



Riistvara arendus ja programmeerimine

Erialatutvustus – Arvutisüsteemid meie ümber ja nende projekteerimine

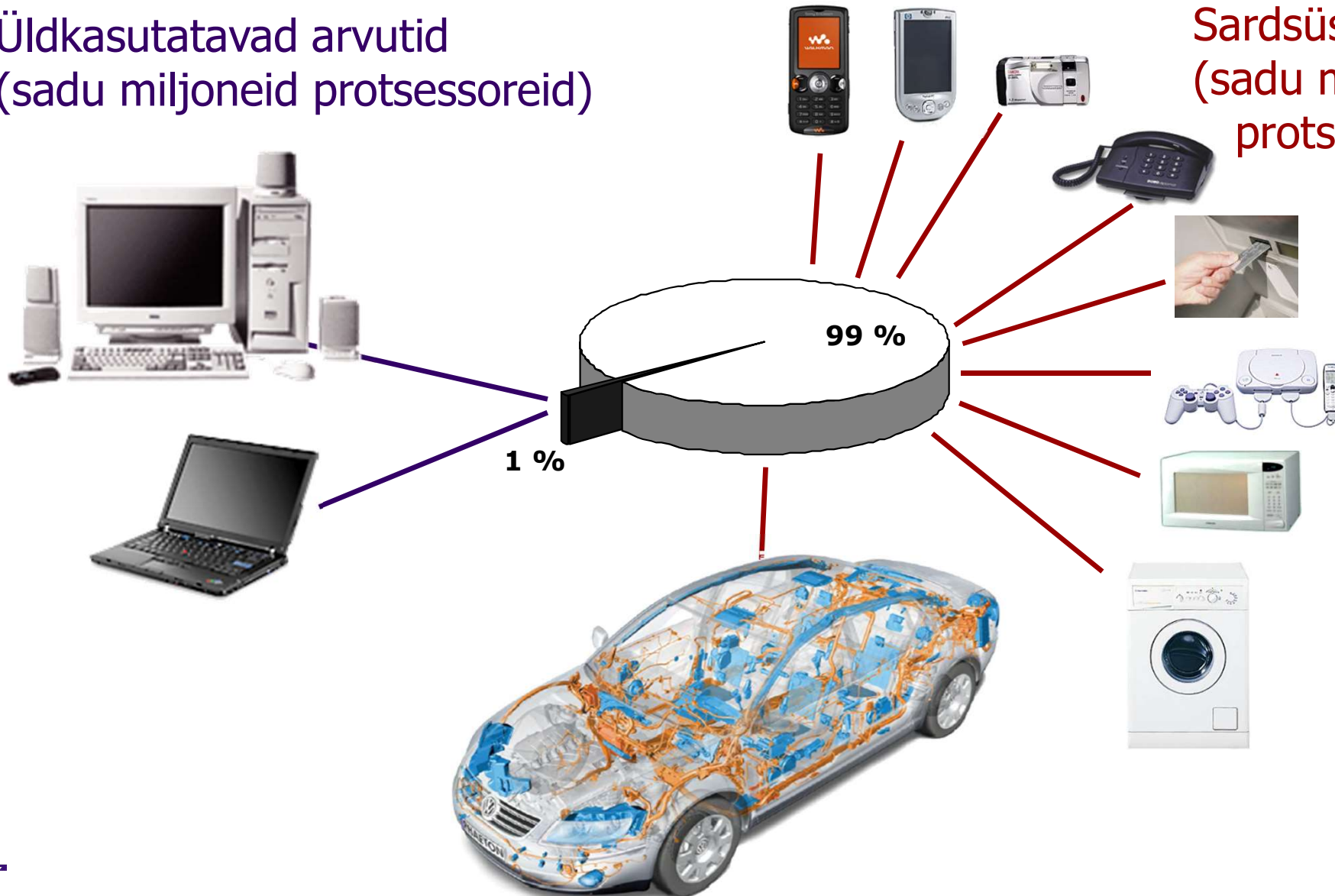
Peeter Ellervee

Arvutisüsteemide instituut
Tallinna Tehnikaülikool

Arvutid ja arvutisüsteemid

Üldkasutatavad arvutid
(sadu miljoneid protsessoreid)

Sardsüsteemid
(sadu miljardeid protsessoreid)



Sinu PC

- ✓ Eriprotssessorid
 - Graafika, häälekaart
- ✓ 32-bit protssessorid
 - IR, Bluetooth
 - Võrk, WLAN
 - Salvestusseadmed
 - RAID kontrollerid
- ✓ 8-bit protssessorid
 - USB
 - Hiir, klaviatuur



Mobiiltelefonid



✓ Multiprotsessor

- 8/16/32/64-bit kasutajaliidesele
- DSP raadio osale
- 32-bit IR liidesele
- 32-bit Bluetoothile
- 10MHz-3GHz CPU
- 8MB-256GB mälu

✓ Individualiseeritud kiibid

✓ Võimustarve & aku eluiga sõltuvad ennekõike tarkvarast!

Autod

✓ Erinevad funktsioonid

- ABS: Anti-lock Braking Systems
- ESP: Electronic Stability Control
- Turvapadjad
- Automaatkäigukast
- Immobiliser
- Pimenurga hoiatussüsteem
- ... jne ...

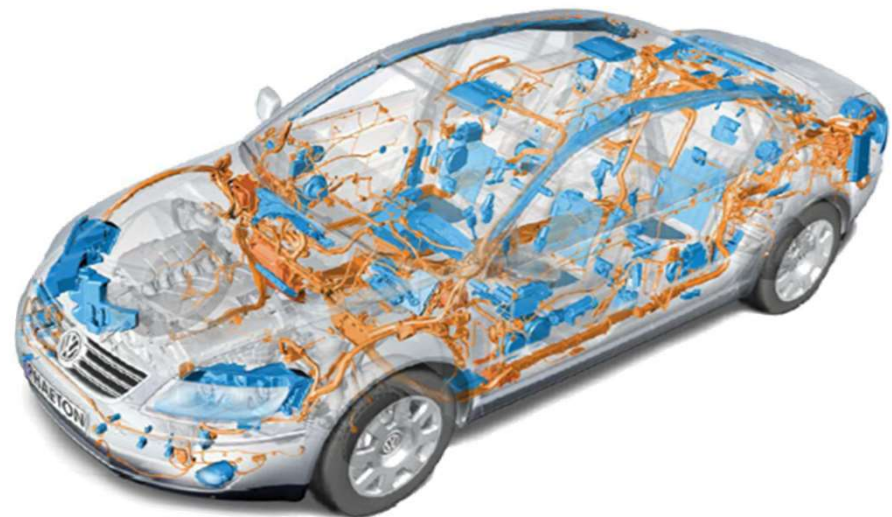
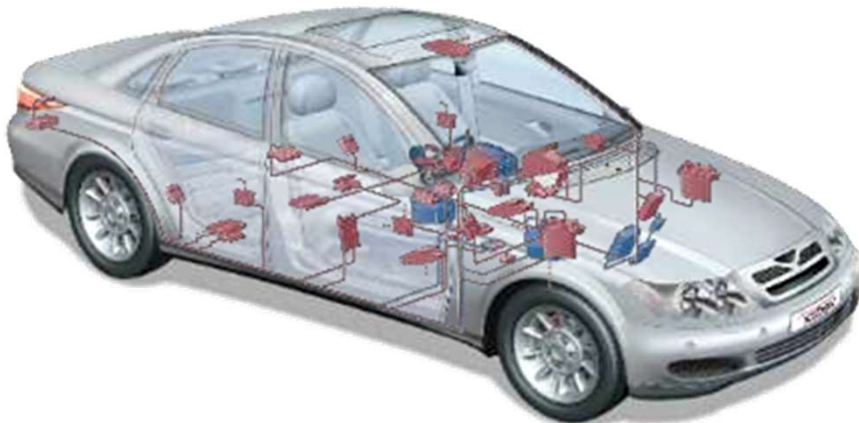
✓ Mitmed võrgud

- Kere, mootor, telemeetria, meedia, ohutus

✓ Mitmed protsessorid

- Üle 100
- Ühendatud võrku

✓ Miljoneid ridu koodi



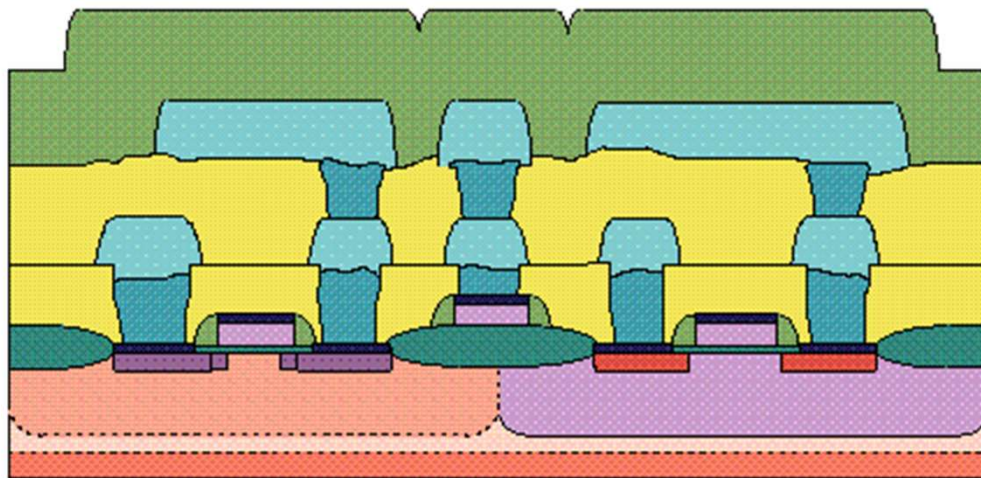
Ja paljud muud valdkonnad

- ✓ Telekommunikatsiooni kõik valdkonnad
- ✓ Transpordisüsteemid
- ✓ Meditsiinisüsteemid
- ✓ Militaarrakendused
- ✓ Laiatarbe elektroonika
- ✓ Tööstusautomaatika
- ✓ Arukad hooned ja süsteemid
- ✓ Robootika
- ✓ ...



Tehnoloogia areng -> erinevad väljakutsed

Joonistatud samas skaalas

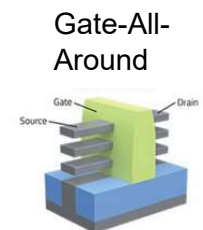
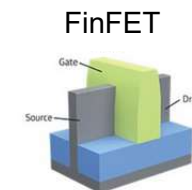
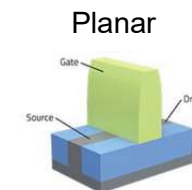
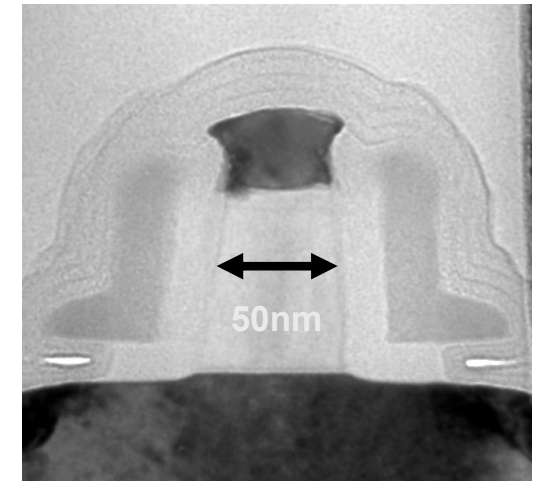


1.0 µm
1980 keskpaik
Kiirus: 10 MHz



0.1 µm
2000 algus
Kiirus: 3 GHz

90nm MOS Transistor



semiengineering.com

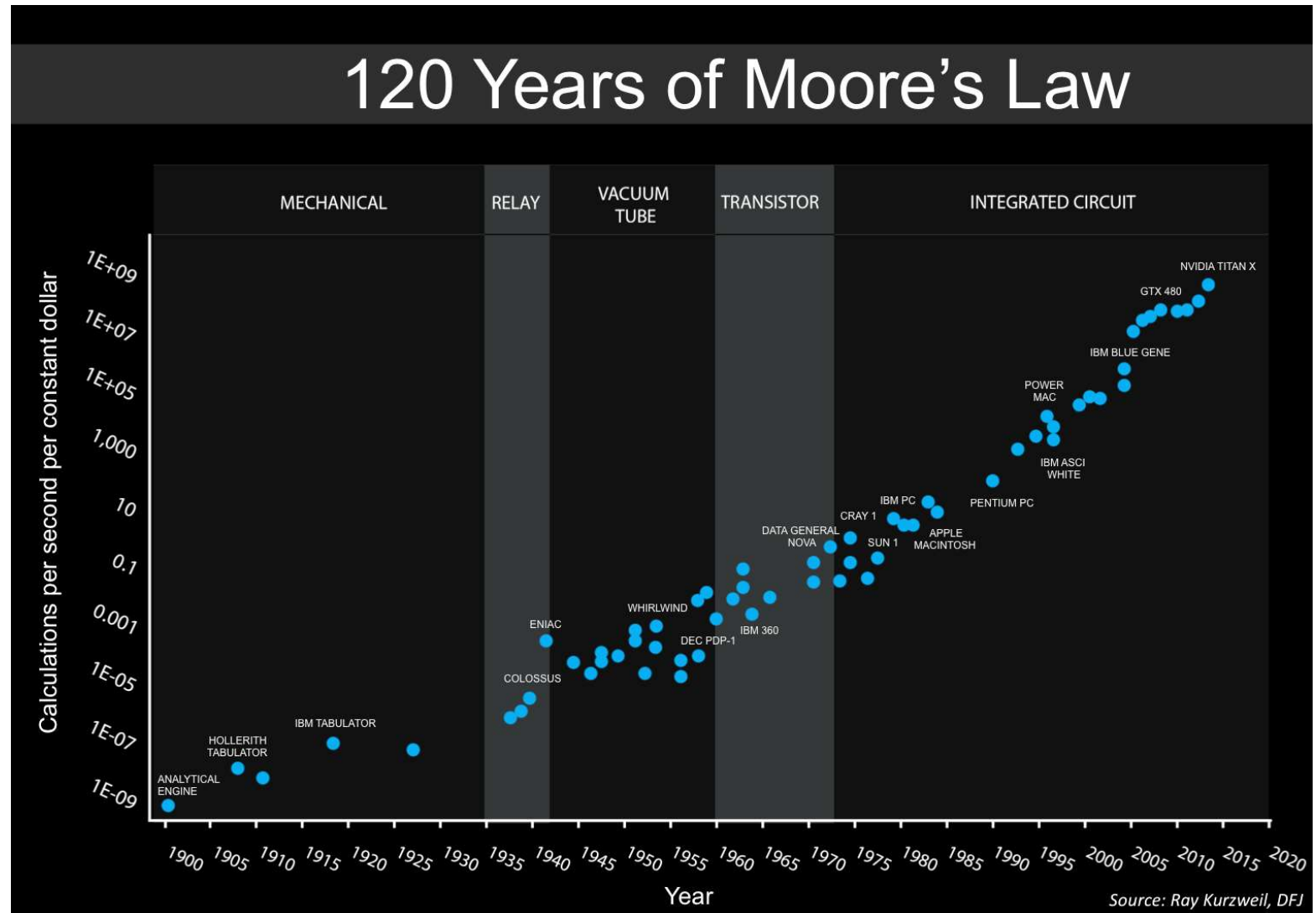
Tänapäeval 14 nm, tulevikus ehk isegi 4 nm

Moore'i seadus

Transistoride arv
mikroskeemides
kahekordistub
iga 2 aastaga

Arvutuste
kiirus &
maksumus

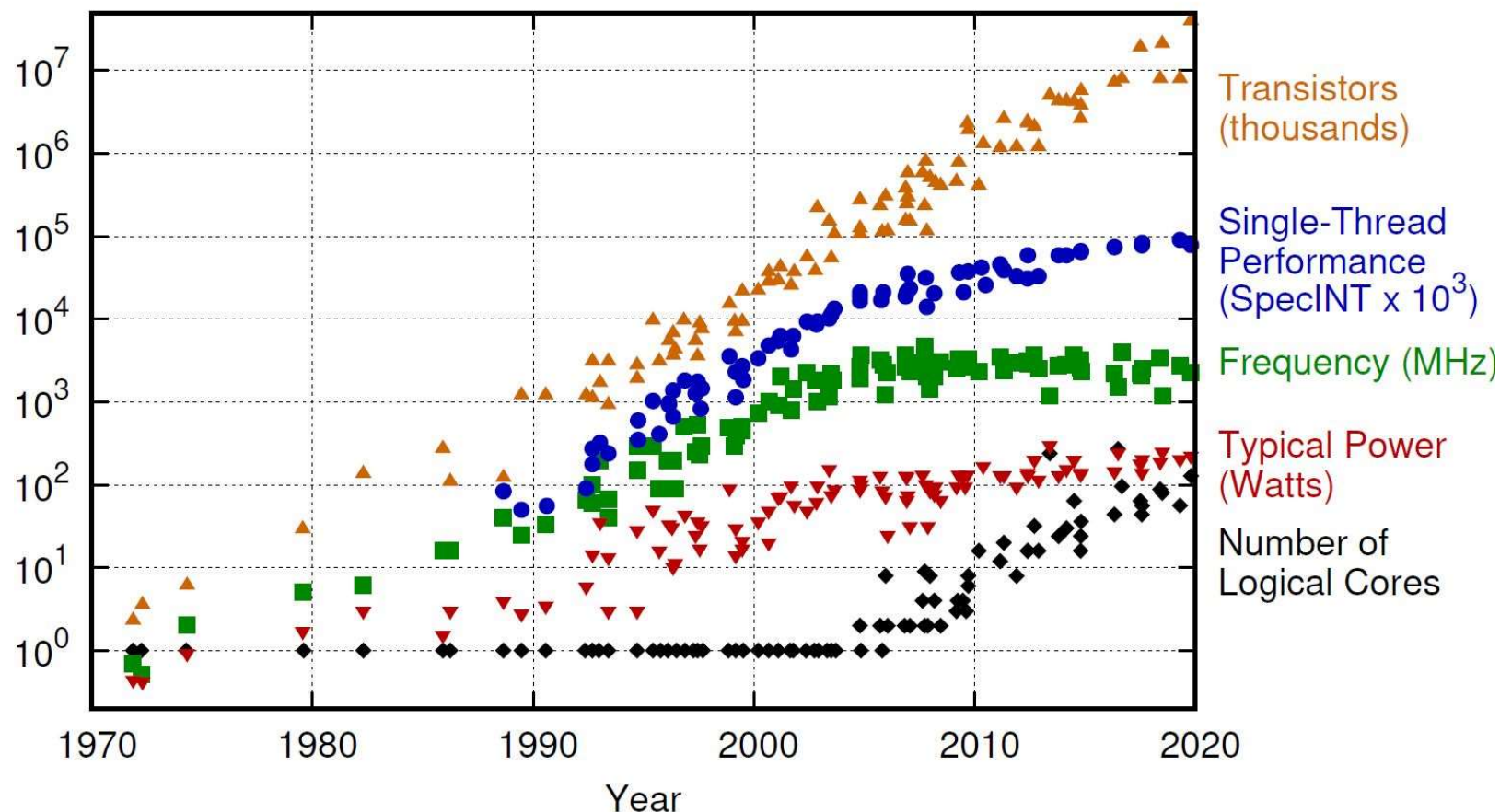
wikipedia



Energiatihedus

Energiatihedus
on liiga kõrge,
et hoida
lülituspunkte
jahedana!

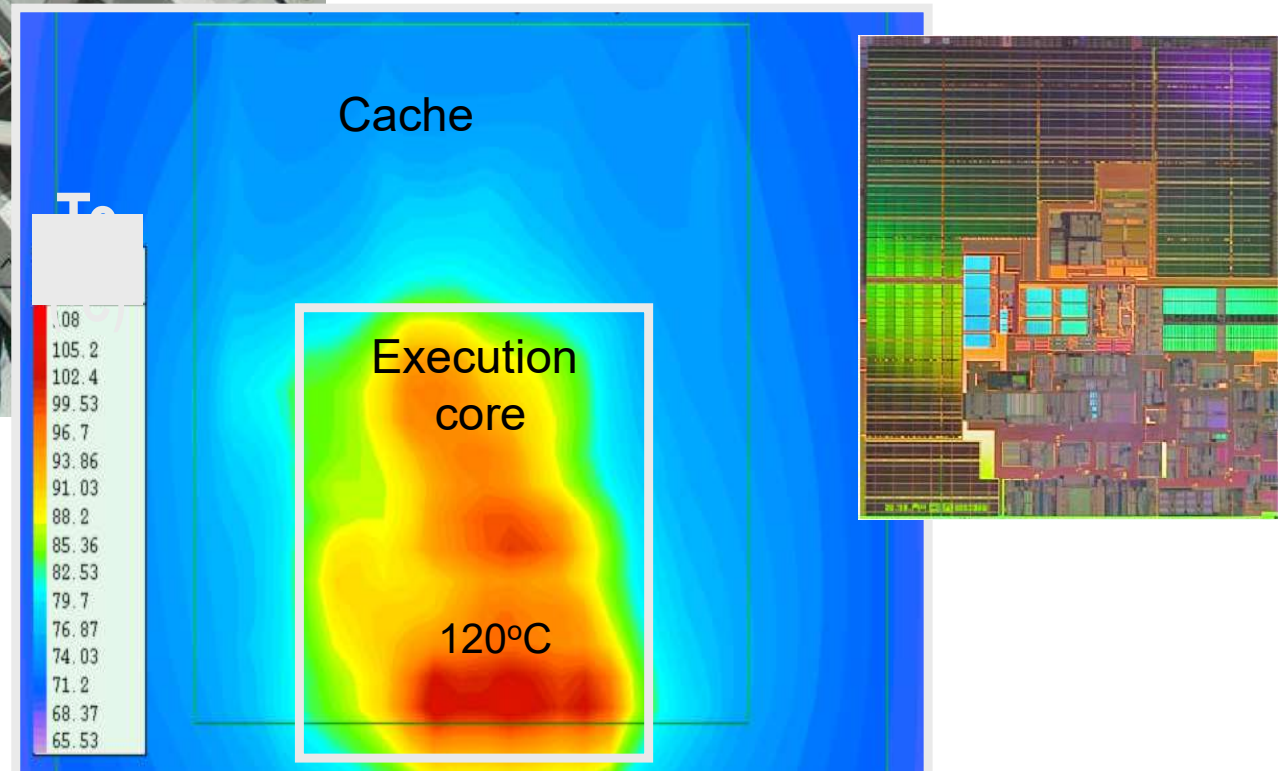
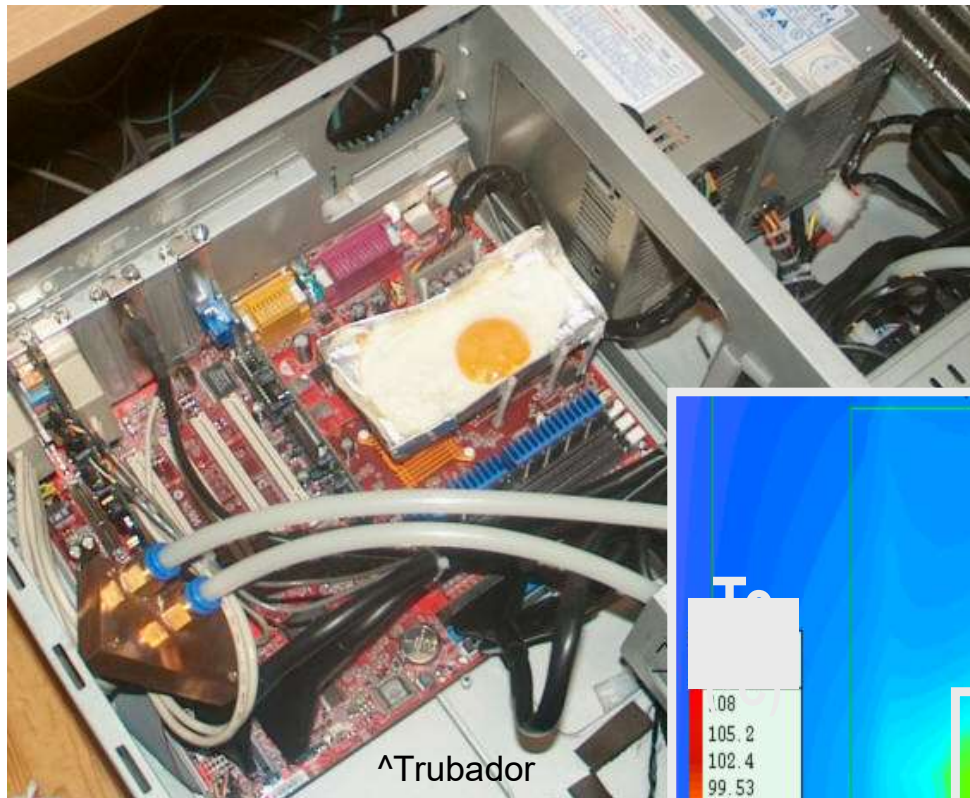
48 Years of Microprocessor Trend Data



Original data up to the year 2010 collected and plotted by M. Horowitz, F. Labonte, O. Shacham, K. Olukotun, L. Hammond, and C. Batten
New plot and data collected for 2010-2019 by K. Rupp

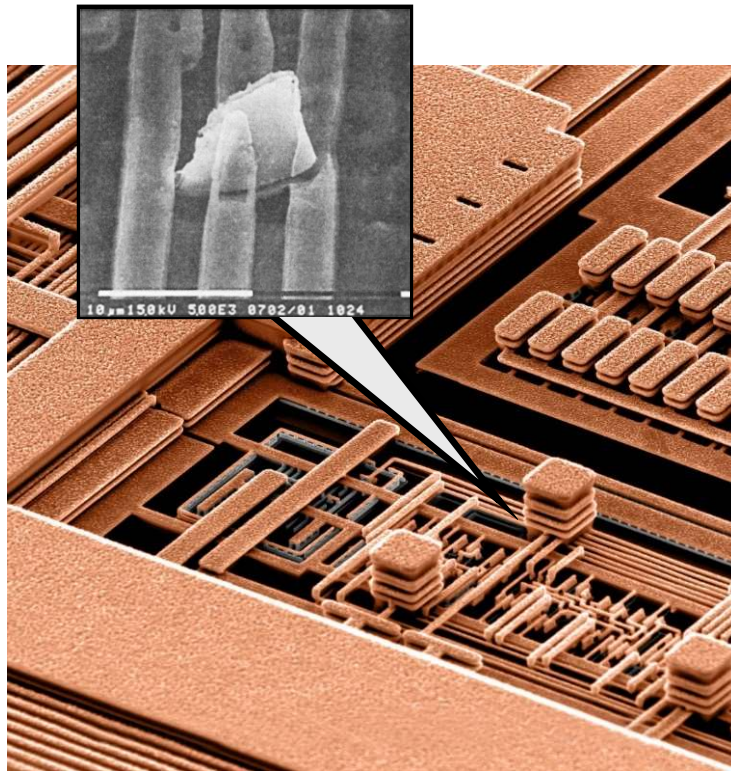
Jahutamine?

Tagajärjed



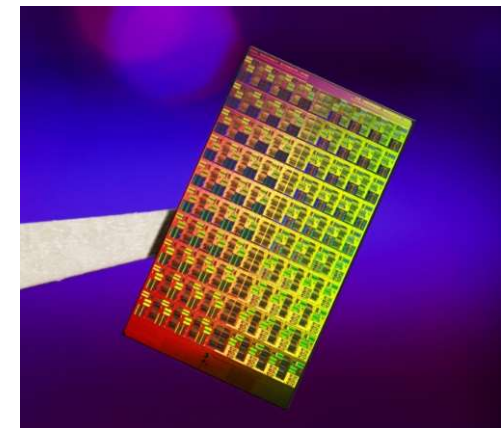
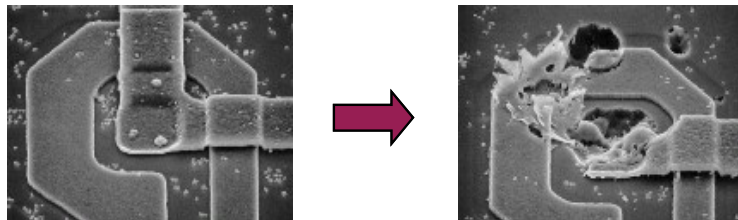
[Source: Intel Corporation and Prof. V. Oklobdzija]

Usaldusväärsus ja töökindlus?



© IBM

- ✓ Tootmisvead
 - Mustus (tolmuosakesed)
 - Halb paigutus
 - Halvad materjalid
 - ...
- ✓ Elu käigus tekkivad vead
 - Vananemine
 - Osakesed
 - ...



Inteli 8x10 kiipvõrk

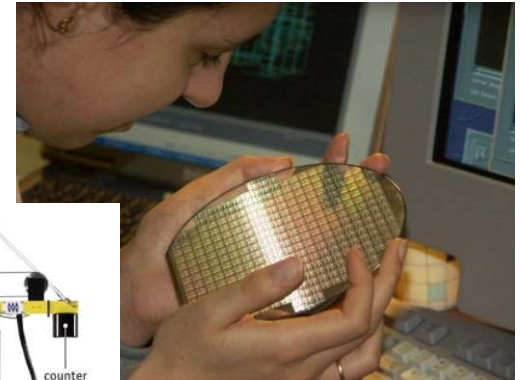
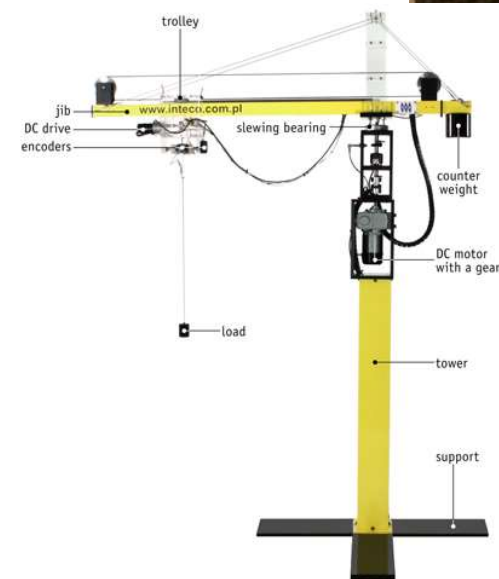
Millega me tegeleme?

✓ Arvutisüsteemide instituut

- Usaldusväärsete arvutisüsteemide keskus
- Arukate süsteemide keskus
- Biorobootika keskus
- Riistvara turvalisuse keskus
- Sardtehisintellekti labor

✓ Thomas Johann Seebecki elektroonikainstituut

- Kognitroonika teaduslabor
- Kommunikatsioonisüsteemide uurimisrühm
- Mõõteelektroonika (impedantsi) uurimisrühm

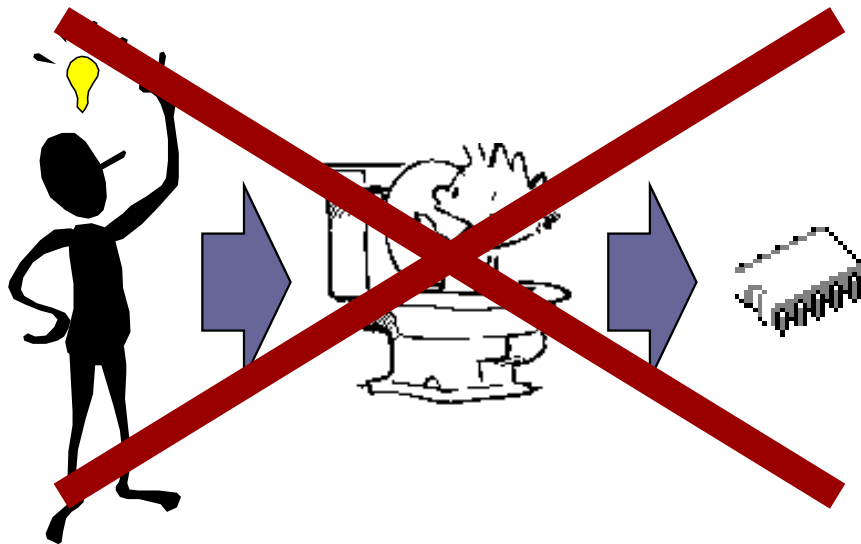


Erialased väljakutsed ja õppeained?

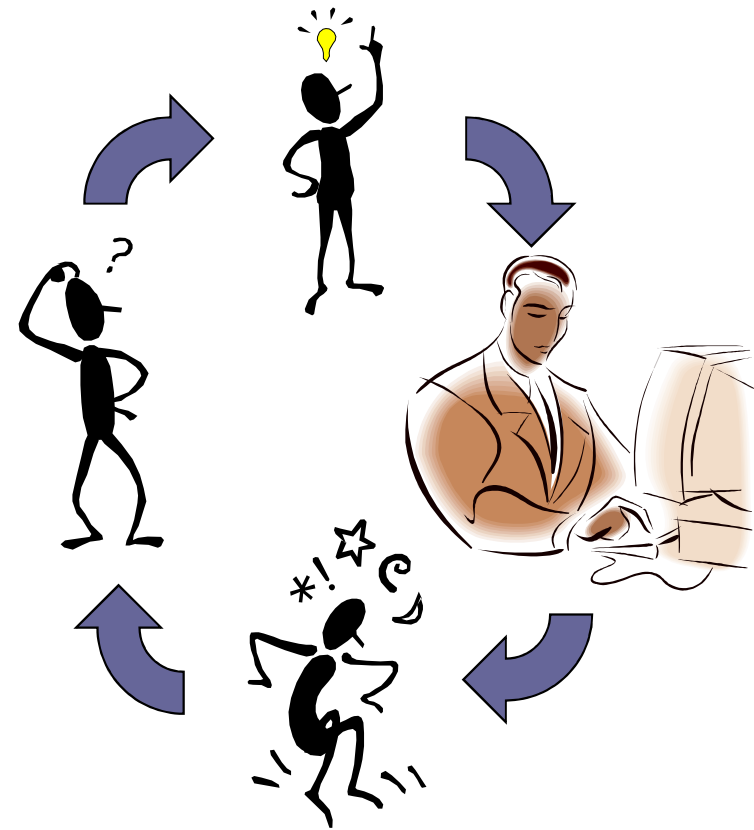
- ✓ Süsteemide projekteerimise alused
 - Keskkond $\leftrightarrow$ tagasiside
 - matemaatika, füüsika, elektroonika jne. (diferentsiaalvõrrandid)
- ✓ Riistvara süntees
 - Ülesandest skeemini?
 - diskreetne jt. matemaatikad, digitaalsüsteemid
- ✓ Riistvara testimine
 - 100 sisendit $\rightarrow 2^{100}$ kombinatsiooni?!
 - süsteemide diagnostika
- ✓ Riistvaralähedane tarkvara
 - Kuidas programm mällu ära mahutada?
 - programmeerimine, operatsioonisüsteemid jne.

Kuidas jõuda ideest realisatsioonini?

Soovunelm



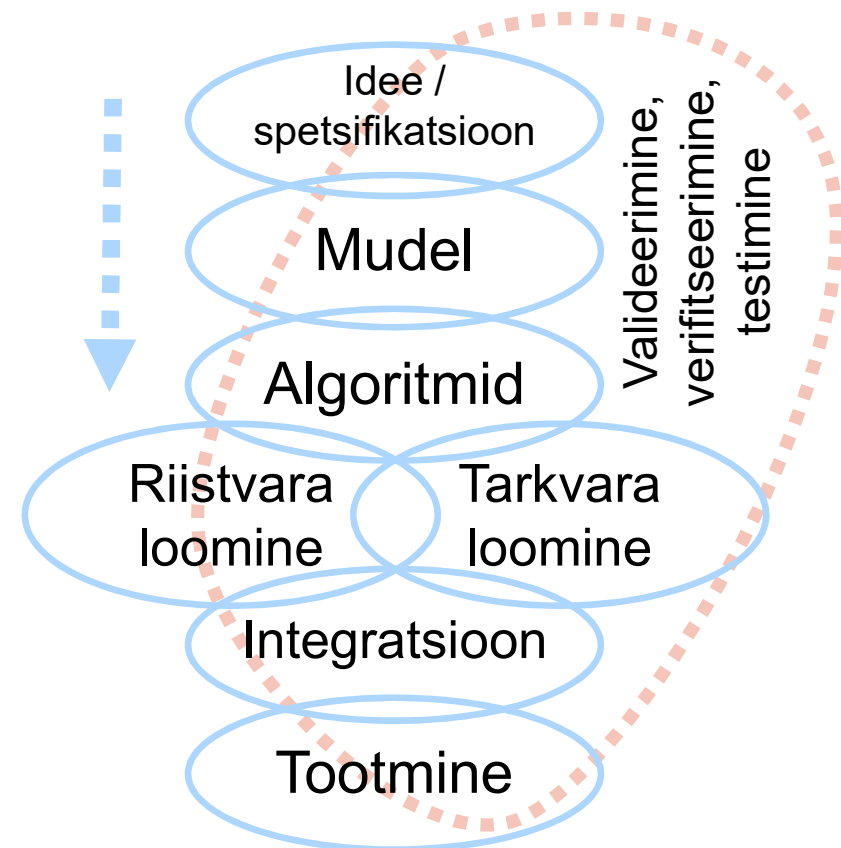
Tegelikkus



PDSA – Plan, Do, Study, Act
PDCA – Plan, Do, Check, Adjust

Kuidas jõuda ideest realisatsioonini / tooteni?

- ✓ Süsteem
 - süsteemi mudel – simuleeritav kirjeldus (spetsifikatsioon)
- ✓ Algoritm
 - käitumise kirjeldus – programm (kõrgtaseme keeles)
- ✓ Struktuur(-skeem)
 - register-siirete tase / masinkood
- ✓ Loogika(-skeem)
 - loogika- ja mälu-elementid
- ✓ Skeem (realisatsioon)
 - prototüüpimine, katsetamine, valmistamine
- ✓ Süsteemi kui terviku loomine – *majandus, projektijuhtimine, keskkonnamõjud, ...*



Ideest algoritmini – süsteemi-taseme disain

- ✓ Simuleeritav spetsifikatsioon == mudel
 - Vajalik kontrollimaks mudeli korrektsust idee esialgse määratluse tasemel
 - Kas tellijad ja projekteerijad on üksteisest aru saanud?
 - Alamülesannete selge piiritlemine
 - Ressursside vajaduste ennustamine
- ✓ Tükeldamine
 - süsteemi jagamine alam-süsteemideks (komponentideks)
 - kommunikatsioon komponentide vahel
 - ülesannete jagamine riist- ja tarkvara vahel
- ✓ Mudel – objekti ja/või keskkonna kirjeldamine võrrandite abil – *matemaatika, elektroonika, side...*

✓ Võnkuv traat

- <http://www.falstad.com/loadedstring/>
- Kuidas muutub võnkumine, kui traati eri kohtadest "sikutada"?

✓ Võnkuv membraan

- <http://www.falstad.com/membrane/>
- Kuidas muutub võnkumine, kui membraani eri kohtadest "toksata"?

✓ Digitaalne filter

- <http://www.falstad.com/dfilter/>
- Kuidas mõjub ribalaius kõnekvaliteedile?
 - Input = speech.mp3 & Filter = FIR Band-pass
 - Ja ka muud filtrite, ribalaiuste, signaalide jne. kombinatsioonid

Algoritmide täpsustamine ~ programmeerimine

- ✓ Erinevate arhitektuursete lahenduste läbi mängimine enne lõplike otsuste tegemist
- ✓ Algoritmi valik
 - mooduli jõudlus / mooduli suurus
- ✓ Arhitektuuri fikseerimine
 - siinide arv ja hierarhia
 - protsessorite arv
- ✓ Tarkavara projekteerimine
 - operatsioonisüsteemi valik / loomine
 - riistvarapöörduste lahendamine
- ✓ *Programmeerimine, algoritmid, andmestruktuurid, sardsüsteemid, arvutivõrgud, tarkvaratehnika...*

Mis on programm?

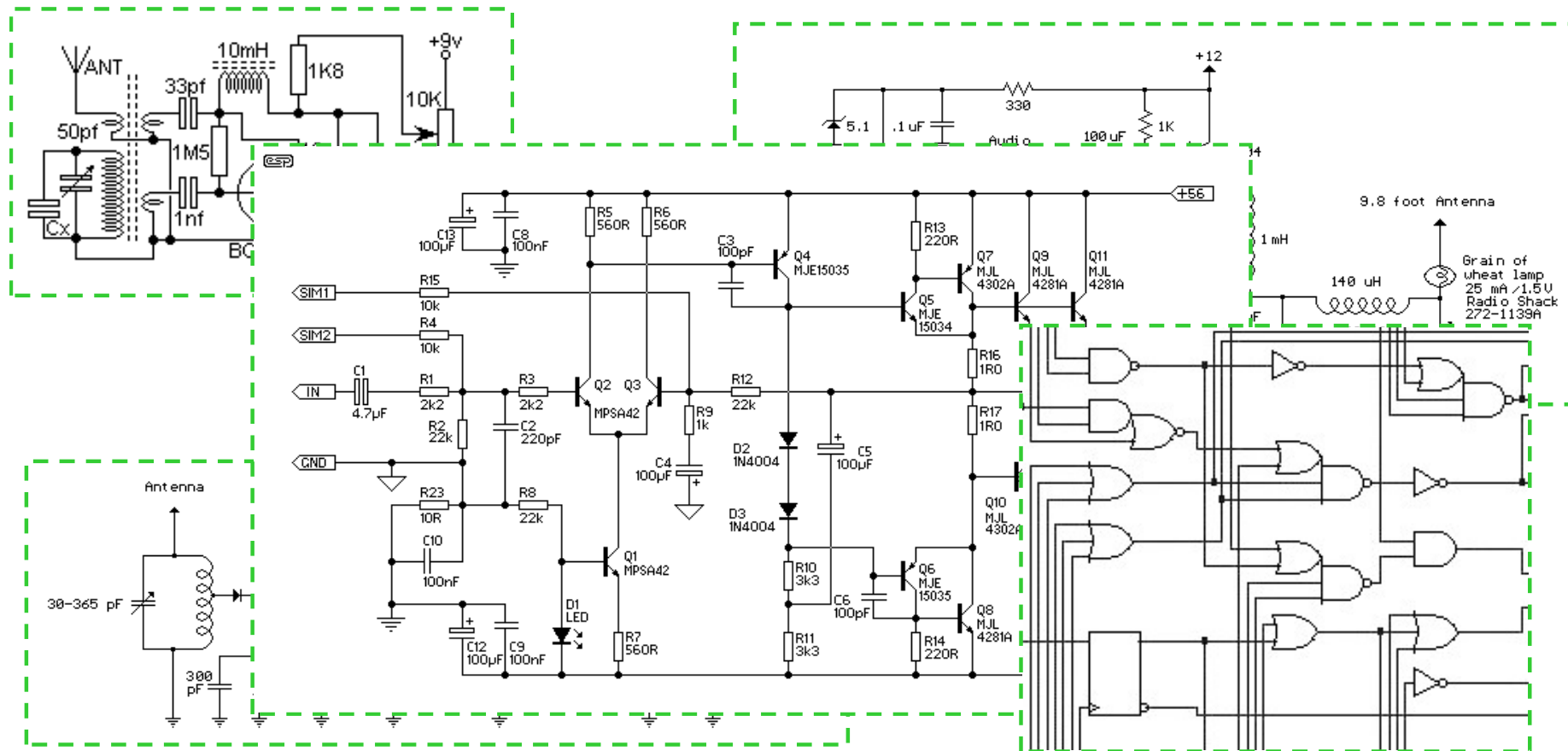
```
(defun xc++-type-class ()
  "C++ template - \"class <name> [: <derivation>] { ... };\" (interactive)
  (insert "class ") (xc-field "name" ": ")
  (if (string-match "template <class tELEM> class cList: public _Name {"
    (insert 'protected:
    (next-line 1) tELEM *first, *last, *current;
  ) if (match($1,"^bl$") || match($1,"^bl..$")) {
    if (match(prev_cmd,"^bl")) { printf "\\tnop\\n"; }
  }
  else if (match($3,"^proc$")) {
    if (match(prev_cmd,"^global$")) {
      for (indx=3;indx<=length($3);indx++) {
        src=$indx; su
        if (prev_trg=
      } } }
    proc xtrctrExecuteFlow {} {
      global xtrctrSynthesisFlow xtrctrBreakExecution
      set xtrctrBreakExecution 0
      set n 0 ; foreach tool $xtrctrSynthesisFlow(menu) {
        if { $tool == {} } { continue }
        if { $xtrctrSynthesisFlow($tool,enabled) != 0 } \
          { xtrctrExecuteTool $tool }
        if { $xtrctrBreakExecution != 0 } { break }
      }
    }
  }
)
```

✓ Käskude jada ehk järjestatud korraldused

Algoritmist struktuurini

- ✓ Arhitektuuri disain e. programmist plokk-skeemini
 - Millised käsud on olemas?
 - Kuidas käsud järjestada?
 - Mis töötleb neid käske?
- ✓ Tulemuseks moodulid ehk struktuur-skeem
- ✓ Protsessori mudel
 - <https://www.youtube.com/watch?v=urqPobwPOzs>
- ✓ Skeemi simulaator
 - <http://www.falstad.com/circuit/>
 - vt. nt. Circuits -> Sequential Logic -> Traffic light
- ✓ *Arvutid, digitaalsüsteemid, signaalitöötlus, sidetehnika, ...*

Mis on skeem?



✓ Ühendatud moodulid ehk komponentide võrk

Skeem tänapäeval

```
-- System timer (2 Hz)
timer <= not timer after 0.25 sec;
-- Combinational logic for blinking lights
HighwayLights: BlinkLights ( highway_light_in, timer, highway_light );
SidestreetLights: BlinkLights ( sidestreet_light_in, timer, sidestreet_light );
-- Synthesizable by HLS tools, in principle
process
  -- Counter
  variable counter: integer range 0 to 49;
  procedure WaitFor (constant count: in integer;
    for counter in 0 to count-1 loop wait on timer;
  end WaitFor;
begin
  highway_light_in <= Green;
  sidestreet_light_in <= Red;
```

```
* Bipolar pair
VQ1 O1 cQ1 dc 0
Q1 cQ1 Vb eQ1 vNPN
VQ2 O2 cQ2 dc 0
Q2 cQ2 Vb eQ2 vNPN

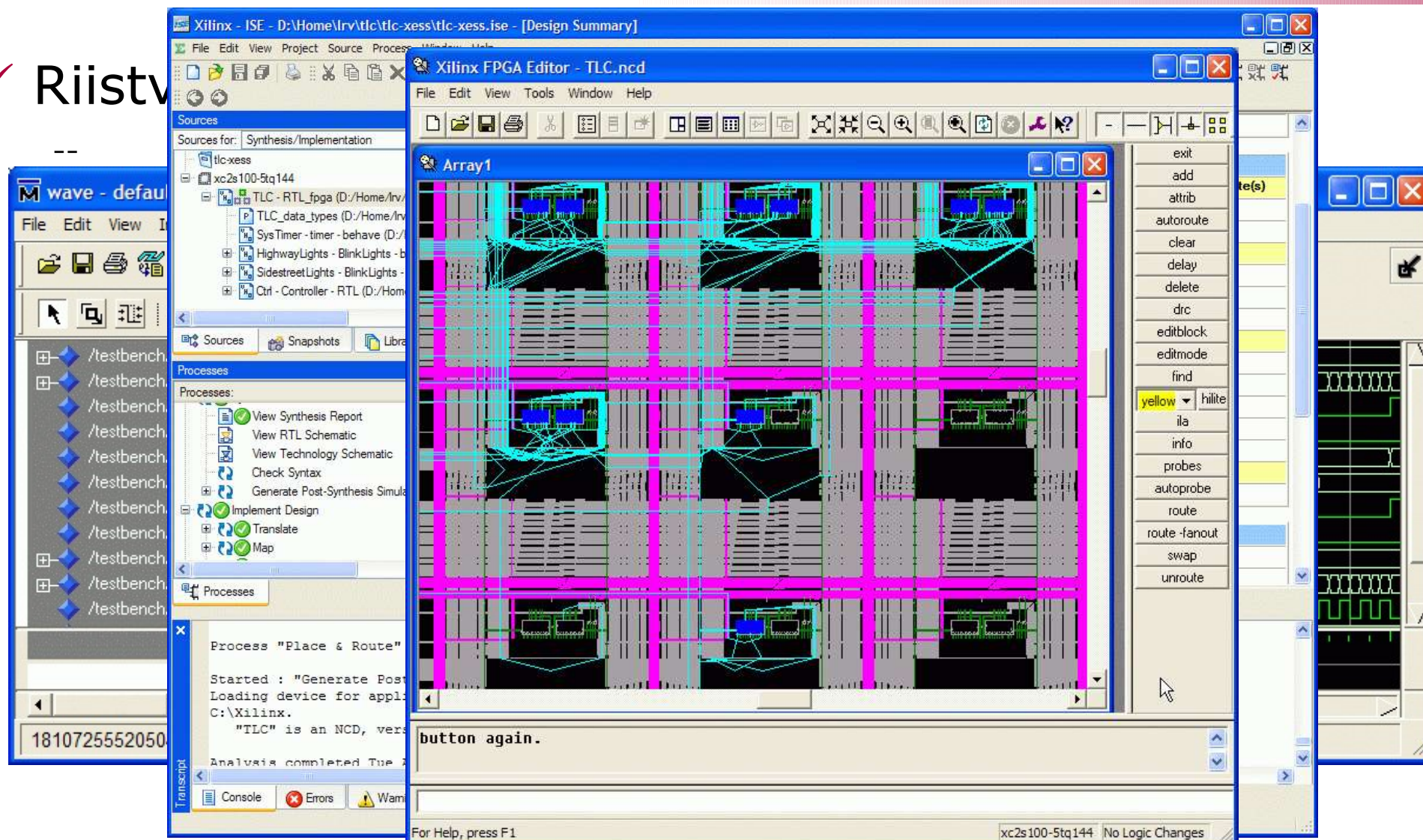
* Input nMOS pair
VM1 eQ1 dM1 dc 0
M1 dM1 Vin1 0 0 nMOS L=2.0e-6 W=Wd_M1
VM2 eQ2 dM2 dc 0
M2 dM2 Vin2 0 0 nMOS L=2.0e-6 W=Wd_M1
```


Struktuurist loogikani

- ✓ Loogikasüntees e. plokk-skeemist loogika-elementideni
 - Mida moodul peab tegema?
 - Millised loogika-elementid on saadaval?
 - Kuidas neid kõige paremini kasutada?
- ✓ Tulemuseks loogika-elementidest (-lülidest) koosnev skeem
- ✓ Skeemi simulaator
 - <http://www.falstad.com/circuit/>
 - vt. nt. Circuits -> Combinational Logic -> 7 Segm. LED Dec.
- ✓ *Diskreetne matemaatika, digitaalsüsteemid, ...*

Projekteerimine tänapäeval

✓ Riistv



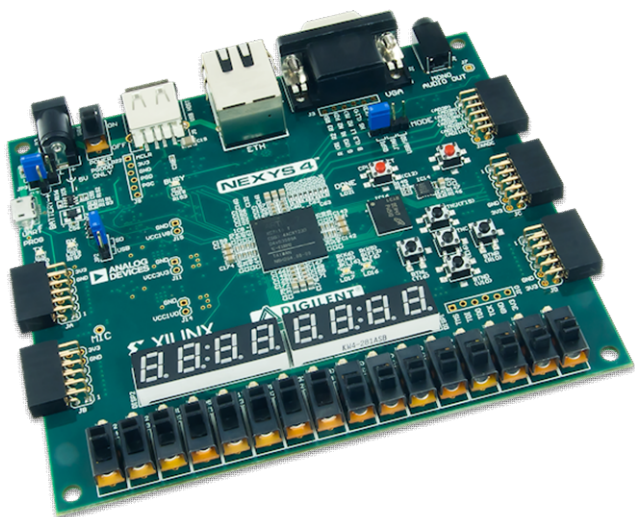
Loogikast skeemini

- ✓ Analoo & kõrgsageduslik elektroonika
- ✓ Füüsikalise taseme disain e. prototüüpimine & realiseerimine
 - Millest koosnevad loogika-elemendid?
 - Kuidas neid paigutada ja omavahel siduda?
- ✓ Tulemuseks trükkplaat / mikroskeem
- ✓ Skeemi simulaator
 - <http://www.falstad.com/circuit/>
 - Import [komparaator](#) või [võimendi](#) või kasuta valmisolevaid
 - <http://www.ati.ttu.ee/IAS0001/comparator.txt>
 - <http://www.ati.ttu.ee/IAS0001/amplifier.txt>

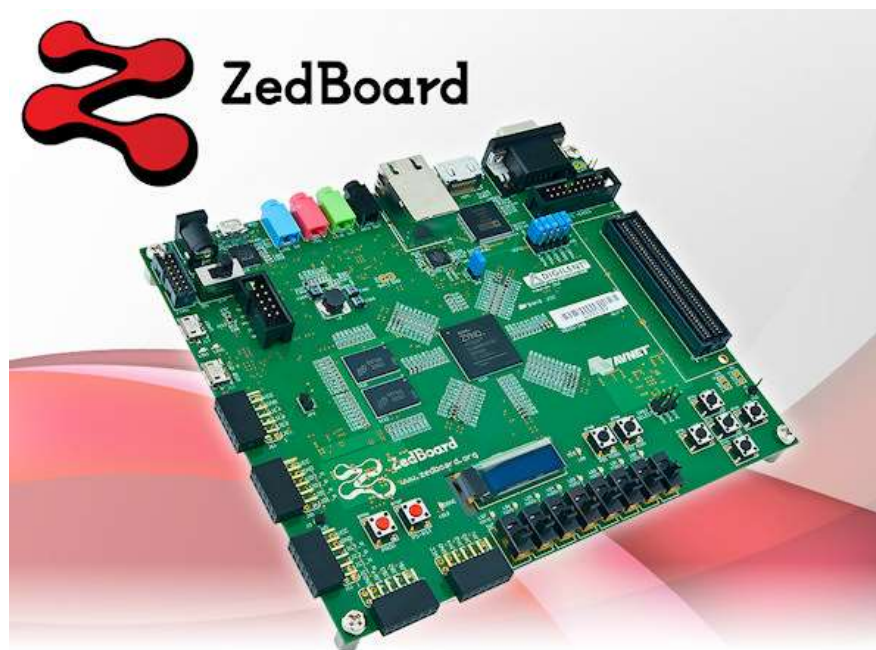


Prototüüpimine

- ✓ Võimalus kontrollida süsteemi tööd reaalsusele lähedastes tingimustes ilma vajaduseta luua ülikallist spetsialiseeritud mikroskeemi



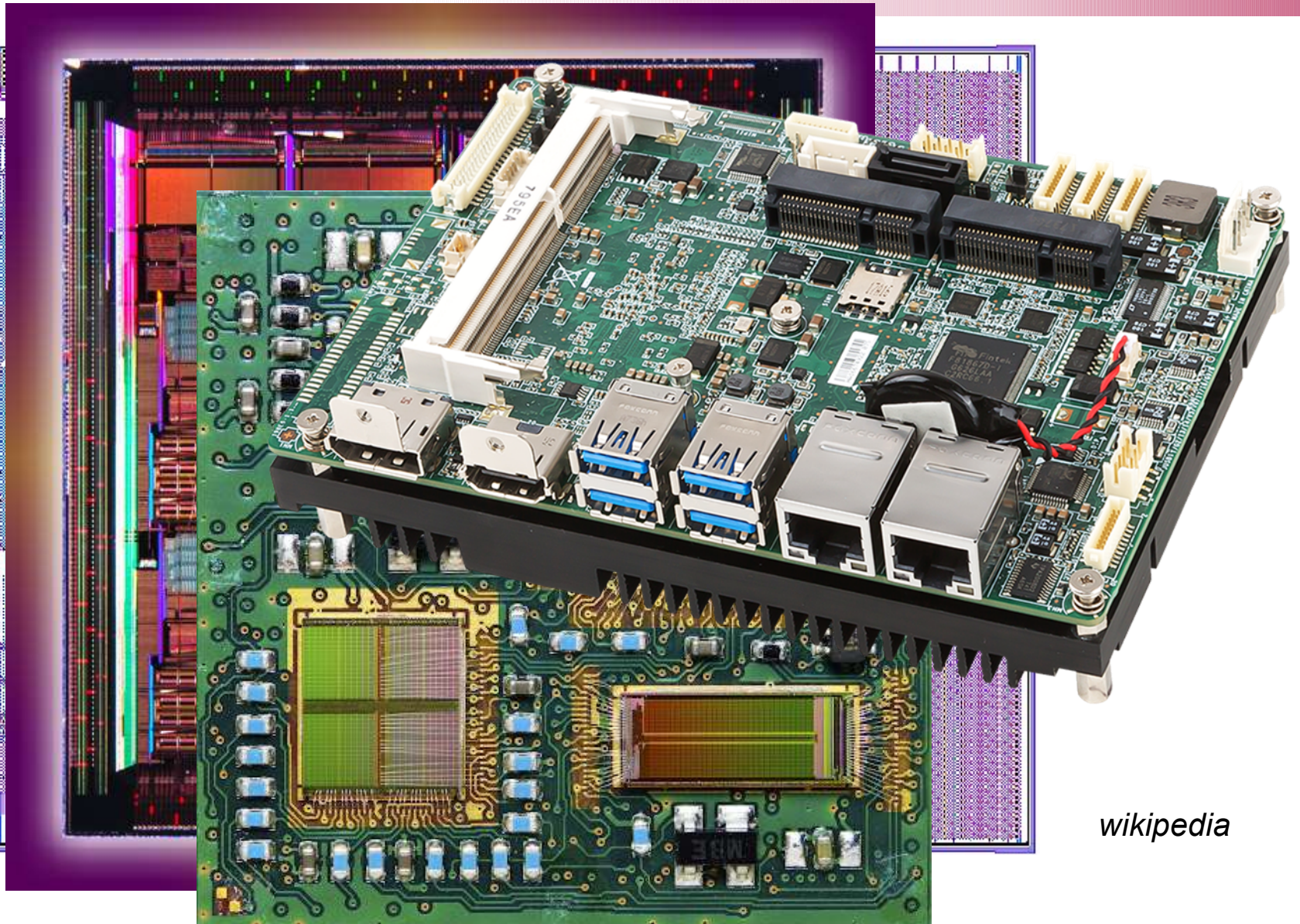
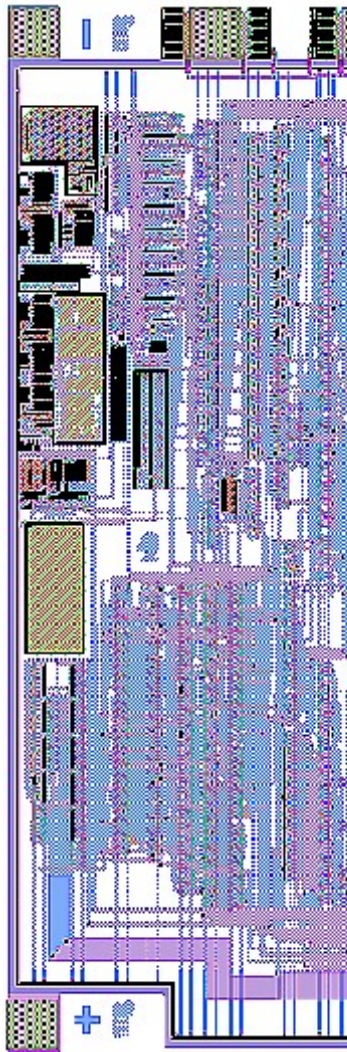
Digilent, Inc. / digilentinc.com / \$180
[Xilinx, Inc. / FPGA XC7A100T]



Digilent, Inc. / digilentinc.com / \$320
[Xilinx, Inc. / SoC XC7Z020]

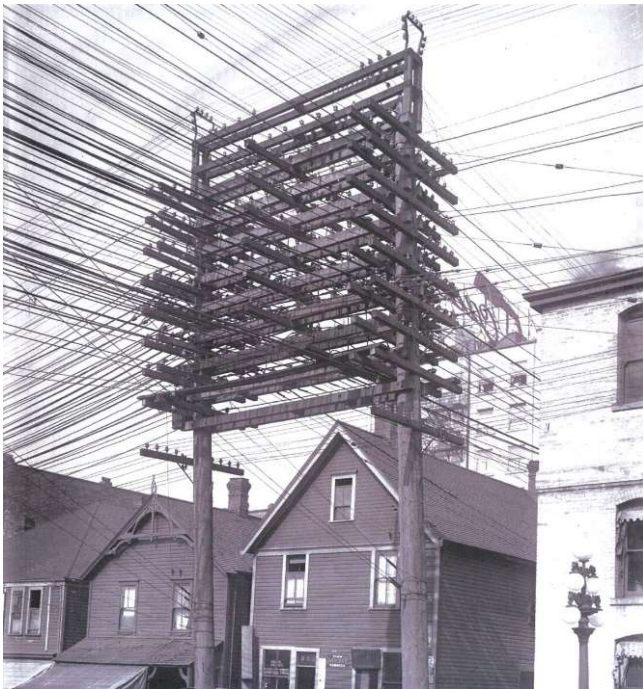
- ✓ *Digitaalsüsteemid, automaatjuhtimine, sardsüsteemid, asjade internet, projektid, ...*

Mikroskeem / multikiipmoodul / trükkplaat

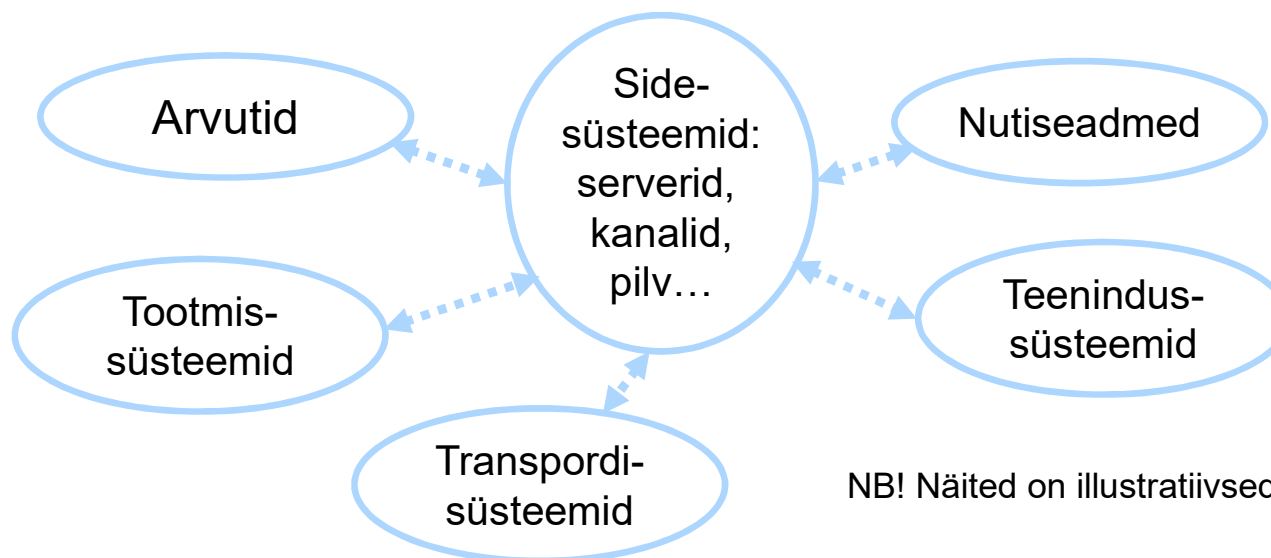


wikipedia

Kommunikatsioon



wikipedia



NB! Näited on illustratiivsed

Info allikas (saatja) /
Info tarbija (vastuvõtja)
– edastusviisid
– edastusvahendid
– keskkonnamõjud
– ...

Info edastamine

Inimeselt inimesele

- ✓ Rääkimine, kõnelemine, ...
 - infoedastus pidevalt / reaalsajas
- ✓ Joonistamine, kirjutamine, ...
 - infoedastus teadetena / pakettidena
- ✓ Edastajate / kuulajate arv
 - punktist punkti (point-to-point)
 - massidele (multiway, broadcasting)
- ✓ Arvutilt arvutile
 - pakettidena (näiliselt) reaalsajas

Andmekandja omadused

- ✓ Rääkimine – õhk (pikilained)
 - sumbumine, peegeldused, häired
- ✓ Kirjutamine – kivi, puu, paber, plastik, ...
 - materjali vastupidavus
- ✓ Arvutilt arvutile – elektromagnetlained
 - sumbumine, peegeldused, häired
- ✓ Põhiprobleem – kaugele, kiiresti ja kvaliteetselt?!

Kaugele, kiiresti ja kvaliteetselt?!

✓ Rääkimine – õhk (pikilained)

- sumbumine – hääl levib igas suunas
- häired – taustamüra, mitu rääkijat, ...
- peegeldused – helilainete kattumine

✓ Helilainete kattumine

- sumbumine (vastandfaas)
- võimendumine (päriifaas)
- <http://www.falstad.com/interference/>

✓ „Võimendumine“ – ruupor & kuuldetoru

Kaugele? Kiiresti? Kvaliteetselt?

✓ Kirjutamine – kivi, puu, paber, plastik, ...

- materjali vastupidavus
 - „tuli, vesi ja vasktorud“ ...
- infokandja transport
 - mida kiirem, seda kallim...
 - mida kindlam, seda kallim...

Kaugele? Kiiresti? Kvaliteetselt?

✓ „Võimendumine“ ehk abivahendid?

- semafor, heliograaf, optiline telegraaf, ...

Kaugele? Kiiresti? Kvaliteetselt?

Ja siis tuli elekter...

✓ Traatside

- telegraaf – patarei -> lüliti -> traat -> relee
- telefon – patarei -> mikrofon -> traat -> kuular
- erinevus modulatsioonis – digitaal / analoog

Kaugele? Kiiresti? Kvaliteetselt?

✓ Raadioride

- lüliti/mikrofon -> modulaator -> võimendi -> antenn -> antenn -> võimendi -> demodulaator -> relee/kuular
- raadiotelegraaf / raadiotelefon – digitaal / analoog

Kaugele? Kiiresti? Kvaliteetselt?

✓ Modulatsioon – *side, sidetehnika, elektromagnetväljehnika, ...*

Kokkuvõtte asemel...

Süsteem kui tervik – tagasiside!

