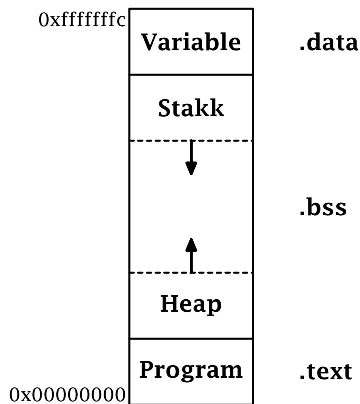
Programmering av x86

- Minnestrukturen i en prosess
- Flytting av data
  - Endring av størrelse
- Aritmeriske regneoperasjoner
  - Flagg
- Maskeoperasjoner
- Skifting og rotasjoner
- Hopp
  - Tester
- Stakken
- Rutinekall
  - Kall og retur
  - Frie og opptatte registre
  - Dokumentasjon

Minnestrukturen

Grovt sett ser minnet for hver process slik ut:



.data

.bss

.text

(**bss** = «block started by symbol» fra IBM 704 ca 1950.)

Flytting av data

Instruksjonen mov kan flytte data til/fra

konstanter	$10
registre	%eax
navngitte variable	navn
lagerlokasjoner pekt på	0(%esp)

Men . . .

- Man kan ikke flytte *til* en konstant.
- Maksimalt én lagerlokasjon.

```
        .text
move:
        movl    $3,%eax
        movl    4(%esp),%eax
        movl    %eax,var
        ret

        .data
var:    .long 17   # En long med verdi 17
arr:    .fill  8   # 8 byte uten initialverdi
```

Variable

Man kan sette av plass til variable med spesifikasjonen .long eller .fill. De bør legges i .data.

Byte, ord og langord

mov- finnes for -b («byte»), -w («word» = 2 byte) og -l («long» = 4 byte).

```
movb     $0x12,%al
movw     $0x1234,%ax
movl     $0x12345678,%eax
```

Kun de aktuelle delene av registrene endres.

Aritmetiske operasjoner

Hittil kjenner vi

Addisjon:	addb	addw	addl
Økning:	incb	incw	incl
Subtraksjon:	subb	subw	subl
Senkning:	decb	decw	decl

I tillegg har vi

Negasjon:	`negb`	`negw`	`negl`
Multiplikasjon:	—	`imulw`	`imull`

Alle fungerer på konstanter, registre og inntil én minnelokasjon.

Multiplikasjon

I tillegg til den vanlige utgaven nevnt på forrige ark, finnes en versjon[1] som jobber med faste registre:

mulb og imulb	%al $\times\ op \rightarrow$	%ax
mulw og imulw	%ax $\times\ op \rightarrow$	%dx:%ax
mull og imull	%eax $\times\ op \rightarrow$	%edx:%eax

[1]Dene versjonen er fra tidlige versjoner av x86 og demonstrerer at x86 ikke alltid er systematisk bygget opp.

NB! Denne versjonen har bare én parameter:

```
        imull   4(%esp)
```

Fordelen med denne utgaven er at den finnes både for verdier *med* fortegn (imul- og versjonen på forrige ark) og *uten* fortegn (mul-).

Ulempen er at parameteren kan være register eller minnelokasjon, men ikke konstant.

Divisjon

Divisjon gir to svar (kvotient og rest). Den er også litt rar når det gjelder registerbruk:

divl og idivl	%edx:%eax	÷ *op* →	%eax	%edx
divw og idivw	%dx:%ax	÷ *op* →	%ax	%dx
divb og idivb	%ax	÷ *op* →	%al	%ah

(idiv*x* regner *med* fortegn og div*x* *uten* fortegn.

Disse instruksjonen kan ikke dele på konstanter, kun på variable og registerverdier.

Eksempel

Denne funksjonen deler et tall med 10 og returnerer svaret og resten der de to adressene i parameter 2 og 3 angir.

```
        .globl  div10

# C-signatur:   unsigned int div10(unsigned int v).

div10:
        movl    4(%esp),%eax    #       %eax = v.
        movl    $0,%edx         # %edx:
        movl    $10,%ecx        # %ecx = 10.
        divl    %ecx            # (%eax,%edx) =
                                #   (%edx:%eax/10,%edx:%eax%10).
        ret                     # Retur.
```

Testprogram

```
#include <stdio.h>

extern unsigned int div10 (unsigned int v);

int data[] = { 0, 19, 226};

int main (void)
{
  int data_len = sizeof(data)/sizeof(int), ix;

  for (ix = 0;  ix < data_len;  ++ix) {
    printf("%d/10 = %u\n",
           data[ix], div10(data[ix]));
  }
  return 0;
}
```

Kjøring

```
$ gcc -m32 test-div10.c div10.s -o test-div10
$ ./test-div10
0/10 = 0
19/10 = 1
226/10 = 22
```

Advarsel!

Overflyt ved divisjon eller divisjon med 0 er ekstra farlig; hvis det skjer, får vi se følgende:

```
Floating point exception
```

Flagg

De fleste operasjonene har en bieffekt: visse egenskaper ved resultatet blir lagret i **flaggene** («condition codes»).

$\mathcal{Z}$ («Zero») settes til 1 når svaret er 0 (og til 0 ellers).

$\mathcal{S}$ («Sign») settes lik øverste bit i svaret. (Om vi regner med *signed* tall, er dette et tegn på at tallet er negativt.)

$\mathcal{C}$ («Carry» = mente) settes lik den menteoverføringen som skjedde øverst i resultatet.

$\mathcal{O}$ («Overflow») settes om svaret var for stort.

$\mathcal{P}$ («Parity») settes om *laveste byte* har et partall antall 1-bit.

Inneholder flaggene nyttig informasjon?

Av og til, men ikke alltid.

Maskeoperasjoner

Maskeoperasjonene brukes til å sette eller nulle ut bit i henhold til et gitt mønster (en såkalt *maske*).

Maske-AND

AND *nuller ut* de bit som ikke er markert i masken.

	0	1	0	1	0	1	0	1
andb	0	0	0	0	1	1	1	1
=	0	0	0	0	0	1	0	1

Denne operasjonen er tilgjengelig i C og heter der &.

NB! Det er stor forskjell på & (maske-AND eller bit-AND) og && (logisk AND) i C:

```
 1 & 4 == 0
1 && 4 == 1
```

Maske-OR

Denne operasjonen *setter* de bit som er markert i masken.

	0	1	0	1	0	1	0	1
orb	0	0	0	0	1	1	1	1
=	0	1	0	1	1	1	1	1

Denne operasjonen er tilgjengelig i C og heter der |.

Maske-NOT

Denne operasjonen snur *alle* bit-ene.

notb	0	1	0	1	1	1	1	1
=	1	0	1	0	0	0	0	0

Den finnes også i C og heter der ~.

Maske-XOR

Denne operasjonen *snur* bare de bit som er markert i masken.

	0	1	0	1	0	1	0	1
xorb	0	0	0	0	1	1	1	1
=	0	1	0	1	1	0	1	0

Denne operasjonen kalles også ofte «logisk addisjon». Den er tilgjengelig i C og heter der ^.

Skift-operasjoner

Dette flytter alle bit-ene i et ord.

Logisk skift

Her settes det inn 0-er fra enden:

	0	1	0	1	0	1	1	1
salb $1,%al	1	0	1	0	1	1	1	0
salb $2,%al	1	0	1	1	1	0	0	0

shrb $1,%al	0	1	0	1	1	1	0	0
shrb $4,%al	0	0	0	0	0	1	0	1

C-flagget settes til det siste bit-et som «faller utenfor».

Aritmetisk skift

I vårt desimale tallsystem kan man gange med 10 ved å sette inn en 0, og dele med 10 ved å fjerne siste siffer:

$42 \times 10 = 420$

$217/10 = 21$

Det samme gjelder i det binære tallsystemet, men her er effekten å gange med 2 eller dele på 2:

0	0	1	0	1	0	1	0	$(=42_{dec})$
0	1	0	1	0	1	0	0	$(=84_{dec})$

1	1	0	1	1	0	0	1	$(=217_{dec})$
0	1	1	0	1	1	0	0	$(=108_{dec})$

Hva gjør vi så hvis det er fortegnsbit? Ved skift mot venstre spiller det ingen rolle, men for skift mot høyre er løsningen å kopiere inn fortegnsbit-et.

	0	1	0	1	0	1	1	1	$= 87_{dec}$
sarb $1,%al	0	0	1	0	1	0	1	1	$= 43_{dec}$
sarb $2,%al	0	0	0	0	1	0	1	0	$= 10_{dec}$

	1	1	0	1	0	1	1	1	$= -41_{dec}$
sarb $1,%al	1	1	1	0	1	0	1	1	$= -21_{dec}$
sarb $2,%al	1	1	1	1	1	0	1	0	$= -6_{dec}$

(Legg merke til at negative tall rundes av mot $-\infty$ og ikke mot 0!)

Rotasjoner

En variasjon av skifting er at bit-ene som «detter utenfor» kommer tilbake fra den andre siden:

	0	1	0	1	0	1	1	1
rolb $1,%al	1	0	1	0	1	1	1	0
rolb $2,%al	1	0	1	1	1	0	1	0

rorb $1,%al	0	1	0	1	1	1	0	1
rorb $4,%al	1	1	0	1	0	1	0	1

Enda en variant er å ta med *C*-flagget i rotasjonen:

									C
	1	1	0	1	0	1	1	1	1
rclb $1,%al	1	0	1	0	1	1	1	1	1
rclb $2,%al	1	0	1	1	1	1	1	1	0
rcrb $1,%al	0	1	0	1	1	1	1	1	1
rcrb $4,%al	1	1	1	1	0	1	0	1	1

Hopp

Instruksjonen for å hoppe heter jmp.

```
        jmp dit

dit:
```

Betinget hopp

Man kan angi at flaggene skal avgjøre om man skal hoppe.

```
jz      dit     # Hopp om Z(ero)
jnz     dit     # Hopp om ikke Z
jc      dit     # Hopp om C(arry)
jnc     dit     # Hopp om ikke C
js      dit     # Hopp om S(ign)
jns     dit     # Hopp om ikke S
jo      dit     # Hopp om O(verflow)
jno     dit     # Hopp om ikke O
jp      dit     # Hopp om P(arity)
jnp     dit     # Hopp om ikke P
```

Testing

Flaggene kan settes som følge av vanlige instruksjoner:

```
        .globl  abs1
abs1:   movl    4(%esp),%eax
        addl    $0,%eax
        jns     ret2
        negl    %eax
ret2:   ret
```

Alternativt kan vi eksplisitt sjekke to verdier mot hverandre med instruksjonen cmp*x*:[2]

```
        .globl  abs2
abs2:   movl    4(%esp),%eax
        cmpl    $0,%eax
        jns     ret1
        negl    %eax
ret1:   ret
```

[2] En cmp*x*-instruksjon er egentlig en sub*x* der resultatet kastes.

En tredje mulighet er å teste om visse bit er satt med `test`*x*:[3]

```
        .globl  s3
s3:     testl   $0x80000000,4(%esp)
        jz      a3_pos
        movl    $1,%eax
        jmp     a3_x
a3_pos: movl    $0,%eax
a3_x:   ret
```

[3] En `test`*x*-instruksjon er egentlig en `and`*x* der resultatet kastes.

Hva er riktige flagg å sjekke på ved for eksempel %eax≤ -17? Heldigvis finnes spesielle varianter som er enklere å bruke:

Verdier *med* fortegn

```
je      dit     # Hopp ved =  (= Z)
jne     dit     # Hopp ved != (= ~Z)
jl      dit     # Hopp ved <  (= S)
jle     dit     # Hopp ved <= (= Z || S)
jg      dit     # Hopp ved >  (= ~Z && ~S)
jge     dit     # Hopp ved >= (= ~S)
```

Verdier *uten* fortegn

```
je      dit     # Hopp ved =  (= Z)
jne     dit     # Hopp ved != (= ~Z)
jb      dit     # Hopp ved <  (= C)
jbe     dit     # Hopp ved <= (= Z || C)
ja      dit     # Hopp ved >  (= ~C && ~Z)
jae     dit     # Hopp ved >= (= ~C)
```

Eksempel

Denne funksjonen finner det minste av to tall:

```
min2:   movl    4(%esp),%eax
        cmpl    8(%esp),%eax
        jle     ret
        movl    8(%esp),%eax
ret:    ret
```

NB!

Testen blir *omvendt* i Linux siden operandene kommer i en annen rekkefølge!

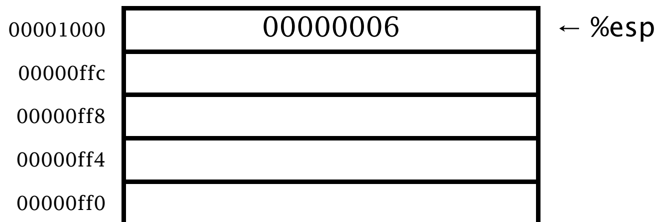
Stakken

Fra *Bokmålsordboka*:

stakk stor, såteformet haug av høy, løv el med en stake i midten

Stakken er veldig sentral i x86-arkitekturen. Den benyttes til

- rutinekall
- parameteroverføring
- lagring av mellomresultater
- plass til lokale variable

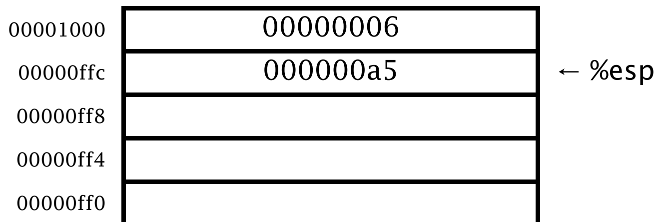


Av historiske grunner vokser stakken mot *lavere* adresser.

Å legge elementer på stakken

Instruksjonene pushw og pushl legger verdier på stakken:

```
pushl    $0x000000a5
```



Legg merke til at vi kan få tak i alle elementene på stakken:

```
movl     0(%esp),%eax     # Toppen
movl     4(%esp),%eax     # Nest øverst
```

Å fjerne elementer fra stakken

Til dette brukes popw og popl:

```
popl    %eax
```

Adresse	Verdi	
00001000	00000006	← %esp
00000ffc	000000a5	
00000ff8		
00000ff4		
00000ff0		

Verdiene blir ikke fysisk fjernet.

Rutiner

Ved et rutinekall skjer følgende:

1. Parametrene beregnes og legges på stakken *bakfra!*
2. Instruksjonen `call` fungerer som en `jmp` men legger adressen til neste instruksjon på stakken.

Kallet

```
f(4, 17, 11);
```

vil gi denne stakken:

Adresse	Innhold	
00001000	11	
00000ffc	17	
00000ff8	4	
00000ff4	*Returadresse*	← %esp
00000ff0		

Ved retur vil ret fjerne returadressen fra stakken og hoppe dit.

(Det er opp til kalleren å fjerne parametrene fra stakken.)

Registerbruk

Hvilke registre kan vi endre i en funksjon?

Frie registre

Konvensjonen er at

%eax, %ecx og %edx

er *frie registre* («caller save»).

Bundne registre

De andre registrene er *bundne registre* («callee save»). Om de endres, må man ta vare på den opprinnelige verdien og sette denne tilbake før retur.

En forbedring

Hittil har vi hentet parametrene som 4(%esp), 8(%esp), . . .
Men hva om vi ønsker å lagre mellomresultater på stakken? Da må adresseringen endres!

Løsningen er å bruke et eget register %ebp til å peke på parametrene:

```
pushl    %ebp
movl     %esp,%ebp
```

Adresse	Innhold	
00001000	11	
00000ffc	17	
00000ff8	4	
00000ff4	*Returadresse*	
00000ff0	*Gammel %ebp*	← %esp ← %ebp

Nå er paramtrene tilgjengelige som 8(%ebp), 12(%ebp), ...

Retur må nå gjøres slik:

```
popl    %ebp
ret
```

Dokumentasjon

Målet med dokumentasjon er man skal kunne få vite alt man trenger for å bruke en funksjon ved å lese dokumentasjonen. Dette inkluderer:

1. funksjonens navn
2. hva den gjør (kort fortalt)
3. parametrene

I tillegg kan det være nyttig å vite hva de ulike registrene brukes til når man skal lese koden.

Dokumentasjon av funksjoner

```
                .globl  mystradd

# Name:         mystradd.
# Synopsis:     Legger et tegn til en C-tekst.
# C-signatur:   void mystradd (char *s, char c)
# Registre:     EAX:    c
#               ECX:    gjennomløper s

mystradd:
        pushl   %ebp            # Standard
        movl    %esp,%ebp       # funksjonsstart.

        movl    8(%ebp),%ecx    # %ecx = s

        # Finn slutten av teksten:
s_loop: cmpb    $0,(%ecx)       # while (* %ecx)
        jz      s_add           # {
        incl    %ecx            #   ++ %ecx
        jmp     s_loop          # }

        # Sett inn c og 0-byte:
s_add:  movl    12(%ebp),%eax   #          c
        movb    %al,(%ecx)      # * %ecx =
        movb    $0,1(%ecx)      # *(%ecx+1) = 0

        popl    %ebp            # Standard retur.
        ret                     # return len.
```