

# Nagyteljesítményű mikrovezérlők

## Universal Serial Bus

Scherer Balázs, Csordás Péter



Méréstechnika és  
Információs Rendszerek  
Tanszék

# Célok

- Olcsó, egységes interface PC perifériákhoz – eredetileg csak kis sebességre (egér, billentyűzet, joystick...)
- Kevés vezeték, a tápfeszültség is jusson át az eszközhöz
- Tetszőleges számú eszköz csatlakoztatása
- Egyszerű használat → Plug & Play, dinamikusan töltődő driver-ek

## Fejlesztés kezdete:

1994 Intel, Microsoft, IBM, Compaq, NEC

Később sokan csatlakoztak: USB IF – USB Implementers Forum

# Szabványok, verziók

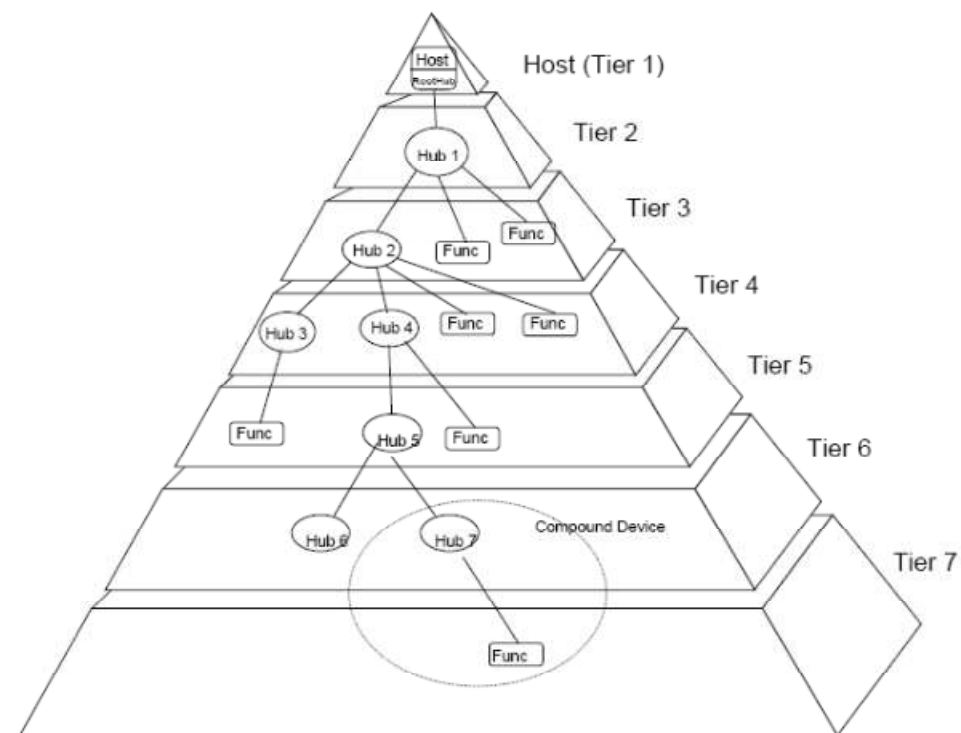
- 1996 USB 1.0 (nem terjedt el)
  - Még nem támogatja a Hub-okat
- 1998 USB 1.1
  - Low speed: 1.5 Mbit/sec
  - Full speed: 12 Mbit/sec
- 2001 USB 2.0
  - High speed: 480 Mbit/sec
  - Low-/High-power: 100 mA/500 mA

# Szabványok, verziók

- 2008 USB 3.0
  - Super-Speed: 5Gbit/sec (4 Gbit/sec effektív)
  - Low/high power mode: 150 mA/900 mA
  - Battery charger mode (kommunikáció nélkül) 1500 mA
  - Eszközök megjelenése: 2010
  - OS támogatás: Linux, Windows 8
- 2013 közepe (terv)
  - Sebesség növelése 10 Gbit/sec-re  
Verseny a thunderbolt-tal, ami a PCIe és DisplayPort kombinációja

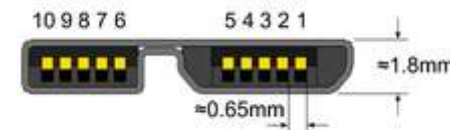
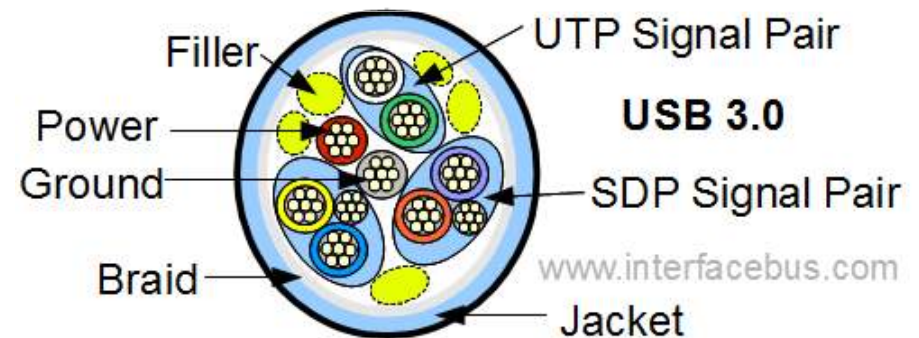
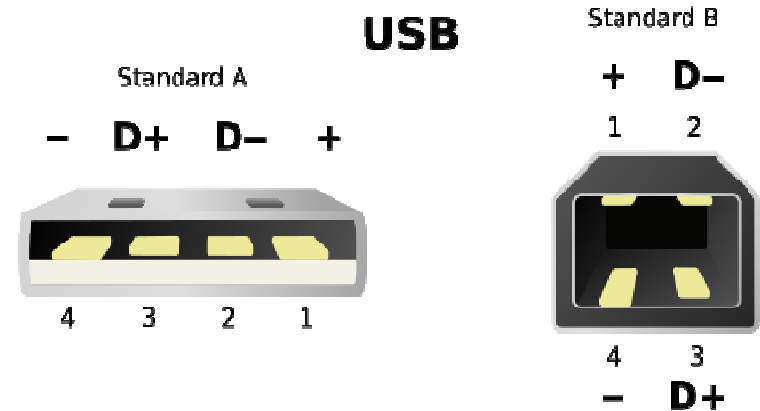
# Architektúra

- „Többszintű csillag” (tired star) 3-7 réteg (root + max 6 réteg)
- Master – Slave alapú kommunikáció. Hub csak továbbít.
- Hoszt felől jövő üzeneteket mindenki látja
- A perifériák válaszai csak a hoszt felé haladnak
- Host-device (master-slave) kommunikáció, 1..127 device
- Egy HW, több cím: compound device  
Különböző funkciók egy címen: composite



# Kábelek, csatlakozók

- Csatlakozók:  
A-type: Hosthoz közeli  
B- type: device felőli
- Max. 5 m-es 2.0 kábel erei:  
5V táp/föld (piros/fekete)  
Csavart érpár adatoknak: D-  
/D+ (fehér/zöld)
- Max. 3 m-es 3.0 kábel  
+2 pár árnyékolt kábel,  
full-duplex kommunikáció

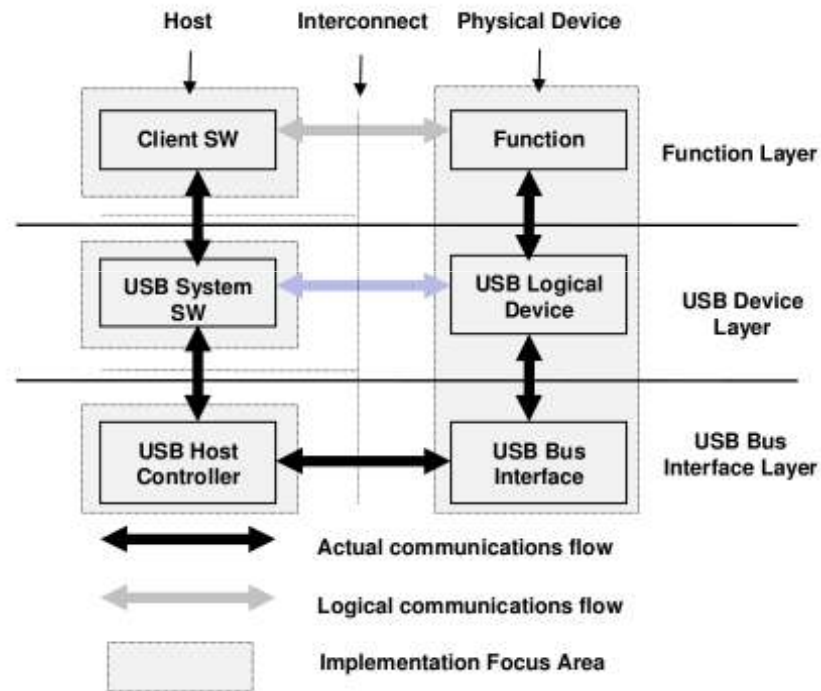


# Adatfolyam USB 2.0 → 3.0

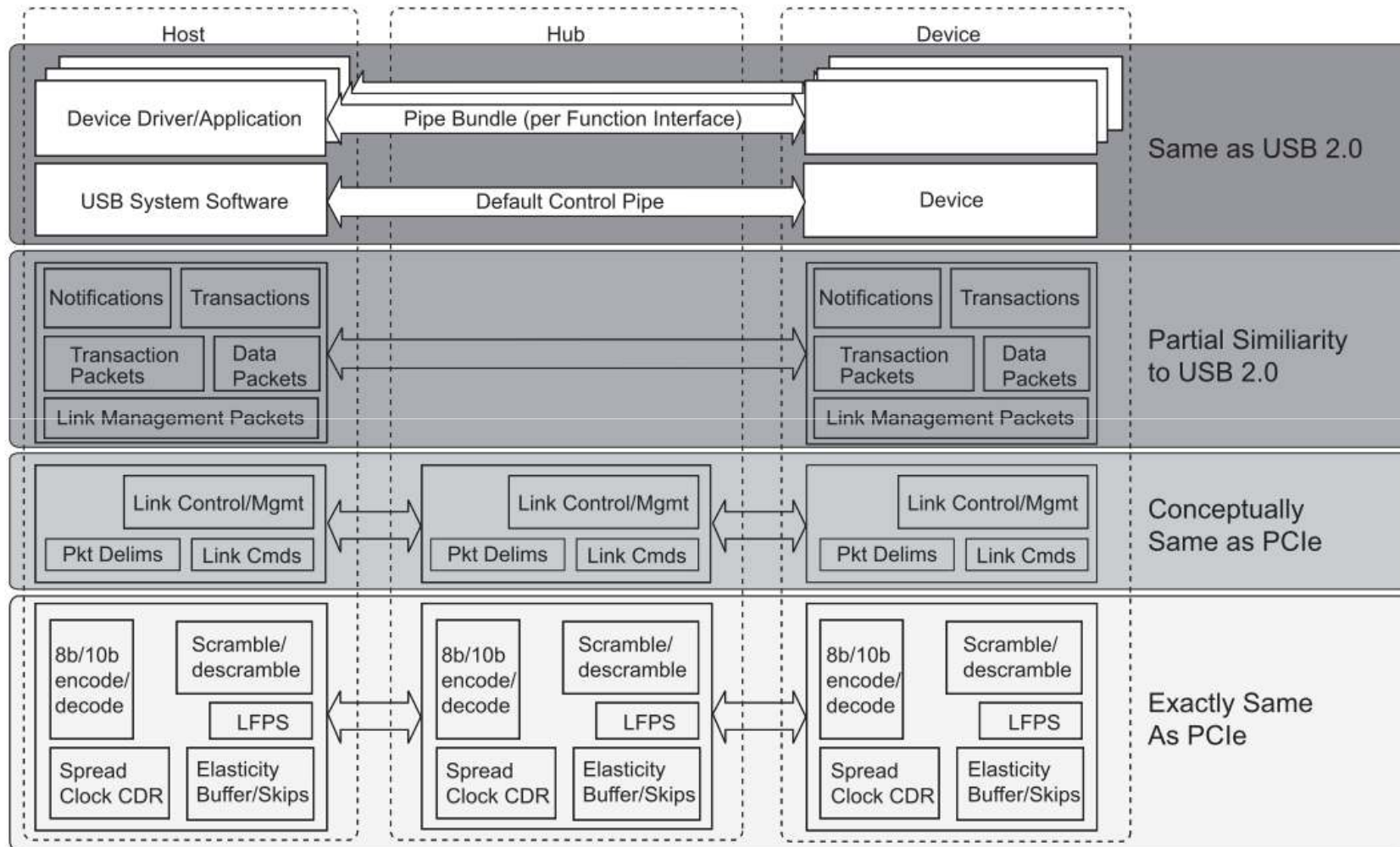
- Fizikai réteg
- Protokoll réteg
- Device/Host kommunikáció

USB 3.0:

- Fizikai réteg PCIe-től átvéve
- Adatkapcsolati réteg (új): PCIe koncepciója szerint
- Protokoll réteg: módosított USB 2.0
- Device/Host szint: egységes

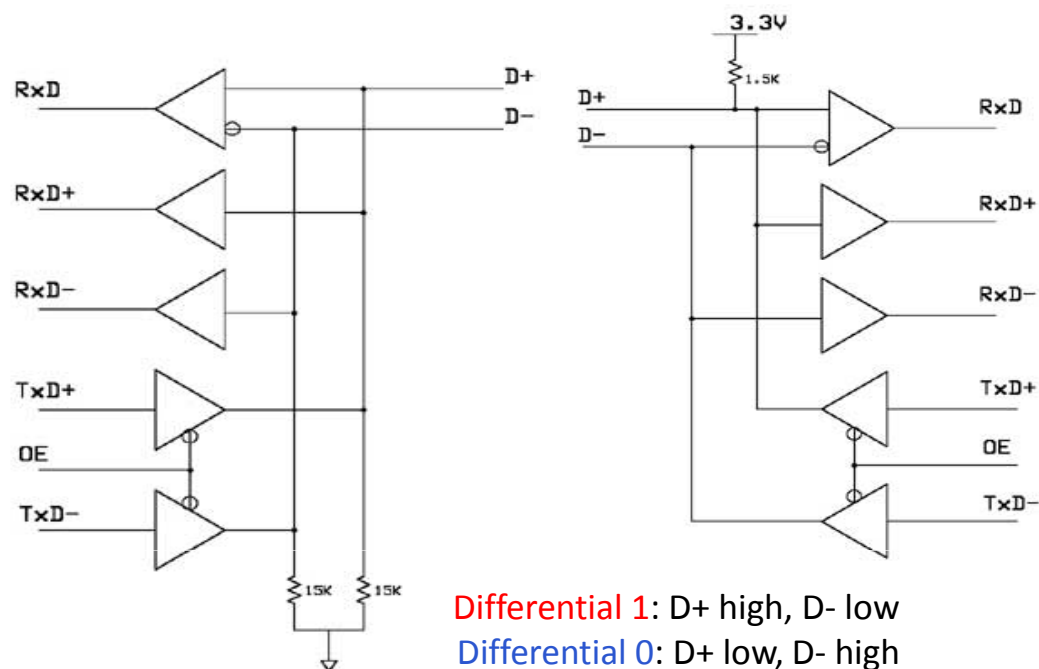


# Adatfolyam USB 3.0



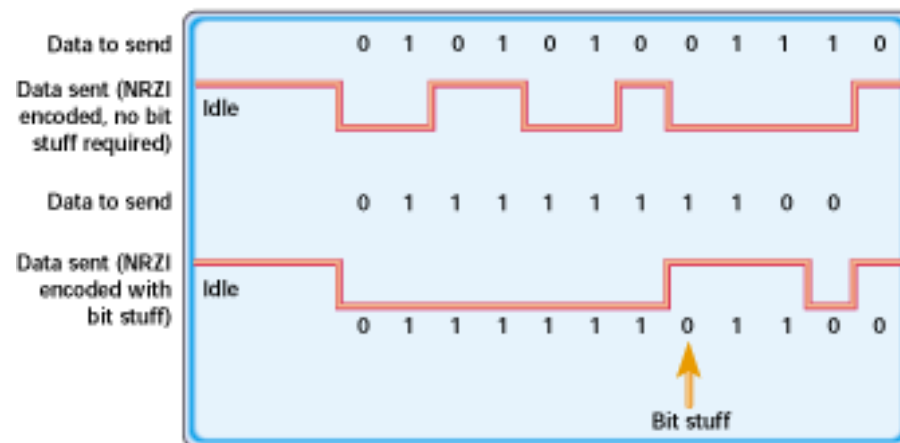


# Fizikai réteg – USB 2.0



- NRZI: jelváltás 0 bitre
- Bit stuff: 6 db 1-es után 0 beszúrása

- Upstream (host felőli illesztés) és downstream (device illesztés)
- Full speed: D+ felhúzva



# Tápellátás

Eszköz konfigurációban megadott típus

- Low-power bus powered  
4.4-5.25V-ot elvisel, max 100 mA
- High-power bus powered  
Konfigurált állapotban max 500 mA, 4.75-5.25 V
- Self-powered

Kikapcsolt állapot:

- low/high-powered 0.5 mA/2.5 mA
- Csak a felhúzó ellenállás elvisz 200  $\mu$ A-t!

USB 3.0:

- Low/high powered: 150 mA/900 mA
- Battery charging mode: 1.5 A – kommunikáció nincs

# Fizikai réteg – USB 2.0

Felhúzó ellenállástól függetlenül, egységesen értelmezett busz állapotok:

	Full/High		Low		LS/FS
	D+	D-	D+	D-	
SE1	1	1	1	1	Tiltott
SE0	0	0	0	0	mint Detached
J-State	1	0	0	1	mint Idle
K-State	0	1	1	0	J ellentettje

- K a „meghajtott” állapot
- Reset jel: > 10 ms SE0 (Single Ended 0)
- EOP: End of packet: LS/FS: 2xSE0 + 1xJ, HS: szándékos bit-stuff hiba
- Suspend: >= 3 ms Idle
- Keep Alive: LS: EOP, FS: StartOfFrame packet
- WakeUp: >= 20 ms K (remote wake-up: device ébreszt)

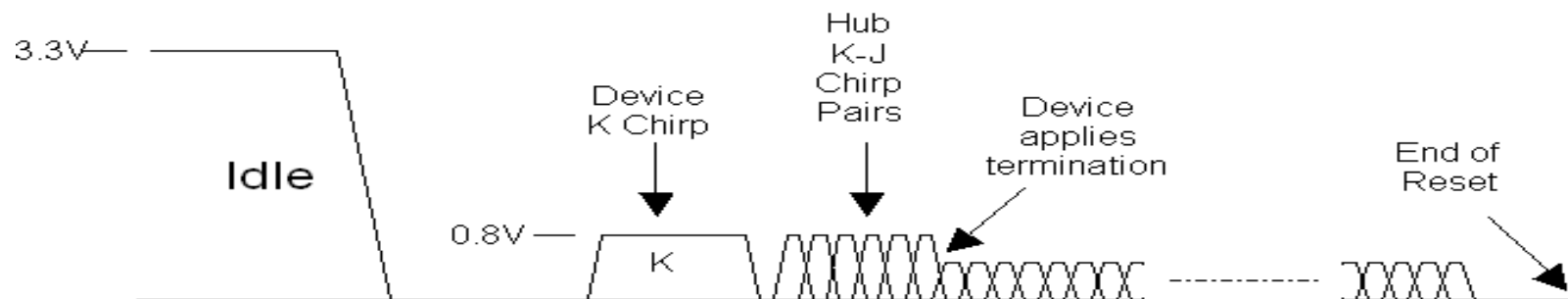
# Fizikai réteg, sebességek detektálása

A kompatibilitás miatt egyre bonyolultabb megvalósítás, protokoll

- Low/Full Speed: felhúzó ellenállás alapján
- High speed: detektálás a protokollal
- USB 3.0: vezeték szám kétszerezés

High speed detektálás:

- Idle state: SE0 mindkét végen  $\rightarrow$  45 ohm lezárás, áramgenerátoros meghajtás 17.78 mA
- Eszköz lehúzás: adatvezetéken 400  $\rightarrow$  800 mA
- High speed képesség jelzése:
  - 1, Reset=SE0, a device nem zár le, de meghajtja a buszt: K-Chirp
  - 2, A 800 mV-ra a hub KJ-Chirppel válaszol – Innen tudja a device, hogy HS hubon van



# USB On The Go

A master-slave „kiterjesztése” beágyazott eszközökhöz:

- Csatlakozás detektálása táp nélkül, kapacitás méréssel: *Attach Detection Protocol*
- Lehetőség van szerepcserére, a csatlakoztatás módja a kezdeti szerepeket dönti el (pl. fényképezőgép host/device is lehet, fordított kábelt detektálja) *Host Negotiation Protocol*
- Device is kérheti a táp bekapcsolását: *Session Request Protocol*

# Tranzakciók és keretek (transzfer)

- A perifériákkal tranzakciókkal kommunikálunk
- Az LS tranzakciókat az LS és az FS eszközök is látják. Az FS tranzakciókat csak az FS eszközök látják
- Mindig a master, a root hub indítja
  - 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 kereteket alkotnak
- Minden keret 1 ms ideig tart (FS sebességgel: 1500 bájtkeret)
- Minden keret több tranzakciót is szállíthat

# Adatátviteli módok

- Végpontok (endpoint) közötti logikai csatorna: pipe. Max. 32 eszközönként
  - Message pipe: kétirányú, csak control transfer – a 0. végpontokon (2 pár)
  - Stream pipe: egyirányú adatátvitel egy végpontpár között
- Stream transfer típusok (Control transfer külön számít):

	Sok adat	Hibamentes	Real-time
<u>Bulk</u>	+	+	-
<u>Isochron</u>	+	-	+
<u>Interrupt</u>	-	+	+

# Adatátvitel

- A transzfer tranzakciók sorozatából épül fel
- Egy tranzakciót csomagokból (packet) épül fel:
  - Token: „fejléc”, megadja a tranzakció típusát
  - Data: opcionális adat
  - Handshake: státusz információ, isochron átvitelnél nincs
- Egy csomag részei: 

SYNC	PID	Data	CRC	EOP
------	-----	------	-----	-----

  - SYNC órajel szinkronizáció (8/32 bit LS-FS/HS-re)
  - PID: Packet ID 4 bit, negáltan és ponáltan is átvive
  - DATA/CRC: PID függő tartalom
  - EOP: end of packet



# Csomagok

PID Type	PID Name	PID<3:0>*
Token	OUT	0001b
	IN	1001b
	SOF	0101b
	SETUP	1101b
Data	DATA0	0011b
	DATA1	1011b
	DATA2	0111b
	MDATA	1111b
Handshake	ACK	0010b
	NAK	1010b
	STALL	1110b
	NYET	0110b
Special	PRE	1100b
	ERR	1100b
	SPLIT	1000b
	PING	0100b
	Reserved	0000b

- Az átvitelt hardver támogatja, fontos a PID gyors dekódolása  
SIE: Serial Interface Engine
- LSB first átvitel, a PID alsó 2 bitje azonosítja a csomag típusát

# TOKEN csomagok

- IN,OUT: kommunikáció iránya a hub szemszögéből
- SETUP: Control transfer

Sync	PID	ADDR	ENDP	CRC5	EOP
	8 bits	7 bits	4 bits	5 bits	

A 0. cím eszköz csatlakoztatáshoz fenntartott, a 0. EP SETUP csomagnak

- SOF: Start of Frame:

Sync	PID	Frame No.	CRC5	EOP
	8 bits	11 bits	5 bits	

LS: KeepAlive = EOP signal van csak helyette

FS: 1 ms időkeret, pl. isochron tranfer egy időegysége

HS: 125 us-os mikroframe határa

# DATA csomagok

- DATA0/1: LS/FS busznál alternálva használt
- DATA2, MDATA: csak HS isochron transzfernél
  - DATAx IN transzfernél, x a hátralévő tranzakciók száma a mikroframe-ben
  - OUT transzfernél az utolsó transfer DATAx típusú, a többi MDATA

Sync	PID	DATA	CRC16	EOP
	8 bits	(0-1024) x 8 bits	16 bits	

# Transzfer, tranzakció

Control transzfer:

- SETUP fázis: SETUP → DATA0 (8byte) → ACK
- DATA fázis:  $k \cdot (\text{IN/OUT} \rightarrow \text{DATA1/0} \rightarrow \text{ACK})$
- STATUS fázis: OUT/IN → ACK

Bulk /Interrupt:  $k \cdot (\text{IN/OUT} \rightarrow \text{DATA0/1} \rightarrow \text{ACK})$

Isochron:  $k \cdot (\text{IN/OUT} \rightarrow \text{DATA0/1} \rightarrow \text{ACK})$

Payload méret:

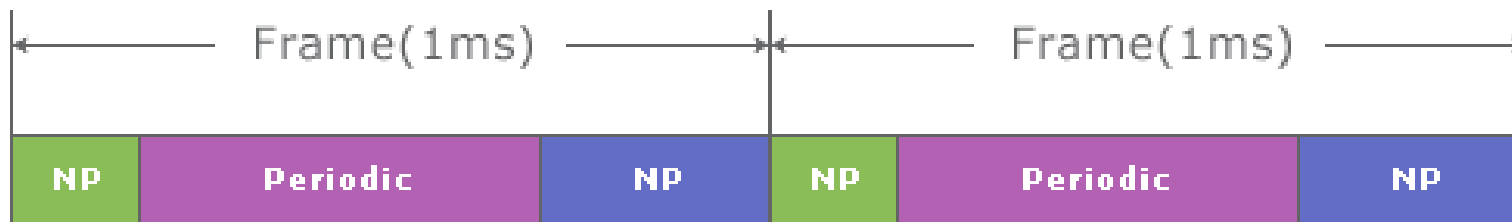
	LS	FS	HS
Control	8	64	64
Bulk	--	64	512
Isochron	--	1023	1024
Interrupt	8	64	1024

# Tranzferek feltöltöttsége

- Az izokron és interrupt tranzakcióknak elsőbbsége van
  - A keret max. 90%-a
- Ha új periféria csatlakozna, amivel több lenne ez 90%-nál, akkor nem engedik belépni
- A fennmaradó 10%-ban elsőbbsége van a control tranzakcióknak
- Maradék sáv szélesség: Bulk

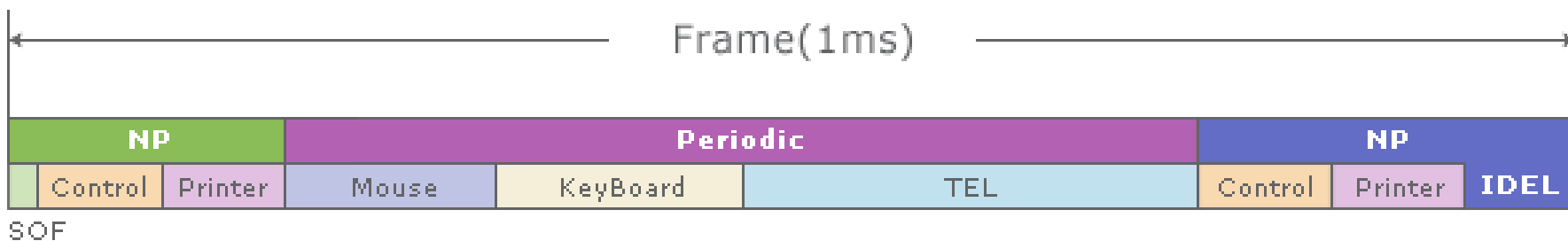
# Transzferek

- Példa transferekre



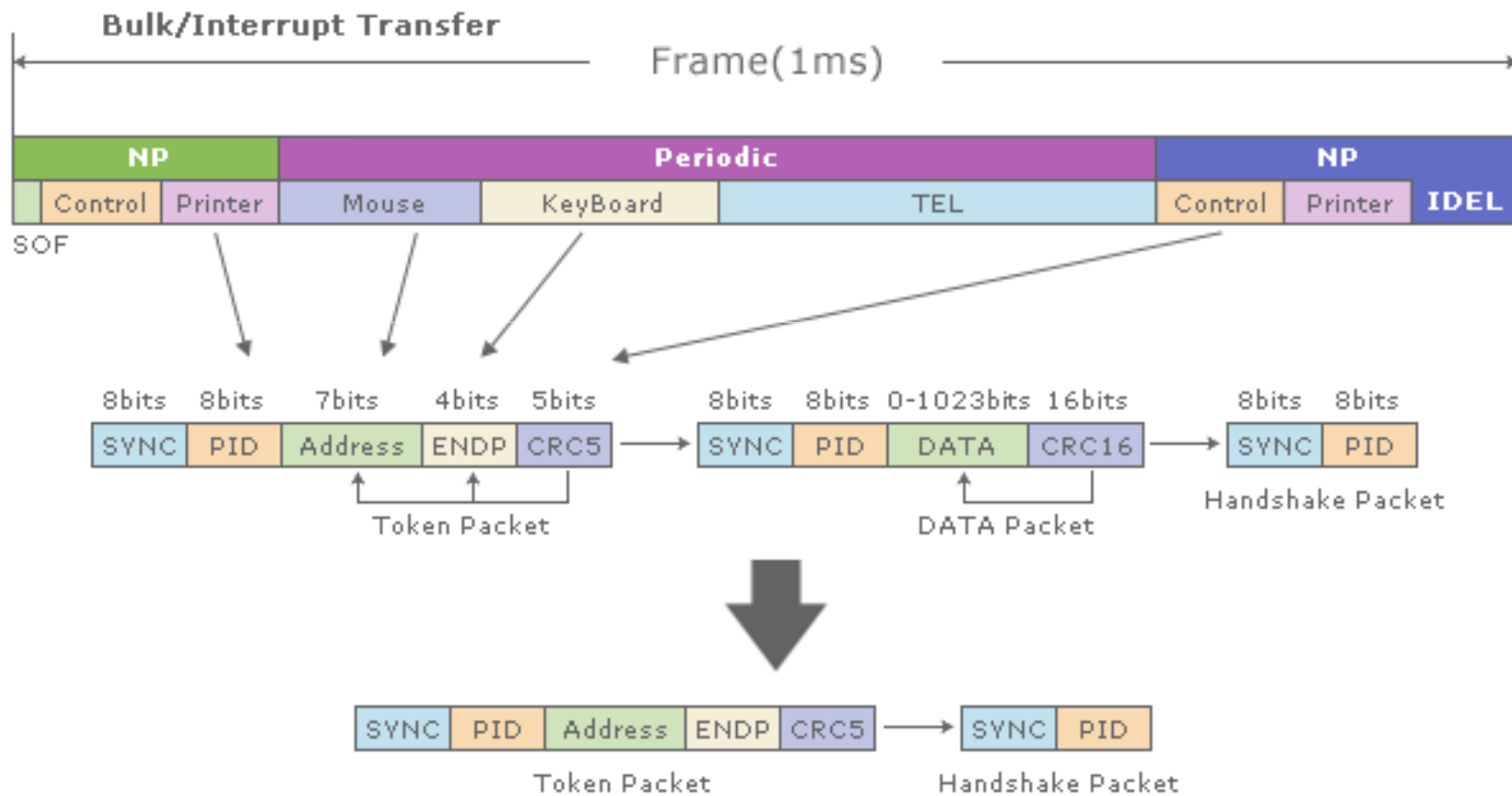
NP : Bulk/Control  
Periodic : Isochronous/Interrupt

- Példa egy keretre



# Részletesebb példa

- Tranzakciók



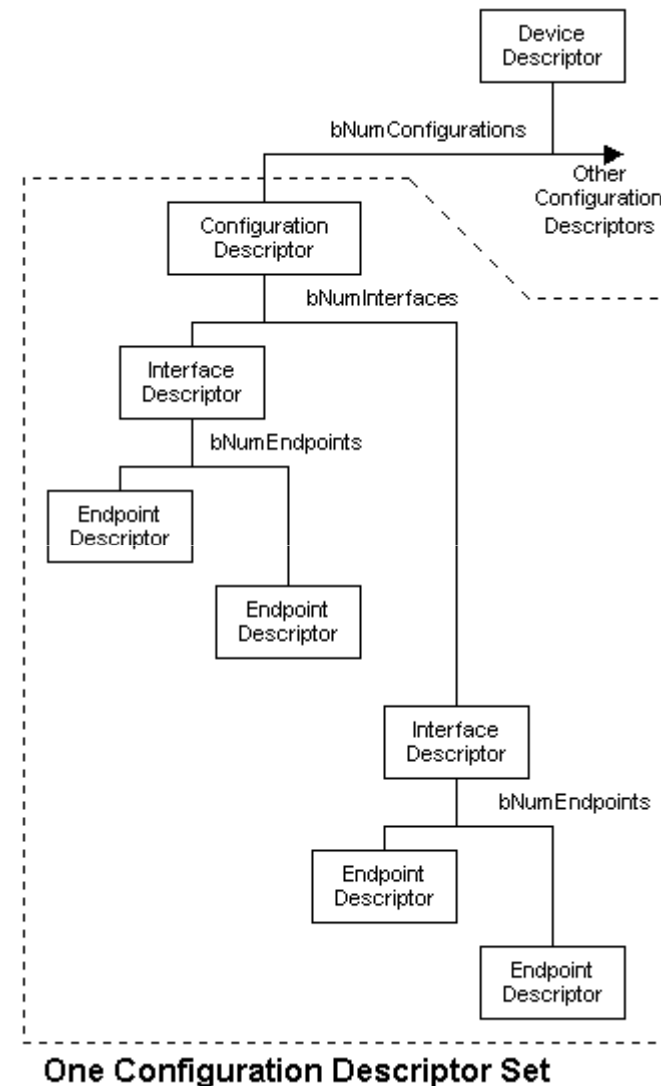
# Új eszköz csatlakoztatása

- Felhúzó ellenállás, K-Chirp → eszköz detektálva
- Reset (egyszerre csak egy eszközre!), az eszköz a 0 címre „hallgat”
- 0. cím 0. EP GetDeviceDescriptor: maximális csomagméret lekérdezése
- Reset, SetAddress
- Device, Configuration és String descriptor lekérése
- Driver betöltése
- SetConfiguration



# Leírók

- Device: egyedi
- Configuration: egyszerre csak 1 aktív (ritkán van több)
- Interface: composite eszközöknél párhuzamosan aktívak (pl. VOIP telefon)



# Device descriptor

Offset	Field	Size	Value	Description
0	bLength	1	Number	Size of the Descriptor in Bytes (18)
1	bDescriptorType	1	Constant	Device Descriptor (0x01)
2	bcdUSB	2	BCD	USB Specification Number which device complies too.
4	bDeviceClass	1	Class	Class Code (by USB Org) If equal to Zero, each interface specifies it's own class code If equal to 0xFF, the class code is vendor specified. Otherwise field is valid Class Code.
5	bDeviceSubClass	1	SubClass	Subclass Code (by USB Org)
6	bDeviceProtocol	1	Protocol	Protocol Code (by USB Org)
7	bMaxPacketSize	1	Number	Maximum Packet Size for Zero Endpoint. Valid Sizes are 8, 16, 32, 64
8	idVendor	2	ID	Vendor ID (by USB Org)
10	idProduct	2	ID	Product ID (by Manufacturer)
12	bcdDevice	2	BCD	Device Release Number
14	iManufacturer	1	Index	Index of Manufacturer String Descriptor
15	iProduct	1	Index	Index of Product String Descriptor
16	iSerialNumber	1	Index	Index of Serial Number String Descriptor
17	bNumConfigurations	1	Integer	Number of Possible Configurations

```
const uint8_t DeviceDescriptor[SIZ_DEVICE_DESC] =
{
    SIZ_DEVICE_DESC, /* bLength */
    0x01, /* bDescriptorType */
    0x00, /* bcdUSB, version 2.00 */
    0x02,
    0x00, /* bDeviceClass : each interface define the device class
    0x00, /* bDeviceSubClass */
    0x00, /* bDeviceProtocol */
    0x40, /* bMaxPacketSize0 0x40 = 64 */
    0x83, /* idVendor (0483) */
    0x04,
    0x21, /* idProduct */
    0x57,
    0x00, /* bcdDevice 2.00 */
    0x02,
    1, /* index of string Manufacturer */
    /**/
    2, /* index of string descriptor of product */
    /**/
    3, /* */
    /** */
    /** */
    0x01 /*bNumConfigurations */
};
```

# Device class codes

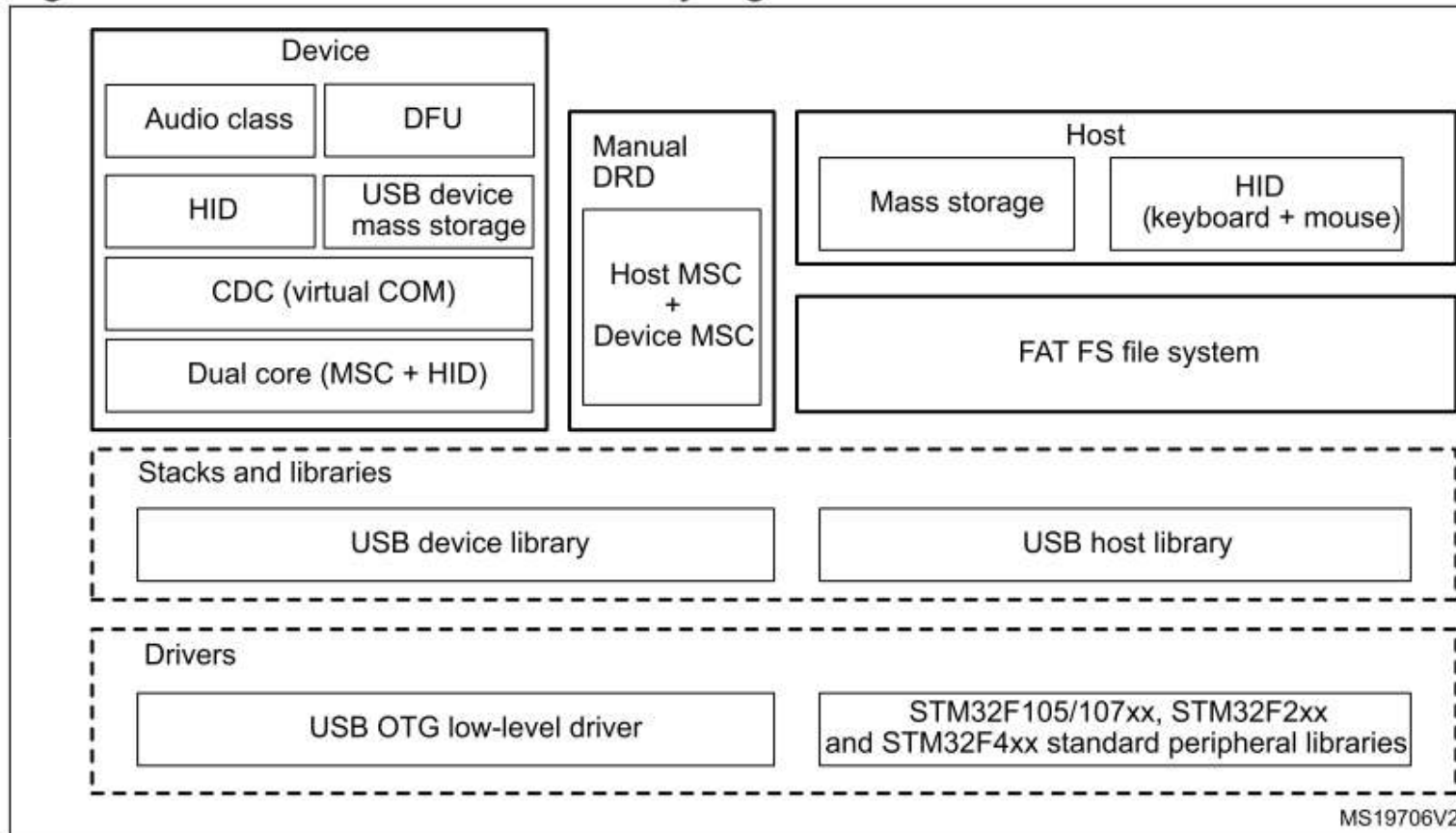
Base Class	Descriptor Usage	Description
00h	Device	<a href="#">Use class information in the Interface Descriptors</a>
01h	Interface	<a href="#">Audio</a>
02h	Both	<a href="#">Communications and CDC Control</a>
03h	Interface	<a href="#">HID (Human Interface Device)</a>
05h	Interface	<a href="#">Physical</a>
06h	Interface	<a href="#">Image</a>
07h	Interface	<a href="#">Printer</a>
08h	Interface	<a href="#">Mass Storage</a>
09h	Device	<a href="#">Hub</a>
0Ah	Interface	<a href="#">CDC-Data</a>
0Bh	Interface	<a href="#">Smart Card</a>
0Dh	Interface	<a href="#">Content Security</a>
0Eh	Interface	<a href="#">Video</a>
0Fh	Interface	<a href="#">Personal Healthcare</a>
10h	Interface	<a href="#">Audio/Video Devices</a>
DCh	Both	<a href="#">Diagnostic Device</a>
E0h	Interface	<a href="#">Wireless Controller</a>
EFh	Both	<a href="#">Miscellaneous</a>
FEh	Interface	<a href="#">Application Specific</a>
FFh	Both	<a href="#">Vendor Specific</a>

# USB beágyazott rendszerekben

- FTDI
  - FT2xxx : Soros-USB konverter (FS,HS)
  - Vinculum: device szintű megoldás (FS)
- Native USB
  - A kontroller gyártója általában Firmware library-t is ad
  - „Fizetős” megoldások
- PC oldal:
  - Szabványos eszköz esetén nincs szükség külön driverre
  - Egyedi eszköz: libusb32 driver segítségével

# ST UM1021 device and host

Figure 1. USB host and device library organization overview



The USB host and device libraries are built around the common STM32 USB OTG low level driver and the USB device and host libraries.

# Hasznos linkek

- <http://www.usb.org/developers/>
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Universal\\_Serial\\_Bus](http://en.wikipedia.org/wiki/Universal_Serial_Bus)
- <http://www.usbmadesimple.co.uk/>
- <http://www.beyondlogic.org/usbnutshell/usb1.shtml>
- <http://www.ftdichip.com>
- <http://sourceforge.net/apps/trac/libusb-win32/wiki>

## ST library:

- <http://www.st.com/stonline/stappl/productcatalog/app?page=partNumberSearchPage&levelid=SC1169&parentid=1743&resourcetype=SW>
- [http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/user\\_manual/CD00289278.pdf](http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/user_manual/CD00289278.pdf)