

CPUer og maskinkode

DM573

Rolf Fagerberg

Mål

Målet for disse slides er at beskrive, hvordan maskinkode ser ud og hvordan CPUen udfører et program i maskinkode.

Dette emne er et uddrag af kurset *DM548 Computerarkitektur og systemprogrammering* (3. semester).

CPUs opbygning

En CPU er bygget op af elektriske kredsløb (jvf. sidste forelæsning), som kan manipulere bits.

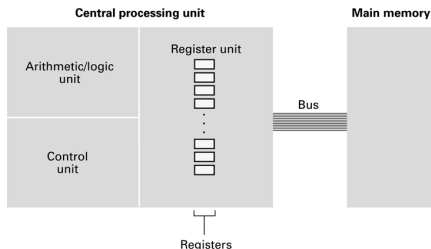
En CPU manipulerer flere bits ad gangen. Deres antal kaldes CPUens *ordlængde* (typisk 32 eller 64), og en sådan gruppe bits kaldes et *ord*.

CPUers opbygning

En CPU er bygget op af elektriske kredsløb (jvf. sidste forelæsning), som kan manipulere bits.

En CPU manipulerer flere bits ad gangen. Deres antal kaldes CPUens *ordlængde* (typisk 32 eller 64), og en sådan gruppe bits kaldes et *ord*.

Typisk er en CPU struktureret således:



Registre er et lille antal hukommelsesceller på CPU'en. **Main memory (RAM)** er en masse hukommelsesceller uden for CPU'en. Hver hukommelsescelle kan gemme et ord.

Instruktionssæt

En CPU tilbyder en række ret simple kommandoer til at manipulere ord. Disse kaldes CPUens *instruktionssæt*.

Der er normalt kommandoer til

- ▶ Flytte ord mellem RAM (main memory) og CPUens registre.
- ▶ Lave simple beregninger på ord i CPUens registre (plus, minus, gange, dividere, AND, OR, ...).
- ▶ Ændre hvorhenne i programmet den næste kommando læses fra (jump).

Program

Et eksekverbart program er en række af sådanne kommandoer.

Programmet ligger i RAM. Hver kommando er, som alt andet i en computer, repræsenteret ved en række bits.

Man programmerer sjældent direkte i maskinsprog. Programmer skrevet i et højniveau programmeringssprog såsom Python, Java, C++ eller C# oversættes til et eksekverbart program i maskinsprog før (eller mens) det kører.

Men vi skal her prøve at programmere direkte i maskinsprog.

CPU cyklus

En CPU arbejder i ved at gentage følgende cyklus:

- ▶ Fetch: Hent næste kommando (en samling bits) fra programmet i RAM til CPU.
- ▶ Decode: Konverter kommandoen (en samling bits) til kontrolsignaler internt i CPUen.
- ▶ Execute: Disse kontrolsignaler aktiverer de relevante dele af CPUen som udfører kommandoen.

Der er ca. 10^9 cykler i sekundet i en typisk CPU.

CPU cyklus

En CPU arbejder i ved at gentage følgende cyklus:

- ▶ Fetch: Hent næste kommando (en samling bits) fra programmet i RAM til CPU.
- ▶ Decode: Konverter kommandoen (en samling bits) til kontrolsignaler internt i CPUen.
- ▶ Execute: Disse kontrolsignaler aktiverer de relevante dele af CPUen som udfører kommandoen.

Der er ca. 10^9 cykler i sekundet i en typisk CPU.

Adressen i RAM på den næste kommando som skal hentes, angives af et specielt register kaldet *program counter*. Normalt tælles program counter én op efter hver cyklus (sekventiel programudførelse).

En jump kommando ændrer på indholdet af dette register, og kan dermed styre hvilke kommandoer i programmet som udføres. Sådan laves løkker, forgreninger (if/then/else) og metodekald.

Kommandoer

Et programs kommandoer er, som alt andet i en computer, repræsenteret ved en række bits. Disse er ofte struktureret således:

01101011	01111101	00001101	11101001
----------	----------	----------	----------

opcode operand operand operand

Opcode angiver kommandotypen (flyt ord, plus, gange, jump, . . .).

Operand angiver input til kommandoen. Det kan være f.eks. et registernummer, en hukommelsesadresse, eller et stykke data, alt efter typen af kommando.

Tænk på det som funktioner:

opcode(operand, operand, operand)

F.eks.:

plus(fra register 1, fra register 2, til register 3)

flyt(fra RAM celle 14, til register 4)

En CPU simulator

The Brookshear Machine: et program som simulerer en simpel CPU udstyret med:

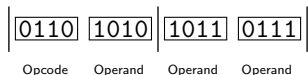
- ▶ 13 kommandotyper.
- ▶ 16 registre (plus en program counter).
- ▶ Ordlængde 8 bits.
- ▶ En RAM med 256 ord. Indeholder både program og data.

En CPU simulator

The Brookshear Machine: et program som simulerer en simpel CPU udstyret med:

- ▶ 13 kommandotyper.
- ▶ 16 registre (plus en program counter).
- ▶ Ordlængde 8 bits.
- ▶ En RAM med 256 ord. Indeholder både program og data.

En kommando fylder to ord (16 bits), som er opdelt således:

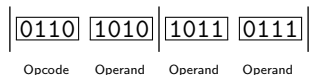


En CPU simulator

The Brooks Machine: et program som simulerer en simpel CPU udstyret med:

- ▶ 13 kommandotyper.
- ▶ 16 registre (plus en program counter).
- ▶ Ordlængde 8 bits.
- ▶ En RAM med 256 ord. Indeholder både program og data.

En kommando fylder to ord (16 bits), som er opdelt således:



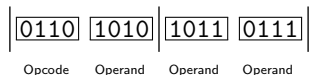
I simulatoren angives bits fire ad gangen via et hexadecimalt ciffer (0, 1, 2, 3, ..., 9, A [= 10], B [= 11], C [= 12], ..., F [= 15]).

En CPU simulator

The Brookshear Machine: et program som simulerer en simpel CPU udstyret med:

- ▶ 13 kommandotyper.
- ▶ 16 registre (plus en program counter).
- ▶ Ordlængde 8 bits.
- ▶ En RAM med 256 ord. Indeholder både program og data.

En kommando fylder to ord (16 bits), som er opdelt således:



I simulatoren angives bits fire ad gangen via et hexadecimalt ciffer (0, 1, 2, 3, ..., 9, A [= 10], B [= 11], C [= 12], ..., F [= 15]).

En kommando (16 bits) kan beskrives med fire hexadecimale cifre (fire bits hver). Heraf kan en kommando- og et registernummer hver angives med ét ciffer (16 muligheder), og en adresse i RAM kan angives med to cifre ($16 \cdot 16 = 256$ muligheder).

Instruktionssæt

Kommandoer: (hvor R , X og Y angiver et hexadecimalt ciffer).

Opcode Operands

Effekt

- | | | |
|---|-------|--|
| 1 | RXY | Kopier indholdet af RAM celle XY til register R . |
| 2 | RXY | Læg bitmønstret angivet af XY ind i register R . |
| 3 | RXY | Kopier indholdet af register R til RAM celle XY . |
| 4 | xRS | Kopier indholdet af register R til register S . |
| 5 | RST | Lav addition af indholdet af register S og T og læg resultatet i register R . Indhold fortolkes som heltal i two's complement. |
| 6 | RST | Lav addition af indholdet af register S og T og læg resultatet i register R . Indhold fortolkes som flydende kommatall. |

Instruktionssæt

Kommandoer: (hvor R , X og Y angiver et hexadecimalt ciffer).

Opcode Operands

Effekt

- | | | |
|---|-------|--|
| 1 | RXY | Kopier indholdet af RAM celle XY til register R . |
| 2 | RXY | Læg bitmønstret angivet af XY ind i register R . |
| 3 | RXY | Kopier indholdet af register R til RAM celle XY . |
| 4 | xRS | Kopier indholdet af register R til register S . |
| 5 | RST | Lav addition af indholdet af register S og T og læg resultatet i register R . Indhold fortolkes som heltal i two's complement. |
| 6 | RST | Lav addition af indholdet af register S og T og læg resultatet i register R . Indhold fortolkes som flydende kommatall. |

Eksempel: $3A2F =$ kopier indholdet af register A_{16} [10] til RAM celle $2F_{16}$ [47].

Instruktionssæt

Kommandoer: (hvor R , X og Y angiver et hexadecimalt ciffer).

Opcode Operands

Effekt

- | | | |
|---|-------|--|
| 1 | RXY | Kopier indholdet af RAM celle XY til register R . |
| 2 | RXY | Læg bitmønstret angivet af XY ind i register R . |
| 3 | RXY | Kopier indholdet af register R til RAM celle XY . |
| 4 | xRS | Kopier indholdet af register R til register S . |
| 5 | RST | Lav addition af indholdet af register S og T og læg resultatet i register R . Indhold fortolkes som heltal i two's complement. |
| 6 | RST | Lav addition af indholdet af register S og T og læg resultatet i register R . Indhold fortolkes som flydende kommatall. |

Eksempel: $3A2F =$ kopier indholdet af register A_{16} [10] til RAM celle $2F_{16}$ [47].

Eksempel: $58BC = ?$

Instruktionssæt

Kommandoer: (hvor R , X og Y angiver et hexadecimalt ciffer).

Opcode Operands

Effekt

- | | | |
|---|-------|--|
| 1 | RXY | Kopier indholdet af RAM celle XY til register R . |
| 2 | RXY | Læg bitmønstret angivet af XY ind i register R . |
| 3 | RXY | Kopier indholdet af register R til RAM celle XY . |
| 4 | xRS | Kopier indholdet af register R til register S . |
| 5 | RST | Lav addition af indholdet af register S og T og læg resultatet i register R . Indhold fortolkes som heltal i two's complement. |
| 6 | RST | Lav addition af indholdet af register S og T og læg resultatet i register R . Indhold fortolkes som flydende kommatall. |

Eksempel: $3A2F$ = kopier indholdet af register A_{16} [10] til RAM celle $2F_{16}$ [47].

Eksempel: $58BC$ = lav addition af indholdet (set som two's complement heltal) af register B_{16} [11] og C_{16} [12] og læg resultatet i register 8_{16} [8].

Instruktionssæt, fortsat

Opcode Operands

Effekt

- | | | |
|---|------------|--|
| 7 | <i>RST</i> | Lav bit-wise OR af indholdet af register <i>S</i> og <i>T</i> og læg resultatet i register <i>R</i> . |
| 8 | <i>RST</i> | Lav bit-wise AND af indholdet af register <i>S</i> og <i>T</i> og læg resultatet i register <i>R</i> . |
| 9 | <i>RST</i> | Lav bit-wise XOR af indholdet af register <i>S</i> og <i>T</i> og læg resultatet i register <i>R</i> . |
| A | <i>RxX</i> | Rotér indholdet af register <i>R</i> cyklisk mod højre <i>X</i> skridt. |
| B | <i>RXY</i> | Jump til instruktionen i RAM celle <i>XY</i> hvis indholdet i register <i>R</i> er lig (=) indholdet i register 0. |
| C | <i>xxx</i> | Stop programmet. |
| D | <i>RXY</i> | Jump til instruktionen i RAM celle <i>XY</i> hvis indholdet i register <i>R</i> er større (>) end indholdet i register 0. Indhold fortolkes som heltal i two's complement. |

Uddybning

Uddybning af et par af operationerne ovenfor:

- ▶ *Bit-wise OR* (eller AND eller XOR): Brug OR (eller AND eller XOR) på hver plads. Et eksempel med OR:

$$\begin{array}{r} 10011001 \\ 01010001 \\ \hline = 11011001 \end{array}$$

På hver plads er den nye bit 1 hvis mindst én af de to gamle er 1 (jvf. definitionen af OR).

- ▶ *Cyklisk rotation mod højre*: Alle bits i ordet flyttes mod højre. Dem, som skubbes ud over højre ende af ordet, sættes ind igen i venstre ende i samme rækkefølge. Et eksempel på at rotere 3 skridt cyklisk mod højre:

$$01011001 \rightarrow 00101011$$

Eksempelprogrammer

Følgende program bytter om på indholdet af RAM celle 10_{16} [16] og 12_{16} [18]:

```
1110  
1212  
3112  
3210  
C000
```

Eksempelprogrammer

Følgende program bytter om på indholdet af RAM celle 10_{16} [16] og 12_{16} [18]:

```
1110  
1212  
3112  
3210  
C000
```

Her er programmet igen, med hver linie forklaret:

```
1110   Kopier indholdet af RAM celle 10 til register 1  
1212   Kopier indholdet af RAM celle 12 til register 2  
3112   Kopier indholdet af register 1 til RAM celle 12  
3210   Kopier indholdet af register 2 til RAM celle 10  
C000   Stop
```

(Hvis man skal se effekten når programmet kører, skal man først fylde RAM celler 10 og 12 med forskelligt indhold.)

Eksempelprogrammer

Følgende program illustrerer en løkke. Det skriver efter tur tallene 0, 1, 2, 3, ..., 6 (dvs. indhold 00, 01, 02, 03, ..., 06) i RAM celle $1E_{16}$ [31], hvis RAM celle 18_{16} [24] indeholder 07 til at starte med.

2000

2101

1518

301E

5001

D506

C000

Eksempelprogrammer

Her er programmet igen, med hver linie forklaret:

```
2000  Læg bitmønstret angivet (hexadecimalt) af 00 ind i register 0
2101  Læg bitmønstret angivet (hexadecimalt) af 01 ind i register 1
1518  Kopier indholdet af RAM celle 18 til register 5
301E  Kopier indholdet af register 0 til RAM celle 1E
5001  Lav addition af register 0 og 1, læg resultat i register 0
D506  Jump til instruktionen i RAM celle 06 (og 07) hvis indholdet i
      register 5 er større end indholdet i register 0. Når programmet
      placeres i starten af hukommelsen er denne instruktion 301E.
C000  Stop
```

(Husk først at fylde RAM celle 18 med indhold (f.eks. 07) inden programmet kører.)

Eksempelprogrammer

Her er programmet igen, med hver linie forklaret:

```
2000  Læg bitmønstret angivet (hexadecimalt) af 00 ind i register 0
2101  Læg bitmønstret angivet (hexadecimalt) af 01 ind i register 1
1518  Kopier indholdet af RAM celle 18 til register 5
301E  Kopier indholdet af register 0 til RAM celle 1E
5001  Lav addition af register 0 og 1, læg resultat i register 0
D506  Jump til instruktionen i RAM celle 06 (og 07) hvis indholdet i
      register 5 er større end indholdet i register 0. Når programmet
      placeres i starten af hukommelsen er denne instruktion 301E.
C000  Stop
```

(Husk først at fylde RAM celle 18 med indhold (f.eks. 07) inden programmet kører.)

Opgave: Hvad skal ændres hvis man skal tælle *ned* fra 06 til 00 i stedet?