

© Gert Jervan

Arvutitehnika instituut
ati.ttu.ee

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Sardsüsteemid (Embedded Systems)

VIII Loeng
Sard -ja reaalaja OSid,
Võimsustarve

www.pld.ttu.ee/IAF0042

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

Some materials: © Petru Eles

Graphics: © Alexander Nohle, Caspar Merwezel, 2003

© Gert Jervan

Arvutid II - Sardsüsteemid - Loeng 4

Sard OS - nõudmised

- ✓ Konfigureeritavus
Mitte ükski reaalaja OS (RTOS) ei sobi kõikide süsteemide jaoks, meil ei ole võimalust hoida süsteemis kasutamata funktsionaalsust → vajadus kofigureeritavuse järgi.
 - Lihtsam moodus: eemalda mittevajalik funktsionaalsus (linker?).
 - Tingimuslik kompileerimine (kasutate #if ja #ifdef käske).
 - Dünaamilised andmed võidakse asendada staatiliste andmetega.
 - Kompileerimisaegne hindamine.
 - Objektorienteeritus.
- ✓ Suurte süsteemide, kus mitmeid erinevaid OSe verifitseerimine võib olla keeruline:
 - Iga tuletatud OS tuleb põhjalikult testida;
 - Näiteks probleem eCos'iga: (open source RTOS from Red Hat) 100 kuni 200 konfigureerimise punkti[Takada, 01].

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

2

© Gert Jervan

Arvutid II - Sardsüsteemid - Loeng 4

Sard OS - nõudmised (2)

- ✓ Ketast ja võrguühendust hallatakse läbi ülesannete, mitte draiverite kaudu.
- ✓ Paljud sardsüsteemid on ilma ekraani, klaviatuuri, hiireta.
- ✓ Põhimõtteliselt ei ole olemas ühtegi seadet (välja arvatud süsteemi timer), mida peaksid toetama kõiks OSi versioonid.

| Embedded OS | Standard OS |
|-------------------------------|-------------------------------|
| application software | application software |
| middleware middleware | middleware middleware |
| device driver device driver | operating system |
| kernel | device driver device driver |

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

3

© Gert Jervan

Arvutid II - Sardsüsteemid - Loeng 4

Näide: WindRiveri platvorm autotööstusele

© Windriver

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

4

© Gert Jervan

Arvutid II - Sardsüsteemid - Loeng 4

Sard OS - nõudmised (3)

- ✓ Kaitsemehhanismid ei ole alati vajalikud: Sardsüsteem on mingi kindla ülesande jaoks, mittetestitud tarkvara ei laadita peaaegu kunagi, tarkvara loetakse usaldusväärseks. (NB! Kaitsemehhanisme võib vaja minna ohutuse ja turvalisuse tagamiseks).

Eraldi I/O operatsioone ei ole vaja ning ülesannetel võib olla oma I/O:

Example: Let `switch` be the address of some switch
Simply use

```
load register, switch
```

instead of OS call.

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

5

© Gert Jervan

Arvutid II - Sardsüsteemid - Loeng 4

Sard OS - nõudmised (4)

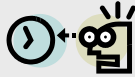
- ✓ Katkestusi võivad tekitada kõik protsessid Standard OSi puhul oleks see suur risk töökindlusele.
 - sardtarkvara kohta võib eeldada, et see on testitud,
 - kuna kaitmine ei ole oluline ja
 - kuna hea kontroll erinevate seadmete üle on vajalik,
 - on võimalik lasta katkestustel alustada ja peatada ülesandeid (hoides ülesannete algusaadresse katkestuste tabelis).
 - On märgatavalt efektiivsem, kui seda teha läbi OSi.

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

6

Sard OS – nõudmised (5)

- ✓ Reaalaeg:
 - Paljud sardsüsteemid on reaalajasüsteemid, seetõttu tuleb nendes süsteemides kasutada reaalaja OSe (RTOS).



RTOS

- ✓ **Def.:** (A) real-time operating system is an operating system that supports the construction of real-time systems
 - ✓ The following are the three key requirements:
 - **The timing behavior of the OS must be predictable.**
 - ∇ services of the OS: Upper bound on the execution time! RTOSs must be deterministic:
 - unlike standard Java,
 - short times during which interrupts are disabled,
 - contiguous files to avoid unpredictable head movements.
- [Takada, 2001]

RTOS (2)

- ✓ **OS must manage the timing and scheduling**
 - OS possibly has to be aware of task deadlines; (unless scheduling is done off-line).
 - OS must provide precise time services with high resolution.

[Takada, 2001]

Aeg

- ✓ Aeg on reaalaja süsteemides kesksel kohal
- ✓ Tegelik aeg on reaalses numbrites
- ✓ Kaks standardit, mida kasutatakse:
 - **International atomic time TAI**
(french: temps atomic internationale)
Free of any artificial artifacts.
 - **Universal Time Coordinated (UTC)**
UTC is defined by astronomical standards
- ✓ UTC ja TAI on identsed alates 01.01.1958.
- ✓ Sellest ajast alates on lisatud 30 sekundit.

Sisemine sünkroniseerimine

- ✓ Sünkroniseeritakse ühe "master clock-iga"
 - Tüüpiliselt algkäivitusel
- ✓ Hajutatud sünkroniseerimine:
 - Kogutakse informatsiooni naabritelt
 - Arvutatakse parandusväärtus
 - Muudetakse aega
- ✓ Esimese sammu täpsus on sõltuv:
 - Rakenduste tasemel: $\sim 500 \mu\text{s} - 5 \text{ms}$
 - OSi kernel: $10 \mu\text{s} - 100 \mu\text{s}$
 - Kommunikatsiooni riistvara: $< 10 \mu\text{s}$



Väline sünkroniseerimine

- ✓ Väline sünkroniseerimine tagab ühilduvuse globaalse ajaga.
- ✓ Viimasel ajal kasutatakse selleks ennekõike GPSe
- ✓ GPS pakub TAI ja UTC ajainformatsiooni.
- ✓ Täpsus on ca 100 ns.



© Gert Jervan Arvutid II – Sardsüsteemid – Loeng 4

RTOS (3)

✓ **OS peab olema kiire!**
Vajalik praktikas [Takada, 2001]

13

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

© Gert Jervan Arvutid II – Sardsüsteemid – Loeng 4

RTOSi kernelid

✓ Eristatakse

- Reaalaja kerneleid ja standard OSide muudetud kerneleid

application software

middleware | middleware

device driver | device driver

real-time kernel

application software

middleware | middleware

operating system

device driver | device driver

✓ Eristatakse

- Üldised RTOSid and RTOSid spetsiaalse rakendusvaldkonna jaoks,
- Standardsed APId (e.g. POSIX RT-Extension of Unix, ITRON, OSEK) or spetsiaalsed APId.

14

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

© Gert Jervan Arvutid II – Sardsüsteemid – Loeng 4

RTOS kernelite funktsionaalsus

✓ Sisaldab

- Protsessori haldus
- Mälu haldus
- Timeri haldus
- Ülesannete haldus (resume, wait etc),
- Ülesannete vaheline kommunikatsioon ja sünkroniseerimine

} Ressursside haldus

15

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

© Gert Jervan Arvutid II – Sardsüsteemid – Loeng 4

Vahevara - middleware

✓ Reaalaja andmebaasid

✓ Ligipääs kaugemale olevatele objektidele

16

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

© Gert Jervan Arvutid II – Sardsüsteemid – Loeng 4

Reaalaja andmebaasid

✓ Eesmärk: hoida ja pakkuda püsivat infot

✓ Tehing = jada lugemis/kirjutamisoperatsioone

✓ Muutused ei ole püsivad kuni need ei ole kinnitatud

✓ Tehingutele esitatavad nõudmised ("ACID"):

- Atomic:** state information as if transaction is either completed or had no effect at all.
- Consistent:** Set of values retrieved from several accesses to the data base must be possible in the world modeled.
- Isolation:** No user should see intermediate states of transactions
- Durability:** results of transactions should be persistent.

17

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

© Gert Jervan Arvutid II – Sardsüsteemid – Loeng 4

Reaalaja andmebaasid (2)

✓ Reaalaja andmebaaside loomisega seotud probleemid:

- Tehinguid võidakse suvalisel ajahetkel katkestada, ilma et oleks kinnitatud
- Kõvaketastega töötamine on ääretult ettearvamatu

✓ Võimalikud lahendused

- Kettavabad andmebaasid
- Nõrgendatud ACID nõudmised

18

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 4

Võimsustarve CMOS tehnoloogia seadmetes (2)

CMOS transistor (N-type)

drain
gate
source
 V_{bs}
body

Threshold voltage:

- The minimal voltage required at the gate to turn on the transistor

$V_{DD, max} = 3,3 \text{ V} \rightarrow V_{th} \approx 0,8 \text{ V}$

V_{bs} = body bias voltage
 V_{th} = threshold voltage

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

25

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 4

Võimsustarve CMOS tehnoloogia seadmetes (3)

CMOS transistor (N-type)

drain
gate
source
 V_{bs}
body

CMOS inverter

V_{DD}
 C_L

Dynamic power

- Charging and discharging the output load capacitance
- Momentary short circuits at a gate's output

V_{bs} = body bias voltage
 V_{th} = threshold voltage
 V_{DD} = supply voltage
 C_L = output load capacitance

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

26

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 4

Võimsustarve CMOS tehnoloogia seadmetes (4)

CMOS transistor (N-type)

drain
gate
source
 V_{bs}
body

CMOS inverter

V_{DD}
 C_L

It flows even when the voltage at the gate is below V_{th}

Static power

- Subthreshold leakage conduction
- Junction leakage (drain and source to body)

V_{bs} = body bias voltage
 V_{th} = threshold voltage
 V_{DD} = supply voltage
 C_L = output load capacitance

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

27

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 4

Võimsustarve CMOS tehnoloogia seadmetes (5)

- ✓ Pikka aega on lekkevoolu võimsust peetud tühiseks võrreldes dünaamilise võimsusega
- ✓ Tänapäeval on need kaks saanud võrreldavateks
- ✓ Tehnoloogia arenemisel alla 65 nm hakkab lekkevoolu võimsus ületama dünaamilist

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

28

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 4

Võimsustarve CMOS tehnoloogia seadmetes (5)

- ✓ Lekkevool eksisteerib isegi siis kui seadmed ei ole kasutuses (standby). Ainukene võimalus vabaneda sellest on toiteallika eemaldamine
- ✓ Lühiste energia on ca 10% kogu energiast
- ✓ Lülituste energia on tänapäevastes kiipides endiselt suurim probleemide allikas
- ✓ Edaspidiselt räägime vaid lülituste energiast, kui ei ole mainitud midagi eraldi

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

29

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 4

Võimsus ja energia

$$P = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V_{DD}^2 \cdot f \cdot N_{SW}$$

$$E = \int P dt$$

- ✓ Paljudel juhtudel tähendab kiirem täitmine ka vähem energiat kuid see võib olla ka vastupidi, kui kiirema täitmise saavutamiseks tuleb võimsust tõsta

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

30

Võimsustarve v. energiatarve

- ✓ Võimsustarve vähendamine on oluline:
 - Toiteallika disainil
 - Pingeregulaatorite disainil
 - Ühenduste dimensioneerimisel
 - Lühiajalisel jahutamisel
- ✓ Energiatarve vähendamine on oluline:
 - Piiratud energiaressursiga süsteemides (i.e. mobiilsed süsteemid)
 - limiteeritud aku
 - kallis energia
 - Jahutus
 - kõrge hind
 - limiteeritud pind
 - Usaldusväärsus
 - Pikk eluiga, madalad temperatuurid

Võimsus/energiatarve vähendamine

- ✓ Põhilised võimalused:
 - Toitepinge vähendamine
 - Ümberlülituste arvu vähendamine
 - Mahtuvuse vähendamine
 - Tsüklite arvu vähendamine

$$P = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V_{DD}^2 \cdot f \cdot N_{SW}$$

$$E = \int P dt$$

Võimsus/energiatarve vähendamine (2)

- ✓ Skeemi tasemel
 - Transistoride ümberjärjestamine (mõjutab mahtuvust)
 - Transistoride suurused
- ✓ Loogikatasemel
 - "Don't care" (X) optimeerimine et vähendada ümberlülituste arvu
 - "Valede" ümberlülituste vähendamine läbi viidete ühtlustamise
 - Tehnoloogia sidumine
 - Olekute sobiv kodeerimine, et vähendada ümberlülituste arvu olekumuutusel
 - Kodeerimine, et vähendada ümberlülituste arvu siinil või ALUs
 - Gated clocks

Võimsus/energiatarve vähendamine (3)

- ✓ Käitumuslikul tasemel
 - Planeeri ja seo ülesanded sedasi, et tsüklite arv oleks väiksem (rohkem tegevust ühe takti jooksul) → väiksem töökiirus → madalam toitepinge
 - Hõiva ja jaga mooduleid sedasi, et võimsustarve oleks väiksem

Võimsus/energiatarve vähendamine (4)

- ✓ Arhitektuursel tasemel
 - Spetsiaalne käsustik, andmeosa ja registre struktuur, mis vastaksid valitud arhitektuurile, eesmärgiga võimsuse vähendamine
 - Kiibil asuvad ja töötavad ainult need ressursid, mida tõesti vaja on
 - Siini võimsustarve vähendamine
 - Väiksem ümberlülituste arv: tark kodeerimine, aadressisiini lülituste arvu vähendamine kasutades korrelatsioone
 - Siini pikkuse vähendamine ressursside õige paigutamise teel (vähendab mahtuvust)
 - Siini segmentideks jaotamine: pika suure koormusega siini jaotamine kohalikeks segmentideks

Võimsus/energiatarve vähendamine (5)

- ✓ Mälustruktuuri optimeerimine
 - Mälu poole pöördumised on eriti energianäljased. Üks mäluire võtab 33x rohkem energiat kui liitmisoperatsioon!
- ↓
- Mälu poole pöördumiste arvu vähendamine on väga edukas meetod võimsustarve vähendamiseks
- Cache'i kohandamine (arv, suurus, assotsiatiivsus, rea pikkus) vastavale rakendusele → aitab kokku hoida mälu poole pöördumiste arvu
 - Huvitav küsimus: suuremad cache'id tarbivad rohkem energiat, kuid aitavad vähendada mälu poole pöördumiste arvu. Milline on õige tasakaal?

Võimsus/energiatarbe vähendamine (6)

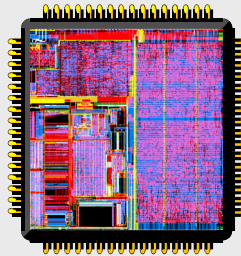
- ✓ Võimsustarbe haldamine (power management):
 - Käsud, mis võimaldavad süsteemi mõningate osade ootele panemist või seiskamist
 - Käsud, mis võimaldavad dünaamiliselt muuta toitepinget

Võimsus/energiatarbe vähendamine (7)

- ✓ Süsteemi tasemel
 - Staatilised tehnikad, mida rakendatakse disaini käigus
 - Kompileerimine madala energiatarbe jaoks: käskude valimine, andmete mälusse jaotamine, registreite jaotamine
 - Algoritmi disain: leida algoritm, mis on kõige energiaefektiivsem
 - Ülesannete sidumine ja planeerimine
 - Dünaamilised tehnikad, mida rakendatakse töö käigus
 - Neid tehnikaid rakendatakse töö käigus, et ära kasutada nii ooterežiime, kui ka madala koormuse perioode

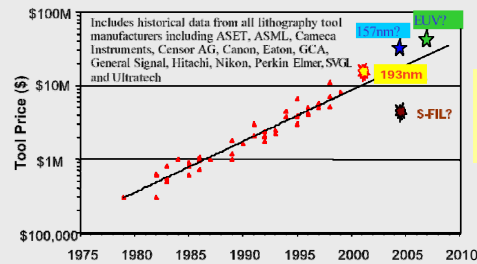
ASIC - Application Specific Circuits

- ✓ Spetsiaalskeemid on vajalikud, kui eesmärgiks on:
 - Suurim kiirus
 - Energia efektiivsus
- ja
- neid saab müüa miljoneid
- ✓ Probleemiks
 - Väljatöötamiseks kuluv aeg
 - Paindlikkuse puudus
 - Kõrge hind (maskide hinnad on miljonites dollarites)



Riistvara väljakutsed

- ✓ Paindlikkuse puudumine (muutuvad standardid)
- ✓ Maskide ülikõrge maksuvus

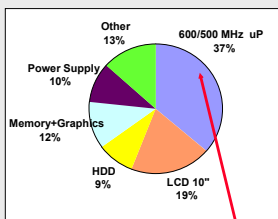


☞ Suund on üha suuremale tarkvara osatähtsusele

[Courtesy: N. Dutt; Source: V. Tiwari]

Protsessor v. süsteem

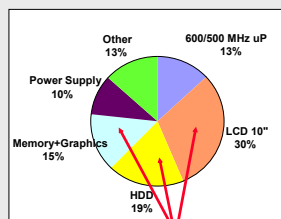
**Mobile PC (notebook)
Thermal Design (TDP) System Power**



Note: Based on Actual Measurements

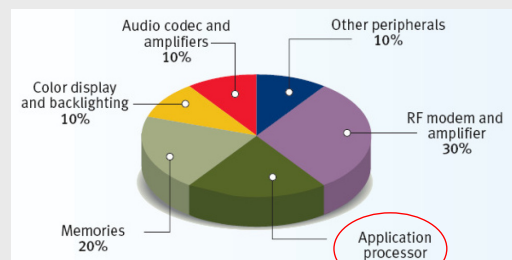
CPU domineerib termovõimsuse osas

**Mobile PC (notebook)
Average System Power**



Mitmed platvormi elemendid on olulised keskmise võimustarbe puhul

Energiatarve kaasaskantavates seadmetes



Source: Siemens

[O. Vargas (Infineon Technologies): Minimum power consumption in mobile-phone memory subsystems; Pennwell Portable Design - September 2005;] Thanks to Thorsten Koch (Nokia/ Univ. Dortmund) for providing this source.

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 4

Dünaamiline võimuse haldamine (DPM)

DPM: Dynamic Power Management

✓ Otsused:

- Erinevate olekute vahel ümberlülitamine
 - Idle
 - Sleep
 - Run
- Erinevate töösageduste ja toitepingete vahel ümberlülitamine

Eesmärgid:

- Energia optimeerimine
- Teenuse kvaliteedi tagamine

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

43

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 4

Dünaamiline võimuse haldamine (DPM)

Näide: STRONGARM SA1100

✓ RUN: tavaline töötamine
 ✓ IDLE: tarkvara peatab CPU töö, kuid jälgib katkestusi
 ✓ SLEEP: kiibi tegevus peatatakse, äratus läbi "wake-up" sündmuse

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

44

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 4

Dünaamiline võimuse haldamine (DPM)

✓ Riistvara toega: Intel Xscale

Võimalikud vahepealsed olekud: DEEP IDLE, STANDBY, DEEP SLEEP

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

45

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 4

Dünaamiline võimuse haldamine (DPM)

✓ DPMi kasutatakse palju laptopides, PDA'des ja teistes kaasaskantavates seadmetes, et sulgeda või panna ootele mittevajalikke komponente. Eesmärgiks on energia kokkuhoid
 ✓ DPMi jaoks on OSide tugi (näiteks Windows 2000 ja uuemad)

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

46

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 4

DPMi põhimõte

✓ Kui seadme poole pöörduetakse, siis seade on hõivatud, vastasel juhul ootel (idle)
 ✓ Kui seade on ootel, siis võib selle kas sulgeda või üle viia madala energiaga ooteasendisse (sleeping)

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

47

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 4

Dünaamiline pingeline muutmine (DVS)

DVS: Dynamic Voltage Scaling

CMOSi energiatarve (lekete ignoreerimisel):

$$P = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V_{DD}^2 \cdot f \cdot N_{SW}$$

CMOSi viide:

$$\tau = kC \frac{V_{dd}}{(V_{dd} - V_t)^2} \text{ with } V_t: \text{threshold voltage } (V_t < \text{than } V_{dd})$$

• V_{dd} vähendamisel väheneb P kahekordselt, samas algoritmide täitmiseks kuluv aeg kasvab vaid lineaarselt
 $E = P \cdot t$ väheneb lineaarselt (ignoreerides mälusüsteemi ja V_t)

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

48

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 4

DVS põhimõte

✓ Olgu meil ülesanne τ :

- Kogu arvutusaeg on 10^9 tsükli
- Deadline: 25 sek
- Protsessori nominaalne toitepinge: 5V
- Energia: 40 nJ/tsüklil nominaalsel pingel
- Protsessori kiirus: 50 MHz (50×10^6 tsükli sekundis) nominaalsel pingel

$E_{total} = 40 \text{ J}$
 $t_{exe} = 20 \text{ sec}$

49

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 4

DVS põhimõte (2)

✓ Teeme aeglasemaks!

- $VDD = 2,5 \text{ V}$
 - Energia: $40 \times 2,5^2 / 5^2 = 10 \text{ nJ/tsüklil}$
 - Kiirus: $50 \times 2,5 / 5 = 25 \text{ MHz}$

$E_{total} = 32.5 \text{ J}$
 $t_{exe} = 25 \text{ sec}$

50

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 4

DVS põhimõte (3)

✓ $VDD = 4 \text{ V}$

- Energia: $40 \times 4^2 / 5^2 = 25 \text{ nJ/tsüklil}$
- Kiirus: $50 \times 4 / 5 = 40 \text{ MHz}$

$E_{total} = 25 \text{ J}$
 $t_{exe} = 25 \text{ sec}$

51

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 4

Dünaamiline pingemuutmine (DVS)

✓ Transmeta Crusoe protsessor:

- 32 erinevat pingetaset, vahemikus 1,1 – 1,6 V
- Taktsignaali vahemikus 200 MHz – 700 MHz (33 MHz sammuga)
- Siire ühelt pingest/sagedusest teisele võtab ca 20 ms

✓ Inteli SpeedStep tehnoloogia (Mobile Pentium III):

- 2 pingest/sagedusest paari

52

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 4

DVS näide

[Courtesy, Yasuura, 2000]

53

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 4

DVS: Intel Xscale

POWER-PERFORMANCE COMPARISON

OS peab tegelema energia-eelarve ajalise jaotusega

www.intel.com

54

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 4

Lekked!

$$P = \underbrace{\frac{1}{2} \cdot C \cdot V_{DD}^2 \cdot f \cdot N_{SW}}_{\text{Dünaamiline}} + \underbrace{Q_{SC} \cdot V_{DD} \cdot f \cdot N_{SW}}_{\text{Lühised}} + \underbrace{I_{leak} \cdot V_{DD}}_{\text{Staatiline}}$$

Ümberlülitatud Switching Power
Short circuit power
Lekked Leakage power

Dünaamiline väheneb V_{DD} vähenemisel, ajast sõltumata

Lekked vähenevad V_{DD} vähenemisel, kuid kasvavad koos ajaga

- ✓ Me oleme siiani rääkinud mitte globaalsest energia vähendamisest vaid ainult selle ühe osa vähendamisest
- ✓ Kuid selle tulemusena võib energiatarve koguni hoopis suureneda!

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
55

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 4

Lekked! (2)

$$P = \underbrace{\frac{1}{2} \cdot C \cdot V_{DD}^2 \cdot f \cdot N_{SW}}_{\text{Dünaamiline}} + \underbrace{Q_{SC} \cdot V_{DD} \cdot f \cdot N_{SW}}_{\text{Lühised}} + \underbrace{I_{leak} \cdot V_{DD}}_{\text{Staatiline}}$$

Ümberlülitatud Switching Power
Short circuit power
Lekked Leakage power

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
56

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 4

Lekked! (2)

$$P = \underbrace{\frac{1}{2} \cdot C \cdot V_{DD}^2 \cdot f \cdot N_{SW}}_{\text{Dünaamiline}} + \underbrace{Q_{SC} \cdot V_{DD} \cdot f \cdot N_{SW}}_{\text{Lühised}} + \underbrace{I_{leak} \cdot V_{DD}}_{\text{Staatiline}}$$

Ümberlülitatud Switching Power
Short circuit power
Lekked Leakage power

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
57

© Gert Jervan Arvutid II – Sardüsteemid – Loeng 4

Lekked! (2)

$$P = \underbrace{\frac{1}{2} \cdot C \cdot V_{DD}^2 \cdot f \cdot N_{SW}}_{\text{Dünaamiline}} + \underbrace{Q_{SC} \cdot V_{DD} \cdot f \cdot N_{SW}}_{\text{Lühised}} + \underbrace{I_{leak} \cdot V_{DD}}_{\text{Staatiline}}$$

Ümberlülitatud Switching Power
Short circuit power
Lekked Leakage power

Kriitiline punkt!
Kui sa lähed sellest V_{DD} -st üle, siis energia kasvab!

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
58

1918 TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
Arvutitehnika instituut ati.ttu.ee

Küsimusi?

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

Tallinna Tehnikaülikool
 Arvutitehnika instituut