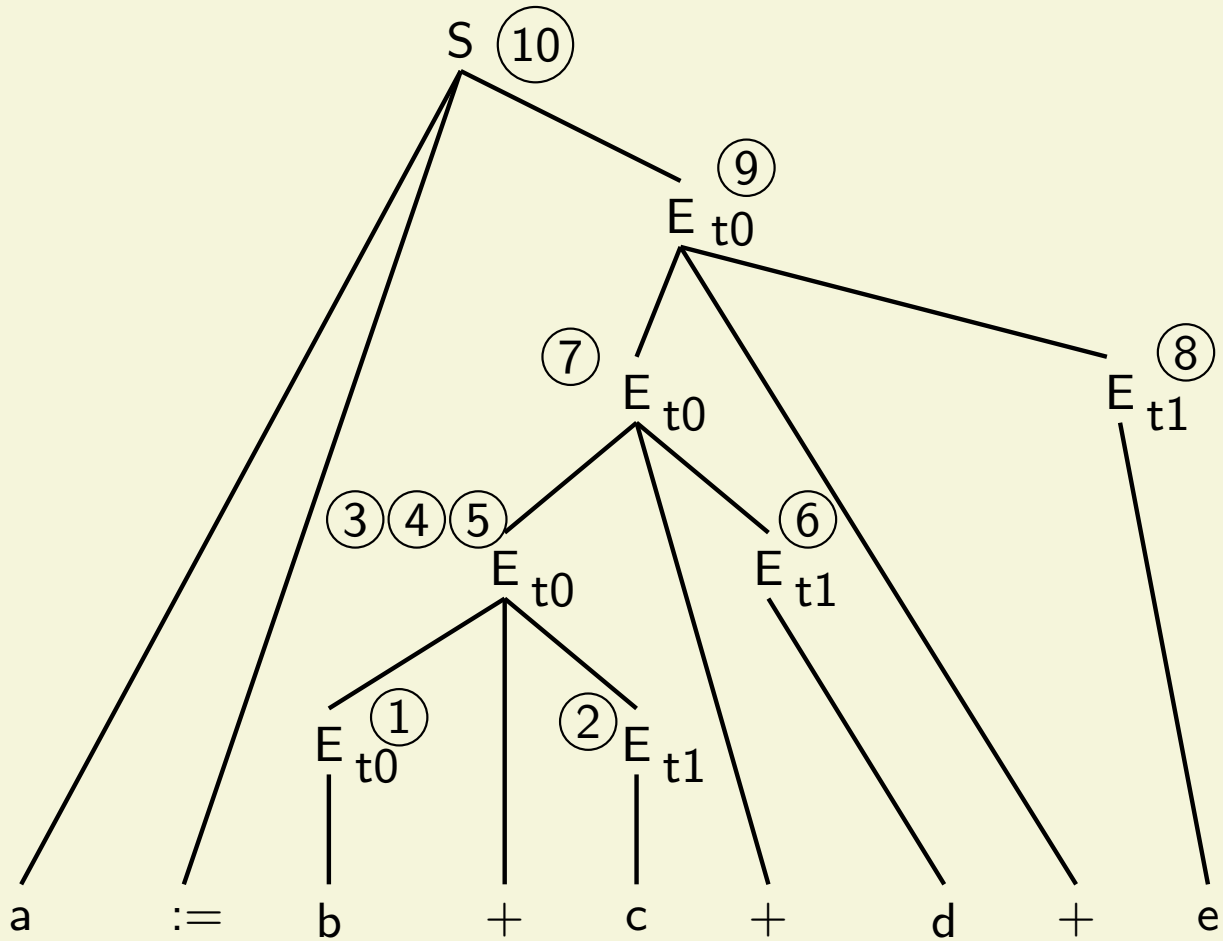
Generowanie kodu - wyrażenia

Instrukcje z linii 4 i 5:

```
sw tmp1,$t0
lw $t0,tmp1
```

Są redundatne, a więc nie ma konieczności ich zapisywania.

Generowanie kodu - wyrażenia



Generowanie kodu - akcje semantyczne

$S \rightarrow id := E$

```
printf("sw␣$t%d,%s\n", $3.reg,$1);
free_reg($3.reg); //zwalnia rejestr
```

$E \rightarrow E + E$

```
$$.reg = $1.reg;
printf("add␣$t%d,␣$t%d,␣$t%d\n",
 $$.reg,$1.reg, $3.reg, $3.reg);
free_reg($3.reg); //zwalnia rejestr
```

$E \rightarrow id$

```
$$.reg = get_register();
printf("lw␣$t%d,%s\n", $$.reg,$1);
```

Generowanie kodu - akcje semantyczne

W akcjach semantycznych z poprzedniego slajdu *sw* oznacza zapis wartości przechowywanej w rejestrze \$3.*reg* w pamięci pod adresem \$1; symbol \$3 odwołuje się do wartości skojarzonej z trzecim symbolem gramatyki po prawej stronie. W drugiej akcji semantycznej symbol \$1 oznacza rejestr, który przechowuje wartość pierwszej nazwy, a symbol \$3 oznacza rejestr, który przechowuje wartość drugiej nazwy. Symbol \$\$ odwołuje się do wartości atrybutu skojarzonej z nieterminalem po lewej stronie. Instukcja *lw* przenosi wartość do rejestru; funkcja *get_register* zwraca wolny rejestr. W trzeciej akcji semantycznej \$1 oznacza adres, pod którym w pamięci jest przechowywana wartość zmiennej (id).

Generowanie kodu - tablice

Obliczenie adresów elementów tablic. Załóżmy, że b oznacza adres bazowy, od którego zaczyna się obszar pamięci, zarezerwowany do przechowywania elementów tablicy $a[l..h]$; każdy element zajmuje s bajtów. Liczba elementów może być obliczona za pomocą wzoru: $e = h - l + 1$. Rozmiar tablicy: $e * s$. Adres elementu to $a[i]$, przy założeniu, że obszar zaczyna się od adresu b, $l <= i <= h$: $b + (i - l) * s$. Rozmieszczenie pamięci w tablicy jest przedstawione na kolejnym slajdzie, razem z postacią uwzględniającą adresy bezwzględne.

Generowanie kodu - tablice

Tabela: Elementy tablicy jednowymiarowej

a[l]	a[l+1]	a[l+1]	...	a[h]
b				

Tabela: Elementy tablicy jednowymiarowej - adresy bezwzględne

a[3]	a[4]	a[5]		a[100]
100	104			

Generowanie kodu - tablice

Przykład: a[3...100]; każdy element tablicy jest reprezentowany przez 4 bajty. Liczba elementów: $100 - 3 + 1 = 98$. Rozmiar tablicy: $98 * 4 = 392$. Adres elementu to $a[50]$, przy założeniu, że obszar zaczyna się od adresu 100: $100 + (50 - 3) * 4 = 288$.

Generowanie kodu - tablice

Kod w języku C z odwołaniem się do tablicy:

```
A[8] = h + A[8];
```

Odpowiadający powyższemu fragmentowi wynikowy kod MIPS, przy spełnieniu następujących założeń:

1) $\$s3$ zawiera adres pierwszego elementu A (adres bazowy b),
2) $\$s2$ zawiera wartość h,

ma postać:

```
lw      $t0,32($s3)     # $t0 gets A[8]
# i-1 =8, s=4,  (i-1)xs =8 x 4 =32
add     $t0,$s2,$t0     # add h
sw      $t0,32($s3)     # store value back in A[8]
```

Generowanie kodu - tablice

Kod w języku C z odwołaniem się do tablicy przez wartość zmiennej:

```
g = h + A[i];
```

Jeżeli spełnione jest założenie, że $s4 zawiera *i*, to zostanie wygenerowany poniższy wynikowy kod MIPS, odpowiadający fragmentowi kodu z odwołaniem do tablicy poprzez wartość zmiennej:

```
# zapisz wartosc w \$t1
add     $t1, $s4, $s4    # $t1 = 2 *i
add     $t1, $t1, $t1    # $t1 = 4 *i
# Baza jest przechowywana  w $s3
# Adres  A[i]
add       $t1, $t1, $s3          #$t1=Adres(A[i])
lw      $t0, 0($t1)      # $t0 = A[i]
# dodaj  A[i] do h
add     $s1, $s2, $t0    # $s1 = h + A[i]
```

Generowanie kodu - tablice dwuwymiarowe

Zapis wierszami i kolumnami dla deklaracji $a[4..6, 3..4]$ pokazano w tabeli.

Adres	Wiersz	Kolumna
b + 0s	a[4,3]	a[4,3]
b + 1s	a[4,4]	a[5,3]
b + 2s	a[5,3]	a[6,3]
b + 3s	a[5,4]	a[4,4]
b + 4s	a[6,3]	a[5,4]
b + 5s	a[6,4]	a[6,4]

Generowanie kodu - tablice dwuwymiarowe

Dla tablicy zadeklarowanej jako A[4..7,3..4] otrzymujemy pokazany w tabeli zapis wierszami.

Adres	Wiersz
b + 0s	a[4,3]
b + 1s	a[4,4]
b + 2s	a[5,3]
b + 3s	a[5,4]
b + 4s	a[6,3]
b + 5s	a[6,4]
b + 6s	a[7,3]
b + 7s	a[7,4]

Generowanie kodu - tablice dwuwymiarowe

$a[l_1..h_1, l_2..h_2]$; każdy element jest reprezentowany przez s bajtów.
Liczba elementów: $e = e_1 * e_2$, gdzie $e_1 = (h_1 - l_1 + 1)$ i $e_2 = (h_2 - l_2 + 1)$.
Rozmiar tablicy: $e * s$.
Rozmiar każdego wymiaru: $d_1 = e_2 * d_2$, $e_2 = (h_2 - l_2 + 1)$ $d_2 = s$.
Adres elementu $a[i, j]$ z bazą b, $l_1 <= i <= h_1$, $l_2 <= j <= h_2$: $b + (i - l_1) * d_1 + (j - l_2) * s$ e_2 określa liczbę słów w jednym wierszu.
d_1 określa liczbę bajtów, które zajmuje jeden wiersz.
Iloczyn $(i - l_1) * d_1$ określa liczbę bajtów zajmowanych przez $(i - l_1)$ wierszy.
Iloczyn $(j - l_2) * s$ określa liczbę bajtów , które zajmują $(j - l_2)$ słów.

Generowanie kodu - tablice dwuwymiarowe

Przykład:
A[3..100,4..50]; każdy element jest reprezentowany przez 4 bajty.
$98 * 47 = 4606$ elementów,
$4606 * 4 = 18424$ bajtów,
$d_2 = 4, d_1 = 47 * 4 = 188.$
Dla $b = 100$; adres $a[5, 5]$:
$100 + (5 - 3) * 188 + (5 - 4) * 4 = 720$

Generowanie kodu - tablice dwuwymiarowe

a[3,5] : zapis wierszami; przydział pamięci:

```
.data
a:    .space 60     # 3x5=15 word-size elements * 4
```

Generowanie kodu - tablice dwuwymiarowe

Obliczanie adresu:

Adres $= b + (i - l_1) * d_1 + (j - l_2) * s$

$d_1 = e_2 * d_2 = 5 * 4 = 20$

$e_2 = (h_2 - l_2 + 1) = 5$

$d_2 = s = 4$

```
la $t0,a              #baza b w  $t0
lw $t1,x              # x w $t1
mul $t1,$t1,20        # (x - l1) * d1 , d1=20
add $t0,$t0,$t1       # b+ (x- l1)*d1 w $t0
lw $t1,y              # y w $t1
mul $t1,$t1,4         # (j - l2) * s, s=4
add $t0,$t0,$t1       # Adres dla a[x,y]: b + (i - l1) *
     d1 + (j - l2) * s
lw $t1,($t0)          #t1 zawiera  a[x,y]
```

Generowanie kodu - tablice wielowymiarowe

a[4..7,3..4,8..9]
Rozmiar trzeciego wymiaru $= s$
Rozmiar drugiego wymiaru $= s * 2$
Rozmiar pierwszego wymiaru $= s * 2 * 2$

Generowanie kodu - Elementy tablicy trójwymiarowej

Adres	Odwołanie
b + 0s	a[4,3,8]
b + 1s	a[4,3,9]
b + 2s	a[4,4,8]
b + 3s	a[4,4,9]
b + 4s	a[5,3,8]
b + 5s	a[5,3,9]
b + 6s	a[5,4,8]
b + 7s	a[5,4,9]
b + 8s	a[6,3,8]
b + 9s	a[6,3,9]
b + 10s	a[6,4,8]
b + 11s	a[6,4,9]
b + 12s	a[7,3,8]
b + 13s	a[7,3,9]
b + 14s	a[7,4,8]
b + 15s	a[7,4,9]

Generowanie kodu - tablice wielowymiarowe

$a[l_1..h_1, l_2..h_2, l_3..h_3]$; każdy element zajmuje s bajtów.
Liczba elementów: $e = e_1 * e_2 * e_3$, gdzie: $e_i = (h_i - l_i + 1)$.
Rozmiar tablicy: $e * s$.
Rozmiar poszczególnych wymiarów: $d_1 = e_2 * d_2$, $d_2 = e_3 * d_3$, $d_3 = s$.
Adres elementu $a[i, j, k]$ z bazą b, $l_1 <= i <= h_1$ i $l_2 <= j <= h_2$: $b + (i - l_1) * d_1 + (j - l_2) * d_2 + (k - l_3) * s$.

Przykład:

A[3..100,4..50,1..4]; każdy element zajmuje 4 bajty:
$98 * 47 * 4 = 18424$ elementów,
$18424 * 4 = 73696$ bajtów,
$d_3 = 4$, $d_2 = 4 * 4 = 16$, $d_1 = 16 * 47 = 752$.

Generowanie kodu - tablice wielowymiarowe

Dla $b = 100$ adres elementu $a[5, 5, 2]$:
$100 + (5 - 3) * 752 + (5 - 4) * 16 + (2 - 1) * 4 = 1624.$

Generowanie kodu - konstrukcje sterowania

Konstrukcje sterowania występujące w językach programowania:

- *if*,
- *while*,
- *repeat*,
- *for*,
- *case*.

Generacja etykiet – wszystkie etykiety muszą być unikatowe.

Generowanie kodu - instrukcje warunkowe

Na rysunku oraz w poniższych fragmentach kodu przedstawiono schemat generowania kodu i przepływ instrukcji dla prostej instrukcji warunkowej.

```
if (y > 0) then begin
...body...
end
```

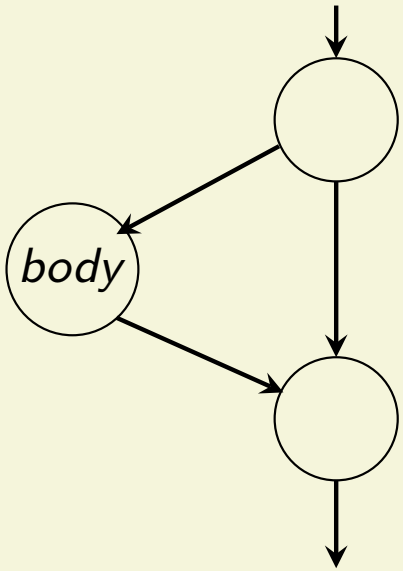
Generowanie kodu - instrukcje warunkowe


```
lw $t0,y
li $t1,0
sgt $t2,$t0,$t1   # = 1 if true
beqz $t2,L2

...body...

L2:
```

Generowanie kodu - instrukcje warunkowe



Generowanie kodu - instrukcje warunkowe

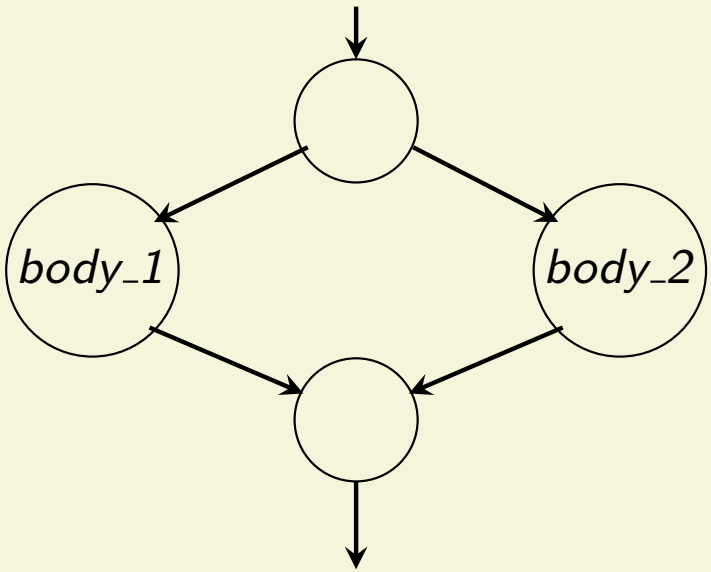
Na rysunku oraz w poniższych fragmentach kodu przedstawiono schemat generowania kodu i przepływ instrukcji dla instrukcji warunkowej z *else*.

```
if (y > 0) then begin
... body_1 ...
end else
...body_2 ...
end
```

Generowanie kodu - instrukcje warunkowe


```
lw $t0,y
li $t1,0
sgt $t2,$t0,$t1   # = 1 if true
beqz $t2,L2
...body_1..
b L3
L2:
...body_2 ...
L3:
```

Generowanie kodu - instrukcje warunkowe



Rysunek: Przepływ danych dla instrukcji warunkowej z *else*

Generowanie kodu - pętle

Na rysunku oraz w poniższych fragmentach kodu przedstawiono schemat generowania kodu i przepływ instrukcji dla pętli.

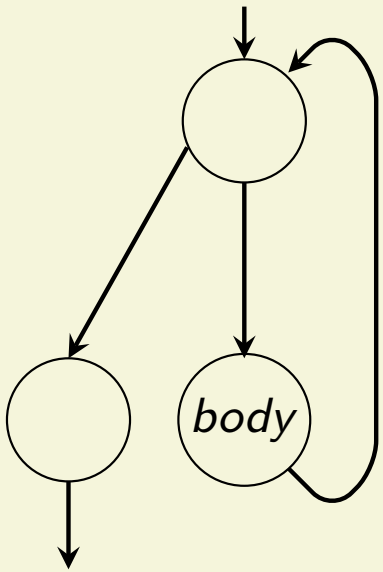
```
while x < 100 do

 ...body ...

end
```

```
L25:      lw $t0,x
          li $t1,100
          sgt $t2,$t0,$t1
          beqz $t2,L26
          ... body ...
          b L25
L26:
```

Generowanie kodu - pętle



Rysunek: Przepływ danych dla instrukcji pętli

Generowanie kodu

Schemat ogólny dla instrukcji warunkowych:

```
if_stmt -> IF expr THEN
    kod do obliczenia expr ($2),
    utworz dwie nowe etykiety: L1, L2,
    jesli expr=false ($2=false), to skok do L1,
    cialo if_stmt
    skok do L2
         ELSE
    L1:ciało else_stmt }
         ENDIF
    L2:...
```

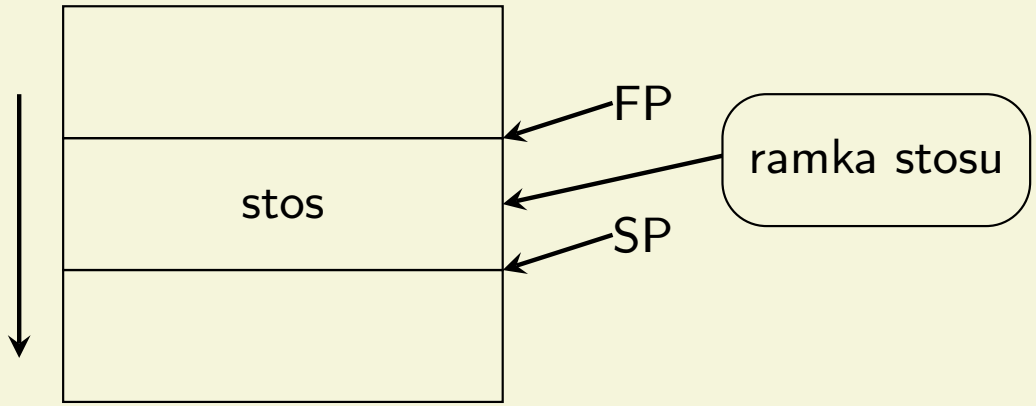
Generowanie kodu

Schemat ogólny dla pętli:

```
for_stmt -> FOR id = start TO stop
{ kod do obliczenia start ($1) i stop ($2),
    utworz 2 etykiety L1, L2,
    utworz kod dla instrukcji id = start,
    L1:kod do porownania id i stop ($3),
    jesli ($3)=false, to skok do L2,
    kod dla ciała pętli,
    kod dla inkrementacji id,
    skok do L1
END FOR
    L2:...
```

Generowanie kodu - funkcje

Założenie: jedna funkcja (wywołująca) wywołuje drugą funkcję (wywoływaną). Jakie są czynności realizowane przez pierwszą i drugą funkcję?
Wskaźniki SP i FP – dla każdej funkcji trzeba przydzielić ramkę stosu. FP wskazuje na początek bieżącej aktywacji (pierwsze słowo ramki stosu). SP wskazuje na ostanie słowo ramki stosu. Stos rośnie w kierunku niższych adresów, dlatego chcąc zwiększyć stos, trzeba zastosować operację odejmowania (!).
Na rysunku przedstawiona jest budowa stosu i umiejscowienie wskaźników SP i FP.



Generowanie kodu - funkcje

Funkcja wywołująca zapisuje argumenty funkcji wywoływanej w standardowych miejscach i wykonuje następujące czynności:

1. Przekazuje argumenty. Zgodnie z konwencją; pierwsze cztery argumenty przekazywane są do rejestrów $\$a0 - \$a3$. Wszystkie pozostałe argumenty są odkładane na stos i pojawiają się na początku stosu.
2. Procedura wywoływana może korzystać z następujących rejestrów ($\$a0 - \$a3$ i $\$t0 - \$t9$). Jeśli funkcja wywołująca zamierza korzystać z tych rejestrów, to musi zapisać zawartość tych rejestrów w pamięci przed wywołaniem.
3. Wykonuje instrukcję *jal*, która przekazuje sterowanie do pierwszej instrukcji funkcji wywołanej i zapisuje adres powrotu w rejestrze $\$ra$.

Generowanie kodu - funkcje

Przed wykonaniem obliczeń funkcja wywoływana musi wykonać następujące kroki:

1. Przydzielić obszar pamięci (ramkę) poprzez odjęcie wielkości ramki od wskaźnika stosu **FS** (stos zaczyna się od większych adresów).
2. Zapisać zawartość rejestrów funkcji wywoływanej w przydzielonym obszarze pamięci (w ramce). Funkcja wywoływana musi zapisać w ramce dane przechowywane w rejestrach ($\$s0 - \$s7$, $\$fp$, $\$ra$) przed korzystaniem z tych rejestrów, ponieważ funkcja wywołująca spodziewa się korzystać z danych w tych rejestrach po zakończeniu wykonania funkcji wywoływanej. Zawartość rejestru $\$fp$ musi być zapisana w pamięci przez każdą procedurę, która przydziela obszar pamięci dla stosu. Natomiast zawartość rejestru $\$ra$ musi być zapisywana tylko wtedy, gdy funkcja wywoływana sama wywołuje inną funkcję.

Generowanie kodu - funkcje

Przed wykonaniem obliczeń funkcja wywoływana musi wykonać następujące kroki, cd.:

1. Zawartość pozostałych rejestrów, z których korzysta funkcja wywoływana, musi być także zapisana.
2. Ustawić wskaźnik stosu, dodając rozmiar ramki minus 4 (co zwiększa stos o 4 bajty) do zawartości rejestru $\$sp$ i zapisać wynik w rejestrze $\$fp$.

Generowanie kodu - funkcje

Zakończenie:

1. Jeśli funkcja wywoływana zwraca wartość, to zapisuje ją w rejestrze $v0.
2. Funkcja wywoływana przywraca zawartość wszystkich rejestrów, które zostały zapisane w momencie wywołania procedury.
3. Funkcja wywoływana zdejmuje ramkę stosu, dodając rozmiar ramki do $sp.
4. Następuje powrót do adresu podanego w rejestrze $ra.

Generowanie kodu - funkcje

Przykład w C:

```
int main()
{
        x=addthem(a,b);
}
int addthem(int a, int b)
{
        return a+b;
}
```

Generowanie kodu - funkcje

Przy wywołaniu procedur, w kodzie SPIM, funkcja *addthem* wymaga ramki w stosie (4 bajty) do zapisania wartości rejestru *t*0, którą należy przywrócić po zakończeniu obliczeń funkcji:

```
.text
main:  #założenia: a jest  w $t0, b jest  w $t1
  add $a0,$0, $t0    # Przekazanie argumentów
  add $a1,$0,$t1     # do rejestrów a0, a1
  jal addthem        # wywołanie funkcji addthem
   #Miejsce powrotu
  add $t3,$0,$v0     # gdy funkcja wywołana zwroci
  # wartość do $v0, jest ona przesłana do $t3
  syscall
```

Generowanie kodu - funkcje

Przy wywołaniu procedur, w kodzie SPIM, funkcja *addthem* wymaga ramki w stosie (4 bajty) do zapisania wartości rejestru *t*0, którą należy przywrócić po zakończeniu obliczeń funkcji:

```
addthem:
  addi $sp,$sp,-4     # zarezerwowanie ramki stosu
  sw $t0, 0($sp)      # zapis poprzedniej wartosci (
      $t0)
  add $t0,$a0,$a1     # instrukcja implementująca ciał
      o funkcji
  add $v0,$0,$t0      # wynik
  lw $t0, 0($sp)      # ladowanie poprzedniej wartości
  addi $sp,$sp,4      # Zdejmij ramkę ze stosu
  jr $ra              # powrót
```

Generowanie kodu z użyciem AST

(*Abstract Syntax Tree* i **CFG** (*Control Flow Graph* zostały zaprezentowane na rysunkach.)
W kodzie MIPS w komentarzach umieszczone są numery linii ze źródłowego kodu w C, z których wyprowadzono daną linię kodu asemblera. Linia 4 ma 3 istotne elementy: a) inicjalizację licznika pętli, b) sprawdzenie warunku, c) inkrementację. Identyczne oznaczenia linii kodu znajdują sie w okręgach na rysunkach.

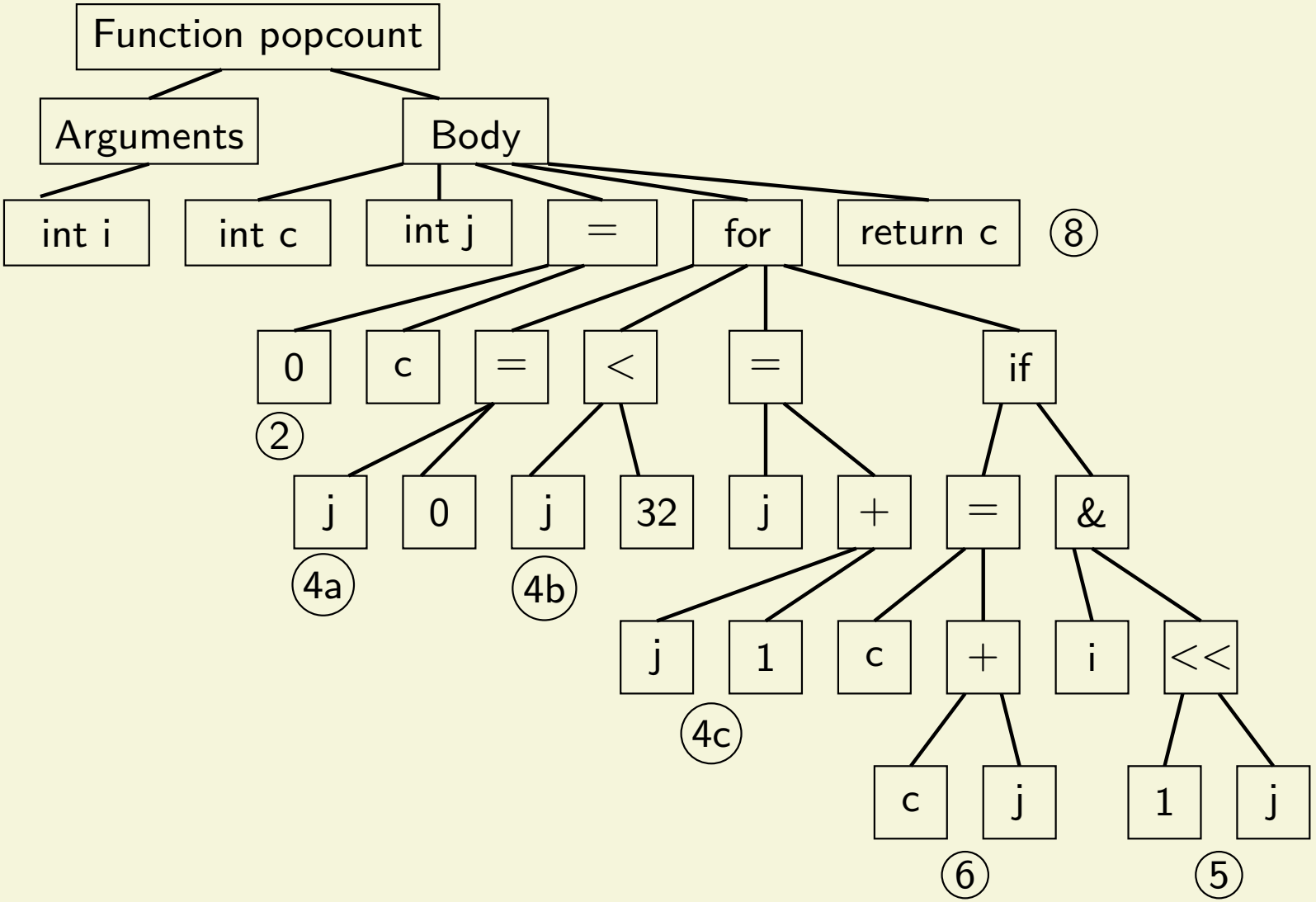
```
int popcount(int i){
        int c=0;
        int j;
        for (j=0 ; j<32 ;j++){
                if (i & (1 << j))
                        c++;
        }
        return c
}
```

Generowanie kodu z użyciem AST

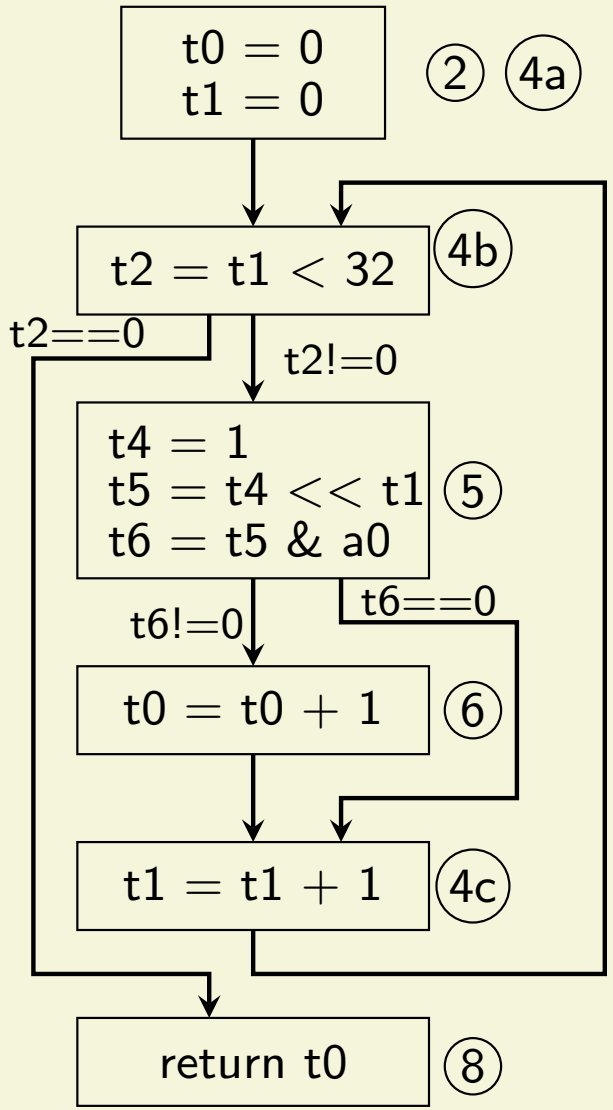

```
popcount:
  ori $v0, $zero, 0                #Linia 2
  ori $t1, $zero, 0                #4a
top:  slti $t2, $t1, 32            #4b
  beq $t2, $zero, end          #4b
  nop
  addi $t3, $zero, 1               #5
  sllv $t3, $t3, $t1               #5
  and $t3, $a0, $t3                #5
  beq $t3, $zero, notone           #5
  nop
  addi $v0, $v0, 1                 #6
notone: beq $zero, $zero, top
  addi $t1, $t1, 1                 #4c
end:    jr $ra                     #8
  nop
```

Nowe instrukcje w powyższym kodzie: *ori* – operator OR, *nop* – pusty operator, *sllv* – *shift left logical variable*.

Generowanie kodu - Drzewo składniowe (AST) dla kodu funkcji *popcount*



Generowanie kodu - CFG (*control flow graph*) dla kodu funkcji *popcount*



Generowanie kodu

Kolejne dwa programy przedstawiają przykłady kodów w asemblerze. Dodawanie dwóch liczb:

```
# $t2 - used to hold the sum of the $t0 and $t1.
# $v0 - syscall number, and syscall return value.
# $a0 - syscall input parameter.
.text # Code area starts here
main: li $v0, 5  # read number into $v0
  syscall        # make the syscall read_int
  move $t0, $v0  # move the number read into $t0
  li $v0, 5  # read second number into $v0
  syscall  # make the syscall read_int
  move $t1, $v0  # move the number read into $t1
  add $t2, $t0, $t1
  move $a0, $t2 # number to print into $a0
  li $v0, 1      # load syscall print_int into $v0
  syscall
  li $v0, 10     # syscall code 10 is for exit
  syscall        #
# end of main
```

Generowanie kodu – Dodawanie *N* liczb


```
# Input: number of inputs, n, and n integers;
    Output: Sum of integers
.data                          # Data memory area.
prmpt1:      .asciiz "How␣many␣inputs?␣"
prmpt2:      .asciiz "Next␣input:␣"
sumtext:     .asciiz "The␣sum␣is␣"
.text                              # Code area starts here
main:  li    $v0, 4   # Syscall to print prompt string
  la    $a0, prmpt1   # li and la are pseudo instr.
  syscall
  li    $v0, 5   # Syscall to read an integer
  syscall
  move $t0, $v0   # n stored in $t0
```

Generowanie kodu – Dodawanie *N* liczb


```
  li   $t1, 0  # sum will be stored in $t1
while:  blez $t0, endwhile  # (pseudo instruction)
  li   $v0, 4  # syscal to print string
  la   $a0, prmpt2
  syscall
  li   $v0, 5
  syscall
  add  $t1, $t1, $v0  # Increase sum by new input
  sub  $t0, $t0, 1    # Decrement n
  j    while
endwhile:   li   $v0, 4  # syscall to print string
  la   $a0, sumtext
  syscall
  move $a0, $t1  # Syscall to print an integer
  li   $v0, 1
  syscall
  li   $v0, 10  # Syscall to exit
  syscall
```