

ÉRZÉKELŐK ÉS BEAVATKOZÓK I.

1. BEVEZETÉS



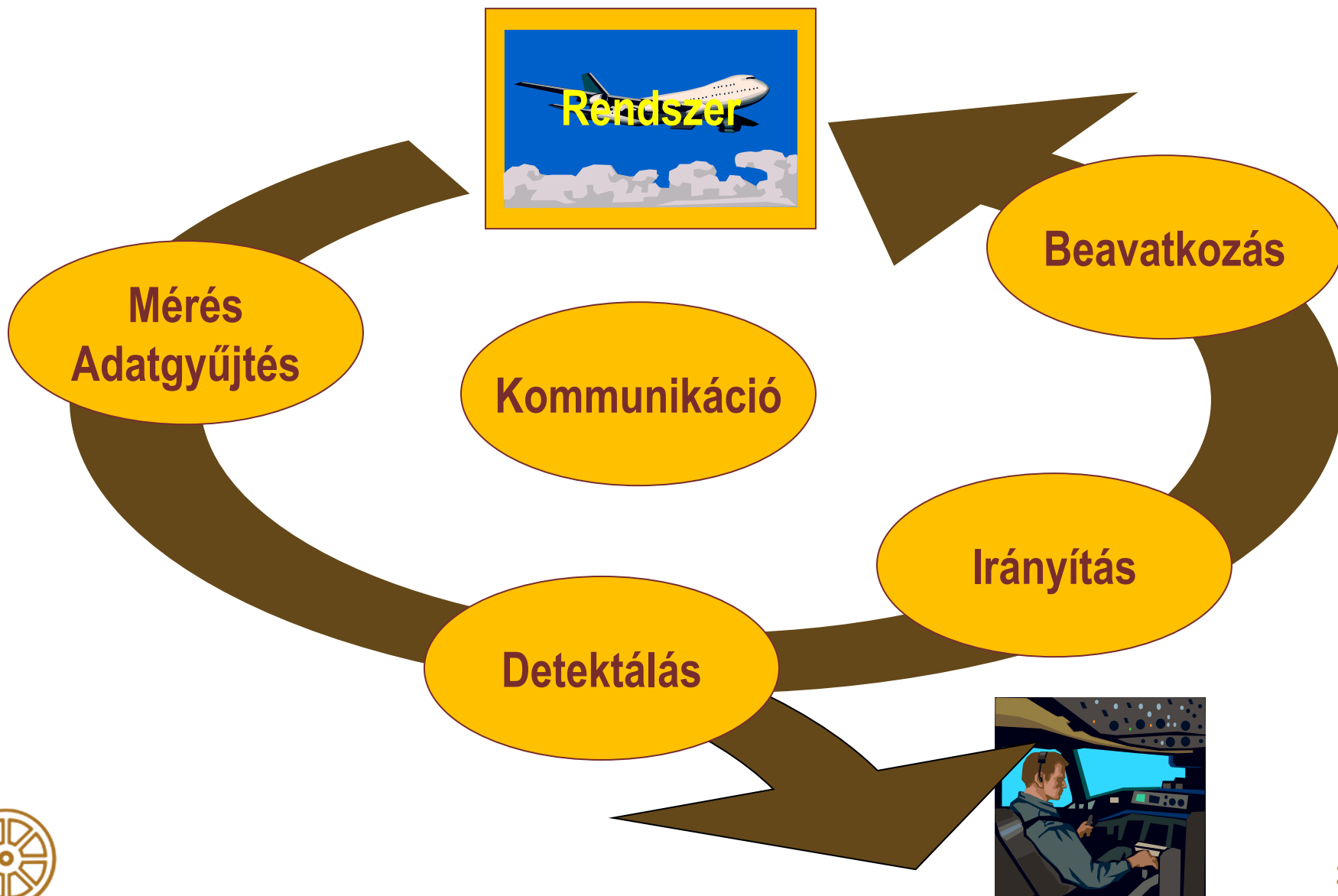
Dr. Soumelidis Alexandros

2020.09.10.

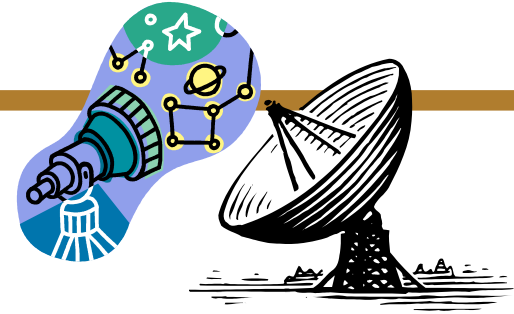


BME KÖZLEKEDÉSMÉRNÖKI ÉS JÁRMŰMÉRNÖKI KAR
32708-2/2017/INTFIN SZÁMÚ EMMI ÁLTAL TÁMOGATOTT TANANYAG

Mivel foglalkozunk?



Mérés, érzékelés



Célok:

- Megismerés

Tudományos megismerés,
Elméletalkotás

- Absztrakció

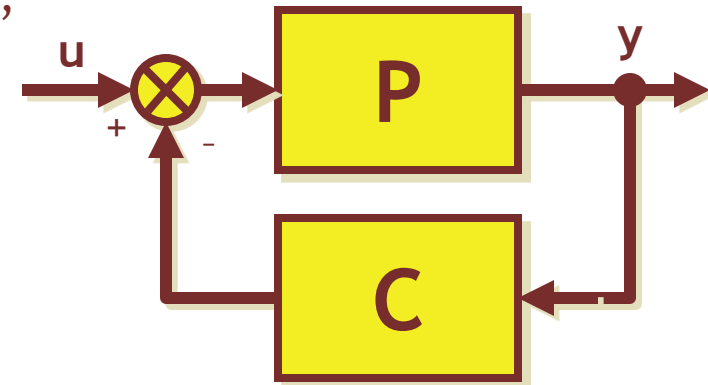
Matematikai modellalkotás,
Rendszeridentifikáció,
Modell paraméterbecslés

- Döntéshozatal

Eseménydetektálás,
Változásdetektálás,
Hibadetektálás,
Hibadiagnosztika

- Irányítás

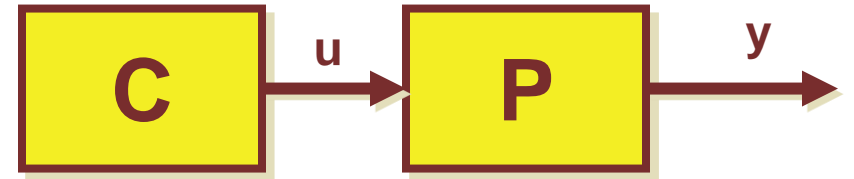
Vezérlés,
Szabályozás



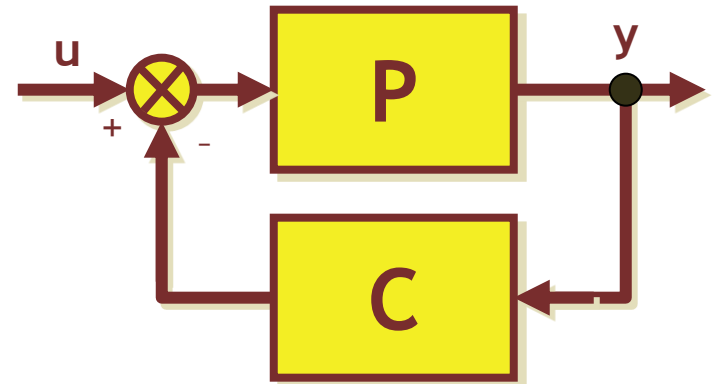
Irányítás

Az irányítások típusai:

- Vezérlés

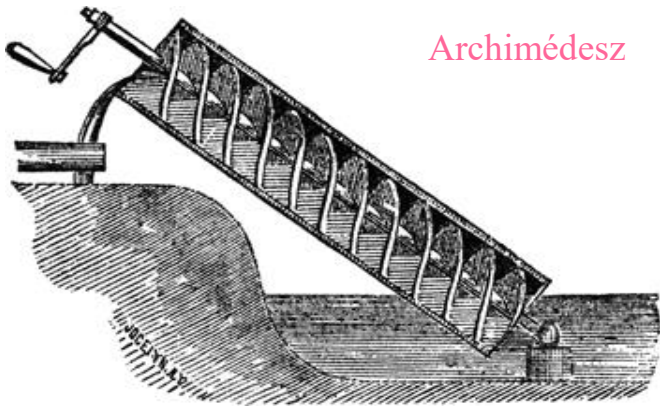


- Szabályozás - visszacsatolt irányítás

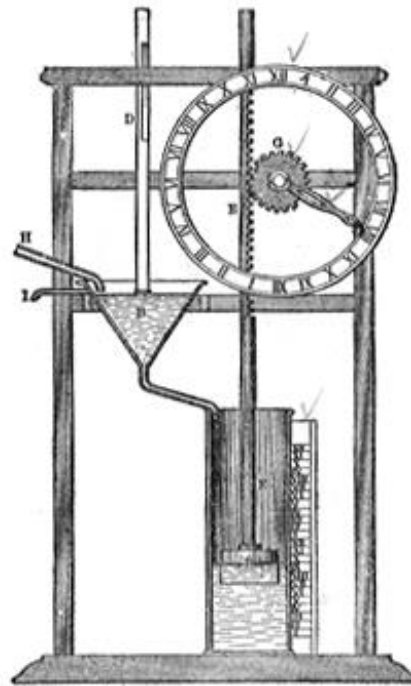


Rendszer-realizációk: történelem

A mindenható mechanika: már az ókorban ...



Archimédesz



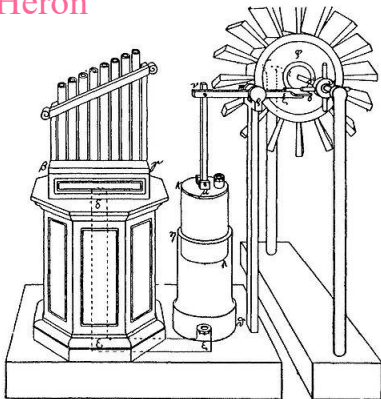
Kteszibiosz

Antikythera mechanizmus



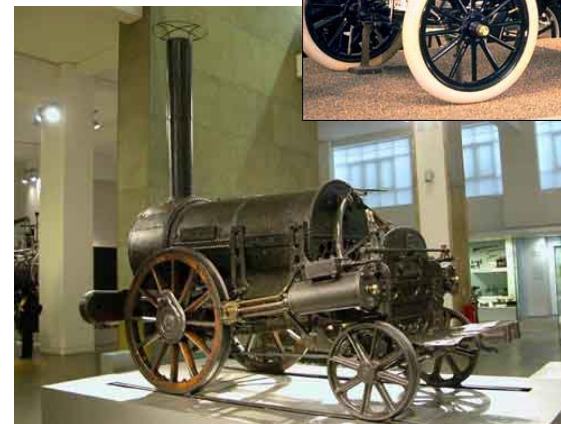
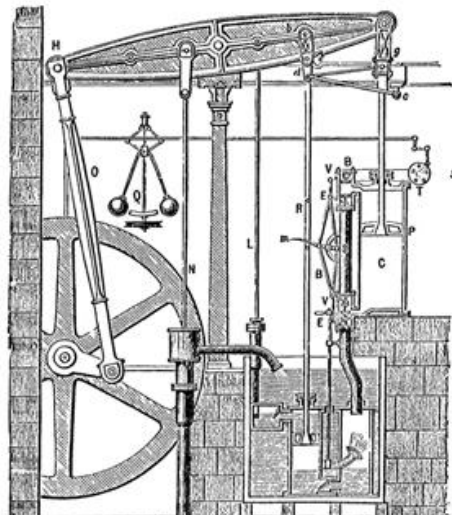
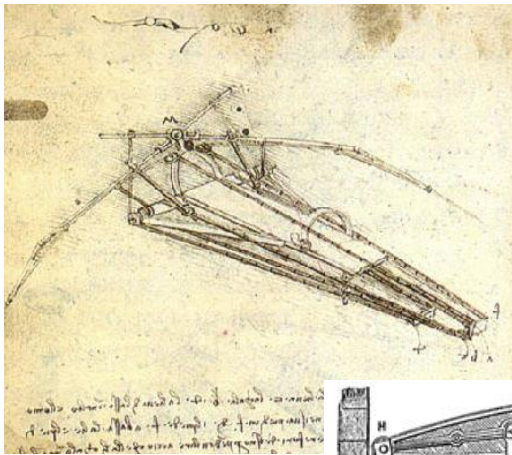
(ismeretlen eredetű)

Héron



Rendszer-realizációk: történelem

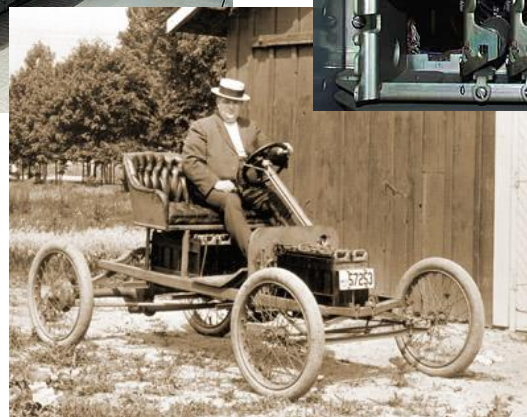
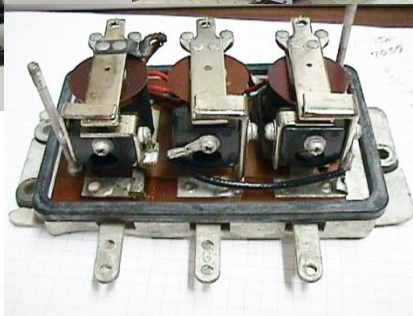
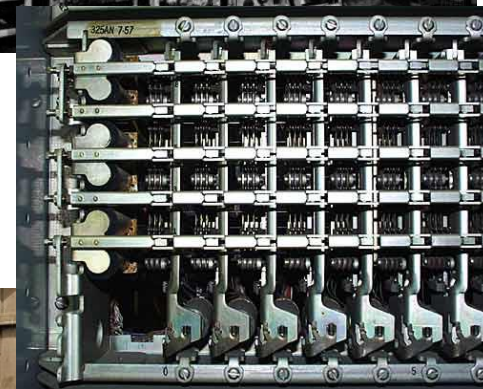
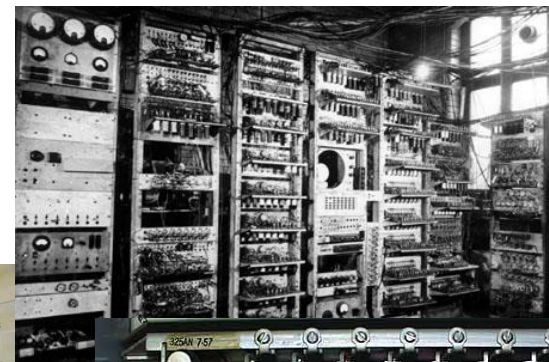
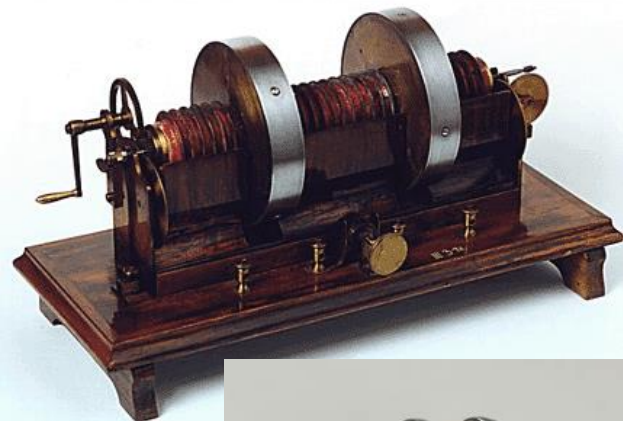
A mindenható mechanika: középkor, újkor



Rendszer-realizációk: történelem

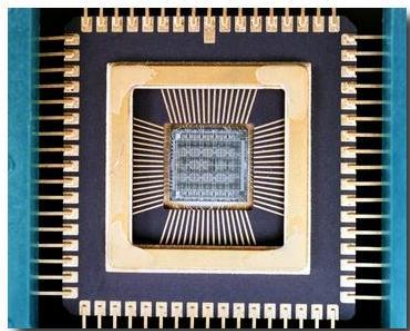
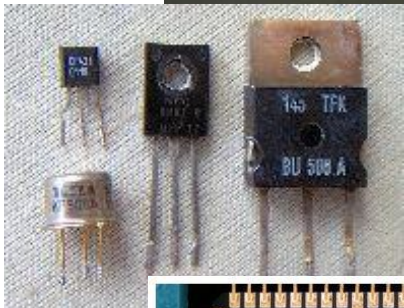
Elektromechanika:

- kapcsolók
- elektromágnesek
- relék
- villamos motorok



Rendszer-realizációk: történelem

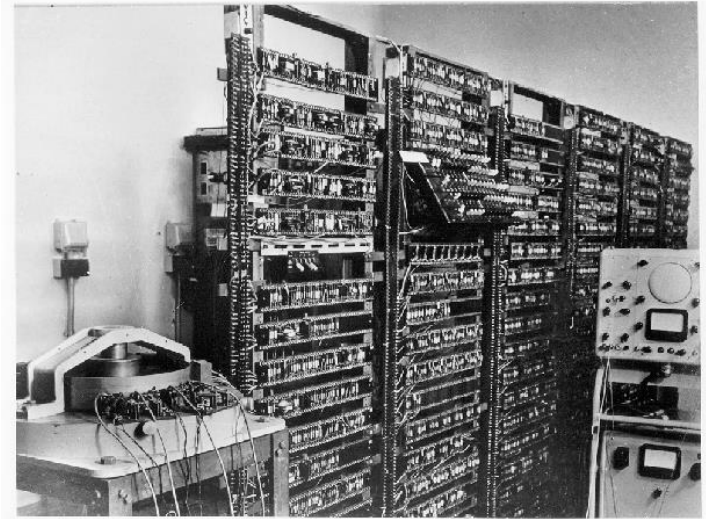
Az elektronika beszivárgása:



- elektroncsövek
- tranzisztorok
- integrált áramkörök

- bonyolult vezérlések
- mérések
- szabályozások

valósíthatók meg



Rendszer-realizációk: történelem

Az elektronikával karöltve
a számítástechnika (informatika)
bonyolulása

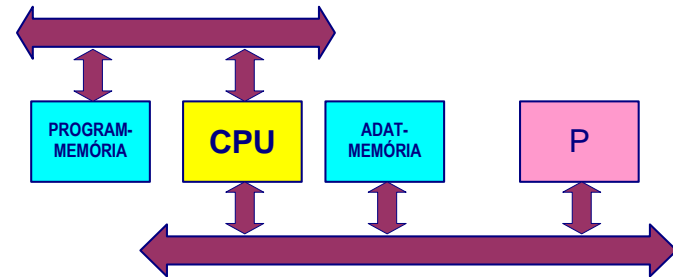
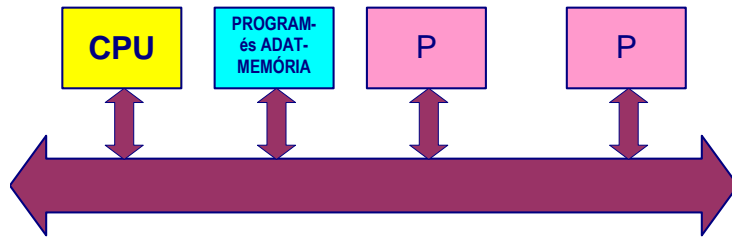
- számítógépek
- mikroszámítógépek
- beágyazott számítástechnika



Beágyazott számítástechnika

- Számítógép architektúra - általános séma
- A specifikus funkcionalitást a *szoftver* valósítja meg.

Neumann és Harvard architektúra



Univerzális elrendezés algoritmizálható problémák megoldására.



Beágyazott rendszerek

- A kifejezés kb. 20 éve jelent meg.
- Beágyazott rendszerek szórványosan már előtte léteztek.

Mikroprocesszorok, mikrovezérlők megjelenése:



Intel 4004 4-bites mikroprocesszor: 1971

az első 1 áramköri lapkán megvalósított komplett mikroprocesszor



Intel 8080 8-bites mikroprocesszor: 1974 április

az első iparban elterjedten alkalmazott mikroprocesszor



Intel 8051 8-bites mikrovezérlő: 1980

az első egy áramköri lapkán megvalósított teljes Harvard architektúrájú mikrovezérlő - kifejezetten beágyazott rendszerek céljára



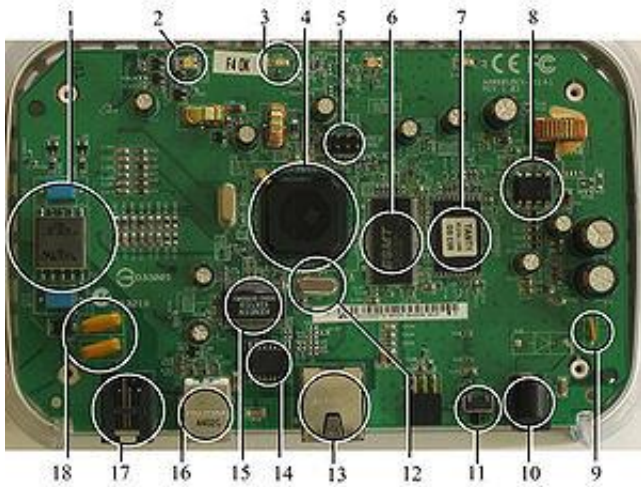
Beágyazott rendszerek ma

- A gyártott mikroprocesszorok 90%-a beágyazott alkalmazásban kerül felhasználásra.
- Beágyazott rendszerek mindenütt:

Mai modern
gépjárművek:

Netgear ADSL modem/router:

4: processzor (Texas Instruments),
6: RAM 8 MB, 7: flash memória



Mobiltelefonok:



alapsávi
processzor

RF kommunikációs
processzor

50-100 beágyazott számítógép (ECU)

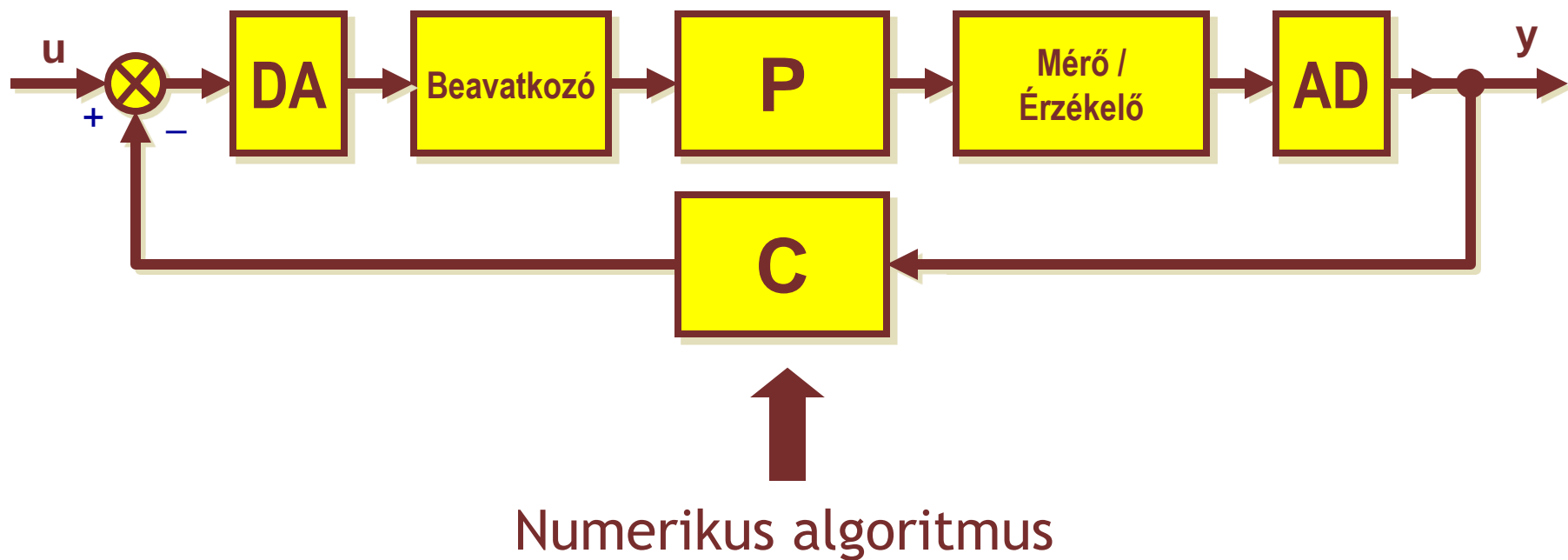


üzemanyagellátás
ABS/ASR

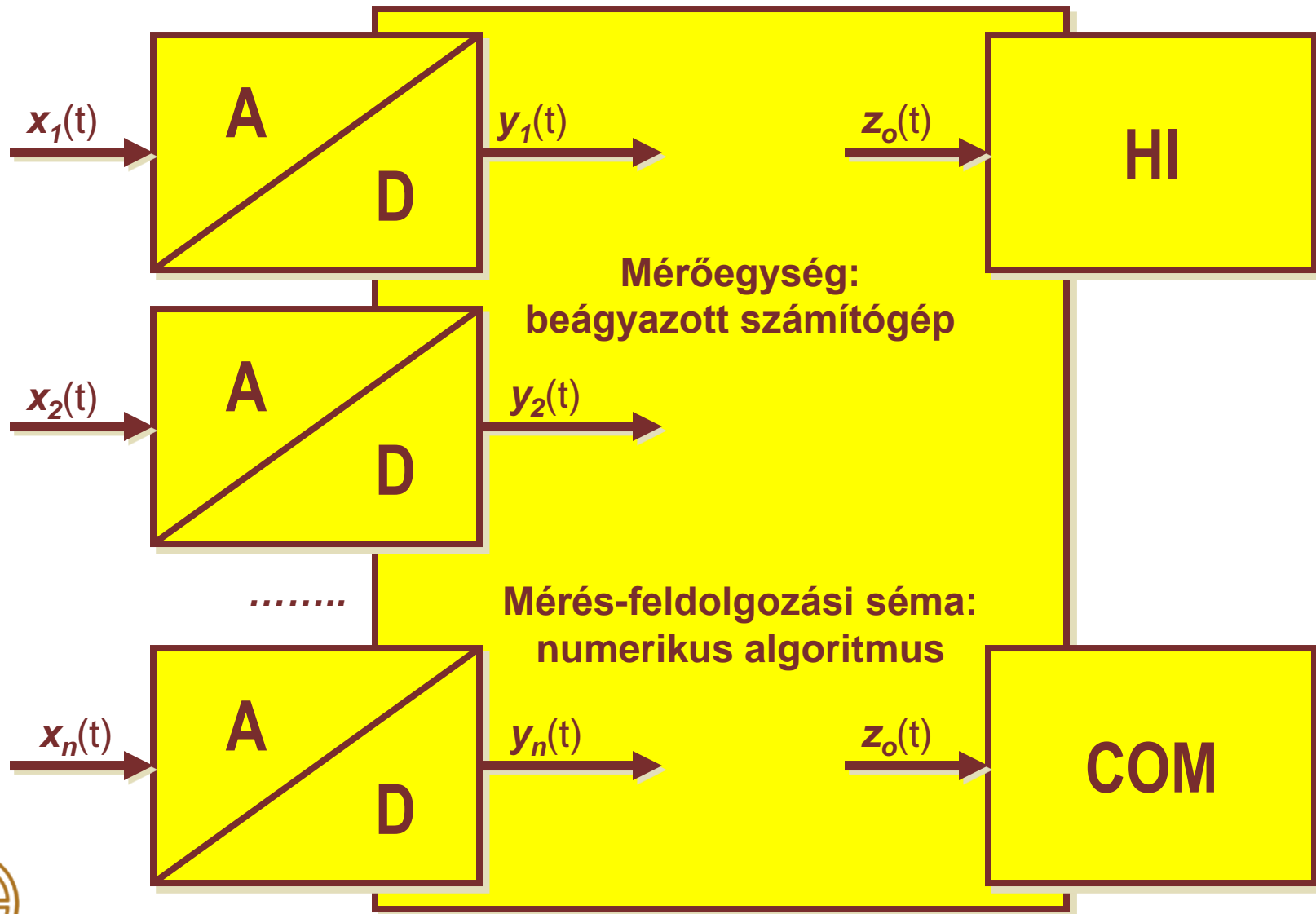


Irányítási rendszerek

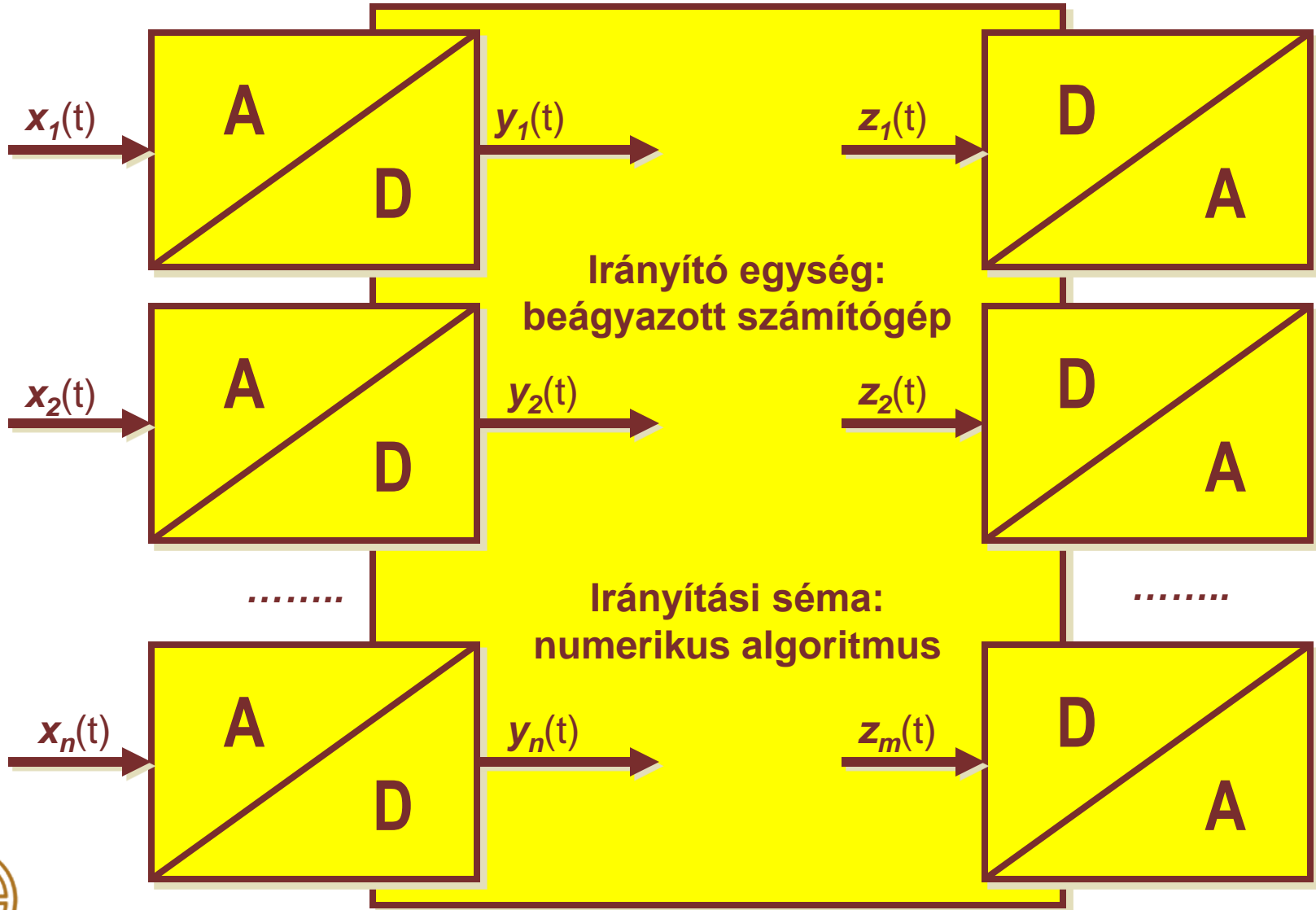
Digitális irányítási séma



Beágyazott mérési séma



Beágyazott irányítási séma



Mérőeszközök

a digitális irányítási sémában

- Az információt jelentő fizikai mennyiségeket az irányítási algoritmusokban alkalmazható numerikus értékekké alakítják.
- A eltávolítják a nem kívánt és zavaró hatásokat, zajokat, kiemelik a releváns tényezőket.

Követelmények:

- Pontosság, torzításmentesség, sebesség.
- Nem befolyásolják a mérendő rendszert.



Beavatkozó szervek

a digitális irányítási sémában

- Az irányítási algoritmusok által kiszámított numerikus értékeket analóg fizikai mennyiségekké alakítják.
- Teljesítményt szolgáltatnak a kívánt fizikai hatás elérése érdekében.

Követelmények:

- Pontosság, torzításmentesség, sebesség.
- Kis teljesítményveszteség, magas hatásfok.



Beágyazott rendszerek fejlesztése

- **Komponensek**
 - Mikrovezérlők, mikroszámítógépek
 - Memória elemek - statikus/dinamikus RAM, flash
 - Periféria áramkörök - interfész, tárolás, kommunikáció
- **Fejlesztőeszközök**
 - Tervezés, prototípus előállítás, mérés, tesztelés
 - Hardver-, szoftver- és rendszerfejlesztési eszközök
- **Módszerek**
 - Alapfeladatok, algoritmusok
 - Rendszerrealizálási módszerek
 - Módszertani fejlesztés



Beágyazott rendszerek elemei

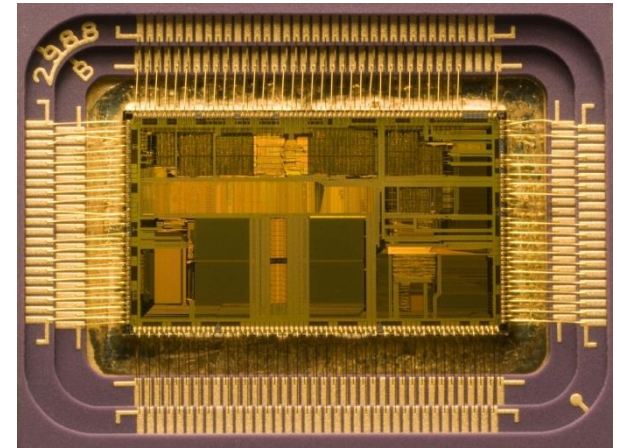
- Alapkomponensek
 - Mikrovezérlők - 8-16-32 bites egységek saját adat- és programmemóriával, perifériakészlettel
 - Mikroszámítógépek - 32-64 bites egységek belső és külső memória- és periféria-meghajtó képességgel
 - Digitális jelfeldolgozó processzorok (DSPk) - speciális utasításkészlettel kiegészített mikrovezérlők
 - Speciális feldolgozó elemek - kommunikációs processzorok, hang- és képfeldolgozó processzorok
 - Programozható logikai tömbök - FPGA - szoft-processzorok



Mikroszámítógép családok

Mikroprocesszorok

- Számítógép architektúra központi egységének egy áramköri lapkán megvalósított formája



Intel486-DX2

Példa: Intel

- 8-bites: 8080 (1974)
- 16-bites: 8086 (1978)
- 32-bites: I386 (1985), I486 (1989), Pentium (1993)
- 64-bites: Athlon 64 (2003), Intel Core 2 (2006)
ma: multicore (4-8 processzor)



Mikroszámítógép családok

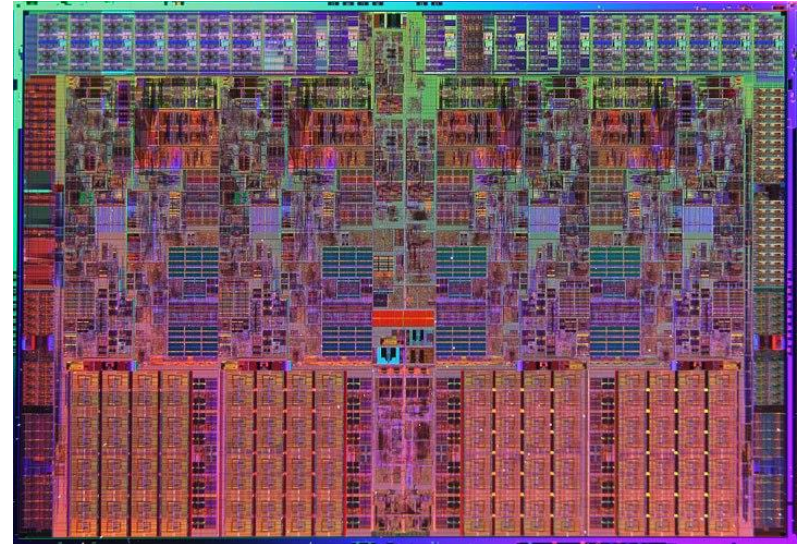
Mikroprocesszorok

Fejlődésük során egyre
komplikáltabbak lettek

CISC - Complex Instruction Set
Computer

Hátrányok:

- Nagy bonyolultságú, nagyon sok alapelemet tartalmazó, nagyon finom rajzolatú integrált áramkörök - költséges technológia
- Nagy teljesítményigény, nagy hődisszipáció, komplikált programok, programfejlesztési eszközök



Intel quad Core I7-965 Extreme Edition



Mikroszámítógép családok

Egy másik út: RISC

Reduced Instruction Set Computer



Előnyei:

- Kis számú, egyszerű, egy órajelciklus alatt végrehajtódó utasítást tartalmazó utasításkészlet
- Egyszerű architektúra és áramköri realizáció
- Gyors programvégrehajtás
- Kis teljesítményigény, kis hődisszipáció

Történelem:

- SPARC (Sun), Alpha (DEC), MIPS, PA-RISC (Hp)

Ma:

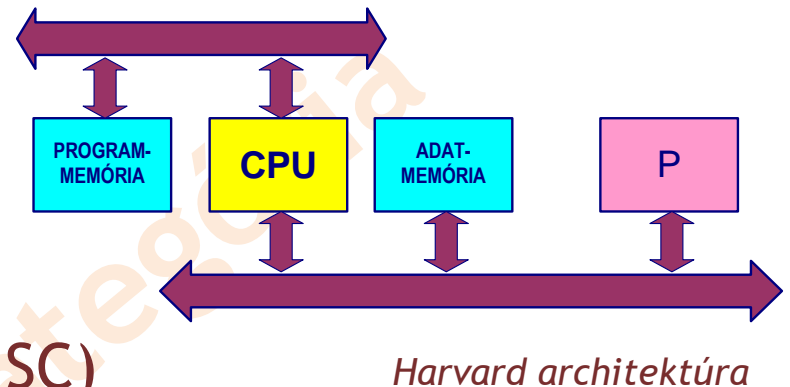
- Power, PowerPC
- ARM
- AVR (Atmel)
- Blackfin (Analog Devices)
- SuperH (Hitachi, Renesas)



Mikroszámítógép családok

Mikrovezérlők

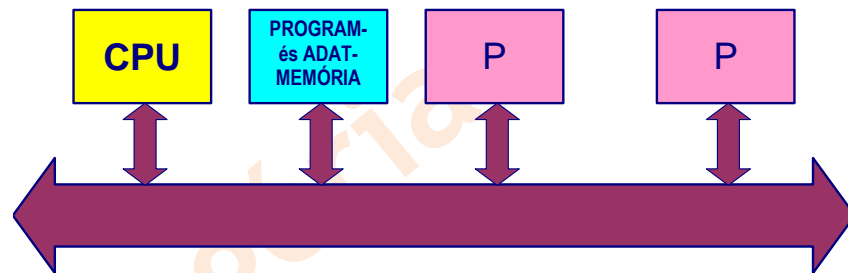
- Teljes számítógép architektúra megvalósítása egy áramköri lapkán
- Egyszerű 8-16-32 bites CPU (RISC)
- Belső RAM és programmemória
- Belső perifériakészlet:
 - időzítők, PWM
 - parallel digitális I/O: port-ok
 - soros interfészek: SPI, I2C, UART
 - hálózat: CAN, USB, Ethernet
 - Analóg I: AD, komparátor



Mikroszámítógép családok

Mikroszámítógépek

- Teljes számítógép architektúra megvalósítása egy áramköri lapkán
- Egyszerű 32-64 bites CPU (RISC)
- Kiegészítő külső RAM és „flash” memória
- Direkt memória hozzáférés (DMA)
- Lebegőpontos műveleti támogatás
- IDE, PCI, memóriakártya interfészek
- Kóderek/dekóderek: MP3, AES titkosítás
- Digitális jelfeldolgozási műveletek (DSP)



Neumann architektúra

Példák:

ARM

PowerPC

DSP (TI, AD)



Beágyazott rendszerek elemei

- Memória elemek

- Nem felejtő memóriák:

- ROM - maszkprogramozott, PROM - egyszer programozható

- EPROM - törölhető, újraprogramozható

- ma leginkább *flash* memóriák

- elektronikusan nagyon sokszor újraprogramozható
programtárolásra (Harvard architektúra)

- adattárolásra: adatgyűjtés, archiválás

- RAM memóriák:

- statikus

- kis méretű gyors memóriák átmeneti tárolásra

- dinamikus

- adattárolásra (Harvard architektúra)

- program- és adattárolásra (Neumann architektúra)



Beágyazott rendszerek elemei

- Periféria áramkörök
 - Interfész áramkörök:
 - Analóg jelinterfészek: AD és DA konverterek
 - Logikai jelinterfészek: digitális I/O
 - Fizikai jelinterfészek: érzékelők, mérőeszközök, relék, motorok, különböző fizikai elveken alapuló beavatkozó szervek
 - Kommunikációs interfészek: vezetékes és vezeték nélküli soros vagy hálózati interfészek
 - Adattároló eszközök:
 - Mágneses tároló eszközök: keménylemezes diszkek
 - Optikai tároló eszközök: CD, DVD
 - Félvezető tároló eszközök: multimédia, SD memória kártyák
 - Kommunikációs eszközök:
 - Vezetékes hálózatok: Ethernet, CAN, FlexRay
 - Vezeték nélküli hálózatok: WLAN, ZigBee



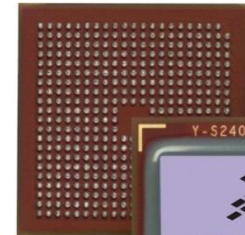
Fejlesztőeszközök: hardver

- Kiindulópont:

- Modul szint

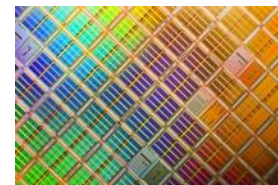


- Integrált áramköri szint



- Áramköri szint

- FPGA realizációk
- Félvezető lapka tervezés



Fejlesztőeszközök: hardver

- Hardver fejlesztő rendszerek:
 - Rendszerszintű fejlesztő eszközök: rendszer specifikáló, konfiguráló eszközök, rendszerszintű teszt, validációs és verifikációs eszközök
 - Áramkör és NYÁK tervező eszközök: elvi kapcsolási rajz szintű áramkörtervező és szimulációs, nyomtatott áramkörtervező eszközök
 - Integrált áramköri lapka tervező eszközök: elvi kapcsolat, modul vagy tranzisztor szintű tervező, szimulációs és verifikációs eszközök



Fejlesztőeszközök: szoftver

- Szoftver és rendszerszintű fejlesztő eszközök:
 - Alacsony szintű fejlesztőeszközök: assemblerek, letöltő programok, kódszintű hibakereső programok
 - Magas szintű programozási nyelvek: compiler, forrás-szintű debugger programok
 - C, C++, C# compilerek, Eclipse környezet
 - Magas szintű rendszerfejlesztési eszközök: szimbolikus, grafikus programgenerálási környezetek, rendszer konfigurációs eszközök
 - Matlab/Simulink (Mathworks)
 - LabView (National Instruments)



Beágyazott rendszerek fejlesztése

Milyen egyszerű a beágyazott rendszerfejlesztés!

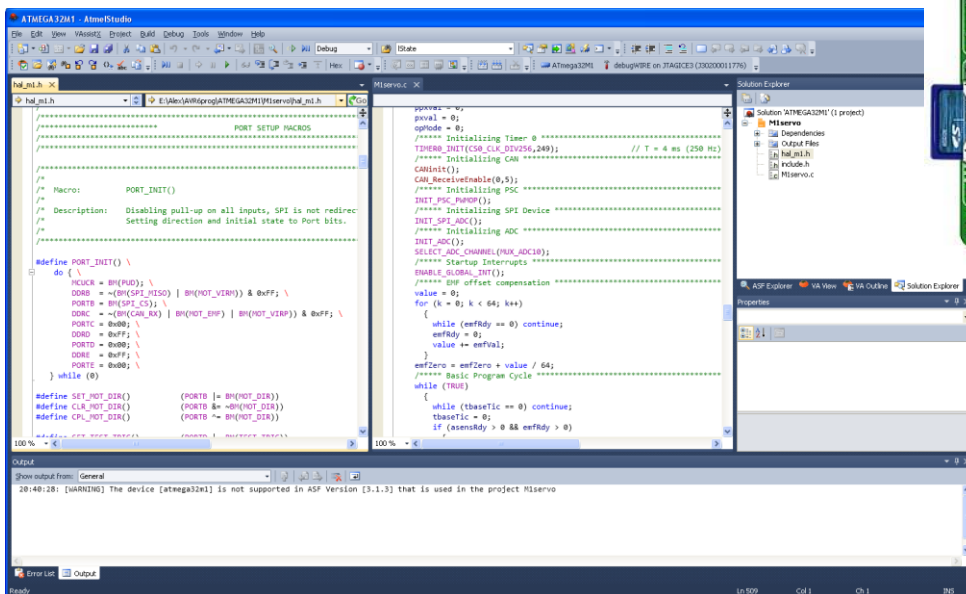
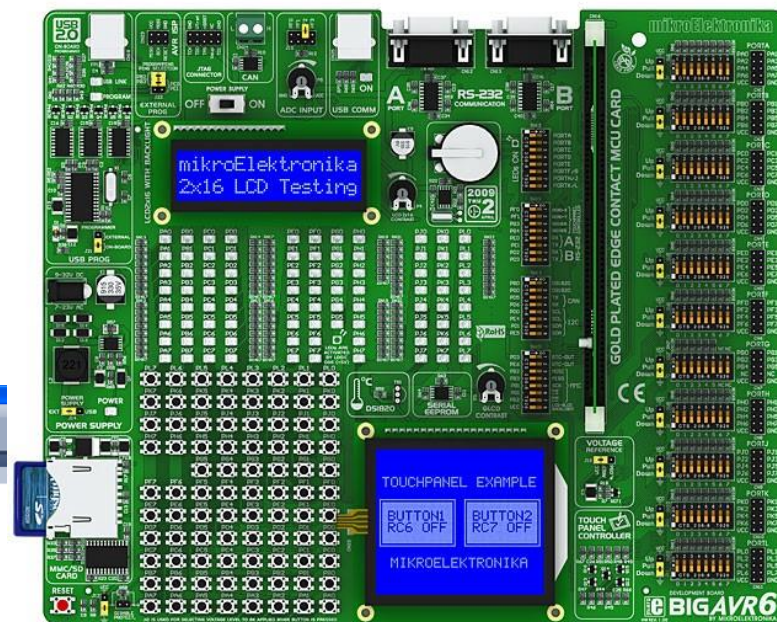
- ISP - In System Programming - olcsó programozó eszközök a flash alapú mikrovezérlők programozására
- Gyártók által ingyenesen biztosított programfejlesztő környezetek
- Olcsó debugger eszközök - JTAG
- Ingyenes, open source GNU C, C++ compilerek és debugger programok.
- Olcsó demo panelek és ingyenes referencia tervek



Példa: 8-bites mikrovezérlő



Olcsó JTAG programletöltő és debugger (AVR JTAG ICE)



Megfizethető árú demo panelek kiépített perifériakészlettel és csatlakoztatási lehetőségekkel

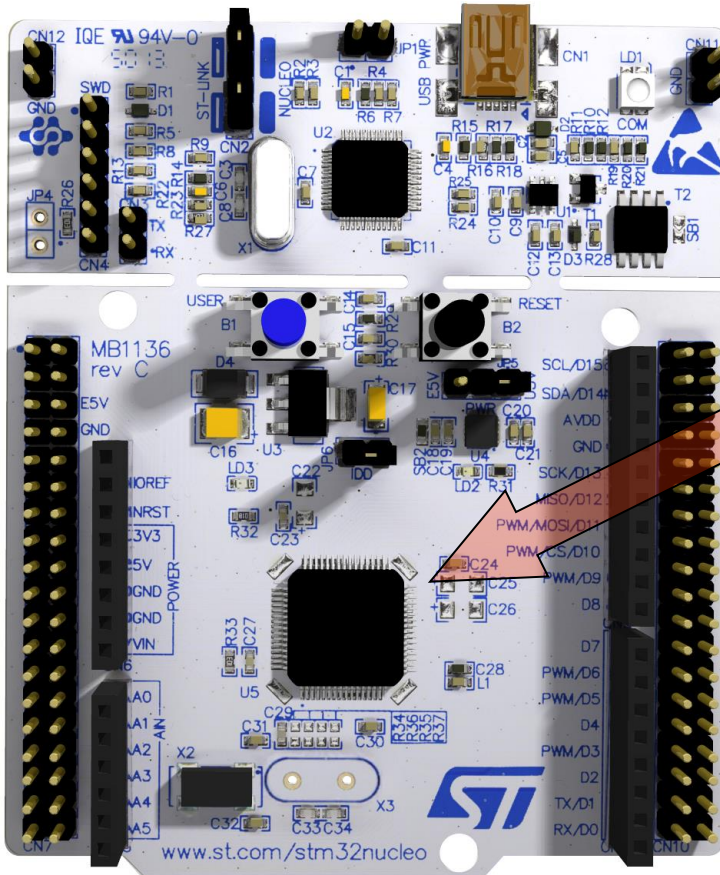
Példa: Microelektronika BIGAVR Atmel (Microchip) ATmega128 8-bites mikrovezérlővel

Ingyenesen letölthető programfejlesztő környezet, ingyenes GNU C compiler (Atmel Studio)



Példa: 32-bites mikrovezérlő

ST Nucleo-64 board



- On-board ST-LINK/V2 USB programletöltő / debugger
- STM32F401RE mikrovezérlő
- ARM Cortex M3 architektúra
- FPU + DSP
- 84 MHz órajel frekvencia
- Fejlesztő eszközök: software – fejlesztő környezet, C fordító, debugger, pl. AC6 System Workbench ingyenes fejlesztő-környezet
 - Eclipse környezet
 - Beépített editor, debugger
 - GNU GCC compiler

STM32 platform



AC6 System Workbench – STM32

workspace - C/C++ - DecaRangingEVB1000_F401RE/Src/main.c - Eclipse

File Edit Source Refactor Navigate Search Project Run Window Help

Project Explorer

- DecaRangingEVB1000_F401RE
 - Includes
 - Drivers
 - Inc
 - Middlewares
 - Src
 - main.c
 - stm32f4xx_hal_msp.c
 - stm32f4xx_it.c
 - system_stm32f4xx.c
 - usb_device.c
 - usbdc_cdc_if.c
 - usbdc_conf.c
 - usbdc_desc.c
 - startup
 - RemoteSystemsTempFiles
 - DecaRangingEVB1000_F401RE
 - DecaRangingEVB1000_F401RE
 - STM32F401RETx_FLASH.Id

```
36 | * File Name      : main.c
48 | /* Includes -----*/
49 | #include "main.h"
50 | #include "stm32f4xx_hal.h"
51 | #include "usb_device.h"
52 |
53 | /* USER CODE BEGIN Includes */
54 |
55 | /* USER CODE END Includes */
56 |
57 | /* Private variables -----*/
58 | SPI_HandleTypeDef hspi1;
59 | SPI_HandleTypeDef hspi2;
60 |
61 | /* USER CODE BEGIN PV */
62 | /* Private variables -----*/
63 |
64 | /* USER CODE END PV */
65 |
66 | /* Private function prototypes -----*/
67 | void SystemClock_Config(void);
68 | static void MX_GPIO_Init(void);
69 | static void MX_SPI1_Init(void);
70 | static void MX_SPI2_Init(void);
71 | static void MX_NVIC_Init(void);
72 |
73 | /* USER CODE BEGIN PFP */
74 | /* Private function prototypes -----*/
75 |
```

Outline

- main.h
- stm32f4xx_hal.h
- usb_device.h
- hspi1 : SPI_HandleTypeDef
- hspi2 : SPI_HandleTypeDef
- SystemClock_Config(void) : void
- MX_GPIO_Init(void) : void
- MX_SPI1_Init(void) : void
- MX_SPI2_Init(void) : void
- MX_NVIC_Init(void) : void
- main(void) : int
- SystemClock_Config(void) : void
- MX_NVIC_Init(void) : void
- MX_SPI1_Init(void) : void
- MX_SPI2_Init(void) : void
- MX_GPIO_Init(void) : void
- _ErrorHandler(char*, int) : void
- assert_failed(uint8_t*, uint32_t) : void

Problems Tasks Console Properties Remote Systems

No consoles to display at this time.

Writable Smart Insert 3:1

System Workbench
for STM32

Based on: eclipse



STM32Cube beágyazott szoftver (ingyenes)

STM32CubeMX konfigurátor

STM32CubeMX DecaRangingEVB1000_F401RE.ioc: STM32F401RETx

File Project Pinout Window Help

Keep Current Signals Placement Find Show User Label

Pinout Clock Configuration Configuration Power Consumption Calculator

Configuration

- MiddleWares
 - FATFS
 - FREERTOS
 - LIBJPEG
 - USB_DEVICE
 - USB_HOST
- Peripherals
 - ADC1
 - CRC
 - I2C1
 - I2C2
 - I2C3
 - I2S2
 - I2S3
 - IWDG
 - RCC
 - RTC
 - SDIO
 - SPI1
 - SPI2
 - SPI3
 - SYS
 - TIM1
 - TIM2
 - TIM3
 - TIM4
 - TIM5
 - TIM9
 - TIM10
 - TIM11
 - USART1
 - USART2
 - USART6
 - USB_OTG_FS
 - WWDG

STM32F401RETx LQFP64

Pinout labels: VDD, VSS, PB9, PB8, BOO.., PB7, PB6, PB5, PB4, PB3, PD2, PC12, PC11, PC10, PA15, PA14, VBAT, PC13.., PC14.., PC15.., PH0.., PH1.., NRST, PC0, PC1, PC2, PC3, VSSA.., VREF.., PA0.., PA1, PA2, PA3, VSS, VDD, PA4, PA5, PA6, PA7, PC4, PC5, PB0, PB1, PB2, PB10, VCAP.., VSS, VDD, PA13, PA12, PA11, PA10, PA9, PA8, PC9, PC8, PC7, PC6, PB15, PB14, PB13, PB12, J_TMS, USB_DP, USB_DM, USB_ID, USB_VBUS, LED8, LED7, LED6, LED5, LCD_MOSI, LCD_MISO, LCD_SCK, LCD_NSS, DW_IRQn, J_TRST, J_TDO, J_TDI, J_TCK, DW_RESET, DW_NSS, DW_SCK, DW_MISO, DW_MOSI, DW_Input, DW_WUP, LCD_RS, PB2_BOOT1, LCD_RW.



Beágyazott rendszerek fejlesztése

Nem is olyan egyszerű a beágyazott rendszerfejlesztés!

- Professzionális tervező és fejlesztő eszközök - igen költségesek
- 16-32-bites mikroszámítógépek előállítására komoly technológiát követel meg: 4-6-8 rétegű NYÁK, finom rajzolat, pontos szerelés
- Nagy órajelfrekvenciák vagy analóg interfészek komoly szakértelmet és speciális tervező eszközöket követelnek meg
- Tesztelés, bemérés komoly műszerparkot követel meg.

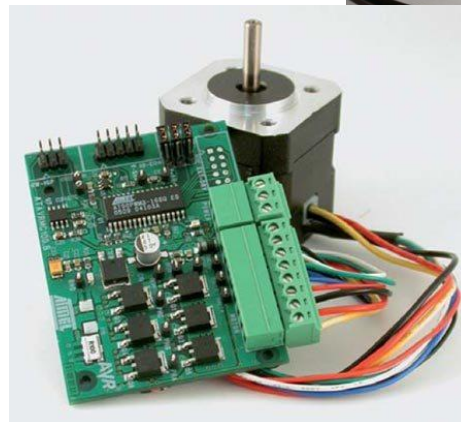


Beágyazott rendszerek - mechatronika

- Mérés
 - Irányítás
 - Beavatkozás
 - Kommunikáció
- } Mechanikai rendszerek

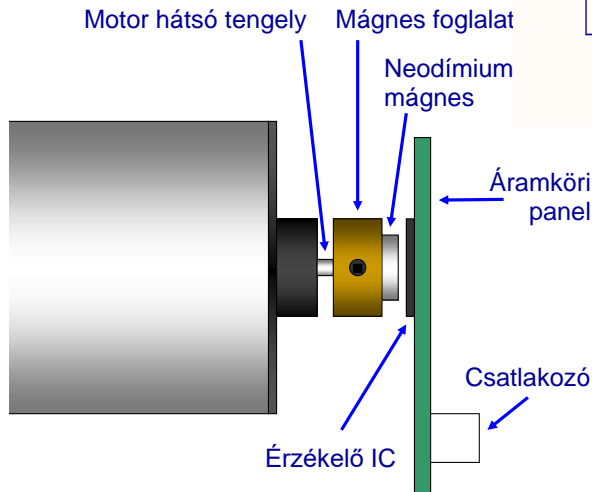
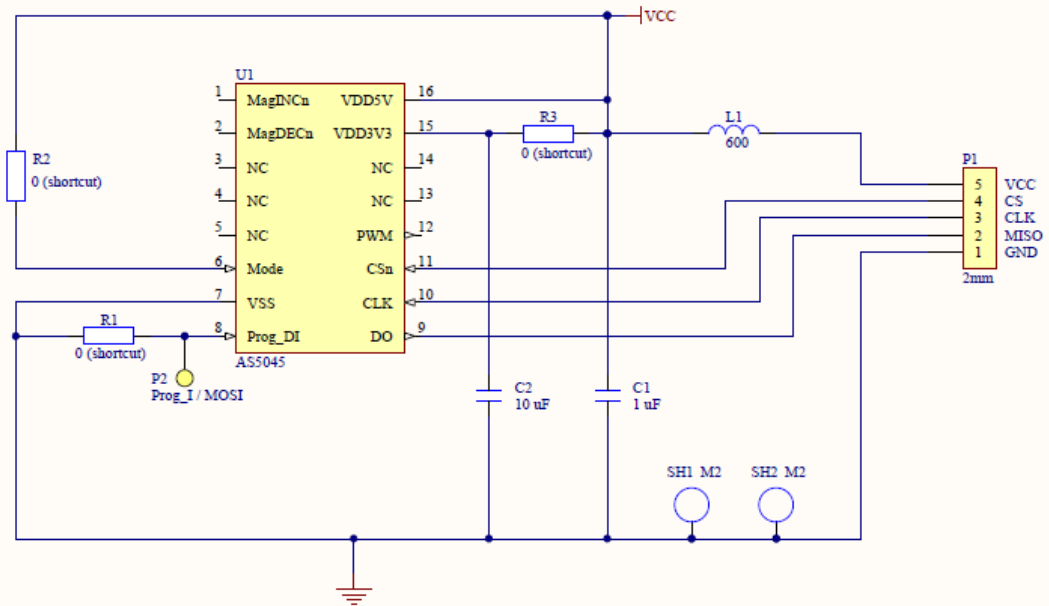
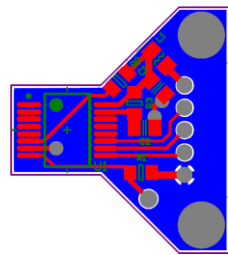
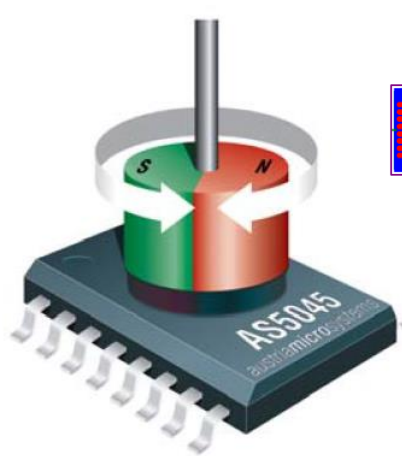


- Mérő- és irányító-
rendszerek



Példa: abszolút szöghelyzet érzékelő

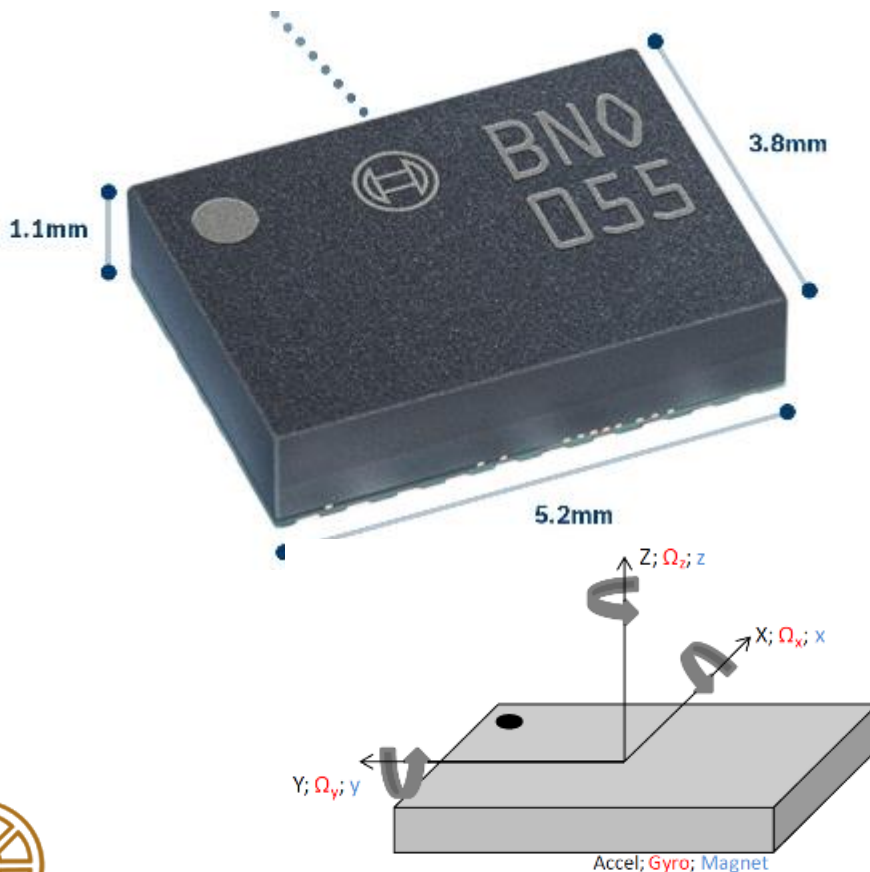
AMS AS5045: mágneses elvű abszolút szöghelyzet érzékelő



- Érzékelés 0 - 360°
- 12 bites digitális kimenet
- SPI interfész
- Diameriálisan polarizált mágnes
- Tengelyvégre szerelhető (on-axis) szenzor

Példa: inerciális mérőegység (IMU)

Bosch Sensortech BNO055:
9 szabadságfokú IMU érzékelő

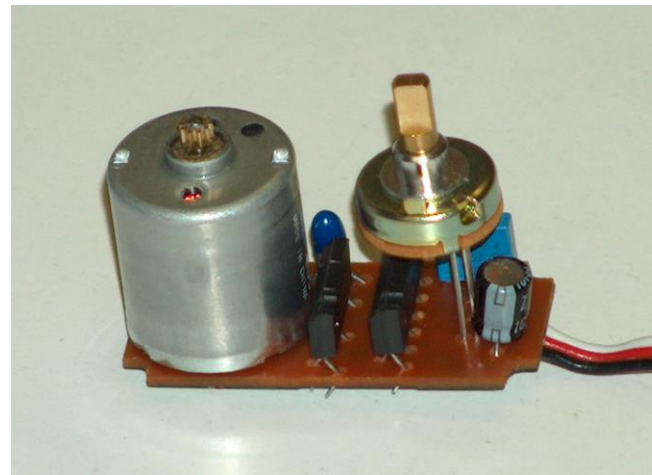
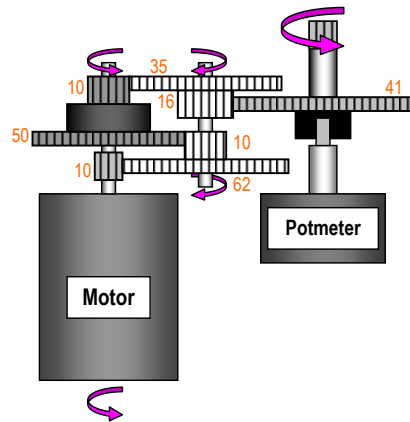
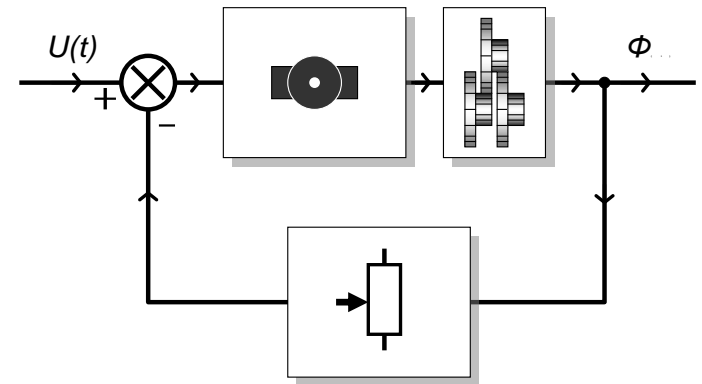
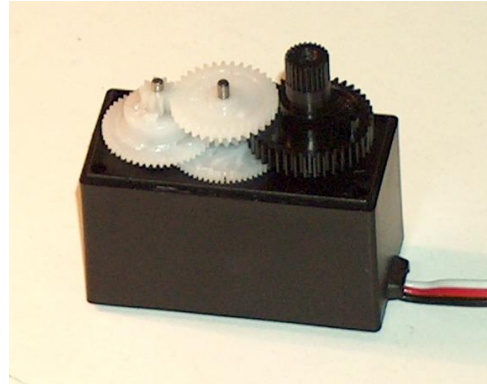


- 3-irányú gyorsulásmérő
- 3-tengelyes giro
- 3-irányú magnetométer
- Digitális kimenetű
- I²C interfész
- Kombinálható GPS egységgel
- Szenzorfúzió megvalósítása, ezzel
 - Pontos pozíció
 - Sebesség, haladási irány
 - Állásszögek (pl. Euler szögek) számítása.



Példa: pozíció szervo irányítás

„Hobbi” szervo



Professzionális változat:



$$\frac{10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 16}{62 \cdot 50 \cdot 35 \cdot 41} = \frac{32}{8897} = \frac{1}{278.03125}$$



Ebben a félévben:

Érzékelők

- A mechatronikában alkalmazott érzékelési megoldások
- Érzékelés, mérés, és adat-feldolgozás módszerei
- Analóg jelinterfészek
- Digitális jelinterfészek
- A mérésadat-feldolgozás, jelfeldolgozás alapjai
- A jelfeldolgozás alapfeladatai: becslés, szűrés ...
- Digitális realizációk - beágyazott rendszerek
- Gyakorlati ismeretek: fejlesztés 32-bites ARM platformon.



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

Dr. Soumelidis Alexandros



email: soumelidis@sztaki.hu



BME KÖZLEKEDÉSMÉRNÖKI ÉS JÁRMŰMÉRNÖKI KAR
32708-2/2017/INTFIN SZÁMÚ EMMI ÁLTAL TÁMOGATOTT TANANYAG