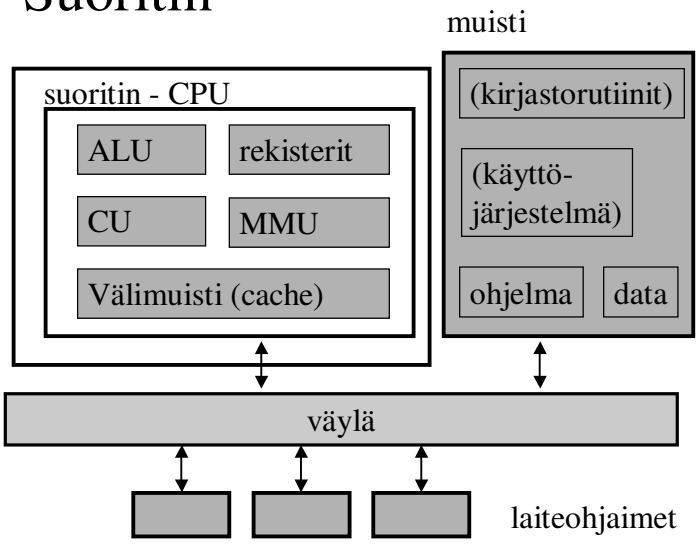
# Luento 5
# Suoritin ja väylä

Suorittimen rakenne
Väylän rakenne
Käskyjen suoritussykli
Suorittimen tilat
Poikkeukset ja keskeytykset
TTK-91:n ja KOKSI:n rakenne

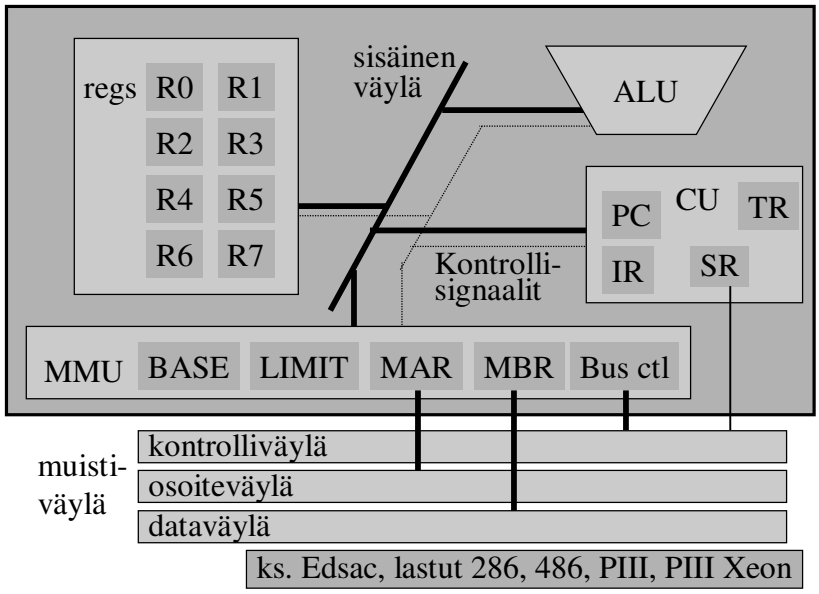
 Copyright Teemu Kerola 2002 

## Suoritin



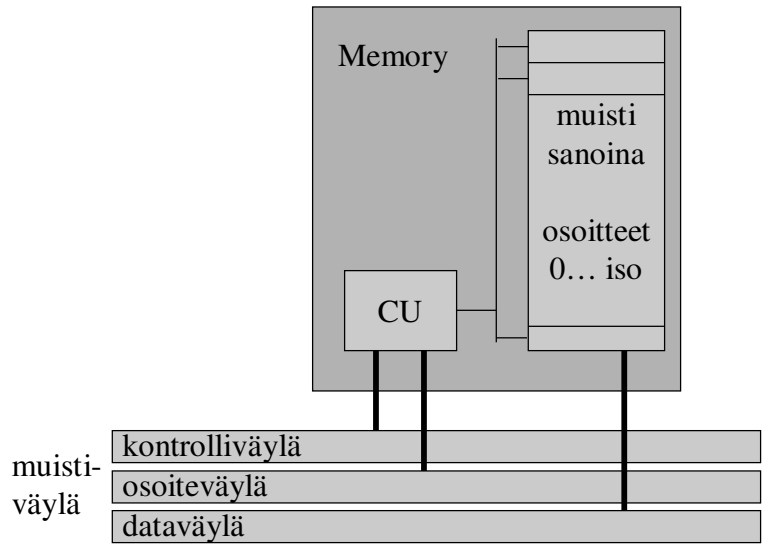

 Copyright Teemu Kerola 2002 

# TTK-91 suorittimen rakenne (1)




14.8.2002 Copyright Teemu Kerola 2002 3

# TTK-91 muistin rakenne




14.8.2002 Copyright Teemu Kerola 2002 4

# Käskyjen nouto- ja suoritussykli (5)

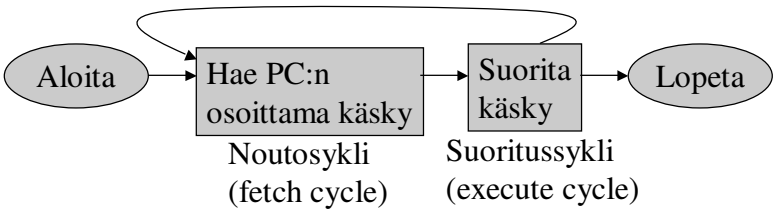
- Hae PC:n osoittama konekäsky muistista
  - lisää samalla PC:n arvoa yhdellä
- Suorita konekäsky
  - jos (ehdollinen) hyppykäsky, niin PC:n arvo voi vielä muuttua

Suoritin ei näe mitään suurempia kokonaisuuksia kuin konekäskyjä!

Suoritin ei tiedä mitään ohjelmista!



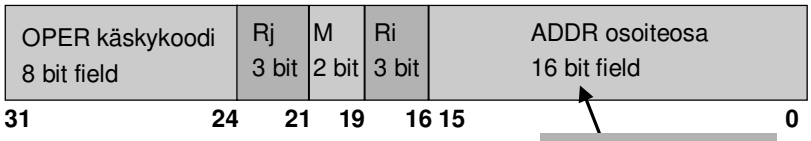
# Nouto- ja suoritussykli




- Käskyn suoritus voi muuttaa systeemin tilaa
  - sisäiset ja ulkoiset rekisterit
  - muisti
  - laitteet

# TTK-91 konekäskyn rakenne

- Käskyn esitys bittitasolla on aina:




muistiosoite tai (pienehkö) vakio

Rj = käskyn ensimmäinen operandi

Ri = indeksirekisteri (R0 ≡ 0)

M = muistinoutojen määrä toiseen operandiin (addressing mode)
(ennen mahdollista muistiin talletusta)
00 eli 0 kpl, välitön osoitus (STORE: suora osoitus)
01 eli 1 kpl, suora osoitus (STORE: epäsuora osoit.)
10 eli 2 kpl, epäsuora osoitus (STORE: epäkelpo arvo)
( 11 eli 3 kpl, epäkelpo arvo → poikkeustilanne )



# Nouto- ja suoritussykli tarkemmin (5)

ks. TTK-91 suorittimen rakennekuva

- Noutovaihe
  - muistista MBR:n kautta IR:ään
  - Lisää 1 PC:hen
- Käskyn purku ja muistiosoitteen (EA) lasku
  - OPER, Rj, M, Ri, ADDR
  - TR ← (Ri) + ADDR (pelkkä ADDR, jos Ri=R0)
- Operandin nouto — Ei kaikilla käskyillä
  - muistista MBR:n kautta TR:ään (0-2 krt ?)
- ALU operaatio
  - tulos rekisteriin R0-R7 tai TR:ään (STORE, PUSH)
- Muistiin talletus — Ei kaikilla käskyillä
  - muistiin MBR:n kautta

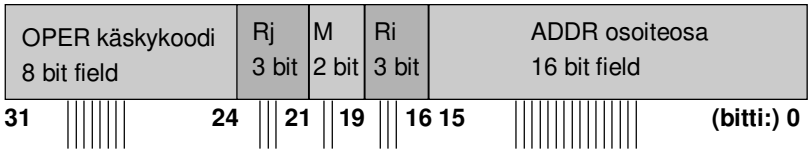
# Käskyn noutovaihe (4)

ks. TTK-91 suorittimen rakennekuva

- Vie PC:n arvo MAR:iin
- Aseta muistin lukusignaali kontrolliväylälle asentoon ”lue”
- Odota, kunnes muistipiiri toimittaa väylän kautta uuden arvon MBR:ään
- Siirrä konekäsky MBR:stä IR:ään



# Käskyn purku ja tehollisen muisti-osoitteen (EA) laskemisvaihe




- Purku automaattisesti langoitettuna IR:stä
- Muistiosoitteen lasku, tulos TR:ään
  - jos Ri=0, niin TR ← ADDR
  - muutoin TR ← (Ri)+ADDR
    - ALU suorittaa laskutoimituksen
  - Effective Address (EA) on nyt TR:ssä

# Operandin luku vaihe (4)

ks. TTK-91 suorittimen rakennekuva

- Vie muistiosoite MAR:iin
- Aseta muistin lukusignaali kontrolliväylälle asentoon ”lue”
- Odota kunnes muistipiiri toimittaa väylän kautta uuden arvon MBR:ään
- Siirrä sana MBR:stä TR:ään
  - (tai suoraan johonkin laiterekisteriin R0-R7)

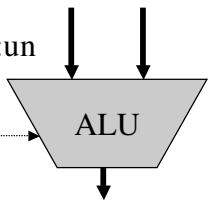
 Copyright Teemu Kerola 2002 

# ALU operaatio -vaihe (10)

- Lähtötilanne

ks. TTK-91 suorittimen rakennekuva

  - käsky haettu ja purettu osiin IR:ssä
  - 1. operandi rekisterissä (R0, …, R7)
  - 2. operandi TR:ssä
- Käskyn suoritus ALUssa
  - vie operandit sisäistä väylää pitkin ALU:un
  - anna ALU:lle sopiva ohjaussignaali
    - add, mul, copyLeft, comp, ...
  - odota, että tulos valmis
  - talleta tulos rekisteriin, MBR:ään, PC:hen ja/tai SR:ään




Tässä tapahtuu tietokoneen tekemä työ, kaikki muu on hallintoa

 Copyright Teemu Kerola 2002 

# Tuloksen muistiin kirjoitus -vaihe (5)

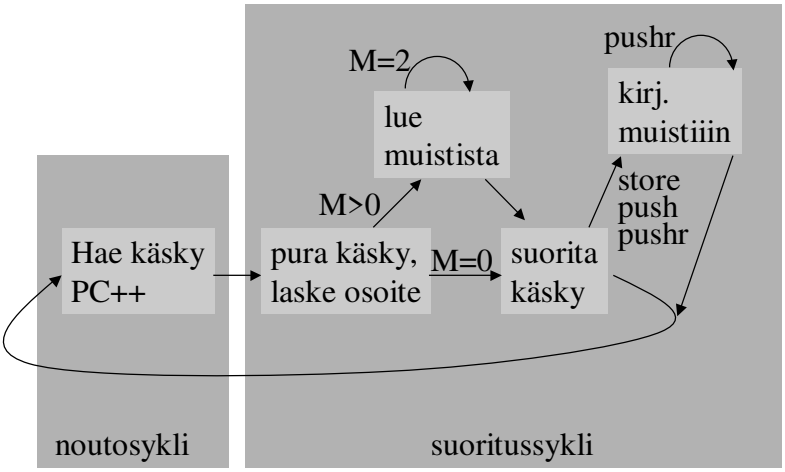
ks. TTK-91 suorittimen rakennekuva

- Vie muistiosoite MAR:iin
- Vie kirjoitettava sana MBR:ään
- Aseta kirjoitussignaalit kontrolliväylälle asentoon ”kirjoita muistiin”
- Odota kunnes sana siirretään muistiin väylää pitkin ja väylän kontrollisignaalit kertovat muistiinkirjoittamisen tapahtuneen

Lisää tietoa? → Tietokoneen rakenne -kurssi



# TTK-91 Nouto- ja suoritussykli vähän tarkemmin (1)




pushr, popr erikoistapauksia: aika monimutkaisia

# MMU:n toiminta (2)

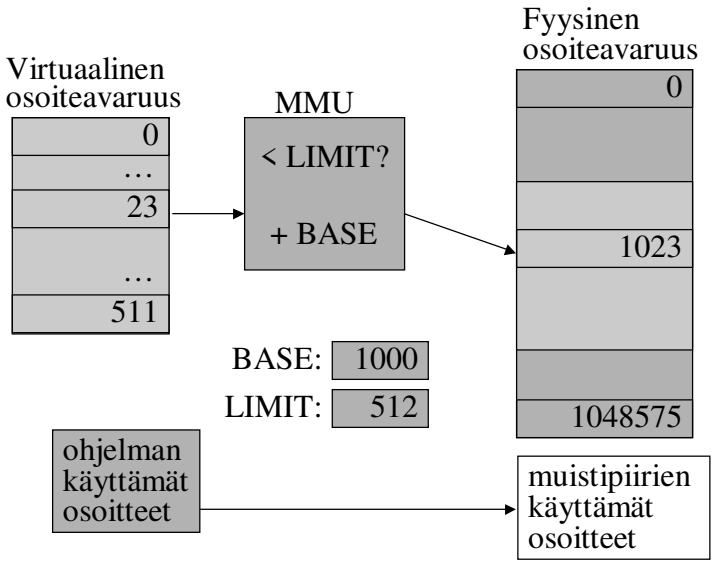
ks. TTK-91 suorittimen rakennekuva

- Ohjelman käyttämät muistiosoitteet (VA) ovat näennäisiä, välillä 0 … LIMIT-1
  - ne eivät ole samoja osoitteita kuin keskusmuisti käyttää
- MAR:iin menevä arvoa VA ei käytetä suoraan, vaan se tarkistetaan ja muokataan ensin
  - Tarkista, onko VA ∈ [0, LIMIT-1].
    Jos ei ole, niin aseta SR:n bitti M päälle ja lopeta käskyn suoritus
  - Lisää VA:han BASE ja laita tämä arvo (PA) MAR:iin

VA = virtual address, PA = physical address = BASE+VA



# TTK-91 virtuaalimuisti



# Virtuaalimuistin osoitteenmuunnos menetelmiä (4)

- Kanta- ja rajarekisteriin perustuva
  - base ja limit rekisterit (esim. ttk-91, 8086, ...)
- Sivuttava
  - sivutaulut
  - virtuaaliavaruus jaettu saman kokoisiin sivuihin
- Segmentoiva
  - virtuaaliavaruus jaettu ohjelman mukaan erillisiin eri kokoisiin segmentteihin
    - koodi segmentti, data segmentti, …

Lisää tietoa? → käyttö-järjestelmä kurssit

Lisää tietoa? → käyttö-järjestelmä kurssit

14.8.2002 Copyright Teemu Kerola 2002 17

# Keskeytystilanteet (3)

- Mikä tahansa tilanne, jonka käsittely vaatii poikkeuksen käskyjen normaaliin suoritusjärjestykseen
- Rakkaalla lapsella on monta nimeä:
  - poikkeus, keskeytys, virhetilanne, trappi, …
  - exception, interrupt, fault, trap, failure, …
  - SCV, KJ-kutsu, ...
- Jatkossa yleisnimi keskeytys tarkoittaa kaikkia näitä eri tapauksia tai tyyppejä

14.8.2002 Copyright Teemu Kerola 2002 18

# Keskeytysten käsittely (4)

- Jokainen mahdollinen keskeytystyyppi on ennalta tunnettu
- Jokaiselle keskeytystyypille on oma käyttöjärjestelmän tuntema keskeytyskäsittelyrutiini

interrupt handler

- Jokaisen käskyn suorituksen jälkeen tarkistetaan keskeytysten olemassaolo SR:stä ja haaraudutaan keskeytyskäsittelijään tarvittaessa
  - joskus keskeytykset on estetty (ttk-91:ssä SR:n bitti D)
  - paluu käsittelijästä ”return-from-interrupt-handler” käskyllä
- ”Yllättävä aliohjelmakutsu”

 Copyright Teemu Kerola 2002 

# Keskeytystyyppejä (3)

- Käskyn aiheuttamat virhetilanteet
- Käskyn aiheuttamat muut poikkeustilanteet
  - kyseessä ei siis ole virhetilanne, vaan haluttu käyttäytyminen
  - tilanne vaatii erikoistoimenpiteen, jonka toteutus on tehty keskeytyskäsittelyn kaltaiseksi
- Ulkoapäin (muualta kuin CPU:lta) tulleisiin signaaleihin reagoiminen

 Copyright Teemu Kerola 2002 

# Käskyn aiheuttamat virhetilanteet (5)

- Virheellinen käskyn tai datan osoite
- Tuntematon käsky (opcode)
- Nollalla jako
- Kokonaisluvun tai liukuluvun yli/alivuoto
- Käytetty osoite ei ole muistissa (MMU)

 Copyright Teemu Kerola 2002 

# Käskyn aiheuttamat muut poikkeustilanteet (3)

- SVC käsky
- I/O konekäsky
- Trace keskeytys

 Copyright Teemu Kerola 2002 

# Ulkoapäin (muualta kuin suorittimelta) tulleet keskeytykset (3)

- Kellolaitekeskeytys (esim. joka 10 ms)
- Laitekeskeytys (esim. levy I/O valmis)
- Laitteistovirhe (esim. virhe väylän tiedonsiirrossa)

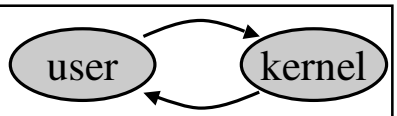
 Copyright Teemu Kerola 2002 

# Keskeytyskäsittelijä

- Osa käyttöjärjestelmää
- Ennen keskeytyskäsittelijän aloittamista asetetaan suoritin ja MMU käyttöjärjestelmätilaan (supervisor state)
  - SR:n bitti P on päällä => etuoikeutettu tila eli käyttöjärjestelmä tila
  - käyttöjärjestelmätilassa saa viitata mihin tahansa kohtaan muistia (MMU: BASE=0, LIMIT="hyvin iso")
  - käyttöjärjestelmätilassa saa käyttää kaikkia konekäskyjä
- Käsittelijästä paluun yhteydessä MMU:n tila ja suorittimen tila asetetaan ennalleen

 Copyright Teemu Kerola 2002 

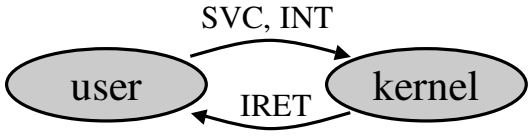
# Suorittimen tilat (6)




- Käyttäjätila (user mode, normal mode)
  - voi käyttää vain tavallisia käskyjä
  - voi viitata vain käyttäjän omaan muistiavaruuteen (MMU valvoo)
- Etuoikeutettu tila tai (KJ:n) ytimen tila (kernel mode, privileged mode)
  - voi käyttää kaikkia konekäskyjä, myös etuoikeutettuja (esim. clear_cache, iret)
  - voi viitata kaikkialle muistiin, myös käyttöjärjestelmän ytimeen (kernel)
    - voi käyttää (myös) suoria muistiosoitteita (PA)

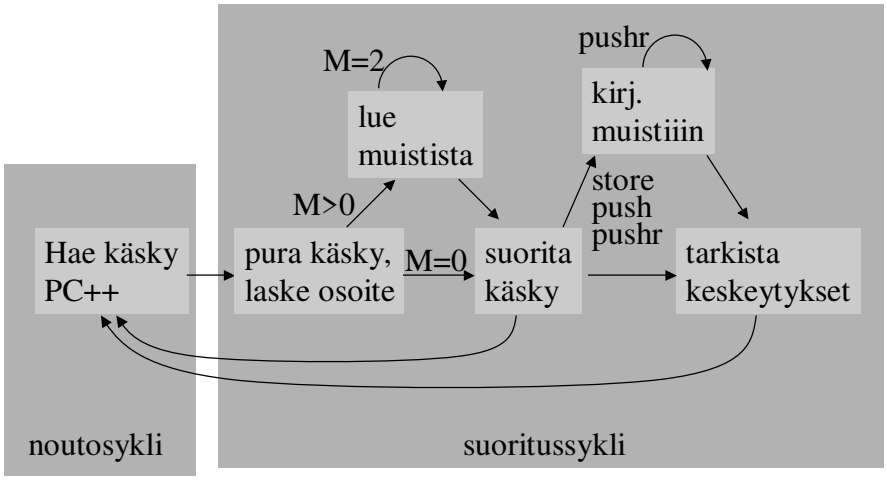


# Suorittimen tilan muuttaminen (6)




- Käyttäjätila → etuoikeutettu tila
  - keskeytys tai suora KJ:n palvelupyyntö (SVC käsky)
  - keskeytyskäsittelijä tarkistaa onko (oliko) oikeutta tilan vaihtoon (interrupt handler)
- Etuoikeutettu tila → käyttäjätila
  - etuoikeutettu konekäsky "return from interrupt handler" esim. IRET (Pentium II)
  - palauttaa kontrollin keskeytyneeseen kohtaan ja suorittimen tilan keskeytystä edeltäneeseen tilaan

# TTK-91 Nouto- ja suoritussykli vielä vähän tarkemmin



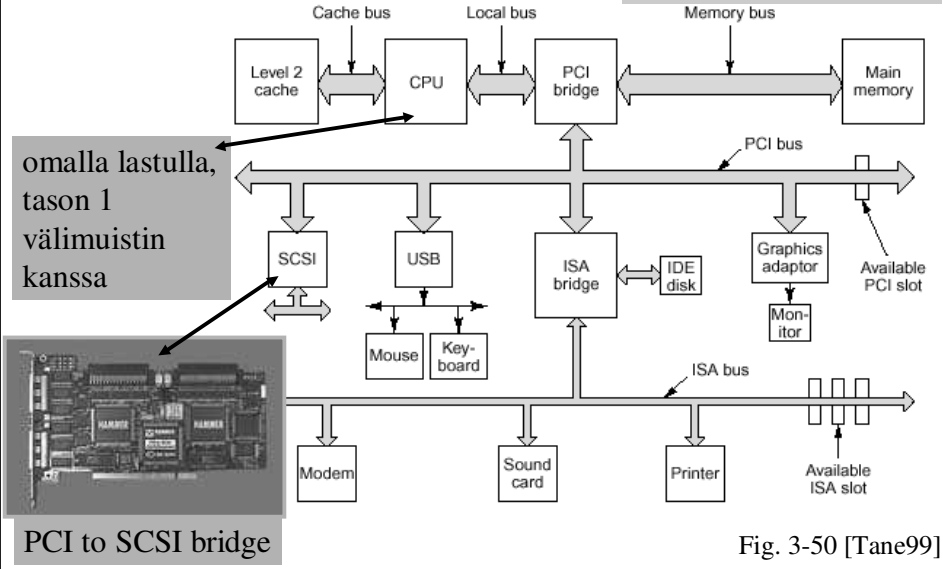



# Väylät (5)

- Tiedon siirtoa varten laitteistossa
- Yksi kirjoittaja kerrallaan
- Toteutettu johdinkimppuina
- Eri tasoilla
  - suorittimen sisällä ”sisäinen väylä” (internal bus)
  - muistiväylä suorittimen ja muistin välillä (memory bus)
  - I/O-väylä muistiväylän ja I/O-laitteiden välillä (I/O bus)
- Useita eri tapoja yhdistellä edellä olevia

# Väylähierarkia

Tyypillinen Pentium II systeemin emolevy




omalla lastulla, tason 1 välimuistin kanssa

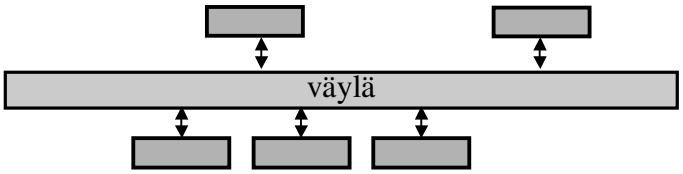


PCI to SCSI bridge

Fig. 3-50 [Tane99]



# Väylät (5)




- Kullakin laitteella oma osoite
- Yksi lähettää, kaikki kuulevat, vain ”oikea” laite vastaanottaa
- Paljon erilaisia
- Lähellä suoritinta olevat ovat nopeampia

Lisää tietoa? Tietokoneen rakenne -kurssi

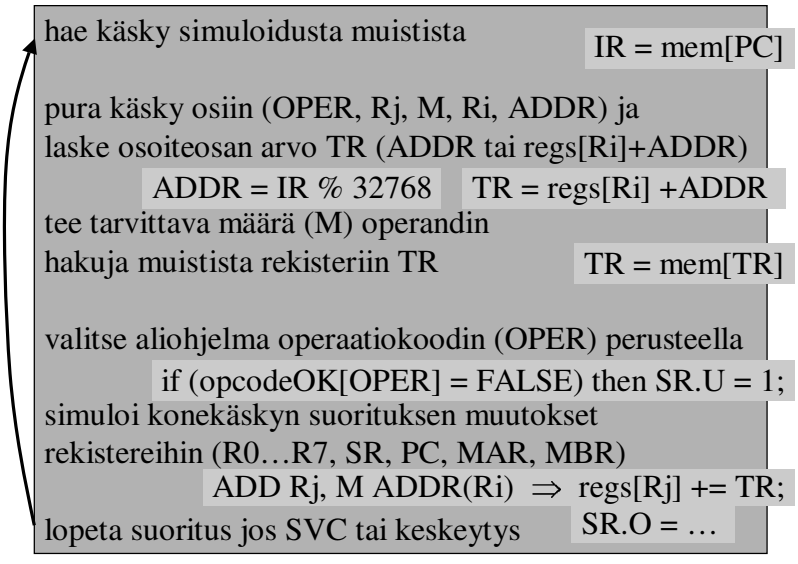
# TTK-91 koneen KOKSI simulaattori (6)

- Tavallinen Pascalilla kirjoitettu ohjelma
- TTK-91 koneen osat tietorakenteina
  - rekisterit, MMU, CU, muisti
- Simuloi käskyjen suoritussykliä käsky kerrallaan
- Toteuttaa myös TTK-91 koneen käyttöjärjestelmän osat osana tavallista ohjelmaa
  - assembler kääntäjä, lataaja, debugger, kesk. käsittelijät
- Graafinen käyttöliittymä

ks. suoritussyklin toteutus Koksissa (seur. kalvo + 6 kopiosivua)

 Copyright Teemu Kerola 2002 

# TTK-91 käskyn suoritussykli (5)




 Copyright Teemu Kerola 2002 

# -- Luennon 5 loppu --

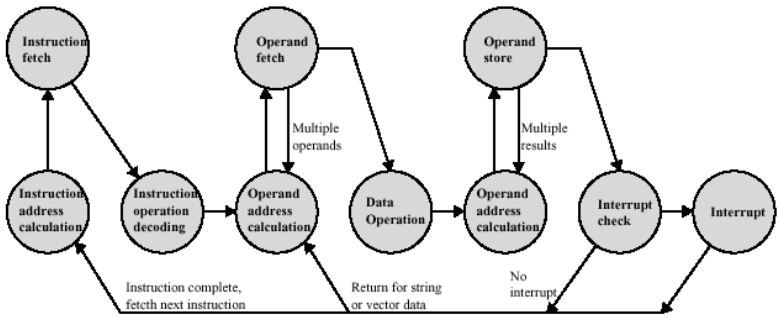



**Figure 3.12 Instruction Cycle State Diagram, With Interrupts**

[Stal99]