



HÁLÓZATI RENDSZEREK
ÉS SZOLGÁLTATÁSOK
TANSZÉK

SZÁMÍTÓGÉP ARCHITEKTÚRÁK

Csatolófelületek

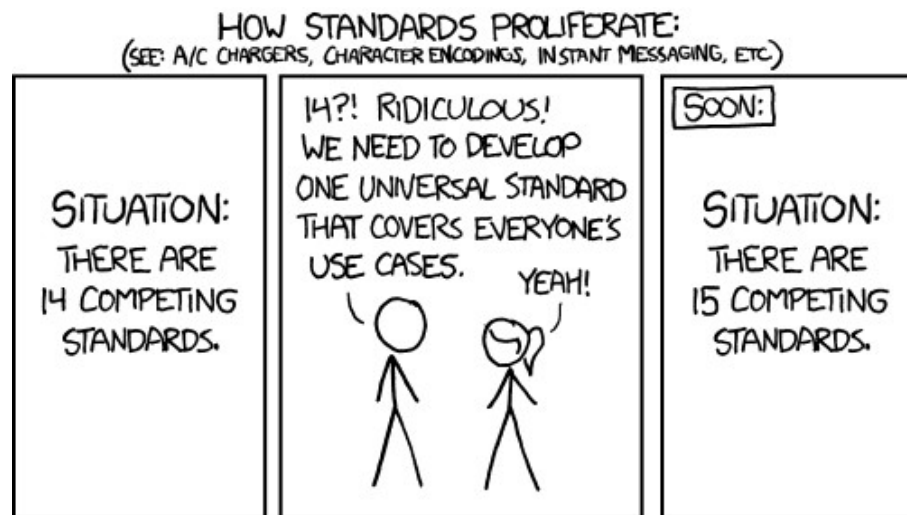
Horváth Gábor, Belső Zoltán

BME Hálózati Rendszerek és Szolgáltatások Tanszék
ghorvath@hit.bme.hu, belso@hit.bme.hu

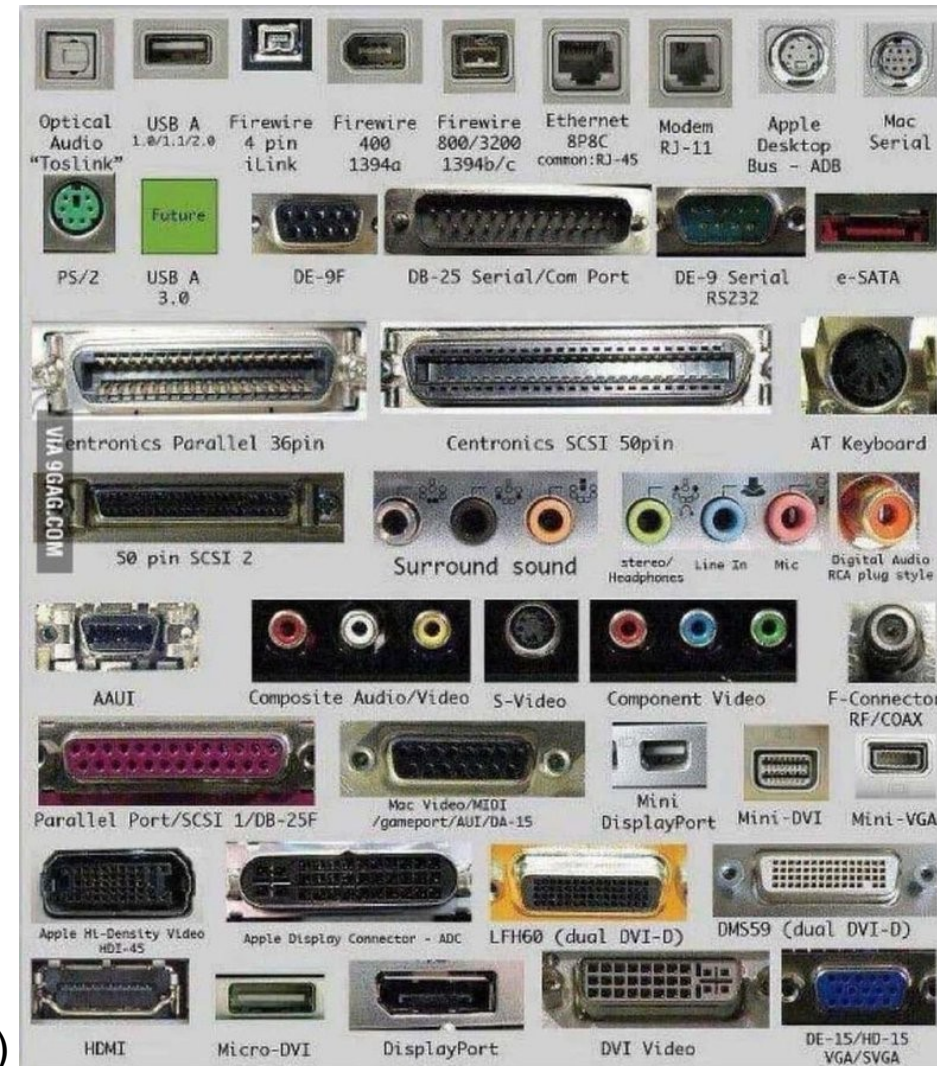
Budapest,
2025.02.25.



- 90-es évek: a PC-s perifériák csatlakozása körül káosz
 - Ezernyi gyártóspecifikus csatlakozó
 - Ha nem volt az alaplapon, illesztőkártya kellett
 - A PC-be tehető illesztőkártyák száma korlátos
 - Az ezernyi csatlakozóhoz különböző kábelek, hosszabbítók kellenek

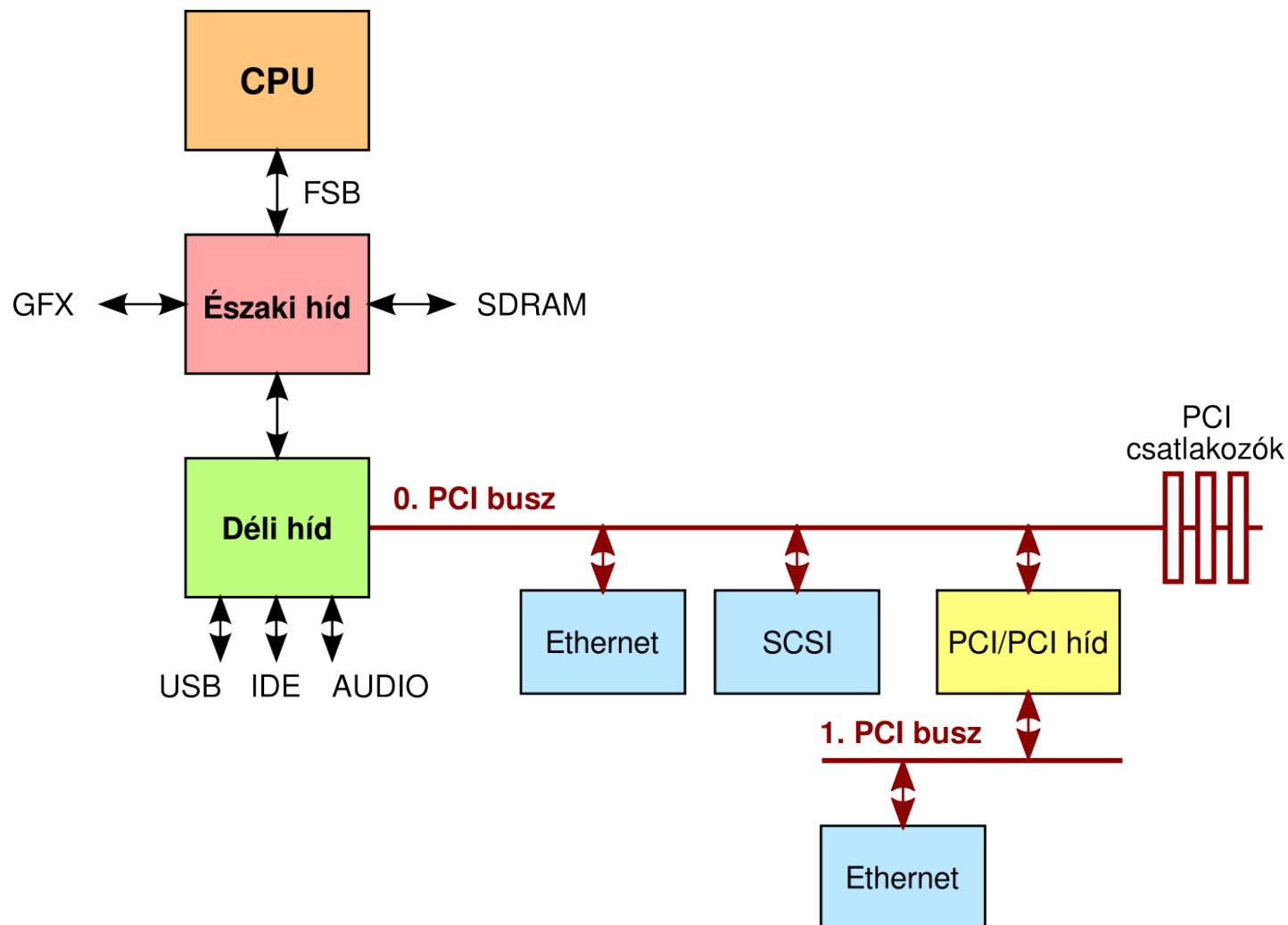


- Megoldás:
 - PCI (= Peripheral Component Interfész, 1992, Intel)
 - USB (= Universal Serial Bus, 1994, Compaq, DEC, Intel, Microsoft, ...)



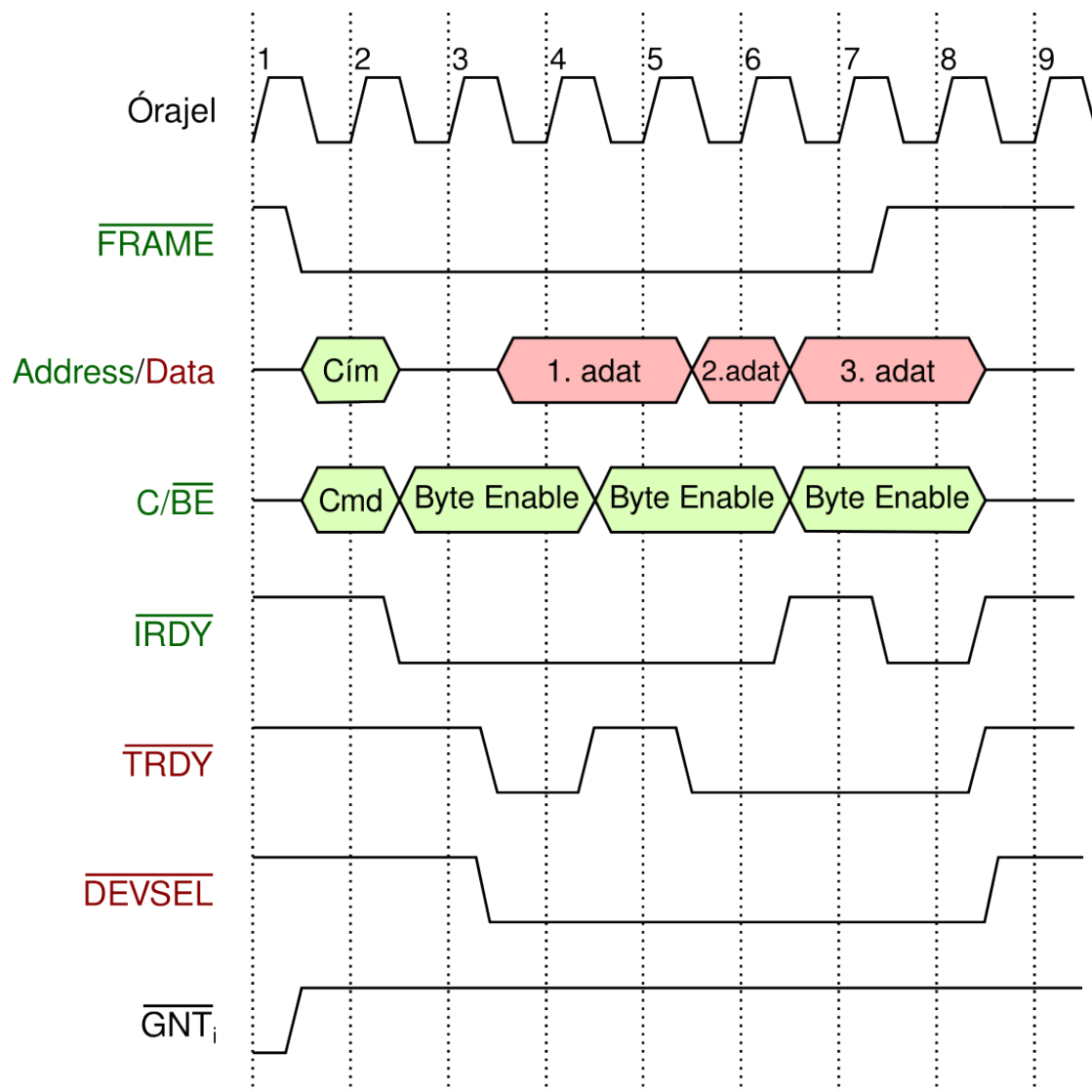


PCI



- A PCI busz elemei:
 - **Host/PCI híd**
 - Processzor I/O és memória kérések $\leftrightarrow$ PCI tranzakciók
 - **PCI eszközök**
 - Max 32 / busz, elektromos okokból inkább max. 10
 - Egy eszközön 1-8 function (logikai periféria)
 - **PCI/PCI híd**
 - Egy PCI sínre egy másik sánt illeszt
 - Illeszthető perifériák max száma elméletileg: 65536

- Minden PCI perifériának (funkciónak) max. 6 **ablak**
 - Ablak lehet:
 - A memória címtartomány egy része
 - Az I/O címtartomány egy része
 - Az eszköz figyeli az ablakait célzó műveleteket, ha ilyet lát, válaszol
- Ablakok kiosztása:
 - Az eszköz megmondja, hogy neki hány és mekkora kell
 - A BIOS ill. az op. rendszer osztja ki az ablakokat...
 - ... majd a perifériában beállítják az ablakok kezdetét
- Tranzakciós modellek:
 - Programozott I/O. Kezdeményező: CPU, irányultság: periféria
 - DMA. Kezdeményező: periféria, irányultság: memória
 - Peer-to-peer adatátvitel. Kezdeményező: periféria, irányultság: periféria



Forgalomszabályozás:

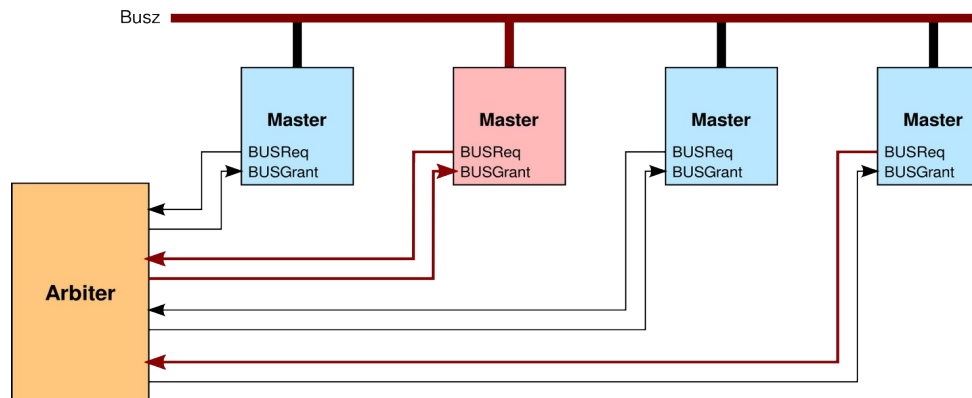
- $\overline{\text{IRDY}}$: kezdeményező kész a következő adat átvitelére
- $\overline{\text{TRDY}}$: a megcímzett periféria kész a következő adat átvitelére

Fázisok:

- Címzés + parancs
- Címzett jelenetkezik
- Frame átvitel adataegységenként forgalomszabályozással
- Frame vége → tranzakció vége

- **Arbitráció**

- Párhuzamos arbitráció:



- Rejtett arbitráció:

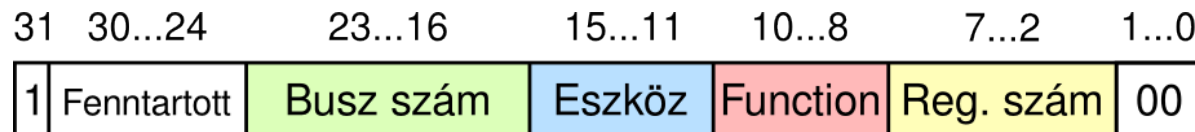
- Versengés és eredményhirdetés az aktuális tranzakció **közben**
- Fair: figyelembe veheti a periféria késleltetés-érzékenységet

- **Interrupt kezelés**

- Kétféleképpen:

- Az interrupt vezeték egyikével (4 van)
 - Több eszköz is osztozhat ugyanazon a megszakításon
- Üzenettel jelzett megszakítással (MSI)
 - A periféria egy speciális adatot ír egy speciális címre
 - Host/PCI híd figyeli a címet, az írást CPU interrupt-ra képezi le

- Perifériánként 64 db 32 bites **konfigurációs regiszter**
 - 16 kötött: VendorID, DeviceID, Revision, Base Address Register 0...5
- Konfigurációs regiszterek címezése:
 - PCI host controlleren keresztül
 - Hivatkozás egy regiszterre:



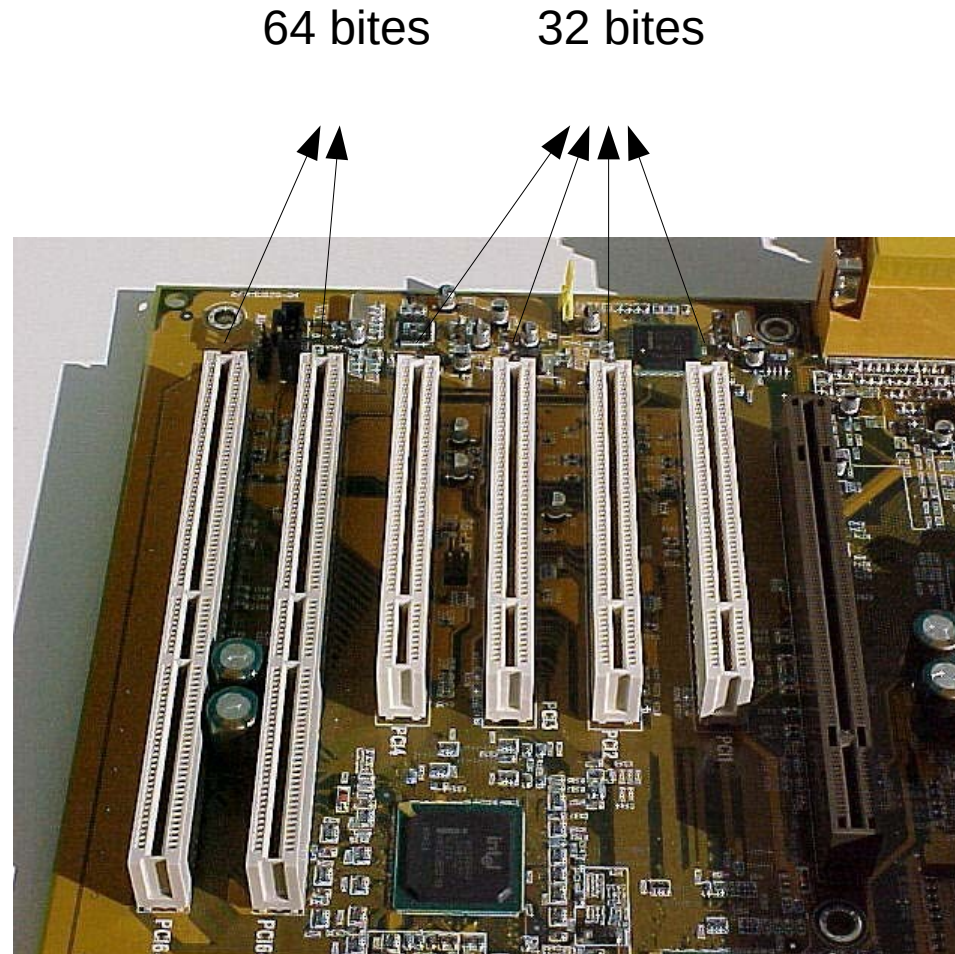
- Host/PCI híd kijelöli a kívánt eszközt konfigurációra **dedikált vezetékekkel**
 - Írás/olvasás tranzakció adja meg / állítja be a kívánt regisztert
- Rendszerindítás:
 - Eszközök szisztematikus lekérdezése
 - Ablakok kiosztása
 - Device driver betöltése
 - További eszközfüggő konfiguráció
 - ...

- Kötelezően használandó:

- Órajel, Reset
- A/D[0...31]
- C/ $\overline{\text{BE}}$ [0...3]
- $\overline{\text{FRAME}}$
- $\overline{\text{IRDY}}$, $\overline{\text{TRDY}}$, $\overline{\text{STOP}}$
- $\overline{\text{DEVSEL}}$, $\overline{\text{IDSEL}}$
- Paritás, $\overline{\text{PERR}}$, $\overline{\text{SERR}}$
- $\overline{\text{REQ}}$, $\overline{\text{GNT}}$

- Opcionális:

- A/D[32...63]
- C/ $\overline{\text{BE}}$ [4...7]
- $\overline{\text{INTA}}$, $\overline{\text{INTB}}$, $\overline{\text{INTC}}$, $\overline{\text{INTD}}$
- $\overline{\text{REQ64}}$, $\overline{\text{ACK64}}$
- $\overline{\text{CLKRUN}}$

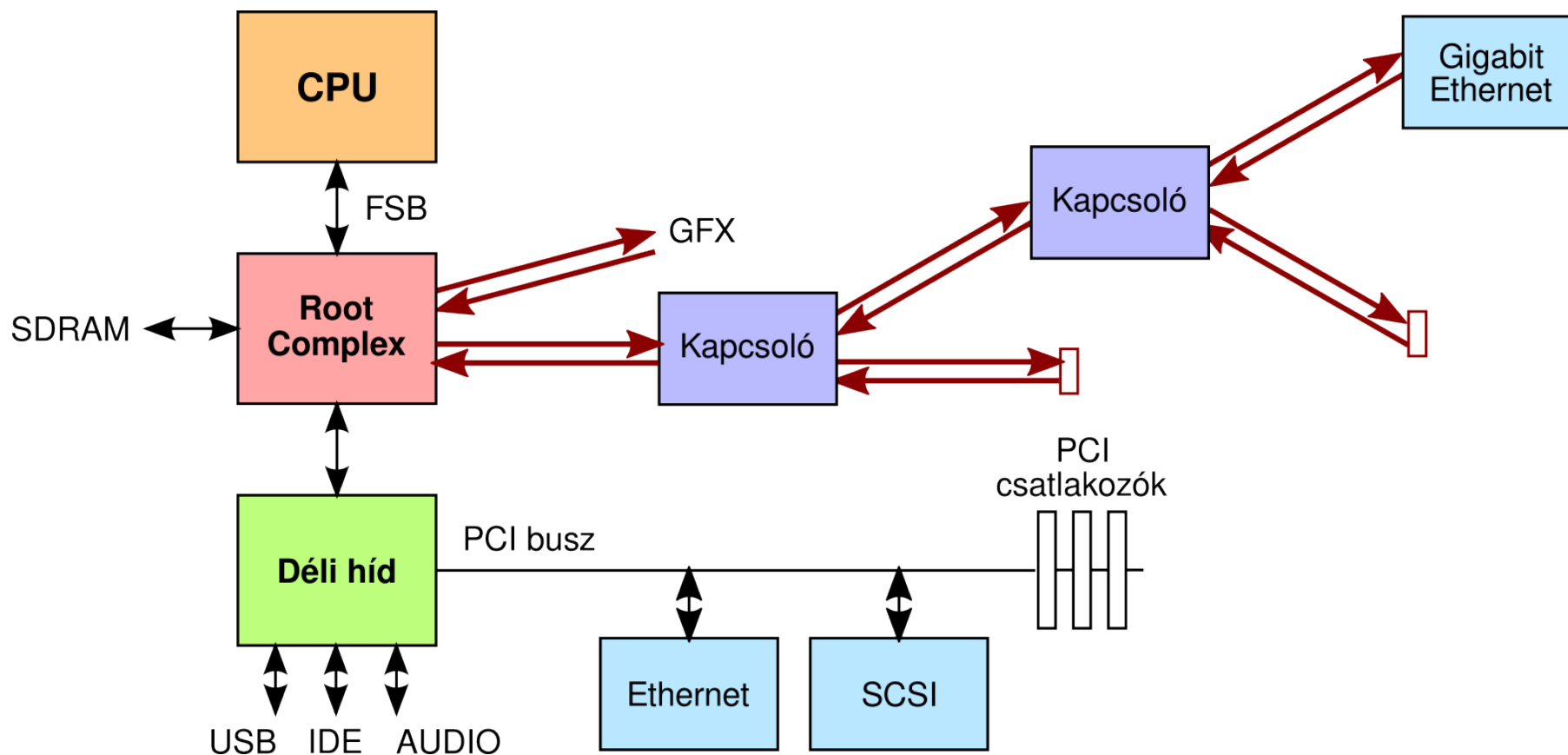




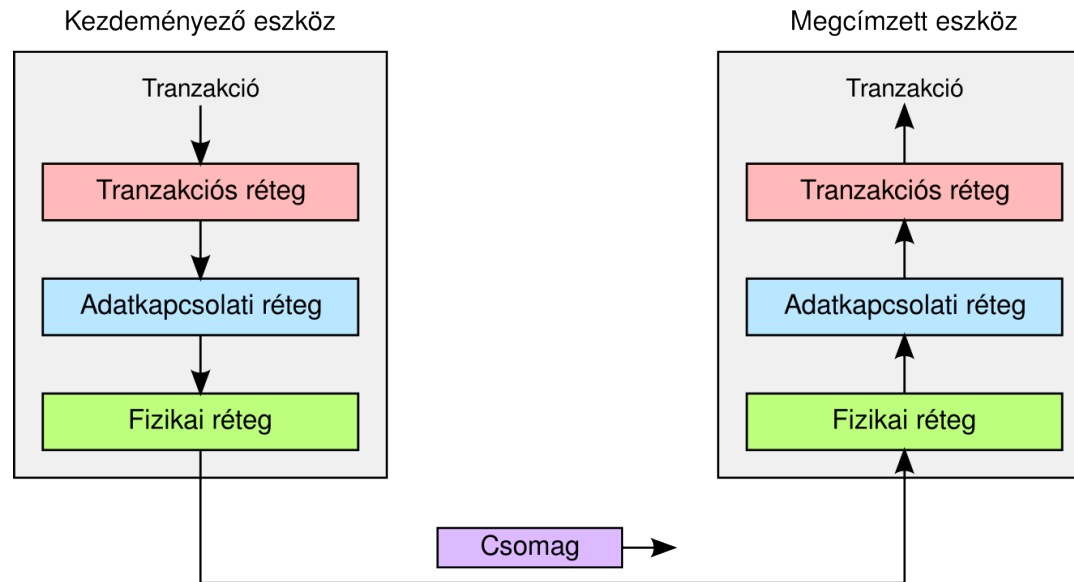
PCI Express

- Célok:
 - PCI-nál nagyobb adatátviteli sebesség
 - **Lehető legteljesebb szoftveres PCI kompatibilitás**
- Leglátványosabb eltérések:
 - **Pont-pont összeköttetések**
 - Nem osztott a közeg → nincs versengés, várakozás, éhezés, arbitráció
 - **Soros átvitel**
 - Órajel nincs (önidőzítő átvitel)
 - Egy érpár: 2.5 Gbit/s (PCIe 1.0) - 64 Gbit/s (PCIe 6.0)
 - Két eszköz között full duplex (kétirányú) kapcsolat:
→ 2 soros érpár
 - Két eszköz több full duplex soros kapcsolattal is össze lehet kötve
 - 1 full duplex soros kapcsolat neve: **lane** (pálya)
 - Szabvány: 1x, 4x, 8x, 16x, 32x lane
 - Több lane esetén a bitek párhuzamosan vihetők át
 - → **De nem szinkronban !!!**
 - 32x pálya esetén 32x64 Gbit/s = 256 GB/s

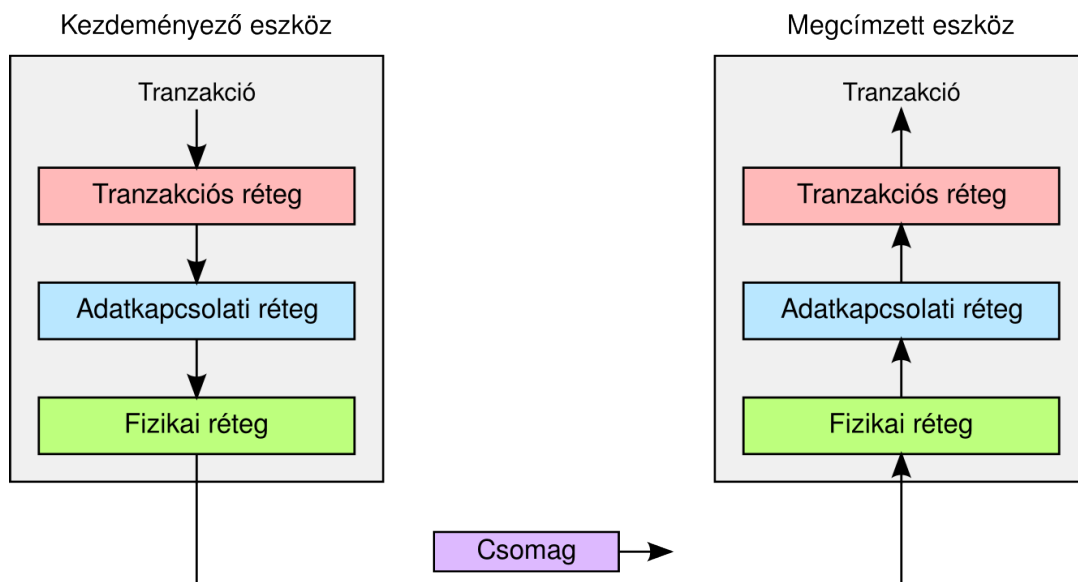
PCI EXPRESSZ HELYE A SZÁMÍTÓGÉPBEN



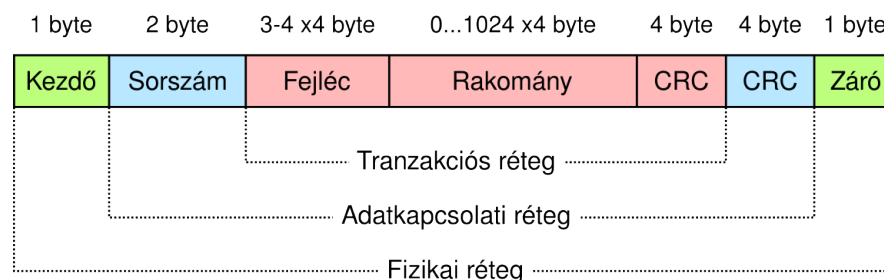
- Csomagkapcsolt hálózat:
 - Eszközök kapcsolókon keresztül kötődnek a Root Complexhez
 - Tranzakciók csomagként utaznak



- Tranzakciós réteg: tranzakció becsomagolás, címezés
- Adatkapcsolati réteg: sorszámozás / újraküldés
- Fizikai réteg: csomaghatárok, 8b/10b (128b/130b)

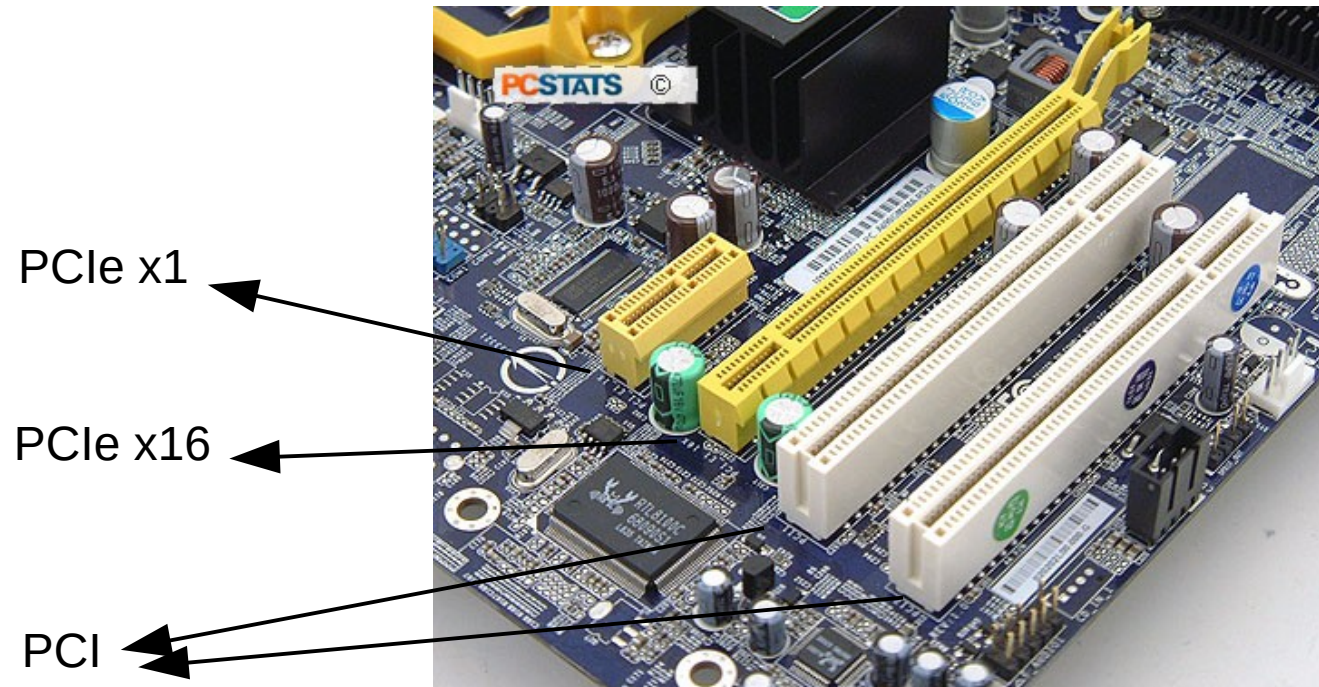


- Csomag formátuma:



- 1 db 32 bites adat átvitele: $1+2+3*4+1*4+4+4+1 = 28$ bájt
+ 8b/10b overhead, = 35 byte !!!

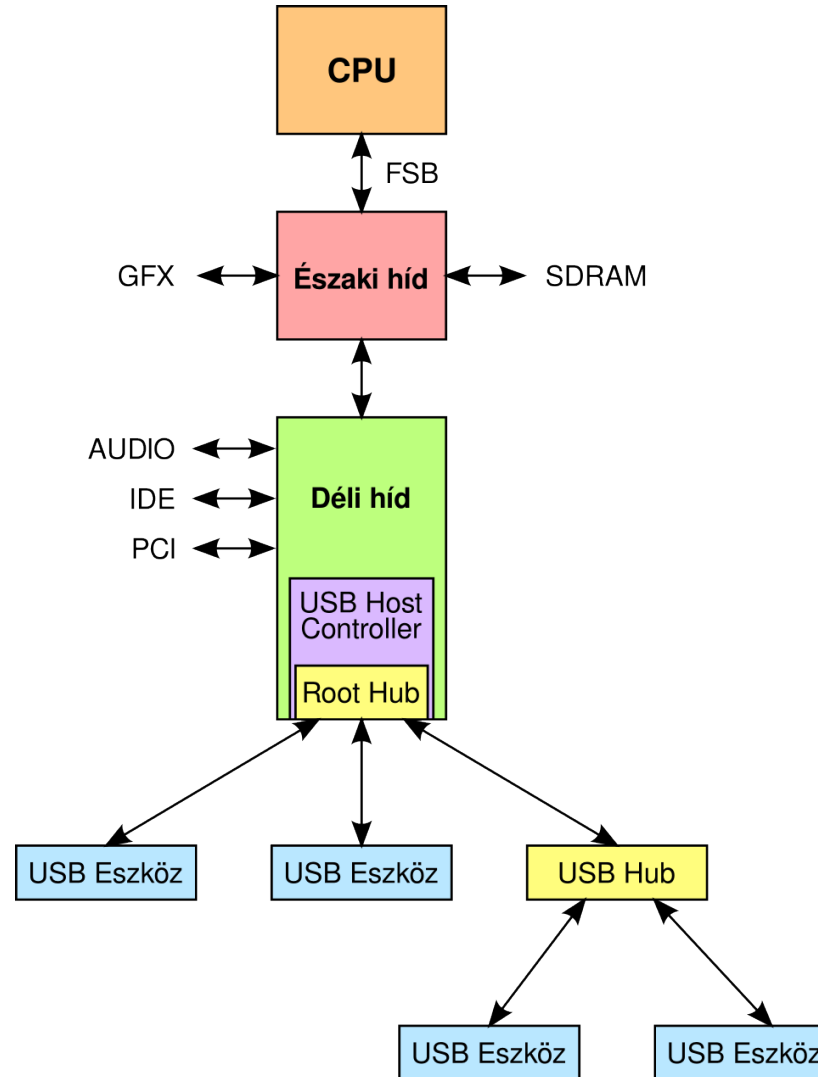
- Megszakításkezelés
 - Üzenet alapú (MSI) → mint a PCI-ban
 - Jelvezeték alapú: emulált
- Konfiguráció:
 - Több konfigurációs regiszter (1024)
 - Első 64 írása/olvasása: mint PCI-ban (teljes kompatibilitás)





USB

- Fa topológia
 - Levelek: az **USB perifériák**
 - Csomópontok: **USB hub-ok**
 - Gyökér: **root hub**
(a host controller része)
- Periféria lehet:
 - Egyszerű eszköz
 - Összetett eszköz:
 - Fizikailag egy eszköz
 - Logikai több eszköz

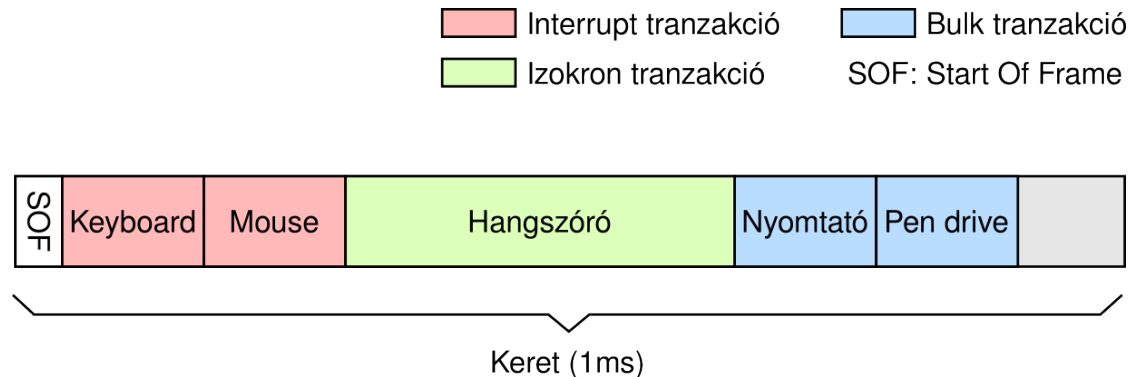


- Megszoktuk, hogy a busz osztott közeg
 - Minden szereplő mindent hall
- De **ez egy fa!**
- **Mégis busz**
 - Egyetlen master van, a root hub
 - Amit a master beszél, azt mindenki hallja (terjed a fában)
 - Akire vonatkozik, az odafigyel, a többi nem
 - Amit a periféria mond, az a fában felfelé haladva éri el a mastert
- Nem kell arbitráció!
 - Mivel csak 1 master van
 - Senki nem szólalhat meg, csak ha a master erre utasítja
- Ha busz, akkor megvan a hátránya is:
 - Minél többen csatlakoznak rá, annál lassabb lesz

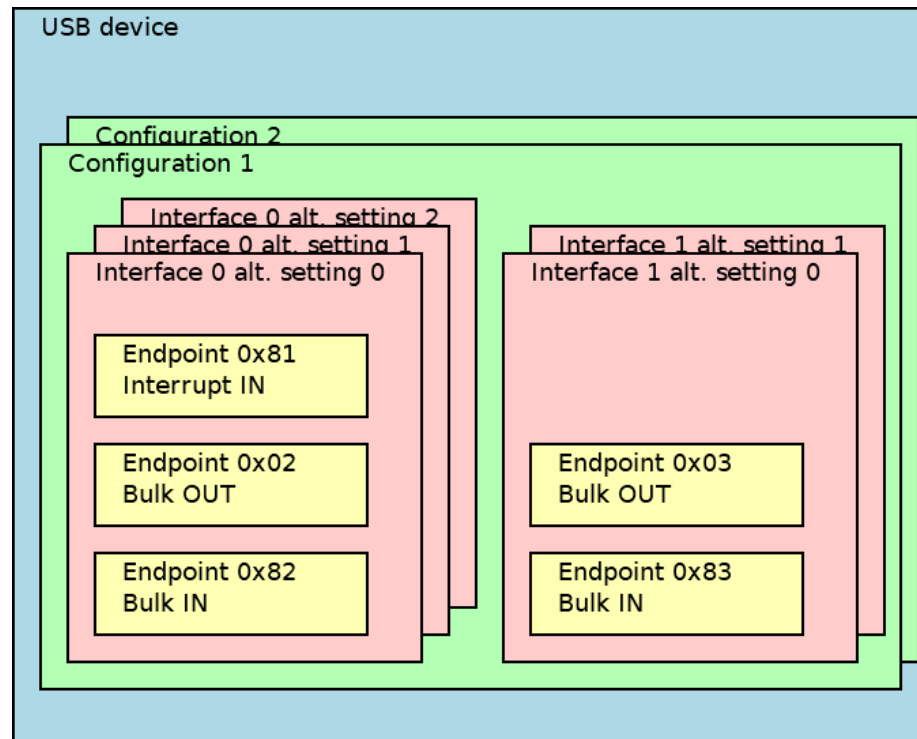
- A perifériákkal **tranzakciók** segítségével kommunikálunk
- Mindig a master, a root hub indítja
- Tartalma:
 - Megcélzott periféria azonosítója
 - Ki- vagy bemeneti művelet
 - Átvinni kívánt adatok
 - Kimeneti irány esetén a root hub teszi a buszra
 - Bemeneti irány esetén a megcélzott periféria
- A tranzakciók **keretekben** utaznak
 - Minden keret adott ideig tart
 - USB 1.1 full speed: 1 ms / keret, 1500 bájt rakomány
 - USB 2.0 high speed: 125 μ s / keret, 7500 bájt rakomány
 - Minden keret több tranzakciót is szállíthat
 - Csak *teljes* tranzakciókat szállíthat (lehet, hogy nem lesz kitöltve)

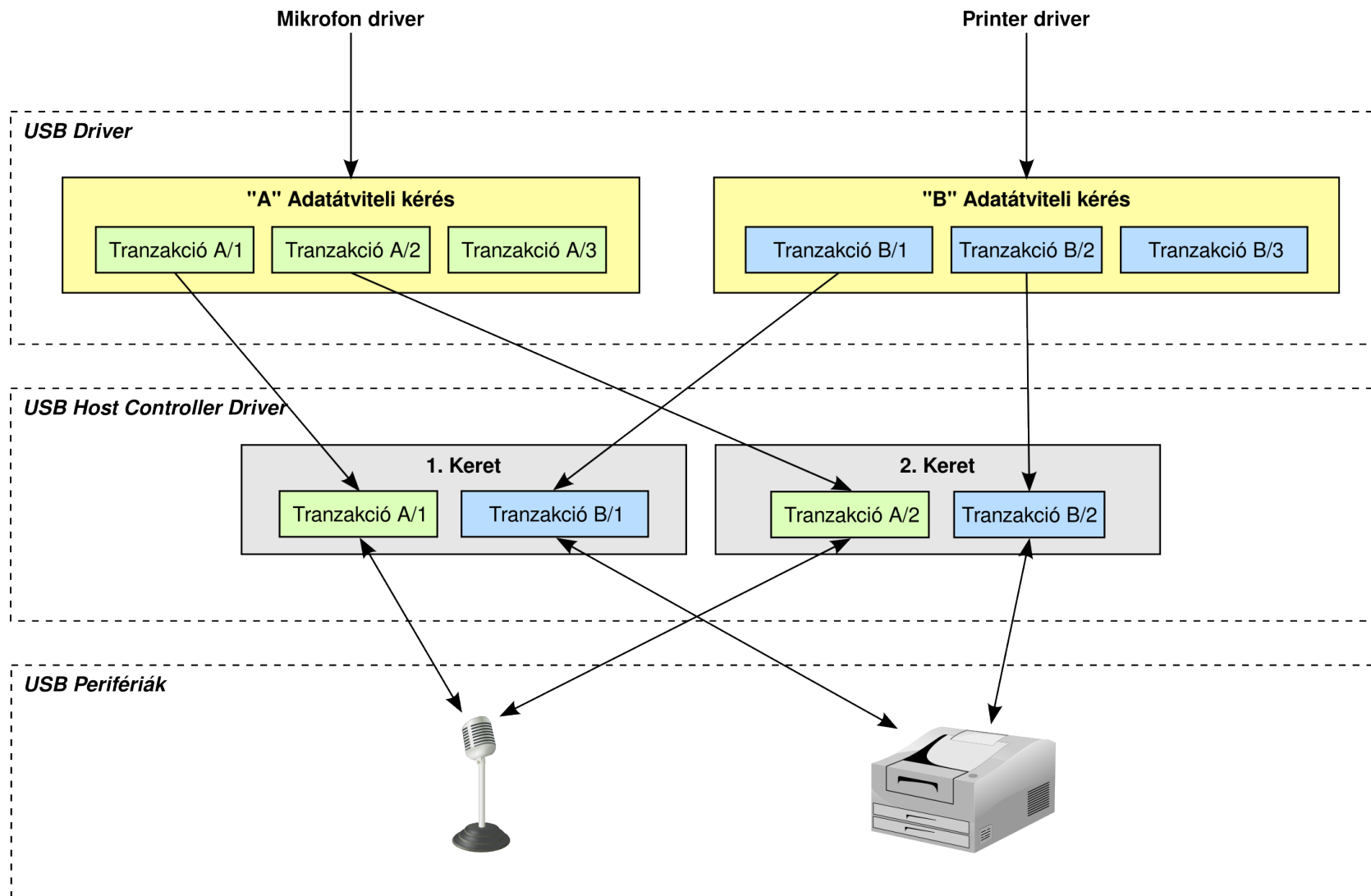
- **Adatátviteli módok:** hogyan vigyük át az adatot
 - **Bulk**
 - Nagy tömegű adat hibamentes átvitele
 - Késleltetés-garancia nincs
 - Pl.: külső háttértár, nyomtató, stb.
 - **Izokron**
 - Késleltetésérzékeny periféráknak valós idejű átvitel
 - Bithibamentesség nem garantált
 - Pl.: USB mikrofon, web kamera
 - **Interrupt**
 - USB-ben nincs interrupt → pollingsal szimuláljuk!
 - Hibamentesség + késleltetés garancia
 - Pl.: beviteli eszközök
 - **Control**
 - Hibamentesség + késleltetés garancia
 - Szabványban rögzített üzenet formátum és struktúra

- Gazdálkodás a sávszélességgel
 - Az izokron és interrupt tranzakcióknak elsőbbsége van
 - De nem foglalhatnak többet a keret 90%-ánál
 - Ha csatlakozik egy új periféria, amivel több lenne 90%-nál
→ nem engedik belépni
 - A fennmaradó 10%-ban elsőbbsége van a control tranzakcióknak
 - Maradék: bulk. Ha marad.



- 1 USB eszközben több **interface** lehet
 - logikai periféria, $\approx$ PCI function
 - pl.: USB modem + pendrive a driverrel
- 1 interfésznek több adatátviteli csatornája (**endpoint**)
 - Egyirányú és saját címe van (7 bit cím + 1 bit irány)
 - A 4 átviteli mód egyikét használja
- Interfészenként lehetnek alternatív beállításai (**alt setting**)
 - Pl. web kamera különböző felbontásokban, különböző izokron sávszélességet használva
- Az egész USB eszköznek lehet több konfigurációja (**configuration**)
 - Pl. hálózati adapter Ethernet-over-USB vagy Microsoft NDIS üzemmódot használ-e





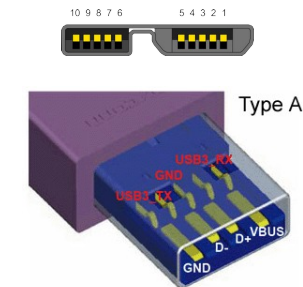
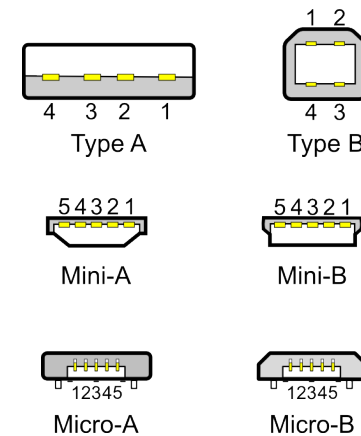
- Rendszerindításkor, új eszköz csatlakozásakor
- A hub érzékeli, hogy új eszköz csatlakozott
- Az USB driver időnként végigkérdezi a hub-okat, jött-e új periféria az egyik portra. Ha jött, konfigurálja őket:
 - 1) Szól a hub-nak, hogy reset-elje a portot
Reset hatására a periféria a 0-s címre hallgat
 - 2) Kiolvassa a periféria eszközeíró táblázatait
(0-s címre küldött control tranzakciókkal)
 - 3) Benne vannak a gyártó, típus, eszköz jellege, paraméterei, stb.
 - 4) Egyedi címet ad a perifériának
(0-s címre küldött control tranzakcióval)
 - 5) Ellenőrzi, beléphet-e:
 - Izokron és interrupt adatátviteli igénye kielégíthető-e
 - Kielégíthető-e a tápellátási igénye
 - 6) Ha minden rendben, az új eszköz beléphet az adatforgalomba

- USB 1.1:
 - **LS**: low speed, 1.5 Mbit/s
 - **FS**: full speed, 12 Mbit/s
- USB 2.0:
 - **HS**: high speed, 480 Mbit/s
 - LS, FS megmaradt (kompatibilitás nem triviális)
 - Kisebb különbségek
 - A forgalomszabályozásban
 - A csomagméretekben
- USB 3.0:
 - **SS**: super speed, 5 Gbit/s
 - Teljesen más struktúra!
- USB 3.1:
 - **SS+**: super speed+, 10 Gbit/s
- USB 3.2:
 - Két lane segítségével még magasabb sebesség (20 Gbit/s)
- USB 4:
 - Adatátvitel a PCIe fizikai rétegével, USB Type-C csatlakozóval (40 Gbit/s)
 - USB 2.0/3.0/3.1/3.2 kompatibilitás

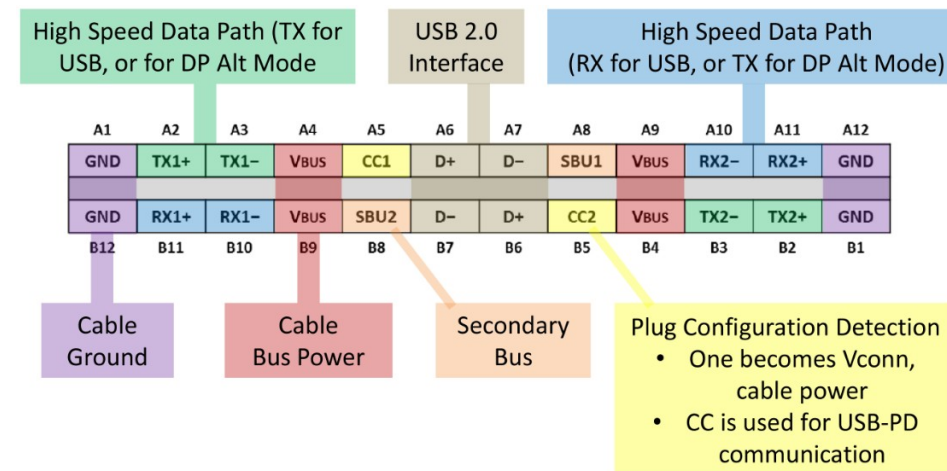
- Ami nem változott:
 - Fa topológia, hub-okkal a csomópontokban
 - A 4 adatátviteli mód megmaradt
 - Ugyanúgy kell az eszközöket konfigurálni
 - Továbbra is a root hub az egyetlen master
→ Szoftver szinten nincs változás
- Változások:
 - Fizikai szinten szinte minden. Teljesen új rendszer.
 - Kompatibilitás: az USB 3.0 tulajdonképpen két külön busz egymás mellett
 - Egy USB 2.0-ás busz az LS, FS és HS tranzakcióknak
 - Egy külön busz az SS tranzakcióknak
 - **Megszűnt az üzenetszórás**
 - Forgalomirányítással érnek célba az adatok
 - A hub-ok csak arra továbbítják a tranzakciót, amerre a címzett van
 - **Store and forward csomagtovábbítás**
 - A hub megvárja, amíg teljesen megjön hozzá a tranzakció, csak ezután küldi tovább
 - **Egy helyett két érpáron zajlik a kommunikáció**
 - Oda-vissza irányba párhuzamosan
 - A PCI Express-nél látott módon (bitkeverés, 8-ból 10-be kódolás, stb.)

- A jelvezetékek mellett „föld” és „+5V” vezeték is van
→ Perifériák ebből is megoldhatják a tápellátásukat!
- Áramfelvétel:
 - Maximum:
 - USB 1.0 – 2.0: max. 500 mA,
 - USB 3.0: max. 900 mA
 - A konfigurációs fázisban max. 100mA-t vehetnek fel
 - A konfigurációs fázisban közlik, mennyi áramot igényelnek
 - Ha nincs ennyi, nem léphetnek be a rendszerbe

- Kábel: 4 vezeték
 - Táp: 0V, 5V
 - Jelátvitel: D+, D–, differenciális, soros átvitel
- USB 1.1 csatlakozók
 - Type A: periféria a hubhoz
 - Type B: hub a perifériához (ha külön van)
- USB 2.0 csatlakozók
 - Új méretek: mini, mikró
 - Van aljzat, amibe az „A” és „B” csatlakozó is belemegy
 - „A”-t beledugva host-ként viselkedik
 - „B”-t beledugva egyszerű periféria
 - 5. láb: „szerep”: földelve host, nyitva periféria
- USB 3.0/3.1:
 - Kábel: benne fut az USB 2.0 csavart érpárja, és az USB 3.0 két csavart érpárja is → jóval vastagabb (drágább)
 - 2 részre bontották: USB 2.0 és USB 3.0 részre
- USB 3.2/4.0:
 - Type-C csatlakozó



- Type-C kábel:
 - Tetszőleges irányból csatlakoztatható
 - 24 láb (2x12 a kétirányú kialakítás miatt)
 - Ugyanolyan a csatlakozó a master és a slave számára
 - A CC-n (configuration channelen) lebeszélnek a szerepeket
 - Vezetékek:
 - USB 2.0 vonalak
 - USB 3 SuperSpeed/SuperSpeed+ vonalak (duplex!), 2x
 - „SideBand” vezetékek jövőbeli célokra
 - pl. analóg audio
 - Alternatív mód: az SS+ és a SideBand más adatátviteli technológiák támogatására is használható
 - Példa: DisplayPort, Thunderbolt, HDMI
 - A kábel aktív szereplő lehet
 - Részt vesz a szerepek kiosztásában, és az támogatott (nem USB) átvitel lebonyolításában
 - Kábel tápja: CC-n keresztül
- USB tápellátás Type-C kábellel
 - Áram 5A-ig, feszültség 20V-ig (ez 100W!!!)
 - A kábel aktívan részt vehet a feszültség és az áramigény egyeztetésében





HÁLÓZATI RENDSZEREK
ÉS SZOLGÁLTATÁSOK
TANSZÉK

