



Számítógép Architektúrák II.

(MIVIB344ZV)

7. előadás: I/O műveletek
PCI, PCI Express, SCSI buszok

Előadó: Dr. Vörösházi Zsolt
voroshazi.zsolt@mik.uni-pannon.hu

Jegyzetek, segédanyagok:

- Könyvfejezetek:

- <http://www.virt.uni-pannon.hu> → Oktatás →
Tantárgyak → Számítógép Architektúrák II.
 - ([chapter06.pdf](#))

- Fóliák, óravázlatok .ppt (.pdf)

- Feltöltésük folyamatosan

I/O műveletek

- **Aszinkron protokoll**
- **Szinkron protokoll**
- **Arbitráció (döntési mechanizmus)**
- **Megszakítás – kezelés (operációs rendszerek)**
- **Buszok – Buszrendszerek:**
 - PCI,
 - PCI-Express,
 - SCSI buszok

I/O egységek

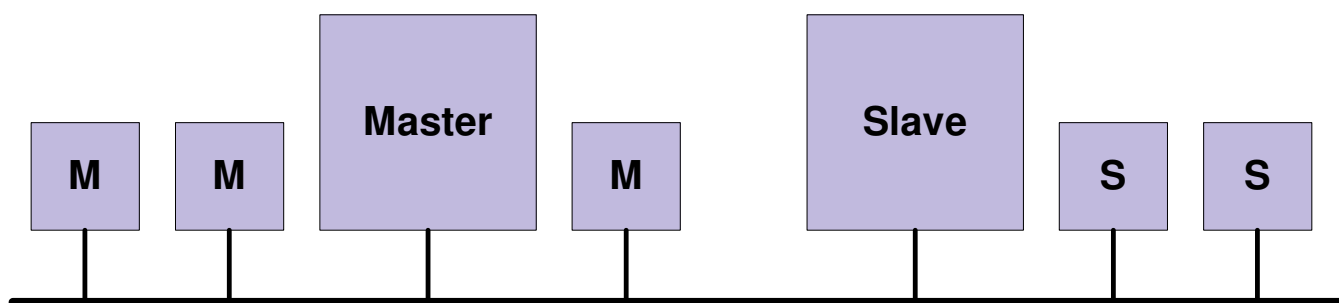
- A számítógép a külvilággal, *perifériákkal* az I/O egységeken keresztül tartja a kapcsolatot. Az információ továbbítását az egységek között buszok végzik, amelyek interfészekkel kapcsolódnak egymáshoz.
- **Interface**: azon szabályok összessége, amelyek mind a fizikai megjelenést, kapcsolatot, mind pedig a kommunikációs folyamatokat leírják. Egy busz általában 3 fő kommunikációs vonalból állhat:
 - *vezérlőbusz,*
 - *adatbusz, és*
 - *címbusz (esetleg utasításbusz).*

I/O kommunikációs protokollok:

- Kommunikáció során megkülönböztetünk egy eszközpárt: a **Master-t** és **Slave-t**. A Master (pl. CPU) általában, mint kezdeményező, birtokolja és ellenőrzi a buszt, és átadja (ír / olvas) az adatokat a Slave-nek (pl. Memória).
- A kommunikációhoz előredefiniált **protokollokra** (szabályok és konvenciók gyűjteménye) van szükség, amelyek meghatározzák az események sorrendjét és időzítését. A kommunikáció feltétele a másik egység állapotának pontos ismerete. Lehetséges több M-S modul (pl. multi-master rendszer több kezdeményezővel) is egy rendszerben.
- **Két alapvető protokoll különböztethető meg:**
 - 1.) *Aszinkron* kommunikáció (pl. régi SCSI busz), és
 - 2.) *Szinkron* kommunikáció (pl. PCI busz, PCI-e, mai SCSI).

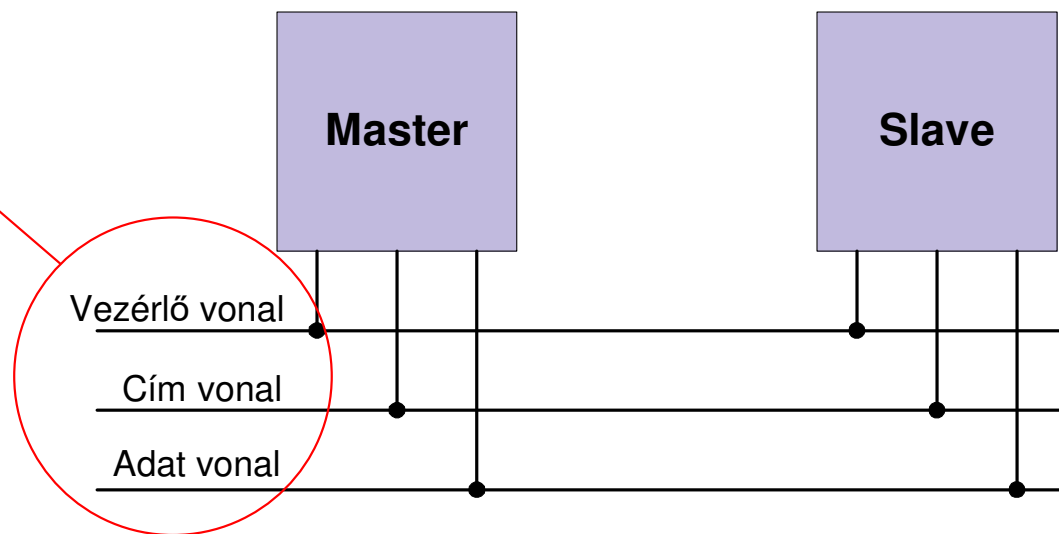
Busz rendszer Master-Slave moduljainak szervezése

■ Modul-szervezés



Busz-Master (busz-vezérlő) kommunikál a Busz-Slave-el (responder).

■ Busz-szervezés: Master - Slave



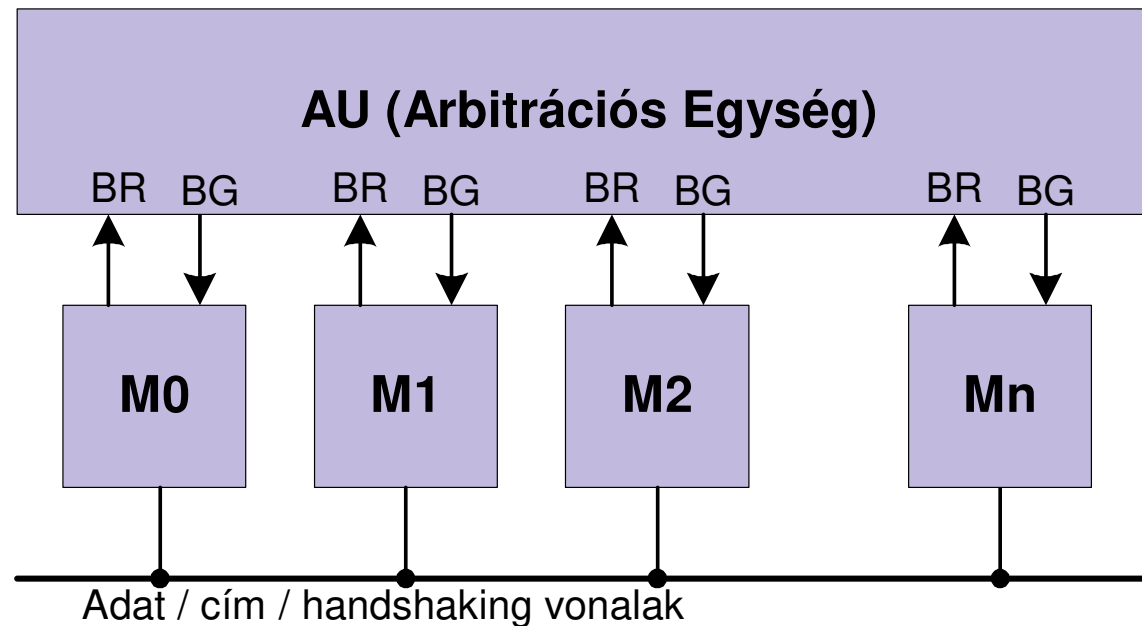


Busz Arbitráció

Arbitráció

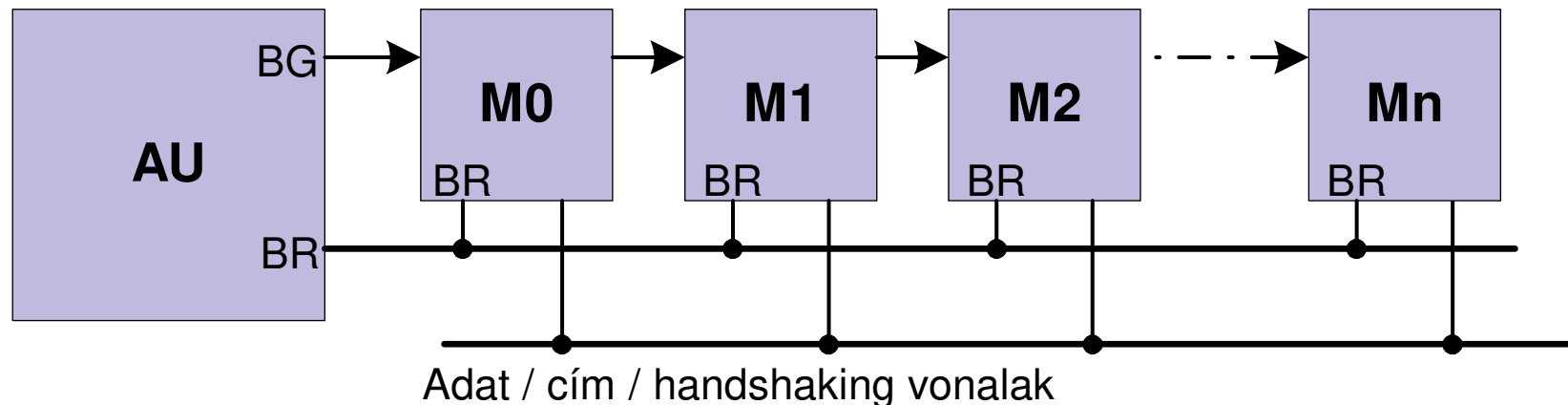
- Egy tetszőleges I/O művelet esetén (aszinkron v. szinkron buszos átvitel) több Master (commander) egység is meg akarja szerezni egyszerre a busz irányítását. Különböző előredefiniált algoritmusok segítségével egyértelműen azonosítható, hogy a „**versenyhelyzetben**” a következő átvitelt (a következő ciklusban) melyik Master fogja megvalósítani. Az **arbitrációs eljárás** egy **döntési folyamat (mechanizmus)**, amely az adatátvitellel párhuzamosan zajlik le, és még az aktuális adatátvitel befejezése előtt eldől, hogy melyik következő master adhat. A Mastereket M1...Mn-el jelöljük, a *BR: Bus Request* (busz kérése, igénylése) a Master által, míg a *BG: Bus Grant* (igénylés elfogadása, engedélyezés) jelet a központi *AU: Arbitration Unit* (arbitrációs egység) bocsátja ki.
- **Az arbitrációnak 3 típusa van:**
 - ☐ a.) párhuzamos,
 - ☐ b.) soros (daisy chain), és
 - ☐ c.) lekérdezéses (polling).

a.) Párhuzamos



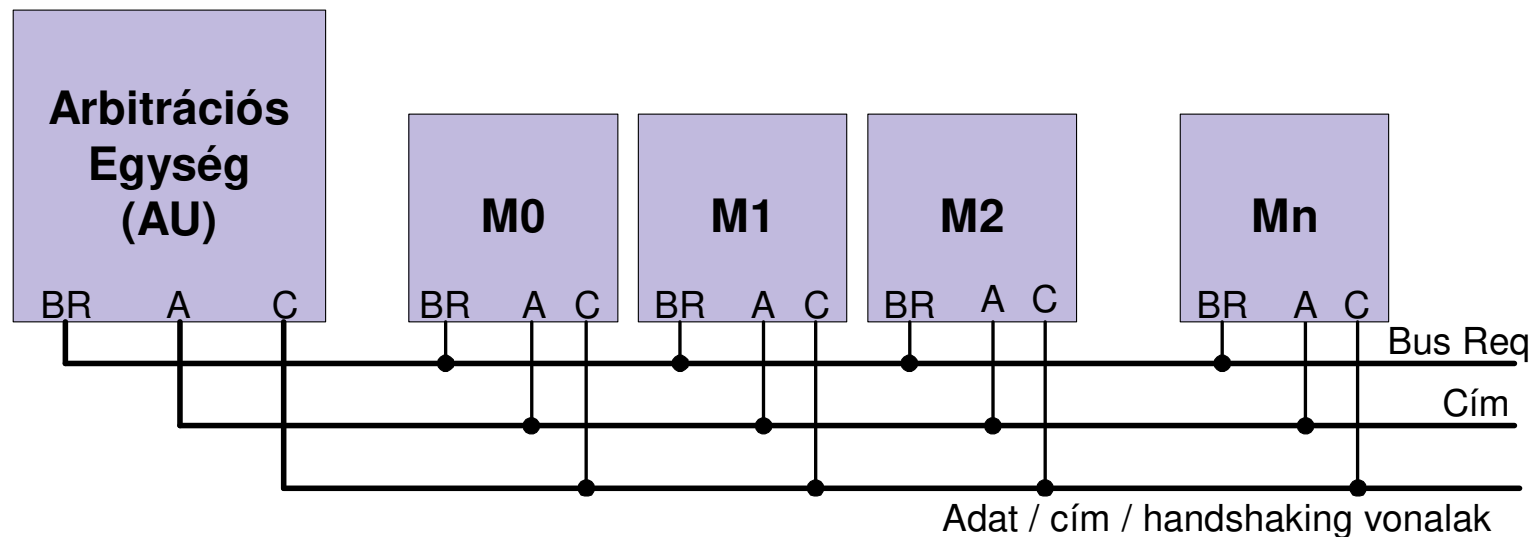
- Ez a leggyorsabb módszer, minden M_i -nek kitüntetett, egyenrangú kapcsolata van az AU-val (két vonalon: BG és BR-en). Az arbitráció lehet (i) *first asserted/first served (FIFO)*, vagy (ii) *round robin*, vagy (iii) *prioritásos alapú*. Ezek a módszerek többfajta lehetőséget biztosítanak mind egyszerű, mind pedig komplex esetben.
- Az AU vezérli a közös buszon az adatátvitelt. Az adat-cím-handshake vonalat a kijelölt master kezeli, az tranzakció befejeztével pedig kiadja ismét a BR-jelet. Hátránya, hogy drágább, mint a többi módszer (a párhuzamos ágak miatt minden M_i -hez 2 vonal kell), és az M_i -k száma korlátozott.

b.) Soros (daisy chain)



- A BG vonal sorosan van kötve, míg a BR vonal mindegyik M_i -hez csatlakozik. Az AU nem ismeri, hogy pontosan melyik M kívánja elérni a buszt, ezáltal az átvitel leegyszerűsödik: csupán azt tudja, hogy bizonyos ciklusonként BG-jelet kell kibocsátania. A soros csatlakozás miatt a legelső Master (M_0) rendelkezik a legnagyobb prioritással (**fizikai prioritás**), így ha ő igényelt, minden esetben megkapja a buszt.
- Bármennyi eszközt is sorba köthetünk, nincs felső korlátja. Hátránya, hogy az arbitrációs idő (ha a legutolsó M_i igényel és az előtte lévők nem) egyenes arányban van a sorba kapcsolt M_i -k számával.

c.) Lekérdezéses (polling)



- Mindegyik Master egy **közös** BR buszon igényelhet (ID),
- AU dönti el, hogy melyik Masternek adja a buszt. Annak az M-nek a **címét** az *address* vonalra rakja. Minden ciklusban megnézi az igényléseket, és az aktuálisan legmagasabb prioritással rendelkezőt fogadja el. Itt is többféle prioritásos módszer valósítható meg: pl. (FIFO, round robin stb.).
- Hátránya, hogy nagyobb az időszükséglete a párhuzamosnál, így a lassabb periféria műveletek esetén alkalmazzák (pl: I/O kérések arbitrációjánál), a processzor egy program futtatásával folyamatosan monitorozza az I/O eszközök busz kéréseinek állapotát
 - (a megszakításos I/O műveletek ennél a módszernél jobbak).



1.) Aszinkron busz protokollok

Aszinkron busz protokollok

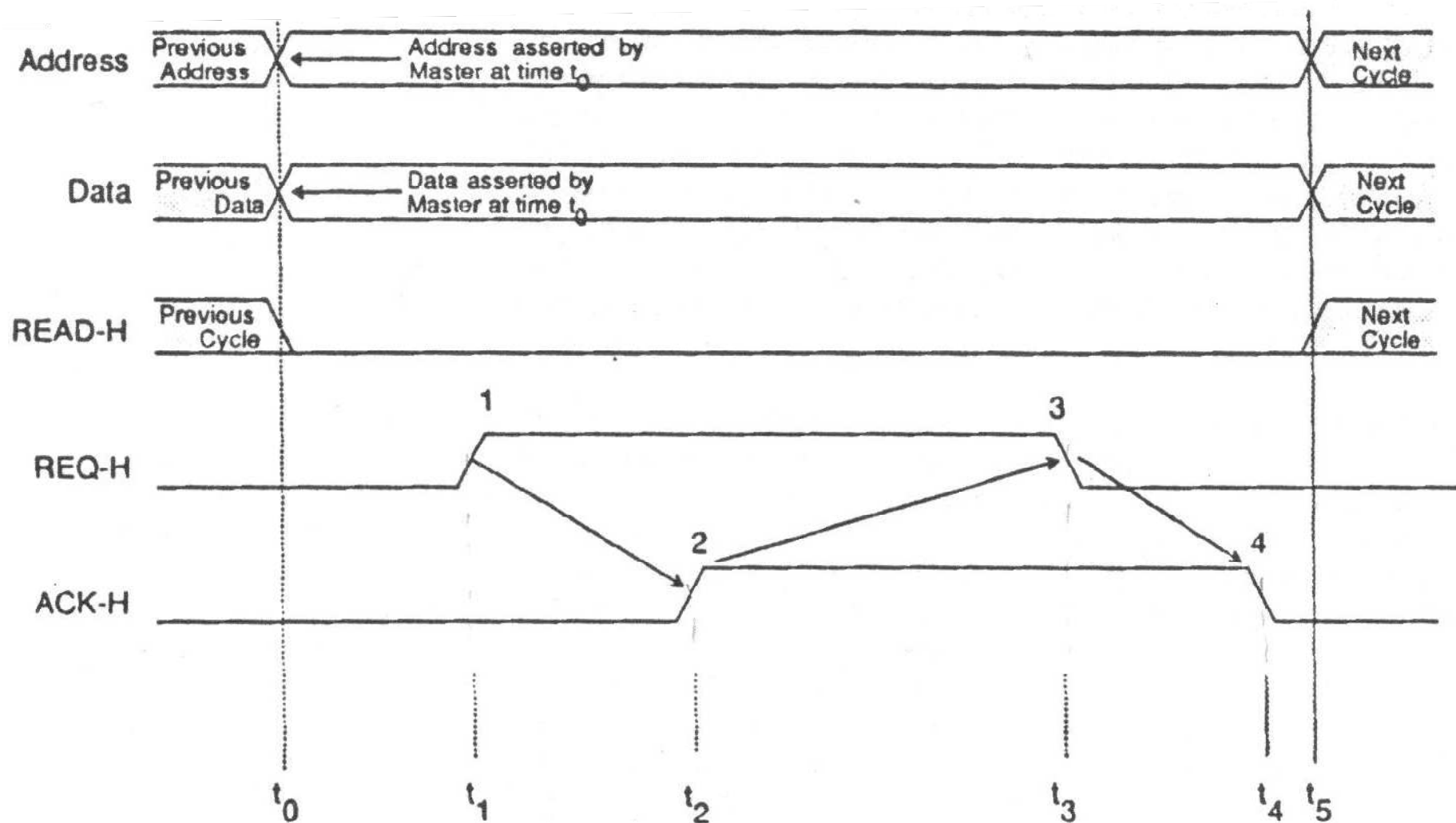
- Aszinkron **handshaking** = „2x-es kézfogás”
- Ebben az esetben a Master-Slave modulok **nem** közös órajelet (SysCLK-t) használnak: azaz ha az egyik egység végez, elindít egy másik tranzakciót. A Master, mint (commander) kezdeményező, aktiválja a megfelelő vezetékeket. A Slave (responder) válaszol. A Slave címének azonosítására egy külön egység szolgál.
- **Vezérlőjelekkel** zajlik a kommunikáció: *írási / olvasási* tranzakciókat különböztetünk meg. Ilyen vezérlőjelek:
 - **READ**, (ha pl. READ-H = Master olvas a Slave-től, ha READ-L= Master ír a Slave-nek, vagyis a Slave olvas.),
 - **REQUEST** (REQ)
 - **ACKNOWLEDGE** (ACK)
- *Előnye*: egyszerűen felépíthető, nem kell (közös) órajel, gyors átvitelt biztosít (modulok sebességétől függően)
- *Hátránya*: nagy belső késleltetések (skew-propagation time) miatt csak korlátozott hosszúságú buszok /vezetékek használhatóak.

Aszinkron Handshaking protokoll (kétszeres „kézfogás”)

- A buszrendszer moduljai nem közös órajellel működnek, hanem **vezérlő jelek** segítségével. (READ-H, REQ, ACK)
- Háromféle buszvonalat ismerünk: *cím-, adat- és vezérlő-* buszt. A Master által *címvonala*ra rakott cím (kezdeményezés) egyértelműen meghatározza a tranzakció célállomását. Meghatározott idő áll rendelkezésre, hogy a slave modulok összehasonlítsák saját címükkel a célcímet. Ha megegyezik, akkor válaszol a master-nek, és a tranzakciót a *vezérlővonalak* megfelelő beállításával szabályozza. A vezérlővonalakat tehát a master-slave közötti kommunikáció szinkronizálására használjuk. Ezt nevezzük **handshaking** protokollnak.
- Címvonalak csoportjából (Address), adatvonalak csoportjából (Data), és három vezérlőjelből (READ-H, REQ-H, ACK-H) áll. Ha READ-H magas, akkor a Master olvas a Slave-ről, ha alacsony, akkor ír a Slave-re. A REQ (kérés) és ACK (nyugtázás) vezérlőjelek határozzák meg az események időzítését és pontos sorrendjét.

Handshaking – írási ciklus

WRITE (READ L) ciklus: „a Master modul ír a Slave-nek”

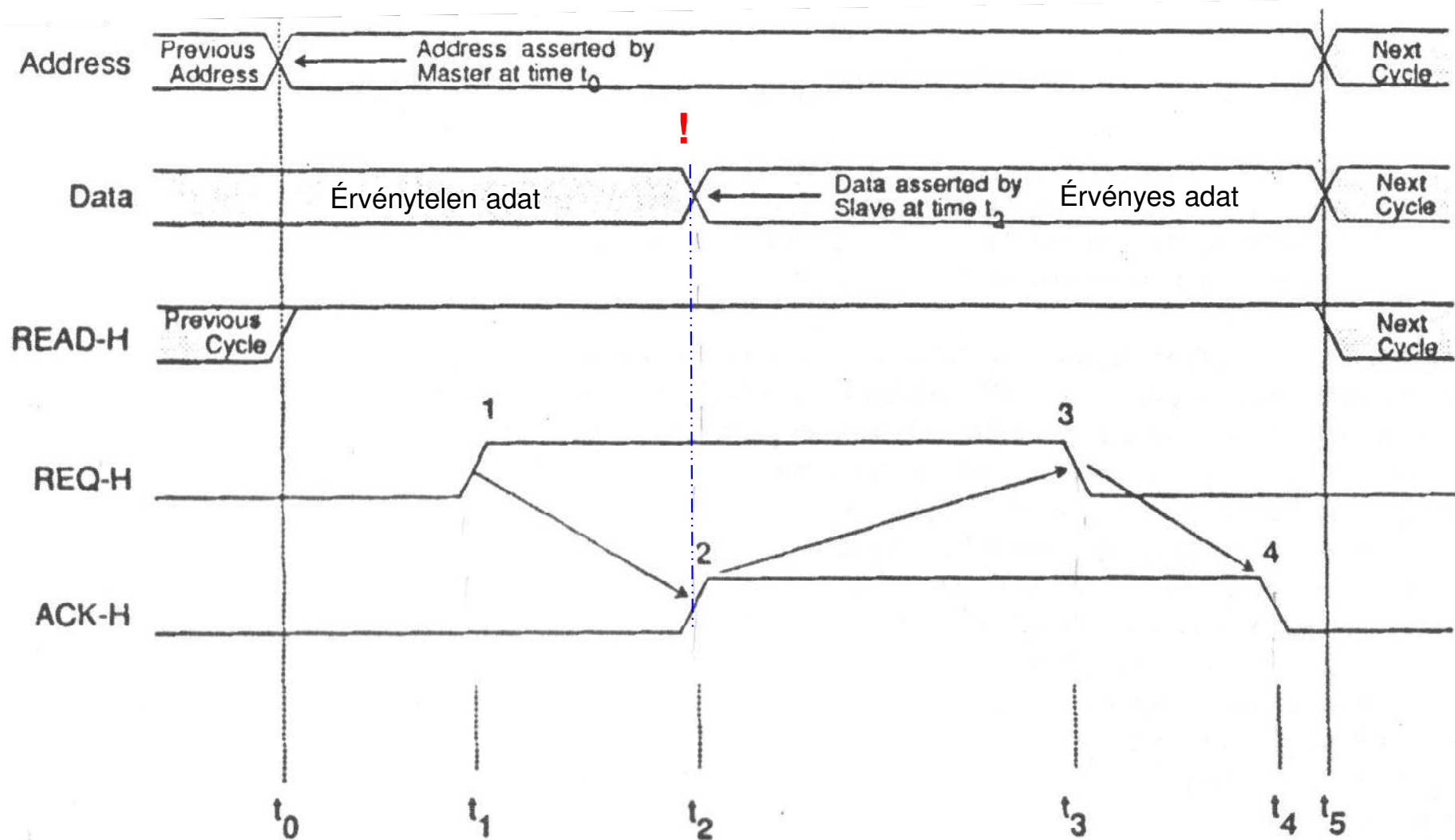


Írási (Write) ciklus lépései:

- t_0 -ban a master (amely az aktuális arbitráció után már megkapta a busz vezérlését) megadja a kívánt slave címét.
- véges idő kell hogy a jel a slave modulokhoz érjen, azok dekódolják a címet, ezért a master vár bizonyos ideig mielőtt beállítja a request vonalat t_1 -ben. (*skew time*= a slavekhez elsőként ill. utolsóként érkező címek közötti időkülönbség $\Delta t = t_1 - t_0$)
- ezt a request jelet minden slave veszi ugyan, de csak az fog válaszolni, akinek a címe megegyezett a master által kért címmel.
- amikor a slave megkapta az adatokat a mastertől, nyugtázza t_2 -ben.
- a master megkapja a nyugtát, így tudja, hogy az átvitel megtörtént, ezért felszabadítja (alacsony állapotba helyezi) a request vonalat t_3 -ban.
- ezt (a request felszabadítását) érzékeli a slave, és felszabadítja a nyugtázó vonalat t_4 -ben
- a master a címvonalat tartja még egy bizonyos ideig (t_5 -ig) a request vonal felengedése után is, a *cím esetleges megváltozása* miatt (amelyet a Slavek dekódolnak).

Handshaking – olvasási ciklus

READ (READ H) ciklus: „a Master olvas a Slave-től”



Olvasási (Read) ciklus lépései:

- Nagyon hasonlít az írási folyamathoz, de abban különbözik, hogy a READ-H jel magas szinten van, és az adatvonalat a slave állítja be. Ez jelenti az olvasást.
- t_0 hasonlóan történik, a master (amely az arbitráció után már megkapta a busz vezérlését) megadja a kívánt slave címét
- véges idő kell hogy a jel a slave modulokhoz érjen, azok dekódolják a címet, ezért a master vár bizonyos ideig mielőtt beállítja a request vonalat t_1 -ben. (*skew time* = a slavekhez elsőként ill. utolsóként érkező címek közötti időkülönbség $\Delta t = t_1 - t_0$). Tehát t_1 -ben a master a request vonal beállításával a megcímzett slave-től adatot kér, olvasni szeretne
- t_2 -ben veszi a kérést a slave, nyugtázza és beállítja magas szintre a nyugtázó vonalat.
- t_3 -ban a master megkapja az adatot a slave-től, felszabadítja a request vonalat.
- t_4 -ben érzékeli a slave, hogy a master felszabadította a requestet, ezért így ő is felszabadítja a nyugtázó vonalat.
- végül a master felszabadítja a címvonalat (t_5 -ben)

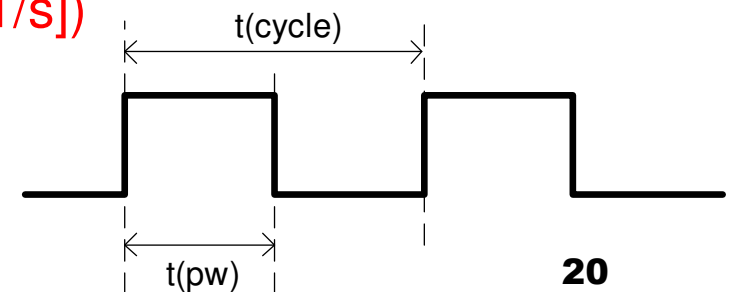


2.) Szinkron busz protokollok

Szinkron busz protokollok



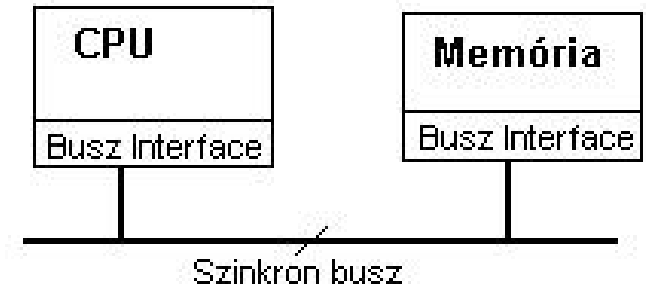
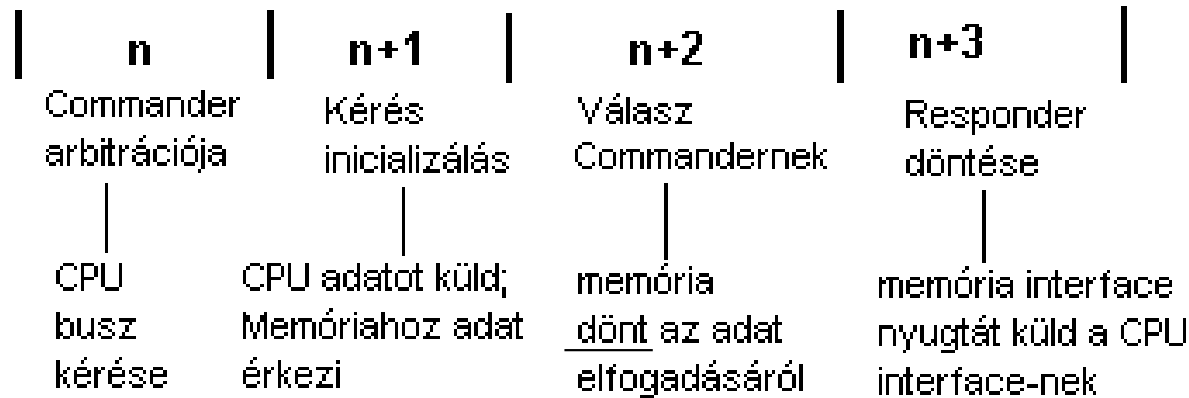
- Ebben az esetben a Master-Slave modulok **közös órajelet** (CLK-t): használnak. Itt a Master, mint Commander (kezdeményező), a Slave pedig (Responder) válaszol.
- *Előnye:* Tehát a műveleti időt az órajelciklus határozza meg. Mivel nincs szükség párbeszédre (pl. handshaking), gyorsabb lesz az aszinkron működésénél.
- *Hátránya:* Az órajelet mindig a leglassabb (legtávolabb lévő) egységhez kell igazítani.
- A digitális áramkörökben az események történésének *sorrendje kritikus* (megfelelő időzítés kell \Rightarrow órajel vezérléssel)
- **Óra:** impulzusok sorozatát bocsátja ki, pontosan meghatározott szélességgel $[t(pw)]$, és időintervallummal.
- **Ciklus-idő** (clock-cycle): két egymást követő pulzus élei közötti időintervallum $[t(cycle)]$.
 - Példa: Órajel Frekvencia: $f=100\,000\,000\text{ [Hz]}$ ($[1/s]$)
 - Ekkor $T=1/f=1 / 100\,000\,000 = 10\text{ [ns]}$
- Kristály-oszcillátor szolgáltatja ált. az órajelet (lásd fenti képen CLK=16 MHz)



Szinkron írási / olvasási ciklus

• Írási ciklus (pl. CPU → MEM)

időlépések

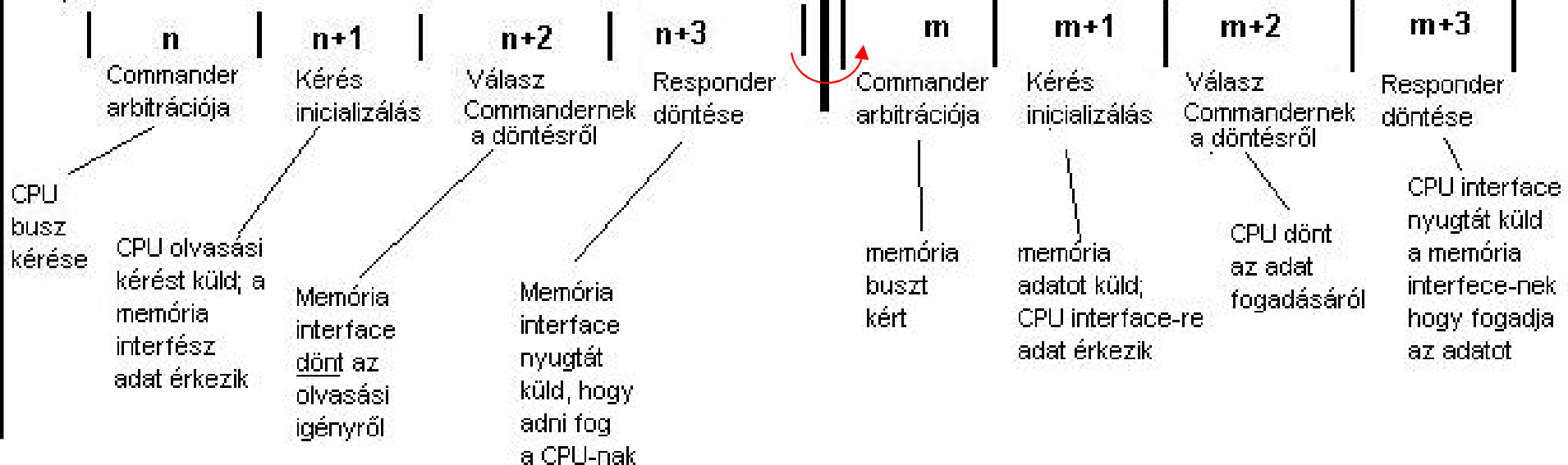


Szinkron adatátvitel 4 fő lépése:

1. Commander arbitrációja, kiválasztása
2. átvitel megkezdése (de *még nem fogad*)
3. válasz a kérésre, döntéshozás
4. nyugta, Responder *veszi* az adatot

• Olvasási ciklus (pl. CPU ← MEM)

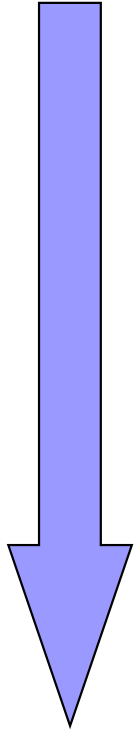
időlépések





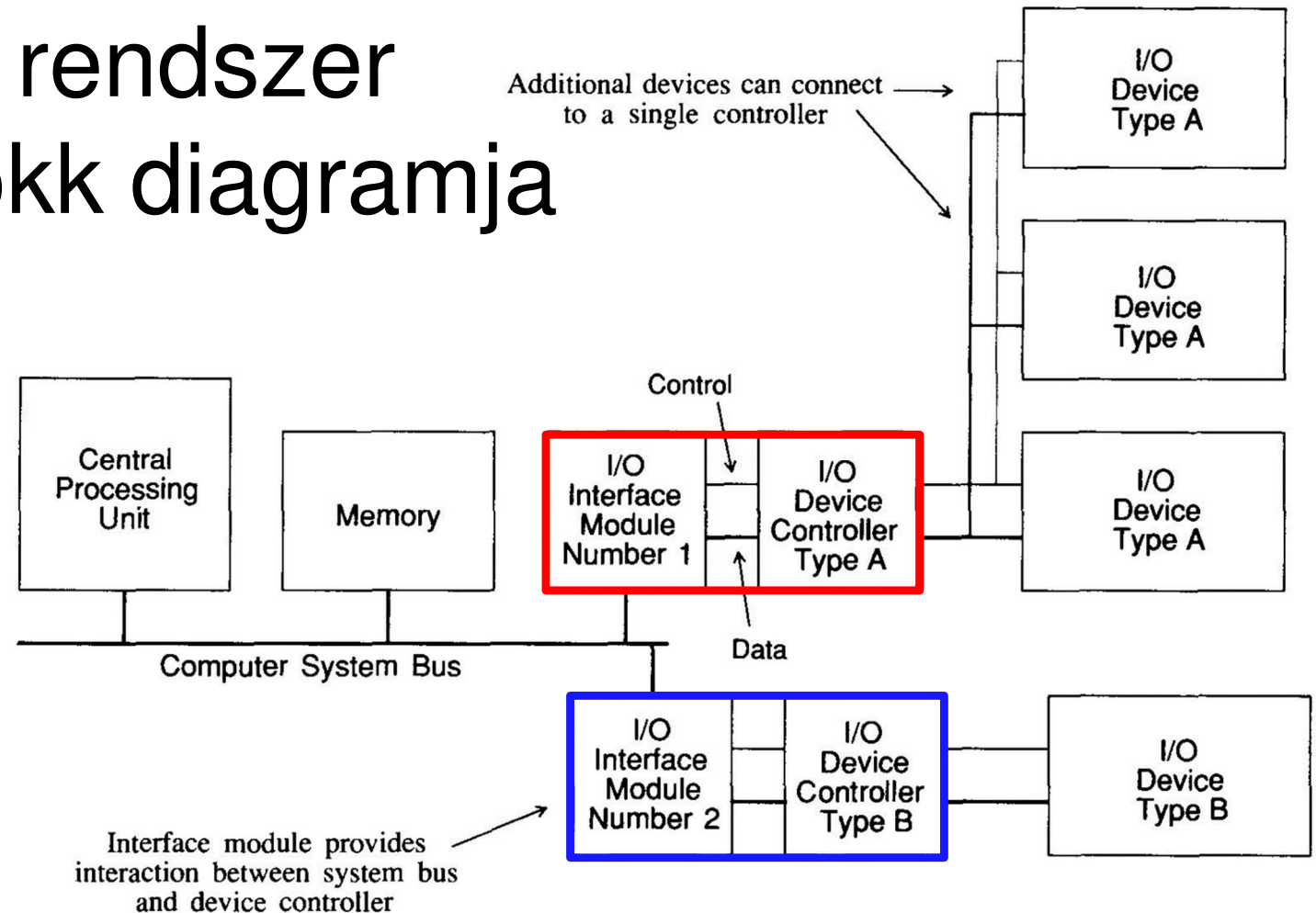
Adatmozgatás: I/O kommunikációs technikák

I/O adatátvitel típusai:

- 
- Programozott I/O átvitel („polling”)
 - Megszakításos (interrupt) átvitel
 - Direct Memory Access (DMA) -
Közvetlen memória-hozzáféréssel
rendelkező átvitel
 - IOP - I/O Processzoros átvitel

CÉL: CPU
tehermentesítése!

I/O Interfész rendszer általános blokk diagramja



Két fő részre osztható: 1. **rendszerbusz** (CPU, memória) 2. **I/O eszközvezérlők** a különböző típusú I/O eszközökkel tartják a kapcsolatot. A rendszerbuszt és az I/O eszközvezérlőket az I/O interfacek kapcsolják (illesztik) össze. Az eszközök gépi kódú utasításokkal (assembly) vezérelhetők. Egy új I/O eszközt (A v. B típusú) a megfelelő típusú eszközvezérlőkhöz kell kapcsolni.

1.) Programozott I/O átvitel (Polling)

- Legegyszerűbb technika
- De leginkább ez a módszer terheli a CPU-t (adatátvitel teljes ideje alatt) – lassú eszközök esetén
 - Teljes vezérlésért, adatmozgatásért felel
 - Pl. periféria állapotának ciklikus lekérdezés folyamatosan terheli
- Csak a CPU közbeiktatásával érheti el a periféria a memóriát
- Lehet Memory Mapped I/O: amikor a program és az I/O eszköz is ugyanazt a címtartományt használja (cím leképezés = „mappelés”)

2.) Megszakításos (interrupt) átvitel

- Megszakítással jelezhető a CPU-által az I/O eszköz számára az adatátviteli igény, illetve az adatátvitel befejeződése
- Megszakítás kérelem (interrupt request) I/O eszköz által – **IRQ** szintek
 - Megszakítási vektorok (maszkolható megszakítások – SW interrupt)
- Bővebben: Operációs rendszerek tárgyból

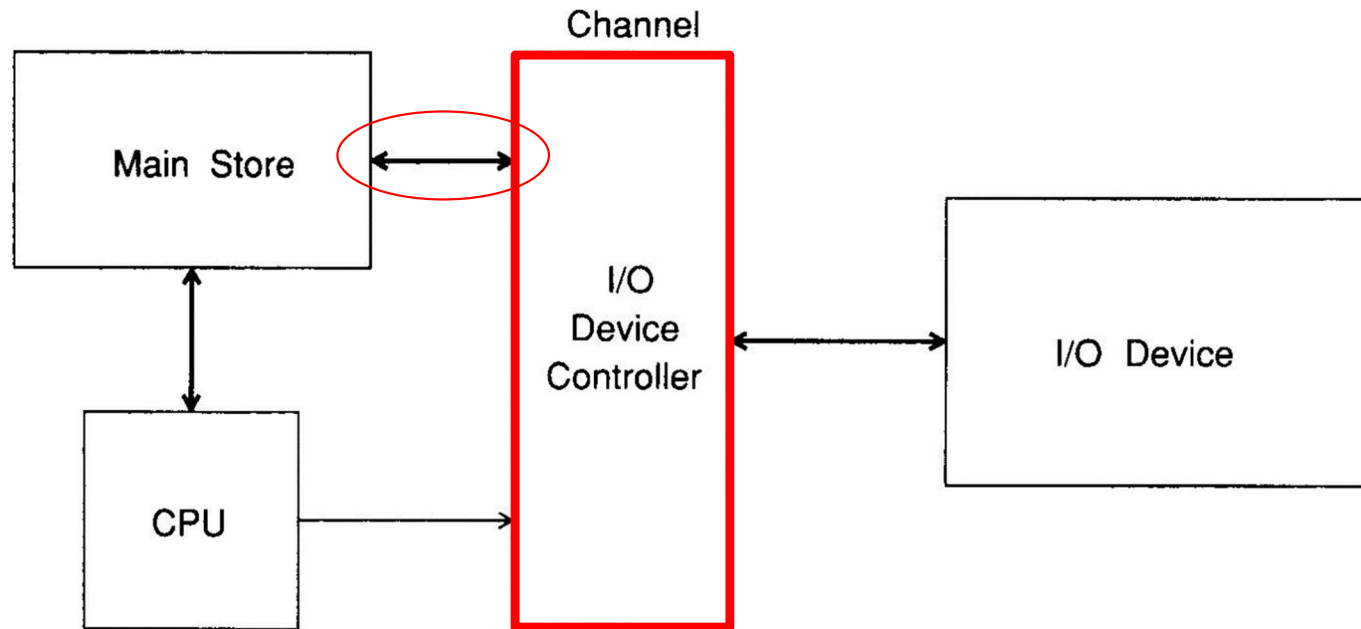
3.) Direct Memory Access (DMA)

- Közvetlen memória hozzáférés:
az I/O eszköz/periféria és memória közötti adatátvitelt a processzortól függetlenül egy DMA-controller/vezérlő (eszközvezérlő) végzi el.
- Cél a CPU tehermentesítése a tranzakció idejére
- CPU feladatai csupán:
 - az átvitel előkészítése (kezdőcím és adat(ok) hossza, száma),
 - minimális vezérlés: eszköz állapot vizsgálata (busy)
 - és a befejezett művelet hibátlanságának ellenőrzése (megszakításos alapú is egyben)
- Gyors módszer

4.) I/O processzor (I/O csatornák)

- A cpu átadja az I/O műveletet és a végrehajtáshoz szükséges összes adatot ez intelligens eszközvezérlőnek = I/O (társ)processzornak, amely teljesen önállóan szabályozza a tranzakciót
- Főleg a mainframek-re jellemző módszer
- Rendkívül gyors
- I/O csatornák: eszköz sebessége szerinti osztályozás

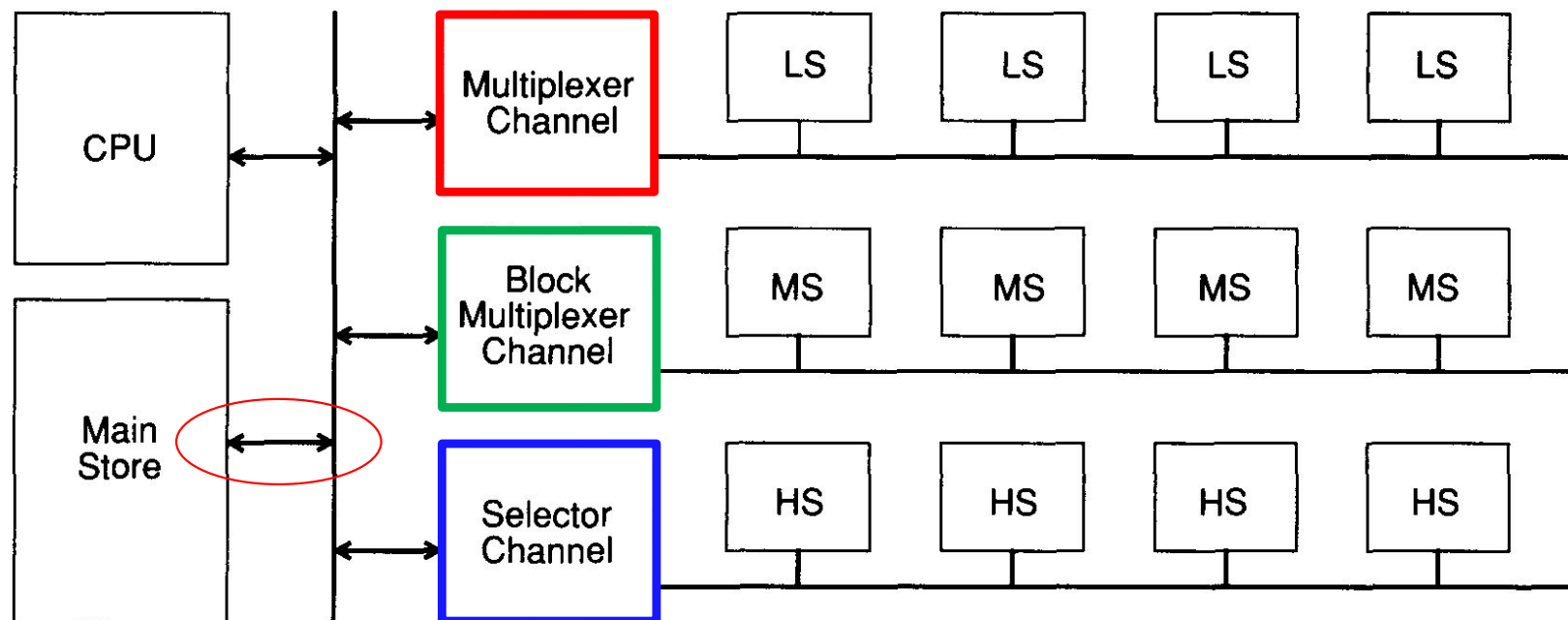
a.) I/O channels – I/O csatornák



- A cpu csak az eszközvezérlőn keresztül (közvetetten) érheti el a perifériát.
- Channel = I/O Device Controller: általános célú processzáló elem.
- Channel feladata:
 - Konverzió
 - Adatmozgatás
 - Hibaellenőrzés és kezelés

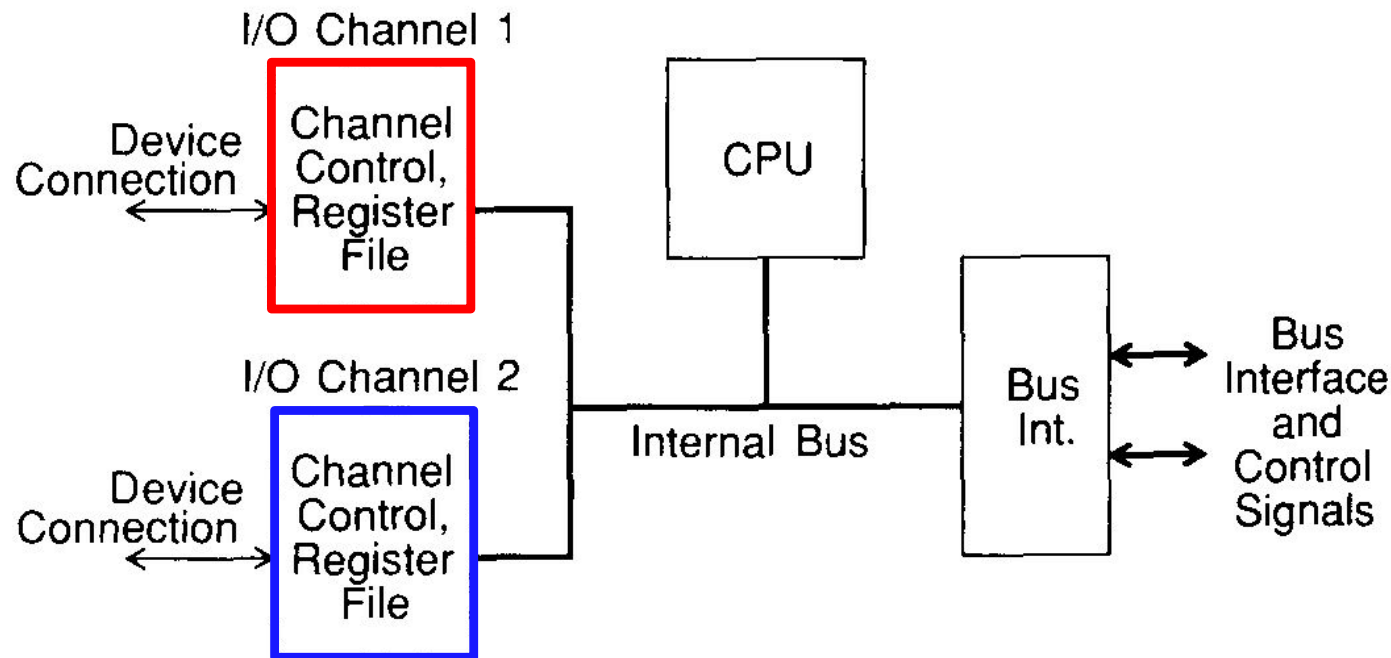
Példa: I/O channels – I/O csatornák

- I/O csatornák típusai (sebességük szerinti kategóriákat képeznek):
 - **Multiplexeres**: LS (lassú)
 - **Blokkos**: MS (közepesen gyors)
 - **Selector channel**: HS (nagysebességű)



LS = Low Speed device
MS = Medium Speed device
HS = High Speed device

b.) I/O Processzorok (IOP)



- IOP: Intelligens eszközvezérlők/processzorok
- Saját, dedikált funkciókkal rendelkeznek (vezérlést, és interfészt biztosít más rendszerekkel – különböző sebességen)
- Példa: SCSI rendszer is egy IOP



PCI busz

PCI busz



- **PCI= Peripheral Component Interconnect.** újszerű, a korábbiaktól önálló szabvány (ver 2.1, 2.2 és 2.3) volt: 33MHz-es órajel támogatás. Többprocesszoros rendszereket is támogat. **Párhuzamos sín!**
- Kapcsolatot a *processzor* és a *PCI sín* között egy *PCI HOST BRIDGE* biztosítja. Támogatja a többprocesszoros rendszereket, kompatibilis az ISA, EISA, MCA régebbi rendszerekkel. A PCI csatlakozóhelyekre speciális intelligens kártyák helyezhetők, amelyek képesek önálló adatátvitelt végrehajtani a processzor tehermentesítése céljából, így gyorsabb működés érhető el. (3.3 – 5V szabvány).
- Csatlakoztatható eszközök: SCSI-, hálózati-, hang-, videó-kártya./ Konfigurálása szoftveres úton, a BIOS-on keresztül történik. / Arbitrációs mechanizmust és **szinkron** protokollt használ.

PCI busrendszer tulajdonságai:

- A PCI 32 bites **multiplexált** címadat vonalat alkalmaz
 - Maximális átviteli sebessége (4-es „**burst**-onként” - löketszerűen) 133Mbyte/sec (= 4 byte*33.3MHz).
- (64 bites változata is létezik, főként szerverekben alkalmazzák. Jele. PCI-X!).
 - Ekkor a maximális átviteli sebessége 266Mbyte/sec (8byte*33.3MHz)
- Régebbi alaplapon az ISA ill. AGP bővítőhelyek mellett általában 3-4 PCI slot is található volt.
- A külső környezeti zavarok, zaj elkerülése végett, a PCI elemeket rövid úton kell összekötni, így a PCI jelek egy oldalán vannak kivezetve (PCI Speedway), sok földelést használva.
- Saját POST (Power On Self Test) önellenőrző kóddal is rendelkezik, a hibák felderítése végett, ami a számítógép bekapcsolásakor inicializálódik.

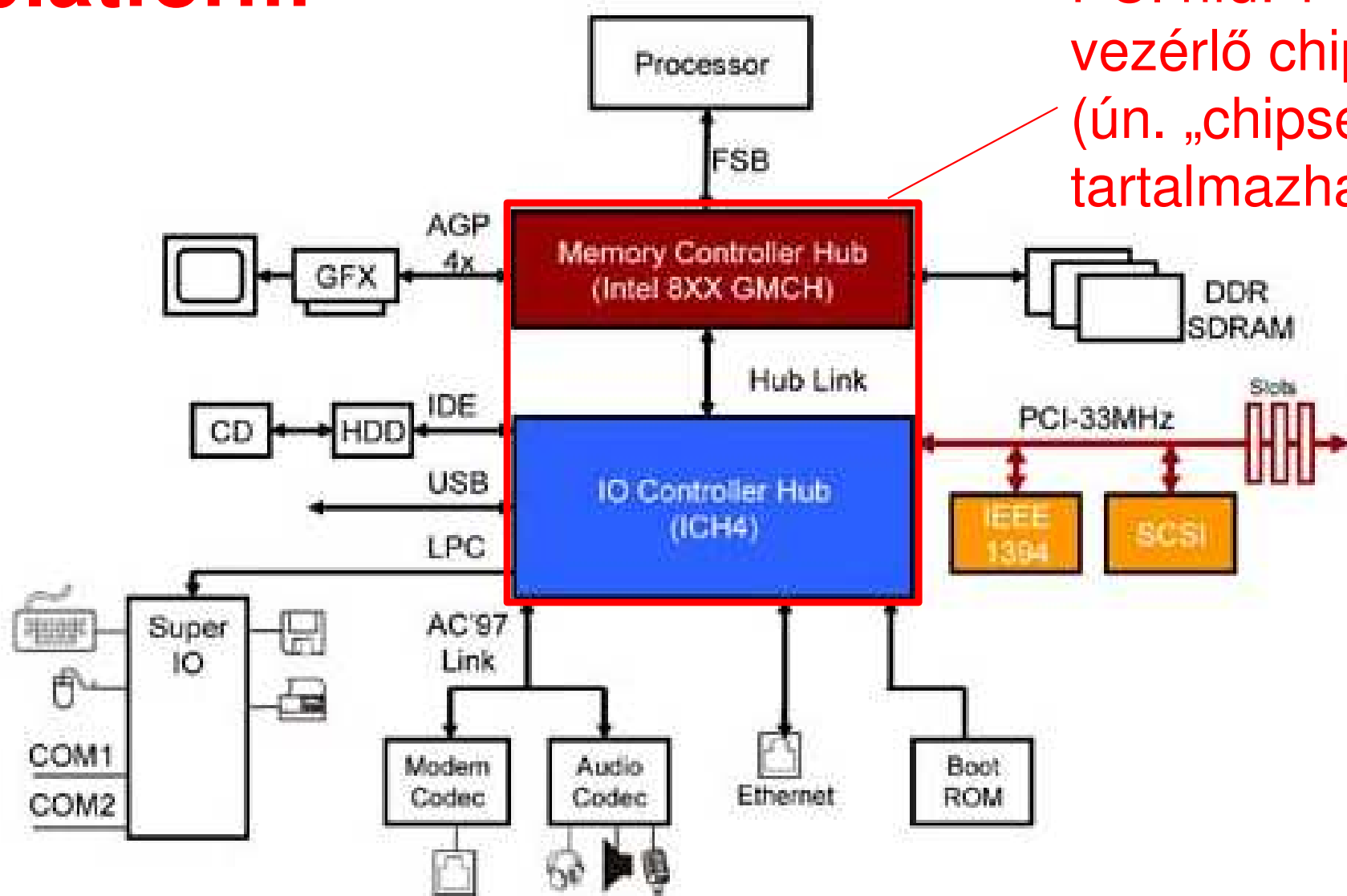
PCI-X



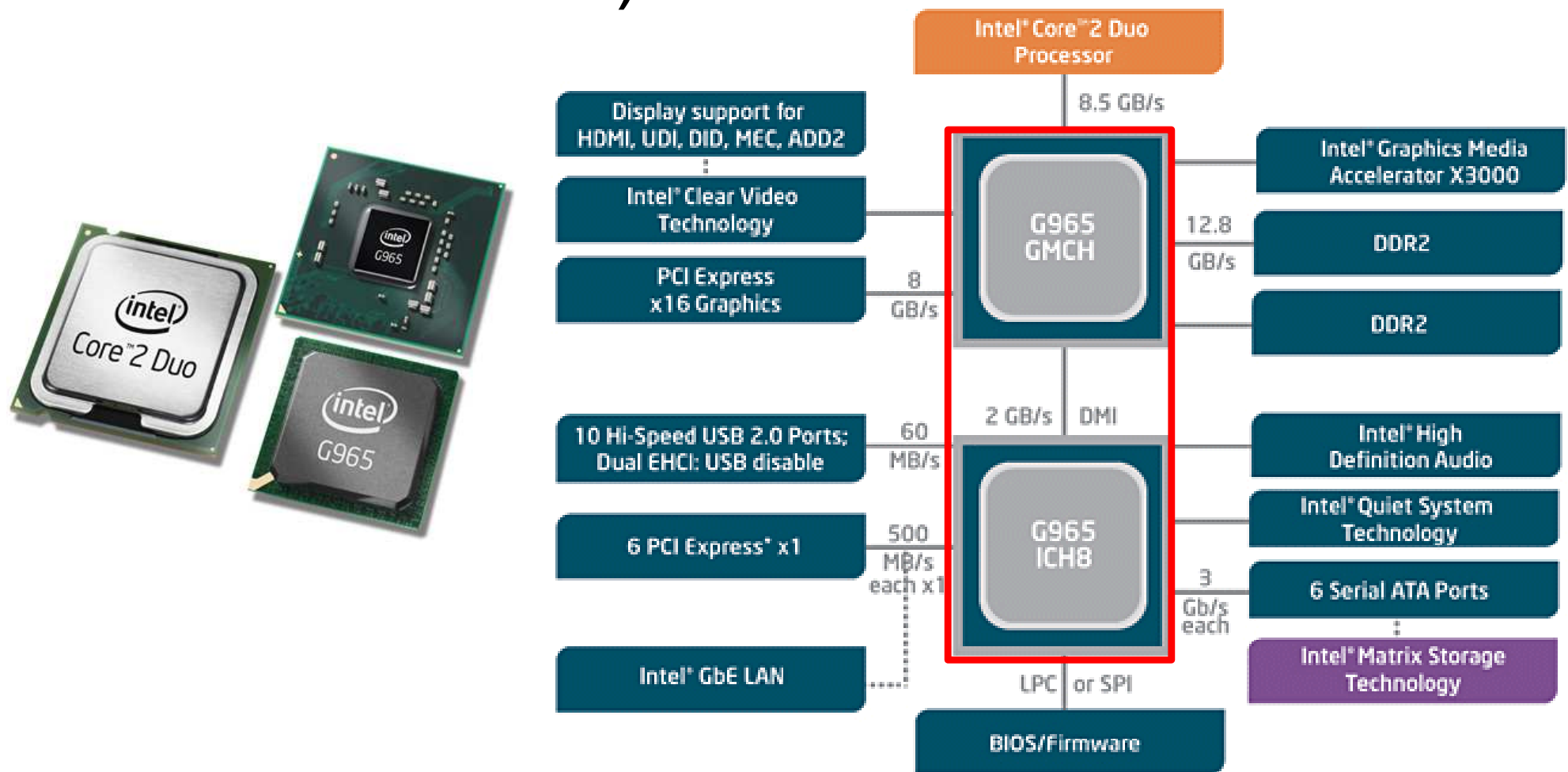
- PCI módosított változata
- **PCI-X** mint **extended**, bővített 64 bites
 - PCI-64bit/66.6MHz max 532 MByte/s
 - PCI-64bit/133.3MHz max 1064 Mbyte/s
 - PCI-X 1.0 & PCI-X 2.0
- Főként szerver alaplapon található:
 - nagyteljesítményű kártyák integrálása

Példa: 33MHz-es PCI busz alapú platform

PCI híd: 1 vagy 2 vezérlő chip-et (ún. „chipset”-et) tartalmazhat.

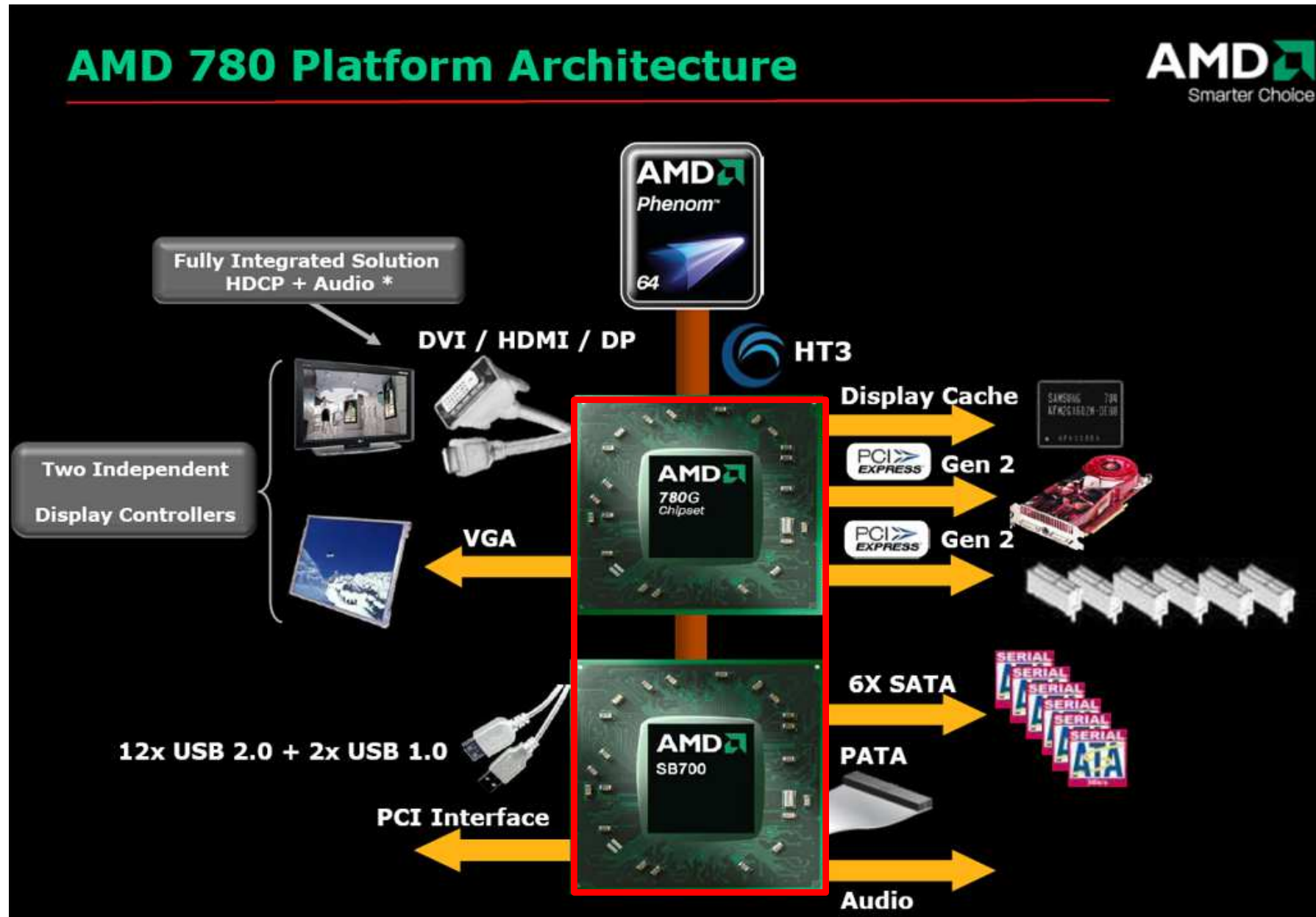


Példa: Intel chipset (Intel CPU – É-D híd külön)



Integrált grafikus vezérlővel:
Graphics Media Accelerator 3000 (GMA 3000)

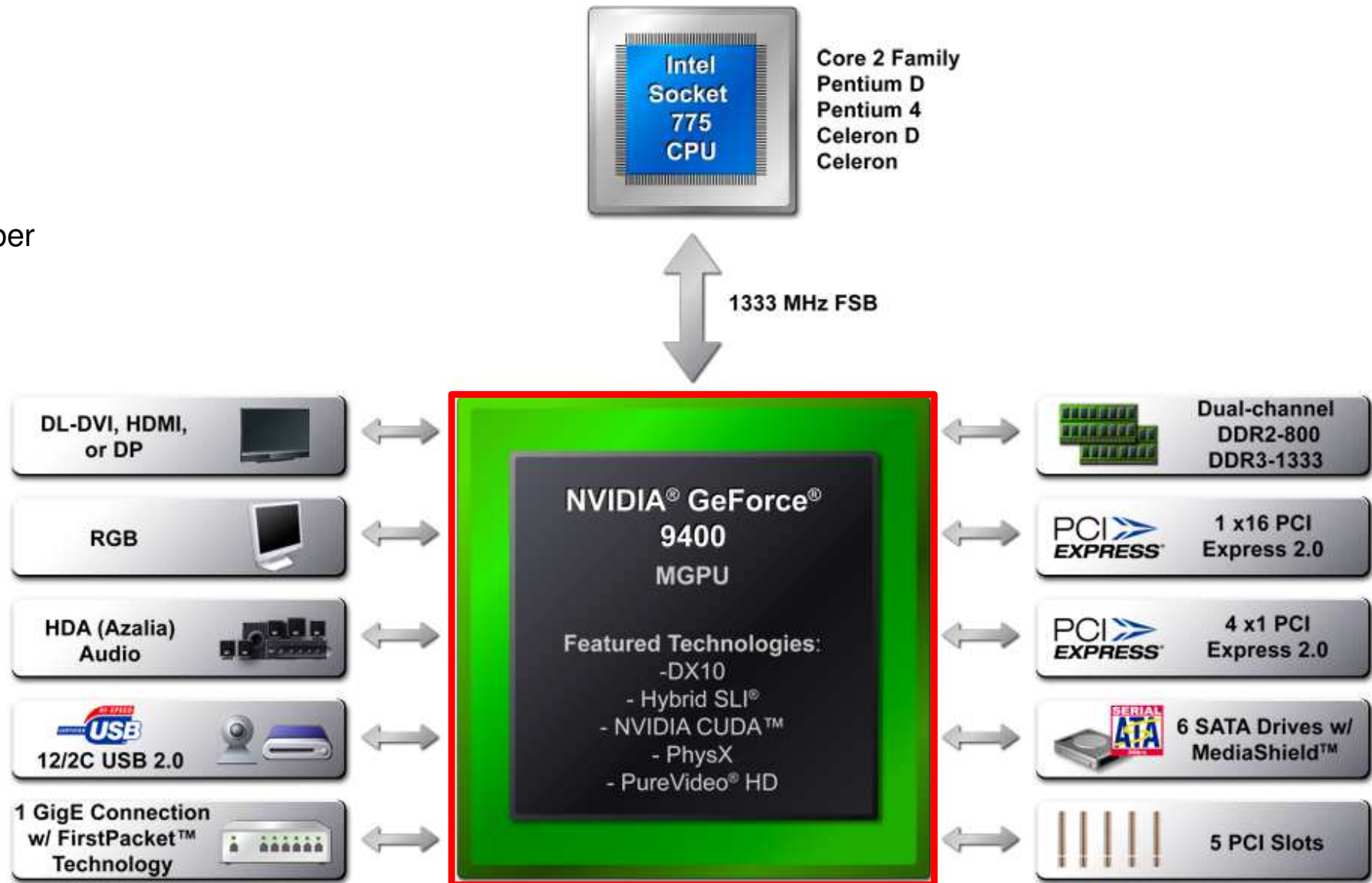
PI: Újabb generáció AMD 780G



*2008.
március

PI: NVIDIA GF9400 MGPU Intel CPU-khoz (MGPU – Egyetlen chipen É-D híd!)

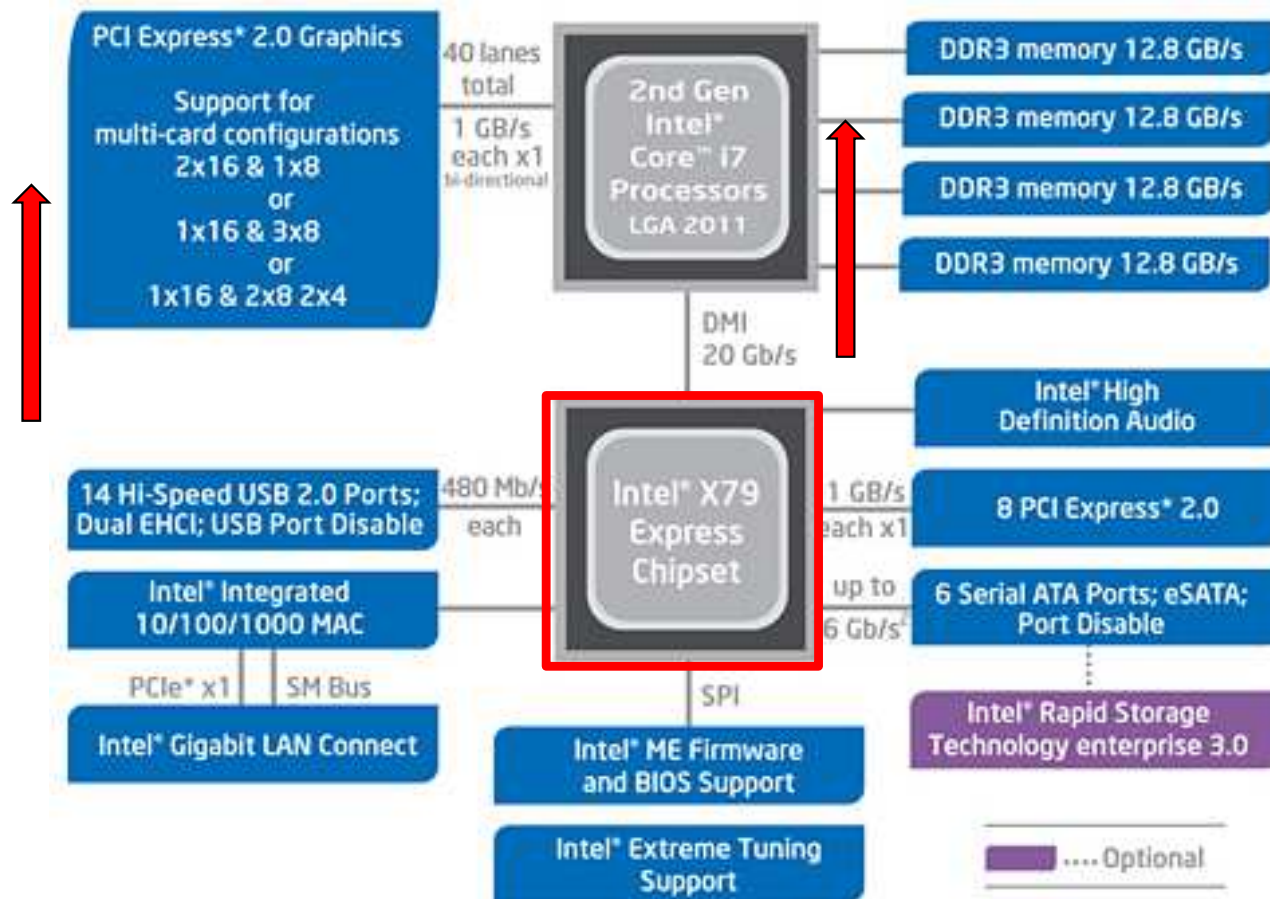
*2008.
november



PI: Intel Sandy Bridge-E (2011)

- **Nincs már északi híd: PCI-E ill., a DDR memória vezérlése is a CPU-ba integrált feladat), csak déli híd maradt (X79)**

*2011.
november

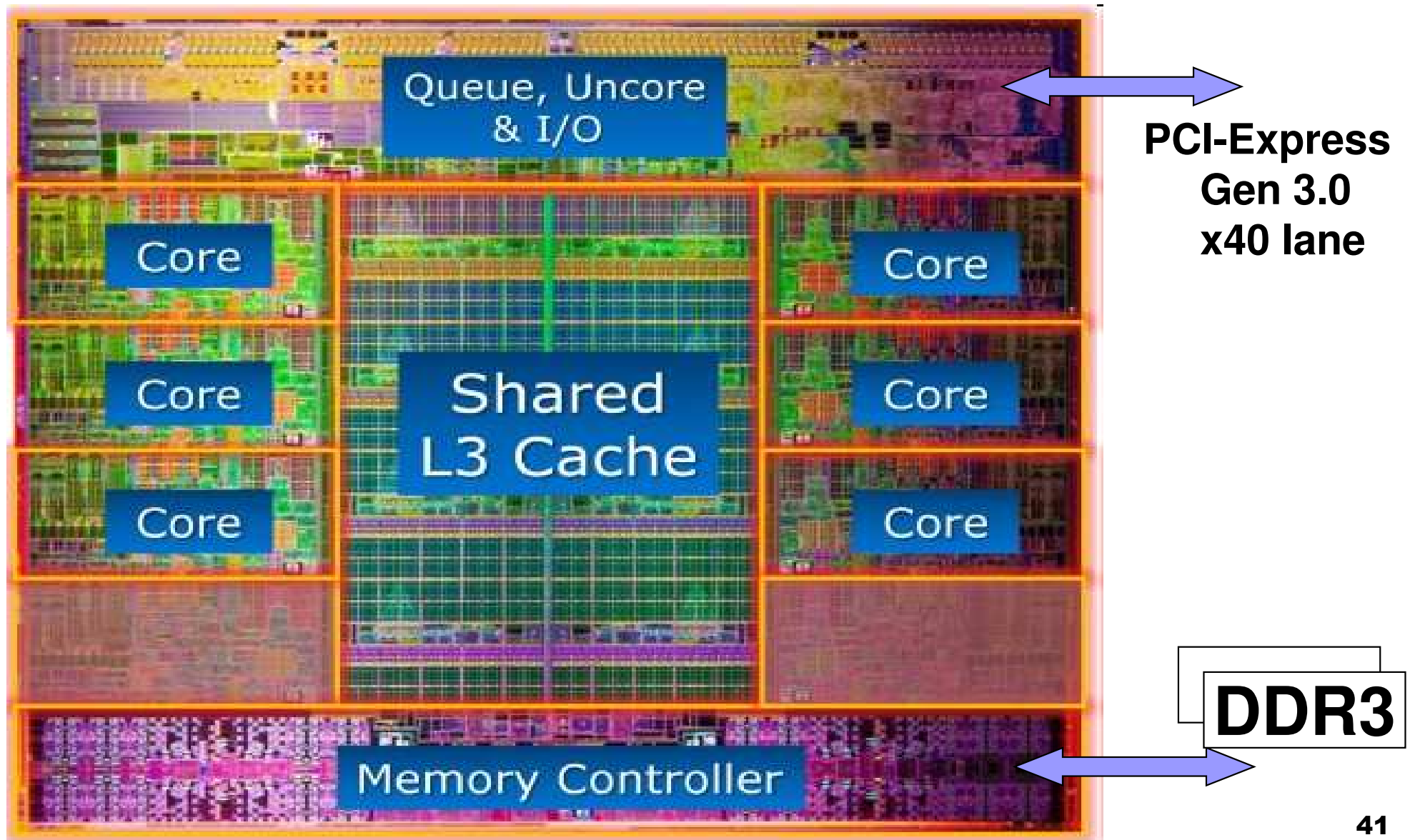


¹Theoretical maximum bandwidth

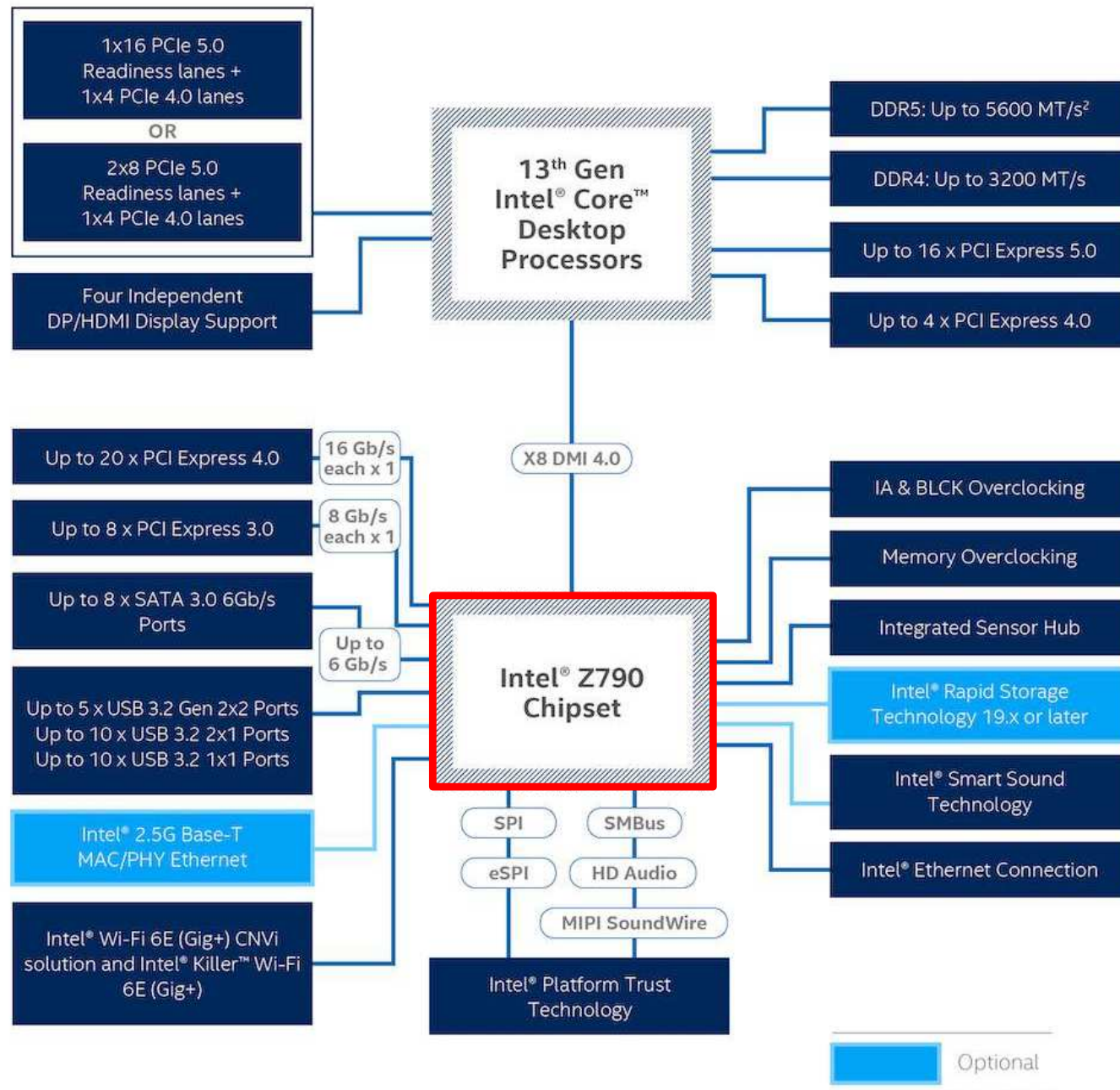
²All SATA ports capable of 3 Gb/s. 2 ports capable of 6 Gb/s.

Intel X79 Express Chipset Block Diagram

Intel Core i7-3960X – Sandy Bridge-E



PI: Intel Raptor Lake (13.gen – 2023)



PCI busz fontosabb jelei #1

A csatlakozó 188 lábú, oldalanként 94-94 lábbal. Sok GND található a zavarások elkerülése végett. A tápról jön 12V, 5V, 3.3V-os jel is.

- **CLK**: (Clock) PCI busz órajele (0-20-33MHz)
- **AD0-AD31**: (AD: Address/Data) multiplexált cím/adat vezetékek 32 bites üzemmódban (ahol AD00-AD07 byte-címzés esetén az LSB, míg AD24-AD31 byte-címzés esetén az MSB-t jelöli).
- **AD32-AD63**: 64 bites üzemmódban
- **IRDY**: (Initiator Ready) adatok olvasásakor (negált jel)
- **TRDY**: (Target Ready): adat írásakor (negált jel)
- **DEVSEL**: (Device Select) ez egy nyugtajel, a target ezzel nyugtázza, hogy a címet dekódolta
- **IDSEL**: a Chip Selectnek felel meg, adatírás vagy konfiguráció során lehet hozzáférni a chip-hez
- **STOP**: az adatforgalom megszakítását jelzi a target-nek
- **FRAME**: adatátviteli ciklus jelzése (negált jel)

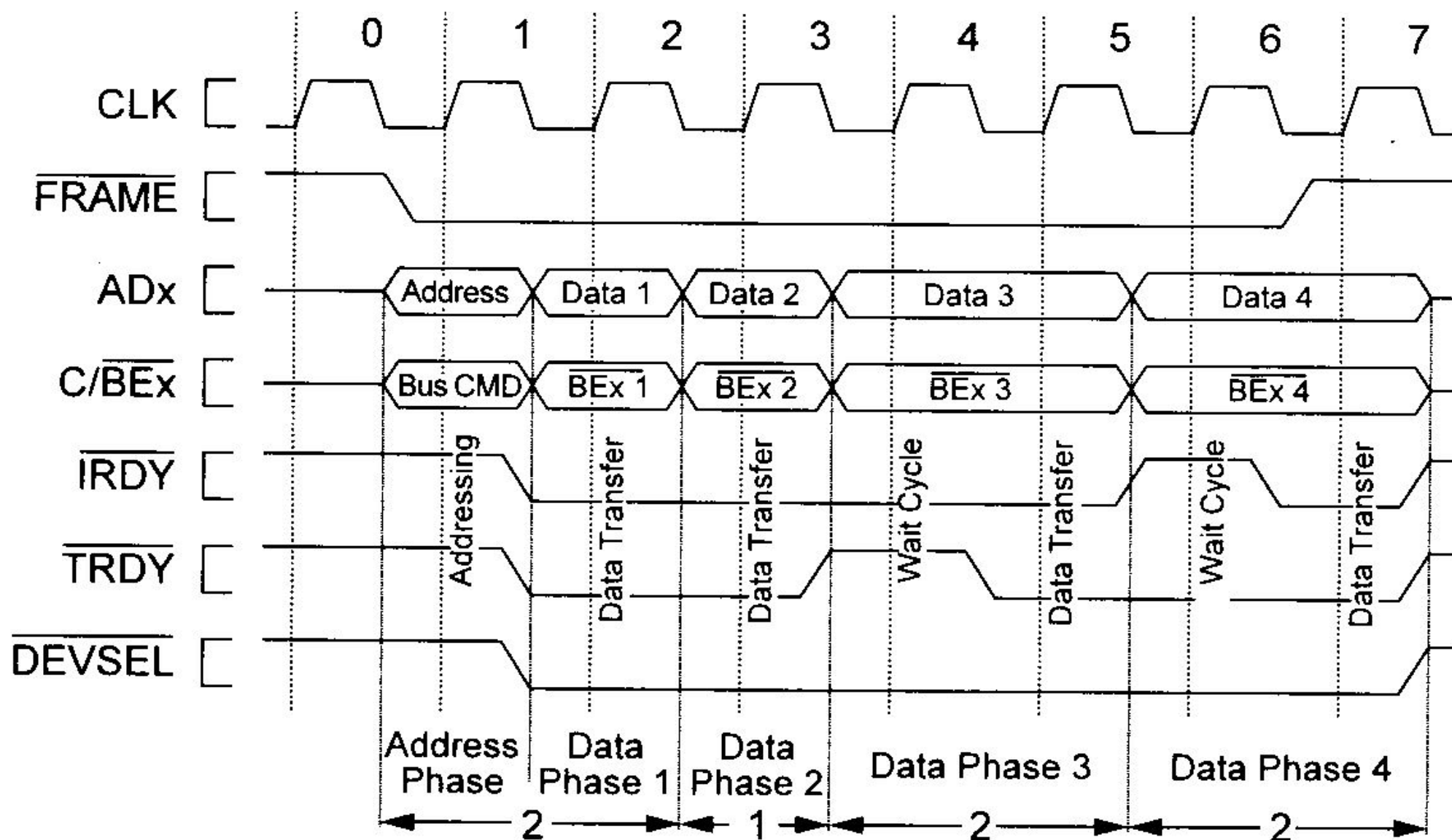
PCI busz fontosabb jelei #2

- **PAR:** (Parity) adatok és címek paritás ellenőrzése
- **C/BE0 – C/BE3:** (Command & Byte Enable) egy-egy jel egy byte-ot foglal magába. Megmutatja, hogy melyik byte tartalmaz érvényes adatot, ill. írunk, vagy olvasunk-e.
- **PERR – SERR:** (Parity error ill System error) hibajelek
- **INTA – INTD:** megszakításjelek (felfutó élre vezéreltek)
- **REQ:** (Request) sínhozzárendelés a kéréshez
- **GNT:** (Grant) sínhozzárendelés engedélyezéshez
- **TCK, TDI, TDO, TRST:** (Test Clock, Test Data in, Test Data Out, Test Reset) PCI sín tesztelésének jelei (JTAG-hez)
- **RST:** (Reset) regiszterek tartalmának törlése, és a PCI jeleinek kiinduló helyzetbe állítása

PCI írási/olvasási tranzakciók

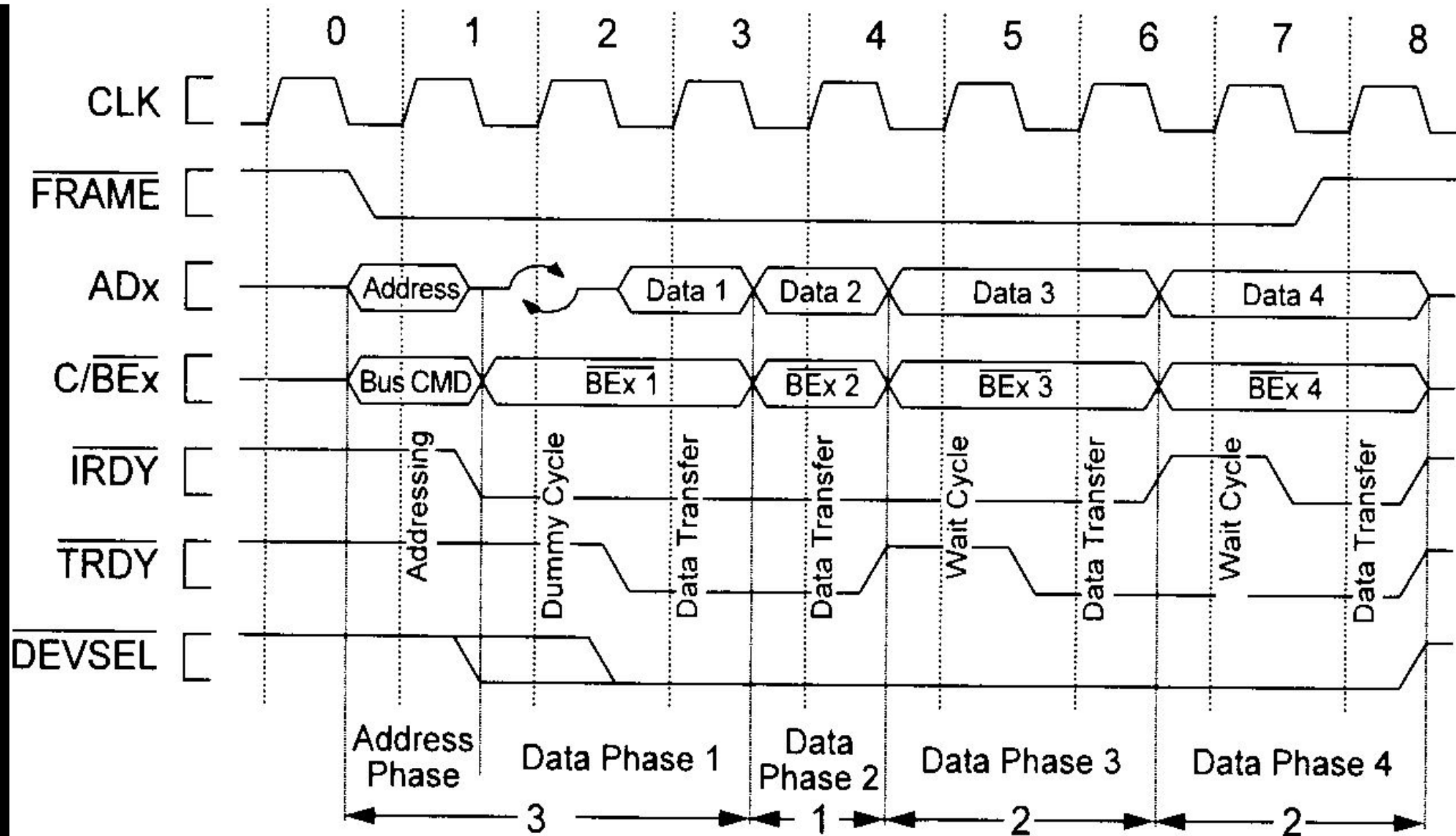
- **Burst = „löketszerűen”** egyszerre több adatot szeretnénk kiolvasni/írni. 1 cím kiadása után tipikusan **4 adat jön (4-es burst)**. A címzési fázis utáni első órajelciklusban az átvitel irányát módosítani kell, a közös multiplexált ADDR/DATA busz miatt. Olvasásnál ezért van szükség egy üres ciklusra (*Dummy*). Például: olvasásnál 3-x-x-x, vagy írásnál 2-x-x-x
- Miután az arbitráció során az egység sikeresen megkapta a vezérlést, a FRAME jellel inicializáljuk az adatátviteli folyamatot. Olvasásnál a címzés egy ciklus idejű, miután egy üres ciklus jön, majd az első adat megérkezéséhez szükséges ciklus (Esetünkben az első fázis 3 ciklus idejű: címzés + üres ciklus(ok)+TRDY adat). Az IRDY jel majd a TRDY jel alacsony jelszintre váltása után kezdődhet meg az adatok továbbítása *löketszerűen*, egymás után x-x-x ciklusonként.
- Olvasásnál: pl. 3-1-2-2= először 3 órajelciklust vár az első adatig, majd utána 1-2-2 ciklusonként jönnek az adatok (közben *wait* ciklusok lehetnek!)
- Írásnál nincs üres (dummy) ciklus, a cím kiadása után egyből mennek az adatok 2-1-2-2 ciklusonként, az **optimum 2-1-1-1)**

PCI írási ciklus (pl. 2-1-2-2 burst)



* Optimális 2-1-1-1.

PCI olvasási ciklus (pl: 3-1-2-2 burst)



* Optimális 3-1-1-1.



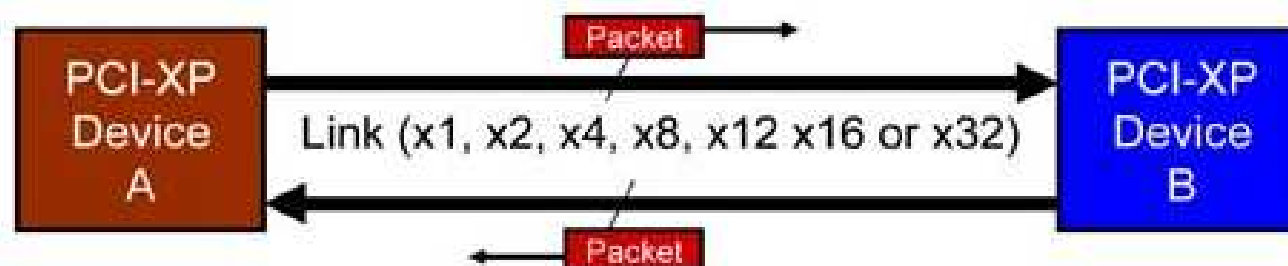
PCI-Express busz

Kapcsolódó háttéranyag:

- <https://pcisig.com/faq>

PCI-Express Busz

- Nagyteljesítményű, nagysebességű, P2P: **pont-pont kapcsolati szinkron protokoll, soros** buszrendszer. Szabványosításért PCI-SIG felel.
- **Duális simplex** (két-egyirányú) kommunikációt biztosít (ma már full-duplex)
 - **Link**: x1, x2, x4, x8, x12, x16 vagy akár x32 lane-ből áll



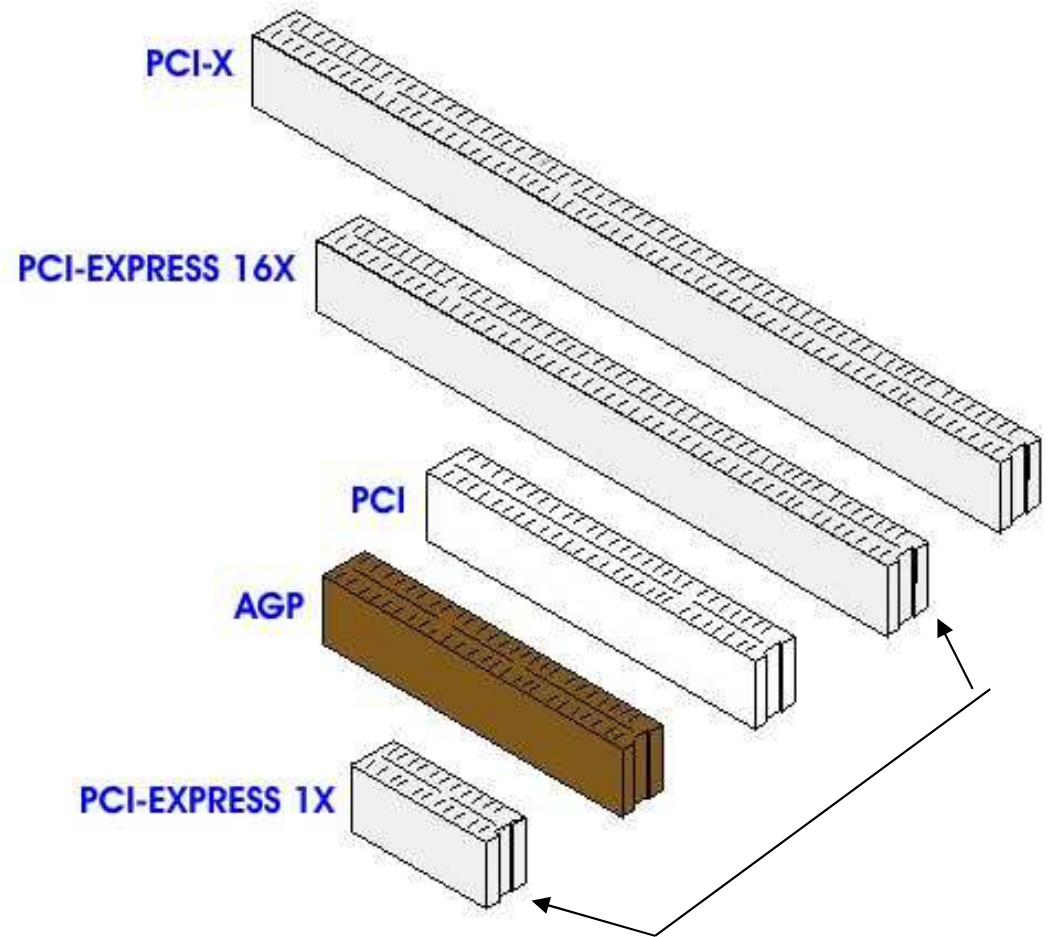
- **Lane (sáv)**: jelpárok a két irányban
- Hivatalos Jelölése: PCI-E, PCIe ! (≠ PCI-X !)
- Cél: leváltani a PCI, PCI-X és AGP buszokat

PCI Express tulajdonságai

- (Míg a korábbi PCI-nál az eszközök osztoztak a sínen), addig az új PCI-Expressnél egy *switchen/hub-on* keresztül érik el (**P2P topológia**) a sít:
- azaz minden eszköz úgy látja, mintha saját külön sínnel rendelkezne! Soros kapcsolat!
- A **switch** gondoskodik a P2P kapcsolatok létrehozásáról és a vezérli a sín adatforgalmát. A switch és az eszközök közötti kapcsolatokat **link**-nek nevezik.
- Egy PCIe link duál-szimplex (ma már full-duplex): azaz az adó és a vevő két egyirányú csatornán keresztül forgalmaz. Minden link egy vagy több **lane**-ből ($\times n$ sáv) állhat.
- Egy **lane** egy *bájt* egyidejű átvitelét teszi lehetővé (250MB/s = PCIe v1.0 szabványban!), ami a gyakorlatban maximálisan ~2,5 GB/s adatátviteli sebességet jelentett.
- A PCIe $\times 1$, $\times 2$, $\times 4$, $\times 8$, $\times 12$, $\times 16$ és $\times 32$ lane-ből álló linkek létrehozását támogatja. A switch alkalmazása lehetővé teszi a rendelkezésre álló sáv szélesség jobb kihasználását és az adatforgalom fontosság szerinti osztályozását
- Alacsony fogyasztás, illetve az energiatakarékossági funkciók támogatása. Támogatás: GPU, SSD, hálózati eszközök.

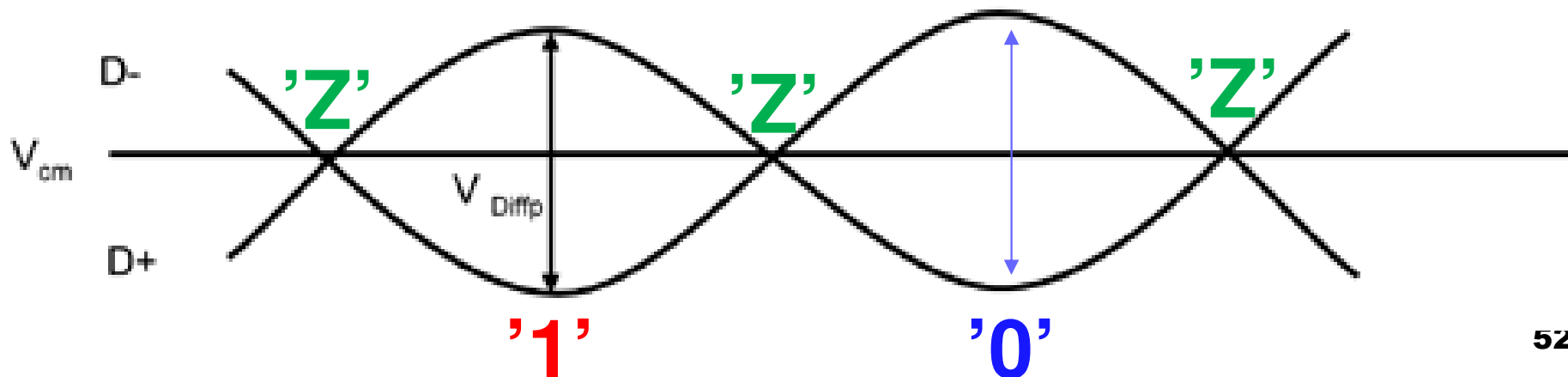
Bővítőhelyek (slotok)

- PCI (32 bit)
- PCI-X (64 bit)
- **PCI-Express**
 - ×1
 - ×16
 - ×32
- AGP (Intel Accelerated Graphic Port)
 - ×1-×8

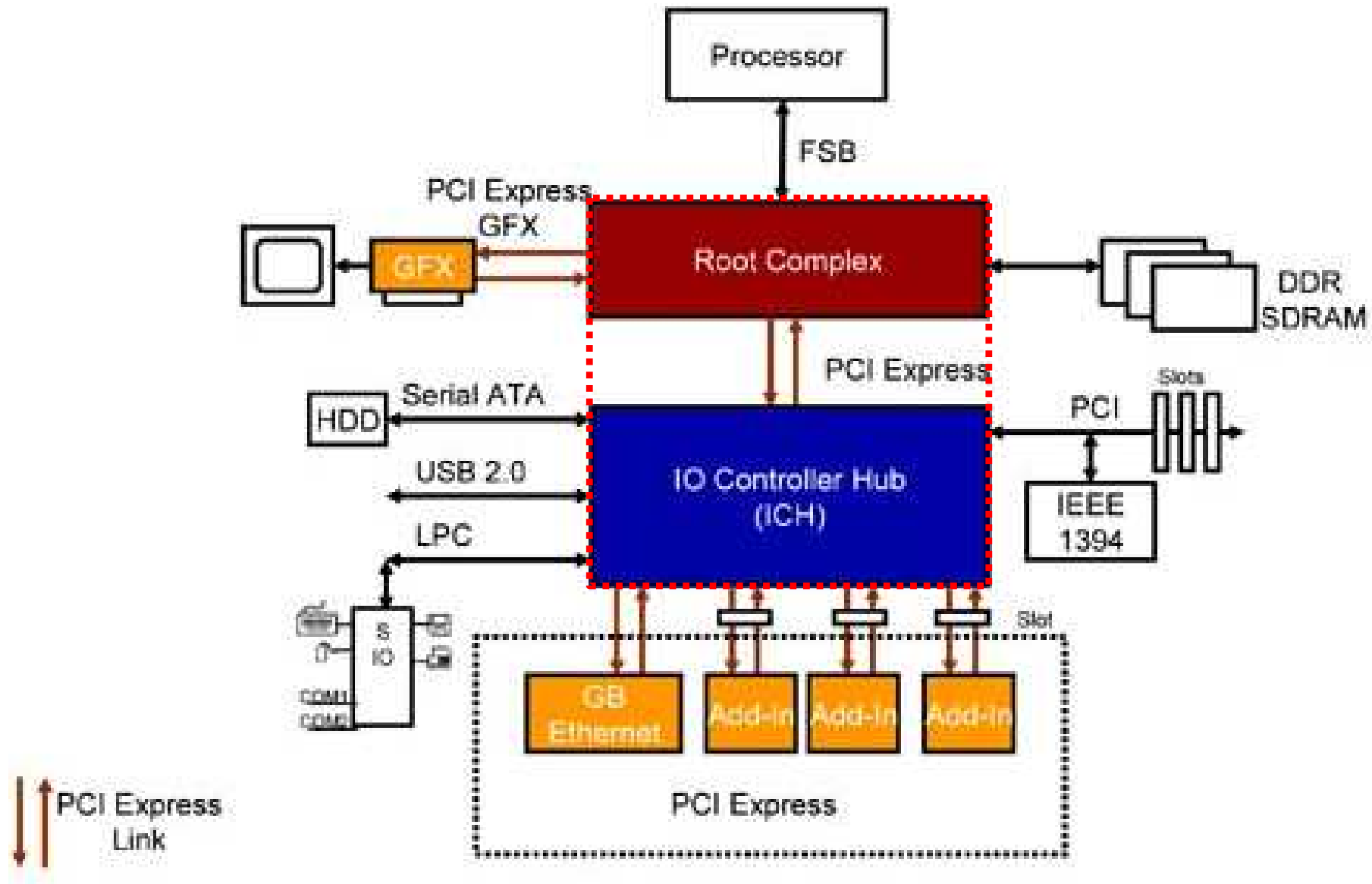


Működése: Differenciális jel

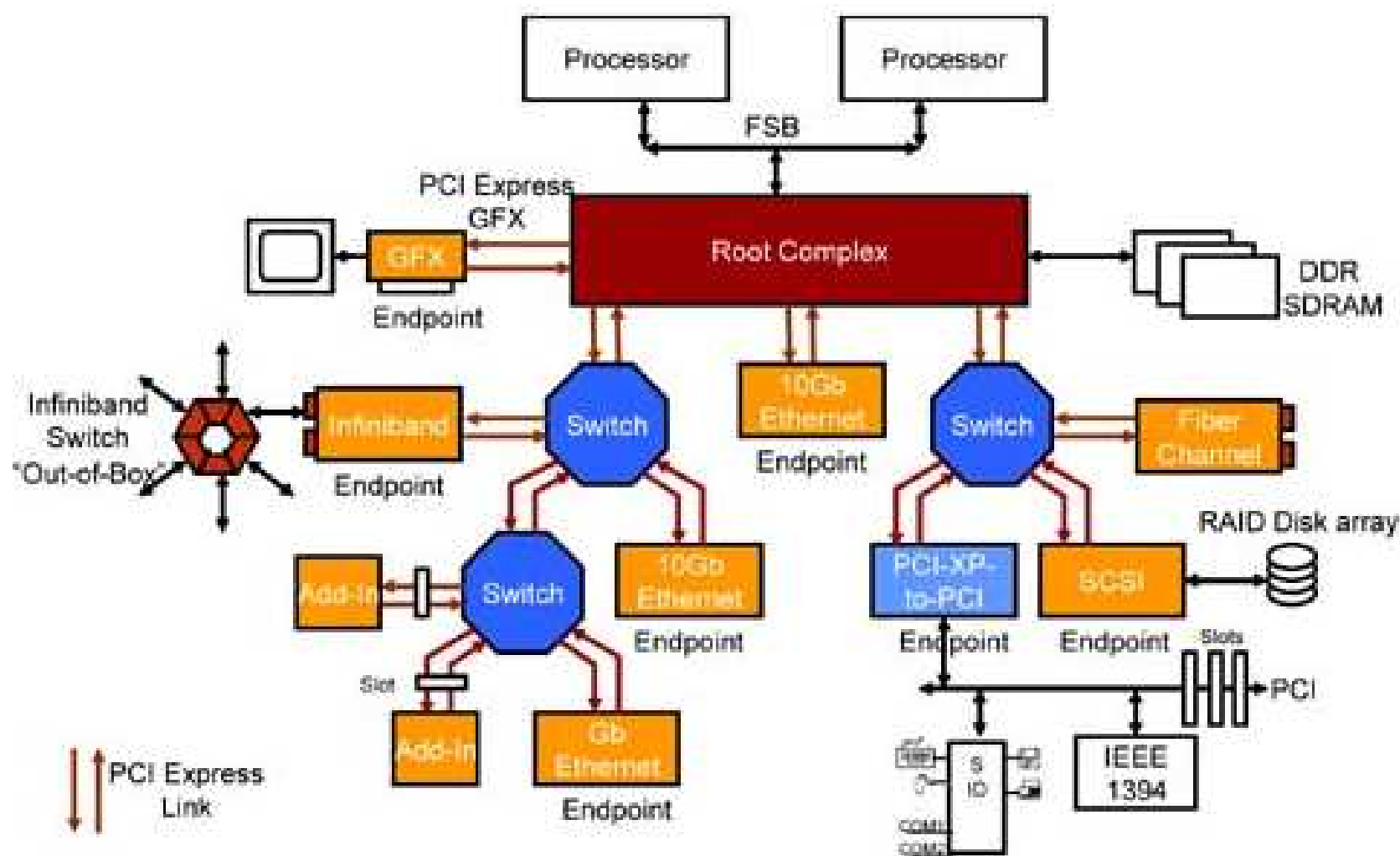
- Differenciális driver-ek és receiver-ek találhatók mindenegyes PCIe portnál.
- Ha *pozitív feszültség különbség* van a D+ és D- terminálisok között, akkor **logikai '1'**-et reprezentál.
- Ha *negatív feszültség differencia* van a D+ és D- között, akkor pedig **logikai '0'**-t mutat.
- Ha *nincs feszültség különbség* a D+ és D- között, az azt jelenti, hogy a driver nagy-impedanciás ún. **tri-state ('Z')** állapotban van, amely az eszköz (tétlen) állapotát, és a *line low-power* állapotát jelzi.
- PCI Express iel elektromos karakterisztikáia (VDS):



Olcsó asztali gépes PCI-Express rendszer



PCI-Express szerver alapú, multi-processoros rendszer esetén



- **Switch:** több-portos eszköz, Link-ek kapcsolhatók hozzá

PCI-Express v1.0 tulajdonságai (2004)

- Csomag (Packet) kapcsolt protokoll
- Sáv szélességek és órajelek:
 - Data rate (bandwidth): 250 MB/sec/sáv/irány (x1 lane)
 - Max ~2.5 GB/sec/sáv/irány (~2.5 GHz)
 - 8b/10b kódolás (1 bytehoz, 2 kódbit)
 - **IO Transfer rate=IO Bandwidth (IO sáv szélesség)**
Max. elméleti határ ~2.5 GT/s (x16: 16 sávon)
// **GigaTransfer (GT): adatműveletek száma/s**
- Memória cím területek:
 - Memória
 - I/O címterület
 - Konfigurációs cím (kibővítése a PCI esetén megismert 256 Byte-ról 4 Kbyte-ra)

PCI-Express v1.0 összesített sávszélesség adatok

- **IO Bandwidth** (IO sávszélesség) Max **2.5** GB/s
- 8b/10b kódolás (osztva 10-el)
- n Lane: „x n” (szorozva)
- szorozva 2-vel (irányonként)

Table - PCI Express v1.0 Aggregate Throughput for Various Link Widths							
PCI Express Link Width	x1	x2	x4	x8	x12	x16	x32 (nem támog.)
Aggregate Bandwidth (GB/s)	0.5	1	2	4	6	8	16

PCI-Express v2.0 tulajdonságai (2007)

- Csomag (Packet) kapcsolt protokoll
- **IO Sáv szélességek (órajelek) duplájára növekedtek:**
 - Data rate (bandwidth): 500 MB/sec/sáv/irány (x1 lane)
 - Max 5 GB/sec/sáv/irány (5 GHz)
 - 8b/10b kódolás (20% overhead)
 - **IO bandwidth:**
 - **~5 GT/s (x1 lane)**
 - Max. elméleti határ : ~80 GT/s (x16 lane)
 - Nagyobb fogyasztású (250-300W) eszközöket (pl. GPU) is támogat
 - Már **külső eszközöket** is támogat (10 m-es kábel)
 - Input-Output **Virtualization** (IOV): hatékonyabbá teszi az ugyanazon hardveren futó virtuális gépek működését azáltal, hogy segíti a PCIe-eszközök megosztását - kapcsolati seb. SW-szintű beállítása
 - PCIe v1.1-re visszafelé kompatibilis

PCI-Express v3.0 tulajdonságai (2011)

- Data rate (bandwidth): ~1 GB/sec/sáv/irány (x1 lane)
- **IO sávszélesség ismét duplázódott: max ~8 GT/s** (128b/130b kódolás = 16 bytehoz 2 kódbit).
 - „PCle 2.0 delivers 5GT/s but employed an 8b/10b encoding scheme which took 20 % overhead on the overall raw bit rate. By modifying the requirement for the 128/130b encoding scheme, PCIe 3.0's effectively delivers double PCIe 2.0 bandwidth: only 1.5 % overhead!”
 - 1 Gbit/sec/sáv/irány (x1 lane)
- Továbbfejlesztett jel és adat integritás:
 - receiver-transmitter,
 - PLL (phased-locked-loop)
 - csatorna részekén optimalizálás
- PCIe v.2.x-re visszafelé kompatibilis
- Bevezetése: 2011. januárjában jelent meg.

PCI-Express v4.0 tulajdonságai (2016)

- Data rate (bandwidth): ~2 GB/sec/sáv/irány (x1 lane, max **16** lane)
- **IO sávszélesség ismét duplázódott: max ~16 GT/s** (8b/10b kódolás módosításával).
 - Továbbfejlesztett jel és adat integritás
 - Power optimizations (active / idle states)
 - Max power consumption: 375 W total (1×75 W + 2×150 W)
- PCIe v.3.0-re visszafelé kompatibilis
- Tervezett bevezetése: 2017 végtől (többszöri csúszás)
 - BroadCom 200 Gbit Ethernet vezérlőjében először
 - AMD X580 chipset (2019. jan)

PCI-Express v5.0 tulajdonságai (2019)

- Data rate (bandwidth): ~4 GB/sec/sáv/irány (x1 lane, x16 lane ~64GB/s)
- **IO sávszélesség ismét duplázódott: max ~32 GT/s**
- PCIe v.4.0-re visszafelé kompatibilis
- Tervezett bevezetése: 2019 (csúszás)

PCI-Express v6.0 tulajdonságai (2021 - jelenleg)

- Data rate (bandwidth): ~8 GB/sec/sáv/irány (x1 lane, x16 lane ~128 GB/s)
- **IO sávszélesség ismét duplázódott: max ~64 GT/s**
- PCIe v.5.0-re visszafelé kompatibilis
- Tervezett bevezetése: 2021 eleje (csúszás)

PCI-Express (v1.0 ... v6.0, v7.0? ..)

📶 I/O BANDWIDTH DOUBLES EVERY 3 YEARS



Sávszélesség duplázódása 3 évente.

2024: jelenlegi PCk-ben: PCIe v3.0, v.4.0 , ill. v5.0 támogatás.

PCIe® Speeds/Feeds - Pick Your Bandwidth

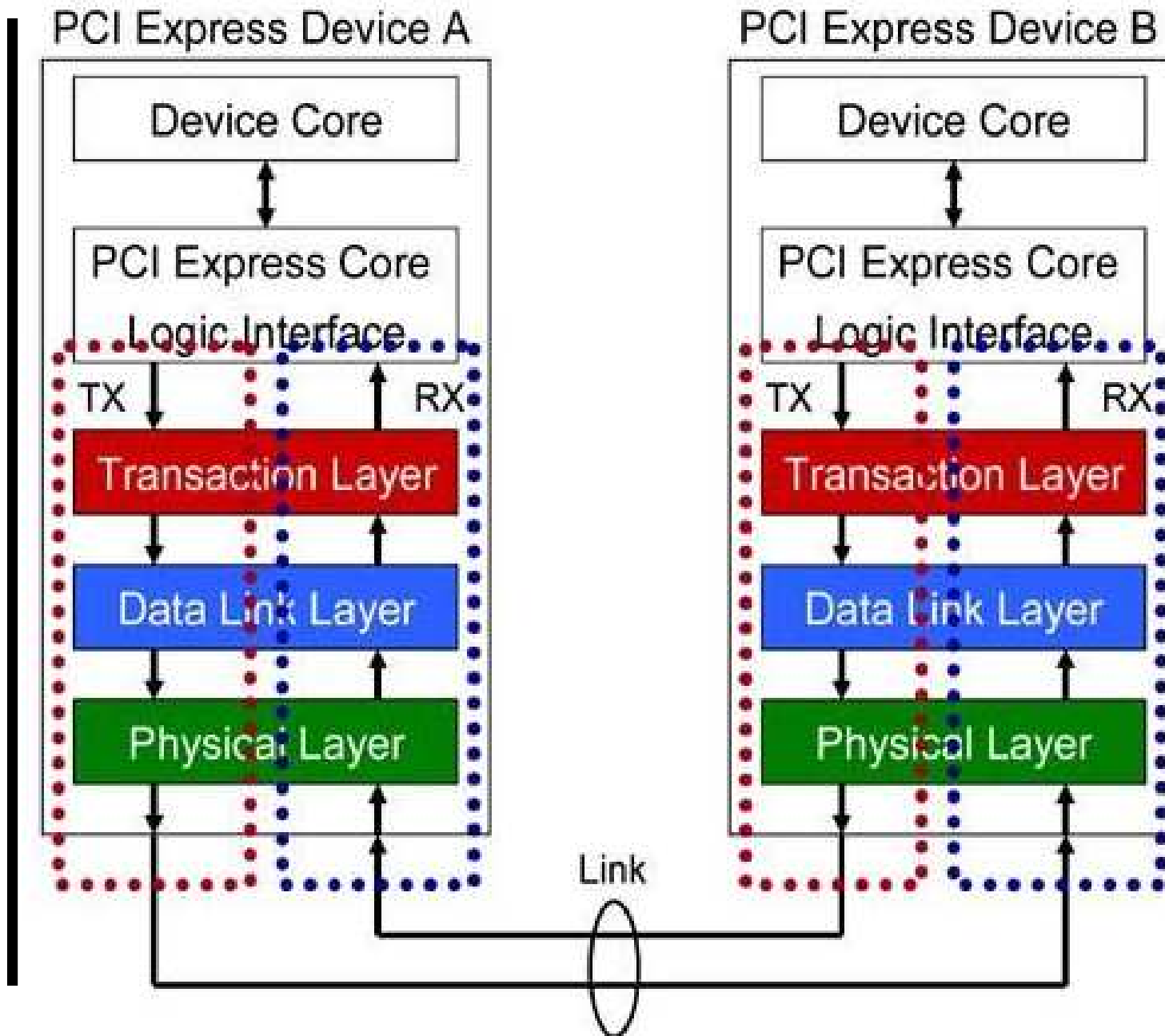
- Flexible to meet needs from handheld/client to server/HPC
- --Max Total Bandwidth = Max RX bandwidth + Max TX bandwidth
- 35 Permutations yielding 11 unique bandwidth profiles
- Encoding overhead and header efficiency not included

Specifications	Lanes				
	x1	x2	x4	x8	x16
2.5 GT/s (PCIe 1.x +)	500 MB/S	1 GB/S	2 GB/S	4 GB/S	8 GB/S
5.0 GT/s (PCIe 2.x +)	1 GB/S	2 GB/S	4 GB/S	8 GB/S	16 GB/S
8.0 GT/s (PCIe 3.x +)	2 GB/S	4 GB/S	8 GB/S	16 GB/S	32 GB/S
16.0 GT/s (PCIe 4.x +)	4 GB/S	8 GB/S	16 GB/S	32 GB/S	64 GB/S
32.0 GT/s (PCIe 5.x +)	8 GB/S	16 GB/S	32 GB/S	64 GB/S	128 GB/S
64.0 GT/s (PCIe 6.x +)	16 GB/S	32 GB/S	64 GB/S	128 GB/S	256 GB/S
128.0 GT/s (PCIe 7.x +)	32 GB/S	64 GB/S	128 GB/S	256 GB/S	512 GB/S

+ = data rate supported by this and subsequent spec revisions.

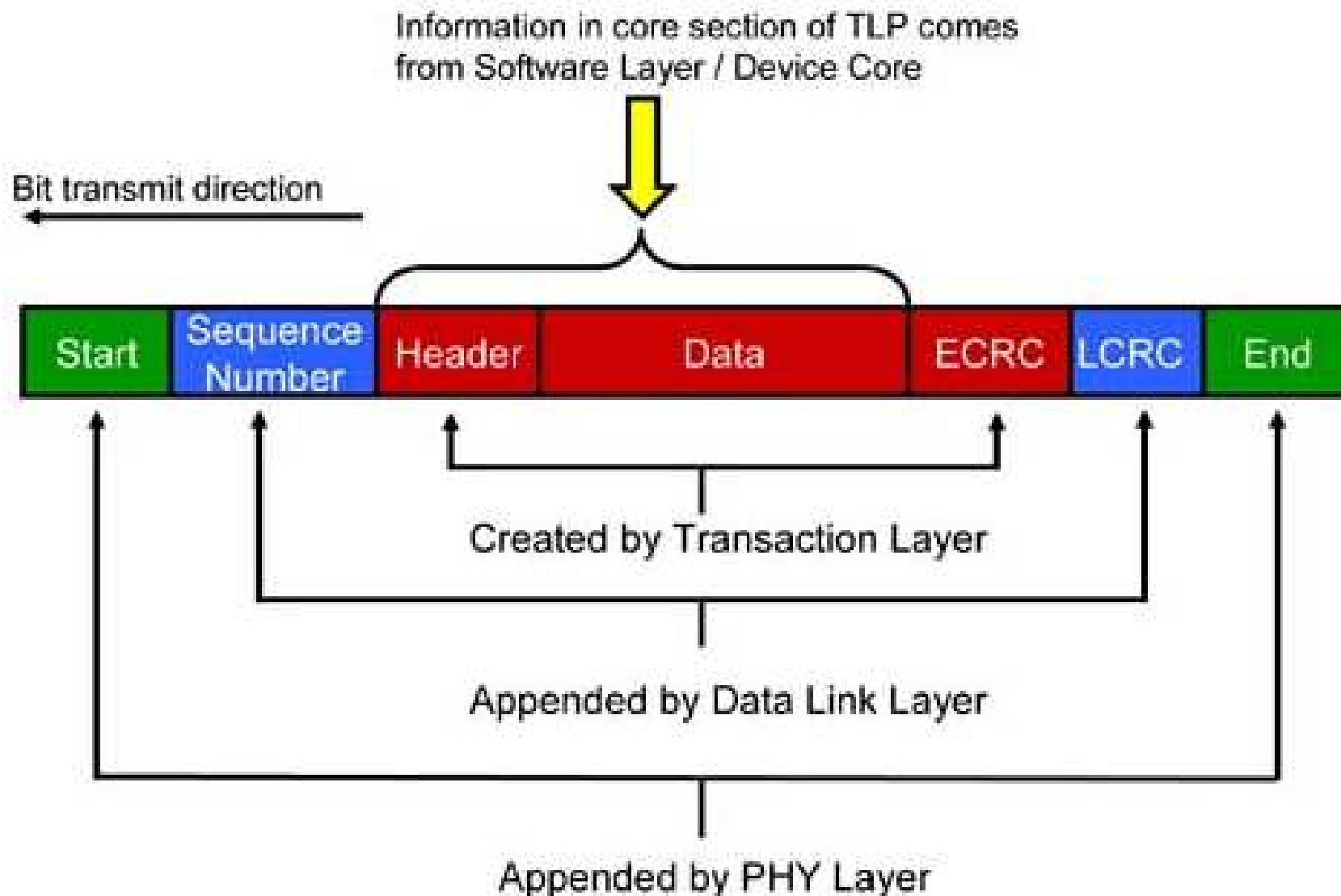
Újabb PCI-Express verziók kevesebb sávon biztosítják ugyanazt a sávszélességet, mint a korábbiak (azonos színek!)

PCI Express rétegszerkezete



- **ISO OSI modell alsó négy! rétegét implementálja**
 - Fizikai,
 - Adatkapcsolati,
 - Hálózati és Szállítási réteg egyben,

Tranzakciós réteg csomagjai (keret)





SCSI busz

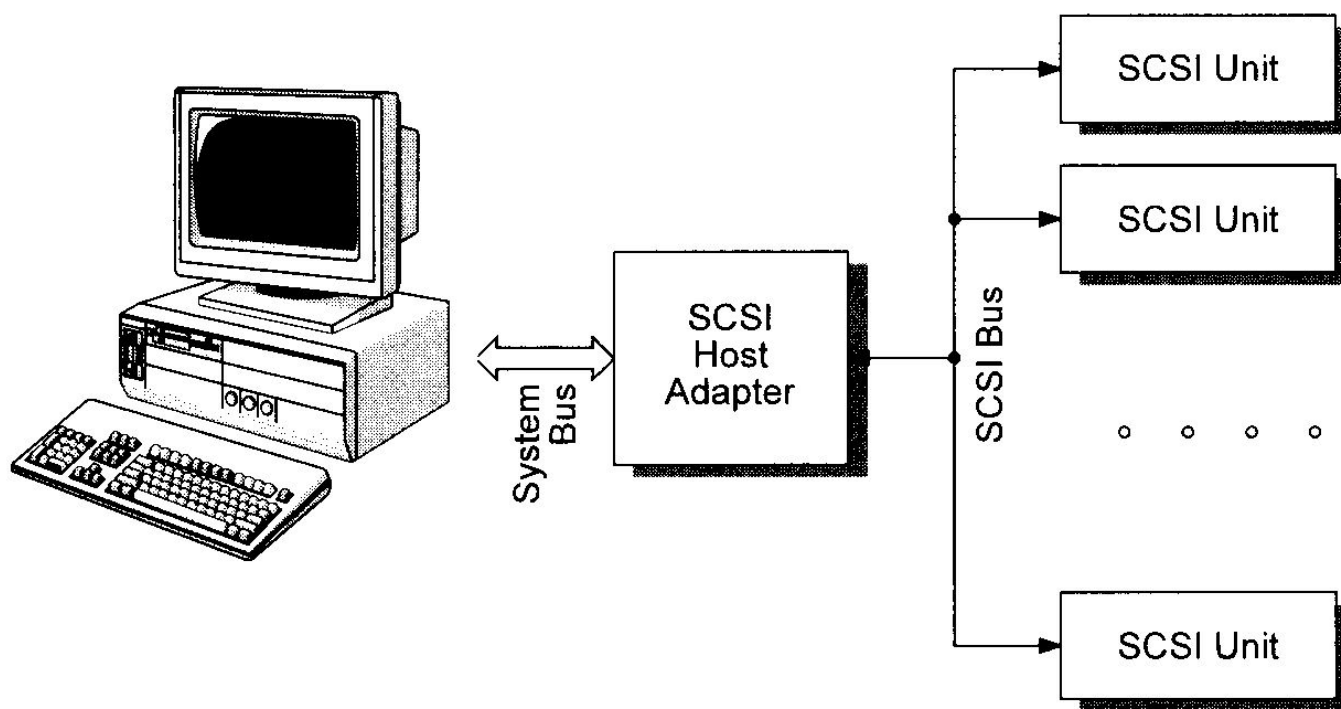


Korai párhuzamos SCSI buszrendszer tulajdonságai



- **SCSI= Small Computer System/Standard Interface**: komplex, *intelligens*, *sínorientált* (merev-, hajlékonylemez, CD-ROM, szalagos egység, scanner...) interfész
- **(IOP!)**. Különféle perifériák illesztésére, CPU tehermentesítésére fejlesztették ki, az OS-től független felülettel rendelkeznek. Sokoldalú eszköz, mivel nemcsak PC-s környezetbe, hanem UNIX munkaállomásokba és Apple-Mac gépekbe is integrálható.
- Tulajdonságai: A **korai párhuzamos** SCSI buszon általánosan 8 eszközt definiál (**mai soros** SCSI-n x1000 eszköz, sőt külső eszköz is csatlakoztatható) legnagyobb sebessége 640 Mbyte/s, max buszhossz 12m volt.
- Az eszközöket egyetlen vezérlő a **hostadapter (IOP)** kezeli, amely a számítógépes rendszer eszközeinek kapcsolatát építi fel a SCSI buszrendszerrel. **Nagysebességű, megbízható párhuzamos/soros** átvitelt biztosít a CPU és perifériák között. A korai szabványos SCSI csatolónak 50 (v. 68) lába volt.

SCSI periféria busz és CPU rendszerbusz kapcsolata



- A *SCSI periféria busz* egy host adapteren (IOP) keresztül kapcsolódik a CPU *rendszer buszához*

SCSI tulajdonságai (folyt. 1)

- A saját processzorral és memóriával rendelkező intelligens SCSI egységek kezdeményezőként (***initiator***) és fogadóként (***target***) is működhetnek! (lényegében egy I/O processzor eszköz)
- A korai SCSI vezérlő max **8 initiator**, és **8 target** egységet kezelt egyszerre. A kezdeményező adja ki az utasításokat, a cél pedig feldolgozza, és végrehajtja azokat. Minden egységnek saját különböző címe van (0-7), amelyeket jumperekkel (rövidzár, kapcsoló) kell beállítani, hogy az interferenciát a buszon elkerüljük. A hagyományos SCSI szabványnak megfelelően hostadapter/vezérlő címe mindig 7-es, míg a szalagos egységé pl. a 0-ás, azonosítójuk **SCSI-ID**=0 ill. 7.

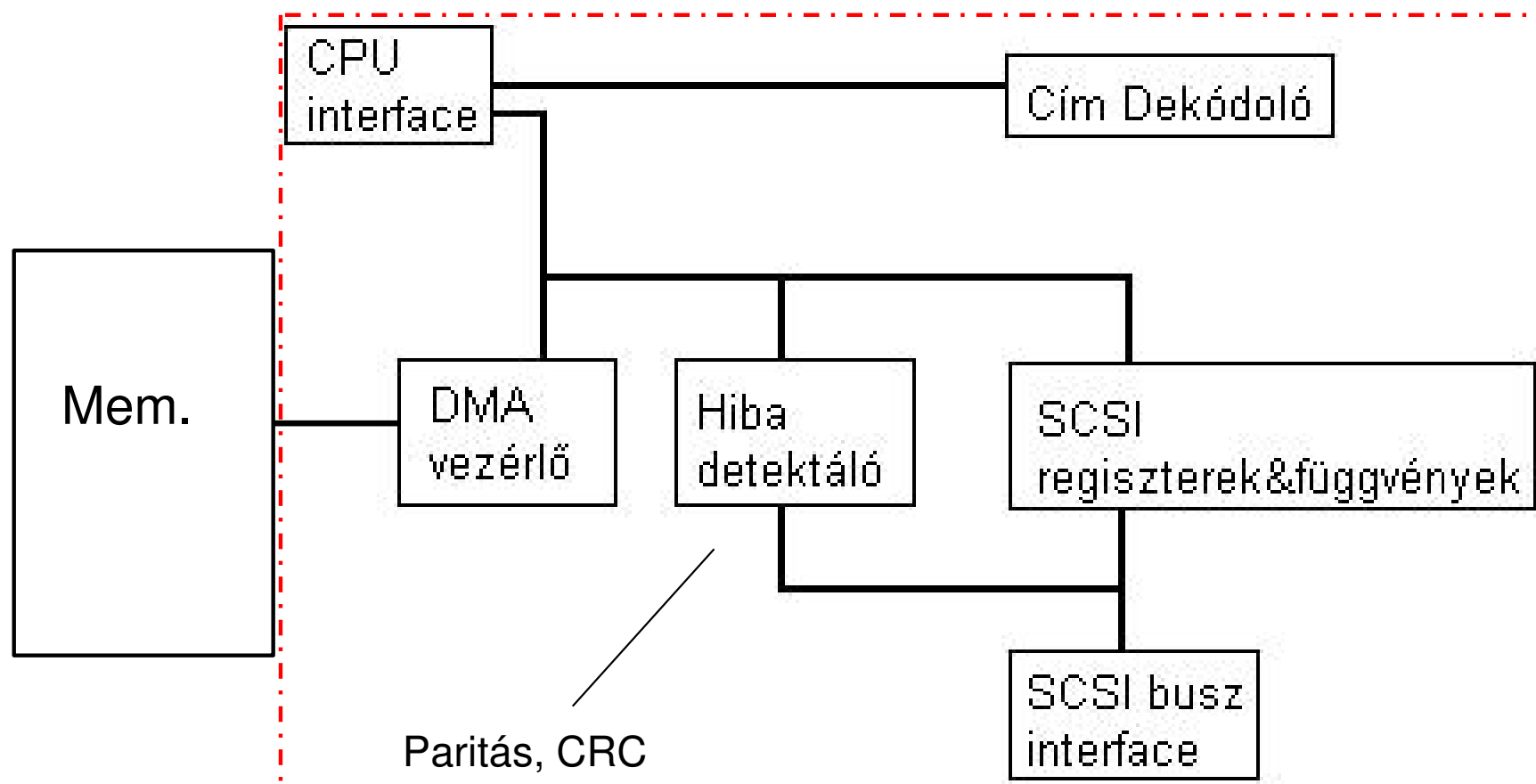
SCSI tulajdonságai (folyt. 2)

- A SCSI_ID mellett létezik a **LUN** = Logikai Egység Azonosítószám is: azaz minden targethez (perifériához) hozzárendelhető további 8 logikai egység, amiket az SCSI parancsok esetén saját LUN-nal azonosíthatunk.
- Az (korai, párhuzamos) **SCSI-I** busz kommunikáció 8-bites adatbuszon 1-bites paritás ellenőrzés mellett zajlott. Lassú target esetén, érdekesebb volt magasabb prioritású szintet állítani. A busz elején a vezérlő hostadapter van (jumper, kapcsoló, BIOS állítja), a másik végére pedig a lezáró ellenállást (mindig az utolsó eszköznél kellett tenni). Az egységeket egymás után láncba (**SCSI chain**) felfűzve, egyforma (50-eres) szalagkábelrel lehetett csatlakoztatni.
- Alapvetően **Aszinkron** / de a **mai szabványok már a szinkron** protokollokat is támogatják!

SCSI blokkdiagram



- SCSI vezérlő (host adapter = **IO Processzor**) általános felépítése



SCSI busz fontosabb vezérlő jelei

- **REQUEST**: handshaking parancskérés, target által kezelt
- **ACKNOWLEDGE**: handshaking üzenet nyugtázása az initiator által
- **BUSY**: buszon a target foglaltságának jelzése (egy eszköz szabad, ha BUSY=0)
- **SELECTION**: initiator kiválasztja a target-et (SELECTION=0, nincs kiválasztva),
 - (SEL=0 esetén a target újra felépíti a kapcsolatot az initiator-ral a busz ideiglenes felszabadítása után)
- **C/D: Control /Data**: a target által kezelt jel, vezérlőadatok, parancsok, állapotinformációk jelzése a buszon
- **I/O : Input/Output**: szintén a target által kezelt vezérlőjel, amely az adatbusz adatforgalmának irányát mutatja
- **MSG= Message**: az üzenetküldés fázisának jelzésére szolgál, a target által kezelt
- **ATTENTION**: vezérlő figyelmezteti a célt
- **RESET**: az összes csatlakoztatott SCSI eszköz „reset-elése”, inicializálása, a sín alaphelyzetbe állítása

SCSI busz fázisok #1

■ Bus-free (szabad?)

- ☐ Nem használja SCSI egység a buszt, és SEL# , BSY# inaktívak

■ Arbitration (döntési mechanizmus)

- ☐ egység aktiválja a **BSY#** és saját SCSI-ID azonosítóját a buszra helyezi
- ☐ Rövid arbitrációs késleltetés után, ha nincs más aktív SCSI-ID magasabb prioritással, akkor az egység fogja vezérelni a buszt és aktiválja **SEL#** jelet

■ Selection (kiválasztás)

- ☐ Initiator kiválasztja a Target-et (bizonyos funkciókat kell végrehajtani)
- ☐ az I/O# jel inaktív
- ☐ Az initiator és target SCSI-ID-jének OR kapcsolatából egy címet állít elő, melyet a buszra helyez
- ☐ target aktiválja BSY# jelet (foglalt lesz a busz)

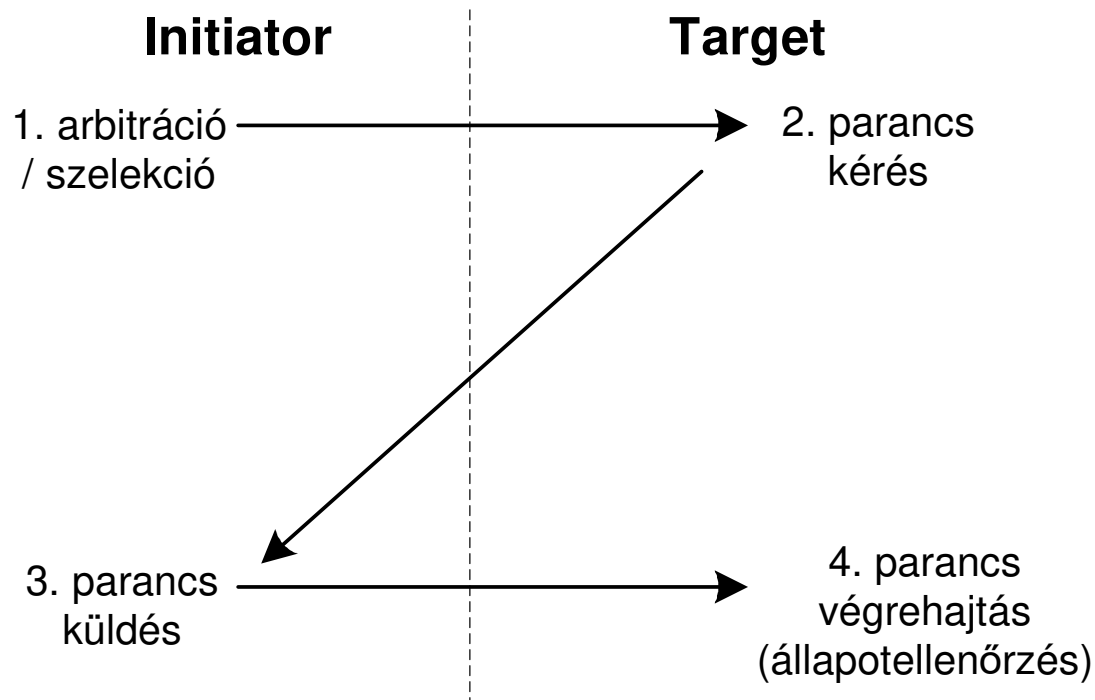
SCSI busz fázisok #2

- Reselection

- Ha szükséges, az initiator újra kapcsolatot létesít a korábbi targettel, miután egy megszakítás történt (~folytatódhat a művelet ott ahol abbamaradt)

- 1. Command: Initiator parancsot küld (Target parancsot igényelhet)
- 2. Data: adatátvitel pl. Init -> Target
- 3. Message: üzenet továbbítás
- 4. Status: Target->Init állapot információ

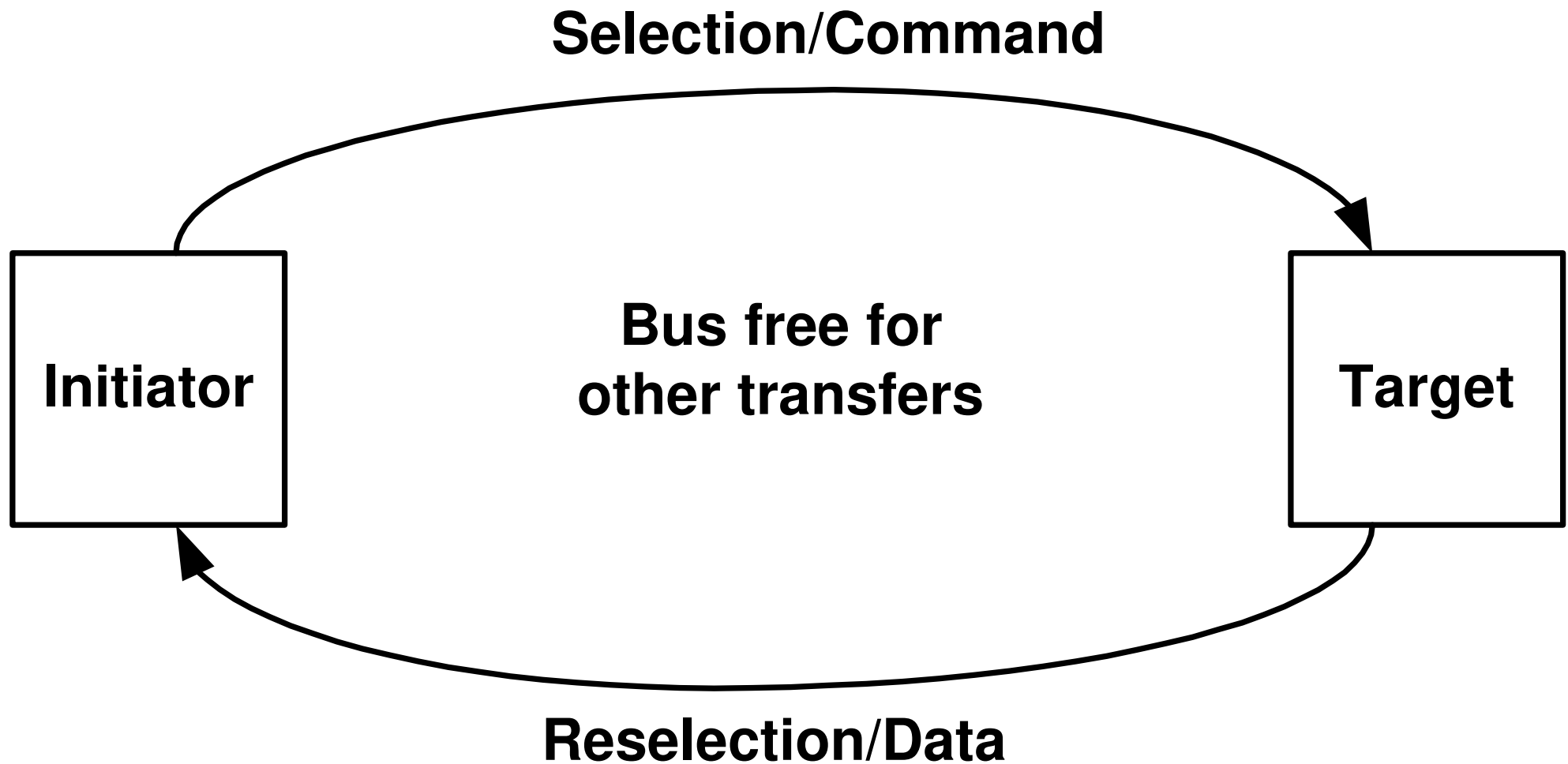
SCSI kommunikáció főbb lépései



SCSI busz fázisok a következők:

- ☐ - Reselection (ha a target meg lett szakítva, folytathatja a komm.t az initiatorral)
- ☐ - busz szabad (bus free?)
- ☐ - arbitráció / szelekció (ki adjon?)
- ☐ - üzenetküldés (msg)
- ☐ - parancs elmegy (command)
- ☐ - adatkapcsolat (data)
- ☐ - állapotellenőrzés (status)
- ☐ - üzenetzárás, kapcsolatbontás

SCSI bus műveletek (kördiagram)



Fontosabb SCSI szabványok

■ *Párhuzamos (régi szabványok):*

- *SCSI I:* 8 bites busz; átviteli seb. *aszinkron* módban 2.5Mbyte/s, szinkron módban 5Mbyte/s; 5Mhz busz-frekvencia; max 7 egység csatlakoztatható, 50 pólusú csatoló
- *SCSI II (Fast SCSI):* első valódi SCSI szabvány, 8 bites busz; 10Mbyte/s; 10 Mhz buszfrequencia; max 7 egység; 50 pólusú
- *Wide-SCSI:* 16 bites szinkron busz; 20Mbyte/s; 10Mhz; 15 egység; 68 pólusú csatlakozó
- *Ultra Wide SCSI:* 16 bites; 40Mbyte/s; 20 Mhz; max 15 egység; 68 pólusú csat.
- *Ultra2 Wide SCSI:* 16 bites; 80Mbyte/s; 40Mhz; max 15 egység; 68/80 pólusú; max kábelhossz. 12m
- *Ultra-3160 SCSI:* 16 bites; 160Mbyte/s; 80Mhz; max 15 egység; 68/80 pólusú; 12m (differenciális jellel működik)
- *Ultra3-320 SCSI:* 16 bites; 320Mbyte/s; max 15 egység; 68/80 pólusú; 12m (differenciális jellel működik)
- *Ultra3-640 SCSI:* 16 bites; 640Mbyte/s, max 15 egység; 68/80 pólusú;

■ Mai szabványok:

- **Soros (SAS) 1.0-4.0:** 1.5 ... 22 Gbit/s, (Adaptec.com), 6m, 16K eszköz!!
- **USB SCSI (UAS): USB3.0-4.0** max 40 Gbit/s; 127 eszköz, 3m
- **Optikai (Fiber channel SCSI), 128GFC** ~ max 12800 MB/s!; akár 127 eszköz, 500m
- iSCSI: SCSI over TCP/IP
- ...

