

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Arvutitehnika instituut
ati.ttu.ee

Sardsüsteemid (Embedded Systems)

I Loeng

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



Graphics: © Alexander Nohr, Gernot Marwedel, 2003

© Gert Jervan Arvutid II – Sardsüsteemid – Loeng 1

Kirjandus

- ✓ Soovitav lugemine:
Embedded System Design, Peter Marwedel,
Springer, 2006
<http://ls12-www.cs.tu-dortmund.de/~marwedel/es-book/>
- ✓ Wayne Wolf: Computers as Components.
Principles of Embedded Computing System
Design. Morgan Kaufmann/Elsevier
Publishers, 2005.

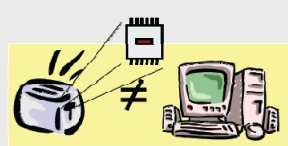
TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

2

© Gert Jervan Arvutid II – Sardsüsteemid – Loeng 1

Arvutitehniline perspektiiv

- ✓ Arvuti, mis ei paista väljastpoolt välja nagu arvuti
- ✓ Suhtleb välise maailmaga
- ✓ Primitiivne kasutajaliides või puudub see täiesti
- ✓ Osa suuremast süsteemist



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

3

© Gert Jervan Arvutid II – Sardsüsteemid – Loeng 1

Elektronika perspektiiv

- ✓ Toode, mis sisaldab programmeeritavat protsessorit
- ✓ Tarkvara on toote loomise lahutamatu koostisosa



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY


4

© Gert Jervan Arvutid II – Sardsüsteemid – Loeng 1

Sardsüsteemide levik

Üldkasutatavad arvutid
(ca 300 mln. protsessorit)

Sardsüsteemid
(ca 9000 mln. protsessorit)



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

5

© Gert Jervan Arvutid II – Sardsüsteemid – Loeng 1

Sardsüsteemid

„Dortmund“ Definition:
Information processing systems embedded into a larger product

Main reason for buying is **not** information processing

Berkeley Model [Ed Lee]:
Embedded software is software integrated with **physical** processes. The technical problem is managing **time** and **concurrency** in computational systems.

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

6

Sardsüsteemide tähtsus (1)

- ✓ Sardüsteemid osatähtsus (nii meie igapäevases elus kui ka rahalises mõttes) kasvab VÄGA kiiresti:
 - Gartner Dataquest andmetel müüdi maailmas 2004 II kvartalis 156,4 mln. mobiiltelefoni, 35% kasv võrreldes 2003 II kv. [www.itfacts.biz]
 - 4 miljardit mobiiltelefoni kasutajat aastal 2011, igaaastane müük: 1 miljard [Norchip 2007]
 - MP3 mängijate turg on alates 2003. a. arenenud plahvatuslikult, kasvades 12,5 mln. ühikult (2003) 50 mln. ühikuni [www.itfacts.biz]



Sardsüsteemide tähtsus (2)

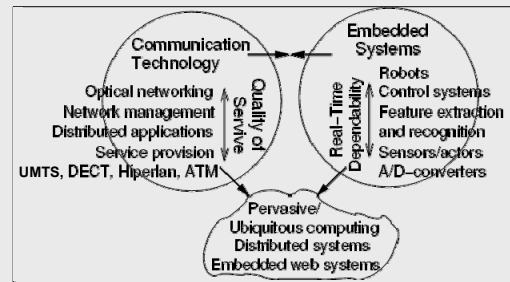
- Püsiühenduste arv on kasvanud 5 mln. kliendilt (1999) 215 miljoni kliendini (2005). Aastaks 2011 ennustatakse 536 mln. klienti [www.itfacts.biz]
- Tänapäev USA DVRi (digital video recorders) kasutajaskond - 5% majapidamistest - kasvab lähima viie aasta jooksul 41%. [www.itfacts.biz]
- Euroopas on autotööstusega otseselt seotud rohkem kui 4 mln. inimest, kuid kaudselt rohkem kui 8 mln. Kokku annab nimetatud sektor 7% EU GNPst. [OMI bulletin]

Sardsüsteemide tähtsus (3)

- .. kuid sardkiibid moodustavad meie igapäevase elektroonikat täis elu selgroo ... neid on sisuliselt kõikjal, kus kasutatakse elektrit. [Mary Ryan, EEDesign, 1995]
- 79% kõikidest suure võimsusega protsessorites on kasutusel sardsüsteemides
- Tulevik on "embedded", "Embedded" on tulevik!

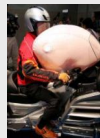
Sardsüsteemid ja lausandmetöötlus

- ✓ Lausandmetöötlus: Informatsioon, mis on kõikjal ja alati.
- ✓ Sardüsteemid on põhiline tehnoloogia.



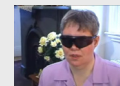
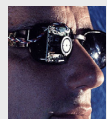
Rakendusvaldkonnad (1)

- Autode elektroonika
- Lennundus
- Rongid
- Telekom



Rakendusvaldkonnad (2)


- ✓ Meditsiinisüsteemid. Näiteks:
 - Kunstlik nägemine: erinevad lähenemised, nagu näiteks:
 - Kaamera, mis on kinnitatud prillide külge; arvuti on kinnitatud vöö külge; signaalid saadetakse otse aju, William Dobbelle teedrajav töö.
 - Häälede tõlkimine; [http://www.seeingwithsound.com/etumble.htm]



© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Sammulugeja

- ✓ Tavaline arvutustöö:
 - Sammude lugemine
 - Aja arvestamine
 - Keskliste arvutamine
 - jne.
- ✓ Tõsine arvutustöö:
 - Sammude identifitseerimine
 - Sensor tunnetab seadme liikumist, mitte jalgade tööd



© Jakob Engblom

TALLINNA TEHNIAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

19

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Mobiiltelefonid

- ✓ Multiprotsessor
 - 8-bit/32-bit kasutajaliidesele
 - DSP raadio osale
 - 32-bit IR liidesele
 - 32-bit Bluetoothile
 - 10-200 MHz CPU
- ✓ 8-100 MB mälu (N95 – 8GB)
- ✓ Individualiseeritud kiibid
- ✓ Võimustarve & aku eluiga sõltuvad ennekõike tarkvarast



© Jakob Engblom

TALLINNA TEHNIAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

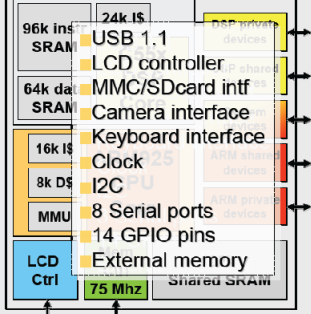
20

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Mobiiltelefonid: TI OMAP 5910

<http://focus.ti.com/docs/prod/folders/print/omap5910.html>

- ✓ Kahetuumaline HW/SW platvorm mobiiltelefonidele
 - ARM925T 150 MHz
 - TI C55 DSP 150 MHz
 - Võimsustarve: 230 mW
- ✓ Kasutavad Nokia, Sony-Ericsoni jpt.
- ✓ Analogiid:
 - Motorola
 - Infineon



© Jakob Engblom

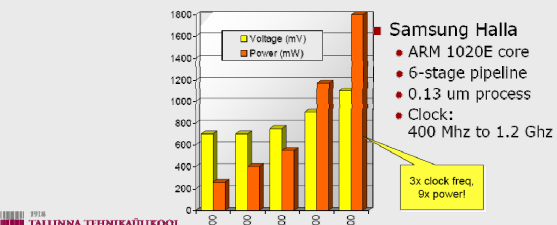
TALLINNA TEHNIAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

21

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Kiirus ja võimsustarve

- ✓ Taktsagedus ja pingeline on omavahel sõltuvuses
 - Kõrgem sagedus nõuab kõrgemat pinget
- ✓ 1/2 kiirusest = 1/4 võimsustarvet



■ Samsung Halla
 ● ARM 1020E core
 ● 6-stage pipeline
 ● 0.13 um process
 ● Clock: 400 Mhz to 1.2 Ghz

3x clock freq. 9x power!

(source: Microprocessor Report, Oct 16, 2002)

© Jakob Engblom


TALLINNA TEHNIAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

22

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Mobiilside tugijaamad

- ✓ Massiivne signaalitöötlus
 - Mitmeid tegumeid iga ühenduses oleva mobiiltelefoni kohta
- ✓ Põhinevad DSP-del
 - Standardsed või individualiseeritud
 - Sadu protsessoreid



© Jakob Engblom

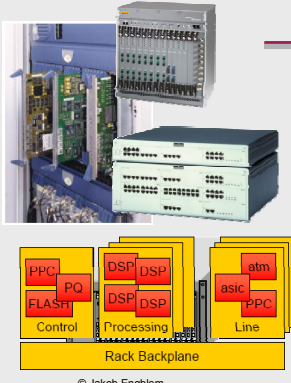
TALLINNA TEHNIAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

23

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Switchid

- ✓ Racki põhised
 - 12-20 kaarti, mitmeid riuleid, 100 CPUid
 - Juhtimine, IO, DSP
- ✓ Kontroll ja andmed
 - Kontroll: üldisem
 - Andmed: DSP & ASIC
- ✓ Optilised ja vasespõhised ühendid
- ✓ Digitaal- & analoogsignaaliid
- ✓ Liasus (võimus, HW)



© Jakob Engblom

TALLINNA TEHNIAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

24

Targad keevitusaparaadid

- ✓ Elektroonika kontrollib pinget ja traadi etteandmist
- ✓ Kohandub operaatoriga
 - andmete lugemine kHz sagedusel
 - 1000-id otsuseid/sekundis
- ✓ Ideaalne keevitus isegi viletsa operaatori korral
- ✓ Lihtsustatud kasutamisega toode, kuigi ei tundu olevat seotud arvutitega...



© Jakob Engblom

25

Õmblusmasin

- ✓ Kasutajaliides
 - Tikkimismustrid
 - Puutetundlik ekraan
- ✓ "Tark"
 - Avaldab õiget survet
 - Vabastab riide operatsiooni lõppemisel
- ✓ Uusi funktsioone lisatakse läbi tarkvara uuenduste



© Jakob Engblom

26

Harvesterid

- ✓ Võrku ühendatud arvutisüsteem
 - Haaratsite ja töövahendite kontroll
 - Navigeerimine metsas
 - Raamatupidamine metsa ülestöötamise kohta
 - Oluline efektiivseks tööks
- ✓ Protsessorid
 - 16-bitised protsessorid, ühendatuna CAN võrku
- ✓ Ekstreemsed tingimused



© Jakob Engblom

27

C167CS

- ✓ Infineon
- ✓ Spetsiaalselt autotööstusele
- ✓ Protsessor
 - 16-bit C16X tuum
 - 4-osaline lihtne konveier
 - 40 MHz
 - 16 MB mälu
- ✓ 144 väljaviiguga korpus
 - Kannatab -40 ... +125 °C
- ✓ Ca 25 USD

Devices	
CAN 2.0b controllers	2
General-Purpose Timers (GPT)	5
Watch-Dog Timer (WDT)	1
Pulse-Width Modulator (PWM)	1
Analog-Digital Converter Channels	24-8
USART	1
Synchronous Serial Comms (SSC)	1
Capture/Compare Channels	2x16
External Ports	
CAN interfaces	2
8-bit ports from devices	8
16-bit ports from devices	1
Memory	
ROM	32 kB
Fast General Internal RAM (IRAM)	3 kB
Extension Internal RAM (XRAM)	8 kB

28

Operaatori paneel

- ✓ Embedded PC
 - Graafiline ekraan
 - Puutetundlik ekraan
 - Joystick
 - Nupud
 - Klaviatuur
- ✓ Kuid piisavalt keeruline, et "ära eksida"

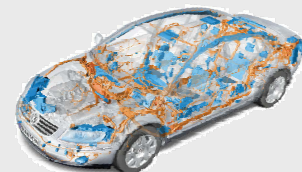


© Jakob Engblom

29

Autod

- ✓ Erinevad funktsioonid
 - ABS: Anti-lock braking systems
 - ESP: Electronic stability control
 - Turvapadjad
 - Automaatkäigukast
 - Immobiliser
 - Surnud nurga hoiatussüsteem
 - ... jne ...
- ✓ Mitmed võrgud
 - Kere, mootor, telemetria, meedia, ohutus
- ✓ Mitmed protsessorid
 - Kuni 100
 - Ühendatud võrku



30

Autod

- ✓ Väga erinevad protsessorid:
 - 8-bit – uksekud, tuled, jne.
 - 16-bit – enamus funktsioone
 - 32-bit – mootori kontroll, turvapadjad
- ✓ Uued vajadused:
 - Töötlemine seal, kus tegevus toimub
 - Sensorid ja aktuaatorid on hajutatud üle sõiduki

© Jakob Engblom

31

Ülisuured süsteemid

- ✓ Funktsioonid, mis nõuavad arvuteid:
 - Radar
 - Relvasüsteemid
 - Kahjustuste kontroll
 - Navigatsioon
 - sisuliselt kõik
- ✓ Arvutid:
 - Suured serverid
 - Tuhandeid protsessoreid



© Jakob Engblom

32

Sinu PC

- ✓ Eriprotsessorid
 - Graafika, häälekaart
- ✓ 32-bit protsessorid
 - IR, Bluetooth
 - Võrk, WLAN
 - Kõvaketas
 - RAID kontrollid
- ✓ 8-bit protsessorid
 - USB
 - Hiir, klaviatuur

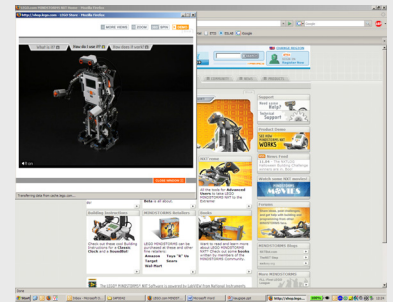


© Jakob Engblom

33

Võimalus ise katsetada

- ✓ Lego mindstorms robotics kit
 - Standartne kontroll
 - 8-bit protsessor
 - 64 kB mälu
 - Mootorite ja sensorite elektrooniline kontroll
- ✓ Hea moodus sardüsteemide õppimiseks



© Jakob Engblom

34

1918
 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
 TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Arvutitehnika instituut
 ati.ttu.ee







Sardüsteemide iseloomustus

Sardüsteemide üldiseloomustus (1)

- Peab olema usaldusväärne (**dependable**),
 - **Töökindlus (Reliability) $R(t)$** = tõenäosus, et süsteem töötab korralikult kui ta töötas ajahetkel $t=0$
 - **Remonditavus (Maintainability) $M(d)$** = tõenäosus, et süsteem töötab taas korralikult d ajaühikut peale vea esinemist.
 - **Töövalmidus (Availability) $A(t)$** : Tõenäosus, et süsteem töötab ajahetkel t
 - **Ohutus (Safety)**: Süsteem ei põhjusta kahju.
 - **Turvalisus (Security)**: Konfidentsiaalne ja usaldatav kommunikatsioon
- Isegi ideaalselt loodud süsteemid võivad läbi kukkuda, kui eeldused süsteemi töökoormuse võimalike vigade kohta on valed. Süsteeme ei saa teha usaldusväärseks tagantjäre, vaid sellega tuleb arvestada süsteemi loomise algusest alates.

36

Sardsüsteemide üldiseloostus (2)

- Peavad olema efektiivsed
 - Energiaefektiivsus 
 - Koodi efektiivsus (eriti kiipsüsteemide puhul) 
 - Töö efektiivsus 
 - Dimensiooniline efektiivsus 
 - Maksumuse efektiivsus 
- Loodud mingi spetsiifilise ülesande jaoks. Teadmine süsteemi käitumisest süsteemi loomise ajal aitab vähendada süsteemi loomisele kuluvaid ressursse ning suurendada stabiilsust
- Spetsiaalne kasutajaliides (mitte aga hiir, klaviatuur ja ekraan) 

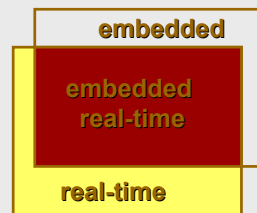
Sardsüsteemide üldiseloostus (3)

- Mitmed sardsüsteemid peavad vastama reaalaraja nõudmistele
 - Reaalaraja süsteem peab reageerima välistele stiimulitele mingi keskkonna poolt etteantud ajaühiku jooksul
 - Reaalajasüsteemides on õiged vastused, mis hilinevad, valed vastused.
 - „Reaalaraja piirangut nimetatakse tugevaks, kui selle mitte saavutamine viib katastroofini“ [Kopetz, 1997].
 - Kõiki ülejäänud reaalaraja piiranguid nimetatakse pehmeteks.


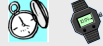
Reaalaraja süsteemid

✓ Kas reaalaraja ja sardsüsteemid on sünonüümid?

- Enamus sardsüsteeme on reaalarajasüsteemid
- Enamus reaalarajasüsteeme on sardsüsteemid






Sardsüsteemide üldiseloostus (4)

- Tihti ühendatud välismaailmaga läbi sensorite ja täiturite 
- Hübriidsüsteemid (analoog + digitaal) 
- Tüüpilised sardsüsteemid on reageerivad süsteemid: „Reageeriv süsteem on see, mis pidevalt suhtleb oma keskkonnaga ja töötab keskkonna poolt dikteeritud tempoga“ [Bergé, 1995] Käitumine sõltub sisenditest ja praegusest olekust. ☞ sobivad automaadi mudelid.

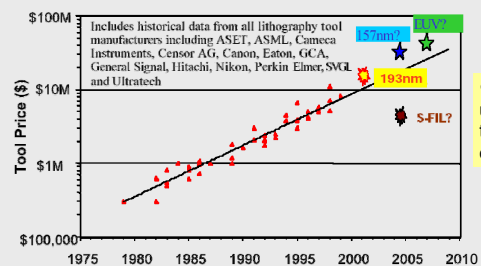
Erinevad väljakutsed

✓ Usaldusväärsus? 

- Tavaliste protokollide kasutamine reaalarajasüsteemides (Berliini tuletõrje ja Y2K) 
- Mudelite liigne lihtsustamine (TCAS) 
- Mitte-ohutuskriitiliste rakenduste kasutamine ohutuskriitilistes süsteemides (Los Angelese piirkonna lennujuhtimissüsteem; ~ 800 lennukit ilma lennujuhita > 3 tunni) 

Riistvara väljakutsed

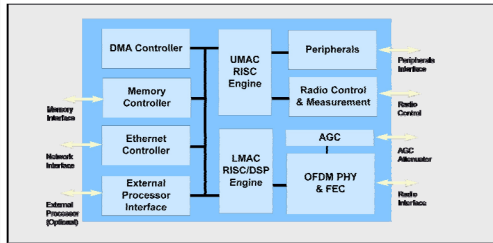
- Paindlikkuse puudumine (muutuvad standardid)
- Maskide ülikõrge maksumus



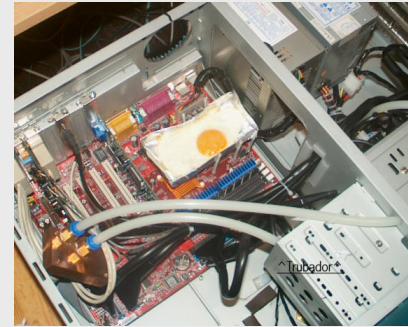
☞ Suund on üha suuremale tarkvara osatähtsusele

Integratsioon

- ✓ Üks kiip: CPU, mälu, perifeeria, ...: System-on-Chip (SoC)



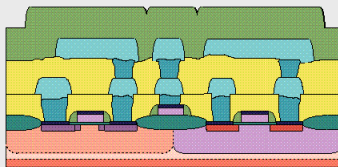
Kuid...



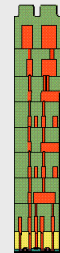
Tehnoloogia skaleerumine

Täna: 65 nm, väheneb
22 nm aastaks 2016

Joonistatud samas skaalas



1.0 µm
1980 keskpaik
Kiirus: 10 MHz

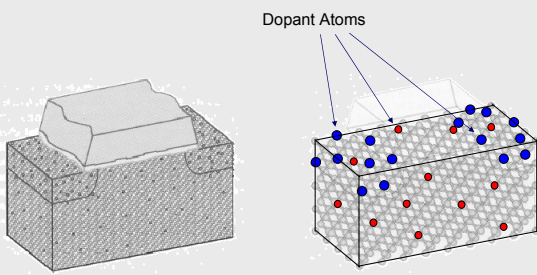


0.1 µm
2000 algus
Kiirus: 3 GHz

Tehnoloogia skaleerumise eelised

- ✓ 30% dimensionaalne vähenemine:
 - Loogikalülituse viide väheneb 30% (töösagedus tõuseb 43%)
 - Kahekordistub transistoride tihedus
 - Ühe sirde energia väheneb 65% (50% võimustarbe vähenemine 43% kiiruse tõusu juures)

Tehnoloogia skaleerumine

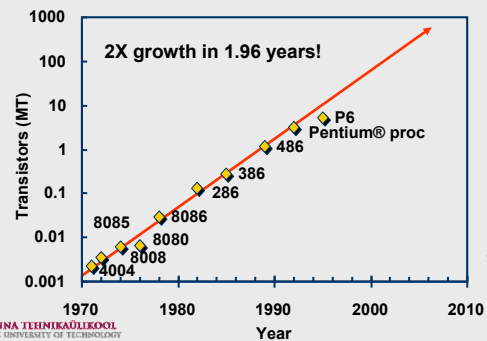


20 nm MOSFET (2015?)
50 Si atoms along the channel

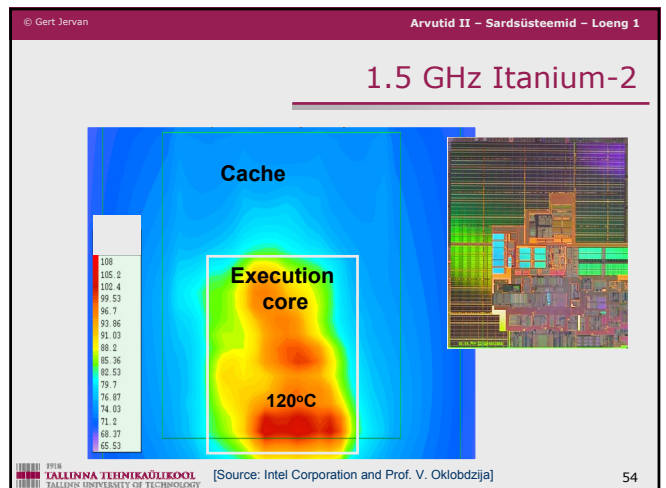
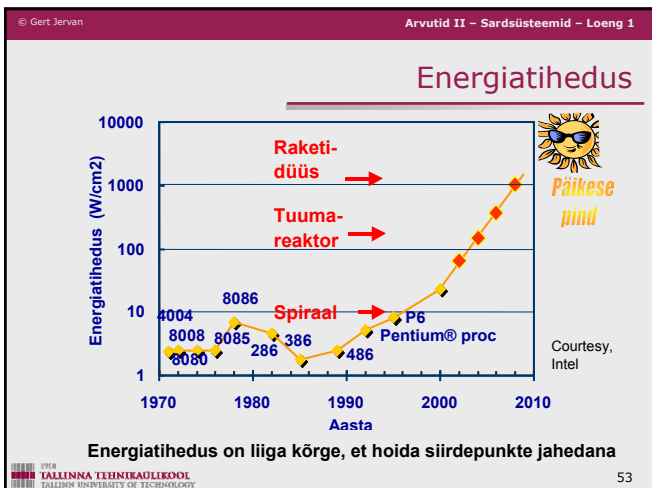
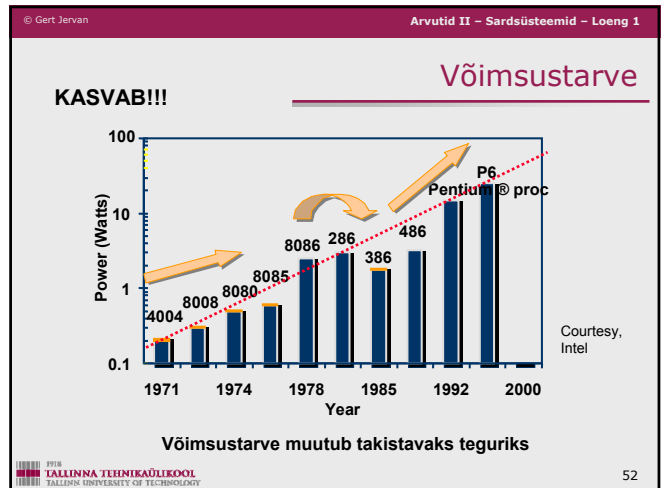
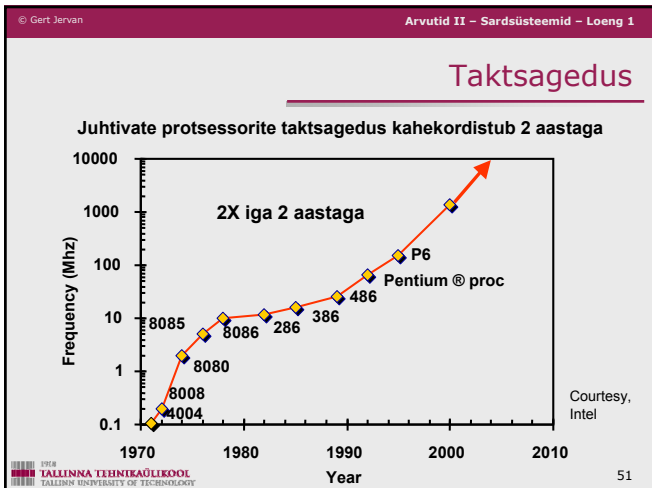
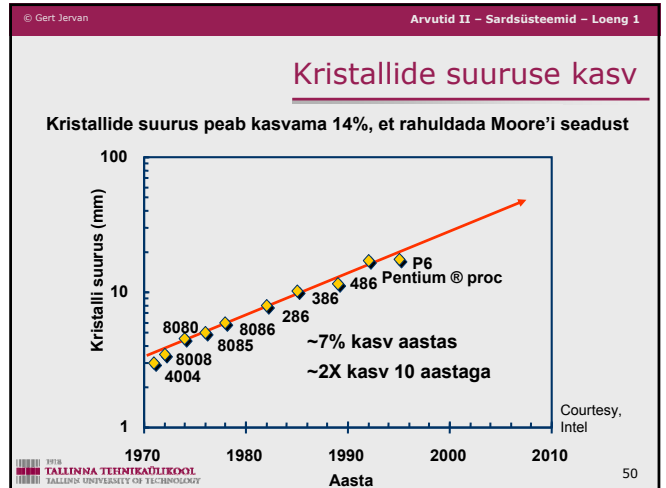
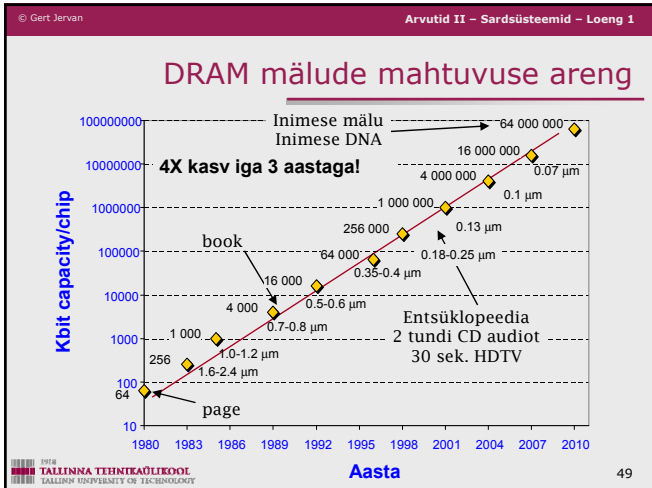
4 nm MOSFET (2020?)
10 Si atoms along the channel

Moore'i seadus

Transistoride arv juhtivates mikroprotsessorites kahekordistub iga 2 aastaga



Courtesy, Intel



© Gert Jervan Arvutitehnika instituut ati.ttu.ee

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Tarkvara

Tallinna Tehnikaülikool
Arvutitehnika instituut

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Sardtarkvara ja sardprotsessorite tähtsus

“... New York Timesi hinnangul puutub keskmine ameeriklane ühe päeva jooksul kokku ca 60 mikroprotsessoriga...”
[Camposano, 1996]

Enamus funktsionaalsusest realiseeritakse tarkvaras



Viimased BMW, Volvo, MB, VW jt mudelid sisaldavad üle 100 mikroprotsessori

56

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Sardtarkvara

- ✓ Tarkvara on väga oluline
 - Annab tootele olemuse
 - Sama platvormi pealt erinevate toodete loomine
 - Võib muuta väga hilise hetkeni
 - Mitmed tootjad kasutavad sama riistvara
 - Protsessorid on odavamad kui ASICud
 - Riistvara loomine on väga kallis!

57

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Protsessorid

- ✓ 4, 8, 16, 32, 64-bit...
- ✓ Digital Signal Processors (DSP)
- ✓ 50% pooljuhtide tööstuse tulust on protsessorite tootmises
- ✓ 30% kogu turust on 32 bitised
- ✓ 15% kogu turust on PC CPUd (Intel & AMD)


Bitness	Kogus (%)	Raha (%)
DSP	~5%	~5%
4-bit	~10%	~5%
8-bit	~45%	~10%
16-bit	~15%	~20%
32-bit	~25%	~60%

58

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Tarkvara väljakutsed

Kui enamus funktsionaalsust realiseeritakse tarkvaras, siis miks me ei rahuldu sellega, mida tarkvara loojad teevad?




59

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1


Tarkvara keerukus on samuti väljakutse

- Eksponentsiaalne keerukuse kasv
- Mõningates valdkondades koodi suurus kahekordistub 9 kuuga [ST Microelectronics, Medea Workshop, Sügis 2003]
- ... > 70% keerukate süsteemide (autode elektroonika, kommunikatsioonisüsteemid) arenduskuludest moodustavad kulutused tarkvara arendusele [A. Sangiovanni-Vincentelli, 1999]



1965: 1 kB
1979: 1 kB
1990: 64 kB
2000: 2 MB

Rob van Ommering, COPA Tutorial, as cited by Gerrit Müller: Opportunities and challenges in embedded systems, Eindhoven Embedded Systems Institute, 2004



60

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Sardtarkvara väljakutsed

- Dünaamilised keskkonnad
- Ettenähtud funktsionaalsuse hõivamine!
- Valideeri spetsifikatsioon!
- Efektivne implementeerimine
- Kuidas tagada reaalaaja nõudmised?
- Kuidas valideerida reaalaaja sardtarkvara? (suured andmemahud, testimine võib olla ohutus-kriitiline)

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

61

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Arvutitehnika instituut
ati.ttu.ee

Süsteemid

Tallinna Tehnikaülikool
Arvutitehnika instituut

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Süsteemide areng

Algorithm on a Chip	Hardwired Computation Hardwired Communication
System on a Chip	Programmable Computation Hardwired Communication
Network on a Chip	Programmable Computation Programmable Communication

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

63

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Algorithm on a Chip

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

64

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Süsteemide areng

Algorithm on a Chip	Hardwired Computation Hardwired Communication
System on a Chip	Programmable Computation Hardwired Communication
Network on a Chip	Programmable Computation Programmable Communication

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

65

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Tänapäev

✓ System on a Chip (SoC)

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Süsteemide areng

Algorithm on a Chip

Hardwired Computation

Hardwired Communication

System on a Chip

Programmable Computation

Hardwired Communication

Network on a Chip

Programmable Computation

Programmable Communication

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY 67

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Network on a Chip - Kiipvõrk

The diagram illustrates a Network on a Chip (NoC) architecture. It features a grid of yellow squares representing resources, connected by a network of lines representing buses. A central resource is highlighted with a dashed circle. Labels include: RNI (Resource Network Interface), Resource, Switch, Juhtmed (Buses), Ressursid (Resources), Computational RF / Analog, Processor cores, Hardware blocks, FPGAs, and Storage.

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY 68

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

NoCi näide

Intel 80-core-teraflops research chip

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY 69

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Mõjutused disainile

- ✓ Disainid muutuvad **regulaarseteks**
- ✓ Sisemine kommunikatsioon on regulaarne ja skaleeritav
- ✓ Disainide efektiivsuse mõiste muutub
 - Transistoride tiheduse asemel tasakaal

kuid...

- ✓ Taoliste sub-nanometer disainide **defektivaba** tootmine on sisuliselt võimatu (kvaliteet on olematu)
- ✓ Üha suurem osatähtsus ajutistel ja perioodilistel riketel (tänu keskkonnale)

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY 70

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Ajutised (transient) rikked

- Möjuvad lühikese aja jooksul
- **Rikuvad andmeid, põhjustavad vigu loogikalülitustes**
- Ei tekita püsivaid rikkeid
- Põhused on väljaspool süsteemi

Radiatsioon

Äikesetormid

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY 71

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Perioodilised (intermittent) rikked

- Avalduvad sarnaselt ajutiste riketega
- Toimivad korduvalt
- Põhused on süsteemi sees

Toiteallika häired

Crosstalk

Tarkvara rikked (Heisenbugs)

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY 72

1918
TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Arvutitehnika instituut
ati.ttu.ee

Disainivoog ja selle muutused

Tallinna Tehnikaülikool
Arvutitehnika instituut

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Disainivoog

- ✓ Arhitektuuri valik
- ✓ Ressursside sidumine (mapping)
- ✓ Planeerimine (scheduling)
- ✓ Palju simuleerimist ja emuleerimist
- ✓ Design space exploration

74

Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Disainivoog (2)

- ✓ Riistvara/tarkvara koosdisain
 - Partitsioneerimine
- ✓ Tarkvara genereerimine
- ✓ Riistvara süntees
- ✓ Integreerimine
- ✓ Prototüüpimine

75

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Spetsifikatsioonid ja implementatsioonid

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

76

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

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!

77

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

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)

78

Süsteemide spetsifitseerimine

- ✓ Mida me tahame sardsüsteemi spetsifikatsiooniga peale hakata?
- 1. Valideerida süsteemi kirjeldust, et kontrollida, kas funktsionaalsus vastab soovitud ja et vajadused on kirjeldatud korrektset. Selleks kasutatakse:
 - Formaalselt verifitseerimist
 - Simuleerimist
- 2. Et sünteesida efektiivseid rakendusi

Arvutusmudelid (Models of Computation)

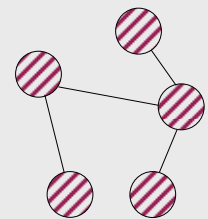
Tallinna Tehnikaülikool
Arvutitehnika instituut

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 monoliitset mooduleid (tihti kutsutakse neid protsessideks – *processes* või ülesanneteks – *tasks*), mis suhtlevad omavahel ja ümbruskonnaga
 - Arvutusmudel defineerib nende moodulite käitumise ning omavahelise suhtlemise

Arvutusmudelid (2)

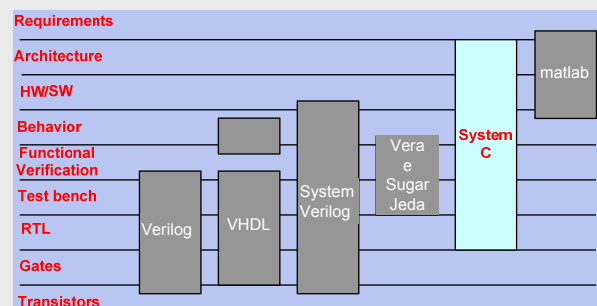
- ✓ Arvutusmudelid esitavad:
 - Kuidas iga moodul (protsess või ülesanne) teostab oma sisemisi arvutusi
 - Kuidas moodulid vahetavad omavahel informatsiooni
 - Kuidas nad seostuvad omavahel kattuvuse mõistes
- ✓ Mõningad arvutusmudelid ei kajasta moodulite sisemust, vaid üksnes nende suhtlemist ja kattuvust



Tüüpilised arvutusmudelid

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

Keeled ja abstraktsioonitasemed



© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Keelte võrdlus

Communication/ local computations	Shared memory	Message passing	
		Synchronous	Asynchronous
Communicating finite state machines	StateCharts		SDL
Data flow model	Not useful		Kahn process networks
Von Neumann model	C, C++, Java	C, C++, Java with libraries CSP, ADA	
Discrete event (DE) model	VHDL, Verilog, SystemC	Only experimental systems, e.g. distributed DE in Ptolemy	

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY 85

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Keelde võrdlus

Language	Behavioral Hierarchy	Structural Hierarchy	Programming Language Elements	Exceptions Supported	Dynamic Process Creation
StateCharts	+	-	-	+	-
VHDL	+	+	+	-	-
SpecCharts	+	-	+	+	-
SDL	+	+	+	-	+
Petri nets	-	-	-	-	+
Java	+	-	+	+	+
SpecC	+	+	+	+	+
SystemC	+	+	+	-(2.0)	-(2.0)
ADA	+	-	+	+	+

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY 86

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Keelte kasutamine praktikas

Erinevad lähenemised:

```

graph TD
    UML["(RT-) UML or equivalent"] --> SDL
    UML --> RTJava["(RT-) Java"]
    SDL --> C["C-programs"]
    C --> Assembly["Assembly programs"]
    Assembly --> Objectcode1["Objectcode"]
    RTJava --> RTJavaBox["(RT-) Java"]
    RTJavaBox --> Objectcode2["Objectcode"]
    VHDL --> Netlist["Net list"]
    Netlist --> Hardware["hardware"]
    VHDL -.-> RTJavaBox
  
```

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY 87

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Milline modelleerimissuund valida?

- ✓ Kõik sõltub loodavast süsteemist
 - Kas domineerib andmevoog (nagu näiteks DSPdes) või on tegemist kontrollile orienteeritud süsteemidega (reaktiivsed süsteemid)?
 - Sünkroonne või asünkroonne? Tsentraliseeritud või hajutatud?
 - Kui suur?
 - Milline on suhe aega?
 - ...
- ✓ Mida sa tahad mudeliga teha?
 - Simuleerimine
 - Formaalne verifitseerimine
 - Automaatne süntees
 - ...
- ✓ Millised tööriistad on kättesaadavad ja mis sulle (või su bossile) sobivad

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY 88

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Arvutitehnika instituut
ati.ttu.ee

Arhitektuurid ja platvormid

Tallinna Tehnikaülikool
Arvutitehnika instituut

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

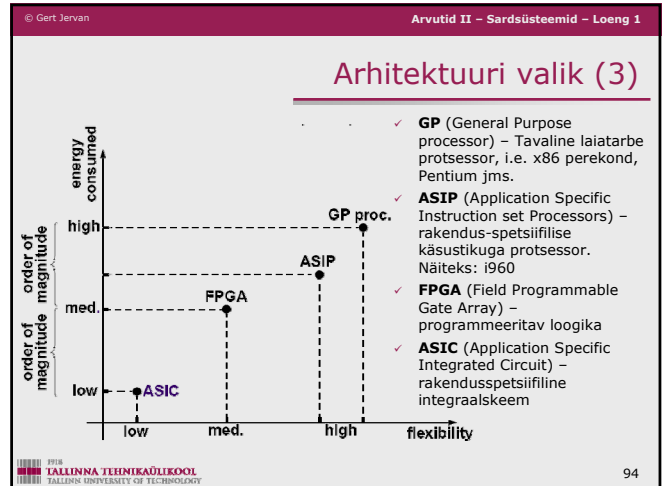
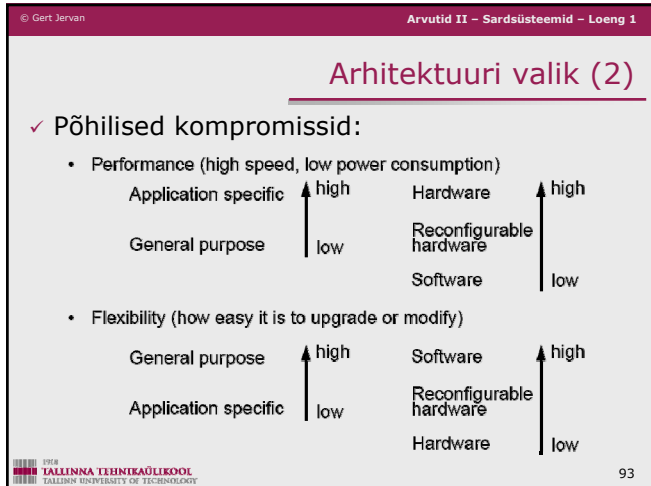
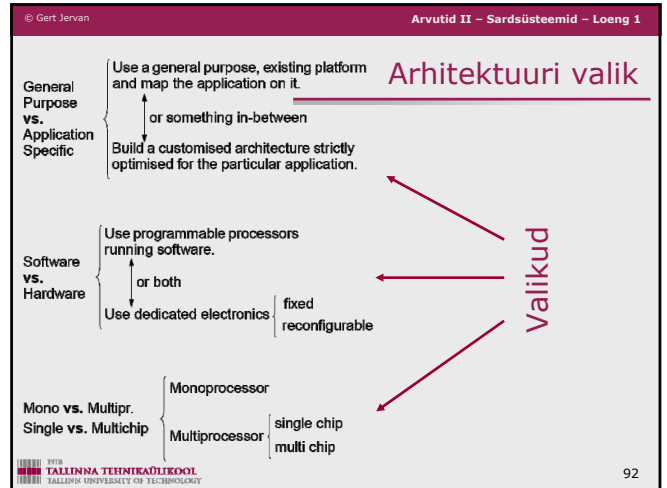
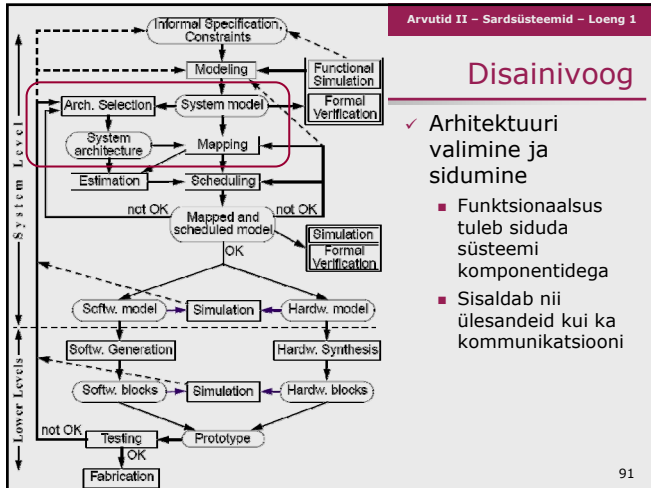
Sardüsteemide riistvara

- ✓ Sardüsteemide riistvara kasutatakse tihti tsüklis:

```

graph LR
    sensors --> ADC["A/D converter  
sample-and-hold"]
    ADC --> IP["information processing"]
    IP --> DAC["D/A converter"]
    DAC --> actors
    actors --> environment
    environment --> sensors
  
```

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY 90



1918 TALLINNA TEHNIAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Arvutitehnika instituut ati.ttu.ee

Energia- ja võimsustarve

Tallinna Tehnikaülikool
Arvutitehnika instituut

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Miks on energiatarve nii oluline?

- ✓ Kaasaskantavad süsteemid – aku eluiga!
- ✓ Süsteemid väga limiteeritud energiaeelarvega: Mars Pathfinder, UAV
- ✓ Desktopid ja serverid: väga suur võimsustarve
 - Tõstab temperatuuri ning vähendab jõudlust ning usaldusväärsust
 - Tõstab vajadust kallite jahutusmehhanismide järele
- ✓ Üks kõrge jõudlusega kiipide loomise põhitakistusi on kuumuse eemaldamine
- ✓ Suur võimsustarve toob kaasa ka majanduslikud ja keskkonna-alased probleemid

TALLINNA TEHNIAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

96

© Gert Jervan

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Arvutitehnika instituut
ati.ttu.ee

Sard-OS, vahevara, planeerimine (Embedded OS, middleware, scheduling)

Gert Jervan

Tallinna Tehnikaülikool
Arvutitehnika instituut

© Gert Jervan

Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Reaalaja süsteemid

- ✓ Enamus sardsüsteeme on reaalaja süsteemid
 - Aeg:
 - Süsteemi korrektsus ei sõltu mitte ainult tulemuste loogilisest korrektsusest vaid ka ajast, millal need tulemused on saadud
 - Reaal-:
 - Reaktsioon välistele sündmustele peab toimuma samal ajal sündmusega. Süsteemi aeg peab olema mõõdetav samades ühikutes kui keskkonna aeg
- ✓ Näited:
 - Kontrollisüsteemid, tööstussüsteemid, lennundus, autondus, meditsiin, tuumaenergia, militaar, telekommunikatsioon, multimedia, ...

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

98

© Gert Jervan

Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Reaalaja süsteemid – tüüpilised omadused

- ✓ Nad on aja-kriitilised
 - Ajaliste piirangute mittejärgimine võib vähendada teenuste kättesaadavust või viia katastroofiliste tagajärgedeni
- ✓ Sisaldavad mitmeid paralleelselt täidetavaid ülesandeid
 - Ülesanded jagavad ühiseid ressursse, nagu näiteks protsessor, kommunikatsioonikanalid. Suhtlevad omavahel. Seetõttu on üheks peamiseks probleemiks ülesannete planeerimine
- ✓ Töökindlus ning veakindlus on esmatähtsad
 - Palju on ohutus-kriitilisi rakendusi

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

99

© Gert Jervan

Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Nõrgad ja ranged reaalaja süsteemid

- ✓ Ajalised piirangud on tüüpiliselt esitatud piir-aegadega (*deadline*), mis määravad ära aja, millal ülesande (*task*) täitmine peab lõppema.
- ✓ Ülesandele seatav piir-aeg võib olla:
 - Range (*hard deadline*): tuleb täielikult ja alati saavutada. Mittesaavutamine võib tuua katastroofilised tagajärjed
 - Garanteerida eelnevalt ja off-line
 - Nõrk (*soft deadline*): ülesanne võib lõppeda peale sellele ette nähtud piir-aega, kuid tulemuse väärtus võib aja jooksul väheneda
 - Kindel (*firm deadline*): sarnane rangele, kuid ei järgne katastroofilisi tagajärgi. Tulemus ei oma peale piir-aega mingit väärtust

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

100

© Gert Jervan

Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Planeerimisalgoritmide klassifikatsioon

```

    graph TD
      A[real-time scheduling] --> B[hard deadlines]
      A --> C[soft deadlines]
      B --> D[periodic]
      B --> E[aperiodic]
      D --> F[preemptive]
      D --> G[non-preemptive]
      E --> H[preemptive]
      E --> I[non-preemptive]
      F --> J[static]
      F --> K[dynamic]
      G --> L[static]
      G --> M[dynamic]
      H --> N[static]
      H --> O[dynamic]
      I --> P[static]
      I --> Q[dynamic]
  
```

- ✓ Katkestavad (*preemptive*) planeerijad: kasutatakse, kui
 - Mõned ülesanded on pikkade täitmisaegadega, või
 - Reageerimine välissündmustele peab olema lühike
- ✓ Mitte-katkestavad (*non-preemptive*) planeerijad:
 - Kõik ülesanded töötavad, kuni on lõpetanud. Reageerimine välistele sündmustele võib võtta kaua aega

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

101

© Gert Jervan

Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Töövahendid

- ✓ Madalamatel tasemetel on saadaval palju:
 - Koodi generaatorid, kompilaatorid, testide generaatorid ja debuggerid, simulaatorid, emulaatorid, sünteesivahendid
- ✓ Kõrgemal tasemel paljud töövahendid puuduvad ja sinna on koondunud tänapäevase CAD teadustöö teravik
 - Saadaval mitmeid akadeemilisi vahendeid

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

102

Järgnevad loengud

- ✓ Spetsifikatsioonid ja arvutusmodelid (27. november)
- ✓ Sardüsteemide arhitektuurid ja platvormid. Võimsustarbe vähendamine (4. detsember)
- ✓ RTOS, planeerimine, valideerimine (11. detsember) . **NB! Algus kell 15:30**

Kokkuvõte

- Sardüsteemide tähtsuse kasv
- Sardüsteemide definitsioon
- Rakendusvaldkonnad
- Näited
- Iseloomustus
 - Töökindlus
- Väljakutsed
- Disainivoog

Küsimusi?

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

Tallinna Tehnikaülikool
Arvutitehnika instituut