

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Arvutitehnika instituut
ati.ttu.ee

IAF0042
Arvutid II
(Sardsüsteemid - Embedded Systems)

I Loeng

Gert Jervan
Arvutitehnika instituut

www.pld.ttu.ee/~gerje



Graphics © Alexander Nohr, Casper Marwick, 2003

© Gert Jervan Arvutid II – Sardsüsteemid – Loeng 1

Üldine informatsioon

✓ Sisu:
Sardsüsteemid – Embedded Systems
www.pld.ttu.ee/IAF0042

✓ Loengud ja eksamineerija:
Gert Jervan
IT-229 620 2261
gert.jervan@pld.ttu.ee
www.pld.ttu.ee/~gerje

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

2

© Gert Jervan Arvutid II – Sardsüsteemid – Loeng 1

Üldine informatsioon

✓ Loenguid annavad veel ka:

- Prof. Peeter Ellervee, TTÜ/ATI, IT-226
- Arvo Toomsalu, TTÜ/ATI, IT-301
- Erkki Moorits, Cybernetica AS

✓ Teisipäeviti 12:00 – 13:30

✓ NB! 6. oktoobril loengut ei toimu!

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

3

© Gert Jervan Arvutid II – Sardsüsteemid – Loeng 1

Loengud

✓ Sissejuhatus

✓ Arvutusmudelid – 2 loengut

✓ Protsessorite arhitektuurid

✓ Arvutite klassifikatsioon Flynn'i järgi (SISD, SIMD, MISD, MIMD), mälusüsteemi hierarhia

✓ Arvutusprotsesside organiseerimine

✓ RTOS ja planeerimine – 2 loengut

✓ Sardtarkvara – 4-5 loengut

✓ Võimsus- ja energiatarbe optimeerimine

✓ Töökindlus

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

4

© Gert Jervan Arvutid II – Sardsüsteemid – Loeng 1

Loengud

✓ Sardtarkvara:

- Alusarhitektuuride valikud, nende erinevused, energisääst
- (Energiasäästlikud) ühendused
- Progammierimiskeelte valik
- Debugimine
- Optimeerimine ja koodi korrasolek
- Operatsioonisüsteemid
- ...

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

5

© Gert Jervan Arvutid II – Sardsüsteemid – Loeng 1

Laborid

✓ Kaks ülesannet:

- Sardtarkvara loomine ja selle sidumine riistvaraga
- Rakenduse optimeerimine mitmetuumalises arvutuskeskkonnas (kasutades MP-ARM simulaatorit)

✓ Laborid on eksamile pääsemise eelduseks

✓ **Esimene labor: 10. septembril**

✓ Laborite assistendid:

- Vadim Pesonen, IT-226
- Maksim Gorev, IT-226

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

6

Kirjandus

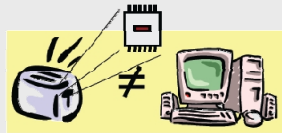
- ✓ Soovituslik lugemine:
Embedded System Design, Peter Marwedel, *Springer, 2006*
 - <http://ls12-www.cs.tu-dortmund.de/~marwedel/es-book/>
- ✓ Wayne Wolf: **Computers as Components. Principles of Embedded Computing System Design**. *Morgan Kaufmann/Elsevier Publishers, 2005.*

Sissejuhatus – Mis on sardsüsteemid?

Tallinna Tehnikaülikool
Arvutitehnika instituut

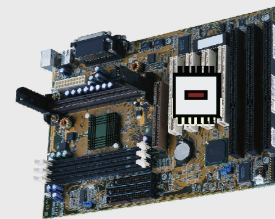
Arvutitehniline perspektiiv

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



Elektronika perspektiiv

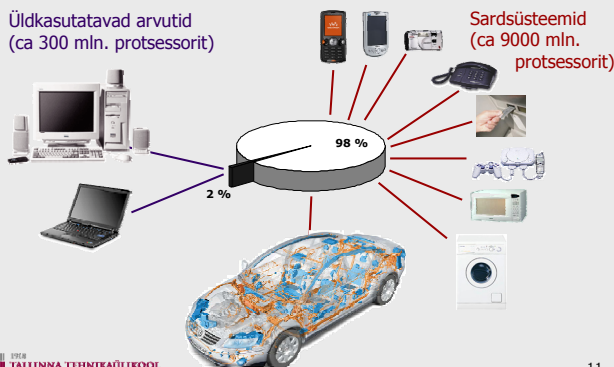
- ✓ Toode, mis sisaldab programmeeritavat protsessorit
- ✓ Tarkvara on toote loomise lahutamatu koostisosa



Sardsüsteemide levik

Üldkasutatavad arvutid
(ca 300 mln. protsessorit)

Sardsüsteemid
(ca 9000 mln.
protsessorit)



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.

Sardüsteemide 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]



Sardüsteemide tähtsus (2)

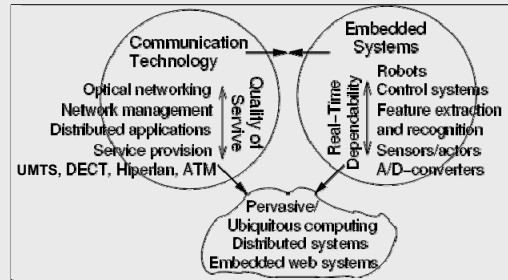
- Püsiühenduste arv on kasvanud 5 mln. kliendilt (1999) 215 miljoni kliendini (2005). Aastaks 2011 ennustatakse 536 mln. klienti [www.itfacts.biz]
- Tänapäev USA DVRi (digital video recorders) kasutajaskond - 5% majapidamistest - kasvab lähima viie aasta jooksul 41%. [www.itfacts.biz]
- Euroopas on autotööstusega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

Sardüsteemide tähtsus (3)

- .. kuid sardikiibid 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 sardüsteemides
- Tulevik on "embedded", "Embedded" on tulevik!

Sardüsteemid ja lausandmetöötlus

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



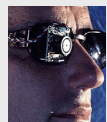
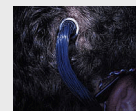
Rakendusvaldkonnad (1)

- Autode elektroonika
- Lennundus
- Rongid
- Telekom



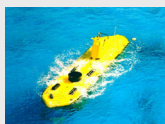
Rakendusvaldkonnad (2)

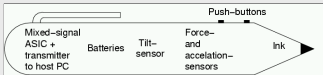
- ✓ Meditsiinisüsteemid. Näiteks:
 - Kunstlik nägemine: erinevad lähenemised, nagu näiteks:
 - Kaamera, mis on kinnitatud prillide külge; arvuti on kinnitatud vöö külge; signaalid saadetakse otse aju, William Dobbelle teedrajav töö.
 - Häälde tõlkimine; [http://www.seeingwithsound.com/etumble.htm]



© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Rakendusvaldkonnad (3)

- Militaarrakendused
 

http://www.submarine.co.mpl/wallpaper/submarine_640.jpg
- Tuvastamine
 

Mixed-signal ASIC + transmitter to host PC → Batteries → Tilt-sensor → Force- and acceleration-sensors → Push-buttons → Ink

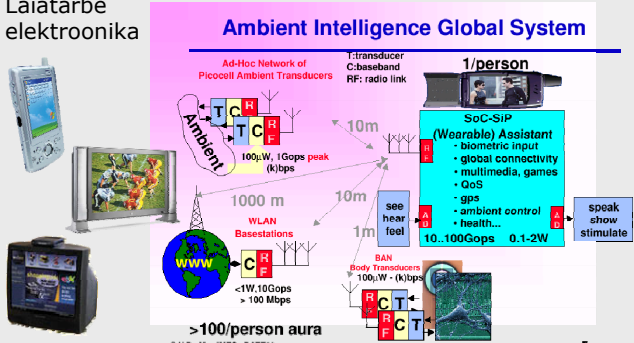
1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY 19

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Rakendusvaldkonnad (4)

Laiatarbe elektroonika

Ambient Intelligence Global System



Ad-Hoc Network of Picocell Ambient Transducers
100µW, 1 Gops peak (k)bps

WLAN Base stations
100W, > 100 Mbps

1/person
SoC-SiP (Wearable) Assistant
- biometric input
- global connectivity
- multimedia, games
- QoS
- gps
- ambient control
- health...
10...100Gops 0.1-2W

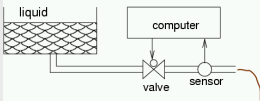
see hear feel
10m
1000 m
1m

>100/person aura



© H.De Man/MEC DATEZ 7 20

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Rakendusvaldkonnad (5)

- Tööstuslik automaatika
 

liquid → valve → sensor → computer


- Targad hooned
 


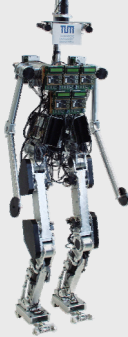

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY 21

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Robotika

Robot „Johnnie“

(© H.Ulbrich, F. Pfeiffer, TU München)

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY 22

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Arvutitehnika instituut
ati.ttu.ee

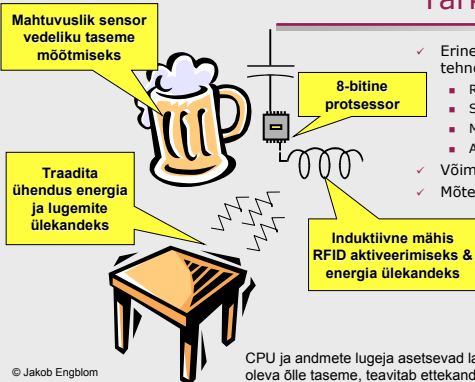
Näited

Mõningad sardüsteemide näited igapäevasest elust

Tallinna Tehnikaülikool
Arvutitehnika instituut

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Tark õlleklaas



Mahtvuslik sensor vedeliku taseme mõõtmiseks

8-bitine protsessor

Traadita ühendus energia ja lugemite ülekandeks

Induktiivne mähis RFID aktiveerimiseks & energia ülekandeks

- Erinevad integreeritud tehnoloogiad:
 - Raadioside
 - Sensordid
 - Magnetiline induktiivsus
 - Arvuti kalibreerimiseks
- Võimatu ilma arvutita
- Mõtetu ilma elektroonikata


CPU ja andmete lugeja asetsevad laual. Teatab klaasis oleva õlle taseme, teavitab ettekandjaid kui peaaegu tühi.

© Jakob Engblom
1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY 24

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Sammulugeja

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



© Jakob Engblom

TALLINNA TEHNIAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

25

© 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



TALLINNA TEHNIAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

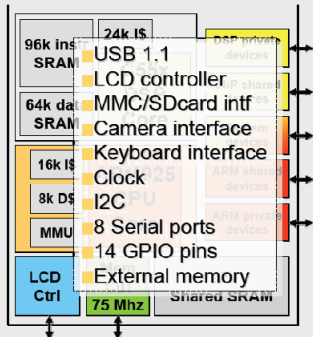
26

© 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-Ericssoni jpt.
- ✓ Analogiid:
 - Motorola
 - Infineon



© Jakob Engblom

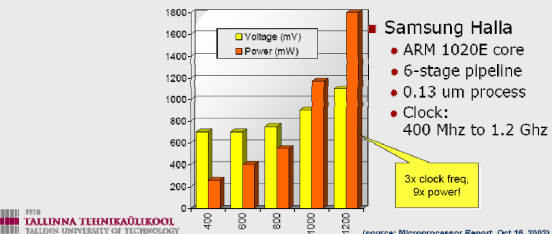
TALLINNA TEHNIAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

27

© 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)


TALLINNA TEHNIAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

28

© 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

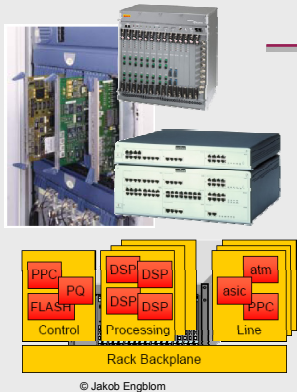
TALLINNA TEHNIAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

29

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Switchid

- ✓ Racki põhised
 - 12-20 kaarti, mitmeid riuleid, 100 CPUsid
 - 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

30

Targad keevitusaparaadid

- ✓ Elektronika 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

31

Õmblusmasin

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



© Jakob Engblom

32

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

33

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

34

Operaatori paneel

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

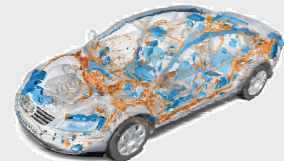
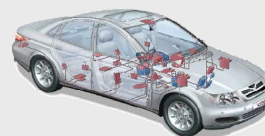


© Jakob Engblom

35

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
- ✓ Miljoneid ridu koodi



36

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

Ülisuured süsteemid

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



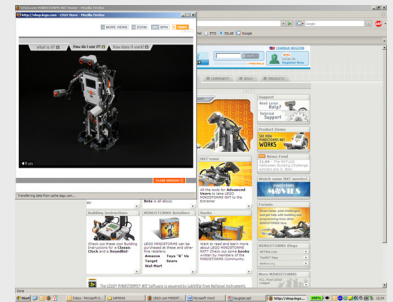
Sinu PC

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



Võimalus ise katsetada

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









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.

Sardsüsteemide üldiseloomustus (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) 

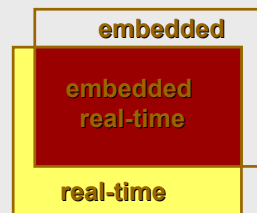
Sardsüsteemide üldiseloomustus (3)

- 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 reaalajasüsteemid
- Enamus reaalaraja-süsteeme on sardsüsteemid






Sardsüsteemide üldiseloomustus (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.

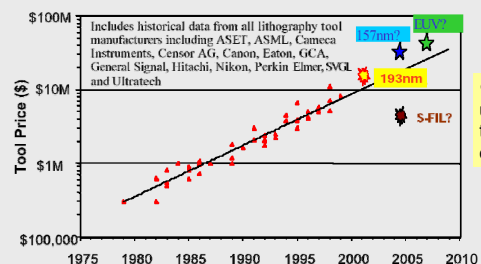
Erinevad väljakutsed

✓ Usaldusväärsus? 

- Tavaliste protokollide kasutamine reaalajasüsteemides (Berliini tuletõrje ja Y2K) 
- Mudelite liigne lihtsustamine (TCAS) 
- Mitte-ohutus kriitiliste rakenduste kasutamine ohutus kriitilistes 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

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Integratsioon

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

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

49

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Kuid...

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

50

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Termokaart: 1.5 GHz Itanium-2

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

51

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Energiaühendus

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

52

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Mis on tehnoloogia sklaerumine?

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

53

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Sklaerumine

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

54

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Tehnoloogia skaleerumise eelised

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

55

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Moore'i seadus

Transistoride arv juhtivates mikroprotsessorites kahekordistub iga 2 aastaga

2X growth in 1.96 years!

Courtesy, Intel

56

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

DRAM mälu mahtuvuse areng

4X kasv iga 3 aastaga!

57

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Kristallide suuruse kasv

Kristallide suurus peab kasvama 14%, et rahuldada Moore'i seadust

~7% kasv aastas
~2X kasv 10 aastaga

Courtesy, Intel

58

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Taktsagedus

Juhtivate protsessorite taktsagedus kahekordistub 2 aastaga

2X iga 2 aastaga

Courtesy, Intel

59

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

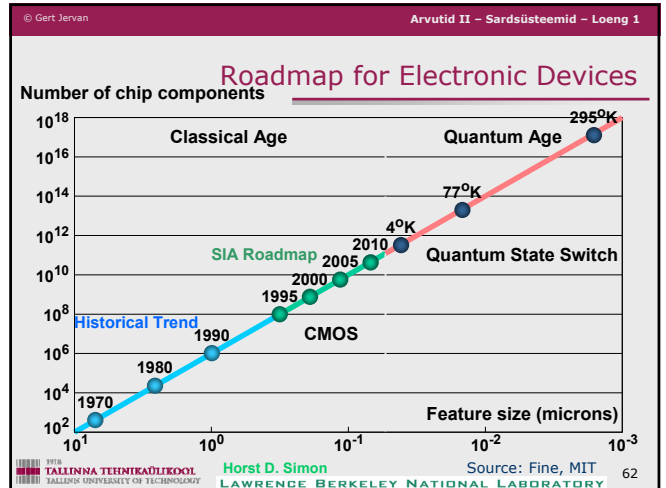
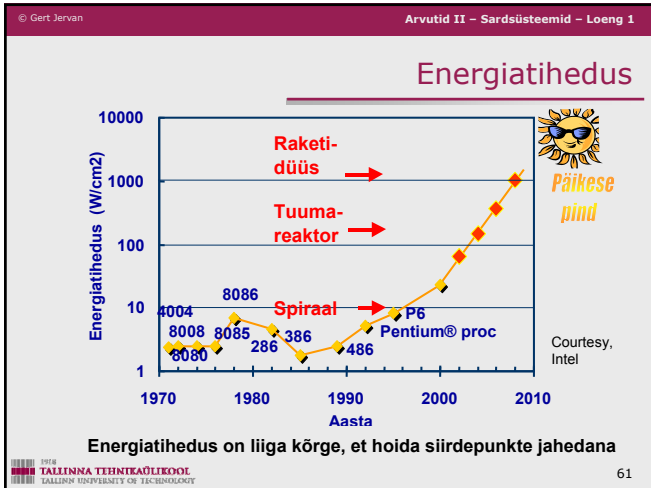
Võimsustarve

KASVAB!!!

Võimsustarve muutub takistavaks teguriks

Courtesy, Intel

60



1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Arvutitehnika instituut ati.ttu.ee

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

64

© 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 kallid!

65

© 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)

Kogus


Raha

66

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Tarkvara väljakutsed

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



1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

67

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Tarkvara keerukuse kasv

Lennundus:

- ✓ Boeing 747 → 0.4 M LOC
- ✓ Boeing 777 → 4 M LOC

Technology Review 2002

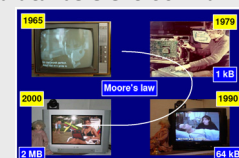
Mõningates valdkondades koodi suurus kahekordistub 9 kuuga

Autotööstus:

- ✓ 2010 Premium → 100 M LOC
- ✓ 1995 – 2000 → 52%/Year
- ✓ 2001 – 2010 → 35%/Year

Tony Scott, GM CIO

Laiatarbe elektroonika:



✓ ... > 70% keerukate süsteemide (autode elektroonika, kommunikatsioonisüsteemid) arenduskuludest moodustavad kulutused tarkvara arendusele

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

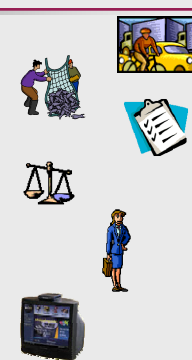
1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

68

© 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

69

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

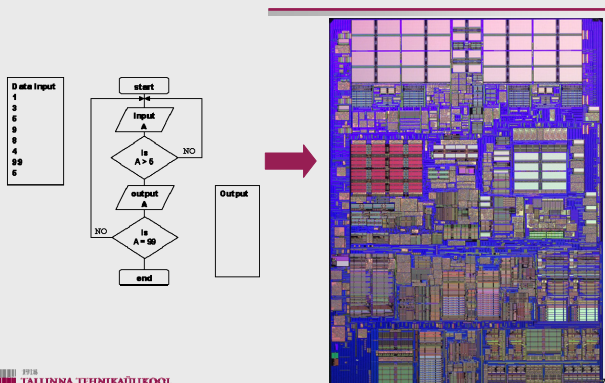
Algorithm on a Chip	Hardwired Computation Hardwired Communication
System on a Chip	Programmable Computation Hardwired Communication
Network on a Chip	Programmable Computation Programmable Communication

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

71

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Algorithm on a Chip



```

graph TD
    Start([start]) --> InputA[Input A]
    InputA --> Cond1{A < 5}
    Cond1 -- NO --> OutputA[output A]
    Cond1 -- YES --> Cond2{A = 50}
    Cond2 -- NO --> OutputA
    Cond2 -- YES --> End([end])
  
```

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

72

© 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

TALLINNA TEHNIEKÜLIKOOI
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

73

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Tänapäev

✓ System on a Chip (SoC)

TALLINNA TEHNIEKÜLIKOOI
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

TALLINNA TEHNIEKÜLIKOOI
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

75

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Network on a Chip - Kiipvõrk

Switch
Juhtmed
Ressursid

Resource

Computational
RF / Analog
Processor cores
Hardware blocks
FPGAs

Storage

TALLINNA TEHNIEKÜLIKOOI
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

76

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 1

Intel Polaris 8x10 Network on Chip

- ✓ 8x10 processors on one chip, 65 nm
- ✓ Teraflops performance under 100 W
- ✓ Peak performance up to 2 Tflops
- ✓ Each processor:
 - 5 GHz
 - 20 Gflops
 - @1.2V

TALLINNA TEHNIEKÜLIKOOI
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

77

© 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)

TALLINNA TEHNIEKÜLIKOOI
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

78

Ajutised (transient) rikked

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



Radiatsioon



Äikesetormid

Periodilised (intermittent) rikked

- Avalduvad sarnaselt ajutiste riketega
- Tõnuvalt korduvalt
- Põhjustatud süsteemi sees



Crosstalk



Toiteallika häired



Tarkvara rikked (Heisenbugs)

Korrektne või defektne?

Katkiste asjadega võib rikkaks saada!

Teoria:

Või täielikult hävida!



Tegelikkus:

