Jakso 2
TTK-91-tietokone ja sen KOKSI-simulaattori

Miksi TTK-91?

TTK-91:n rakenne ja käskykanta-arkkitehtuuri

Mikä on simulaattori?

Miten TTK-91-ohjelmia suoritetaan simulaattorissa?

Miksi konekieltä?

- Koneen toiminnan ymmärtäminen
- Oman ohjelman toiminnan ymmärtäminen
- Koneenläheinen ohjelmointi
- Kääntäjän tekeminen
  - kääntäjä kääntää konekielelle lausekielisen ohjelman
- Ohjelman tehokkuus
  - osia ohjelmasta ohjelmoidaan suoraan konekielellä

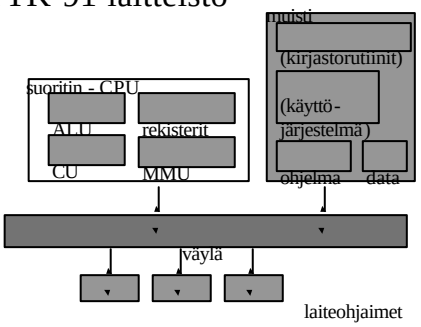
Miksi ei oikeaa konekieltä?

- Oikeat konekielet huomattavasti monimutkaisempia
  - niiden opetteluun tarvitaan oma kurssi
- Vaikeaa valita sopivinta
  - paljon erilaisia konekieliä
- Keskitytään vain opetuksen kannalta oleellisiin asioihin
  - tarvittaessa oikea konekieli 'helppo' oppia

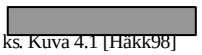
Tietokone TTK-91

- Laitteisto, hardware (HW)
  - suoritin, muisti, väylät
  - oheislaitteiden liitännät
- Käskykanta - konekieliarkkitehtuuri
  - käyttöliittymä laitteistoon
  - konekäskyt, tiedon esitysmuodot, tietotyypit
- Symbolinen konekieli
  - luettavampi muoto konekielestä
  - kullakin symbolilla yksikäsitteiset arvot
- KOKSI-simulaattori
  - ohjelma, joka simuloi TTK-91-koneen laitteistoa

TTK-91 laitteisto



TTK-91 rekisterit



ks. Kuva 4.1 [Häkk98]

- 8 yleisrekisteriä
  - vain näitä rekistereitä voi koskettaa (suoraan) konekäskyillä
  - kaikki laskenta tapahtuu rekistereiden avulla
  - R0 työrekisteri
    - indeksirekisterinä == 0 (tietyissä konekäskyissä R0 käyttö tarkoittaa lukua 0 rekisterin R0 sisällön asemesta)
  - R1-R5 työ- ja indeksirekistereitä
    - tyyppi riippuu konekäskystä
  - pino-osoitin SP (R6)
  - ympäristöosoitin FP (R7)

Stack Pointer

Frame Pointer

TTK-91 Kontrolliyksikkö (CU)

ks. Kuva 4.1 [Häkk98]

- PC - Program Counter, käskyosoitin
  - seuraavaksi suoritettavan konekäskyn osoite
- IR - Instruction Register, käskyrekisteri
  - suorituksessa oleva konekäsky
- TR - Temporary Register, apurekisteri
  - tilapäinen talletuspaikka käskyn suoritusaikana
- SR - State Register, tilarekisteri
  - suorittimen tila ja rajoitukset tällä hetkellä

14.5.2002 Copyrigth Teemu Kerola, K2002 7

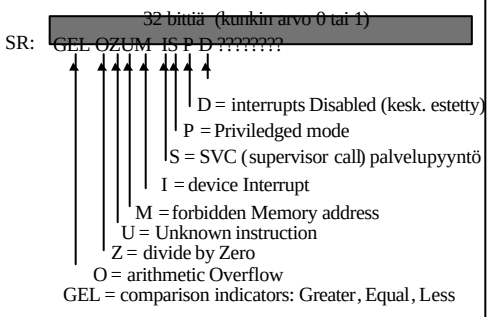
TTK-91 Tilarekisteri SR (3)

- Tilatietoa siitä, mitä suorittimella tapahtui edellisen käskyn suorituksessa
  - virhetilanteet, poikkeukset
  - konekäsky olikin käyttöjärjestelmän palvelupyyntö
  - vertailun tulos
- Tilatietoa siitä, mitä systeemissä tapahtui viime aikoina
  - käsittelemättömät laitteiden antamat signaalit (laitekeskeytykset, device interrupts)
- Tilatietoa siitä, mitä suoritin saa tehdä jatkossa
  - etuoikeutettu tila: kaikki muistialueet, kaikki käskyt
  - poikkeukset ja keskeytykset sallittuja vai ei?

ks. Kuva 4.1 [Häkk98]

14.5.2002 Copyrigth Teemu Kerola, K2002 8

Tilarekisteri SR (9)

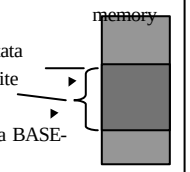


14.5.2002 Copyrigth Teemu Kerola, K2002 9

TTK-91 Muistinhallintayksikkö (MMU)

ks. Kuva 4.1 [Häkk98]

- Muistiinviittausrekisterit
  - MAR - Memory Address Register, muistiosoite
  - MBR - Memory Buffer Register, luettava/kirjoitettava arvo
- Käytössä oleva muistialue
  - vain tähän alueeseen voi nyt viitata
  - BASE-muistisegmentin alkuosoite
  - LIMIT-muistisegmentin koko
  - kaikki muistiosoitteet suhteellisia BASE-rekisterin arvoon
  - käyttöjärjestelmä asettaa ja valvoo



14.5.2002 Copyrigth Teemu Kerola, K2002 10

TTK-91 Käskykanta

- Tietotyypit
- Konekäskyjen tyypit
- Konekäskyn rakenne
  - montako bittiä, minkälainen sisäinen rakenne
- Muistissa olevan tiedon osoitustavat
  - konekielessä
  - symbolisessa konekielessä
- Operaatiot

14.5.2002 Copyrigth Teemu Kerola, K2002 11

TTK-91 tietotyypit (2)

- 32 bittinen kokonaisluku
  - noin 10 desimaalinumeroinen luku
- EI:
  - liukulukuja
  - merkkejä
  - totuusarvoja
  - …

14.5.2002 Copyrigth Teemu Kerola, K2002 12

TTK-91: käskytyypit

- Aina 2 operandia itse käskyssä
  - aina ei molemmilla ole merkitystä
    - JUMP — vain yksi operandi, Ri+ADDR
    - NOP — ei operandeja lainkaan
- Käsky aina 32 bittiä
- Ensimmäinen operandi aina rekisterissä
- Toinen muistissa tai rekisterissä
  - luku rekisteristä on nopeampaa kuin muistista hakeminen
- ALU-operaatioiden tulos rekisteriin
  - korvaa 1. Operaation arvon

Symbolinen konekieli (6)

```
LOOP:  ADD   R4, @TAULU(R1)
viite: OPER  Rj, M ADDR(Ri)
```

Ri = indeksirekisteri
ADDR = osoiteosa
M = 2. operandin osoitusmoodi
Rj = 1. operandina oleva rekisteri
OPER = käskyn symbolinen nimi, opcode
viite = käskyn (symbolinen) osoite

- Suora vastaavuus konekieleen
  - yksinkertainen assembler-käännös

Symbolinen konekieli

- Symbolien vastaavuus 1:1 kaikkialla
  - viite: muistiosoite
  - operaatiokoodi, opcode: vakio
  - osoitekentän symboli: vakio tai muistiosoite
    - kenttään voi kirjoittaa joko symbolin tai arvon!

  Kaikki muistisoitteet suhteellisia BASE-osoitteeseen, eli arvoalueella [0, LIMIT-1]
- Osoitusmoodi: monimutkaisempi vastaavuus
  - konekielessä
    - indeksointi
    - montako muistista noutoa: 0, 1 vai 2
  - symbolisessa konekielessä 8 moodia
    - helpottaa ohjelmointia

Operandin osoitusmuodot symbolisessa konekielessä

- 8 eri osoitusmoodia (vain 2. operandi)
- Tekstuaalisesti koodattuna
  - osoitusmoodi — LOAD R1, @Field1(R3)
    - = vakio [+ rekisterin arvo]
    - tyhjä arvo rekisterissä tai muistissa
    - @ epäsuora viite muistiin = muistissa tai rekisterissä on vasta arvon osoite

```
LOAD R2, =100    R2 <= 100
LOAD R2, 100     R2 <= MEM[100]
LOAD R2, @100    R2 <= MEM[MEM[100]]
```


- 0-arvoa ei yleensä kirjoiteta näkyviin
  - indeksirekisterinä R0 tai vakiona 0
- 2. rekisteri on itseasiassa aina indeksirekisteri:
  - LOAD R1,R2 (LOAD R1, =0(R2))
  - LOAD R1,@R2 (LOAD R1, 0(R2))
- indeksirekisterinä R0 => indeksirekisterin arvo = 0 => ei indeksointia
  - LOAD R1,10 (LOAD R1, 10(R0)

Symbolisen konekielen osoitusmuotoja

- Välitön operandi = osoiteosassa annettu vakio
  - LOAD R1, =100
  - ADD R1, =Sata ; vakio = symbolin Sata arvo
- Suora muistiosoitus = osoiteosassa annettu **arvon** osoite
  - LOAD R1, 100 M[100]:
  - ADD R1, Sata M[Sata]: 10

- Epäsuora osoitus = osoiteosassa annettu **osoitteen** osoite
  - LOAD R1, @100 M[5]: 200
    M[100]: 5
  - LOAD R1, @Sata M[10]: 15
    M[Sata]: 10
- Kaikki nämä voivat olla myös indeksoituja
  - LOAD R1,=100(R2)
  - LOAD R1, 100 (R2)
  - LOAD R1, @100 (R2)

- **Rekistereille** on vain suora ja epäsuora osoitus:
  - LOAD R1, R2 R2 = 10
    - LOAD R1, =0(R2) täydellisesti kirjoitettuna
  - LOAD R1, @R2 R2 = 10,
    M[10]: 15
    - LOAD R1, 0(R2) täydellisesti kirjoitettuna
- Huom! Vain kaksi rekisteriä käytössä.
  - LOAD R1, R2(R3) on virheellinen käsky

Muistinoutojen määrä

- **0 kpl**
  - osoiteosassa
    - vakio: LOAD R1, =10, LOAD R1, =sata
    - 2. operandi rekisteri: LOAD R2, R1
- **1 kpl**
  - osoiteosassa
    - muistipaikka: LOAD R1, 10, LOAD R1, sata(R2)
    - osoite rekisterissä: LOAD R1,@R2
- **2 kpl**
  - osoiteosassa
    - osoite muistipaikkaan: LOAD R1, @100(R3)

Indeksointi (2)

LOAD R4,=Tbl(R3)

- Laske aina ensin tehollinen muistiosoite (effective address, EA): EA= Tbl + (R3) = 201
- Sitten katso moodia ja tee niin monta muistinoutoa kun tarvitaan
  - 0 kpl R4 ← 201
  - 1 kpl R4 ← Mem[201] = 11
  - 2 kpl R4 ← Mem[Mem[201]] = Mem[11] = 300

STORE käsky ⇒ 1 kpl vähemmän noutoja ja yksi tallennus

Indeksoinnin käyttö (2)

- Taulukot
  - Vakio (symboli) taulukon alku
  - indeksirekisterissä indeksi

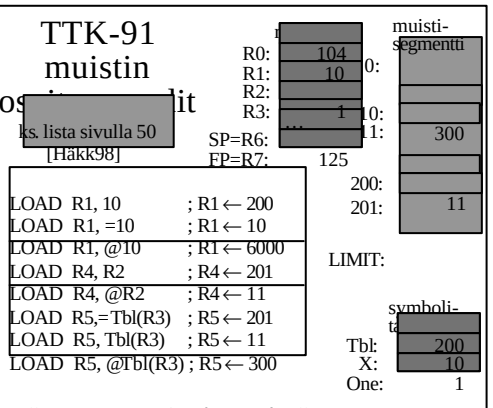
LOAD R5, Tbl(R3)

- Tietueet
  - indeksirekisterissä tietueen alku
  - vakiona tietueen kentän suhteellinen osoite tietueen sisällä

LOAD R2, Salary(R5)

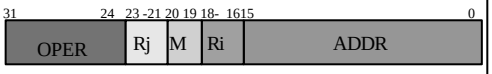
TTK-91 muistin osoitusmoodit

ks. lista sivulla 50 [Häkk98]



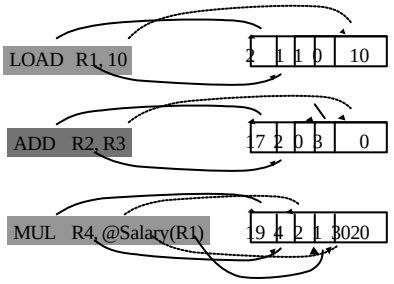

```
LOAD  R1, 10        ; R1 ← 200
LOAD  R1, =10       ; R1 ← 10
LOAD  R1, @10       ; R1 ← 6000
LOAD  R4, R2        ; R4 ← 201
LOAD  R4, @R2       ; R4 ← 11
LOAD  R5,=Tbl(R3)   ; R5 ← 201
LOAD  R5, Tbl(R3)   ; R5 ← 11
LOAD  R5, @Tbl(R3)  ; R5 ← 300
```

Konekielinen esitys



- Kullekin käskylle varattu 32 bittiä
  - OPER = operaatiokoodi (8 bittiä)
  - Rj = 1. operandina oleva rekisteri (3 bittiä)
  - Ri = käytetty indeksirekisteri (3 bittiä)
    - R0 = ei indeksointia
  - M = 2. operandin osoitusmoodi: 00, 01, 10
    - vakio, arvo muistipaikasta, osoite muistipaikassa
  - osoiteosa ADDR (16 bittiä)

Symbolinen konekieli vs. konekieli (3)



TTK-91 operaatiot

- Muistiinviittaukset
  - tavalliset: load & store
  - pino-operaatiot
- I/O käskyt
- Kokonaislukuoperaatiot
- Loogiset operaatiot totuusarvoille
- Bittien siirtokäskyt (shift instructions)
- Kontrollin siirtokäskyt
  - mistä löytyy seuraavaksi suoritettava käsky?
- Muut käskyt

TTK-91-muistiinviittausoperaatiot

- LOAD
  - myös rekistereiden kopiointiin (Move)

```
LOAD R1, X
LOAD R5, @ptrX
LOAD R0, R2
```

- STORE
  - aina muistiin tallennus

```
STORE R2, X
STORE R3, Tbl(R4)
```

- PUSH, POP, PUSHR, POPR
  - aliohjelmien toteutamista varten
  - käsitellään myöhemmin

```
POP  SP, R1 ; load…
PUSH SP, R1 ; store …
```


TTK-91: I/O- operaatiot

- IN

```
IN R3, =KBD
```

  - lue arvo (positiivinen kokonaisluku) rekisteriin annetulta laitteelta
- OUT

```
OUT R2, =CRT
```

  - tulosta arvo (kokon. luku) rekisteristä annetulle laitteelle
- Laitteet:
  - KBD - näppäimistö, stdin
  - CRT - näyttö, stdout
  - ei muita!

TTK-91: kokonaislukuoperaatiot

- LOAD (’move’)

```
LOAD R3, R;  R3 ← R1
```

- ADD, SUB

```
ADD R3, R1 ; R3 ← R3+R1
SUB R3, =1 ; R3 ← R3-1
```

- MUL

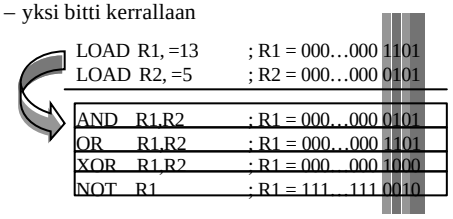
```
MUL R3, Tbl(R1) ; R3 ← R3 * Mem[Tbl+R1]
```

- DIV, MOD

```
LOAD R1,=14
DIV  R1,=3      ; R1 ← 4
LOAD R1,=14
MOD  R1,=3      ; R1 ← 2
```

TTK-91 loogiset operaatiot (4)

- NOT, AND, OR, XOR
  - kaikille 32 bitille
  - yksi bitti kerrallaan



```
LOAD R1, =13      ; R1 = 000…000 1101
LOAD R2, =5       ; R2 = 000…000 0101

AND  R1,R2        ; R1 = 000…000 0101
OR   R1,R2        ; R1 = 000…000 1101
XOR  R1,R2        ; R1 = 000…000 1000
NOT  R1           ; R1 = 111…111 0010
```


TTK-91: bittien siirtokäskyt

- SHL, SHR
  - siirrä bittejä vasemmalle tai oikealle
  - täytä nollilla

```
LOAD R1,=5   ;R1 = 000…000 00101 = 5
SHL  R1,=1   ;R1 = 000…000 01010 = 10
```

  - positiivisilla luvuilla yhden bitin siirto vasemmalle on sama kuin 2:lla kertominen!
  - positiivisilla luvuilla yhden bitin siirto oikealle on sama kuin 2:lla jakaminen!

```
LOAD R1,=5   ;R1 = 000…000 00101 = 5
SHR  R1,=1   ;R1 = 000…000 00010 = 2
```


TTK-91: kontrollin siirtokäskyt (6)

- JUMP `JUMP Loop`
- COMP `COMP R3, =27` `COMP R3, X`
  - asettaa **tilarekisteriin SR** vertailun tuloksen: L, E tai G
- JLES, JEQU, JGRE, JNLE, JNEQU, JNGRE
  - perustuu tilarekisterin tietoon eli viimeksi suoritettuun COMP-käskyyn `JGRE Loop`
- JNEG, JZER, JPOS, JNNEG, JNZER, JNPOS
  - perustuu annetun rekisterin arvoon `JPOS R1, Loop`
- CALL, EXIT (käsitellään myöhemmin)
- SVC `SVC SP, =HALT ;ohjelman suoritus päättyy`

TTK-91 muut käskyt

- NOP `NOP`
  - No Operation, tyhjä käsky, älä tee mitään
  - varaa kuitenkin muistia yhden sanan (32 bittiä)
  - suoritetaan samoin kuin muutkin käskyt

TTK-91 assembler-kääntäjän ohjauskäskyt (4)

- Eivät generoi lainkaan konekäskyjä `Sata EQU 100`
- EQU - Equal `LOAD R1,=Sata`
  - antaa arvon symbolille **symbolitauluun**
- DC - data constant `X DC 50`
  - varaa yhden sanan tilaa muistista ja antaa sille arvon, antaa arvon symbolille (symbolitauluun!) `LOAD R1,X`
  - esim. muuttujan tai ison vakion määrittely
- DS - data segment `Tbl DS 200`
  - varaa monta sanaa tilaa muistista, antaa arvon symbolille
  - alkuarvot ovat epämääräisiä! `LOAD R3,Tbl(R1)`
  - Esim. taulukon tai tietueen tilan varaus

TTK-91 symbolinen konekieliohjelma

hello.k91

```
X      DC    13
Y      DC    15

MAIN LOAD R1, X
       ADD   R1, Y
       OUT   R1, =CRT
       SVC   SP, =HALT
```

TTK-91 symbolisia konekäskyesimerkkejä (10)

- Miten toimivat seuraavat käskyt?

```
LOAD R2, @100          ;R2 ← 200
ADD R2, 101 (R3)       ;R2 ← R2 +100 = 105
DIV  R1, R3            ;R1 ← 0
LOAD R2, =100(R0)      ;R2 ← 100
LOAD R0, @101(R3)      ;R0 ← 101
```

	regs		mem
R0:	2	100:	101
R1:	1	101:	200
R2:	5	102:	101
R3:	2	103:	100

TTK-91 symbolisia konekäskyesimerkkejä (10)

- Entä miten toimivat seuraavat käskyt?

```
LOAD R2, @Xptrptr      ;R2 ← 200
ADD R2, Xptr (R3)      ;R2 ← R2 +100 = 105
DIV  R2, R3            ;R2 ← 2
LOAD R2, =Tbl(R1)      ;R2 ← 101
LOAD R2, Sum(R4)       ;R2 ← 101
```

regs		mem		symbol	
R1:	1	100:	101	Tbl =	100
R2:	5	101:	200	X =	200
R3:	2	102:	101	Xptr =	101
R4:	100	103:	100	Xptrptr =	100
				Sum =	2

TTK-91 symbolinen konekieliohjelma

sum.k91

```
; sum - laske annettuja lukuja yhteen, luku 0 on loppumerkki

Luku    DC 0     ; nykyinen luku, alkuarvo 0
Summa   DC 0     ; nykyinen summa, alkuarvo 0

Sum     IN       R1, =KBD  ; ohjelma Sum alkaa käskystä 0
        STORE    R1, Luku
        JZER     R1, Done  ; luvut loppu?

        LOAD     R1, Summa ; Summa <- Summa+Luku
        ADD      R1, Luku
        STORE R1, Summa    ; summa muuttujassa, ei rekisterissa?

        JUMP     Sum

Done    LOAD     R1, Summa ; tulosta summa ja lopeta
        OUT      R1, =CRT
        SVC      SP, =HALT
```


KOKSI TTK-91 -koneen simulaattori (7)

- Toimii kuten oikea kone toimisi
- Graafinen käyttöliittymä
- I/O vain käyttöliittymän kautta
- Ohjelmien valinta (”lataus”), käännös ja suoritus
- Ohjelmien editointi ks. sum.k91
  - myös mikä tahansa tekstieditori kelpaa!
- Käsky kerrallaan suoritus mahdollinen
- Käsky kerrallaan, kommentoinnin kera

KOKSI TTK-91 -koneen simulaattori

- Käytettävissä (DOS, W95, W98, W-NT, W2000)
  - laitoksen koneissa
  - kotona http://www.cs.Helsinki.FI/~kerola/tito/
- Installoi itse kotihakemistoosi (n. 120 KB)
  - kopioi zip-tiedosto ja pura se koksi-hakemistoon
  - editoi koksi.cfg tiedostoon editorin polku
    Esim: `c:\windows\command\edit.com`
- Ohjelmatiedostojen (hello.k91 jne) tulee olla samassa hakemistossa kuin simulaattorin (koksi.exe)
  - käynnistä (esim.) klikkaamalla koksi.exe

-- Jakson 2 loppu --

Some typical 80x86 intructions and their function

Fig. 3.32 [PaHe98]