1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Arvutitehnika instituut
ati.ttu.ee

Sardsüsteemid
(Embedded Systems)

II Loeng
Modelleerimine ja spetsifitseerimine

Gert Jervan
Arvutitehnika instituut

www.pld.ttu.ee/~gerje

Graphics: © Alexandra Nolte, Gesine Marwedel, 2003

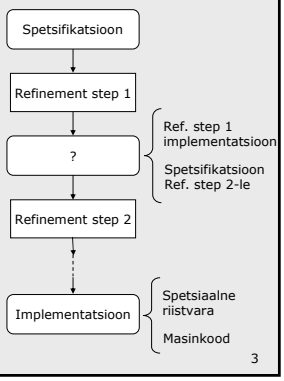
Some materials: © Petru Eles

Ülevaade

- ✓ Spetsifikatsioonid
  - Nõudmised spetsifikatsioonidele
- ✓ Arvutusmudelid
- ✓ Modelleerimis- ja spetsifitseerimiskeeled
  - StateChart, Petri Net, jne...

Spetsifikatsioonid ja implementatsioonid

- ✓ **Spetsifikatsioon:** Süsteemi käitumuse ja muude omaduste kirjeldus
  - Projekteerija saab oma tööks (sisendiks) spetsifiaktsiooni ja loob selle põhjal implementatsiooni (toote). Toodet luuakse paljude täiustavate sammude jooksul (refinement steps)



Süsteemi spetsifikatsioon

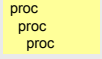
- ✓ Spetsifikatsioon peab hõlmama
  - Süsteemi ettenähtud käitumise
    - kui sisendite ja väljundite vahelise suhte

    või
    - kui algoritmi
  - Ülejäänud (mittefunktsionaalsed) nõudmised:
    - Ajalised piirangud
    - Võimsus/energiatarve
    - Ohutus
    - Keskkond
    - Maksumus, kaal, jne.

Nõudmised spetsifitseerimistehnikatele

- ✓ Hierarhia
  Inimesed ei suuda aru saada süsteemidest, milles on rohkem kui ca 5 objekti. Tegelikud süsteemid nõuavad palju enamat

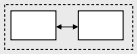
  - Käitumuslik hierarhia
    Näited: olekud, protsessid, protseduurid.



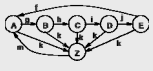
  - Struktuurne hierarhia
    Näited: Protsessorid, räkid, trükkplaadid

Nõudmised spetsifitseerimistehnikatele (2)

- ✓ Struktuurne käitumine
  Peaks olema "kerge" alamsüsteemide käitumisest tuletada süsteemi, kui terviku käitumine



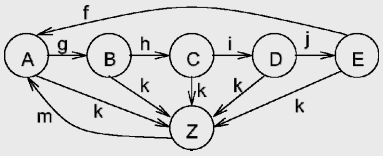
- ✓ Ajaline käitumine
- ✓ Olekutele suunatud käitumine
  Vajalik reageerivatele süsteemidele; Tavaline automaadimudel ei ole piisav.



- ✓ Sündmuste käsitsemine
  (sisemised või välised sündmused)
- ✓ Ei ole piiranguid efektiivseks implementeerimiseks

Nõudmised spetsifitseerimistehnikatele (3)

- Tugi usaldusväärsete süsteemide loomiseks
  Üheselt mõistetavad semantikad, ...
- Eranditele suunatud käitumine
  Ei ole mõistlik kirjeldada erandeid iga oleku jaoks



Edaspidi näeme, kuidas kõik servad *k* on võimalik asendada ühe servaga

Nõudmised spetsifitseerimistehnikatele (4)

- Kattuvus (*Concurrency*)
  Reaalaja süsteemid on samaaegsed
- Sünkroniseerimine ja kommunikatsioon
  Komponendid peavad suhtlema!

- Programmeerimiselementide olemasolu
  Näiteks peaks olemas olema: aritmeetilised operatsioonid, tsüklid ja funktsioonide väljakutsed
- Täidetav (ei ole algebrailisi spetsifikatsioone)
- Tugi suurte süsteemide kirjeldamiseks (☞ OO)
- Valdkonna-spetsiifilisus

Nõudmised spetsifitseerimistehnikatele (5)

- Loetavus

- Porditavus ja paindlikkus

- Lõpetamine
  Peaks olema selge, milliseks ajahetkeks on kõik arvutused lõppenud

- Tugi mitte-standartsetele I/O seadmetele
  Otsene ligipääs lülititele, displeidele, ...

- Mitte-funktsionaalsed omadused
  veakindlus, kättesaadavus, EMC-omadused, kaal, suurus, kasutajasõbralikkus, laiendatavus, eluiga, võimsustarve, ...

- Sobiv arvutusmudel

Spetsifikatsioon

- Spetsifikatsioonid võivad olla:
  - Mitteformaalsed (loomulikus keeles)
  - Detailsemad ja ühetähenduslikumad, kasutades *spetsifikatsioonikeeli*
- Spetsifikatsioonikeeled peavad:
  - Olema võimelised hästi väljendama peamisi süsteem omadusi ja erinevaid aspekte sisutihedal ja selgel kujul
  - Sobima hästi nõuete täitmise kontrolliks ja implementatsioonide sünteesiks (soovitavalt automaatselt)
- Alati tuleb valida see keel, mis antud süsteemi jaoks sobiks kõige paremini!

Spetsifikatsioonikeeled

- Spetsifikatsioonikeeled võivad olla
  - Graafilised
  - Tekstilised
- Spetsifikatsioonikeeled võivad olla
  - Tavalised programmeerimiskeeled (C, C++)
  - Riistvara kirjelduskeeled (VHDL, Verilog)
  - Spetsiaalsed keeled, mida kasutatakse erinevates valdkondades süsteemide spetsifitseerimiseks. Tihti põhinevad need mingil *arvutusmudelil* (model of computation)

Süsteemide spetsifitseerimine

- Mida me tahame sardsüsteemi spetsifikatsiooniga peale hakata?

1. Valideerida süsteemi kirjeldust, et kontrollida, kas funktsionaalsus vastab soovitule ja et vajadused on kirjeldatud korrektselt. Selleks kasutatakse:
   - Formaalset verifitseerimist
   - Simuleerimist
2. Et sünteesida efektiivseid rakendusi

Formaalsed mudelid

- Me sooviksime, et spetsifitseerimiskeeled oleks hästi defineeritud semantikaga ➔ spetsifikatsioonid peaksid olema ühetähenduslikud
  - Semantika on reeglite kogu, mis seob tähenduse (interpretatsiooni) süntaktiliste keelekonstruktsioonidega (sümbolite kombinatsiooniga)
  - Semantika põhineb aluseks oleval arvutusmudelil

  Nimetatud mudel määrab ära, milliseid süsteeme saab selle keelega kirjeldada
  Arvutusmudel määrab ära keele väljendusvõime

Formaalsed mudelid (2)

- Kas me sooviksime kasutada suure väljendusvõimega keeli (et saaksime kirjeldada mida iganes)?
  Vahest mitte!
  - Suur väljendusvõime: imperatiivne mudel (näiteks C või Java piiranguteta kasutamine):
    - Võime kirjeldada "kõike"
    - Puudub võimalus formaalseks analüüsiks (või see on väga keerukas)
  - Piiratud väljendusvõime, mis põhineb hästi valitud arvutusmudelil:
    - Spetsifitseerida saab ainult valitud süsteeme
    - Formaalne analüüs on võimalik
    - Efektiivse (võib-olla isegi automaatse) sünteesi võimalus

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Arvutitehnika instituut ati.ttu.ee

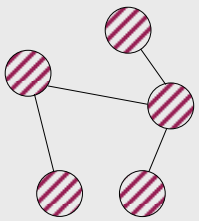
Arvutusmudelid
(Models of Computation)

Arvutusmudelid

- Arvutusmudelid (*models of computation*) käsitlevad keele täitmismudeli (*execution model*) loomiseks vajalikke teoreetiliste valikute kogumeid
  - Disain on esitatud kui komponentide kogum, mida võib vaadelda kui isoleeritud monoliitseid mooduleid (tihti kutsutakse neid protsessideks – *processes* või ülesanneteks – *tasks*), mis suhtlevad omavahel ja ümbruskonnaga
  - Arvutusmudel defineerib nende moodulite käitumise ning omavahelise suhtlemise

Arvutusmudelid (2)

- Arvutusmudelid esitavad:
  - Kuidas iga moodul (protsess või ülesanne) teostab oma sisemisi arvutusi
  - Kuidas moodulid vahetavad omavahel informatsiooni
  - Kuidas nad seostuvad omavahel kattuvuse mõistes
- Mõningad arvutusmudelid ei kajasta moodulite sisemust, vaid üksnes nende suhtlemist ja kattuvust



Kattuvus (Concurrency)

- Süsteemid koosnevad tegevuste (protsessid või ülesanded) kogumist. Neid tegevusi võib potensiaalselt täita paralleelselt, ehk teisisõnu: nad on kattuvad (*concurrent*).
- Kuidas väljendada kattuvust?
  See on üks aspekt, milles arvutusmudelid erinevad
  - Andmete-põhine kattuvus
  - Kontrolli-põhine kattuvus

Andmete-põhine kattuvus

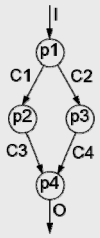
- Süsteem on kirjeldatud kui protsesside kogum ilma määratlemata täitmisjärjekorraga

- Protsesside täitmise järjekord (ja selle põhjal võib kaudselt teha järeldusi parallelismi kohta) on fikseeritud ainult andmete sõltuvuse põhjal
  - Väga tüüpiline paljudes DSP rakendustes

Andmete-põhine kattuvus (2)

```
Process p1( in int a, out int x, out int y) {
.....
}
Process p2( in int a, out int x) {
.....
}
Process p3( in int a, out int x) {
.....
}
Process p4( in int a, in int b, out int x) {
.....
}
channel int I, O, C1, C2, C3, C4;
p1(I, C1, C2);
p2(C1, C3);
p3(C2, C4);
p4(C3, C4, O);
```

Ei ole oluline, mis järjekorras me need kirjutame



Kontrolli-põhine kattuvus

- Protsesside täitmise järjekord on üheselt kirjeldatud süsteemi spetsifikatsioonis
- Kasutatakse spetsiaalseid konstruktsioone et määrata ära täitmise järjekord ja kattuvus

Kontrolli-põhine kattuvus (2)

```
module p1:
.....
end module

module p2:
.....
end module

module p3:
.....
end module

module p4:
.....
end module

run p1;
[run p2 || run 3];
run p4
```

Siin on kirjutamise järjekord esmaoluline

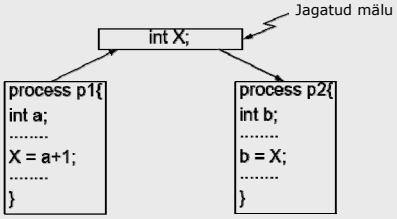
- See näide on kirjutatud ESTERELis
- Protsess p1 algab esimesena ja peab lõppema enne kui p2 ja p3 algavad
- p2 ja p3 algavad paralleelselt
- p2 ja p3 peavad mõlemad lõppema, enne kui p4 saab alustada

Kommunikatsioon

- Protsessid peavad info vahetuseks kommunikeeruma
- Erinevad arvutusmudelid kasutavad erinevaid arvutusmudeleid
- Jagatud mälu (*shared memory*)
- Sõnumite edastamine (*message passing*)
  - Blokeeriv
  - Mitte-blokeeriv

Jagatud mälu

- Iga saatev protsess kirjutab jagatud muutujatesse, mida saavad omakorda vastuvõtvad protsessid lugeda



Lokaalsed muutujad:
- a: p1
- b: p2

Jagatud muutujad:
- X

Jagatud mälu (2)

- Võivd tekkida võidujooksud (race conditions) ☞ tagajärjeks vastuolulised andmed
  ☞ Kriitilised sektsioonid = sektsioonid, kus ressursile (näiteks jagatud mälu) tuleb garanteerida ainuõiguslik ligipääs

```
process a {
  ..
  P(S)  //lukustamine
  ..    //kriitiline sektsioon
  V(S)  //luku vabastamine
}
```

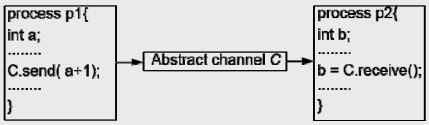
```
process b {
  ..
  P(S)  //lukustamine
  ..    //kriitiline sektsioon
  V(S)  //luku vabastamine
}
```

Ilma võidujooksuta ligipääs jagatud mälule, mida kaitseb lukk S

- Seda mudelit kasutavad:
  - Kriitiliste sektsioonide vastastikune välistamine
  - Cache coherency (jagatud vahemälu) protokollid

Sõnumite edastamine

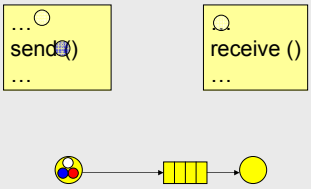
- Andmed edastatakse üle abstraktse kommunikatsioonikeskkonna, mida nimetatakse kanaliks



- See kommunikatsioonimudel on piisav kirjeldamaks hajussüsteeme (*distributed systems*)

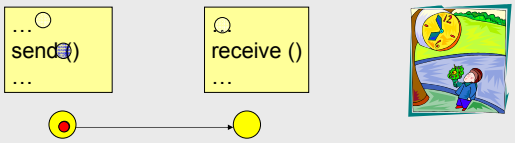
Mitteblokeeriv (asünkroonne)

- Saatja ei pea ootama kuni sõnum on kohale jõudnud; Potensiaalne probleem: Puhvri täitumine



Blokeeriv sõnumite edastamine – rendez-vous

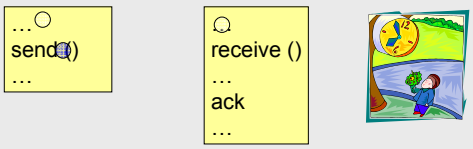
- Saatja ootab kuni vastuvõtja on sõnumi kätte saanud



- Protsess, mis suhtleb, blokeerib end (suspends), kuni teine protsess on valmis andmete ülekandeks
- Need kaks protsess peavad ennast enne andmete ülekannet sünkroniseerima

Laiendatud rendez-vous

- Vastuvõttev pool peab saatma spetsiaalse teate kättesaamise kohta. Vastu võttev pool võib teostada enne teate saatmist andmete kontrolli.



Sünkroniseerimine

- Sünkroniseerimist ei saa eraldada kommunikatsioonist
  - Iga protsesside vaheline suhtlemine eeldab mõningast kommunikatsiooni ja sünkroniseerimist
- Sünkroniseerimine: Üks protsess on seisatud (*suspended*) kuni teise täitmine jõuab mingi punktini
  - Kontrolli-põhine sünkroniseerimine
  - Andmete põhine sünkroniseerimine

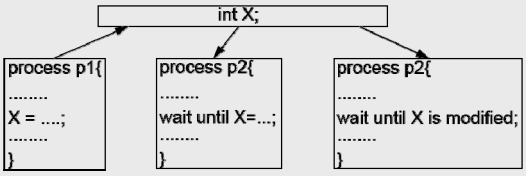
Kontrolli-põhine sünkroniseerimine

```
module p1:
...........
end module

module p2:
...........
end module

module p3:
...........
end module

module p4:
...........
end module

run p1;
[run p2 || run 3];
run p4
```

- Kontrolli-põhise sünkroniseerimise puhul tegeleb sünkroniseerimisega kontrollistruktuur
- Siin on mitmeid sünkroniseerimise punkte:
  - peale p1 lõpetamist ja enne p2, p3 algust
  - Peale p2 ja p3 lõppemist ning enne p4 algust

Andmete põhine sünkroniseerimine

- Kommunikatsioonimehhanismid väljendavad kaudselt ka sünkroniseerimist
- Jagatud mälu põhine sünkroniseerimine

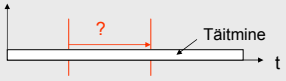


Andmete põhine sünkroniseerimine (2)

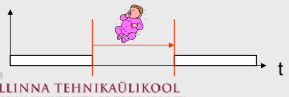
- Sõnumite edastamise põhine sünkroniseerimine
  - Kommunikatsiooni blokeerimine sõnumitega tähendab automaatselt saatja ja vastuvõtja vahelist sünkroniseerimist

Aja spetsifitseerimine

- Vaja on 4 erinevat aja määratlust [Burns, 1990]:
- **Mõõta kulutatud aega**
  Mõõda, kui palju aega kulus alates viimasest väljakutsest



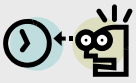
- **Protsesside viivitamine**

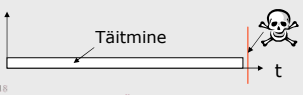


Aja spetsifitseerimine (2)

- **Timeout'ide spetsifitseerimine**
  Püsib kuskil olekus mingi ettenähtud aja

- **Võimalus kirjeldada deadline'e ja ajaplaneeringuid**





Protsesside omadused

- **Protsesside arv**
  - Staatiline;
  - Dünaamiline (Dünaamiliselt muutuv riistvaraplatvorm?)
- **Käitumuslik hierarhia**:
  - Protsesside rekursiivne deklareerimine (ADA, VHDL)
    ```
    process {
      process {
        process {
    }}}
    ```
  - või kõik deklareeritud samal tasemel (samm struktuurse hierahia suunas)
    ```
    process { ... }
    process { ... }
    process { ... }
    ```

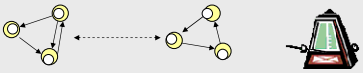
Protsesside omadused (2)

- Erinevad tehnikad protsesside loomiseks
  - Ilmutatud kujul koodis (vt. ADA)
    declare
      process P1 …
  - fork ja join (vt. Unix)
    id = fork();
  - spetsiaalsed protsessi loomise funktsioonid
    id = create_process(P1);

Sünkroonsed v. asünkroonsed keeled

- Mitmete protsesside kirjeldamine on paljudes keeltes mittedeterministlik:
  Ülesannete täitmise järjekord ei ole kindlaks määratud (võib mõjutada tulemust).
- Sünkroonsed keeled: põhinevad automaatide teoorial.
- „Sünkroonsete keelte eesmärgiks on pakkuda kõrgtaseme, modulaarseid konstruktsioone, et selliseid automaate oleks kergem luua" [Halbwachs].
- Sünkroonsed keeled kirjeldavad samaaegselt töötavaid automaate.

Sünkroonsed v. asünkroonsed keeled (2)



- Sünkroonsed keeled eeldavad (globaalset) taktsignaali. Igal taktil arvestatakse kõikide sisenditega, arvutatakse uued olekud ja väljundid ning alles siis tehakse siire.
- See eeldab levitamismehhanisme kõikidesse süsteemi osadesse.
- Ideaalne vaade üheaegsele toimimisele.
- Eeliseks on deterministliku käitumise tagamine.

Tüüpilised arvutusmudelid

- Olekudiagrammid (StateCharts)
- Andmevoo (dataflow) mudelid
- Petri võrgud (Petri Nets)
- Diskreetsed sündmused (Discerete events)
- (Sünkroonsed) lõplikud olekumasinad (Finite State Machines)
- Sünkroonsed/reaktiivsed keeled
- Koosdisaini lõplikud olekumasinad
- Timed Automata

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

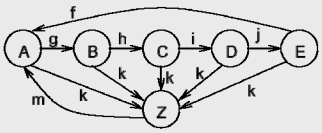
Arvutitehnika instituut
ati.ttu.ee

Olekudiagrammid (StateCharts)

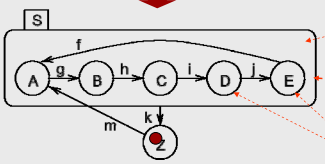
Olekudiagrammid

- Arvutusmudel, mis põhineb jagatud mäluga kommunikatsioonil
- Sobib ainult kohtrakendustele (mitte hajussüsteemidele)
- Klassikaline automaat ei ole sobiv keerukate süsteemide kirjeldamiseks (keerukaid graafe ei ole võimalik inimestel mõista)
- Hierarhia sisse toomine ☞ StateCharts [Harel, 1987]

Hierarhia



FSM on täpselt ühes S'i oleks kui S on aktiivne (kas A või B või ...)

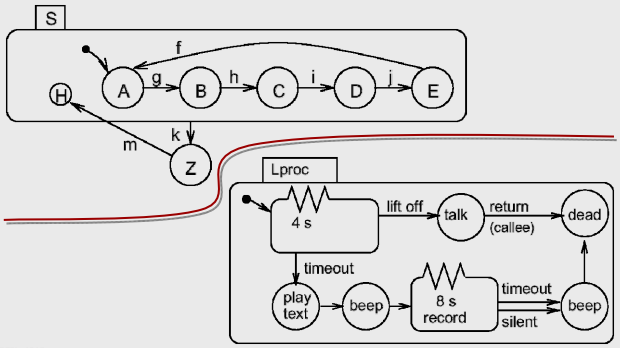


Superstate

Oleku E eellane (ancestor)

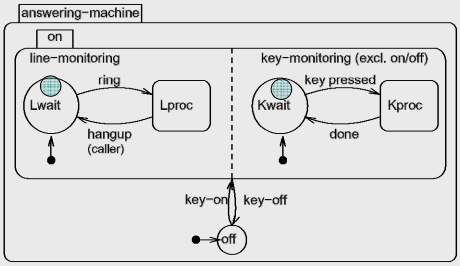
Alamolekud (substates)

Ajalugu, vaikimisi olek, timerid



Kattuvus

- ✓ AND-superstate



Hinnang StateChart'ile

- ✓ Pros:
  - Hierarhia lubab suvalist komplekti AND- ja OR-superstate'e.
  - Mitmed kommertstarkvarapaketid (StateMate, StateFlow, BetterState, ...)
  - On olemas „back-end" tarkvara StateChart'ide transleerimiseks C-sse või VHDLi, võimaldades sedasi tarkvaralisi ja riistvaralisi lahendusi.

Hinnang StateChart'ile (2)

- ✓ Cons:
  - Genereeritud C programmid ei ole alati efektiivsed
  - Ei sobi hajusrakendustele
  - Ei ole programmilisi konstruktsioone
  - Ei võimalda kirjeldada mitte-funktsionaalset käitumist
  - Ei ole objekt orienteeritud
  - Ei võimalda haarata struktuurset hierarhiat

Laiendused:
- Module charts struktuurse hierarhia kirjelduseks

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Arvutitehnika instituut ati.ttu.ee

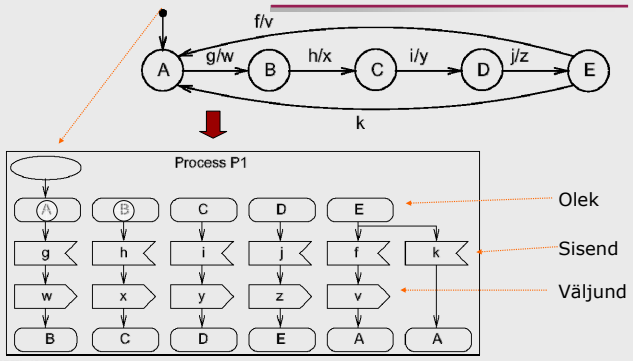
SDL

SDL

- Arvutusmudel, mis põhineb asünkroonsel sõnumite edastamisel
- Sobib muuhulgas ka hajussüstyeemide jaoks

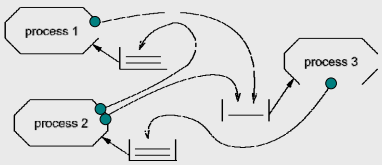
Kommunikatsioon/ arvutused	**Jagatud mälu**	**Sõnumite edastamine**	
		Blokeeriv	**Mitteblokeeriv**
FSM	StateCharts		SDL

FSMide/protsesside kujutamine SDL'iga



SDLi FSMide vaheline kommunikatsioon

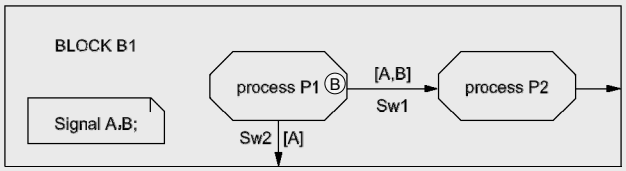
- FSMide (või „protsesside") vaheline kommunikatsioon põhineb sõnumite edastamisel, eeldades lõpmatu suurusega FIFO puhvreid



- Iga protsess võtab FIFO järgmise elemendi
- Kontrollib, kas sisend vastab siirdele
- Kui jah: siire toimub
- Kui ei: sisendit ignoreeritakse

Protsesside suhtlusdiagrammid

- Protsesside vahelise suhtlemise kirjeldamiseks võib kasutada suhtlusdiagramme (Blokkdiagrammide erijuht).
- Lisaks protsessidele, on nendel diagrammidel ka kanalid ja kohalikud signaalid



SDLi täiendavad võimalused

- Hierarhia
- Timerid
- Protseduurid
- Protsesside loomine ja lõpetamine
- Andmete kirjeldamine

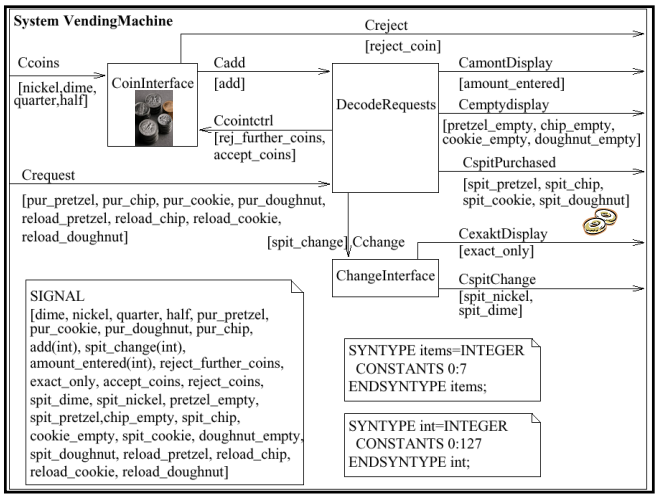
Süsteemi näide: toiduautomaat

Masin, mis müüb erinevaid maiustusi

Aksepteerib erinevaid münte

Ei ole hajusrakendus

[J.M. Bergé, O. Levia, J. Roullard: High-Level System Modeling, Kluwer Academic Publishers, 1995]



SDL

- Ideaalne hajusrakendustele (kasutati ISDNi spetsifitseerimisel),
- Tarkvara on saadaval: SINTEF, Telelogic, Cinderella (www.cinderella.dk).
- Ei ole täiesti deterministlik ja ei ole sünkroonne
- Implementatsiooni puhul on vaja teada FIFO maksimumsuurust – arvutamine võib olla väga keeruline
- Timeri põhimõte sobib vaid pehmetele reaalaja süsteemidele
- Hierarhiate kasutamine on limiteeritud
- Programmeerimiskeelte tugi on limiteeritud
- Mittefunktsionaalseid omadusi ei ole võimalik kirjeldada
- Rohkem infot: www.sdl-forum.org

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Arvutitehnika instituut ati.ttu.ee

Andmevoo mudelid (Dataflow models)

Andmevoo mudelid

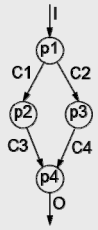
- ✓ Süsteemid on kirjeldatud, kui suunatud graafid, kus:
  - Sõlmed esitavad arvutusi (protsesse)
  - Kaared esitavad täielikult järjestatud andmevoogu
- ✓ Sõltuvalt semantikast on andmevoo põhjal defineeritud mitmeid erinevaid arvutusmudeleid:
  - Kahni protsessivõrgud (Kahn Process Networks)
  - Andmevoo protsessivõrgud (Dataflow process networks)
  - Sünkroonne andmevoog (Synchronous dataflow)
  - ...
- ✓ Andmete-põhine kattuvus

Andmevoo mudelid (2)

- ✓ Andmevoo mudelid on väga sobivad signaalitöötluses
  - Kodeerimine/dekodeerimine, filtreerimine, pakkimine jne
  - Perioodilised ja regulaarsed andmete lugemised
  - Tüüpiliselt on signaalitöötlusalgoritmid esitatud blokk-diagrammidena, mis sobib väga hästi andmevoo semantikaga

Andmevoo mudelid (3)

```
Process p1( in int a, out int x, out int y) {
.....
}
Process p2( in int a, out int x) {
.....
}
Process p3( in int a, out int x) {
.....
}
Process p4( in int a, in int b, out int x) {
.....
}
channel int I, O, C1, C2, C3, C4;
p1(I, C1, C2);
p2(C1, C3);
p3(C2, C4);
p4(C3, C4, O);
```



Protsesside sisemist andmetöötlust on võimalik kirjeldada suvalises programmeerimiskeeles (näiteks C)

Seda nimetatakse põhikeeleks (*host language*)

Kahni protsessivõrgud

- Protsesside suhtlemisel saadetakse andmeühikuid läbi ühesuunaliste FIFO kanalite
- Kanalisse kirjutamine on mitteblokeeriv
- Lugemine blokeeriv:
  - Protsess on blokeeritud kuni kanalis on piisav kogus andmeid
  - Protsess, mis proovib lugeda tühjast kanalist, peab ootama kuni andmed on saadaval. Ta ei saa enne lugemise alustamist, kas andmed on saadaval. Samuti ei saa ta ka tühja kanali korral lugemisest loobuda

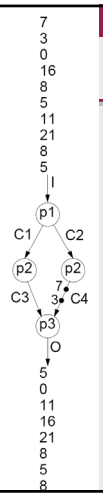
Determinism!

Kahni protsessivõrgud (2)

- Kahni protsessivõrgud on deterministlikud:
  - Kindale sisendandmete kombinatsioonile vastab vaid üks võimalik väljundandmete kombinatsioon (sõltumata sellest, kui kaua võtavad mingid arvutused aega)
  - On võimalik vaid spetsifikatsiooni põhjal (teadmata midagi implementatsioonist) tuletada väljundjada, teades sisendandmeid

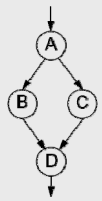

```
Process p1( in int a, out int x, out int y) {
int k;
loop
        k = a.receive();
        if k mod 2 = 0 then
                x.send(k);
        else
                y.send(k);
        end if;
end loop; }

Process p2( in int a, out int x) {
int k;
loop
        k = a.receive();
        x.send(k);
end loop; }

Process p3(in int a, in int b, out int x) {
int k; bool sw = true;
loop
        if sw then
                k = a.receive();
        else
                k = b.receive();
        end if;
        x.send(k);
        sw = !sw;
end loop; }

channel int I, O, C1, C2, C3, C4;
p1(I, C1, C2);
p2(C1, C3);
p2(C2, C4);
p3(C3, C4, O);
```


KPN



Aeg

- Andmevoo mudelid on asünkroonselt kattuvad
  - Sündmused võivad toimuda igal ajal
  - On olemas sündmuste osaline järjestatavus
    - A poolt sümboli genereerimin toimub alati enne selle tarbimist B poolt
    - Ei ole mingit ette määratud järjekorda, kas sümboli tarbib enne B või C



1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Arvutitehnika instituut
ati.ttu.ee

Petri võrgud
(Petri Nets)

Petri võrgud

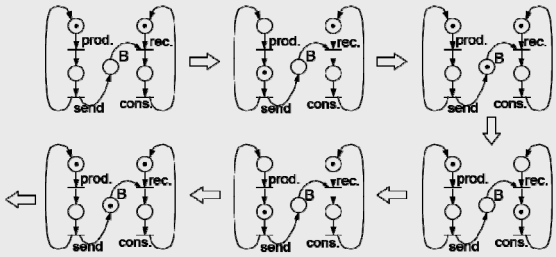
- Süsteem on spetsifitseeritud kui suunatud kahealuseline graaf, kus on kahte tüüpi sõlmi:
  - Koha sõlmed (places): Hoiavad hajutatud süsteemi olekut, mida väljendatakse märgi (token) olemasolu või puudumisega antud sõlmes
  - Üleminekud (transitions): Kasutatakse süsteemi toimimise tähistamiseks
- Süsteemi olek: kirjeldatakse koha sõlmede markeeringuga (märkide arv igas sõlmes)

Petri võrgud (2)

- Süsteemi dünaamiline areng on määratletud üleminekute käivitumisega
  - Üleminek võib käivituda kui kõik sellele eelnevad koha sõlmed on märgitud
  - Ülemineku käivitumisel likvideeritakse iga eelneva koha sõlme märgistus ja märgitakse kõik järgnevad sõlmed

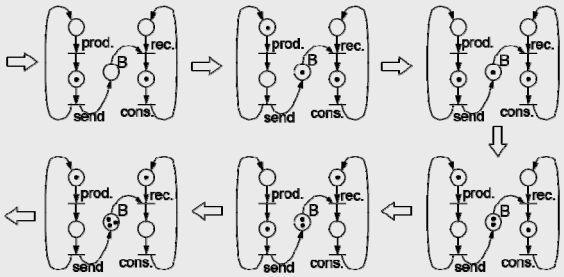
Petri võrgud näide

- Genereeriv ja vastuvõttev protsess suhtlevad läbi puhvri



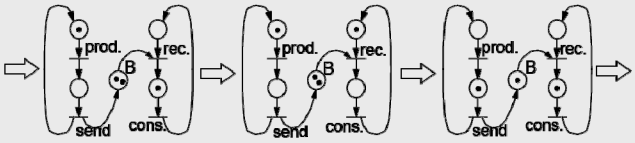
Petri võrgud näide (2)

- Näite jätk...



Petri võrgud näide (3)

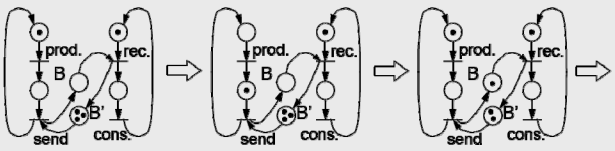
- Näite jätk...



- NB! Puhvri suurus on lõpmatu (märgid võivad sõlmes B koguneda)

Petri võrgud näide (4)

- Sama näide, aga limiteeritud puhvriga. Puhvri suurus (esialgne märkide arv B'-is) on kolm



- Märkide koguarv B-s ja B'-s on konstantne

Petri võrkude tunnused ja kasutus

- Petri võrgud on intuitiivsed ja mitteinterpreteeritud mudel
- On palju kasutatud nii infosüsteemide arendamisel, kui ka arvutiarhitektuuride, operatsioonisüsteemide, hajussüsteemide ja riistvarasüsteemide loomisel

Petri võrkude omadused

- Saab kontrollide mitmeid süsteemi omadusi:
  - Piiratus (*Boundness*) – saab kontrollida, et etteantud ressursid ei oleks ületatud. Tokenite arv teatud kohas. Kui piirang on 1, siis seda kutsutakse vahel ka ohutuseks (safeness)
  - Elus olemine (*Liveness*) – Et vältida deadlock'e. Üleminek on elus, kui iga võimaliku märgistuse puhul on võimalik selle ülemineku aktiveerumine
  - Saavutatavus (*Reachability*) – Et jõutakse vajalikku olekusse või et mõnda olekusse kunagi ei jõutaks. Kas on võimalik liikuda ühest märgistusest teise?
- Spetsiaalsed matemaatilised töövahendid. Formaalne verifitseerimine.

Petri võrkude omadused (2)

- Petri võrgud on asünkroonselt samaaegsed
  - Sündmused võivad toimuda igal ajal
  - On olemas sündmuste osaline järjestus
- Laiendused:
  - Ajalised Petri võrgud (aja aspektide modelleerimiseks)
    - Ülekannetega on seotud ajad (aja intervallid)
    - Märgid kannavad ajamärgistust
  - Värvitud Petri võrgud
    - Märkidel on väärtused
    - Ülekannetega on seotud funktsioonid
- Petri võrke saab simuleerida, et süsteemi verifitseerida ja hinnata suutlikust

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Arvutitehnika instituut ati.ttu.ee

Discrete Event Models

DEM

- Süsteem on protsesside kogum, mis reageerib sündmustele
- Iga sündmusega on seotud ajatempel, mis näitab selle sündmuse toimumise aega
- Ajatemplid on täielikult reastatud
- Diskreetne sündmusesimulaator peab globaalset sündmuste järjekorda, mis on sorteeritud ajatemplite põhiselt. Simulaator defineerib ka globaalse ühtse aja
- Mudelid on asünkroonsed ja samaaegsed
- Näiteks: VHDL, Verilog

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Arvutitehnika instituut ati.ttu.ee

C, SystemC, Java, ...

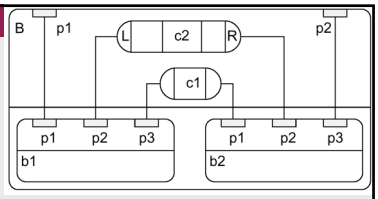
C kasutamine sardsüsteemide loomisel

- Motivatsioon
  - Paljud standardid (näiteks GSM, MPEG) on publitseeritud C programmidena
    - Riistvara kirjelduskeele (näiteks VHDL) kasutamiseks peaks standardeid hakkama "tõlkima"
  - Paljude süsteemide funktsionaalsus eeldab nii riistvara kui ka tarkvara
    - Simuleerimine nõuaks vastavaid liideseid, kui just sama keelt ei kasutata
  - On proovitud kirjeldada riistvara ja tarkvara, lähtudes samast keelest. See ei olegi nii lihtne → Erinevad C dialektid riistvara kirjeldamiseks

C/C++ puudused

- C/C++ ei ole loodud riistvara disainiks
- C/C++ ei toeta:
  - Riistvara stiilis kommunikatsiooni – signaalid, protokollid
  - Aja mõistet – taktsignaal, operatsioonide ajaline järjestus
  - Kattuvus – Riistvara töötab paralleelselt
  - Reaktiivsus – Riistvara reageerib välistele andmetele, suhtleb keskkonnaga
  - Riistvaralised andmetüübid – bit, mitmeväärtuseline loogika
- Silumise käigus on ligipääs riistvarale keeruline

SpecC



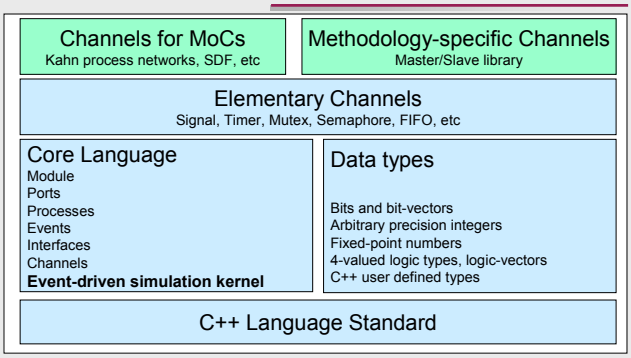

```
interface L {void Write(int x);};
interface R {int Read (void);};
channel C implements L,R
 { int Data; bool Valid;
   void Write(int x)  {Data=x; Valid=true;}
   int Read(void) {while (!Valid) waitfor(10); return (Data);}
 };
behavior B1 (in int p1, L p2, in int p3)
  {void main(void)    {/*...*/ p2.Write(p1);} };
behavior B2 (out int p1, R p2, out int p3)
  {void main(void)   {/*...*/ p3=p2.Read();   } };
behavior B(in int p1, out int p2)
 { int c1; C c2; B1 b1(p1,c2,c1); B2 b2 (c1,c2,p2);
   void main (void)
    {par {b1.main();b2.main();}}
  };
```


* Good to know VHDL ☺

SystemC

- Requirements, solutions for modeling HW in a SW language:
  - C++ class library including required functions.
  - Concurrency: via processes, controlled by sensivity lists* and calls to wait primitives.
  - Time: Floating point numbers in SystemC 1.0. Integer values in SystemC 2.0; Includes units such as ps, ns, µs etc*.
  - Support of bit-datatypes: bitvectors of different lengths; 2- and 4-valued logic; built-in resolution*)
  - Communication: plug-and-play (pnp) channel model, allowing easy replacement of intellectual property (IP)
  - Deterministic behavior not guaranteed.

SystemC arhitektuur



Veel keeli...

- Sequence diagrams
- UML
- Java
- Pearl
- Chill
- Estelle
- Silage
- Esterel
- Matlab
- Simulink
- StateFlow
- Lotos, Z

Kokkuvõtteks

- Disaini võib vaadelda kui järjestike täpsustavate sammude kogumit, mis viib spetsifikatsioonist implementatsioonini
- Spetsifikatsioone kirjeldatakse spetsifikatsioonikeeltes
- Me tahaksime, et spetsifikatsioonikeelel oleks hästi defineeritud semantika
- Süsteemide kirjeldamiseks kasutatavate keelte semantika põhineb arvutusmudelitel

Kokkuvõtteks (2)

- ✓ Põhiküsimuste, nagu: "Kui keeruline on mudeli kirjeldamine?" ja "Mida me saame spetsifitseeritud mudeliga teha?" vastused on sõltuvad valitud arvutusmudelist
- ✓ Põhiline kompromiss tuleb teha väljendusvõimuse, formaalsete järelduste ning sünteesivõime vahel
- ✓ Põhilised aspektid, millest me olime huvitunud: kattuvus, kommunikatsioon ja sünkronisatsioon, aeg ja hierarhia

Järgnevad loengud

- ✓ Sardsüsteemide riistvara
  - Reaalaja komponent
- ✓ Võimsus- ja energiatarbe optimeerimine
- ✓ Test ja verifitseerimine

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Arvutitehnika instituut ati.ttu.ee

Küsimusi?

Gert Jervan
www.pld.ttu.ee/~gerje

Tallinna Tehnikaülikool
Arvutitehnika instituut