



RAČUNALNIŠKA ARHITEKTURA

10 Vhod in izhod v von Neumannovem računalniku – izbrane teme



10. Vhod in izhod v von Neumannovem računalniku

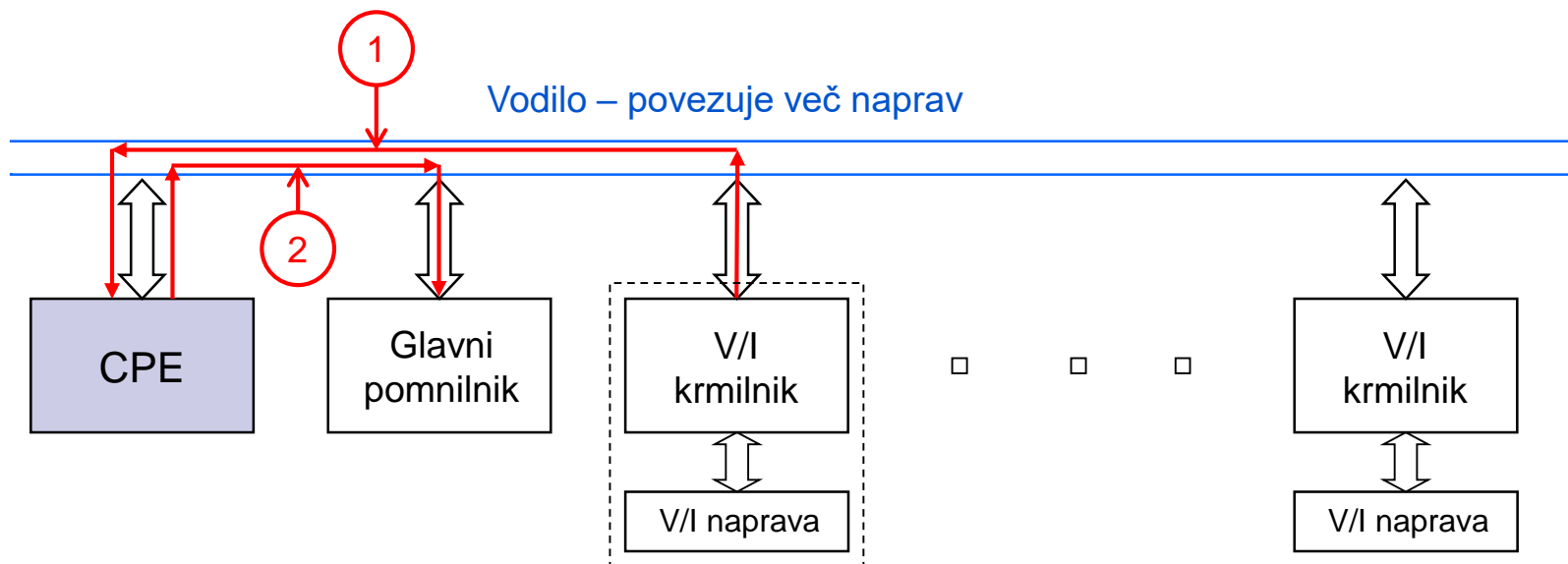
- V/I naprave, ki služijo pretvarjanju informacij iz ene oblike v drugo (tipkovnica, miška, zaslon, tiskalnik . . .)
- V/I naprave za shranjevanje informacij – pomožni pomnilniki (trdi disk, SSD, magnetni trak, DVD . . .)
- Osnovni način delovanja V/I sistema: prenos podatkov med V/I sistemom in glavnim pomnilnikom

Izvedbe V/I prenosa

■ Programski vhod/izhod (programmed I/O – PIO)

- Prenos vodi program, ki ga izvaja CPE.
- Z V/I napravo komunicira CPE.
- Potek prenosa (branje iz V/I naprave)

- V/I → CPE → pomnilnik

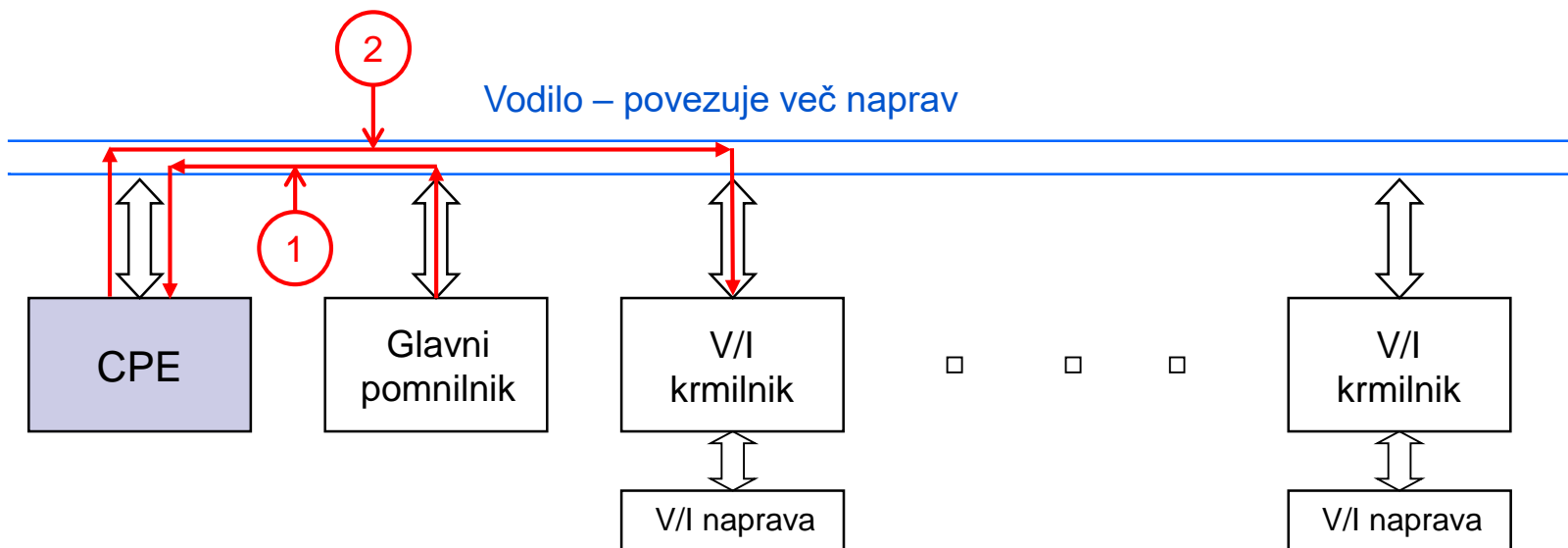




■ Programski vhod/izhod (programmed I/O – PIO)

□ Potek prenosa (pisanje v V/I napravo)

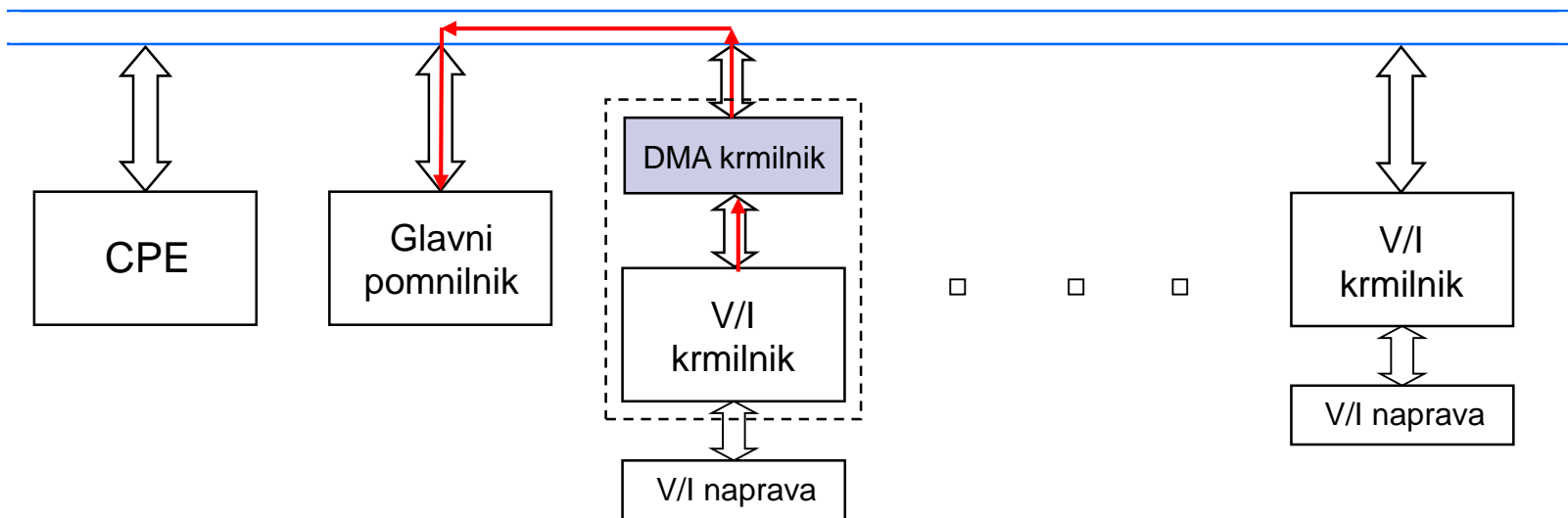
- Pomnilnik ¹ → CPE ² → V/I naprava



■ Neposredni dostop do pomnilnika (direct memory access – DMA)

- CPE začne in konča prenos, prenos vodi DMA krmilnik.
- Potreben je DMA krmilnik.
- Potek prenosa
 - V/I → DMA krmilnik → pomnilnik

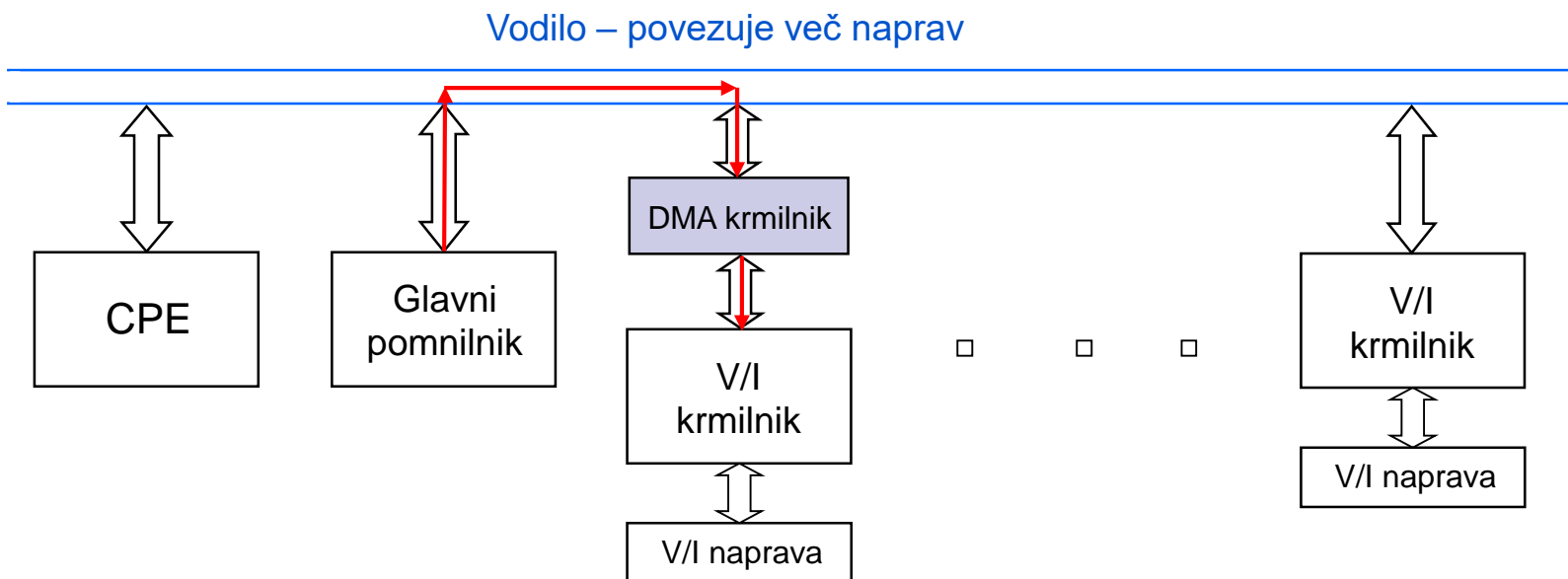
Vodilo – povezuje več naprav



- Neposredni dostop do pomnilnika (direct memory access – DMA)

- Potek prenosa

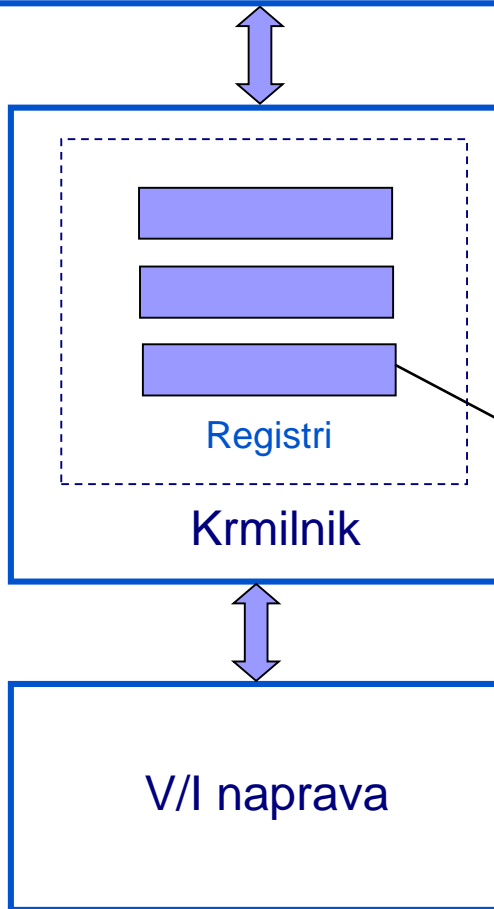
- Pomnilnik → DMA krmilnik → V/I naprava





Krmilnik V/I naprave

- Vsaka V/I naprava je priključena preko krmilnika naprave.
- Gledano iz CPE je krmilnik videti kot določeno število registrov, v katere se lahko piše ali iz njih bere.
- Pisanje (lahko tudi branje) v določen register (ukazni register) lahko sproži operacijo v V/I napravi (ukaz napravi).
- Branje iz določenega registra (statusni register) odraža stanje naprave po V/I operaciji (status naprave).
- Tudi prenos informacij poteka z branjem iz določenega registra krmilnika ali s pisanjem v register krmilnika (podatkovni register).



Vodilo

Primer: Kontrolni register časovnika na ARM9

34.6.3 TC Channel Control Register

Register Name: TC_CCRx [x=0..2]

Access Type: Write-only

31	30	29	28	27	26	25	24
-	-	-	-	-	-	-	-
23	22	21	20	19	18	17	16
-	-	-	-	-	-	-	-
15	14	13	12	11	10	9	8
-	-	-	-	-	-	-	-
7	6	5	4	3	2	1	0
-	-	-	-	-	SWTRG	CLKDIS	CLKEN

• **CLKEN: Counter Clock Enable Command**

0 = No effect.

1 = Enables the clock if CLKDIS is not 1.

• **CLKDIS: Counter Clock Disable Command**

0 = No effect.

1 = Disables the clock.

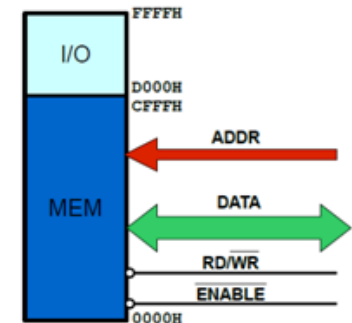
• **SWTRG: Software Trigger Command**

0 = No effect.

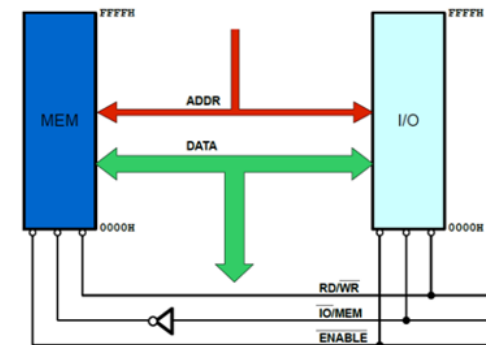
1 = A software trigger is performed: the counter is reset and the clock is started.

Naslovi registrov v V/I krmilniku

- **Pomnilniško preslikani vhod/izhod** (memory mapped I/O) – registri krmilnikov so iz CPE videti enako kot pomnilniške lokacije. Naslovi registrov zasedajo pomnilniški naslovni prostor.
- **Ločeni vhodno/izhodni naslovni prostor** – potrebni so posebni vhodno/izhodni ukazi za dostop do registrov krmilnikov. Register v krmilniku in pomnilniška beseda imata lahko enak naslov.
- **Posredno naslavljanje preko V/I procesorjev** – naslovi registrov krmilnikov so v posebnem naslovnem prostoru, do katerega imajo dostop samo V/I procesorji.



I/O Mapped I/O (Port I/O)





Prenosne poti v von Neumannovem računalniku

- Tvorijo povezavo med CPE, glavnim pomnilnikom in V/I sistemom.
- Hiter računalnik zahteva hitre povezave, ki omogočajo prenos čim več podatkov v časovni enoti.



- Ena prenosna pot omogoča, da se v nekem trenutku izvaja samo en prenos.

- Količino informacije, ki jo lahko prenesemo po določeni poti, lahko povečamo:
 - s krajšanjem časa, ki je potreben za en prenos,

 - z večanjem števila bitov, ki se prenesejo v enem prenosu
(= s povečanjem širine prenosne poti).



- Na hitrost vpliva zato tudi število prenosnih poti – govorimo o povezovalnih strukturah.

- Vrste prenosnih poti:
 - vodilo (bus)

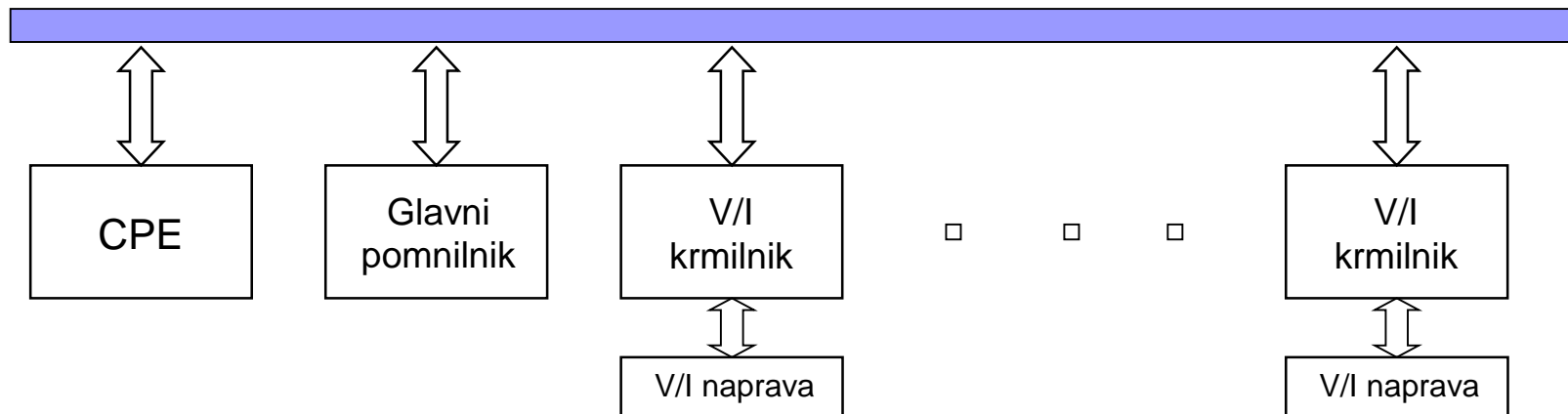
 - povezava točka v točko (point to point)

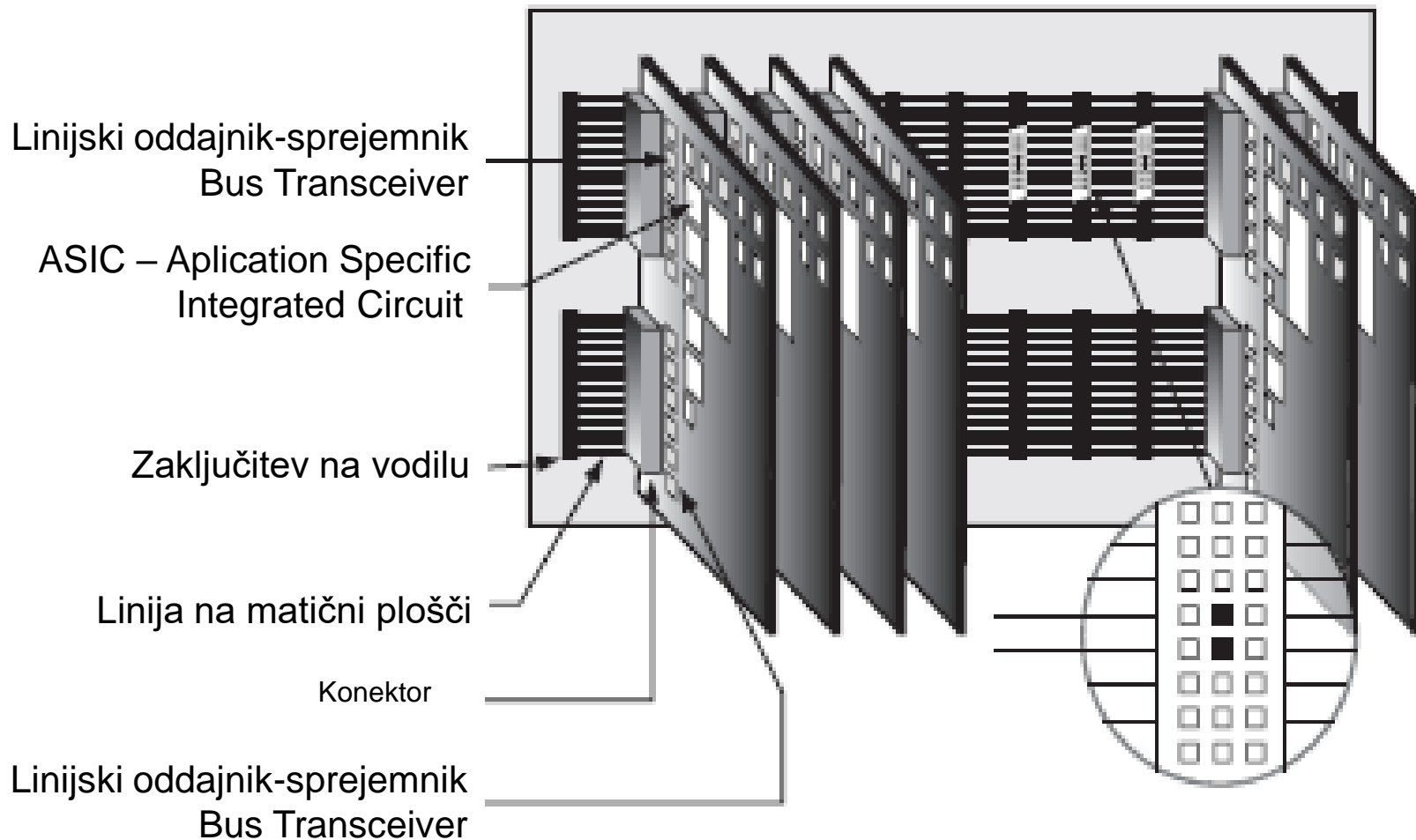


■ Vodilo (angl. bus)

- Vodilo si delijo vse enote, ki so priključene nanj.
- Fizično je vodilo množica paralelnih linij (žic), po katerih potujejo električni signali.
- Linije imajo odcepe, na katere so priključene enote.

Vodilo – povezuje več naprav

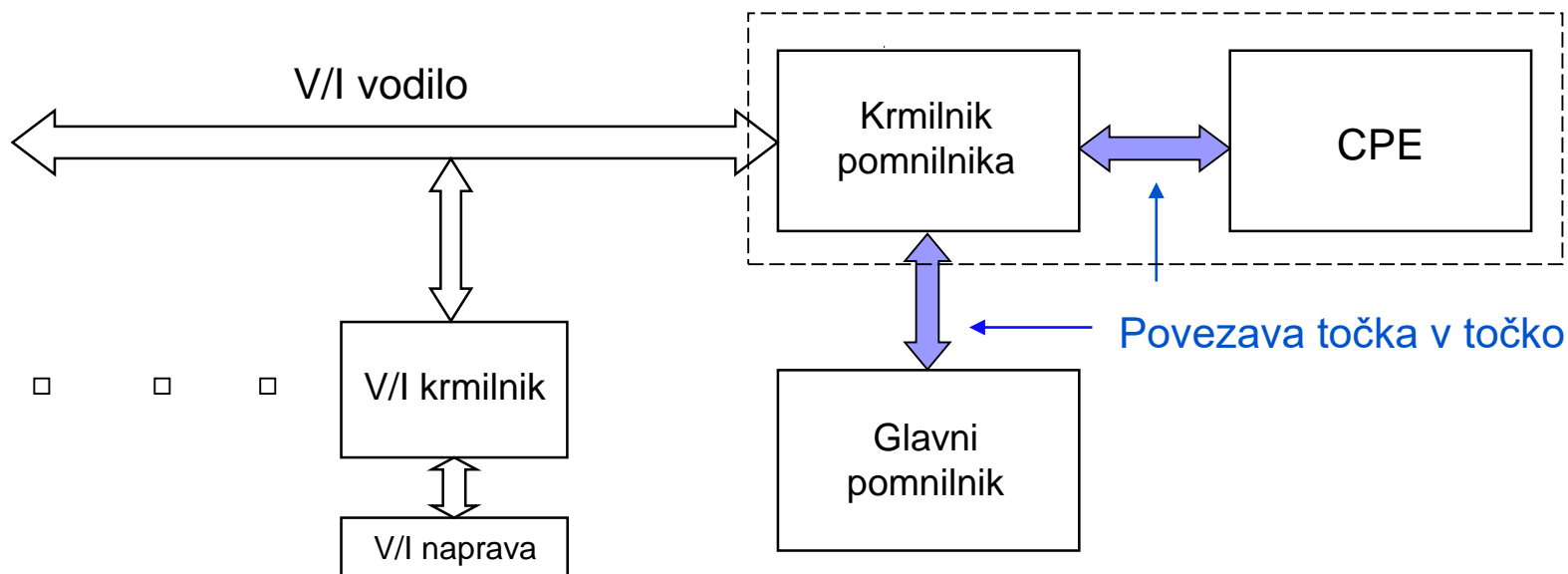






- Povezava točka v točko (angl. point to point)

- Prenosna pot, ki povezuje samo dve napravi (PCIe, USB3, SATA, ...)





Signali, ki se prenašajo po prenosnih poteh

- Po linijah, ki sestavljajo prenosno pot, se prenašajo tri vrste signalov:
 - naslovni signali
 - kontrolni signali
 - podatkovni signali



■ Naslovni signali

- Določajo naslov pomnilniške besede ali V/I naprave (registra v krmilniku V/I naprave), na katero se nanaša prenos.
- Število naslovnih signalov (bitov) določa velikost naslovnega prostora.
- Običajne oznake npr. pri 32-bitnih naslovih A0 – A31



■ Kontrolni signali

- Določajo smer prenosa (branje ali pisanje), število prenesenih bitov in časovno zaporedje dogodkov pri prenosu itn.

- Nekateri kontrolni signali:
 - urin signal (običajna oznaka signala CLK),
 - bralno-pisalni signal (oznaka R/W),
 - signal za resetiranje procesorja (oznaka RESET)
 - prekinitvena zahteva (oznaka INT ali IRQ),
 -

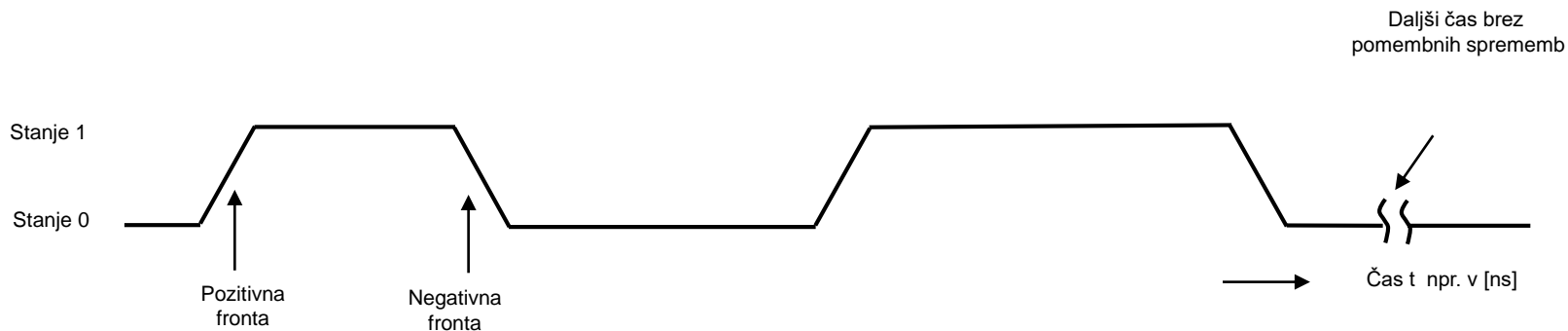
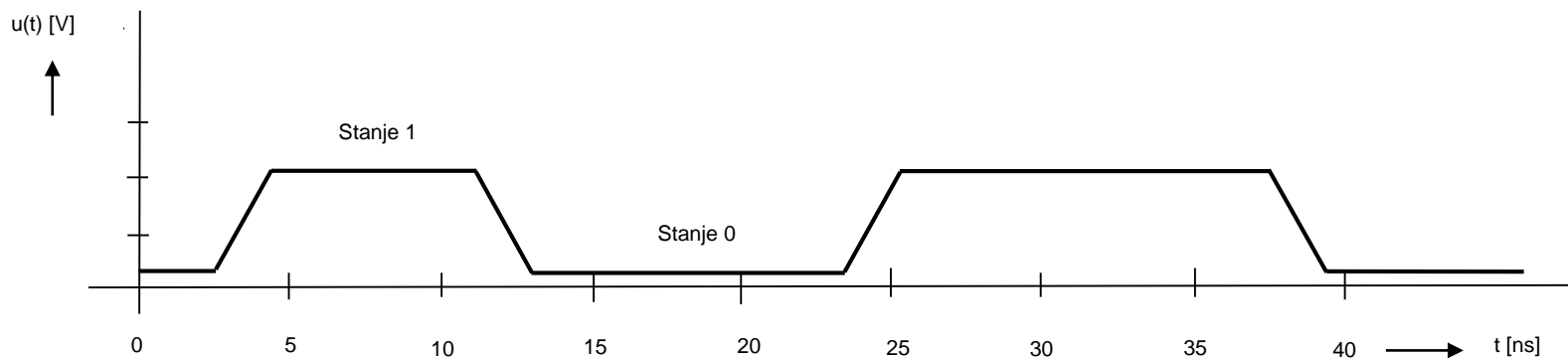


■ Podatkovni signali

- Število podatkovnih signalov (linij) je enako številu bitov, ki se naenkrat prenašajo po prenosni poti – širina prenosne poti.
- Pri širini 64 bitov so možni 8-, 16-, 32- in 64-bitni prenosi.
- Običajne oznake npr. pri 64-bitni širini D0 – D63

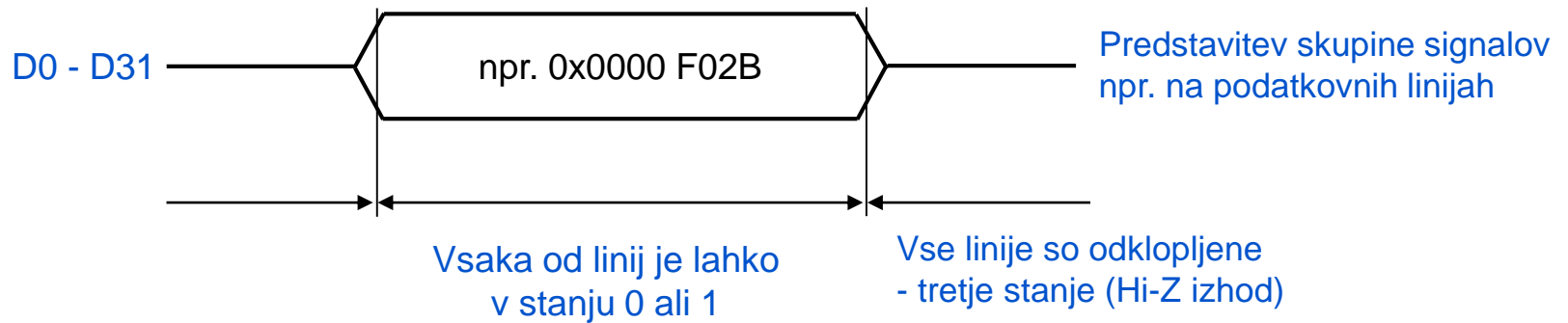
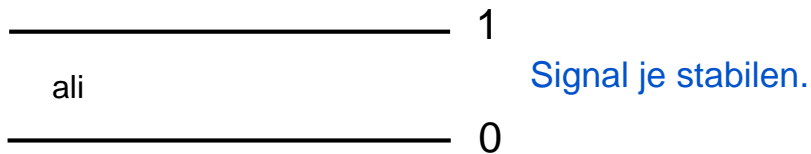


Predstavitev signalov s časovnimi diagrami



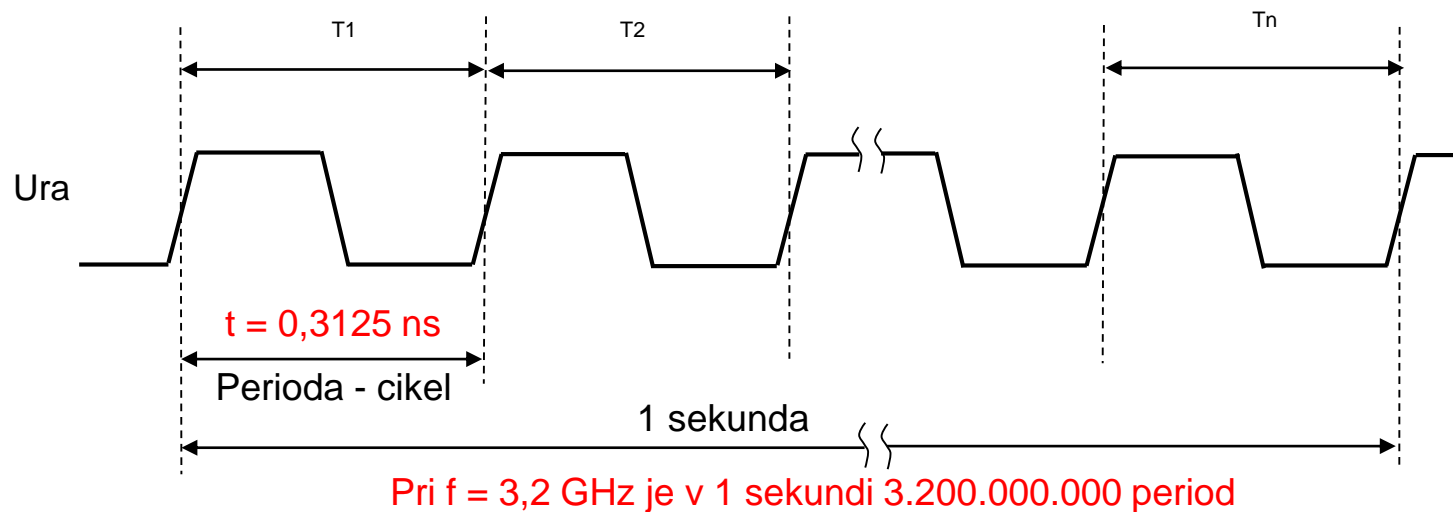


Signali na prenosnih poteh





Urin signal - periodični pravokotni signal



Frekvenca periodičnega signala f = število period (ciklov) v 1 sekundi

Enota za frekvenco je Hertz (Hz): $1 \text{ Hz} = 1 \text{ perioda/s} = 1 \text{ s}^{-1}$

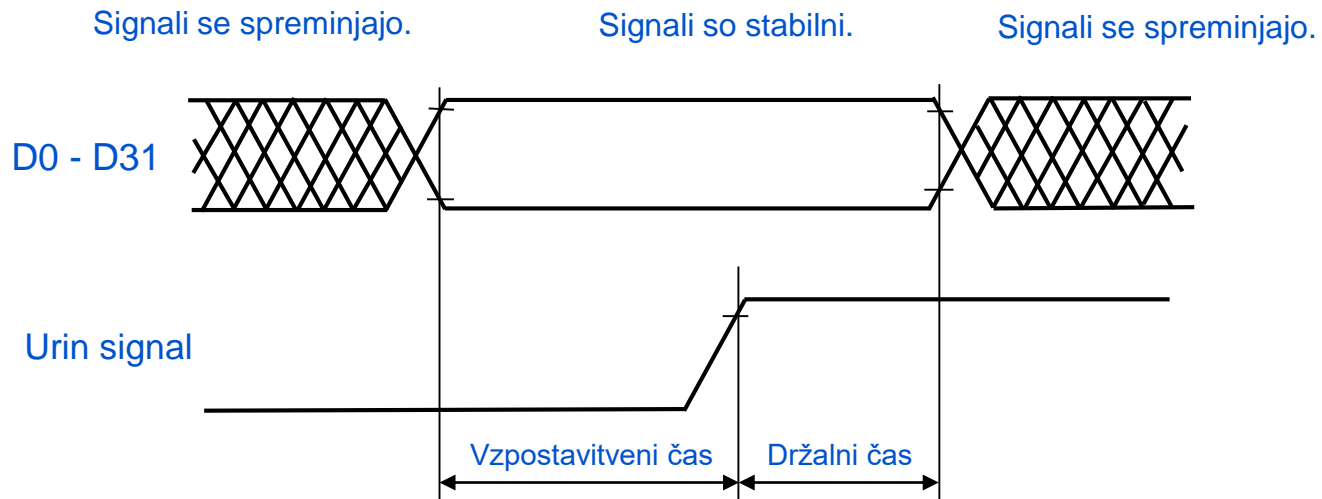
Čas trajanja ene periode $t = 1 / f$

Primer: $f = 3,2 \text{ GHz}$

$$t = \frac{1}{f} = \frac{1}{3,2 \cdot \text{GHz}} = \frac{1}{3,2 \cdot 10^9 \frac{1}{\text{s}}} = 0,3125 \cdot 10^{-9} \text{ s} = 0,3125 \text{ ns}$$



Uporaba urinega signala





Vloge naprav pri prenosu

- Vsak prenos poteka samo med dvema napravama.
- Vlogi naprav pri prenosu
 - gospodar (master) – vodi prenos
 - suženj (slave)



- Pri vodilih je potencialnih gospodarjev lahko več – pri prenosu je aktiven samo eden.
- Pri povezavi točka v točko je samo en gospodar.
- Pri več gospodarjih na vodilu (drugi procesor, DMA krmilnik itn.) je potrebna arbitraža.
- Arbitraža - mehanizem za dogovor, kdo od gospodarjev bo imel pri prenosu nadzor nad vodilom.



Zaporedje dogodkov pri prenosu

- Naslovni signali
 - Gospodar pošlje na prenosno pot naslov, do katerega želi dostop (naslovne signale postavi v stanje, ki ustreza ciljnemu naslovu).

- Kontrolni signali
 - Gospodar poda smer prenosa:
 - bralni prenos
 - pisalni prenos
 - Število bitov, ki naj se prenesejo (če so možni prenosi različnih širin)



■ Podatkovni signali

- Kadar je smer prenosa branje, gospodar pričakuje podatek iz prenosne poti (podatkovne signale).
- Kadar je smer prenosa pisanje, gospodar na prenosno pot pošlje tudi podatek (podatkovne signale).

■ Začetek in konec prenosa

- Gospodar s kontrolnimi signali tudi določi začetek in konec prenosa.



- Vse enote, priključene na prenosno pot (sužnji), primerjajo svoje naslove z naslovom na naslovnih linijah.
- Enota (suženj), ki ugotovi enakost, opravi prenos, ki ga zahteva gospodar.
- **! Prenos:** enkratni paralelni prenos največ toliko bitov, kot je širina podatkovne prenosne poti.



Kapaciteta prenosne poti

- Kapaciteta prenosne poti B (Bandwith, Throughput) je največje možno število:
 - prenosov (Transfers) v sekundi (T/s)
(MT/s = 10^6 T/s, GT/s = 10^9 T/s)
 - prenesenih bitov v sekundi (b/s, Mb/s, Gb/s)
 - prenesenih bajtov v sekundi (B/s, MB/s, GB/s)
 - MB/s = 10^6 B/s; GB/s = 10^9 B/s



$$B = f_{\text{vodila}} \cdot \frac{1}{\text{Štev period za en prenos}} \cdot \text{Širina vodila}$$

- B = kapaciteta (zmogljivost) prenosne poti v bitih/sekundo (ali v bajtih/sekundo, če je širina v bajtih)
- f_{vodila} = frekvenca urinega signala na vodilu v [Hz] = [1/s] (= število urinih period v 1 sekundi)
- *Število period za en prenos* = trajanje enega prenosa v urinih periodah
- *Širina vodila* = število prenesenih bitov (ali bajtov) v enem prenosu



■ Primer: Kapaciteta PCI vodila

- Širina prenosne poti = 32 bitov (= 4 bajte = 4 B)
- Frekvenca urinega signala na vodilu $f_{\text{vodila}} = 33 \text{ MHz}$
- ($33 \text{ MHz} = 33 \cdot 10^6 \text{ Hz} = 33 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1}$!)
- En prenos traja eno urino periodo.

$$B [b/s] = 33 \cdot 10^6 [1/s] \cdot 1 [\textit{perioda} / \textit{prenos}] \cdot 32 [\textit{bitov}] = 1056 \cdot 10^6 [b/s]$$

$$B [B/s] = \frac{1056 \cdot 10^6 [b/s]}{8 [b/B]} = 132 \cdot 10^6 [B/s] = 132 [MB/s]$$

- ali

$$\begin{aligned} B [B/s] &= 33 \cdot 10^6 [1/s] \cdot 1 [\textit{perioda} / \textit{prenos}] \cdot 4 [B] = \\ &= 132 \cdot 10^6 [B/s] = 132 [MB/s] \end{aligned}$$



Vrsta prenosne poti	Kapaciteta v bitih/s	Kapaciteta v Bajtih/s
ISA (8 bitov, 4,77 MHz)	9,6 Mb/s	1,2 MB/s
PCI (32 bitov, 33 MHz)	1056 Mb/s	133 MB/s
PCI (64 bitov, 66 MHz)	4224 Mb/s	528 MB/s
PCI Express 2.0 (x16)	64 Gb/s	8 GB/s
HT (AMD 3.2 GHz)	409,6 Gb/s	51,2 GB/s
QPI (Intel 3,2 GHz)	204,8 Gb/s	25,6 GB/s