

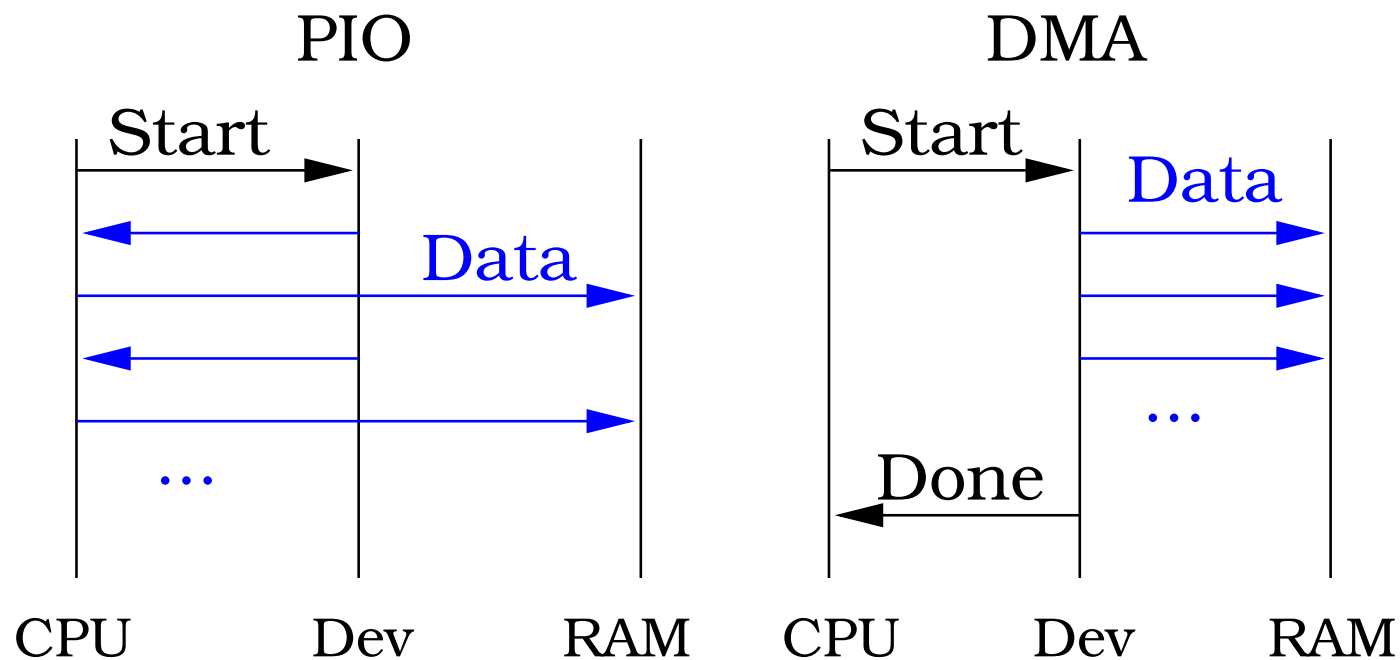
## Kiirülevaade riistvarasuhtlusest

- Riistvarasuhtlus (pordid, DMA, ...)
- Katkestused
- Süsteemsed siinid
- Arvutivälised siinid ja pordid
- Salvestusseadmete liidesed
- Rakenduste liidesed sisendi ja väljundi jaoks

Storage	latency	
L1 cache reference	0.5	ns
Branch mispredict	5	ns
L2 cache reference	7	ns
Mutex lock/unlock	25	ns
Main memory reference	100	ns
Compress 1K bytes with Zippy	3,000	ns
Send 1K bytes over 1 Gbps network	10,000	ns
Read 4K randomly from SSD	150,000	ns
Read 1 MB sequentially from memory	250,000	ns
Round trip within same datacenter	500,000	ns
Read 1 MB sequentially from SSD	1,000,000	ns
Disk seek	10,000,000	ns
Read 1 MB sequentially from disk	20,000,000	ns
Send packet CA->Netherlands->CA	150,000,000	ns

## Riistvarasuhtlus

- Port IO vs MMIO (*Memory Mapped I/O*)
- Seadme registrid
- Vookontroll
- PIO (*Programmed I/O*) vs DMA / DVMA

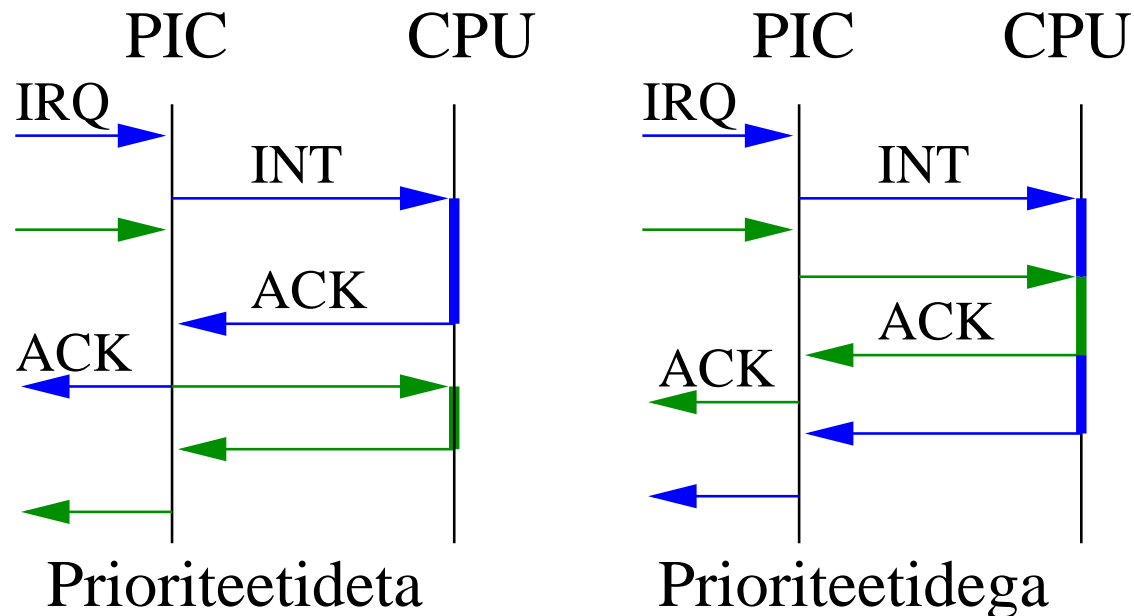


## Katkestused

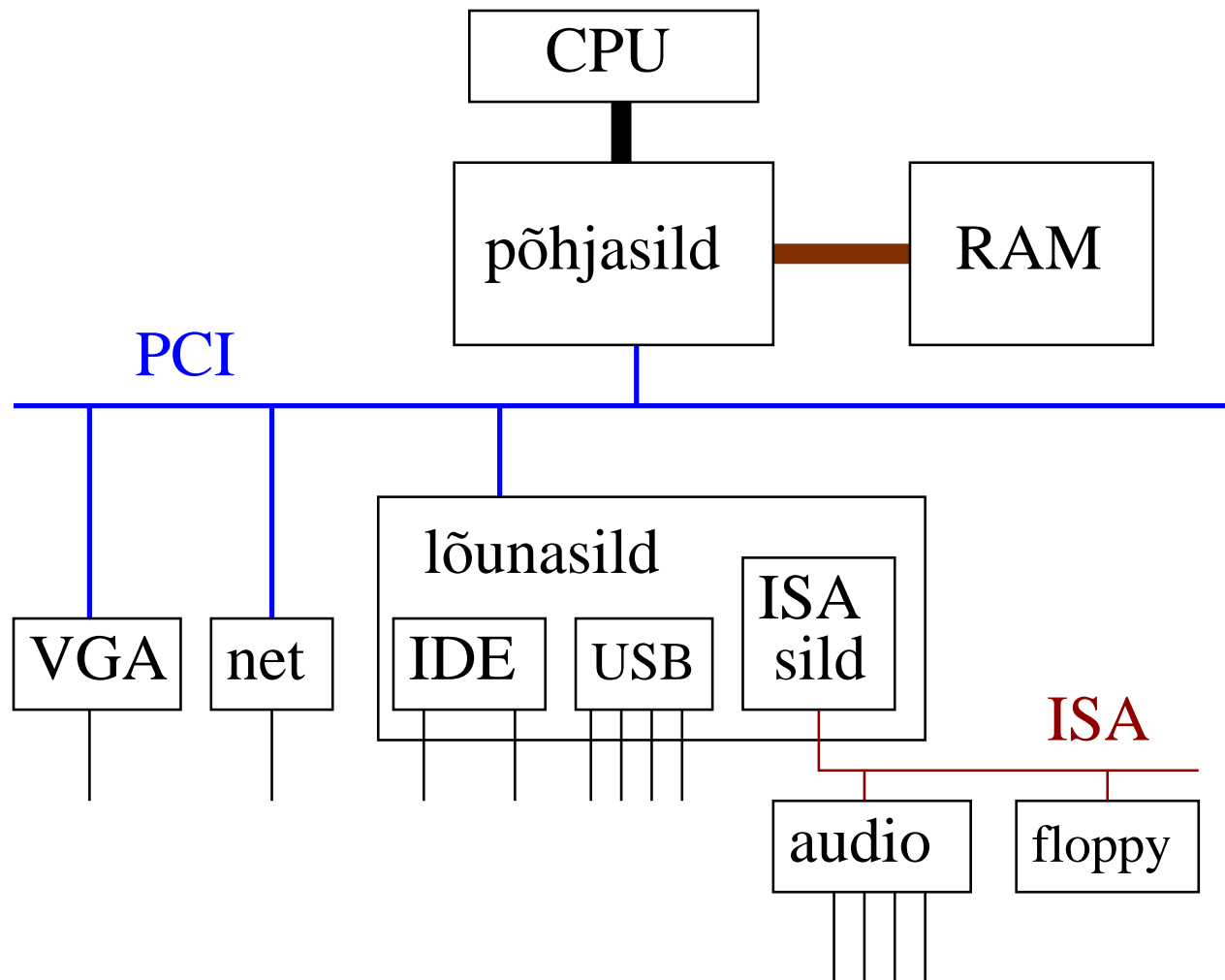
- Pollimine vs katkestused
  - Kummalgi oma head ja vead
- Püünised on protsessorisisesed katkestused
- Jagatavad katkestused vs palju katkestusi
- Signaali tõusva frondiga (*edge-triggered*) vs nivooga (*level-triggered*) edastatavad katkestused
- Katkestus kui teade
- Maskeeritavad ja mittemaskeeritavad katkestused (*NMI*)
- Katkestuste ühekaupa maskeerimine kui vookontrolli vahend

## Katkestuste prioriteedid

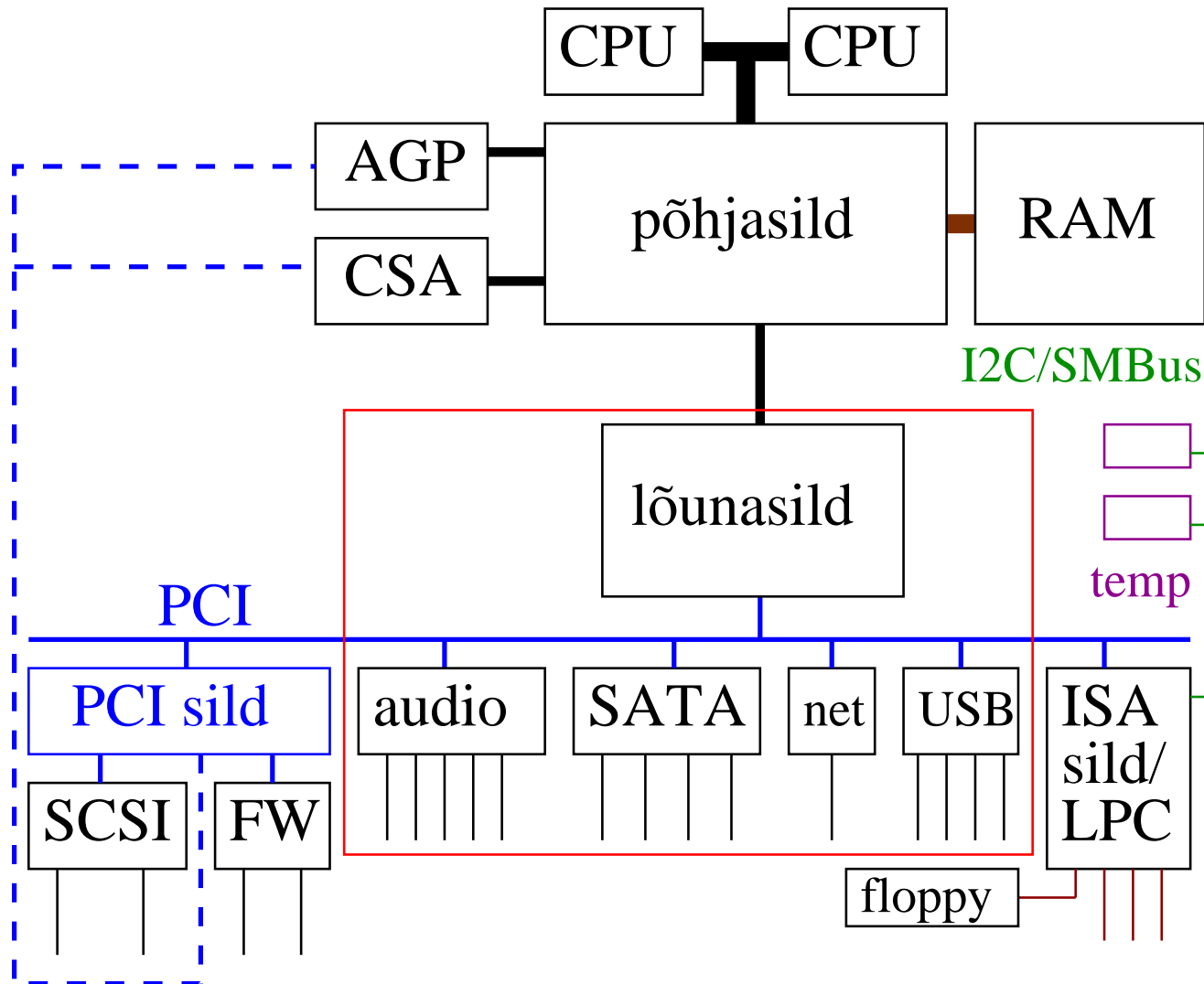
- Võime erinevatele katkestustele anda erinevad prioriteedid
- Suurema prioriteediga katkestus võib vahele segada väiksema prioriteediga katkestuse teenindamisele
- Prioriteetidega katkestused kui vahend vookontrolliks tuumas
- Prioriteetide programmeerimine katkestuste kontrollerisse on lisakulu



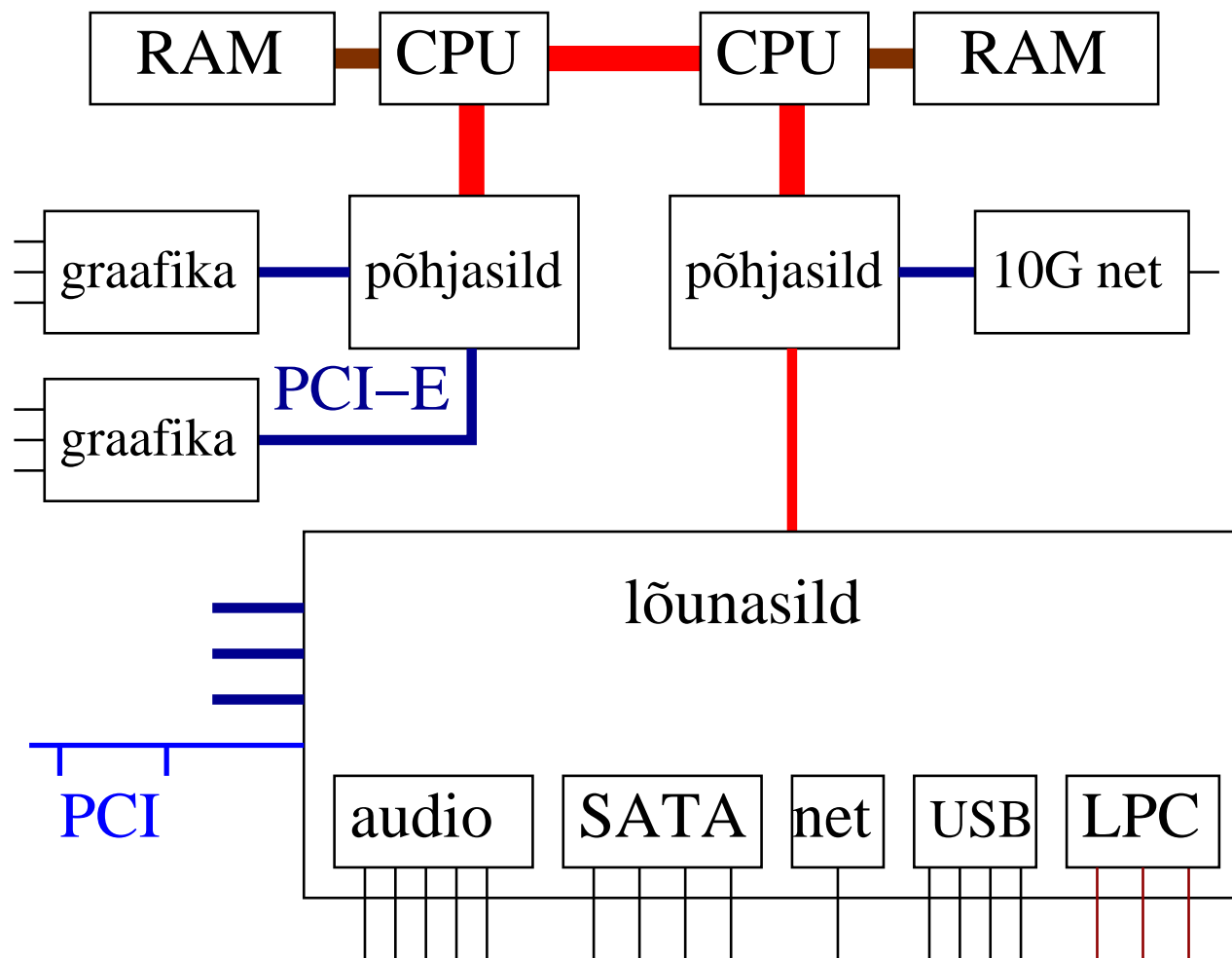
## Ülevaade vanast PC-arvutist



# Ülevaade PC-arvutist



## Ülevaade kaasaegsest PC-arvutist





## Süsteemsed siinid

- Vana PC: ISA, EISA, MCA, VLB
- PnP, ISAPnP, muu PnP
- Kaasaeg: PCI perekond
- PCMCIA / PC Card, ExpressCard, CompactFlash, ...
- SoC (*System on a Chip*) sisemised siinid

## PCI (*Peripheral Component Interface*)

- Algselt 32-bitine, 33 MHz
- 64-bitine 66 MHz PCI
- AGP — *Advanced Graphics Port* (PCI+IOMMU)
- Mitu pinget
- PCI-X (32 või 64-bitine; 33, 66, 100, 133, 266 ja 533 MHz)
- PCI Express (PCI-E)
  - Kuni 32 jada kanalit paralleelselt
  - Üks kanal (*lane*) 250 MB/s, 2.5 GT/s
  - PCI-E 2.0: 5GT/s, 3.0: 8 GT/s, 4.0: 16 GT/s
- CSA — *Communication Streaming Architecture*
- Hotplug, Thunderbolt, cPCI
- SATA Express

## Flash-mälu liidesed

- MTD (*Memory Technology Devices*) — flash-kivide madala taseme liidesed (NAND, NOR tavaliselt)
- (EEPROM,) Flash BIOS
- I2C, SPI stiilis liidesed
- CompactFlash
- MMC/xD
- SD/SDIO
- ...
- Enamus liideseid on kasutatavad ka IO-seadmetele

## Arvutivälised pordid

- Jadapordid — RS-232, RS-422 (0.15..460 kbps)
- Paralleelpord — IEEE-1284 (kuni 8 Mbps)
- PS/2 — spetsiaalne jadapord
- Muud spetsiaalsed jadapordid (klaviatuurid, JTAG, ...)

## Arvutivälised siinid

- ADB — *Apple Desktop Bus* (10 kbps)
- USB — *Universal Serial Bus*
  - 1.1 ja 12 Mbps (UHCI, OHCI)
  - 480 Mbps (EHCI, USB 2.0)
  - 4.8 Gbps (XHCI, USB 3.0)
  - 10 Gbps (USB 3.1)
  - 20 Gbps (USB 3.2)
  - Wireless USB (WUSB) — 53..480 Mbps
- FireWire (IEEE-1394)
  - 400 Mbps, 800 Mbps, (1600 Mbps, 3200 Mbps)
  - OHCI

## Salvestusseadmete liidesed

- SCSI — *Small Computer Systems Interface* — tegelikult terve protokollivirn erinevate transpordikihtidega
- IDE (*Integrated Drive Electronics*) / ATA (*AT Attachment*)
- ATAPI — *ATA Packet Interface*
- FibreChannel — füüsiline kanal SCSI, IP jms jaoks; tegelikult omaette võrk
- Serial ATA
  - AHCI kui universaalne riistvaraliides SATA kontrolleritele
- SAS — *Serial Attached SCSI*
- Oma kontrolleri PCI-Express liidesega
  - SSD: AHCI, NVMe

## SCSI

- Füüsiline kanal ja sideprotokoll on omavahel sõltumatud
- Füüsiliseks kanaliks oli esialgu paralleelkaabel
- FC, USB, FireWire, iSCSI, ...
- Palju seadmeid samal siinil (tavaliselt kuni 8 või 16)
  - Adresseerimine: (*bus, target, LUN*)
- Märjastatud käskude järjekord (TCQ — *Tagged Command Queuing*)

## IDE/ATA standardid

Nimetus	max kiirus	moodid
ATA (ATA-1)	8.3 MB/s	PIO 0-2, SWDMA 0-2, MWDMA 0
ATA-2	16.6 MB/s	PIO 0-4, SWDMA 0-2, MWDMA 0-2
ATA-3	16.6 MB/s	PIO 0-4, SWDMA 0-2, MWDMA 0-2
ATA-4	33 MB/s	+ UDMA 0,1,2
ATA-5	66 MB/s	+ UDMA 3,4
ATA-6	100 MB/s	+ UDMA 5
—	133 MB/s	mittestandardne
SATA-1	150 MB/s	eSATA, PMP
SATA-2	300 MB/s	NCQ
SATA-3	600 MB/s	
SATA-3.1	600 MB/s	mSATA, Zpodd, link power mgmt
SATA-3.2	1969 MB/s	SATA Express, M.2, microSSD



## Võrguliidesed

- Eelajalugu: PIO
- Tänapäev: DMA (joondus mälus!)
- Scatter-gather DMA
- Checksum offloading
- Interrupt mitigation
- Segmentation offloading (TX/RX)
- Full TCP offloading
- Multiqueue
- Mitu virtuaalset seadet (VFIO)

## Tuuma I/O alamsüsteem

- I/O planeerimine, elevaatorid
- Puhverdamine
  - Erinevad kiirused
  - Topeltpuhverdamine (*double buffering*)
  - Erinevad plokisuurused
  - Vahemälu (*cache*)
  - Spuuling (*spooling*)
- Veatöötlus (errno vs keerulisemad asjad)
- Seadmete numbrid (seadme klass ja seadme alamnumber) — vanasti tabelitena, uuemal ajal dünaamilisem

## Rakenduste liides sisendile-väljundile

- Programmeerimisliidesed seadmeklasside kaupa
- Seadmedraiverite kiht peidab ära erinevate seadmete, siinide jms omapärad
- Seadmed erinevad mitmetes aspektides:
  - Plokkseadmed vs märkseadmed
  - Järjestikpöördus vs otsepöördus
  - Sünkroonne vs asünkroonne režiim
  - Jagatav või ühele kasutajale korruga
  - Kiirused erinevad paljude suurusjärkude poolest
  - Lugemiseks, kirjutamiseks, lugemiseks-kirjutamiseks
  - Plokkseadmed: failisüsteem vs otsejuurdepääs (*raw I/O*)

## Tegelik andmete lugemine/kirjutamine

- `read()/write()` süsteemifunktsioonid — kopeerivad ühe andmepuhvri tuuma ja kasutajaprogrammi vahet
- `readv()/writev()` süsteemifunktsioonid — kopeerivad terve listi puhvritest, sobiva puhvrite joonduse korral kasutatav zero-copy I/O jaoks
- `mmap()` süsteemifunktsioon sobib ka otsepöördusseadmete kujutamiseks
- `ioctl()` süsteemifunktsioon — tagauks otse draiverisse rakenduste tasemelt. Igal draiveril oma `ioctl`'id

## Blokeeruv ja mitteblokeeruv I/O

- Mida teeb süsteemifunktsioon, kui tema kaudu tehtav I/O aega võtab?
  - Blokeeruvad süsteemifunktsioonid — protsess/lõim blokeeritakse kuni operatsiooni lõppemiseni või vea saamiseni (sünkroonne liides)
  - Mitteblokeeruvad süsteemifunktsioonid — protsessile tagastatakse tulemus, mis ütleb, et käsk on nüüd töös, hiljem saab päris tulemuse teada (asünkroonne liides)

## Asünkroonse I/O liidesed

- Palju liideseid asünkroonsuse realiseerimiseks:
  - Callbackid
  - AIO teegid
  - `select()` / `poll()`
  - `epoll()`
  - SIGIO
  - POSIX reaajasignaali failipideme numbriga
  - I/O completion ports
  - `kevent/kqueue`
  - `/dev/poll`

## Jõudlus

- Protsesside kontekstivahetuste arvu minimeerimine
- Andmete kopeerimiste arvu vähendamine
- Katkestuste sageduse vähendamine suuremate plokkide kaudu transportimise abil
- *Interrupt mitigation*
- Protsessori cache efektiivsuse suurendamine sarnaste objektide pakktöötamise abil
- Paralleelsuse suurendamine DMA kasutamise abil
- Tõsta rohkem tööd riistvarasse
- Balansseerida protsessori, mälu alamsüsteemi, siinide ja I/O seadmete jõudlus, et osa süsteemist tühikäigul ei oleks

## Graafikaliidesed

- Esimene põlvkond lihtsalt rastergraafika kaadripuhvriga (*framebuffer*)
- Rastergraafika tasemel kiirendusoperatsioonid — *line, box, fill, blit, ...*
- Vektorgraafika (3D → 2D)
- DMA+IRQ järjekord



## Graafika-APId

- MSDOS — puudub
- Macintosh, Amiga — "toolbox" ROM'is, opsüsteem laiendas seda
- Windows — GDI, hiljem GDI+; lisaks DirectX
- Unix — X11, hiljem lisaks OpenGL, nüüd Linuxis ka Wayland  
X11 asemel OpenGL all
- MacOS X — Quartz (terve pere), Quartz Extreme (sisemiselt vektor)
- Windows Vista — *Windows Presentation Foundation* ehk Avalon (sisemiselt vektor)
- Igal aknal oma puhver (pluss nende kombineerimine) või üks ühine kaadripuhver