

IAF0542

# Sardsüsteemid I Loeng

Gert Jervan  
Arvutitehnika instituut  
ati.ttu.ee/~gerje

Graphics: © Alexander Nolle, Gert Jervan, 2009

© Gert Jervan

## Üldine informatsioon

- Sisu:
  - Sardsüsteemid
  - Embedded Systems
  - või
  - Cyber-physical Systems
  - [www.pld.ttu.ee/IAF0542](http://www.pld.ttu.ee/IAF0542)
- Loengud ja eksamineerija:
  - Gert Jervan
  - IT-229 620 2261
  - [gert.jervan@ati.ttu.ee](mailto:gert.jervan@ati.ttu.ee)
  - [ati.ttu.ee/~gerje](http://ati.ttu.ee/~gerje)

© Gert Jervan

## Üldine informatsioon

- Loenguid annavad veel ka:
  - Arvo Toomsalu, TTÜ/ATI, IT-301
  - Erkki Moorits, Cybernetica AS
- Laboreid annavad doktorandid Maksim Gorev ja Vadim Pesonen, TTÜ/ATI, IT-307

© Gert Jervan

## Loengute ajakava

Week	Lecture	Subject	Location	StartDate	StartTime	EndTime	Lecturer
1	1	IAF0542-Sardsüsteemid -> loeng	V-301	30.8.2011	8:00:00	9:30:00	Gert
2	2	IAF0542-Sardsüsteemid -> loeng	X-414	1.9.2011	12:00:00	13:30:00	Gert
3	3	IAF0542-Sardsüsteemid -> loeng	V-301	6.9.2011	8:00:00	9:30:00	Gert
4	4	IAF0542-Sardsüsteemid -> loeng	X-414	8.9.2011	12:00:00	13:30:00	Anvo
5	5	IAF0542-Sardsüsteemid -> loeng	V-301	13.9.2011	8:00:00	9:30:00	Anvo
6	6	IAF0542-Sardsüsteemid -> loeng	X-414	15.9.2011	12:00:00	13:30:00	Anvo
7	7	IAF0542-Sardsüsteemid -> loeng	V-301	22.9.2011	8:00:00	9:30:00	Gert
8	8	IAF0542-Sardsüsteemid -> loeng	X-414	27.9.2011	12:00:00	13:30:00	Gert
9	9	IAF0542-Sardsüsteemid -> loeng	V-301	29.9.2011	12:00:00	13:30:00	Gert
10	10	IAF0542-Sardsüsteemid -> loeng	V-301	4.10.2011	8:00:00	9:30:00	Gert
11	11	IAF0542-Sardsüsteemid -> loeng	X-414	6.10.2011	12:00:00	13:30:00	Erkki
12	12	IAF0542-Sardsüsteemid -> loeng	V-301	11.10.2011	8:00:00	9:30:00	Maksim/Vadim
13	13	IAF0542-Sardsüsteemid -> loeng	X-414	13.10.2011	12:00:00	13:30:00	Erkki
14	14	IAF0542-Sardsüsteemid -> loeng	V-301	18.10.2011	8:00:00	9:30:00	Erkki
15	15	IAF0542-Sardsüsteemid -> loeng	X-414	20.10.2011	12:00:00	13:30:00	Erkki
16	16	IAF0542-Sardsüsteemid -> loeng	V-301	25.10.2011	8:00:00	9:30:00	Erkki
17	17	IAF0542-Sardsüsteemid -> loeng	X-414	1.11.2011	8:00:00	9:30:00	Gert
18	18	IAF0542-Sardsüsteemid -> loeng	V-301	8.11.2011	8:00:00	9:30:00	Gert
19	19	IAF0542-Sardsüsteemid -> loeng	X-414	15.11.2011	8:00:00	9:30:00	Gert

© Gert Jervan

## Eksam

- Valikvastustega küsimused
- Koodi analüüs
- Kirjeldavad/lahendust pakkuvad küsimused
- Eesti/inglise keeles
- Eeltingimuseks laborite sooritamine! (range nõue)
- Laborid tuleb kaitsta semestri jooksul!

© Gert Jervan

## Sissejuhatus

Miks on sellist ainet vaja?

© Gert Jervan



## Miks?

- Erinevate ennustuste kohaselt võib tuleviku arvutisüsteemid kirjeldatamiseks kasutada järgnevaid termineid:
  - Nähtamatud arvutid
  - Lausandmetöötlus (Ubiquitous, pervasive computing)
  - Arukad keskkonnad (Ambient intelligence)
  - PC-järgne ajastu
  - Küber-füüsikalised süsteemid
- Seda võimaldavad tehnoloogiad:
  - Sardüsteemid
  - Kommunikatsioonitehnoloogiad



## Miks?

- "Information technology (IT) is on the verge of another revolution. ...."
- networked systems of embedded computers ... have the potential to change radically the way people interact with their environment by linking together a range of devices and sensors that will allow information to be collected, shared, and processed in unprecedented ways. ...
- The use ... throughout society **could well dwarf previous milestones in the information revolution.**

National Research Council Report (US)  
Embedded Everywhere, 2001



The future is embedded,  
embedded is the future



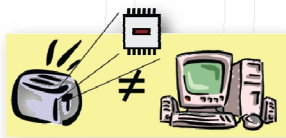
## Sissejuhatus

Mis on sardsüsteemid?



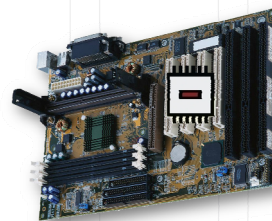
## Arvutitehniline vaade

- Arvuti, mis ei paista väljastpoolt välja nagu arvuti
- Suhtleb välise maailmaga
- Võib omada väga keerukat või primitiivset kasutajaliidest, või puudub see täiesti
- Osa suuremast süsteemist



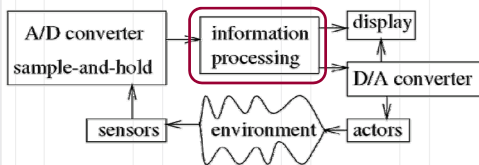
## Elektroniline vaade

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



## Sardsüsteem

- Arvuti kasutatakse taolistes süsteemides ennekõike süsteemi lihtsustamiseks ning pakkumaks paindlikust.
- Seadme kasutaja ei ole tihti isegi teadlik arvuti olemasolust.



13

## Sardsüsteemide levik



14

## Sardsüsteemid

„Dortmund“ Definition [Peter Marwedel]:

**Information processing systems embedded into a larger product**

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

Berkeley Model [Edward A. Lee]:

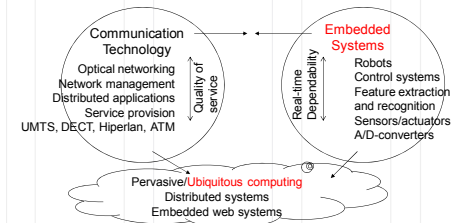
**Embedded software is software integrated with physical processes. The technical problem is managing time and concurrency in computational systems.**

☛ **Definition:** **Cyber-Physical (cy-phy) Systems (CPS)** are integrations of computation with physical processes [Ed Lee, 2006].

15

## Sardsüsteemid ja lausandmetöötlus

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



16

## Sardsüsteemide tähtsus (1)

- Sardüsteemid osatähtsus (nii meie igapäevases elus kui ka rahalises mõttes) kasvab VÄGA kiiresti:
  - 4 miljardit mobiiltelefonide kasutajat aastaks 2011, iga-aastane müük: 1 miljard [Nokia@Norchip 2008]
  - 2011 müüakse maailmas rohkem nutitelefone kui PC-sid. [www.itfacts.biz]
  - WiFi toetusega seadmete arv kahekordistub iga aastaga [www.itfacts.biz]



17

## Sardsüsteemide tähtsus (2)

- Püsiühenduste arv on kasvanud 5 mln. kliendilt (1999) 215 miljoni kliendini (2005) ja 635 kliendini (2010) [www.itfacts.biz]
- USA DVRI (digital video recorders) kasutajakond kasvas 5% majapidamistest (2004) 41% (2009). [www.itfacts.biz]

18

## Sardsüsteemide tähtsus (2)

- 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]
- Elektroonika moodustab tänase auto hinnast ca. 25% (võib tõusta kuni 50%-ni) [EE Times 2010].
- Globaalse mobiilse meelelahutuse väärtus on 32 mld. USD, kasvades 2010 28% [www.itfacts.biz]
- Koduste meditsiiniliste jälgimissüsteemide aastatulu peaks 2011 olema ca. 225 mln USD (2006 – 70 mln USD) [www.itfacts.biz, Sep. 4th, 2007]

## Sissejuhatus

Rakendusvaldkonnad

## Rakendusvaldkonnad

- Autode elektroonika
- Lennundus
- Rongid
- Telekom
- Meditsiin



## Autod

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



## Autod

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

## Lennundus

- Juhtimissüsteemid (fly-by-wire)
- Ohutussüsteemid (TCAS, TAWS, GPWS, ...)
- Piloodi informatsioonisüsteemid (paperless cockpit)
- Energiasüsteemid, meelelahutussüsteemid, ...
- Kõige olulisem on **usaldusväärsus**

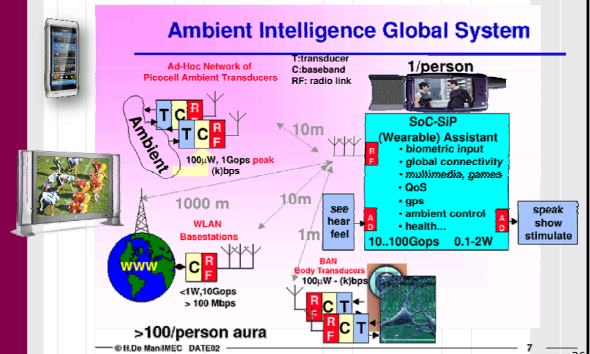


## Telekommunikatsioon

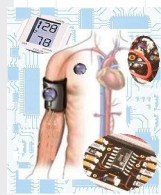
- Üks kiireima kasvuga sektoreid
- Uued (asukoha põhised) teenused
- Ülikiired ühendused (LTE, ...)
- Spetsiifilised lahendused (militaar, pääste, politsei, ...)



## Arukad keskkonnad



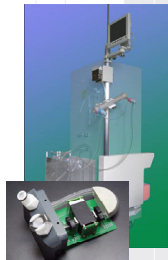
## Meditsiinisüsteemid



Nähtamatu elektroonika TTÜ tipkeskus CEBE



Dialüüs, TTÜ/CEBE/PERH



DiaSens, LDIAMON AS

## Turvalisus

- Lugerid (sõrmejälje, võrkkesta, ...)
- Läbipääsusüsteemid
- Turvasüsteemid (lennujaamad, ...)
- Smartpen®
- Smart cards
- ...



[tomsguide.com]

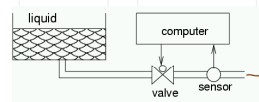
## Rakendusvaldkonnad

- Militaarrakendused



## Rakendusvaldkonnad (5)

- Tööstuslik automaatika

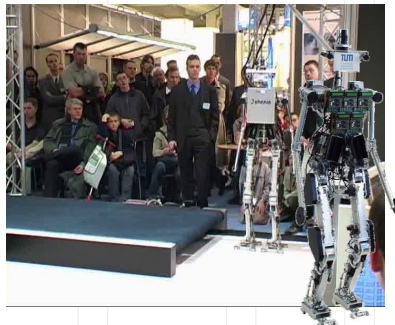


- Targad hooned



## Robotika

Robot „Johnnie“ (© H.Ulbrich, F. Pfeiffer, TU München)



31

## Sissejuhatus

Mõningad sardsüsteemide näited igapäevases elust

## Sammulugeja

Tavaline arvutustöö:

- Sammude lugemine
- Aja arvestamine
- Keskmiste arvutamine
- jne.

Tõsine arvutustöö:

- Sammude identifitseerimine
- Sensor tunnetab seadme liikumist, mitte jalgade tööd



© Jakob Engblom

33

## Mobiiltelefonid

Multiprotsessor

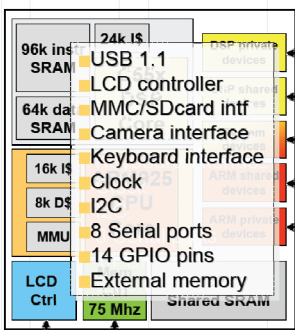
- 8-bit/32-bit kasutajaliidesele
- DSP raadio osale
- 32-bit IR liidesele
- 32-bit Bluetoothile
- CPU (iPhone 4: 1 GHz ARM Cortex-A8 CPU koos PowerVR GPUga)



- Palju mälu (<32 GB storage, <512 MB DRAM)
- Individualiseeritud kiibid
- Kaamera, GPS, WiFi, ...
- Võimustarve & aku eluiga sõltuvad ennekõike tarkvarast

34

## Mobiiltelefonid: TI OMAP 5910



- Kahetuimaline HW/SW platvorm mobiiltelefonidele
  - ARM925T 150 MHz
  - TI C55 DSP 150 MHz
  - Võimsustarve: 230 mW
- Kasutatavad Nokia, Sony-Ericssoni jpt.
- Analooigid:
  - Motorola
  - Infineon

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

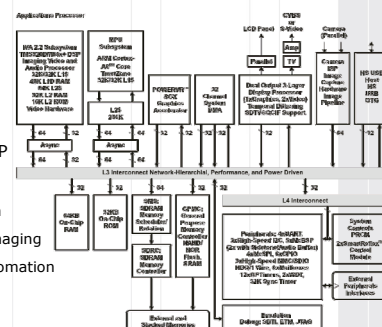
© Jakob Engblom

35

## Multipurpose: TI DaVinci (DM3730)

- 45 nm
- Android & Linux ready
- 1 GHz ARM
- 800 MHz DSP
- Applications:

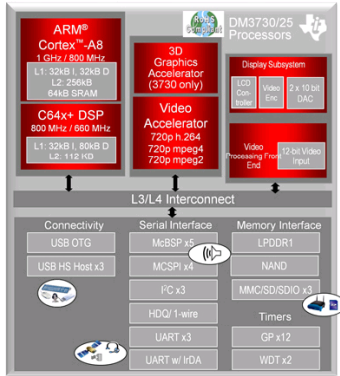
- Navigation
- Medical imaging
- Home automation
- HCI
- ...



36

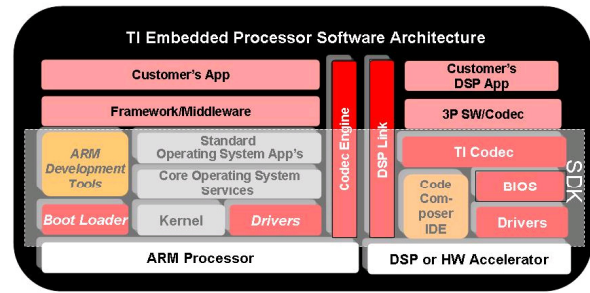
## DM3730/25 DaVinci™ digital media processor 720p30 encode/decode

- Benefits**
  - 200DMIPS for OSs like Linux™, Win CE, RTOS
  - Up to 30% reduction in power
  - 3-D graphics w/ up to 20M polygons per second for robust GUIs
  - Backward compatible with OMAP3530
- Sample applications**
  - Smart connected devices
  - Patient monitoring
  - Single board computers
  - Low power PC
  - Media player
- Power**
  - Dynamic Voltage and Frequency Scaling (DVFS)
  - Total Power: 735mW (800MHz)
  - Up to 40% reduction in power
  - Standby Power: 0.1mW (600MHz)
- Schedule and packaging**
  - CBP: 12x12mm PBGA, 0.4mm, 515-ball, Package on Package (PoP)
  - CBC: 16x14mm PBGA, 0.5mm, 515-ball, PoP
  - CUS: 16x16mm PBGA, 0.65mm, 423-ball, Utilizes Via Channel™ array technology with 0.6mm pitch plus design rules



37

## Software Architecture – DM Devices



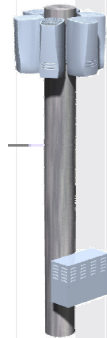
- = Industry Standard OS SW Component – Free
- = TI Provided Components - Free
- = Customer, 3rd Party Code, or Open Source

SDK – Software Development Kit Available Free from TI

1

## Mobiilside tugijaamad

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

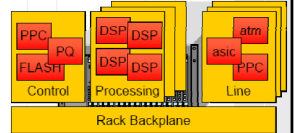


© Jakob Engblom

39

## Switchid

- Racki põhised
  - 12-20 kaarti, mitmeid riuleid, 100 CPUsid
  - Juhtimine, IO, DSP
- Kontroll ja andmed
  - Kontroll: üldisem
  - Andmed: DSP & ASIC
- Optilised ja vasepõhised ühendused
- Digitaal- & analoogsignaaliid
- Liiasus (võimus, HW)



© Jakob Engblom

40

## 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

41

## Õmblusmasin

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



© Jakob Engblom

42



## 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

43

© Gert Jervan



## 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	24x8
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)	6 kB

© Gert Jervan

44



## Operaatori paneel

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



© Jakob Engblom

45

© Gert Jervan



## Ülisuured süsteemid

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



© Jakob Engblom

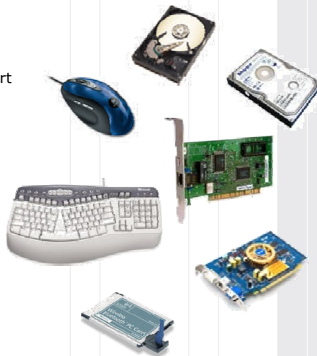
46

© Gert Jervan



## Sinu PC

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



© Jakob Engblom

47

© Gert Jervan



## Aine ülevaade

© Gert Jervan



## Loengud

- Sissejuhatus
- Arvutusmudelid
- Protsessorite arhitektuurid
- Arvutite arhitektuurid, mälusüsteemi hierarhia
- Arvutusprotsesside organiseerimine
- Sardtarkvara
- RTOS ja planeerimine
- Võimsus- ja energiatarbe optimeerimine
- Töökindlus



## Loengud

- Sardtarkvara:
  - Alusarhitektuuride valikud, nende erinevused, energisääst
  - (Energiasäästlikud) ühendused
  - Programmeerimiskeelte valik
  - Debugimine
  - Optimeerimine ja koodi korrasolek
  - Operatsioonisüsemid
  - ...



## Laborid

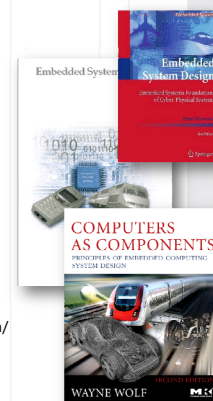
- Kaks ülesannet:
  - Sardtarkvara loomine ja selle sidumine riistvaraga
- **Laborid on eksamile pääsemise eelduseks!!**
- **HARD DEADLINES!**
- Esimene labor: 9. nädalal
- Eraldi loeng laborite sissejuhatauseks (11/10/2011)
- Laborite assistendid:
  - Vadim Pesonen, IT-307
  - Maksim Gorev, IT-307

<http://ls12-www.cs.tu-dortmund.de/~marwedel/es-book/>



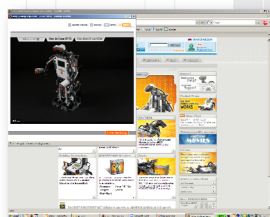
## Kirjandus

- Soovituslik lugemine:
  - Embedded System Design, Peter Marwedel, Springer, 2006 (1st ed.)  
2011 (2nd ed.)
  - Computers as Components. Principles of Embedded Computing System Design, Wayne Wolf, Morgan Kaufmann/Elsevier Publishers, 2005.



## Võimalus ise katsetada

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



© Jakob Engblom



## Võimalused lõputööks

- Arvutitehnika instituudis on välja pakkuda palju sardsüsteemidega seotud lõputööde teemasid
- Sama teemaga tegeletakse palju ka magistrantuuris, doktoriõppes ning ATI teadustöös. Koostöös paljude rahvusvaheliste uurimisgruppidega.
- Vaata [ati.ttu.ee](http://ati.ttu.ee) või
- Võta ühendust aine õppejõududega IT-maja, ruumid 226, 229, 301

## Sardsüsteemide üldisloomustus



Graphics: © Alessandro Noldi, Corrado Moravcsik, 2003

© Gert Jervan

## Sardsüsteemide üldisloomustus

- 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  $d$  ajahüki 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 valel. Süsteeme ei saa teha usaldusväärseks tagantjäreli, vaid sellega tuleb arvestada süsteemi loomise algusest alates.

© Gert Jervan

56

## Sardsüsteemide üldisloomustus

- 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)

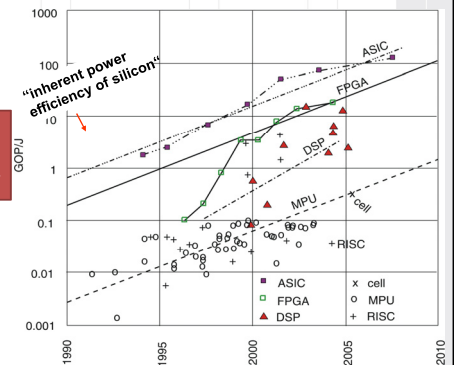
© Gert Jervan

57

## Energiaefektiivsuse tähtsus

Efficient software design needed, otherwise, the price for software flexibility cannot be paid.

© Hugo De Man, IMEC, Philips, 2007



© Gert Jervan

## Sardsüsteemide üldisloomustus

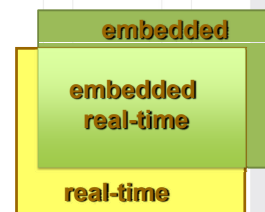
- Mitmed sardsüsteemid peavad vastama reaalaaja nõudmistele
  - Reaalaaja süsteem peab reageerima väliste stiimulitele mingi keskkonna poolt etteantud ajahüki jooksul
  - Reaalajasüsteemides on õiged vastused, mis hilinevad, valel vastused.
  - „Reaalaaja piirangut nimetatakse tugevaks, kui selle mitte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

© Gert Jervan

59

## Reaalaaja süsteemid

- Kas reaalaaja ja sardsüsteemid on sünonüümid?
  - Enamus sardsüsteeme on reaalajasüsteemid
  - Enamus reaalaaja-süsteeme on sardsüsteemid



© Jakob Engblom

© Gert Jervan

60

## Sardsüsteemide üldiseloomustus

- Tihti ühendatud välismaailmaga läbi sensorite ja täiturite
- Hübridsüsteemid (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.

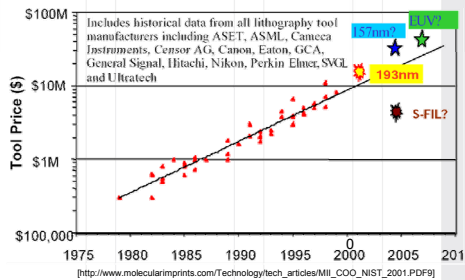
## Erinevad väljakutsed

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

## Riistvara väljakutsed

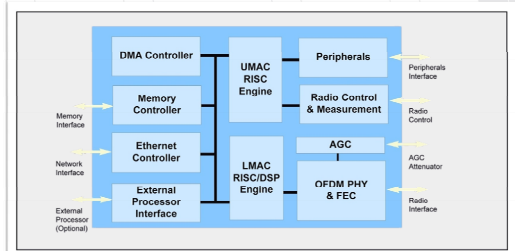
☞ Suund on üha suuremale tarkvara osatähtsusele

- Paindlikkuse puudumine (muutuvad standardid)
- Maskide ülikõrge maksuvus

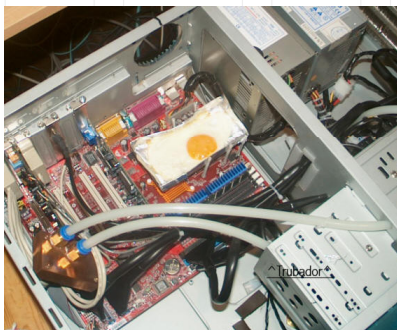


## Integratsioon

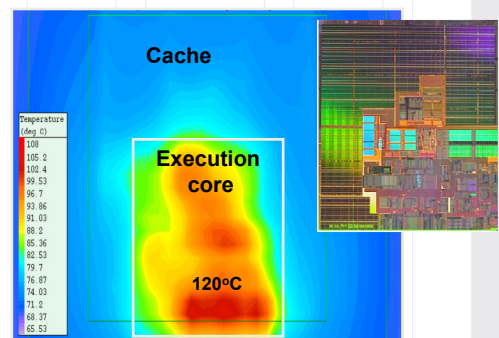
- Üks kiip: CPU, mälu, perifeeria, ....: System-on-Chip (SoC)



## Kuid...

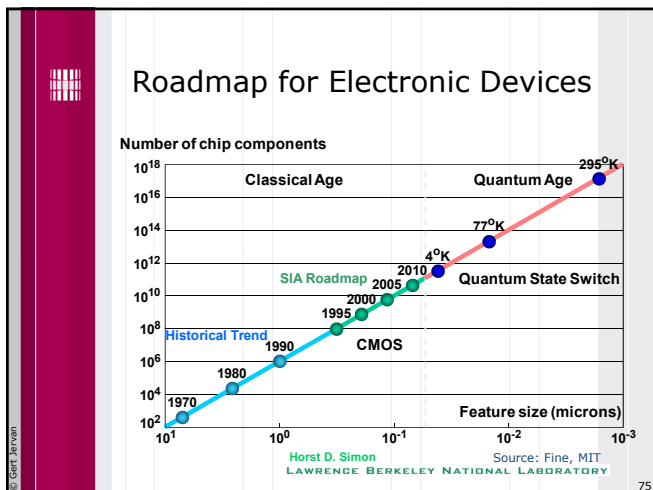
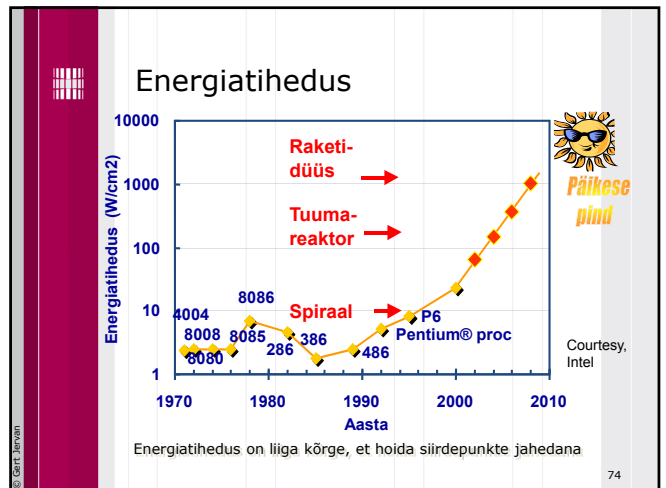
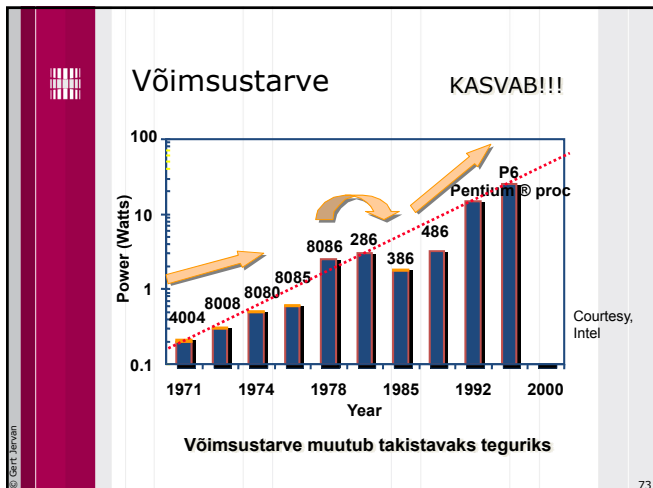


## Termokaart: 1.5 GHz Itanium-2



[Source: Intel Corporation and Prof. V. Oklobdzija]





### Tarkvara

### Sardtarkvara ja sardtprotsessorite tähtsus

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

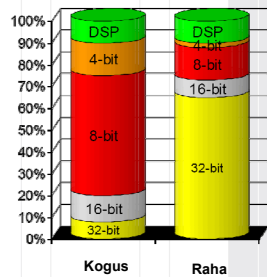
Enamus funktsionaalsusest realiseeritakse tarkvaras

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

- ### 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!

## 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)



## Tarkvara väljakutsed

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

## 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

- ... > 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

### Autotööstus:

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

*Tony Scott, GM CIO*

### Laiatarbe elektroonika:



## Sardtarkvara väljakutsed

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

## Kokkuvõtteks

- Sardsüsteemid ja nende roll IT tulevikus
- Definitioonid
- Näited
- Üldiseloostus
- Väljakutsed
- Järgmine loeng: Disainivoog, nõudmised (requirements), mudelid

## Küsimusi?

Gert Jervan  
ati.ttu.ee/~gerje