Dagens tema

1. Funksjonskall

- Stakken
- Lokale variable

2. Minnet

- Fast minne
  - Store og små indianere
  - «align»-ing
- Noen nyttige instruksjoner
  - Vektorer
  - Hva er adressen?
  - Bit-operasjoner

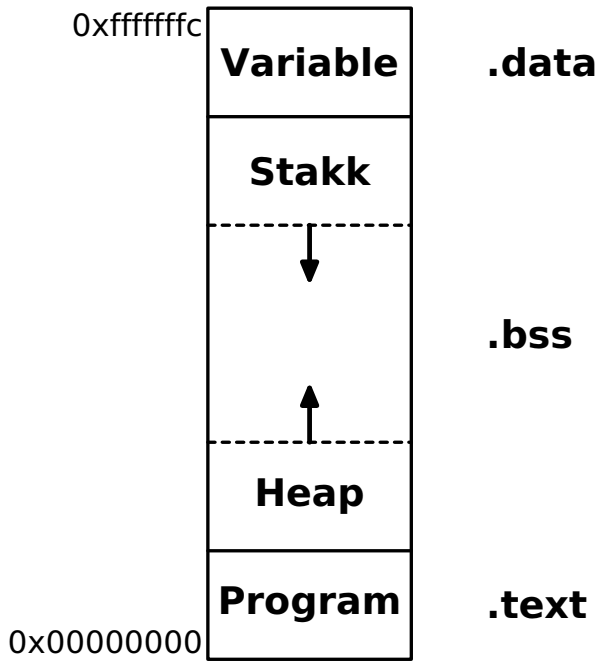
3. Feilsøking

- gdb
- ddd
- Valgrind
- Egne testutskrifter

Rutiner [REB&DRO'H 3.7]

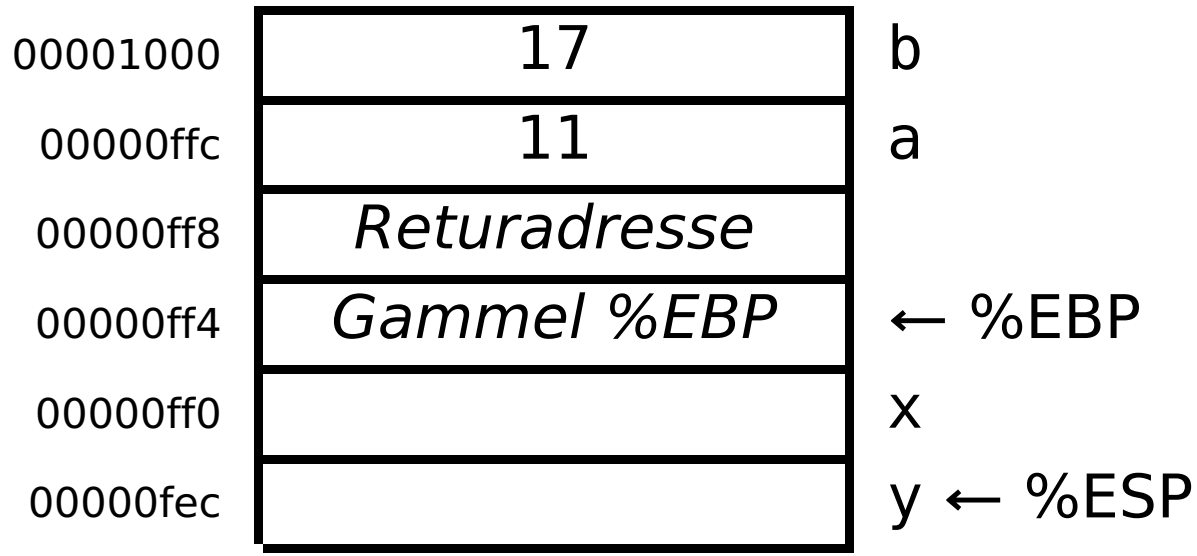
Vi har tre typer variabler:

1. Globale variabler (ligger på fast plass i minnet)
2. Parametre (legges på stakken av kalleren)
3. Lokale variabler (enten i registre eller legges på stakken av funksjonen)



Anta at vi har C-funksjonen

```
int f (int a, int b)
{
   int x, y;
     :
}

int main (void)
{
   f(11, 17);
     :
}
```



a	8(%ebp)	x	-4(%ebp)
b	12(%ebp)	y	-8(%ebp)

Hvis vi trenger lokale variabler på stakken, må funksjonen se slik ut:

```
        .globl  f
f:      pushl   %ebp
        movl    %esp,%ebp
        subl    $8,%esp

        # ----

        movl    %ebp,%esp
        popl    %ebp
        ret
```

Men ofte klarer vi oss med registrene!

Faste variabler

Faste variabler lever så lenge programmet kjører. De kan gis en initialverdi. Det vanlige er å legge slike variabler i `.data`-segmentet.

I C:

```
int a, b;
static char c;
long d = 5;

void f (void) {}
```

I assemblerkode:

```
        .globl  a, b, d, f
        .text
f:      ret

        .data
a:      .long   0
b:      .long   0
c:      .byte   0
        .align  2
d:      .long   5
```

«Alignment»

Hva om vi ber CPUen utføre

```
movl    var,%eax
```

der adressen til `var` er 0x-------3?

Noen prosessorer klarer ikke slikt, men x86 gjør det selv om det tar mer tid.

Enda verre er det ved skriving til minnet. På en multiprosessormaskin kan vi til og med få galt svar!

Brukeren kan angi at variabler skal være *alignet*, dvs ikke krysse ordgrenser:

```
.align n
```

Denne spesifikasjonen får assembleren til å legge inn 0 eller flere byte med ett eller annet inntil adressen er har n 0-bit sist.

Byte-rekkefølgen

De fleste datamaskiner i dag er byte-maskiner der man adresserer hver enkelt byte. `short`, `int` og `long` trenger da 2–4 byte.

Anta at register %EAX inneholder 0x01234567. Om resultatet av

```
    movl    %eax,0x100
```

blir

0x100	0x101	0x102	0x103
01	23	45	67

kalles maskinen **big-endian**.

0x100	0x101	0x102	0x103
67	45	23	01

kalles maskinen **little-endian**.

Vektorer

En vektor er et sammenhengende område i minnet der man kan *regne* seg frem til hvert elements adresse.

```
int a[4];
```

ligger slik i minnet:

	0x104	0x108	0x10C	0x110	
...	a[0]	a[1]	a[2]	a[3]	...

Vektorer i x86-kode

Det finnes en egen adresseringmåte for å slå opp i en vektor:

$$k(\%EAX, \%EBX, n)$$

som gir adressen

$$\%EAX + n \times \%EBX + k$$

n må være 1, 2, 4 eller 8.

```
        .globl arrayadd
# Navn:         arrayadd.
# Synopsis:     Summerer verdiene i en vektor.
# C-signatur:   int arrayadd (int a[], int n).
# Registre:     %eax:   summen så langt
#               %ecx:   indeks til a (teller ned)
#               %edx:   adressen til a
arrayadd:
        pushl   %ebp                    # Standard
        movl    %esp,%ebp               # funksjonsstart.

        movl    $0,%eax                 # sum = 0.
        movl    12(%ebp),%ecx           # ix = n.
        movl    8(%ebp),%edx            # a.

a_loop: decl    %ecx                    # while (--ix
        js      a_exit                  #            >=0) {
        addl    (%edx,%ecx,4),%eax      #   sum += a[ix].
        jmp     a_loop                  # }

a_exit: popl    %ebp                    # return sum.
        ret                             #
```

En egen løkkeinstruksjon

Det finnes en egen instruksjon for å gå i løkke et gitt antall ganger: **loop**.

1. %ECX = %ECX − 1
2. Hvis %ECX ≠ 0, hopp.

Eksempel

```
loop1:  ...
        loop    loop1
```

tar 15 ns.

```
loop1:  ...
        decl    %ecx
        jnz     loop1
```

tar 6 ns.

Instruksjonen lea

Instruksjonen **lea** («load effective address») fungerer som en **mov** men henter adressen i stedet for verdien.

```
eks1:   leal    var,%eax

eks2:   movl    index,%edx
        leal    array,%eax
        leal    (%eax,%edx,4),%ecx

        .data
var:    .long   12
array:  .fill   100
index:  .long   8
```

Bit-mønstre [REB&DRO'H 2.1]

Husk!

Alt som finnes i datamaskinen, er bit-mønstre!

En byte med innholdet 195 = 0xCE kan være

- Verdien 195
- Verdien −61
- En del av et 16-bits, 32-bits eller 64-bit heltall (med eller uten fortegns-bit)
- En del av et 32-bits eller 64-bits flyt-tall
- Tegnet Ã i kodingen ISO LATIN-1
- Starten av et Unicode-tegn
- Instruksjonen **ret**
- En del av en fler-bytes instruksjon
- Brukdefinerte data

Bit-fikling

Når alt er bit, gir det oss nye muligheter.

```
        .globl  bigendian
 # Navn:         bigendian.
 # Synopsis:     Er maskinen «big-endian»?
 # C-signatur:   int bigendian (void)

bigendian:
        pushl   %ebp                # Standard
        movl    %esp,%ebp           # f-start.

        movb    v+3,%al             # Hent byte
        andl    $0x000000ff,%eax    # og null ut.

        popl    %ebp                # Standard
        ret                         # retur.

        .data                       # 0,0,0,1 el
v:      .long   1                   # 1,0,0,0
```

```
#include <stdio.h>

extern int bigendian (void);

int main (void)
{
  printf("Denne maskinen er %s-endian.\n",
         (bigendian() ? "big" : "little"));
}
```

gir

```
$ ./test-endian
Denne maskinen er little-endian.
```

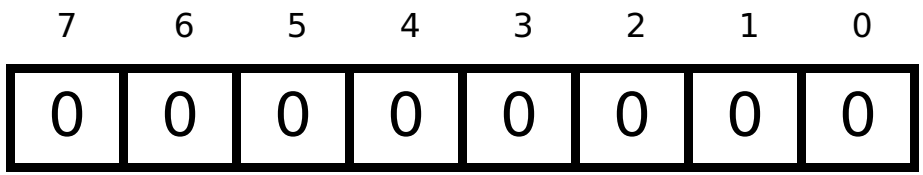
Pakking av bit

Noen ganger ønsker vi å pakke flere datafelt inn i ett ord

- for å spare plass
- for å programmere nettverk
- for å håndtere ulike tegnsett
- ...

Nummerering av bit

Det vanlige i dag er å gi minst signifikante bit (det «høyre») nr 0.



Ved hjelp av skifting og masking kan vi hente frem bit-felt:

```
        .globl  bit2til4
# Navn:         bit2til4
# Synopsis:     Henter bit 2-4.
# C-signatur:   int bit2til4 (int v)
# Registre:     EAX - arbeidsregister

bit2til4:
        pushl   %ebp            # Standard
        movl    %esp,%ebp       # funksjonstart.

        movl    8(%ebp),%eax    # Hent v og
        shrl    $2,%eax         # skift 2 mot høyre.
        andl    $0x7,%eax       # Fjern alt uten
                                # 3 nederste bit.

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

Vi kan også sette inn bit:

```
        .globl  set2til4
# Navn:         set2til4
# Synopsis:     Bytter ut bit 2-4 med gitt verdi.
# C-signatur:   int set2til4 (int orig, int v2til4)
# Registre:     EAX - arbeidsregister

set2til4:
        pushl   %ebp                # Standard
        movl    %esp,%ebp           # funksjonsstart.

        movl    8(%ebp),%eax        # Hent opprinnelig verdi
        andl    $0xfffffe3,%eax     # og null ut bit-feltet.
        movl    12(%ebp),%ecx       # Hent ny verdi og sørg
        andl    $0x7,%ecx           # for at den ikke er for stor.
        sall    $2,%ecx             # Skift på plass
        orl     %ecx,%eax           # og sett inn.

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

Enkelt-bit

Det finnes fire operasjoner for å jobbe med enkelt-bit:

btl gjør ingenting

btcl snur bit-et

btrl nuller bit-et

btsl setter bit-et

Alle kopierer dessuten det opprinnelige bit-et til $\mathcal{C}$-flagget.

```
btl    $2,%eax  # Sjekker bit 2 i EAX.
```

Hva om det går galt?

```
#include <stdio.h>
#include <string.h>

char *s;

int main (void)
{
  strcpy(s, "Abc");
  return 0;
}
```

Dette programmet har en feil. Under kjøring skjer dette; hvordan finner vi feilen?

```
$ gcc feil.c -o feil
$ ./feil
Segmentation fault
```

Debuggere [REB&DRO'H 3.11]

En «debugger» er et meget nyttig feilsøkingsverktøy. Det kan

- analysere en program-dump,
- vise innholdet av variabler,
- vise hvilke funksjoner som er kalt,
- kjøre programmet én og én linje, og
- kjøre til angitt stoppunkter.

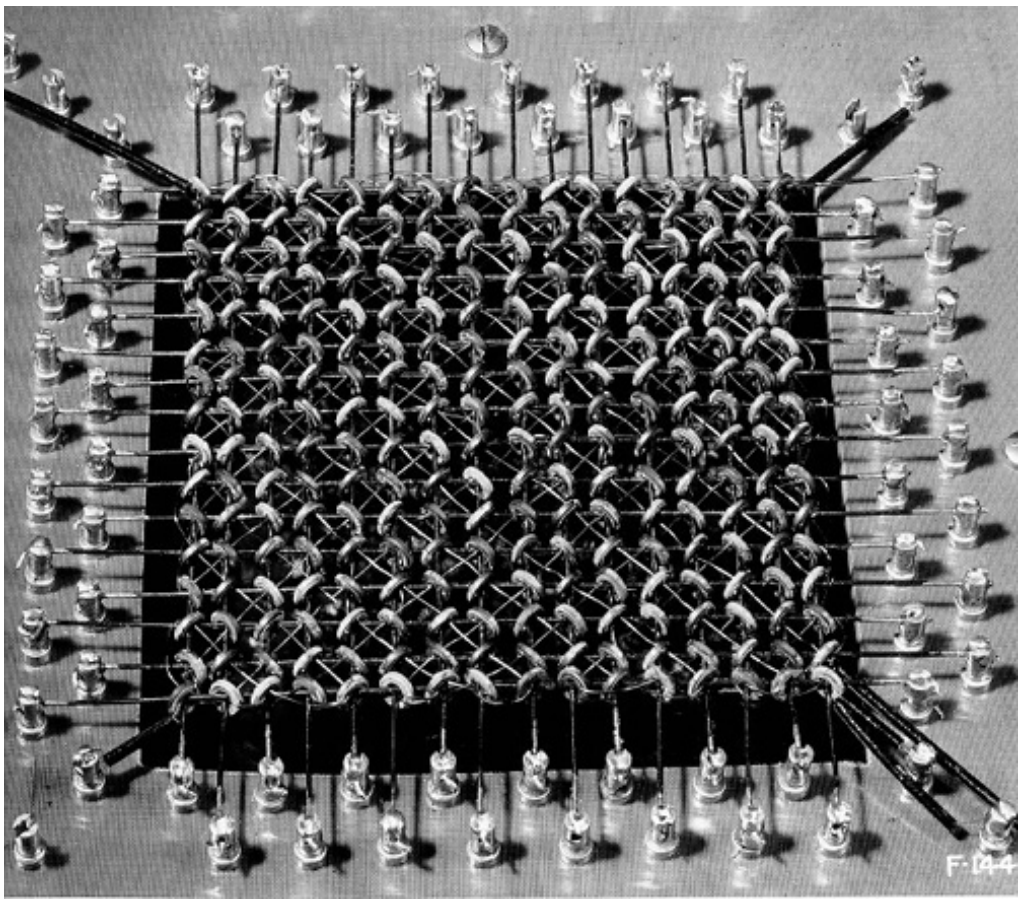
Debuggeren `gdb` er laget for å brukes sammen med `gcc`. Det finnes flere vindusgrensesnitt som kan brukes på Unix-maskiner: `ddd`, `insight`, ...

Programdumper

Når et program dør på grunn av en feil («aborterer»), prøver det ofte å skrive innholdet av hele prosessen på en fil slik at det kan analyseres siden.

```
$ ls -l core*
-rw------- 1 dag ifi-a  143360 2012-03-14 10:29 core.17608
```

En fil med lagerinnholdet kalles ofte en «core-dump» siden datamaskinene for 30–50 år siden hadde hurtiglager bygget opp av ringer med kjerne av feritt. I Unix heter denne filen derfor `core.*`.



For å bruke gdb/ddd må vi gjøre tre ting:

1. kompilere våre programmer med opsjonen `-g`,
2. angi at vi ønsker programdumper:

   ```
   ulimit -c unlimited
   ```

   hvis vi bruker bash. (Da må vi huske å fjerne programdumpfilene selv; de er noen ganger *store!*)
3. sjekke at mappens x-bit er satt for alle brukere:

   ```
   $ ls -ld
   drwxr-sr-x. 2 dag ifi-a 8192 Mar 19 09:31 .
   ```

   Dette gjelder ikke bare mappen vi er i, men alle mapper oppover i filtreet: .., ../.. osv.

Et program med feil

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

extern char *mystrcpy
  (char *til, char *fra);

char *s;

int main (void)
{
  mystrcpy(s, "Abc");
  printf("\"%s\" har %d tegn.",
    s, strlen(s));
  exit(0);
}
```

```
        .globl mystrcpy
# Navn:         mystrcpy.
# Synopsis:     Kopierer en tekst.
# C-signatur:   char *mystrcpy (char *til, char *fra)
# Registre:     AL  - tegn som flyttes
#               ECX - til (som økes)
#               EDX - fra (som økes)

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

        movl    8(%ebp),%ecx    # Hent til
        movl    12(%ebp),%edx   # og fra.
                                # do {
mys_l:  movb    (%edx),%al      #   AL = *fra
        incl    %edx            #              ++ .
        movb    %al,(%ecx)      #   til    = AL.
        incl    %ecx            #        ++
        cmpb    $0,%al          #          AL != 0
        jne     mys_l           # } while (       )

mys_x:  movl    8(%ebp),%eax    #         til.
        popl    %ebp            #
        ret                     # return
```

Under kjøring går dette galt:

```
$ gcc -m32 -g -o feil-strcpy feil-strcpy.c strcpy.s
$ ulimit -c unlimited
$ chmod o+x .
$ ./feil-strcpy
Segmentation fault (core dumped)
```

De viktigste spørsmålene da er:

1. Hvor skjer feilen?
2. Hva vet vi om situasjonen når feilen inntreffer?

Svarene finner vi ved å analysere programdumpene.

Debuggeren gdb

Den enkleste debuggeren er gdb som finnes overalt.

```
$ gdb feil-strcpy core.17608
GNU gdb (GDB) Red Hat Enterprise Linux (7.0.1-45.el5)
Copyright (C) 2009 Free Software Foundation, Inc.
License GPLv3+: GNU GPL version 3 or later <http://gnu.org/licenses/gpl.html>
This is free software: you are free to change and redistribute it.
There is NO WARRANTY, to the extent permitted by law.  Type "show copying"
and "show warranty" for details.
This GDB was configured as "x86_64-redhat-linux-gnu".
For bug reporting instructions, please see:
<http://www.gnu.org/software/gdb/bugs/>...
Reading symbols from /hom/dag/Kurs/INF2270/2012/Forelesninger/uke-12/feil-strcpy...done.
[New Thread 25248]
Reading symbols from /lib/libc.so.6...(no debugging symbols found)...done.
Loaded symbols for /lib/libc.so.6
Reading symbols from /lib/ld-linux.so.2...(no debugging symbols found)...done.
Loaded symbols for /lib/ld-linux.so.2
Core was generated by ‘./feil-strcpy’.
Program terminated with signal 11, Segmentation fault.
#0  mys_l () at strcpy.s:18
18              movb    %al,(%ecx)      #   til    = AL.
(gdb)
```

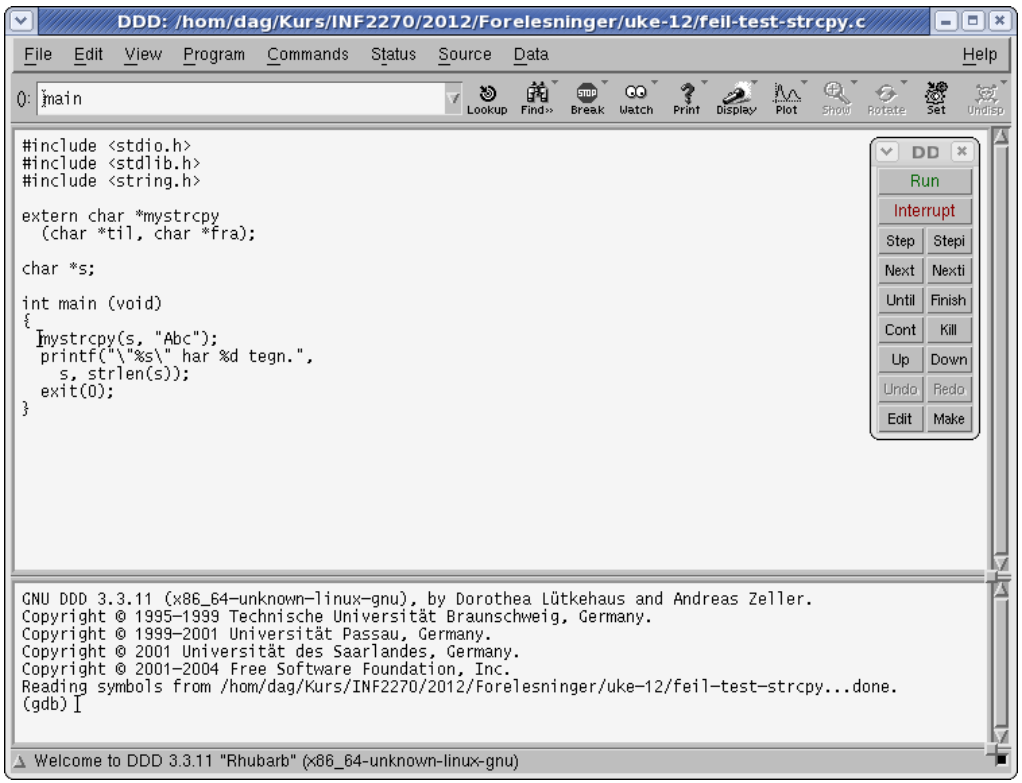
Da vet vi *hvor* feilen oppsto.

Debuggeren ddd

Denne debuggeren (som er et grafisk grensesnitt mot gdb) finnes på Ifi.

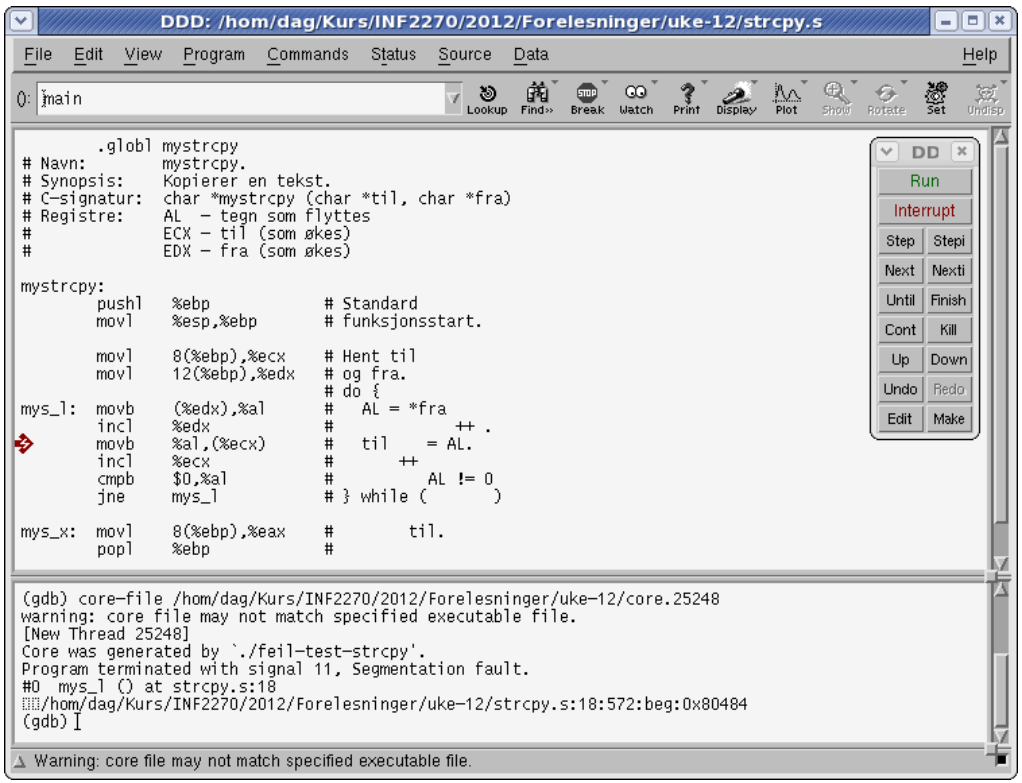
Programmet startes slik:

```
$ ddd feil-strcpy &
```



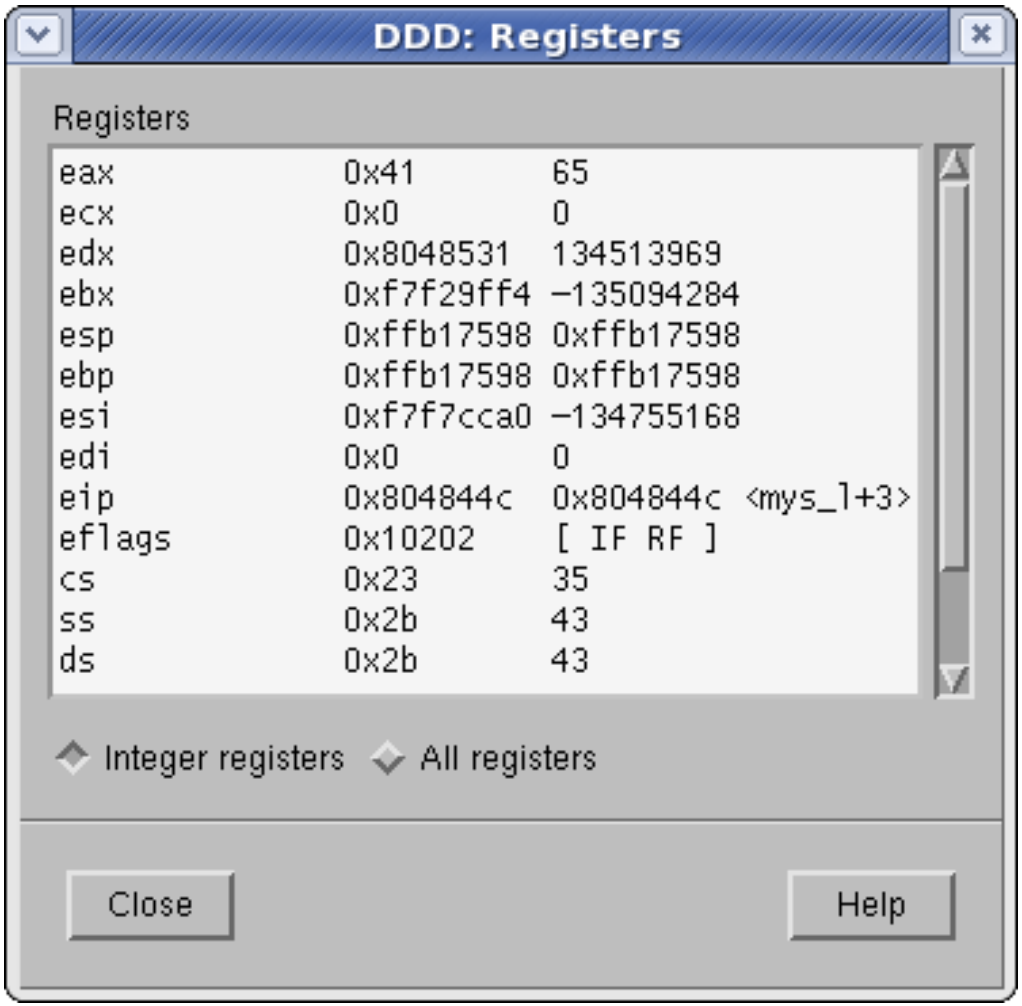
Sjekke programdumpen

I File-menyen finner vi «Open core dump» og da ser vi *hvor* feilen oppsto:



Sjekke registrene

I Status-menyen finner vi «Registers» og da bør vi se feilen.



Et eksempel til

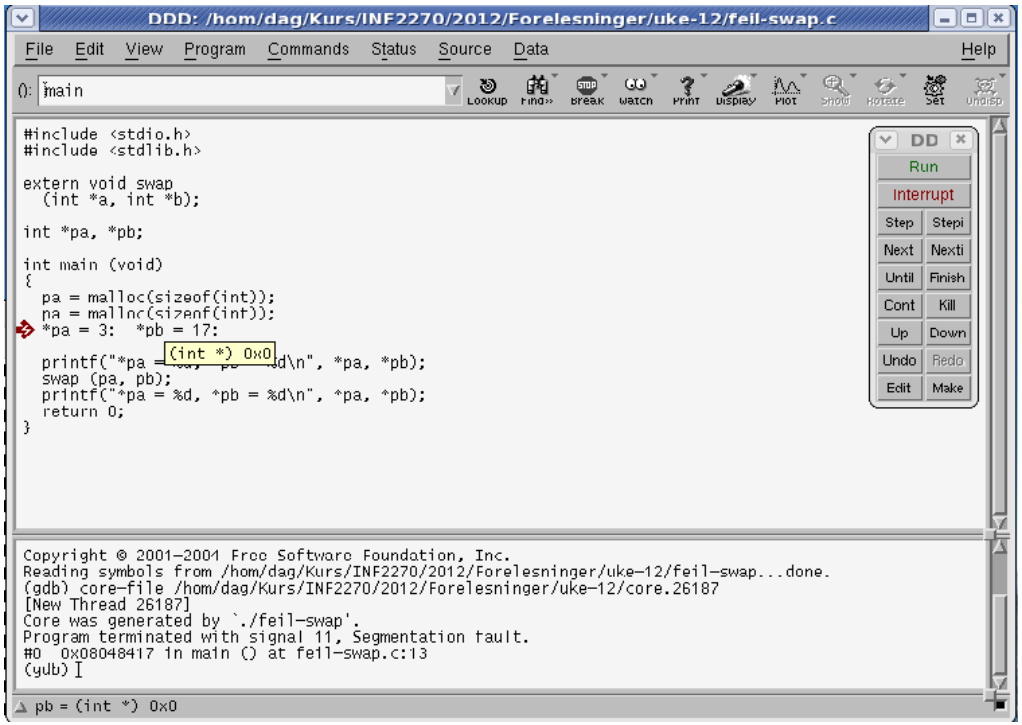
```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

extern void swap
  (int *a, int *b);

int *pa, *pb;

int main (void)
{
  pa = malloc(sizeof(int));
  pa = malloc(sizeof(int));
  *pa = 3;  *pb = 17;

  printf("*pa = %d, *pb = %d\n", *pa, *pb);
  swap (pa, pb);
  printf("*pa = %d, *pb = %d\n", *pa, *pb);
  return 0;
}
```

```
        .globl swap
# Navn:          swap.
# Synopsis:      Bytter om to variable.
# C-signatur:    void swap (int *a, int *b).

swap:   pushl   %ebp            # Standard
        movl    %esp,%ebp       # funksjonsstart

        movl    8(%ebp),%eax    # %eax = a.
        movl    12(%ebp),%ecx   # %ecx = b.

        pushl   (%eax)          # push *a.
        pushl   (%ecx)          # push *b.
        popl    (%eax)          # pop *a.
        popl    (%ecx)          # pop *b.

        popl    %ebp            # Standard retur
        ret
```

Kjøringen:

```
$ gcc -m32 -g -o feil-swap
feil-swap.c swap.s
$ ./feil-swap
Segmentation fault (core dumped)
$ ddd feil-swap &
```

Etter «Open core dump» og så å peke på pa og pb ser vi at pa=0x9c06018 og pb=0x0. Dette bør fortelle oss hva som gikk galt.



Minnelekkasje

Valgrind (http://valgrind.org/) er et ypperlig feilfinningsverktøy, spesielt for å finne minnelekkasjer.

Eksempel

Dette programmet leser en fil, bygger opp et binært søketre av ordene og skriver dem ut sortert.
Vi tester dette på en tekst fra Ifis hjemmeside:

```
Den digitale tidsalder har festet grepet.
Overalt finnes små og store
datamaskiner. Det moderne samfunnet
bryter sammen uten en
velfungerende digital infrastruktur
og hverdagen vår består av stadig
flere digitale operasjoner. Informatikk
er læren om alt dette og mer til.
```

```
 1  #include <stdio.h>
 2  #include <stdlib.h>
 3  #include <string.h>
 4
 5  struct node {
 6    char *navn;
 7    struct node *v, *h;
 8  };
 9
10  struct node topp = { "", NULL, NULL };;
11
12  void sett_inn (struct node *p,
13                 struct node *ny)
14  {
15    if (strcmp(ny->navn,p->navn) < 0) {
16      if (p->v) sett_inn(p->v,ny);
17      else p->v = ny;
18    } else {
19      if (p->h) sett_inn(p->h,ny);
20      else p->h = ny;
21    }
22  }
23
24  void skriv_ut (struct node *p)
25  {
26    if (p->v) skriv_ut(p->v);
27    printf("\"%s\"\n", p->navn);
28    if (p->h) skriv_ut(p->h);
29  }
```

```
31  void rydd_opp (struct node *p)
32  {
33    if (p->v) rydd_opp(p->v);
34    if (p->h) rydd_opp(p->h);
35    if (p != &topp) free(p);
36  }
37
38  int main (int argc, char *argv[])
39  {
40    FILE *f = fopen(argv[1], "r");
41    char n[200];
42
43    while (fscanf(f,"%s",n) != EOF) {
44      struct node *nx =
45        malloc(sizeof(struct node));
46      nx->navn = strdup(n);
47      nx->v = nx->h = NULL;
48      sett_inn(&topp, nx);
49    }
50    fclose(f);
51    skriv_ut(&topp);  rydd_opp(&topp);
52
53    return 0;
54  }
```

Programmet ser ut til å fungere fint:

```
""
"Den"
"Det"
"Informatikk"
"Overalt"
"alt"
"av"
"består"
"bryter"
"datamaskiner."
"dette"
"digital"
"digitale"
"digitale"
"en"
"er"
"festet"
"finnes"
"flere"
"grepet."
"har"
"hverdagen"
"infrastruktur"
"læren"
"mer"
"moderne"
"og"
"og"
"og"
"om"
"operasjoner."
"samfunnet"
"sammen"
"små"
"stadig"
"store"
"tidsalder"
"til."
"uten"
"velfungerende"
"vår"
```

Mer er alt bra? Vi spør Valgrind:

```
$ gcc -g -m32 -O0 -o navn navn.c && valgrind --leak-check=yes navn tekst.txt
==26386== Memcheck, a memory error detector
[...]
==26386==
==26386== HEAP SUMMARY:
==26386==     in use at exit: 272 bytes in 40 blocks
==26386==   total heap usage: 81 allocs, 41 frees, 1,104 bytes allocated
==26386==
==26386== 272 bytes in 40 blocks are definitely lost in loss record 1 of 1
==26386==    at 0x6DF5B83: malloc (vg_replace_malloc.c:195)
==26386==    by 0x6EA019F: strdup (in /lib/libc-2.5.so)
==26386==    by 0x8048672: main (navn.c:46)
==26386==
==26386== LEAK SUMMARY:
==26386==    definitely lost: 272 bytes in 40 blocks
==26386==    indirectly lost: 0 bytes in 0 blocks
==26386==      possibly lost: 0 bytes in 0 blocks
==26386==    still reachable: 0 bytes in 0 blocks
==26386==         suppressed: 0 bytes in 0 blocks
==26386==
==26386== For counts of detected and suppressed errors, rerun with: -v
==26386== ERROR SUMMARY: 1 errors from 1 contexts (suppressed: 13 from 8)
```

Egne utskrifter

De beste feilmeldingene får vi ved å lage dem selv.

- Regn med at programmet ditt vil inneholde feil!
- Programmer feilutskrifter du kan slå av og på.
- Husk at du kan kalle C-funksjoner (dine egne og standardfunksjoner som `printf`) fra assemblerkode.

  (Husk bare at disse kan ødelegge %EAX, %ECX og %EDX samt flaggene.)

~inf2270/programmer/dumpreg.s anbefales:

```
#include <stdio.h>

extern void dumpreg (void);

void f (void)
{
  dumpreg();
}

int main (void)
{
  dumpreg();
  f();
  dumpreg();
  return 0;
}
```

```
Dump: PC=080483c7 EAX=ffb79544 EBX=f7eeeff4 ECX=ffb794c0 EDX=00000001
                  ESP=ffb79494 EBP=ffb794a8 ESI=f7f40ca0 EDI=00000000
Dump: PC=080483af EAX=ffb79544 EBX=f7eeeff4 ECX=ffb794c0 EDX=00000001
                  ESP=ffb79484 EBP=ffb79498 ESI=f7f40ca0 EDI=00000000
Dump: PC=080483d1 EAX=ffb79544 EBX=f7eeeff4 ECX=ffb794c0 EDX=00000001
                  ESP=ffb79494 EBP=ffb794a8 ESI=f7f40ca0 EDI=00000000
```