Dagens tema

- Datamaskinenes historie
  - Når, hvor og hvorfor ble de første datamaskiner laget?
  - Hvordan har utviklingen gått?
  - Hva inneholder en datamaskin?
- x86-prosessoren
- Enkel assemblerprogrammering

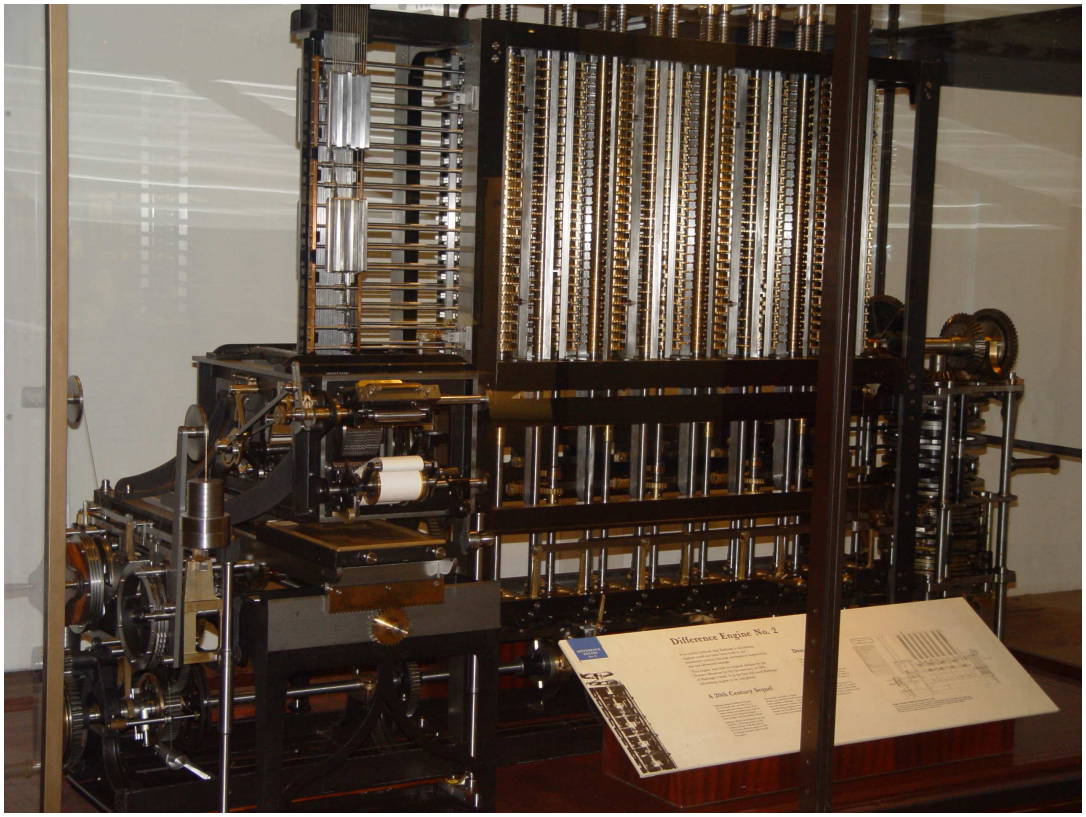
Forhistorien

Menneskene har alltid prøvd å lage maskiner for å løse sine problemer.

Charles Babbage

Midt på 1800-tallet var problemet *tabeller* med feil.

Charles Babbage konstruerte sin *Difference Engine* som kunne lage tabeller automatisk ved å regne ut polynomer:



INF1070

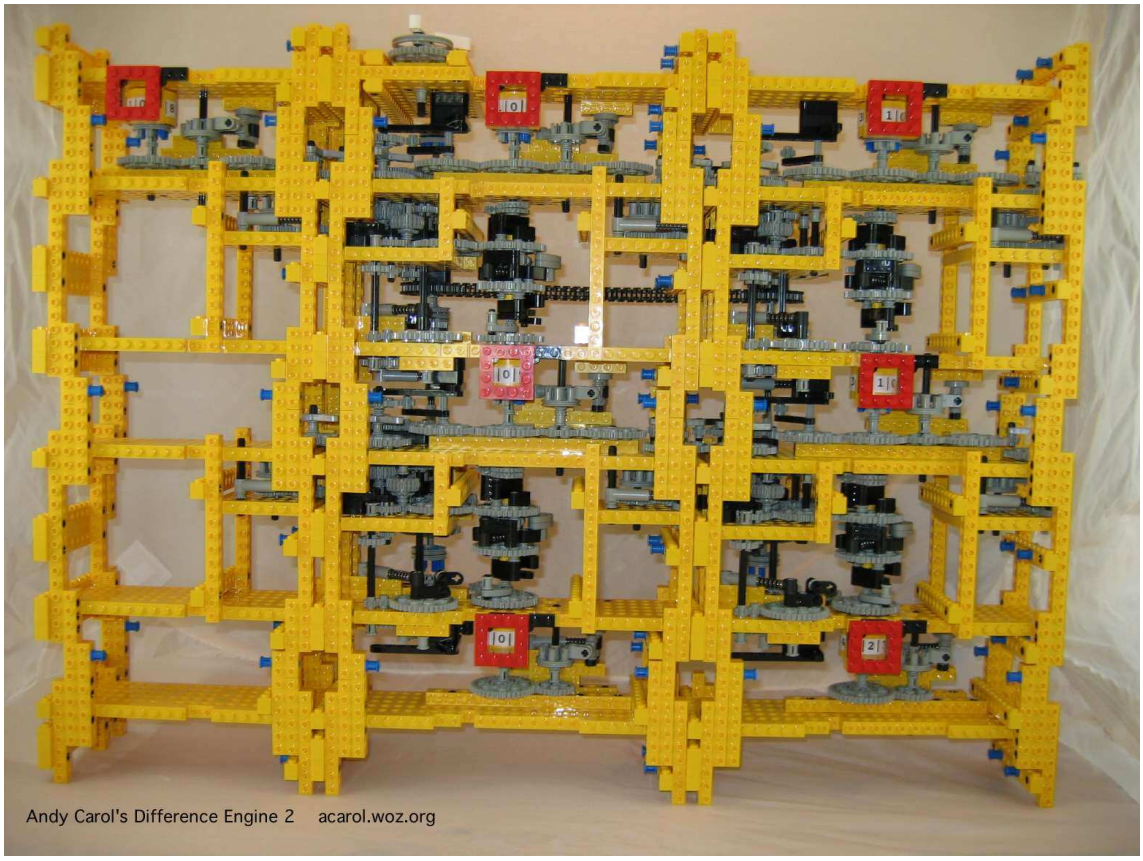
Maskinen ble først ferdig i 1991 og finnes hos *Science Museum* i London.

Dette var ingen ekte datamaskin:

- Binær ☐
- Elektronisk ☐
- Generell ☐
- Komplett ☐
- Program i minnet ☐

Han arbeidet også med en *Analytical Engine* som skulle bli en generell beregningsmaskin.

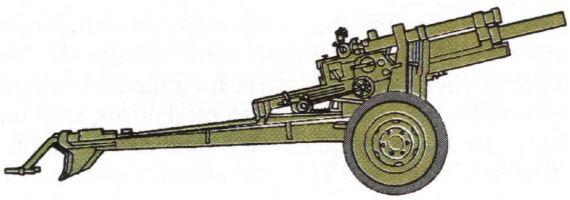
Andre har latt seg inspirere av maskinen til Babbage:



Om noen har lyst til å programmere en *Analytical Engine*, finnes det en emulator på //www.fourmilab.ch/babbage/applet.html.

De første moderne datamaskiner

Problemet rundt 1930–40 var kanoner.



Det er mulig å beregne en prosjektilbane, men det er mye arbeid for en matematiker. *U.S. Army Ordnance Department Ballistic Research Laboratory* trengte data for dusinvis av nye kanoner i 1930-årene.

Løsning

Lag en arbeidsbeskrivelse, og la egne «beregnere» gjøre jobben (etter en kort opplæring).

Fra en eldre utgave av *Webster's Dictionary*:

computer n, one that computes; *specif*: an automatic electronic machine for performing calculations

En typisk arbeidsbeskrivelse

⋮

③ Tast 2,78 inn i regnemaskinen.

④ Multiplisér tallet med 3,1415926535. Skriv svaret i rubrikk 28.

⑤ Hvis tallet i rubrikk 71 er < 0, gå til punkt 88.

⑥ Tast tallet i rubrikk 29 inn i regnemaskinen.

⑦ Legg til 1.

⑧ Gå til punkt 4.

⋮

⋮

28	8.7336276
29	3
30	–11
31	
32	1,25
33	
34	

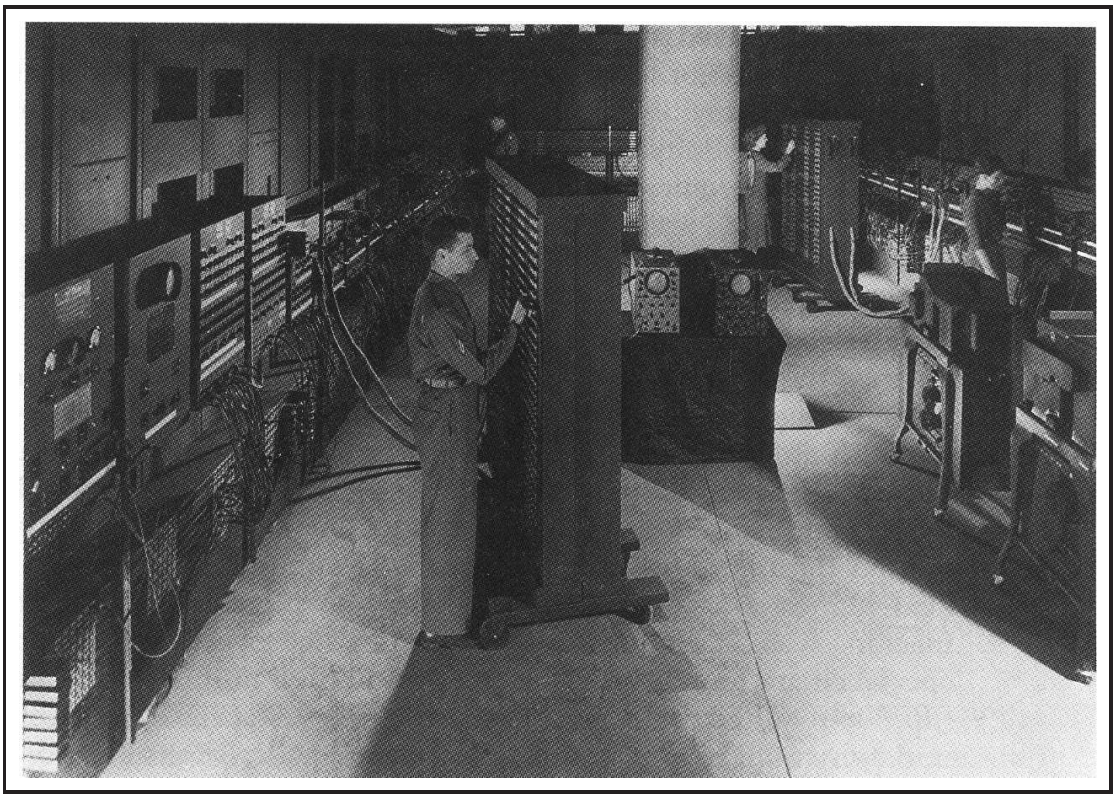
⋮

INF1070

Problem
Hver bane tok opptil 20 timer å beregne (selv med elektrisk bordregnemaskin), og man trengte 2–4000 baner for hver kanon.

Løsning
Lag en maskin som gjør dette automatisk.

Moore School of Electrical Engineering ved universitetet i Pennsylvania gjorde det med penger fra *Ballistic Research Laboratory*. Resultatet ble Eniac som ble ferdig i 1946. Den målte 2½×1×30 m, veide 30 tonn og inneholdt 19 000 radiorør. Den kunne beregne en kulebane på rundt 30 s. Den brukte nesten 200 Kwatt.



Oppbyggingen av Eniac

Tanken bak Eniac var å kopiere en menneskelig beregner. Derfor fikk man

Aritmetisk enhet («ALU») tilsvarte regnemaskinen. Den kunne de fire regneartene:

$+ \quad - \quad \times \quad \div$

Regnemaskinen har et tall for videre beregning; datamaskinen har et **register** for dette.

Minnet tilsvarte arket med mellomresultater. Datamaskinen kunne skrive innholdet av registeret til en celle i minnet, og hente innholdet av en celle tilbake til registeret.

Programmet tilsvarte beregnerens arbeidsbeskrivelse. Det skulle følges helt slavisk.

Programmet

Et program for datamaskinen inneholdt de samme elementene som beregnerens arbeidsbeskrivelse:

Aritmetiske operasjoner var mulig i de fire regneartene; svaret kom i registeret.

Mellomlagring av data skjedde ved at registeret ble kopiert til en angitt celle i minnet. Derfra kunne det hentes tilbake ved behov.

Hopp til en angitt instruksjon var nødvendig for å kunne gå i løkker.

Tester i forbindelse med hopp var typisk på om registeret var < 0, = 0 eller > 0.

Programmene ble etter hvert kodet som tall (men Eniac ble kodet med kabler).

Hva er beholdt i dag?

Alle disse instruksjonene finnes i dagens datamaskiner. I tillegg har vi fått

- flere registre (ofte 8–32),
- binær representasjon av tallene (i stedet for desimal),
- operasjoner på bit (skifting, masking) og
- flyt-tall som kan lagre svært store og svært små tall (som $6{,}02 \times 10^{23}$).

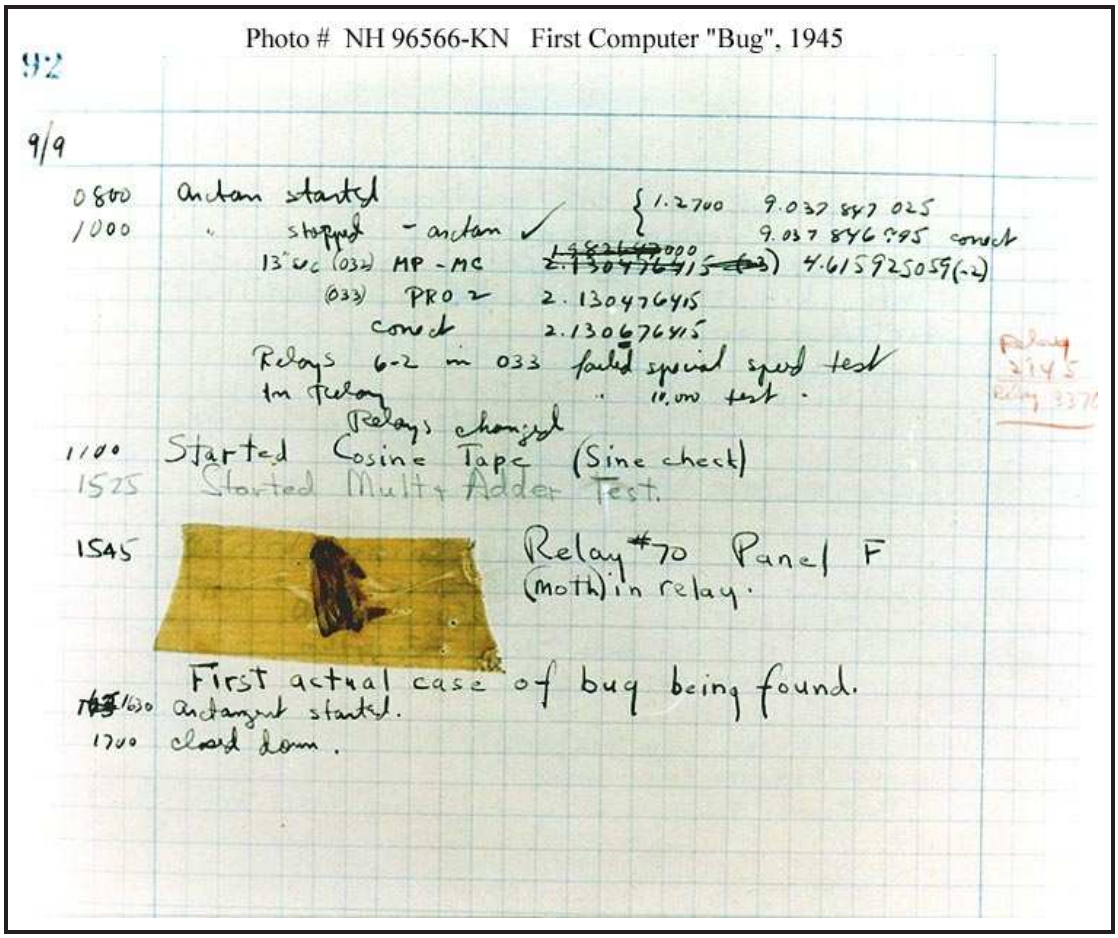
Programmerer noen i maskinkode i dag?

Maskinkode brukes når man har behov for ekstremt raske beregninger, for eksempel grafiske applikasjoner. (Og når man lager virus!)

Kjennskap til det som skjer i maskinen vil imidlertid gjøre oss til mye bedre programmere og brukere!

Den aller første «bug»

Også de første datamaskinene hadde feil. Den 9. september 1945 kl 15.45 fant man feilen i relé nr 70 i panel F i en Mark II Aiken elektromekanisk datamaskin og foretok den første «debugging»:



Generasjoner

Det er vanlig å dele datamaskinene inn i generasjoner:

Gen	År	Teknologi	Størrelse	Instr/sek	Pris (2005-kr)
1	1945–60	Radiorør	10m³	2000	50 mill
2	1960–68	Transistorer	650dm³	500 000	40 mill
3	1968–78	Integrerte kretser	80dm³	300 000	150 000
4	1978–??	Lsi og vlsi	0,1–20dm³	10^9	10 000

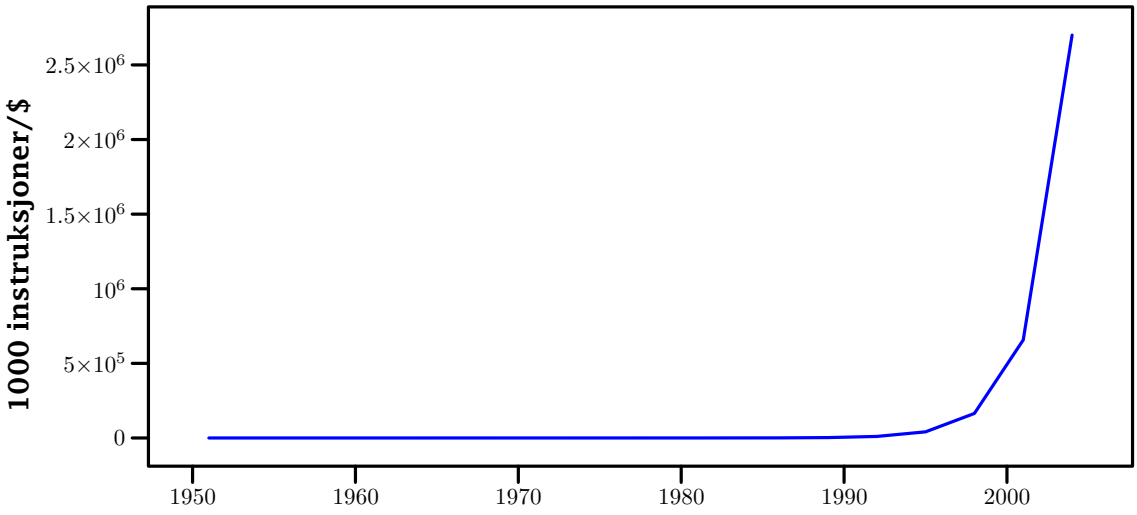
Størrelser

Det er også vanlig å dele inn datamaskiner etter størrelse:

stormaskin («mainframe»), minimaskin,
mikromaskin, bærbar maskin, PDA

Moores lov

Tegner vi et diagram over utviklingen av ytelsen i forhold til prisen, ser vi at grovt sett blir ytelsen fordoblet hvert 1½ år.



Ingen vet hvorfor det er slik, men dette kalles **Moores lov** etter mannen som formulerte den.

INF1070

Oppbygningen av en datamaskin

Det viktigste i en moderne datamaskin er *hovedkortet* («motherboard»):

Grovt sett inneholder det

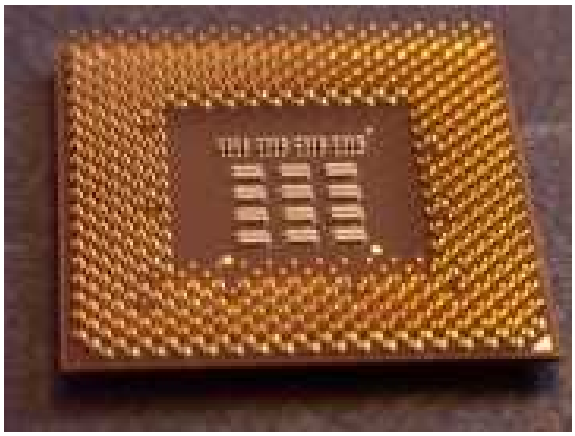
- En prosessor
- Minne (for både program og data)
- Klokke
- Kontrollere for periferutstyr.

Dette er den såkalte *Von Neuman-arkitekturen* som omtrent alle datamaskiner siden Eniac har fulgt.

INF1070

Prosessoren (Bryant-boken 3.1)

Prosessoren er «selve datamaskinen».



Det finnes mange ulike prosessorer fra ulike produsenter. I dette kurset skal vi se på **IA-32** (= **x86**) fra *Intel*.

Det finnes en hel familie med x86-prosessorer fra Intel, fra 8086 (introdusert i 1987) til dagens Pentium 4.

	År	#trans	
8086/-88	1978	0,029M	16(8)-bits; IBM PC med MS-DOS; 640K adresserbart
80286	1982	0,134M	MS Windows; 1M adresserbart
i386	1985	0,275M	32-bits; Unix; flatt minne
i486	1989	1,9M	Integrert 8087 (flyt-tall)
Pentium	1993	3,1M	
PentiumPro	1995	6,5M	Nytt design (P6)
Pentium/MMX	1997	4.5M	Op for heltallvektorer
Pentium II	1997	7M	= PentiumPro + Pentium/MMX
Pentium III	1999	8,2M	Op for heltalls- og flyt-tallsvektorer
Pentium 4	2001	42M	128-bits data

Prosessoren

En prosessor inneholder:

- En ALU («Arithmetic and Logic Unit») eller flere
- Registre
- Kontrollogikk

(I dag ligger det også coprosessorer, *cache* og mye annet på prosessorbrikken, men dette er logisk sett ikke del av prosessoren.)

Registre (Bryant-boken 3.4)

En x86-prosessor har følgende registre:

Mer eller mindre generelle 32-bits

			%AX	
%EAX			%AH	%AL
%EBX			%BH	%BL
%ECX			%CH	%CL
%EDX			%DH	%DL

%EBP
%ESP
%ESI
%EDI

Spesielle 16-bits

%CS	%ES
%SS	%FS
%DS	%GS

Spesielle 32-bits

%EFLAGS
%EIP

Assembler-programmering

Et meget enkelt eksempel

Denne lille C-funksjonen returnerer verdien 19:

```
int nineteen (void)
{
  return 19;
}
```

Denne assembler-funksjonen gjør det samme:

```
.globl nineteen
nineteen:
        movl        $19, %eax
        ret
```

Den legger verdien 19 i register **%EAX** der alle funksjoner legger resultatverdien, og returnerer.

INF1070

Test-program

Dette programmet kan teste funksjonen:

```
#include <stdio.h>

extern int nineteen (void);

int main (void)
{
  printf("nineteen() = %d\n", nineteen());
  return 0;
}
```

Kompilering, assemblering og kjøring

Programmet gcc kan håndtere både C-kompilering og assemblering:

```
gcc test-nineteen.c nineteen.s -o test-nineteen
```

Det ferdige programmet kan kjøres:

```
> ./test-nineteen
nineteen() = 19
```

Maskinkode kontra assemblerkode (Bryant-boken 4.1)

Programmet ligger lagret som *maskinkode*, dvs bit-mønstre i minnet.

Funksjonen nineteen ligger *egentlig* lagret som†

```
GAS LISTING nineteen.s                                  page 1


   1                    .globl nineteen
   2                    nineteen:
   3 0000 B8130000              movl    $19, %eax
   3      00
   4 0005 C3                    ret
```

Siden slike numeriske koder er vanskelige huske, brukes i stedet *assmblerkode* som bare er huskekoder for maskininstruksjonene.

† Ved å skrive gcc -Wa,-a -c minfil.s >minfil.list kan vi få se hvordan maskinkoden ser ut.

Assemblerkode kontra høynivåprogrammering

Det er stor forskjell på kompilering og programmering i et høynivåspråk:

Kompilering

- Vi vet ikke hvilke maskininstruksjoner som genereres (men er ikke interessert).
- Programmet kan (stort sett) flyttes uendret til en annen datamaskin uansett fabrikat eller operativsystem.

Assemblering

- Vi vet nøyaktig hvilke maskininstruksjoner som genereres.
- Programkoden kan ikke flyttes til datamaskiner med annet instruksjonssett eller operativsystem.

Med andre ord: vi har full kontroll over den genererte koden.

Et eksempel med én parameter

Parametre ligger på den *stakken* så man får tak i dem med «4(%esp)», «8(%esp)», ...

```
.globl incr
incr:
        movl        4(%esp),%eax
        incl        %eax
        ret
```

Et testprogram:

```
#include <stdio.h>

extern int incr (int n);

int main (void)
{
  int i;

  for (i = 10;  i <= 14;  ++i)
    printf("incr(%d) = %d\n", i, incr(i));
  return 0;
}
```

Resultatet av kjøringen:

```
incr(10) = 11
incr(11) = 12
incr(12) = 13
incr(13) = 14
incr(14) = 15
```

Et eksempel til

Denne funksjonen har to parametre:

```
.globl add
add:
        movl    4(%esp),%eax
        addl    8(%esp),%eax
        ret
```

```
#include <stdio.h>

extern int add (int a, int b);

int tab[] = {1, 17, -3};

int main (void)
{
  int tab_length = sizeof(tab)/sizeof(int);
  int i1, i2;

  for (i1 = 0;  i1 < tab_length;  ++i1) {
    for (i2 = 0;  i2 < tab_length;  ++i2) {
      int a1 = tab[i1], a2 = tab[i2];

      printf("add(%d,%d) = %d\n", a1, a2, add(a1,a2));
    }
  }
  return 0;
}
```

```
add(1,1) = 2
add(1,17) = 18
add(1,-3) = -2
add(17,1) = 18
add(17,17) = 34
add(17,-3) = 14
add(-3,1) = -2
add(-3,17) = 14
add(-3,-3) = -6
```

Oppsummering

Vi kjenner nå til følgende instruksjoner:

movl	Flytt en verdi
addl	Addér en verdi til en annen
subl	Subtraher en verdi fra en annen
incl	Øk en verdi med 1
decl	Senk en verdi med 1

Operander kan være:

$17	Konstanter
%eax	Registeret **%EAX**
4(%esp)	Parametre (på stakken)

INF1070