Tik-79.179 Rinnakkaiset ja hajautetut digitaaliset järjestelmät

Luennoitsija: DI Keijo Heljanko
Keijo.Heljanko@hut.fi
451 3256

Assistentit: DI Tommi Junttila
Tommi.Junttila@hut.fi
Teemu Tynjälä
tjtynjal@cc.hut.fi

Kotitehtävät: Marko Mäkelä
msmakela@cc.hut.fi

Suoritus: Tentti
Pakolliset kotitehtävät

Esitiedot: Tik-79.144, Tik-79.148 tai vastavat

©Johan Lilius 1997, Keijo Heljanko 1998

Kirjallisuus: *Johan Lilius, Keijo Heljanko*,
Opetusmonisteet (kalvot),
Mikko Tiusanen,
Petri-verkkojen perusteet
Kimmo Varpaaniemi,
PROD Reference Manual
David Walker,
Introduction to a Calculus of
Communicating Systems,

Oheismateriaali: Tadao Murata,
Petri Nets: Properties, Analysis and Applications
Robin Milner,
Communication and Concurrency

Seuraaviin paikkoihin tulee muutoksia uusiin tiloihin muuton myötä: Oheismateriaali on lainattavissa huoneesta Y418. Laskuharjoitus- ja kotitehtäviä on saatavilla Digitaalitekniikan laboratoriossa, päärakennuksen 4. kerroksessa, huoneiden Y417C ja Y418 välissä olevassa lokerikossa. Kurssin ilmoitustaulu on siinä vieressä.

©Johan Lilius 1997, Keijo Heljanko 1998

Lisäinfoa

- WWW-sivut `http://saturn.hut.fi/html/Tik-79.179.html`
  - Kurssiesite
  - Aikataulu
  - Harjoitustehtävät
  - Kotitehtävät
  - Linkkejä
- Otaxin uutisryhmä: opinnot.tik.rhj
  - pikaiset ilmoitusasiat

©Johan Lilius 1997, Keijo Heljanko 1998

Kurssin tavoite

Antaa valmiuksia rinnakkaisten ja hajautettujen järjestelmien spesifiointiin, verifiointiin sekä validointiin.

Opettaa:

- Petri-verkkojen, temporaalilogiikan, ja prosessialgebran perusteet, sekä
- järjestelmien mallintamista ja analysointia.

©Johan Lilius 1997, Keijo Heljanko 1998

AIKATAULU

Suunniteltu ohjelma syksyllä 98:

viikko	luento ti 12-15 U523	lh to 12-14 Otahalli, to 16-18 Y427B
vk 38	luento	
vk 39	luento , 1. kotitehtävä jaetaan	laskuharjoitukset
vk 40	ei luentoa	laskuharjoitukset
vk 41	luento	ei laskuharjoituksia
vk 42	luento, 1. kotitehtävän palautus, 2. kotitehtävä jaetaan	laskuharjoitukset
vk 43	luento	laskuharjoitukset
vk 44	luento, 2. kotitehtävän palautus, 3. kotitehtävä jaetaan	laskuharjoitukset
vk 45	luento	laskuharjoitukset
vk 46	luento, 3. kotitehtävän palautus, 4. kotitehtävä jaetaan	laskuharjoitukset
vk 47	vierailuluento, 5. kotitehtävä jaetaan	laskuharjoitukset
vk 48	luento, 4. kotitehtävän palautus	laskuharjoitukset
vk 49	kertaus, 5. kotitehtävän palautus,	viimeiset laskuharjoitukset
8.12	tentti	

©Johan Lilius 1997, Keijo Heljanko 1998

MUUT AIHEESEEN LIITTYVÄT OPINTOJAKSOT

- Tik-79.186 Reaktiiviset järjestelmät
- Tik-79.190 Rinnakkaisohjelmistojen testaus
- Tik-79.193 Rinnakkaisohjelmistojen määrittelymenetelmät
- Tik-76.164 Sulautetut järjestelmät
- Tik-76.166 Rinnakkaisohjelmointi
- Tik-79.146 Logiikka tietotekniikassa: Erityiskysymyksiä I
- (Tik-79.185 Verifionti)

©Johan Lilius 1997, Keijo Heljanko 1998

Rinnakkainen ja hajautettu järjestelmä

- Rinnakkaisuus: tapahtumien samanaikaisuus (concurrency).
  - Tällä kurssilla ei kuitenkaan käsitellä tieteelliseen laskentaan kehitettyjä rinnakkaisprosessoreita, ja niihin liittyvää problematiikkaa.
- Hajautus: järjestelmää ei kontroloida keskitetysti.

  Hajautettu järjestelmä on järjestelmä jossa sellaisen koneen hajoaminen, jonka olemassaolosta sinulla ei ollut aavistustakaan, tekee oman koneesi käyttäkelvottomaksi. (L. Lamport)
- Asynkronisuus: eri osajärjestelmiä ei ole tahdistettu keskenään, vaan ne voivat edetä eri nopeuksin.
- Reaktiivisuus: Järjestelmä on jatkuvasti toiminnassa ja sen toimintaa säätelevät ulkoiset ärsykkeet joihin se reagoi.

©Johan Lilius 1997, Keijo Heljanko 1998

Rinnakkainen ja hajautettu järjestelmä

Suunnitteluongelmia:

- korkeasta epädeterministisyydestä johtuva *tilojen suuri määrä*,
- eri osajärjestelmien keskinäiset riippuvuudet vaikeasti hallittavissa ja ymmärrettävissä,

$\Rightarrow$ tärkeiden haluttujen ominaisuuksien toteaminen vaikeaa.

Minkä takia rinnakkaisia ja hajautettuja järjestelmiä?

- Tehonlisäys
- Redundanssi
- Modulaarisuus
- Laitteiden maantieteellinen erotus

©Johan Lilius 1997, Keijo Heljanko 1998

Ominaisuuksia

- Turvallisuusominaisuuksia:
  "Mitään pahaa ei tapahdu"
  - lukkiutumattomuus (deadlock-freedom)
  - toistensa poissulkevuus (mutual exclusion)
  - tietoturvallisuus,
  - yl. järjestelmä ei koskaan mene tietyyn tilaan
- Elävyysominaisuuksia:
  "Jotain hyvää tapahtuu joskus"
  - reiluus
  - lähetetty viesti menee perille
  - jokainen palvelupyyntä suoritetaan
- Muita:
  - P tapahtuu äärettömän usein
  - P:n jälkeen Q tapahtuu n:n askeleen/sekunnin jälkeen
  - joka tilassa pätee C

©Johan Lilius 1997, Keijo Heljanko 1998

Menetelmiä

Kurssilla opetettavat menetelmät:

- Petri-verkot
- Temporaalilogiikka
- PROD
- Prosessialgebra
- Ekvivalenssit

©Johan Lilius 1997, Keijo Heljanko 1998

Menetelmien käyttökohteita

- Tietoliikenne
  - Protokollien verifiointi
  - Suorituskykyanalyysi
  - Protokollien testaus
- Turvallisuuskriittiset järjestelmät
  - Rautatieylikäytävien ohjauslogiikka
  - Lentokoneen ohjausjärjestelmien logiikka
  - Lennonjohtojärjestelmät
- Hardissuunnittelu
  - Mikroprosessorit
- Reaktiiviset järjestelmät yleensä

©Johan Lilius 1997, Keijo Heljanko 1998

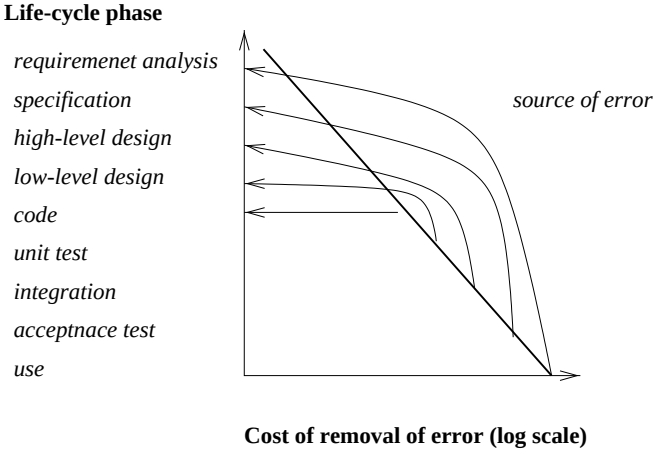
Ohjelmistokriisi

- Miten suunnitella ja toteuttaa ohjelmisto siten, että:
  - se toimitetaan ajallaan,
  - sen kustannukset pysyvät ennalta määrätyissä rajoissa,
  - toimitusajankohtana siinä ei ole enää virheitä,
  - asiakas saa mitä alkujaan oli pyytänyt,
  - ohjelmisto on helposti laajennettavissa,
  - ...
- Ohjelmien tekeminen on pitkälle käsityötä.
- Software Engineering.
- Ns. formaalit kuvausmenetelmät (Formal Methods) pyrkivät tarjoamaan ratkaisuja osaan ym. ongelmista.

©Johan Lilius 1997, Keijo Heljanko 1998

OHJELMISTOKRIISI

- Ohjelmien koko kasvaa -> hinta kasvaa -> virheet tulevat kalliimiksi:
  - AT&T:n vaihteet menivät solmuun: puolet USA:sta puhelinmotissa
  - Ariane 5 räjähti ohjelmistovirheen takia
  - Pentium FPDIV bugi



©Johan Lilius 1997, Keijo Heljanko 1998

MITÄ ON SPESIFIOINTI?

- Spesifiointi on järjestelmän toimintojen oletuksien ja vaatimusten kuvausta.
  Kuvauksen tulisi olla:
  - yksikäsitteinen
  - ei välttämättä täydellinen
- Spesifiointi on sallittujen laskentojen kuvaus
  - laskenta ymmärretään mahdollisimman laajasti
- Spesifikaatiota voidan pitää asiakkaan ja toimittajan välisenä **SOPIMUKSENA** siitä mitä ohjelma tekee.
- Tyypillisesti kun puhutaan spesifioinnista tarkoitetaan spesifiointia jonkin formaalin menetelmän avulla.

©Johan Lilius 1997, Keijo Heljanko 1998

Spesifioinnin etuja

- Oikeellisuus: Automaattiset työkalut tarkastavat spesifikaation.
  - Validointi
  - Verifiointi
- Täydellisyys: Spesifikaatio toimii muistilistana.
- Konsistenssi: Spesifikaation avulla voidaan varhaisessa vaiheessa havaita ristiriitaisia tai kohtuuttomia vaatimuksia.
- Reusability: Software Factory.
- Formaali kuvausmenetelmä, spesifiointimenetelmä = spesifiointi, validointi ja verifiointi.
- SA, ER, eri OO menetelmät, etc..., eivät ole tässä mielessä spesifiointimenetelmiä.

©Johan Lilius 1997, Keijo Heljanko 1998

Spesifiointi osana SE-prosessia

- Requirements analysis
  - spesifiointimentelmän avulla voidaan selventää asiakkaan vaatimuksia
- Järjestelmän suunnittelu
  - monet menetelmät tukevat dekompositiota ja tarkennusta ("refinement")
- Järjestelmän verifiointi
  - verifiointi on mahdotonta ilman formaaleja menetelmiä
- Järjestelmän validointi
  - spesifikaatiosta voidaan usein suoraan johtaa joukko testejä joiden avulla järjestelmä voidaan validoida
- Järjestelmän dokumentointi
  - spesifikaatio on järjestelmän kuvaus
- Järjestelmän analysointi ja evaluointi
  - useat spesifikaatio menetelmien sovelluksista koostuvat jo olemassaolevan järjestelmän mallintamisesta ja verifioinnista: reverse-engineering.

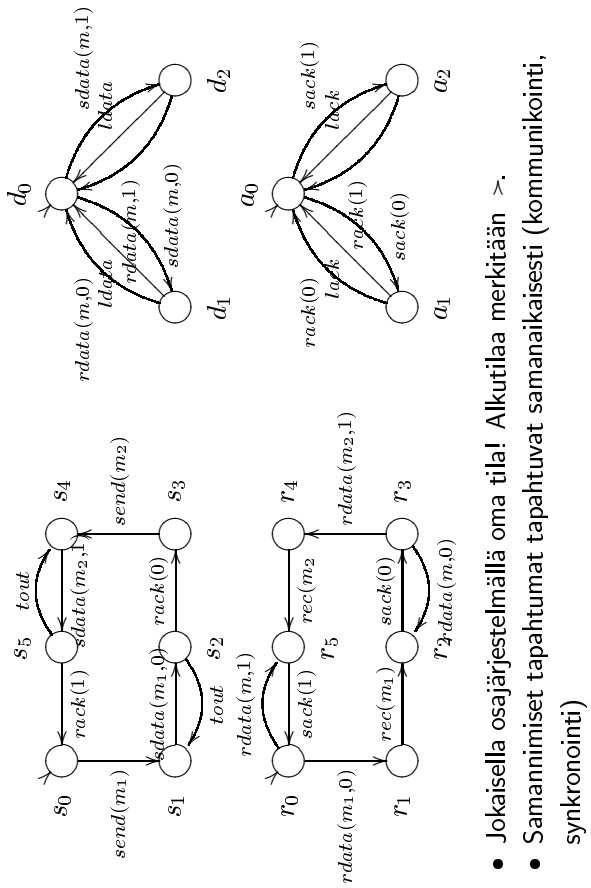
©Johan Lilius 1997, Keijo Heljanko 1998

Esimerkki: Alternating-bit protokolla

- AB protokolla on yksinkertainen tietoliikenneprotokolla,
- Viestit lähetetään biteillä 0 ja 1 "taggattuna".
  - Lähettäjäprosessi: Saatuaan toimeksiannon, viesti lähetetään yhdessä bitin b kanssa.
    - Jos viesti on hävinnyt saa prosessi time-outin ja viesti lähetetään uudestaan bitin b kanssa.
    - Jos prosessi vastaanottaa bitin b kättelynä se lähettää uuden viestin bitin $\hat{b} = 1 - b$ kanssa.
  - Vastaanottajaprosessi: prosessi vastaanottaa viestin yhdessä bitin b kanssa. Bitti b lähetetään kättelynä takaisin.
    - Jos prosessi vastaanottaa väärän bitin se unohdetaan.
    - Jos prosessi vastaanottaa uuden viestin ja bitin $\hat{b}$ tämä kuitataan.
  - Protokolla siis lähettää ja vastaanottaa viestejä vuorotelleen.
- Väitös: Protokolla pystyy toipumaan jos viesti häviää korkeintaan äärellisen monta kertaa.

©Johan Lilius 1997, Keijo Heljanko 1998

Siirtymäkaaviot (kommunikoivat automaatit)

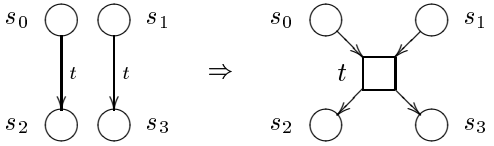


- Jokaisella osajärjestelmällä oma tila! Alkutilaa merkitään $\succ$.
- Samannimiset tapahtumat tapahtuvat samanaikaisesti (kommunikointi, synkronointi)

©Johan Lilius 1997, Keijo Heljanko 1998

Kuvaus Petri-verkkona

- Siirtymäkaavioiden ongelma on rinnakkaisuuden *granulaarisuus*:
  - automaatit täysin sekventiaalisia,
  - rinnakkaisuutta esiintyy vain automaatien välillä.
- Petri-verkot voidaan nähdä siirtymäkaavioiden yleistyksenä.
- Perusidea: Kuvataan synkronointi eksplisiittisesti.

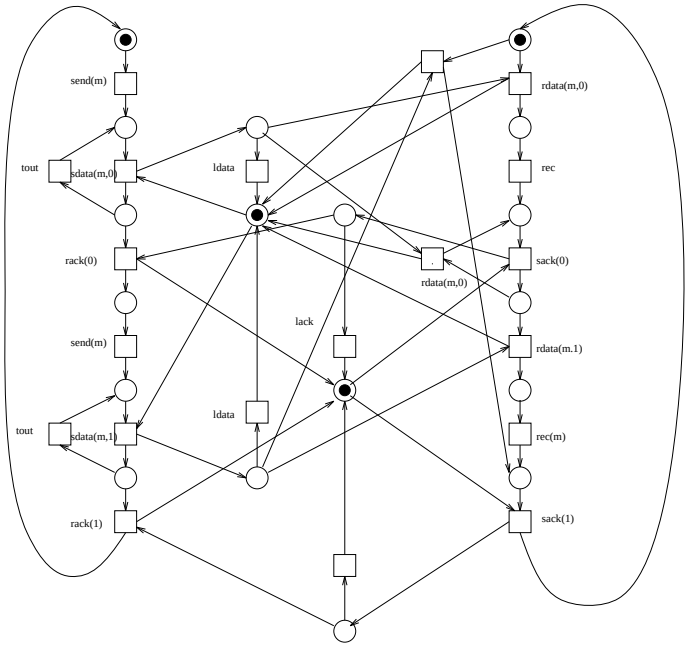


Petri-verkon (perus-)osat:

- Paikka: p ◯
- Transitio: t □
- Suunnattu kaari: ⟶
- Petri verkossa:
  - Järjestelmän globaali tila koostuu useasta lokaalista tilasta.
  - Järjestelmän tila on *hajautettu*
  - Järjestelmän osat toimivat *rinnakkain*

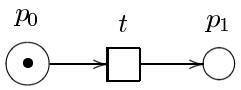
©Johan Lilius 1997, Keijo Heljanko 1998

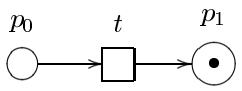
Kuvaus Petri-verkkona



©Johan Lilius 1997, Keijo Heljanko 1998

TOKEN-PELI

- Kuvataan järjestelmän tilaa asettamalla paikkoihin tokeneita (täpliä).
- Järjestelmä vaihtaa tilaa laukaisemalla transitioita.
- Transitio laukeaa jos kaikissa siihen kytketyissä esi-paikoissa on token ja kaikki jälki-paikat ovat tyhjiä (tätä ehtoa tarkennetaan myöhemmin).
- Järjestelmän uusi tila saadaan poistamalla esi-paikoista täplät ja lisäämällä jälki-paikkoihin täplät.
- t vireessä: 

- t laukaistaan: 

©Johan Lilius 1997, Keijo Heljanko 1998

TOKEN-PELI

- Järjestelmän käyttäytymistä voidaan nyt kuvata tilasiirtymäketjuilla.
  - esim: viestin onnistunut lähetys: $send(m) \rightarrow sdata(m,0) \rightarrow rdata(m,0) \rightarrow rec(m) \rightarrow sack(0) \rightarrow rack(0) \rightarrow send(m) \ldots$
- Tilasiirtymäketjuista voidaan muodostaa suunnattu graafi, joka kuvaa kaikkia järjestelmän mahdollisia tilasiirtymiä:
  - Tila-avaruus: järjestelmän kaikki tilat.
  - Saavutettavuusgraafi: graafi jonka solmut ovat tiloja, ja kaaret tilasiirtymiä
- Pelaamalla täpläpeliä käsin on tässä tapauksessa "melko" helppoa varmistua abp-protokollan oikeellisuudesta.

©Johan Lilius 1997, Keijo Heljanko 1998