Programación a Nivel-Máquina II: Control

Estructura de Computadores
Semana 4

Bibliografía:

[BRY16] Cap.3 Computer Systems: A Programmer's Perspective 3rd ed. Bryant, O'Hallaron. Pearson, 2016
Signatura ESIIT/C.1 BRY com

Transparencias del libro CS:APP, Cap.3
Introduction to Computer Systems: a Programmer's Perspective
Autores: Randal E. Bryant y David R. O'Hallaron
http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/academic/class/15213-f15/www/schedule.html

Guía de trabajo autónomo (4h/s)

- **Lectura:** del Cap.3 CS:APP (Bryant/O'Hallaron)
  - Control
    - § 3.6 pp.236-274

- **Ejercicios:** del Cap.3 CS:APP (Bryant/O'Hallaron)
  - Probl. 3.13 – 3.14 § 3.6.2, pp.240, 241
  - Probl. 3.15 § 3.6.4, pp.245†
  - Probl. 3.16 – 3.18 § 3.6.5, pp.248$_2$, 249
  - Probl. 3.19 – 3.21 § 3.6.6, pp.252‡, 255$_2$
  - Probl. 3.22 – 3.29 § 3.6.7, pp.257, 258, 260, 262, 264, 267$_2$, 268
  - Probl. 3.30 – 3.31 § 3.6.8, pp.272, 273

Bibliografía:

[BRY16] Cap.3 Computer Systems: A Programmer's Perspective 3rd ed. Bryant, O'Hallaron. Pearson, 2016

Signatura ESIIT/C.1 BRY com

† *direccionamiento relativo a contador de programa, "PC-relative"*

‡ *penalización por predicción saltos*

Programación Máquina II: Control

- **Control: Códigos de condición**
- Saltos condicionales
- Bucles
- Sentencias switch

Estado del Procesador (x86-64, Parcial)

- **Información sobre el programa ejecutándose actualmente**
  - Datos temporales **(%rax, …)**
  - Situación de la pila en tiempo de ejecución† **(%rsp)**
  - Situación actual del contador de programa **(%rip)**
  - Estado de comparaciones recientes **(CF, ZF, SF, OF)**

‡ "instruction pointer", de ahí %rip

† "runtime stack"

Códigos de Condición (su ajuste implícito)

- **Registros de un solo bit**†
  - **CF** Flag de Acarreo (p/sin signo)
  - **ZF** Flag de Cero
  - **SF** Flag de Signo (para ops. con signo)
  - **OF** Flag de Overflow‡ (ops. con signo)
- **Ajustados implícitamente por las operaciones aritméticas (interpretarlo como efecto colateral)**

  Ejemplo: addq *Src,Dest* ↔ t = a+b

  CF puesto a 1 sii sale acarreo del bit más significativo (desbord. op. sin signo)

  ZF a 1 sii t == 0

  SF a 1 sii t < 0 (como número con signo)

  OF a 1 sii desbord. en complemento a dos (desbord. op. con signo)
  (a>0 && b>0 && t<0) || (a<0 && b<0 && t>=0)
- **No afectados por la instrucción lea**

† *"flag" = "bandera", deberíamos traducir "flag" por "indicador", pero se suele dejar así, "optimization flags" debería ser "modificador/conmutador", también se suele dejar así.*

‡ *"overflow" = "desbordamiento", y los otros "carry/zero/sign" = "acarreo/cero/signo"*

Códigos de Condición (ajuste explícito: Compare)

- **Ajuste Explícito mediante la Instrucción Compare**
  - cmpq *Src2, Src1*
  - cmpq b,a equivale a restar a-b pero sin ajustar el destino

  - **CF a 1** sii sale acarreo del MSB† (c_n) (hacer caso cuando comp. sin signo)
  - **ZF a 1** sii a == b
  - **SF a 1** sii (a-b) < 0 (como número con signo)
  - **OF a 1** sii overflow‡ en complemento a dos (atender si comp. con signo)
    (a>0 && b<0 && (a-b)<0) || (a<0 && b>0 && (a-b)>0)
    definición overflow OF = (c_n ^ c_{n-1}) mientras que acarreo CF = c_n

† *"MSB" = bit más significativo*
‡ *dejar sin traducir "overflow" ayuda didácticamente a distinguirlo del acarreo (desbordamiento sin signo) al recordar los flags OF/CF*

Códigos de Condición (ajuste explícito: Test)

- **Ajuste Explícito mediante la Instrucción Test**
  - testq *Src2*, *Src1*
  - testq b,a equivale a hacer a&b pero sin ajustar el destino

  - **ZF a 1** sii (a&b) == 0
  - **SF a 1** sii (a&b) < 0

  - Ajusta los códigos de condición según el valor de *Src1* & *Src2*
  - Útil cuando uno de los operandos es una máscara
  - Para comprobar si un valor es 0, gcc usa testq, no cmpq

```
cmpq   $0,   %rax
testq  %rax,  %rax
```

Consultando Códigos de Condición

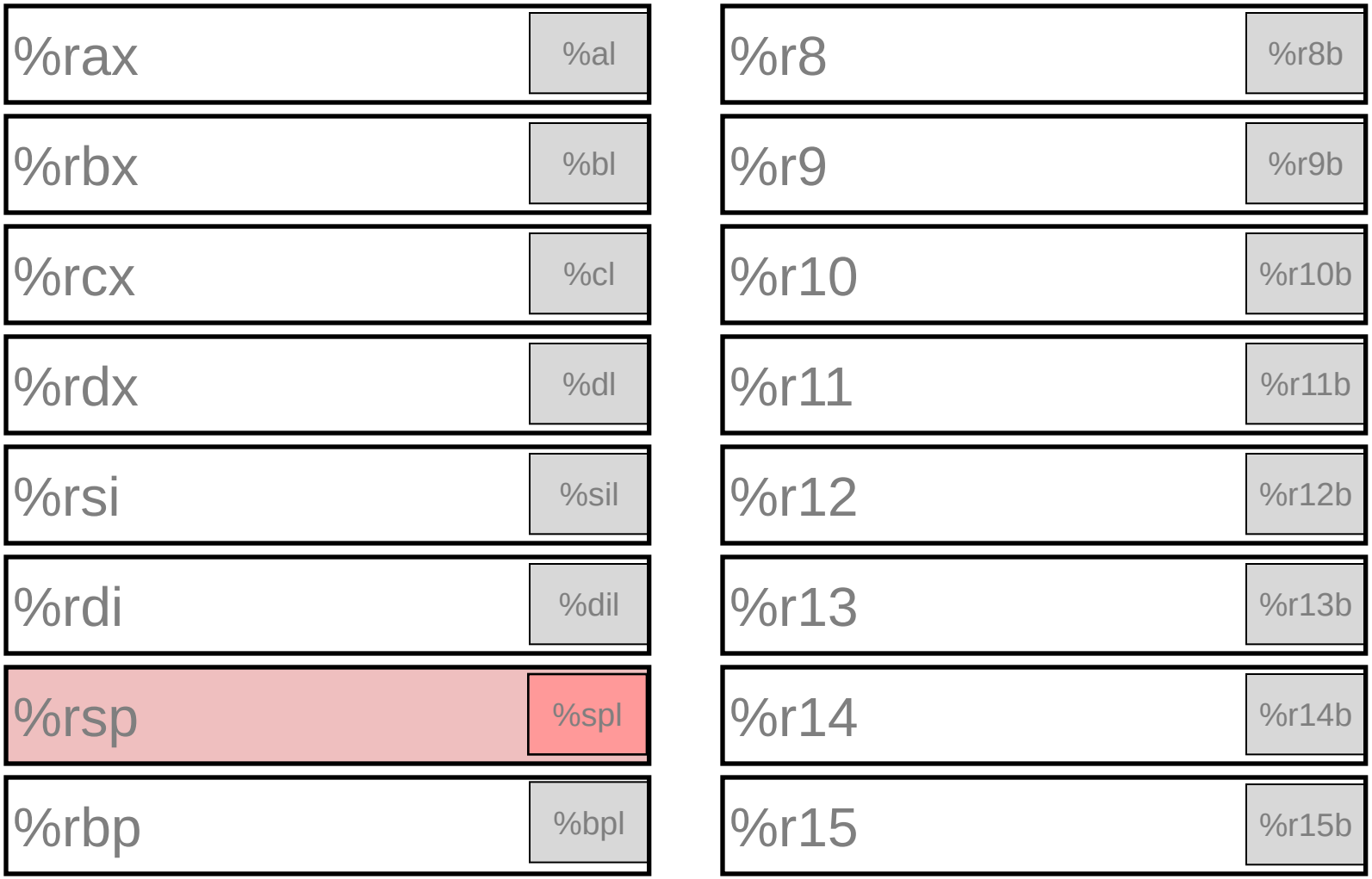
- **Instrucciones SetCC** *Dest*
  - Ajustar el byte destino a 0/1 según el código de condición indicado con CC† (combinación de flags deseada)
  - ***Dst registro*** debe ser tamaño byte, ***Dst memoria*** sólo se modifica 1er LSByte†

SetCC	Condición	Descripción
sete	ZF	**Equal / Zero**
setne	~ZF	**Not Equal / Not Zero**
sets	SF	**Sign (negativo)**
setns	~SF	**Not Sign**
setg	~(SF^OF)&~ZF	**Greater (signo)**
setge	~(SF^OF)	**Greater or Equal (signo)**
setl	(SF^OF)	**Less (signo)**
setle	(SF^OF)|ZF	**Less or Equal (signo)**
seta	~CF&~ZF	**Above (sin signo)**
setb	CF	**Below (sin signo)**

"CC" = "condition code"

† "LSByte" = byte menos significativo,

Registros enteros x86-64



- Se puede referenciar el LSByte, tiene nombre de registro propio

Consultando Códigos de Condición (Cont.)

- **Instrucciones SetCC *Dest***
  - Ajustar un byte suelto *Dest* según el código de condición
- **Uno de los registros byte direccionables**
  - No se alteran los restantes bytes
  - Típicamente se usa movzbl† para terminar trabajo
    - las instrucciones de 32-bit también ponen los 32 MSB a 0

```
int gt (long x, long y)
{
  return x > y;
}
```

Registro	Uso(s)
%rdi	Argumento x
%rsi	Argumento y
%eax	Valor de retorno

```
gt:
    cmpq   %rsi, %rdi  # Comparar x:y
    setg    %al        # Poner a 1 si >
†   movzbl  %al, %eax  # Resto %rax a cero
    ret
```

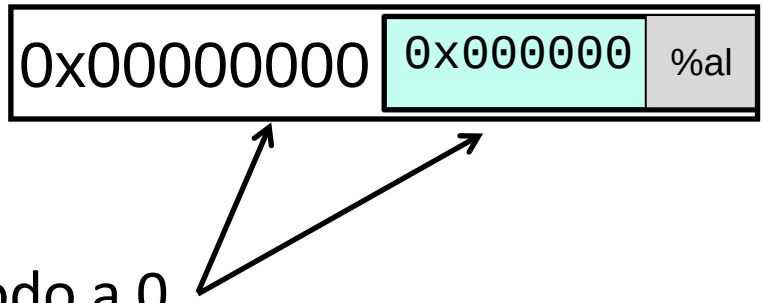
† *"Move with Zero-extend Byte to Long" mnemotécnico MOVZX según Intel*

Consultando Códigos de Condición (Cont.)

- **Instrucciones SetCC** *Dest*
  - A
- **Ur**
  - N
  - T

Las operaciones que modifican un registro de 32 bits, ponen a 0 el resto hasta 64 bits

`movzbl %al, %eax`




```
gt:

†    movzbl  %al, %eax  # Resto %rax a cero
     ret
```

† *"Move with Zero-extend Byte to Long" mnemotécnico MOVZX según Intel*

Programación Máquina II: Control

- Control: Códigos de condición
- **Saltos condicionales**
- Bucles
- Sentencias switch

Saltos

- **Instrucciones jCC**
  - Saltar a otro lugar del código si se cumple el código de condición CC

jCC	Condición	Descripción
jmp	1	**Incondicional**
je	ZF	**Equal / Zero**
jne	~ZF	**Not Equal / Not Zero**
js	SF	**Sign (negativo)**
jns	~SF	**Not Sign**
jg	~(SF^OF)&~ZF	**Greater (signo)**
jge	~(SF^OF)	**Greater or Equal (signo)**
jl	(SF^OF)	**Less (signo)**
jle	(SF^OF)|ZF	**Less or Equal (signo)**
ja	~CF&~ZF	**Above (sin signo)**
jb	CF	**Below (sin signo)**

Ejemplo de Salto Condicional (al viejo estilo)

- Generación†

```
shark> gcc –Og -S –fno-if-conversion control.c
```

```
long absdiff(long x, long y)
{
    long result;
    if (x > y)
        result = x-y;
    else
        result = y-x;
    return result;
}
```

```
absdiff:
    cmpq    %rsi, %rdi   # x:y
    jle     .L4
    movq    %rdi, %rax
    subq    %rsi, %rax
    ret
.L4:                     # x <= y
    movq    %rsi, %rax
    subq    %rdi, %rax
    ret
```

Registro	Uso(s)
%rdi	Argumento **x**
%rsi	Argumento **y**
%rax	Valor de retorno

† *en el gcc-7.3.0 que viene con Ubuntu-18.04*
-fif-conversion activada para –O123s pero no para -Og

Expresándolo con código Goto

- C permite la sentencia `goto`
- Salta a la posición indicada por la etiqueta

```
long absdiff(long x, long y)
{
    long result;
    if (x > y)
        result = x-y;
    else
        result = y-x;
    return result;
}
```

```
long absdiff_j(long x, long y)
{
    long result;
    int ntest = x <= y;
    if (ntest) goto Else;
    result = x-y;
    goto Done;
 Else:
    result = y-x;
 Done:
    return result;
}
```

Traducción en General Expresión Condicional (usando saltos)

Código C

```
val = Test ? Then_Expr : Else_Expr;
```

```
val = x>y ? x-y : y-x;
```

Versión Goto

```
  ntest = !Test;
  if (ntest) goto Else;
  val = Then_Expr;
  goto Done;
Else:
  val = Else_Expr;
Done:
  . . .
```

- Crear regiones de código separadas para las expresiones Then y Else
- Ejecutar sólo la adecuada

Usando Movimientos Condicionales

- **Instrucciones Mvmto. Condicional**
  - Las instrucciones implementan:

    if (Test) Dest ← Src
  - En procesadores x86 posteriores a 1995 (Pentium Pro/II)
  - GCC intenta utilizarlas
    - Pero sólo cuando sepa que es seguro
- **¿Por qué?**
  - Ramificaciones muy perjudiciales para flujo instrucciones en cauces†
  - Movimiento condicional no requiere transferencia de control

Código C

```
val = Test
    ? Then_Expr
    : Else_Expr;
```

Versión Goto

```
result = Then_Expr;
eval = Else_Expr;
nt = !Test;
if (nt) result = eval;
return result;
```

† *"pipeline" = "tubería", aquí es "segmentación de cauce"*

Ejemplo de Movimiento Condicional†

```
long absdiff(long x, long y)
{
    long result;
    if (x > y)
        result = x-y;
    else
        result = y-x;
    return result;
}
```

Registro	Uso(s)
%rdi	Argumento x
%rsi	Argumento y
%rax	Valor de retorno

```
absdiff:
    movq    %rdi, %rax  # x
    subq    %rsi, %rax  # result = x-y
    movq    %rsi, %rdx
    subq    %rdi, %rdx  # eval = y-x
    cmpq    %rsi, %rdi  # x:y
    cmovle  %rdx, %rax  # if <=, result = eval
    ret
```

† *generar con gcc -fif-conversion -Og -S control.c*
ó incluso con gcc -O -S control.c
en el gcc-7.3.0 que viene con Ubuntu-18.04

Malos Casos para Movimientos Condicionales

- Recordar que se calculan ambos valores

Cálculos costosos

```
val = Test(x) ? Hard1(x) : Hard2(x);
```

- Sólo tiene sentido cuando son cálculos muy sencillos

Cálculos arriesgados

```
val = p ? *p : 0;
```

- Pueden tener efectos no deseables

Cálculos con efectos colaterales

```
val = x > 0 ? x*=7 : x+=3;
```

- No deberían tener efectos colaterales

Ejercicio

cmpq b,a equiv. restar t=a-b pero sin ajustar destino

- **CF a 1** sii $\mathbf{c_n}$ == 1, porque a < b sin signo
- **ZF a 1** sii t == 0, porque a == b
- **SF a 1** sii $\mathbf{t_n}$ == 1, porque a < b con signo
- **OF a 1** sii $\mathbf{(c_n \hat{} c_{n-1})}$==1, pq. a-b (signo) mal hecha

SetCC	Condición	Descripción
sete	ZF	**Equal / Zero**
setne	~ZF	**Not Equal / Not Zero**
sets	SF	**Sign (negativo)**
setns	~SF	**Not Sign**
setg	~(SF^OF)&~ZF	**Greater (signo)**
setge	~(SF^OF)	**Greater or Equal (signo)**
setl	(SF^OF)	**Less (signo)**
setle	(SF^OF)|ZF	**Less or Equal (signo)**
seta	~CF&~ZF	**Above (sin signo)**
setb	CF	**Below (sin signo)**

```
xorq    %rax, %rax
subq    $1, %rax
cmpq    $2, %rax
setl    %al
movzbl  %al, %eax
```

%rax	SF	CF	OF	ZF

Notar: **`setl`** y **`movzblq`** no ajustan códigos de condición

Ejercicio

cmpq b,a equiv. restar t=a-b pero sin ajustar destino

- **CF a 1** sii $\mathbf{c_n}$ == 1, porque a < b sin signo
- **ZF a 1** sii t == 0, porque a == b
- **SF a 1** sii $\mathbf{t_n}$ == 1, porque a < b con signo
- **OF a 1** sii $\mathbf{(c_n \hat{} c_{n-1})}$==1, pq. a-b (signo) mal hecha

SetCC	Condición	Descripción
sete	ZF	Equal / Zero
setne	~ZF	Not Equal / Not Zero
sets	SF	Sign (negativo)
setns	~SF	Not Sign
setg	~(SF^OF)&~ZF	Greater (signo)
setge	~(SF^OF)	Greater or Equal (signo)
setl	(SF^OF)	Less (signo)
setle	(SF^OF)|ZF	Less or Equal (signo)
seta	~CF&~ZF	Above (sin signo)
setb	CF	Below (sin signo)

```
xorq    %rax, %rax
subq    $1, %rax
cmpq    $2, %rax
setl    %al
movzbl  %al, %eax
```

%rax	SF	CF	OF	ZF
0x0000 0000 0000 0000	0	0	0	1
0xFFFF FFFF FFFF FFFF	1	1	0	0
0xFFFF FFFF FFFF FFFF	1	0	0	0
0xFFFF FFFF FFFF FF01	1	0	0	0
0x0000 0000 0000 0001	1	0	0	0

Notar: **`setl`** y **`movzblq`** no ajustan códigos de condición

Programación Máquina II: Control

- Control: Códigos de condición
- Saltos condicionales
- **Bucles**
- Sentencias switch

Ejemplo de bucle "Do-While"

Código C

```
long pcount_do
  (unsigned long x) {
  long result = 0;
  do {
    result += x & 0x1;
    x >>= 1;
  } while (x);
  return result;
}
```

Versión Goto

```
long pcount_goto
  (unsigned long x) {
  long result = 0;
 loop:
  result += x & 0x1;
  x >>= 1;
  if(x) goto loop;
  return result;
}
```

- Contar el número de 1's en el argumento x ("popcount" †)
- Usar salto condicional para seguir iterando o salir del bucle

† *"population count"= peso Hamming, distancia Hamming (al 0), suma lateral…*

Compilación del bucle "Do-While"

Versión Goto

```
long pcount_goto
  (unsigned long x) {
  long result = 0;
 loop:
  result += x & 0x1;
  x >>= 1;
  if(x) goto loop;
  return result;
}
```

Registro	Uso(s)
%rdi	Argumento x
%rax	result

```
   movl    $0, %eax    #  result = 0
.L2:                   # loop:
   movq    %rdi, %rdx
   andl    $1, %edx    #  t = x & 0x1
   addq    %rdx, %rax  #  result += t
   shrq    %rdi        #  x >>= 1
   jne     .L2         #  if (x) goto loop
†  rep; ret
```

† *problema predicción saltos Opteron y Athlon 64 (2003-2005) en RET 1B tras flowctrl. Software Optimization Guide for AMD64 Family 10-12h (2010-2011) recomienda RET 0 Guide for AMD64 Family 15h (2011) no menciona ningún problema*

Traducción en General de "Do-While"

Código C

```
do
   Body
while (Test);
```

Versión Goto

```
loop:
   Body
   if (Test)
      goto loop
```

- **Body:**

```
{
    Sentencia1;
    Sentencia2;
      …
    Sentencian;
}
```

"body" = cuerpo,
"statement" = sentencia,
"test" = comprobación.

Traducción en General de "While" (#1)

Código C

```
while (Test)
   Body
```

Versión Goto

```
   goto test;
loop:
   Body
test:
   if (Test)
      goto loop;
done:
```

- **Traducción tipo "salta-en-medio" †**
- **Usada con `-O0`/`-Og`**

† *"jump-to-middle"*

Ejemplo de bucle "While" (#1)

Código C

```
long pcount_while
  (unsigned long x) {
  long result = 0;
  while (x) {
    result += x & 0x1;
    x >>= 1;
  }
  return result;
}
```

Salta-en-medio†

```
long pcount_goto_jtm
  (unsigned long x) {
  long result = 0;
  goto test;
 loop:
  result += x & 0x1;
  x >>= 1;
 test:
  if(x) goto loop;
  return result;
}
```

- Comparar con la versión do-while de la misma función
- El goto inicial empieza el bucle por test ("en medio")

† *pount_goto_**jtm** viene de "jump-to-middle"*

Traducción en General de "While" (#2)

Versión While

```
while (Test)
  Body
```

Versión Do-While

```
  if (!Test)
    goto done;
  do
    Body
    while(Test);
done:
```

Versión Goto

```
  if (!Test)
    goto done;
loop:
  Body
  if (Test)
    goto loop;
done:
```

- **Traducción tipo "copia-test"**
  - Conversión a "do-while"
- **Usada con –O1**†

† *evitar test al principio con gcc -O123 -fno-tree-ch ó con gcc -Os -fno-reorder-blocks*

Ejemplo de bucle "While" (#2)

Código C

```
long pcount_while
  (unsigned long x) {
  long result = 0;
  while (x) {
    result += x & 0x1;
    x >>= 1;
  }
  return result;
}
```

Copia-test

```
long pcount_goto_ct
  (unsigned long x) {
  long result = 0;
  if (!x) goto done;
 loop:
  result += x & 0x1;
  x >>= 1;
  if(x) goto loop;
 done:
  return result;
}
```

- Comparar con la versión do-while de la misma función
- El primer condicional guarda la entrada al bucle

Forma del bucle "For"

Forma General

```
for (Init; Test; Update )
    Body
```

```
#define WSIZE 8*sizeof(int)
long pcount_for(unsigned long x)
{
  size_t i;
  long result = 0;
  for (i = 0; i < WSIZE; i++)
  {
    unsigned bit =
      (x >> i) & 0x1;
    result += bit;
  }
  return result;
}
```

Init

```
i = 0
```

Test

```
i < WSIZE
```

Update

```
i++
```

Body

```
{
  unsigned bit =
     (x >> i) & 0x1;
  result += bit;
}
```

"Init" = inicialización,
"test" = comprobación,
"update" = actualización,
"body" = cuerpo.

Bucle "For" → Bucle While

Versión For

```
for (Init; Test; Update )
        Body
```

Versión While

```
Init;
while (Test ) {
    Body
    Update;
}
```

Conversión For-While

Init

```
i = 0
```

Test

```
i < WSIZE
```

Update

```
i++
```

Body

```
{
  unsigned bit =
     (x >> i) & 0x1;
  result += bit;
}
```

```
long pcount_for_while
  (unsigned long x)
{
  size_t i;
  long result = 0;
  i = 0;
  while (i < WSIZE)
  {
    unsigned bit =
      (x >> i) & 0x1;
    result += bit;
    i++;
  }
  return result;
}
```

Conversión Bucle "For" a Do-While

Código C

```
long pcount_for
  (unsigned long x)
{
  size_t i;
  long result = 0;
  for (i = 0; i < WSIZE; i++)
  {
    unsigned bit =
      (x >> i) & 0x1;
    result += bit;
  }
  return result;
}
```

Versión Goto

```
long pcount_for_goto_dw
  (unsigned long x) {
  size_t i;
  long result = 0;
  i = 0;                      Init
  if (!(i < WSIZE))           ! Test
    goto done;
 loop:
  {
    unsigned bit =
      (x >> i) & 0x1;         Body
    result += bit;
  }
  i++;                        Update
  if (i < WSIZE)              Test
    goto loop;
 done:
  return result;
}
```

- La comprobación inicial se puede optimizar (quitándola)

Programación Máquina II: Control

- Control: Códigos de condición
- Saltos condicionales
- Bucles
- **Sentencias switch†**

† *"switch"=conmutador, tampoco traducimos "for" o "while"*

```
long switch_eg
   (long x, long y, long z)
{
    long w = 1;
    switch(x) {
    case 1:
        w = y*z;
        break;
    case 2:
        w = y/z;
       /* Fall Through */
    case 3:
        w += z;
        break;
    case 5:
    case 6:
        w -= z;
        break;
    default:
        w = 2;
    }
    return w;
}
```

Ejemplo de sentencia switch

- **Múltiples etiquetas de caso**
  - Aquí: 5 y 6
- **Caídas en cascada†**
  - Aquí: 2
- **Casos ausentes†**
  - Aquí: 4

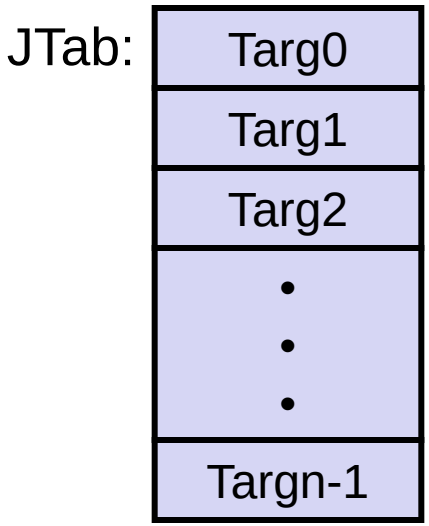
† *"fall-through cases", "missing cases"*

Estructura de una Tabla de Saltos

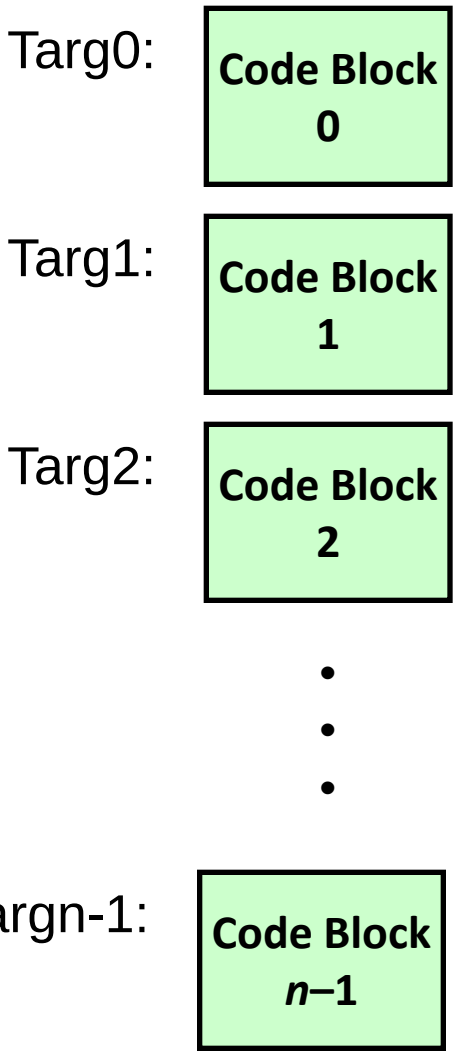
Forma switch

```
switch(x) {
  case val_0:
    Block 0
  case val_1:
    Block 1
    • • •
  case val_n-1:
    Block n–1
}
```

Tabla Saltos†



Destinos salto†



Traducción aprox. (C ficticio)

```
goto *JTab[x];
```

† *"jump table", "jump targets"*

Ejemplo de Sentencia Switch

```
long switch_eg
   (long x, long y, long z)
{
    long w = 1;
    switch(x) {
      . . .
    }
    return w;
}
```

Registro	Uso(s)
%rdi	Argumento x
%rsi	Argumento y
%rdx	Argumento z
%rax	Valor de retorno

Inicialización:

```
  switch_eg:
    movq   %rdx, %rcx      # z → %rcx
    cmpq   $6, %rdi        # x:6
†   ja     .L8             # default:
    jmp    *.L4(,%rdi,8)   # goto *Jtab[x]
```

Notar que **w** no se inicializa aquí

¿Qué rango de valores cubre default?

† *"above" = mayor sin signo*

Ejemplo de Sentencia Switch

```
long switch_eg
   (long x, long y, long z)
{
    long w = 1;
    switch(x) {
      . . .
    }
    return w;
}
```

Tabla de saltos†

```
.section    .rodata
  .align 8
.L4:
  .quad     .L8   # x = 0
  .quad     .L3   # x = 1
  .quad     .L5   # x = 2
  .quad     .L9   # x = 3
  .quad     .L8   # x = 4
  .quad     .L7   # x = 5
  .quad     .L7   # x = 6
```

Inicialización:

```
switch_eg:
   movq   %rdx, %rcx       # z → %rcx
   cmpq   $6, %rdi         # x:6
† ja     .L8               # default:
   jmp    *.L4(,%rdi,8)    # goto *Jtab[x]
```

Salto indirecto

† *"Ln" = "Label n" = etiqueta (de salto) n*

Explicación Inicialización Ensamblador

Tabla de saltos

```
.section    .rodata
  .align 8
.L4:
  .quad     .L8   # x = 0
  .quad     .L3   # x = 1
  .quad     .L5   # x = 2
  .quad     .L9   # x = 3
  .quad     .L8   # x = 4
  .quad     .L7   # x = 5
  .quad     .L7   # x = 6
```

- **Estructura de la Tabla**
  - Cada destino salto requiere 8 bytes
  - Dirección base es .L4
- **Saltos**
  - **Directo:** `jmp .L8`
  - Destino salto indicado por etiqueta .L8
  - **Indirecto:** `jmp *.L4(,%rdi,8)`
  - Inicio de la tabla de saltos: .L4
  - Se debe escalar por un factor de 8 (direcciones ocupan 8 bytes)
  - Captar destino salto desde la Dirección Efectiva .L4 + x*8
    - Sólo para $0 \leq x \leq 6$

Tabla de Saltos

Tabla de saltos

```
.section  .rodata
  .align 8
.L4:
  .quad   .L8  # x = 0
  .quad   .L3  # x = 1
  .quad   .L5  # x = 2
  .quad   .L9  # x = 3
  .quad   .L8  # x = 4
  .quad   .L7  # x = 5
  .quad   .L7  # x = 6
```

```
    switch(x) {
    case 1:       // .L3
        w = y*z;
        break;
    case 2:       // .L5
        w = y/z;
        /* Fall Through */
    case 3:       // .L9
        w += z;
        break;
    case 5:
    case 6:       // .L7
        w -= z;
        break;
    default:      // .L8
        w = 2;
    }
```

Bloques de Código (x == 1)

```
    switch(x) {
    case 1:     // .L3
        w = y*z;
        break;
    . . .
    }
```

```
.L3:
   movq    %rsi, %rax  # y
   imulq   %rdx, %rax  # y*z
   ret
```

Registro	Uso(s)
%rdi	Argumento x
%rsi	Argumento y
%rdx	Argumento z
%rax	Valor de retorno

Tratamiento de Caídas en Cascada

```
long w = 1;
   . . .
switch(x) {
   . . .
case 2:
    w = y/z;
    /* Fall Through */
case 3:
    w += z;
    break;
   . . .
}
```

```
case 2:
        w = y/z;
        goto merge;
```

```
case 3:
        w = 1;
merge:
        w += z;
```

Bloques de Código (x == 2, x == 3)

```
long w = 1;
   . . .
switch(x) {
   . . .
case 2:
    w = y/z;
    /* Fall Through */
case 3:
    w += z;
    break;
   . . .
}
```

```
.L5:                    # Case 2
   movq   %rsi, %rax
†  cqto
   idivq  %rcx          #  y/z
   jmp    .L6           #  goto merge
.L9:                    # Case 3
   movl   $1, %eax      #  w = 1
.L6:                    # merge:
   addq   %rcx, %rax    #  w += z
   ret
```

Registro	Uso(s)
%rdi	Argumento x
%rsi	Argumento y
%rdx	Argumento z
%rax	Valor de retorno

mnemotécnico CQO según Intel

† *"Convert Quad to Oct"*

Bloques de Código (x == 5, x == 6, default)

```
switch(x) {
. . .
case 5:  // .L7
case 6:  // .L7
    w -= z;
    break;
default: // .L8
    w = 2;
}
```

```
.L7:                    # Case 5,6
   movl  $1, %eax       #  w = 1
   subq  %rdx, %rax     #  w -= z
   ret
.L8:                    # Default:
   movl  $2, %eax       #  2
   ret
```

Registro	Uso(s)
%rdi	Argumento x
%rsi	Argumento y
%rdx	Argumento z
%rax	Valor de retorno

Resumen

- **Control C**
  - if-then-else
  - do-while
  - while, for
  - switch
- **Control Ensamblador**
  - Salto condicional
  - Movimiento condicional
  - Salto indirecto (mediante tablas de saltos)
  - Compilador genera secuencia código p/implementar control más complejo
- **Técnicas estándar**
  - Bucles convertidos a forma do-while (ó salta-en medio ó copia-test)
  - Sentencias switch grandes usan tablas de saltos
  - Sentencias switch poco densas → árboles decisión (if-elseif-elseif-else)

Guía de trabajo autónomo (4h/s)

- **Estudio:** del Cap.3 CS:APP (Bryant/O'Hallaron)
  - Control
    - § 3.6 pp.236-274

- **Ejercicios:** del Cap.3 CS:APP (Bryant/O'Hallaron)
  - Probl. 3.13 – 3.14 § 3.6.2, pp.240, 241
  - Probl. **3.15** § 3.6.4, **pp.245**†
  - Probl. 3.16 – 3.18 § 3.6.5, pp.248_2, 249
  - Probl. **3.19** – 3.21 § 3.6.6, **pp.252**‡, 255_2
  - Probl. 3.22 – 3.29 § 3.6.7, pp.257, 258, 260, 262, 264, 267_2, 268
  - Probl. 3.30 – 3.31 § 3.6.8, pp.272, 273

Bibliografía:

[BRY16] Cap.3 Computer Systems: A Programmer's Perspective 3rd ed. Bryant, O'Hallaron. Pearson, 2016

Signatura ESIIT/C.1 BRY com

† *direccionamiento relativo a contador de programa, "PC-relative"*

‡ *penalización por predicción saltos*