

Fedélzeti adatfeldolgozó rendszerek 2.



Csurgai-Horváth László, BME-HVT
2023.



A fedélzeti számítógép - méretek

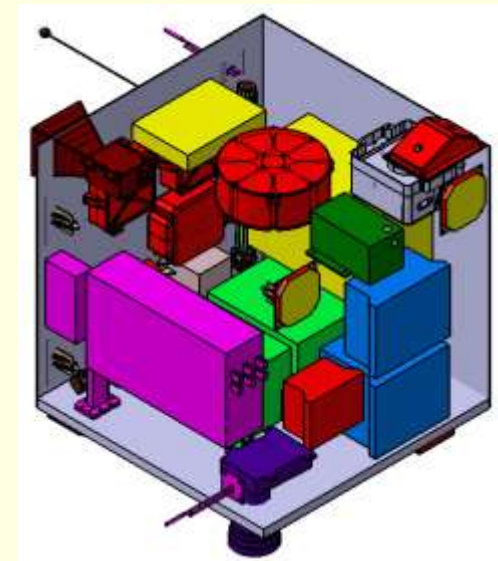
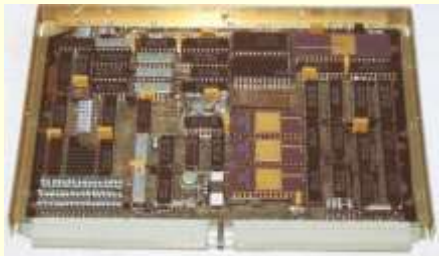
Pikoműholdak ... nagy műholdak ~1000 kg

Miniatűr műholdak: < 500 kg

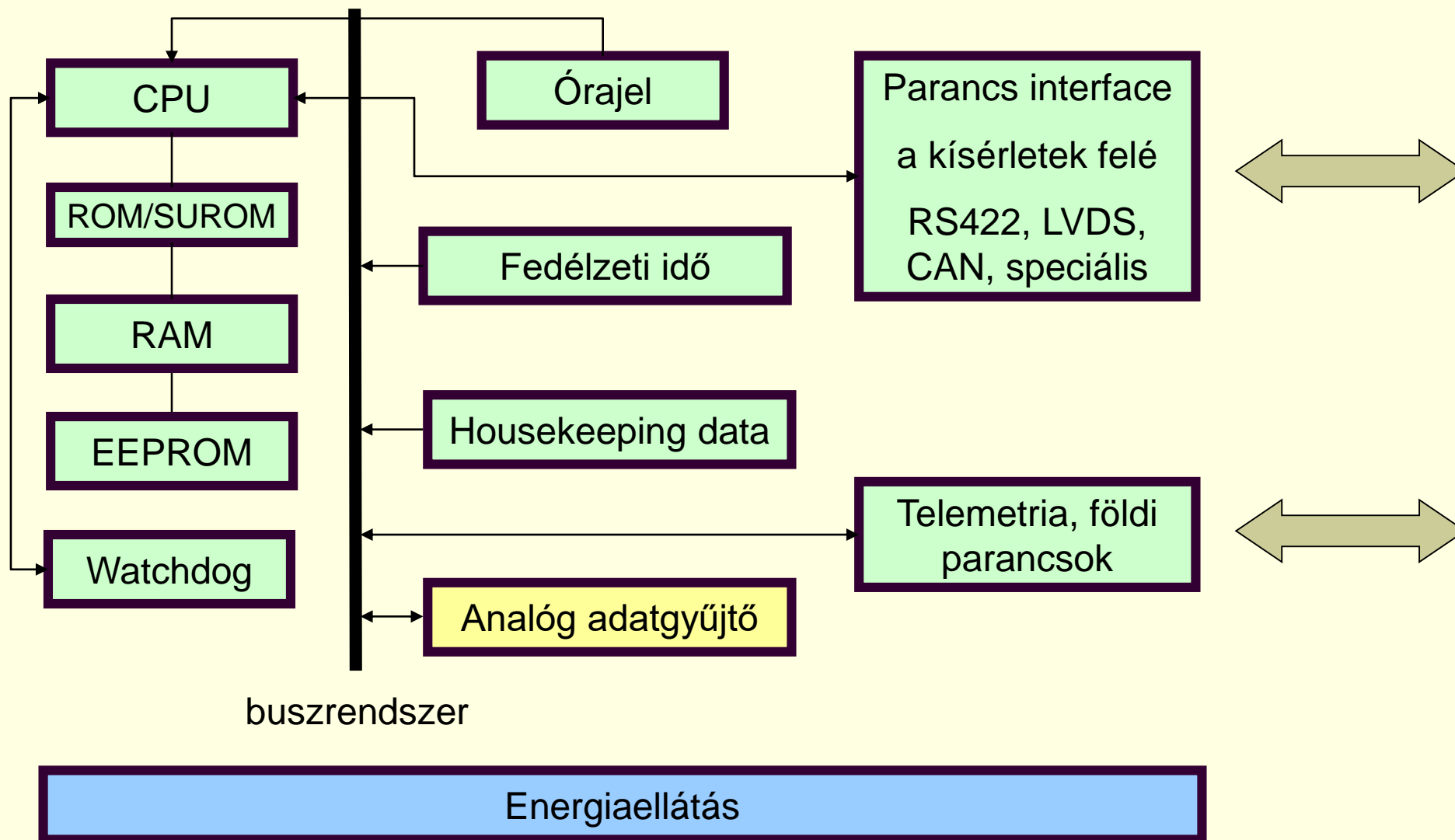
CubeSat: 1 kg, 10*10*10 cm

ESEO: ~40kg, 33*33*63 cm

ACTIVE (1989): 1570 kg

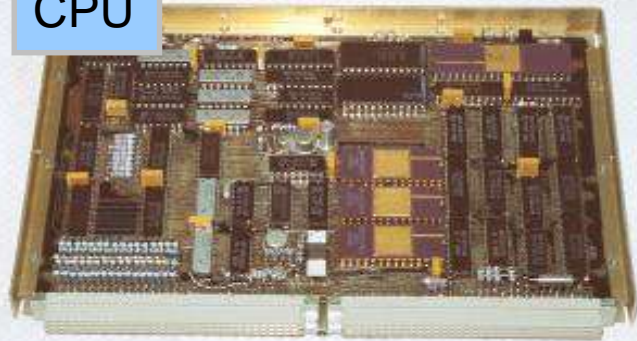


Blokkvázlat

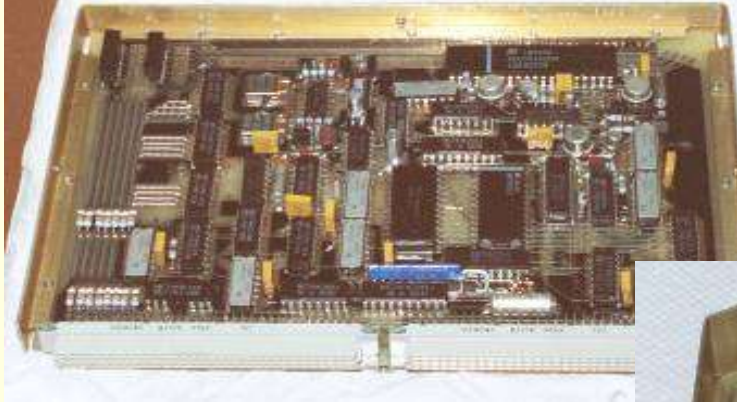


A mikroprocesszoros fedélzeti számítógép és adatgyűjtő (ODCS, 80-90-es évek)

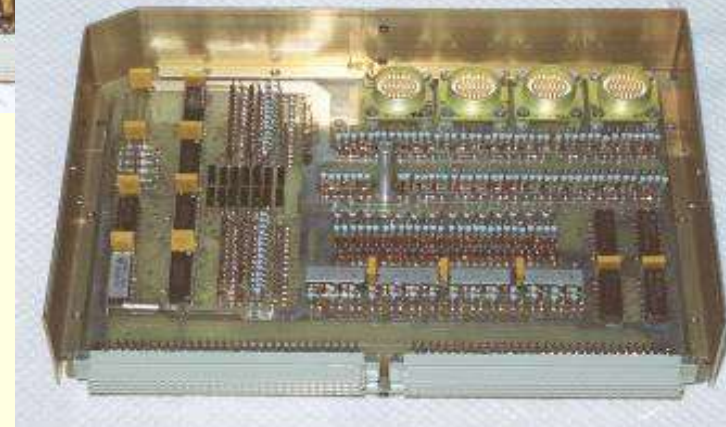
CPU



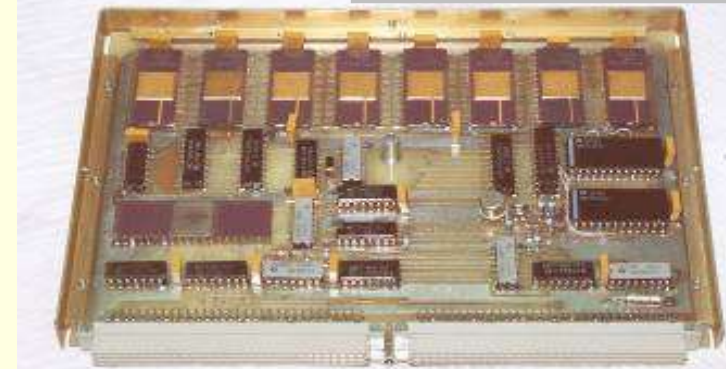
A/D



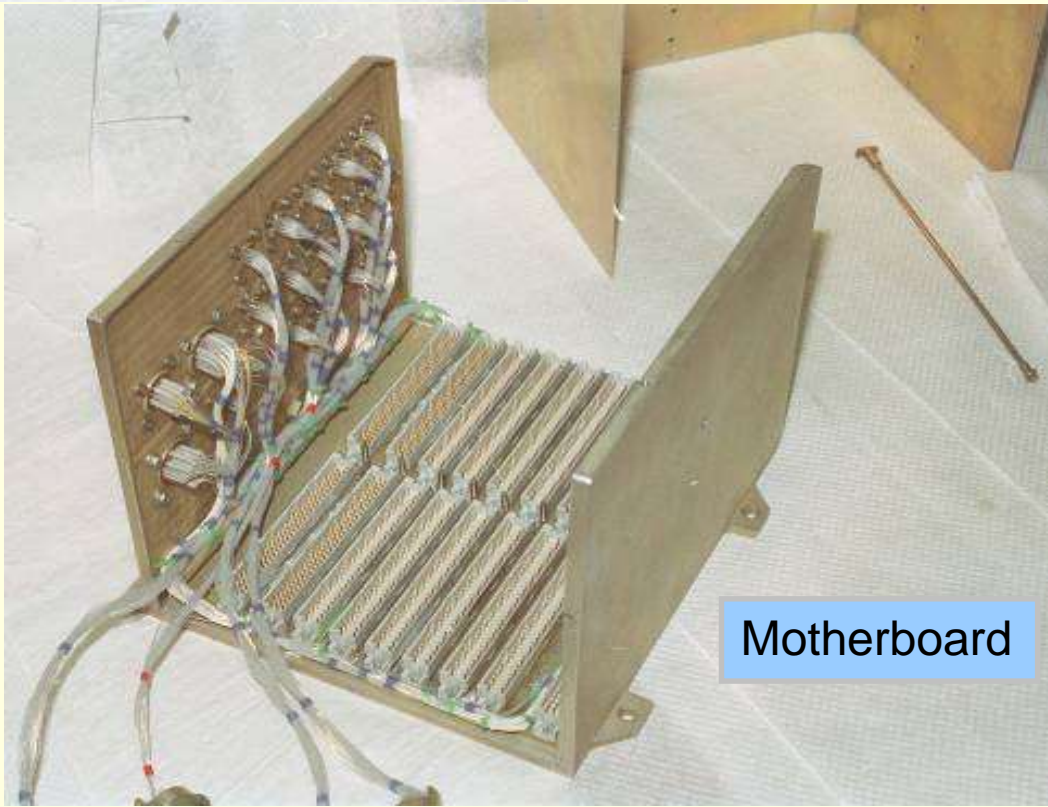
Interface



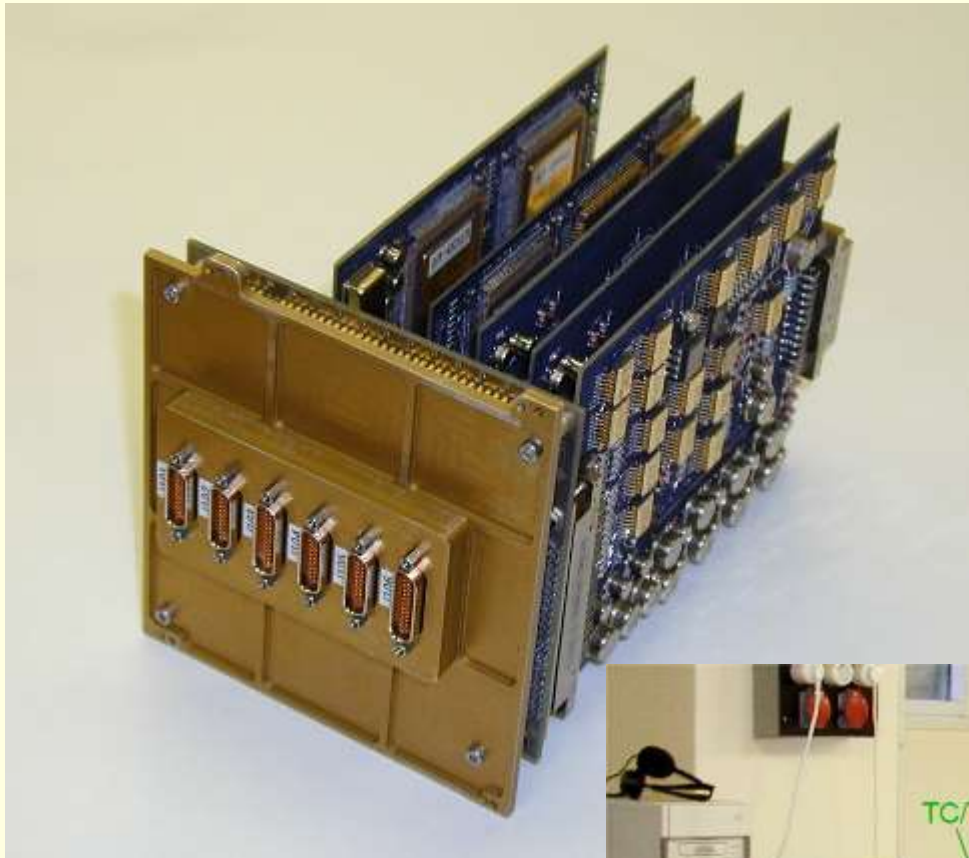
Communication



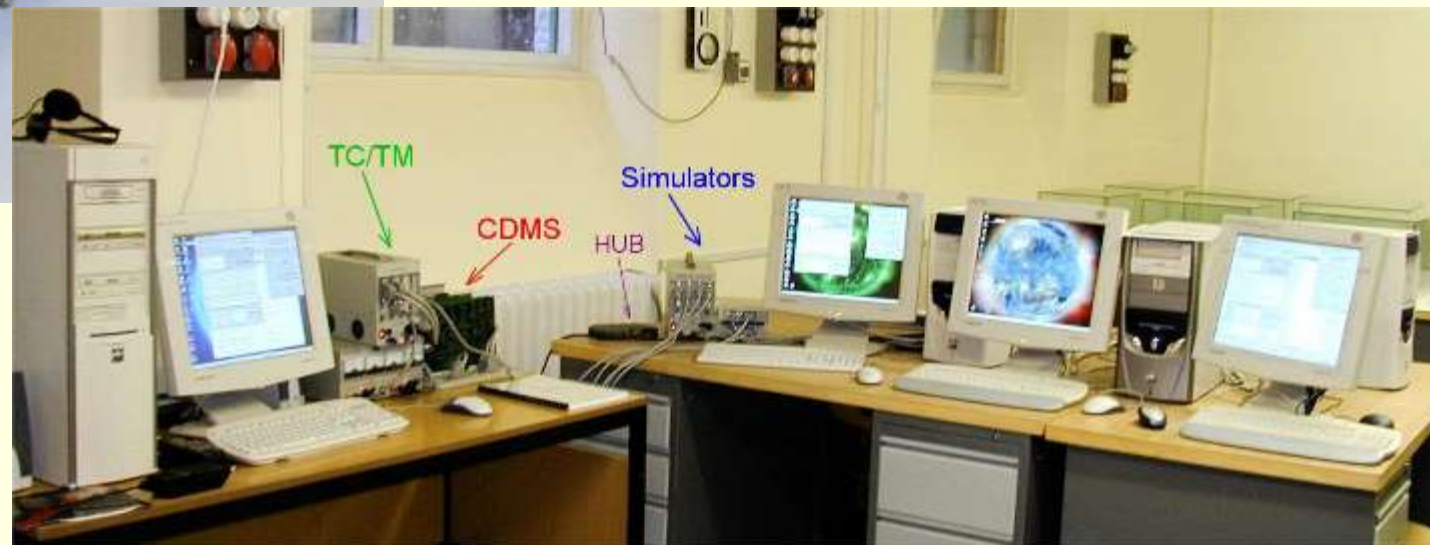
Motherboard



Philae



Philae CDMS
(SGF Technology)

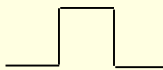
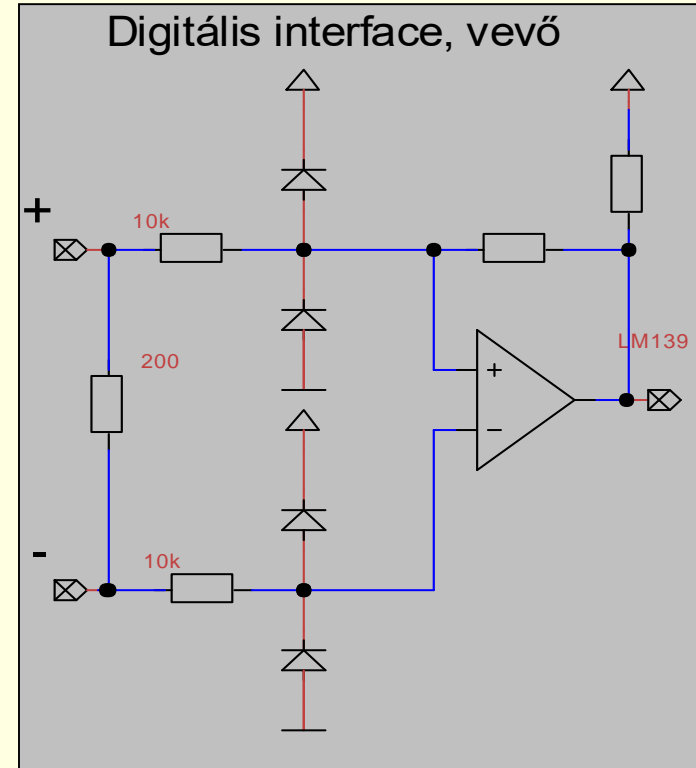
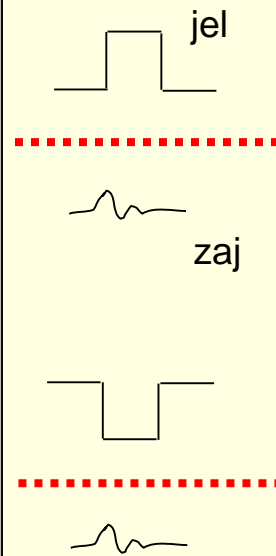
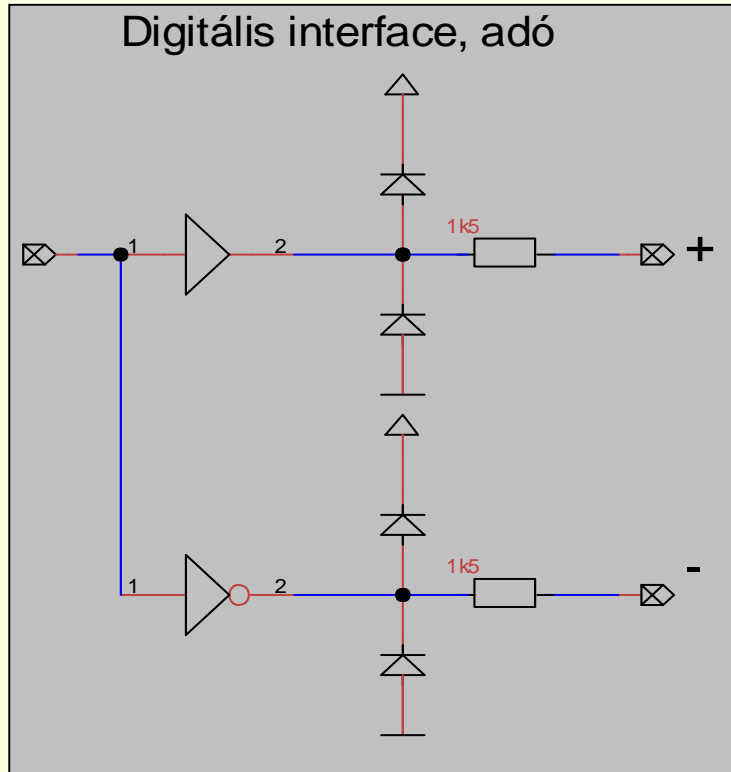


Jelátvitel modulok között

- ❑ Legtöbbször valamilyen soros adatátvitelt használnak
 - ❑ USART, RS-232
 - ❑ RS-422
 - ❑ RS-485
 - ❑ LVDS
 - ❑ CAN-busz
 - ❑ SpaceWire

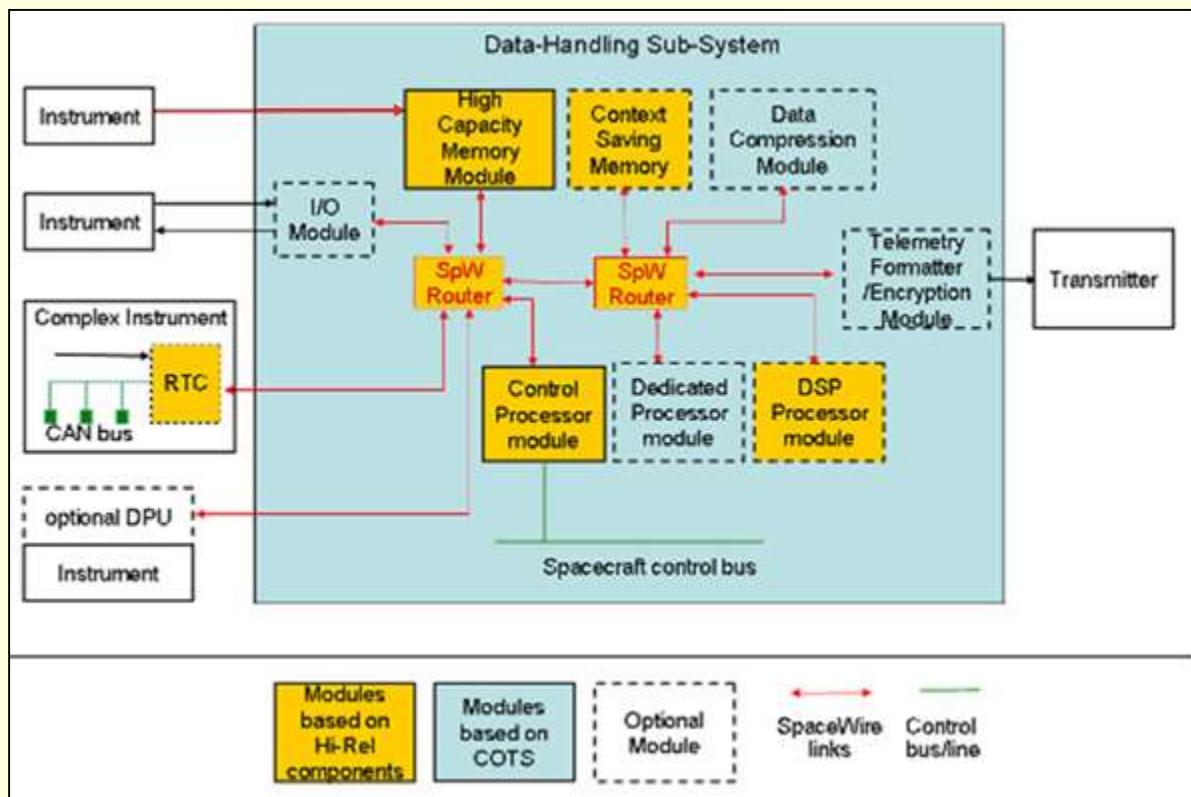
- Egyvezetékes (single ended)
- Differenciális

Zavarmentes digitális jelátvitel



SpaceWire (ECSS-E50-12A standard)

- Fedélzeti eszközök közötti kommunikáció - kompatibilitás
- Soros adatátvitel (differenciális adat/differenciális strobe jelek)
- 2-200 Mbit/s
- Kétirányú, full duplex



- FPGA-ban implementálható (5-8000 gate)
- csomag alapú adatátvitel
- hibatűrő

Rosetta



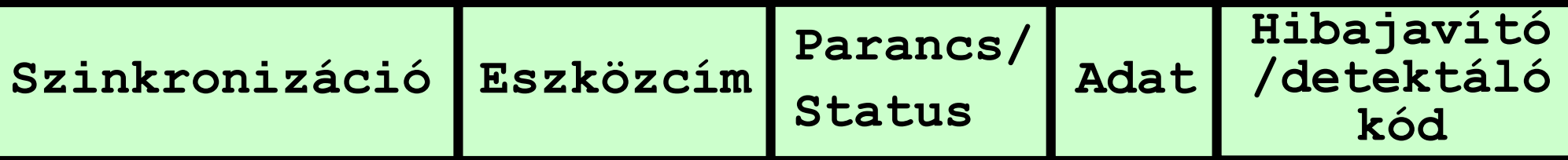
Telekommand (Föld-műhold)

Telemetria (műhold-Föld)

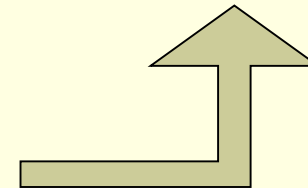


Parancs és telemetria-formátum (példa)

- Frame (keret) struktúra alkalmazása:



Digitális és analóg
adatgyűjtők kimenetei



ESEO telemetria

- ❑ UHF beacon 437MHz GFSK
- ❑ Egyszerűsített AX.25 protokoll, Reed-Solomon hibajavító kódolás

```
0000: 8a a6 8a 9e 40 40 60 92 ae 68 88 aa 98 61 d2 00
0010: f0 04 7a 66 03 87 03 9e 03 9e 03 5b 03 4f 03 00
0020: 00 05 00 02 00 02 00 01 00 0c 00 3d ff 6c ff bf
0030: ff 63 00 65 00 5a 00 5a 00 5f 00 59 00 7f 00 7d
0040: 00 7a 00 80 00 76 00 71 00 cd 5f 00 aa ac 00 a0
0050: 00 07 00 5b 00 02 00 00 00 1a 00 01 00 7a 00 02
0060: 00 01 00 02 00 00 00 00 00 00 00 00 17 00 64 00 01
0070: 00 00 00 00 00 01 00 60 00 00 00 00 00 01 00 00
0080: 00 3f d0 00 02 00 e0 ff 01 00 00 00 00
```

 GNU Radio

- ❑ Dekódolt adat (részlet)

```
pm_temp = 17.2
        16.0
```

```
pm_obdh_main_current = 7
pm_rx_main_current = 91
pm_tx_main_current = 2
pm_ss_main_current = 0
pm_mm_main_current = 26
pm_mw_main_current = 1
pm_mt_main_current = 122
pm_mps_current = 2
pm_tritel_current = 1
pm_hstx_current = 2
pm_gps_current = 0
```

```
pm_mps_valve_m_current = 0
pm_dom_1_current = 0
pm_obdh_red_current = 23
pm_rx_red_current = 100
pm_tx_red_current = 1
pm_ss_red_current = 0
pm_mm_red_current = 0
pm_mw_red_current = 1
pm_mt_red_current = 96
pm_es_current = 0
pm_ucam = 0
pm_amsat_current = 1
pm_lmp_current = 0
```

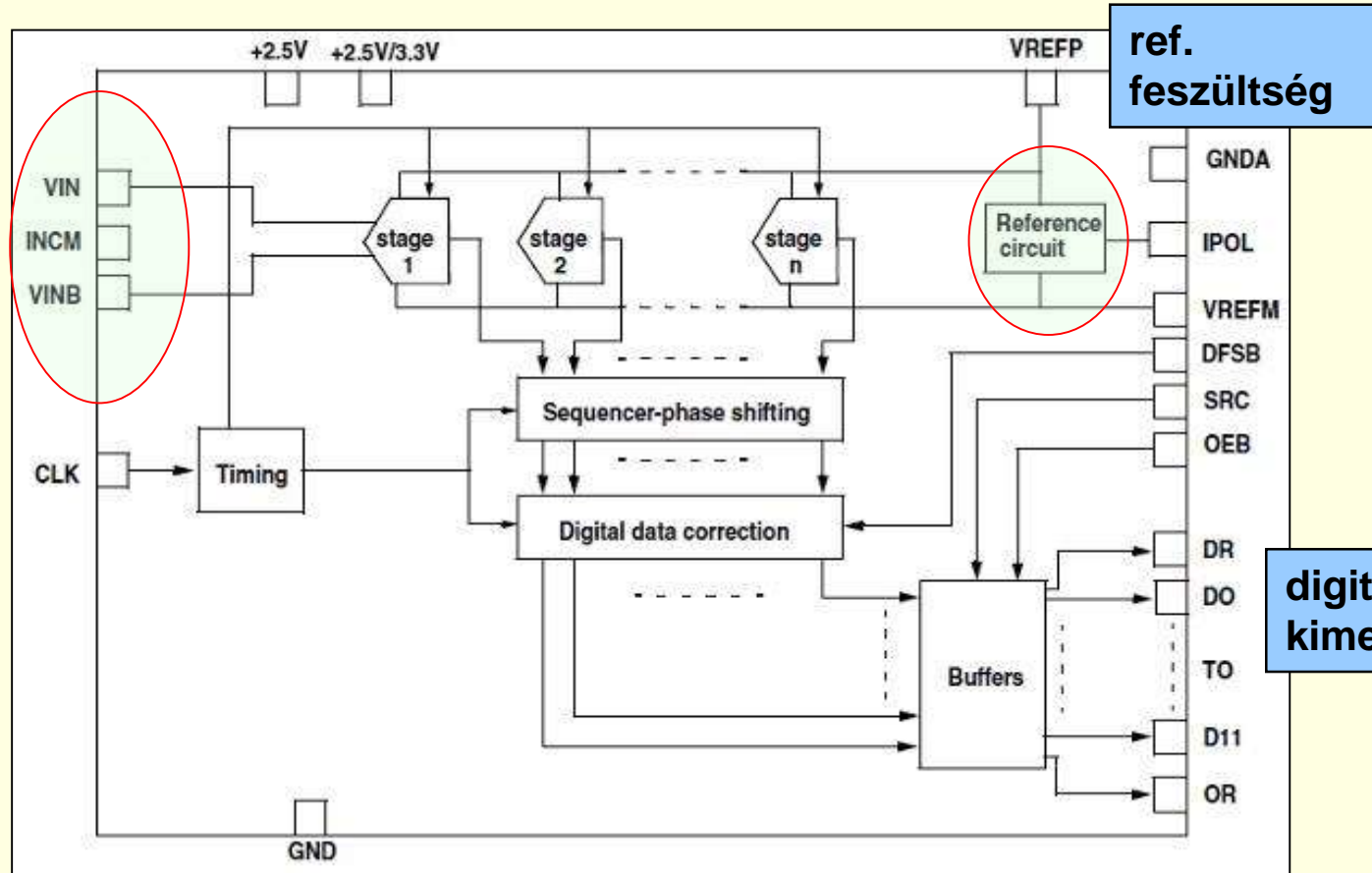
A fedélzeti adatgyűjtő

- Egyszerűbb esetben központi mérés-adatgyűjtő számítógép használható
- Szoros a kapcsolata a telemetria rendszerrel
- A mérés-adatgyűjtő rendszer főbb funkciói:
 - digitális adatok gyűjtése
 - analóg adatok gyűjtése
 - interface felület biztosítása a kísérletek felé
 - szintillesztés
 - kommunikáció a fedélzeti számítógéppel

RHF1201 300 krad, 12 bit, 50 Msps/100 mW, CMOS



differenciális
analóg
bemenet



ref.
feszültség

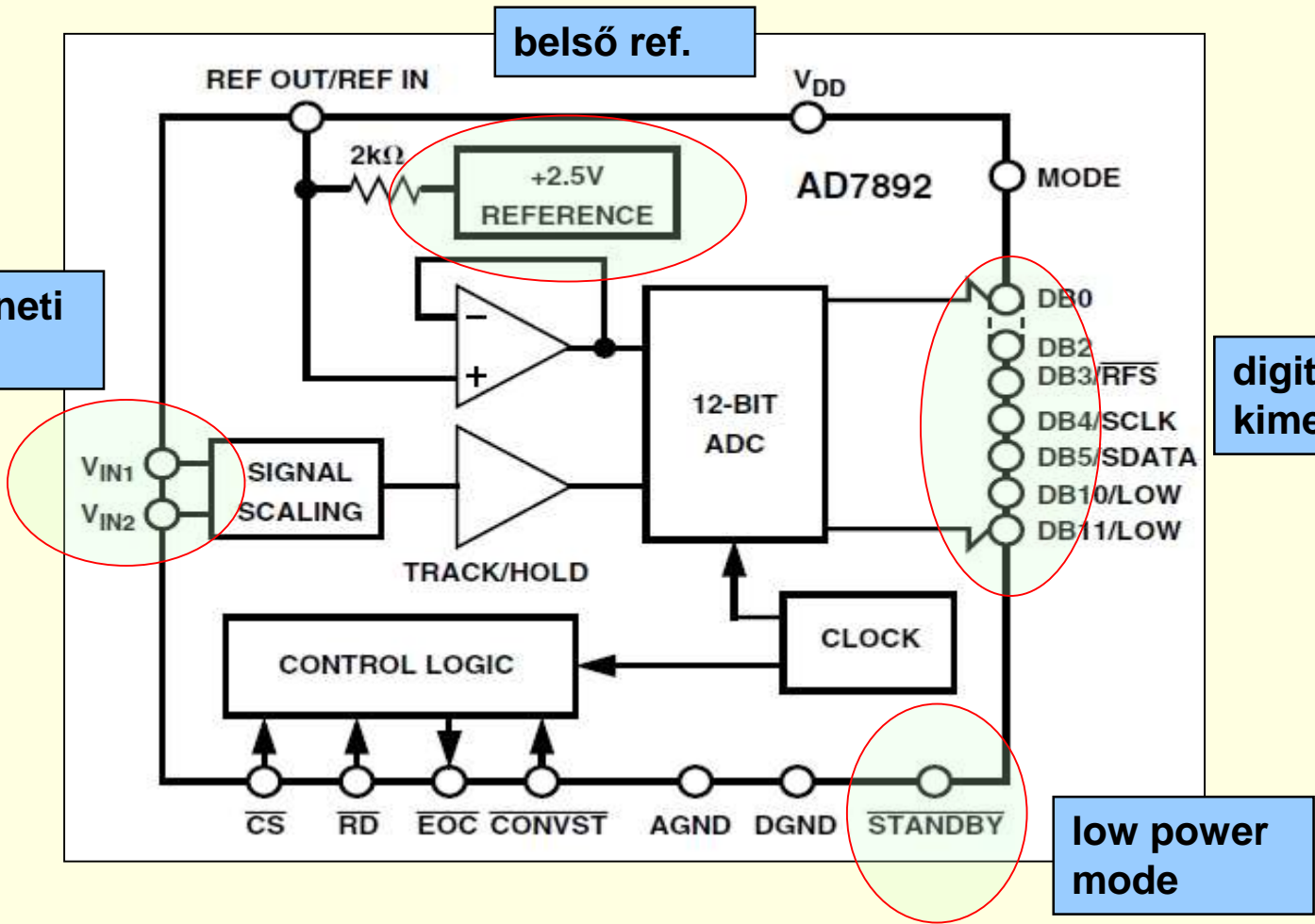
digitális
kimenet

(STMicroelectronics)

AD7892, 12 bit, 600 ksp/60 mW LC²MOS

~20 krad (Rosetta)

többféle bemeneti mód



belső ref.

digitális kimenet

low power mode

PC104 ???



high reliability signal processing
for industrial & aerospace applications
-40 to +85°C



PC/104 Stackable ISA, PCI & PCI Express® Computer Modules

- What's NEW
- CPU Modules
- DSP Modules
- Frame Grabber
- Video Controllers
- Digital I/O
- Analog I/O
- Ethernet/USB
- CAN Bus
- Serial Interface
- Wireless/Telematics
- Data Modem



AMD Geode™ LX



Intel® Pentium® M



Intel® Core™ 2 Duo

DSP Accelerator
and SmartCal™



Express dataModule®
and Power Supply



HiDANplus™



IDAN®

- GPS Receivers
- IDAN® Systems
- HiDAN® Systems
- FieldPad™ Systems
- Digital Controllers
- Synchro/Resolver
- Motor Controller
- Incremental Encoder
- Mass Storage Modules
- Power Supplies & UPS
- Accessories
- Software

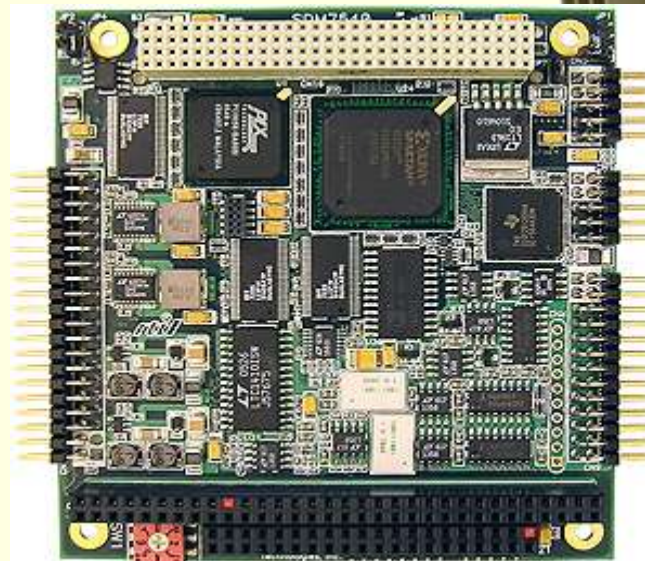
(forrás: www.rtd.com)

PC104 ???

Stack system



Data acquisition



(forrás: www.rtd.com)

Programozható logika alkalmazása 1.

FPGA: Field Programmable Gate Array, egy univerzális, a felhasználó által tervezhető és (újra)programozható logikai áramkör

Xilinx, Altera, Lattice, [Microsemi \(Actel\)](#)

RadTolerant, RadHard kivitelben is
Flash vagy antifuse technológia

Logikai erőforrások

Logikai cellák

Blokkok:

- memória
- processzor
- perifériák
- DSP

Nem logikai erőforrások

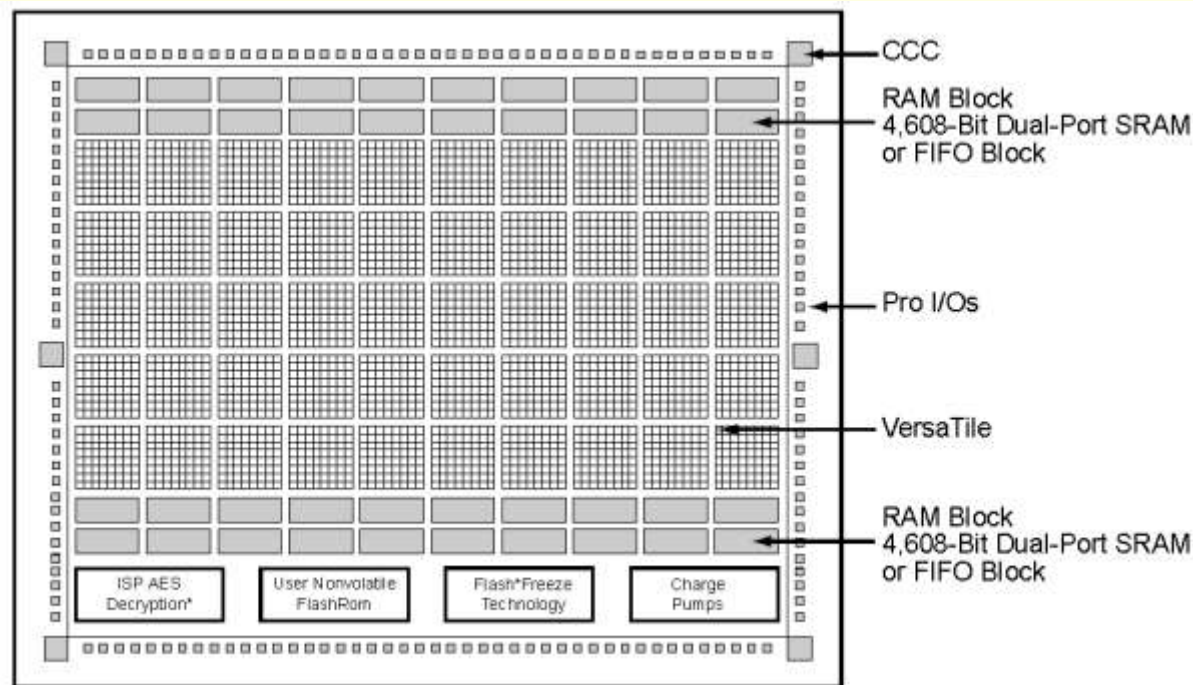
- huzalozás
- órajel elosztó hálózat
- PLL
- analóg áramkörök

SE/Diff I/O

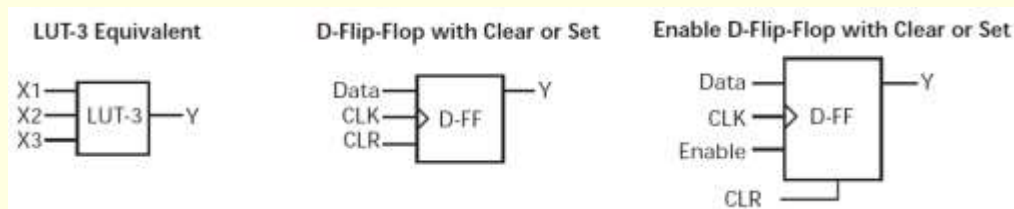
Clock

JTAG

RT ProASIC3



VersaTile: 1.) three-input logic 2.) D-flip-flop 3.) latch

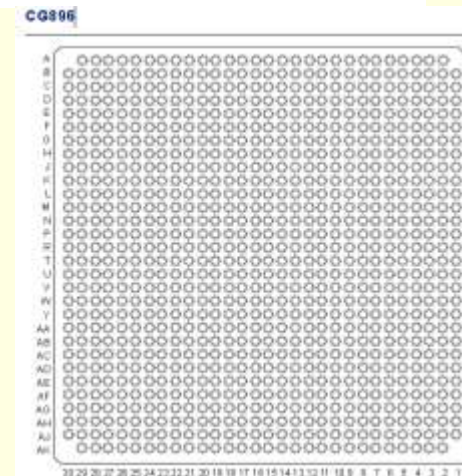
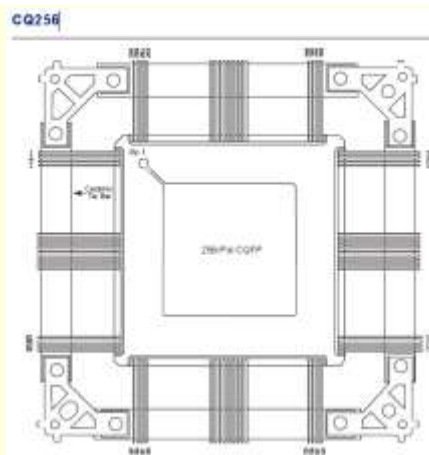


Programozható logika alkalmazása 2.

Table I-1 • Radiation-Tolerant (RT) ProASIC3 Low Power Spaceflight FPGAs

RT ProASIC3 Devices	RT3PE600L	RT3PE3000L
System Gates	600,000	3,000,000
VersaTiles (D-flip-flops)	13,824	75,264
RAM kbits (1,024 bits)	108	504
4,608-Bit Blocks	24	112
FlashROM Kbits	1	1
Secure (AES) ISP	Yes	Yes
Integrated PLL in CCCs	6	6
VersaNet Globals	18	18
I/O Banks	8	8
Maximum User I/Os	270	620
Package Pins CCGA/LGA CQFP	CG/LG484 CQ256	CG/LG484, CG/LG896 CQ256

- SEU mentes, 25~55 krad / 10-15% késleltetés-növekedés
- újraprogramozható
- TMR kialakítható



Programozható logika alkalmazása 3.

RTAX:

- radiation-tolerant (300 krad), antifuse-based
- >350 MHz system performance
- SEU hardened flip-flop TMR helyett
- SEL mentes

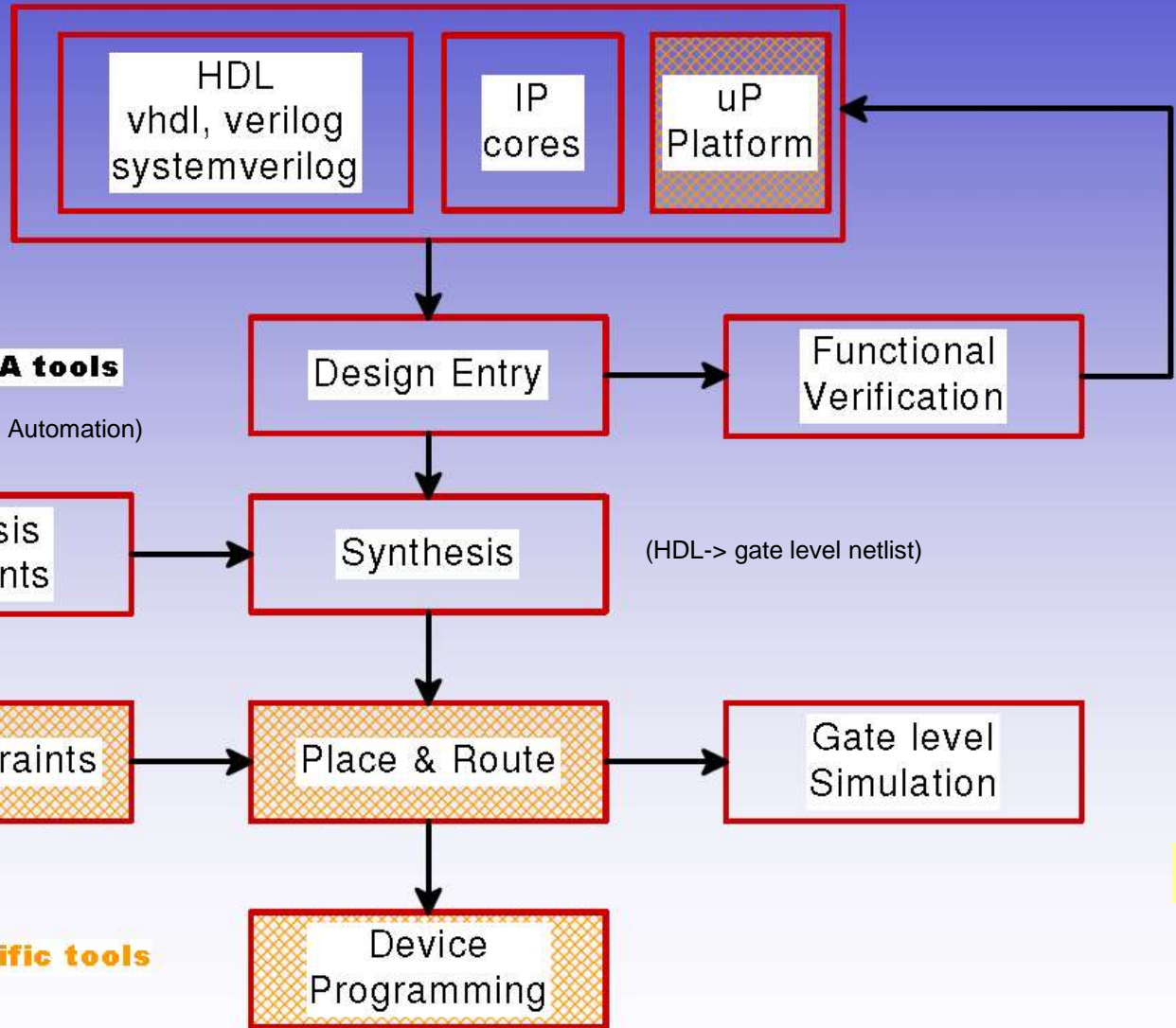
RT ProASIC3:

- reprogrammable, nonvolatile, radiation-tolerant, flash-based
- ≤ 350 MHz operation

RTSX-SU:

- radiation-tolerant (100 krad), antifuse-based
- 250 MHz system performance
- SEU hardened flip-flop TMR helyett
- SEL mentes

Programozható logika alkalmazása 4.



General EDA tools

(Electronic Design Automation)

Libero IDE
Libero SoC

- 1.) SmartDesign
- 2.) testbench+ModelSim

3.) Synplify (generate EDIF
Electronic Design
Interchange Format)

- 4.) Designer, ModelSim

Vendor specific tools

USB

JTAG



Az ESEO LMP kísérletének adatgyűjtője (első verzió)

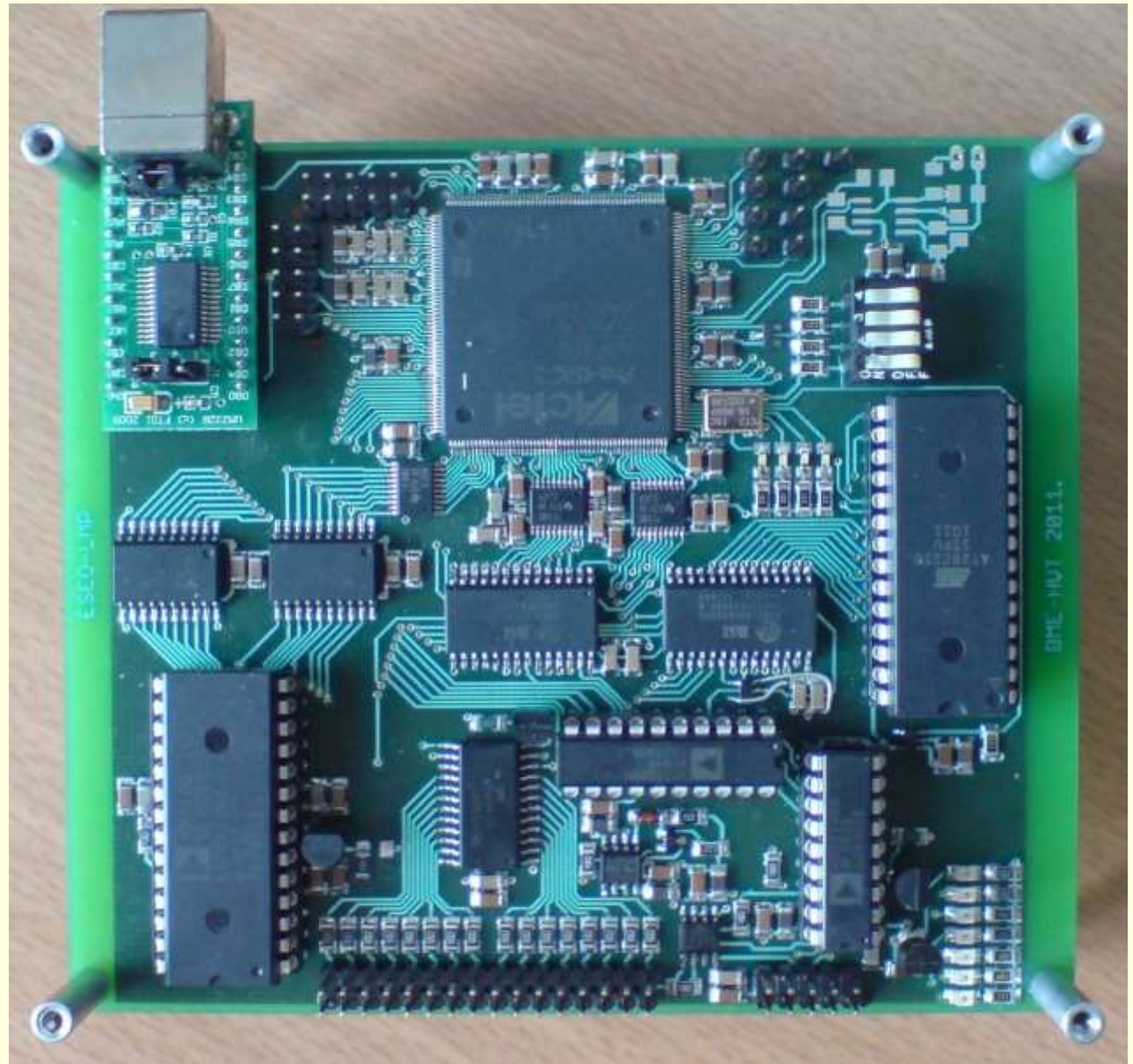
- ACTEL FPGA
- 8051s IP core
- UART IP core
- CAN controller IP core

- 32 kbyte EEPROM
- 32 kbyte SRAM

- 16 bit DAC
- 8 bit DAC
- 8 bit ADC / 16 ch.

- USB

- test ports



CPU megvalósítás FPGA-ban

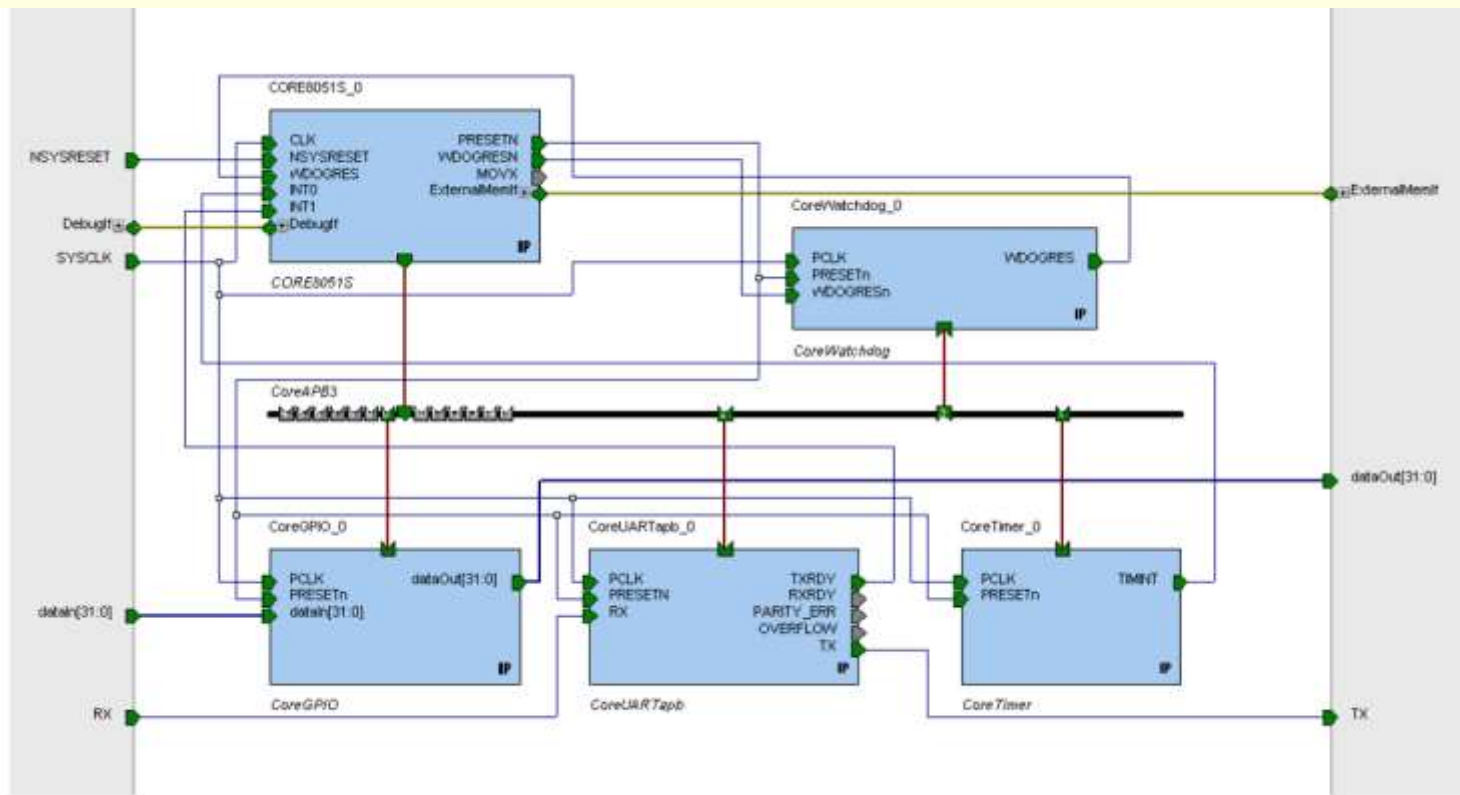
Actel A3P400 FPGA
(mérnöki modell)

- 400.000 system gate
- PQFP 208

beágyazott 8051 core

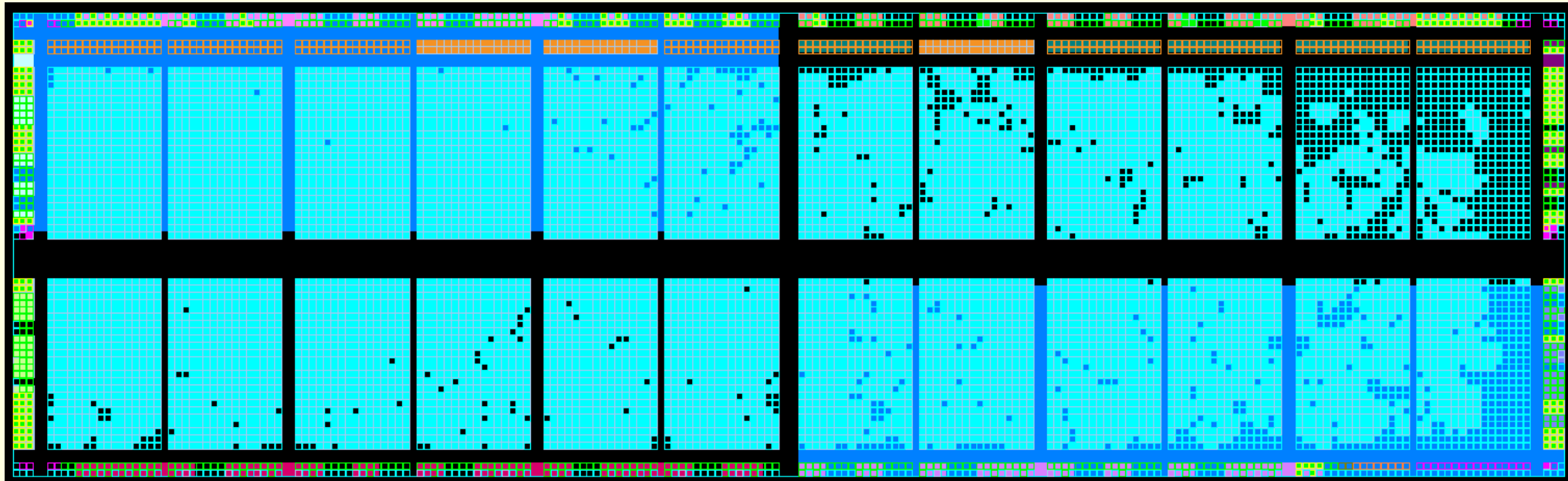
- GPIO
- Watchdog
- UART

- RT3PE600L
- (radiation tolerant)
- újraprogramozható
- 600.000 system gate



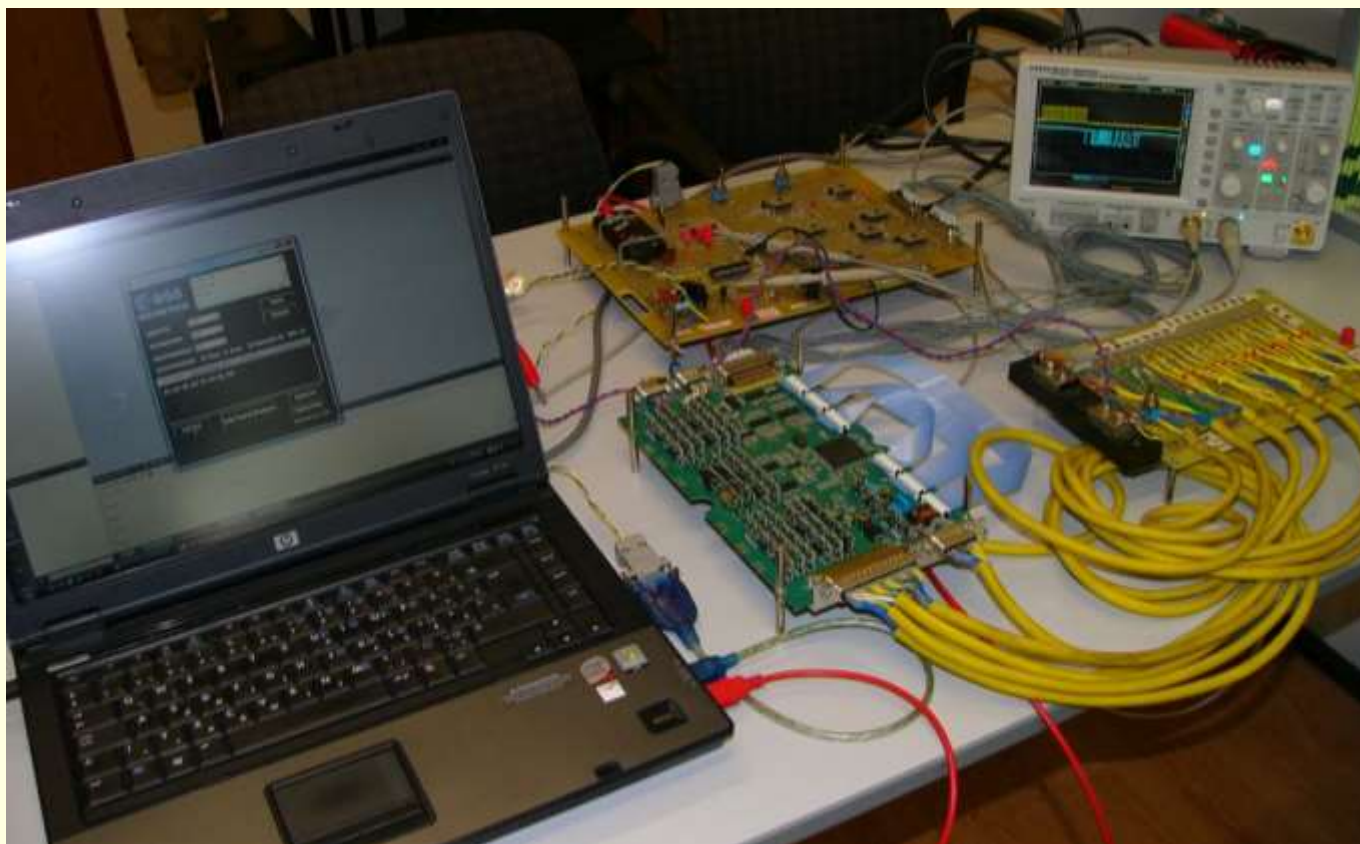
(ACTEL)

Az ESEO LMP kísérlet adatgyűjtőjének az FPGA-ja:
(ChipPlanner view)



FPGA az ESEO PDU-ban

- Microsemi A3P400 FPGA (flash alapú, 400.000 kapu, 194 I/O, LVDS)
- Két azonos egység (main/redundant)
- szinkron LVDS interface a PMU (Power Management Unit) felé
 - órajel, adat, strobe, function select
- 8 bites CRC hibadetekció (Hamming distance = 4-5)
- 12 bites A/D konverter vezérlés



Az anyaghoz kapcsolódó kérdések:

- Milyen fajta speciális környezeti igénybevétel típusokat kell figyelembe venni egy digitális áramkör űrbeli alkalmazása esetén?
- Mondjon legalább 2-2 példát űrben alkalmazható ill. nem alkalmazható áramkör típusra!
- A világűrben jelenlévő sugárzás milyen típusú hibákat okozhat digitális áramkörökben? Adjon megoldási javaslatot ezek kiküszöbölésére!
- Sorolja fel egy űreszköz fedélzeti számítógépének legfontosabb feladatait!
- Mire szolgál a telekommand rendszer?
- Mit neveznek telemetriának egy űreszköz esetében? Rajzoljon fel egy egyszerű telemetria formátumot!
- Hogyan/milyen eszközben tárolják egy űreszköz fedélzeti számítógépének működtető programját, és milyen elveket célszerű követni a software megírása során?
- Milyen feladatai vannak a központi mérés-adatgyűjtő rendszernek?
- Hogyan működik a TMR logika és milyen típusú hibák elleni védekezésre használják?
- Az űrtechnológiában miért alkalmaznak inkább antifuse alapú FPGA technológiát az SRAM alapúval szemben ?