

# Robotikai Vezérlőrendszerek

## 1.előadás

Ballagi Áron

# Az előadó

- Ballagi Áron egyetemi adjunktus
  - Automatizálási Tsz
  - ÚT111 – AIR labor
  - Tel.: 3155 v. 3255
  - E-mail: [ballagi@sze.hu](mailto:ballagi@sze.hu)

# A tárgy

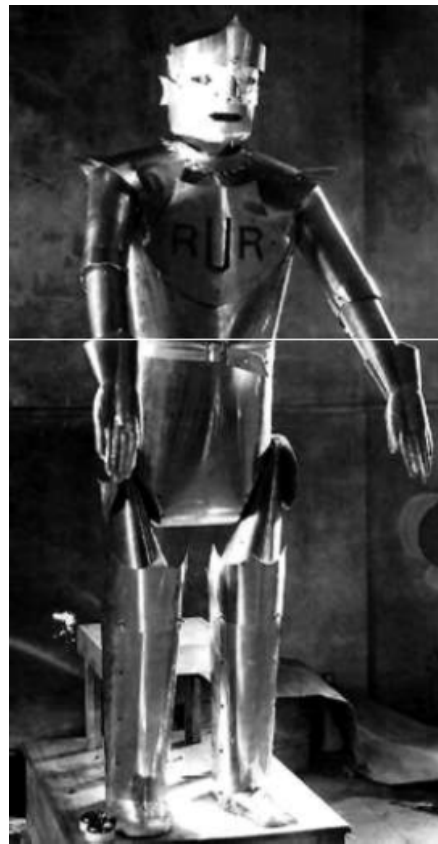
- Áttekintés
- Mobil robotok építő elemei
- Ipari robotok felépítése
- Ipari robotok vezérlése
- Zh. / Labor
  - Autonóm és Intelligens Robot Labor ([AIR-lab](#))

# Történeti áttekintés

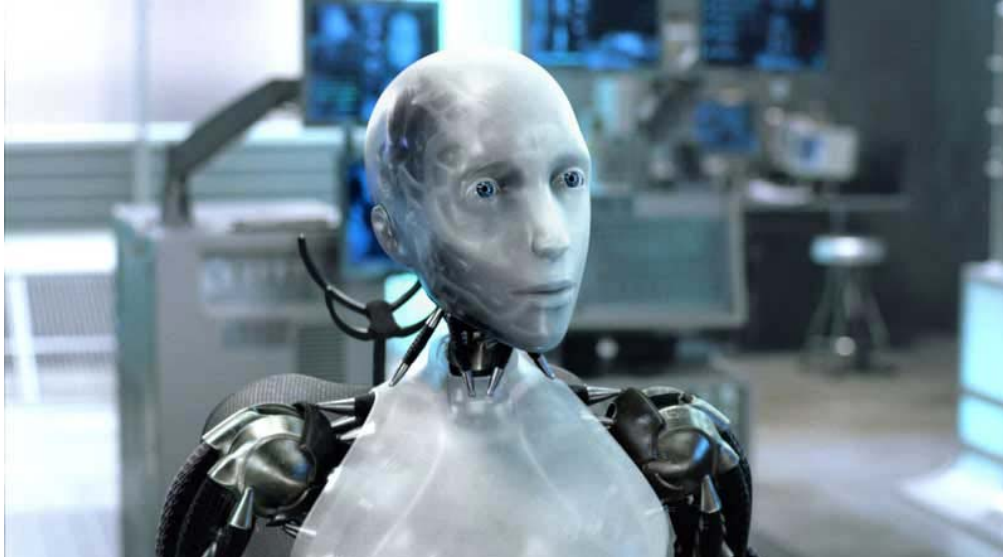
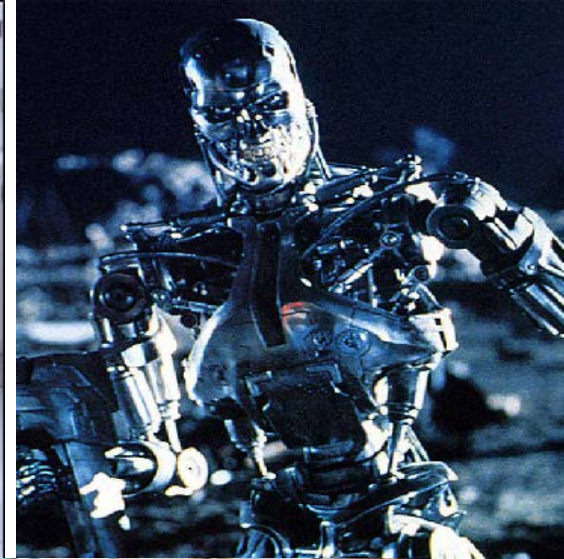
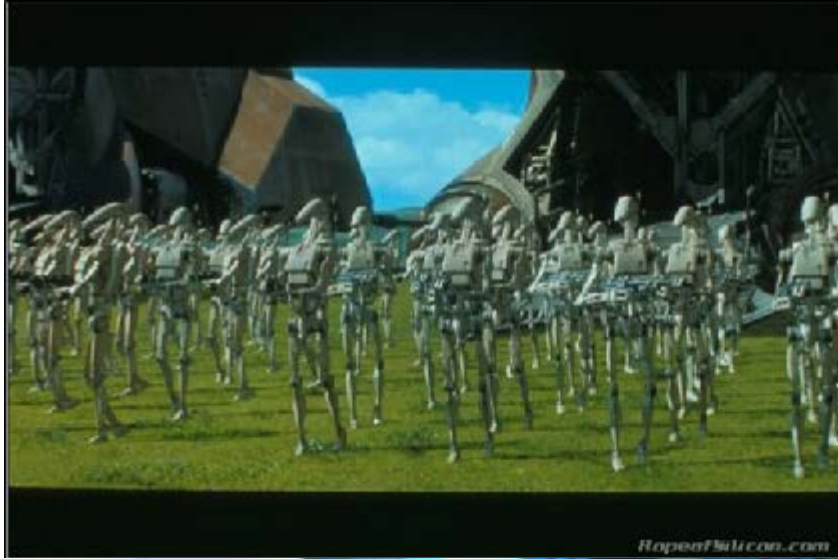
- 1951. Teleoperátor - Goertz és Bergsland (amerikai szabadalom)
- 1954. Kétkaros portálrobot szabadalom – C.W. Kenwart
- 1959. Első sorozatgyártású ipari robot – Planet Co.
- 1960. Első Unimate robot (számjegy vezérlésű, hidraulikus hajtás)
- 1966. Első festő robot – Trallfa Co.
- 1971. Stanford kar, tisztán villamoshajtású
- 1973. Kísérleti programozási nyelvek , SIRI, WAVE, AL
- 1974. ASEA Irb6 és Cincinnati Milacron T3 villamos hajtású robotok
- 1975. Első szerelési művelet – Olivetti SIGMA
- 1976. Rugalmas csukló – Charles Draper labor
- 1978. PUMA robot – Unimation
- 1979. SCARA robot – Yamanashi Egyetem
- 1981. Robotok direkt hajtása – Carnegi-Mellon Egyetem
- 1984. WABOT-2 antropomorph robot – Waseda Egyetem
- 1985. Harmadik generációs – autonóm mobil robotok megjelenése
- 1995. Robot platformok

# Robot?

- Karel Capek: Rossum's Universal Robots (RUP) – 1920
  - gépi szörnyek – androidok



# Robotok - Scifi



# Robot - Scifi

- A filmes robotok tulajdonságai:
  - Természetes mozgásúak, gyorsabbak, erősebbek és ügyesebbek mint mi
  - Extra intelligensek
  - Határozott személyiséggel rendelkeznek
  - Érzelmeik kimutatására képesek
  - Természetes nyelvet beszélnek és problémamentesen értenek minket
  - Gyakran át akarják venni az uralmat a földön

# Robot – „a való világ”

- A robotok felhasználásának fő irányai manapság:
  - Ipari robotok
  - Katonai robotok
  - Űrkutatási robotok
  - Háztartási robotok
  - Szórakoztató robotok
  - Kutatási, oktatási robotok



# Az ipari robot

- VDI 2860: Az ipari robot univerzálisan állítható többtengelyű mozgó automata, melynek mozgás-egymásutánisága (utak és szögek) szabadon – mechanikus beavatkozás nélkül – programozható és adott esetben szenzorral vezetett, megfogóval, szerszámmal vagy más gyártó eszközzel felszerelhető, anyagkezelési és technológiai feladatra felhasználható.
  - Tengelyek alatt a programozott mozgásokat kell érteni (több tengely – több programozott mozgás)



# Katonai robotok

- Komoly kutatási terület, széles erőforrásokkal
- Morális kérdések sorát veti fel



# Robotgun



# UAV

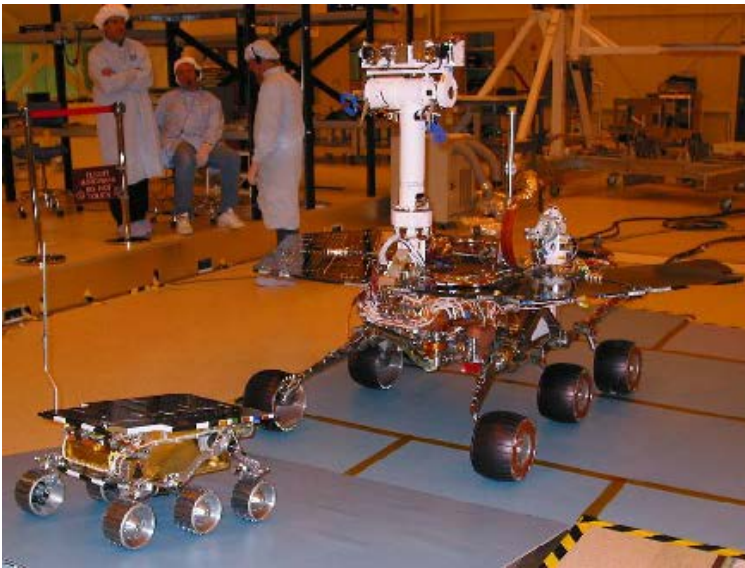


# Bigdog



# Űrkutatási robotok

- Nagy költségvetésű, magas potenciálú kutatási terület
- Extrém körülmények, extrém megbízható robotok

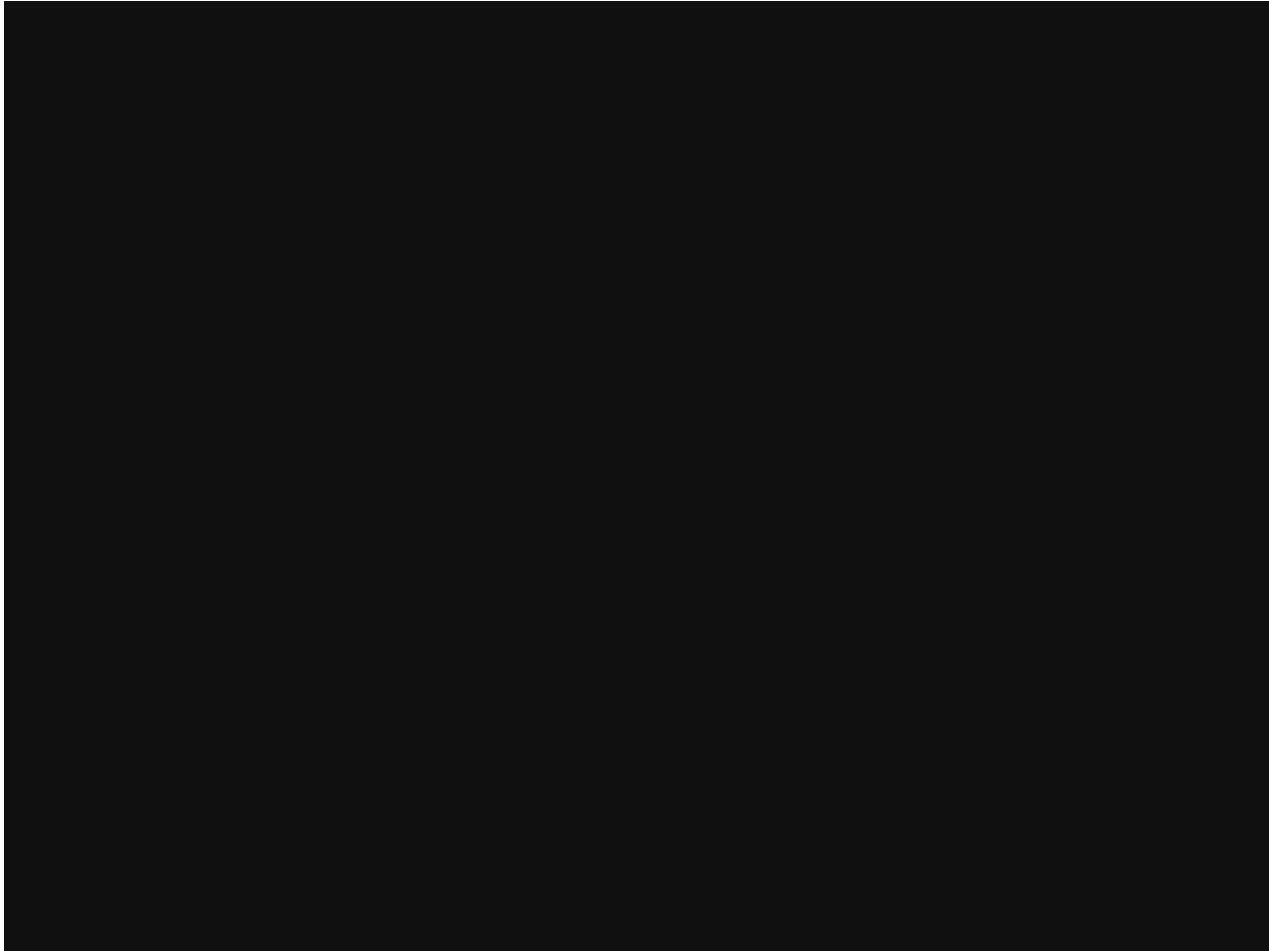


# Háztartási robotok

- Gyorsan fejlődő terület, a következő 20 - 25 év hozhat áttörést
  - Számptalan megoldás már napjainkban is:
    - Roomba takarító robot (iRobot Corporation)
    - RoboMower fűnyíró (Friendly Robotics)



# iRobot Roomba





# Szórakoztató robotok



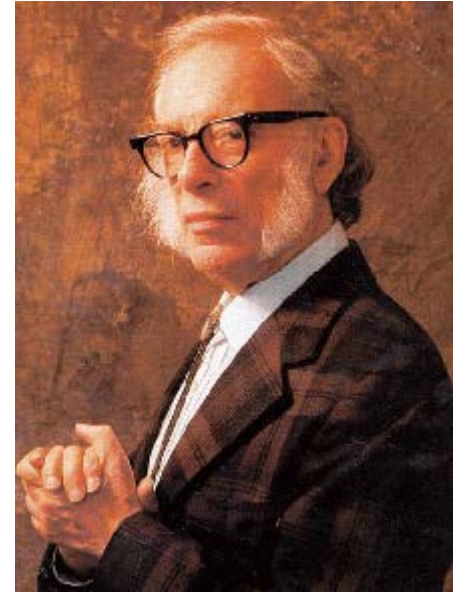
# Kutatási robotok

- Nagyon aktív kutatási terület
  - Új megoldások mellett a határ-tudományok gyűjtő helye
    - mechatronika
    - szenzortechnika
    - irányítástechnika
    - számítási intelligencia



# Etika és Robotika

- A vége lehet a Terminátor?
- Asimov törvényei:
  1. A robot nem árthat az embernek, és nem nézheti tétlenül, ha az embert veszély fenyegeti.
  2. A robot engedelmeskedni tartozik az emberek parancsainak, kivéve, ha ezek a parancsok az Első Törvénybe ütköznek.
  3. A robot köteles megvédeni magát mindaddig, amíg ez nem ütközik az Első vagy a Második Törvénybe.



# Robotok rendszertana

- A JIRA (Japanese Industrial Robot Association) a következő osztályozást javasolja:
  - Class 1: Kézi vezérlésű eszközök
  - Class 2: Fix szekvenciájú robotok
  - Class 3: Változó szekvenciájú robotok
  - Class 4: Visszajátszó (playback) robotok
  - Class 5: Számvezérlésű (NC) robotok
  - Class 6: Intelligens robotok

# Robotok rendszertana

- Az intelligens robotokra koncentrálunk, melyek a következő osztályokra oszthatók:
  - Manipulátor robotok (ipari robotok)
  - Mobil robotok
  - Humanoid (Antropoid) robotok

# (Statikus) Manipulátor robotok

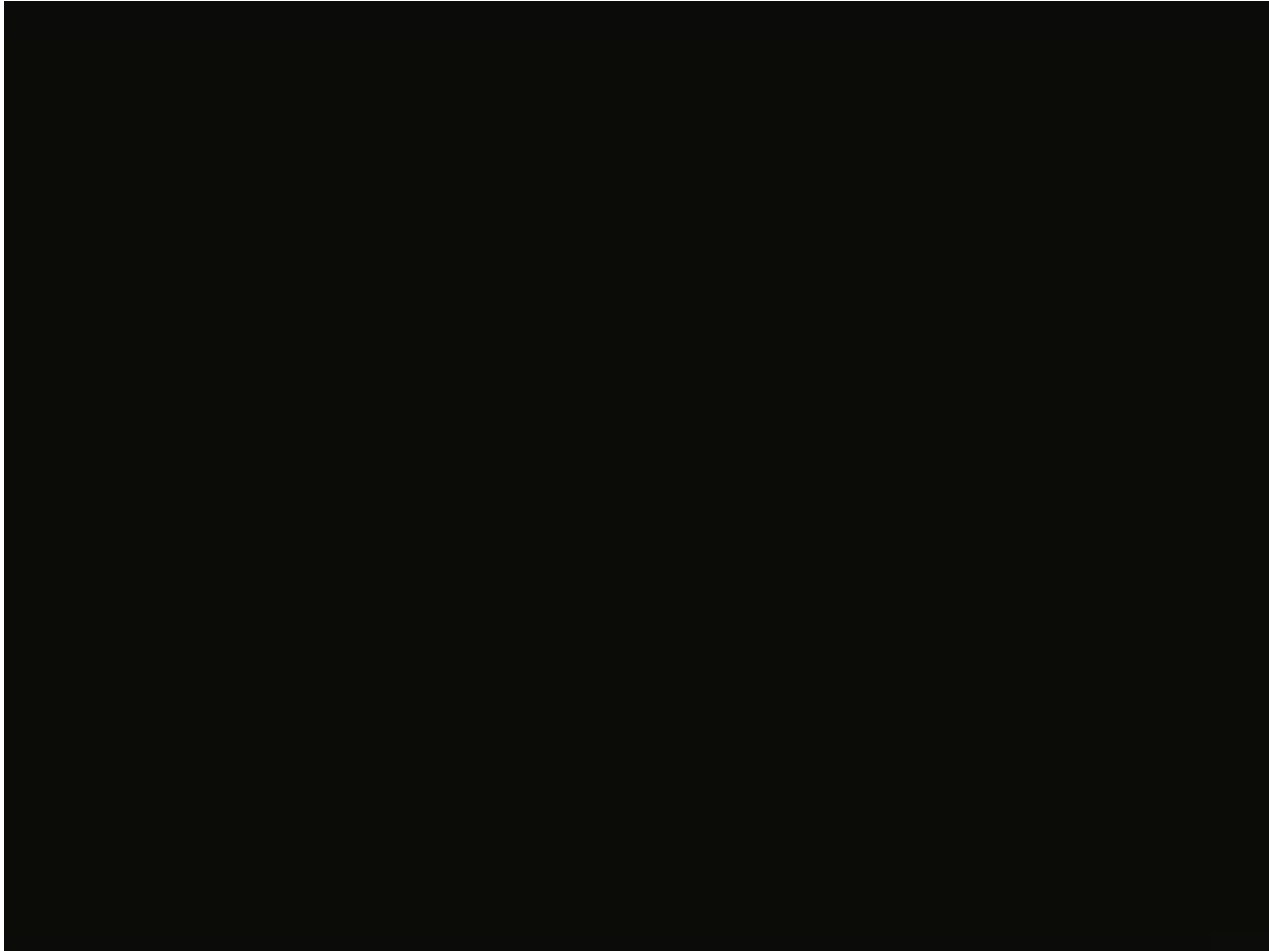
- Rögzített alappal - statikus robotok
- Egy adott munkatérben csuklók kinematikai láncán keresztül szabadon programozhatók, bármely pontot képesek elérni
- Legismertebb manipulátorok az ipari robotok – 2 milliárd dolláros üzlet!



# Mobil robotok

- Következő kategóriákba csoportosíthatók:
  - Kerekes robotok
  - Lábon mozgó robotok
  - Légi (repülő) robotok (UAVs)
  - Úszó (merülő) robotok
  - Egyéb

# Kerekes robotok





# Urban DARPA



# Lábon mozgó robotok



# Repülő robotok



# Humanoid robotok

- Hybrid robot: egy mobil robot manipulátorokkal felszerelve
- Szabadon mozgó „ipari” robotok
- Irányítási szempontból összemérhetetlenül bonyolultabb a statikus robotoknál
- Antropoid felépítés: lábakon mozgó emberszabású gépek

# Humanoid



# Mobil robotok alkalmazása

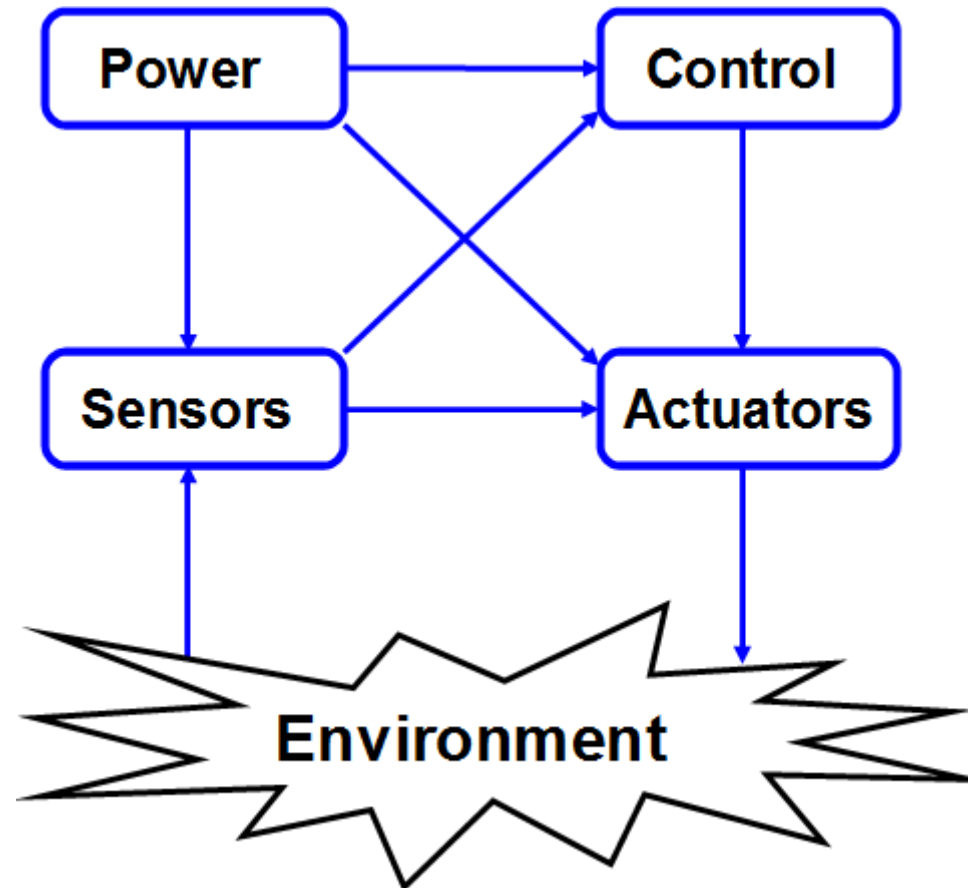
- Kül- és beltérben
- Strukturált vagy strukturálatlan környezetben
  - Űr, bányák, erdők...
  - Csővezeték, fúrótorony...
  - Katonáság, tűzoltás...

# Robotok alkalmazásának előnyei

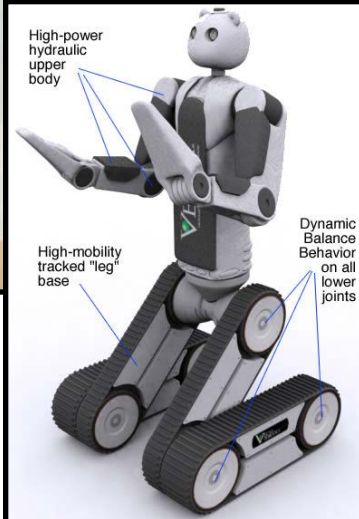
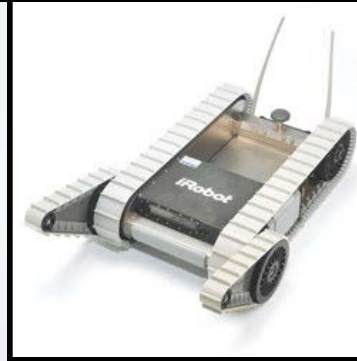
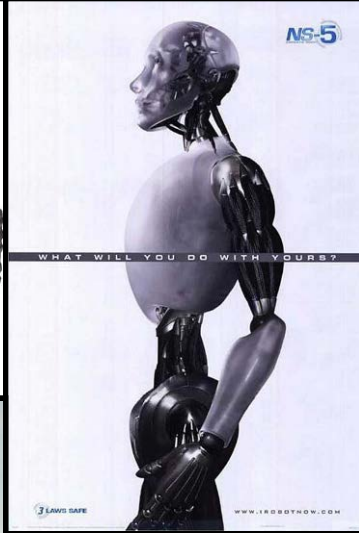
- Munkaköltségek csökkentése
- Precizitás, hatékonyság növelése
- Rugalmasabbak a célgépeknél
- Unalmas, ismétlődő munkákat végeznek
- Veszélyes környezetben dolgoznak

# Mobil robotok alkotórészei

- A fő alkotó elemek:
- Energia ellátás
- Szenzorok
- Irányító rendszer
- Beavatkozók, aktuátorok







# Mobil Robotika: 2. Beavatkozók - Aktuátorok

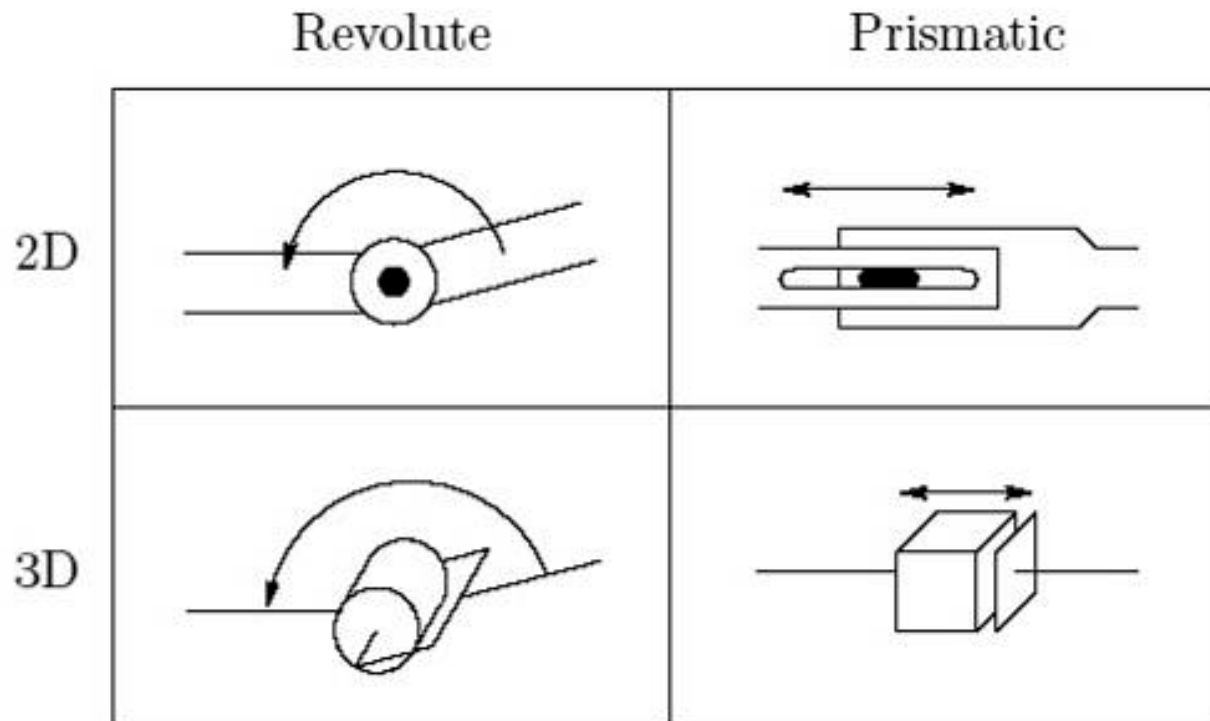
A robotnak fizikai kapcsolatban kell lennie a működési környezetével

A beavatkozók vagy aktuátorok azok a komponensek melyekkel képes a környezetét befolyásolni, erőt tud kifejteni, mozogni tud, stb.

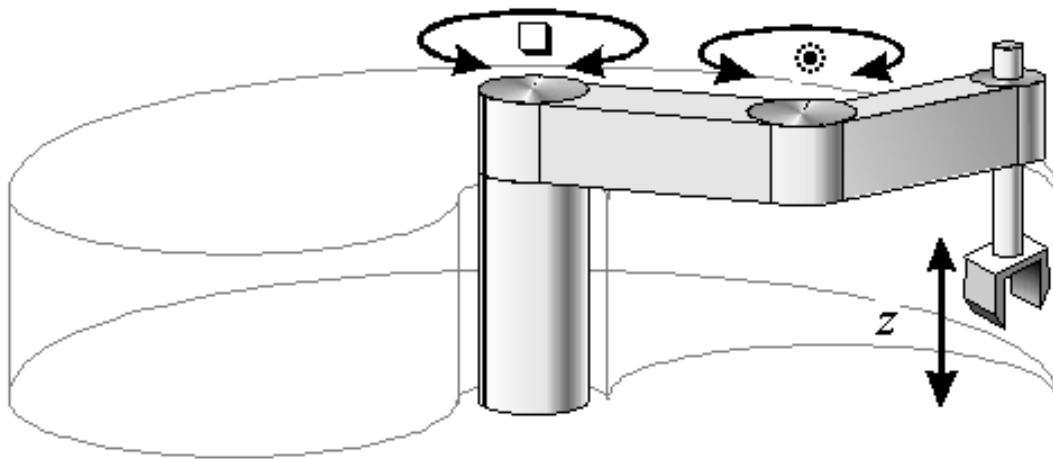
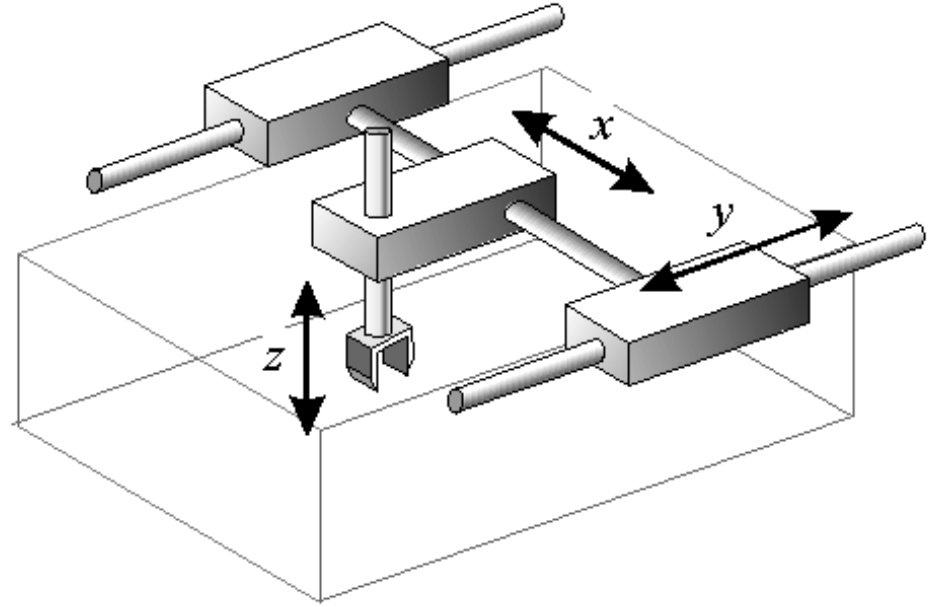
Gyakori aktuátorok a mobil robotikában:

- Villamos hajtások
- Pneumatika és hidraulika
- Mesterséges izmok

A robotok kinematika kényszerei („ízületei”) lehetnek csuklók (forgó mozgás) és csúszkák (transzlációs mozgás)

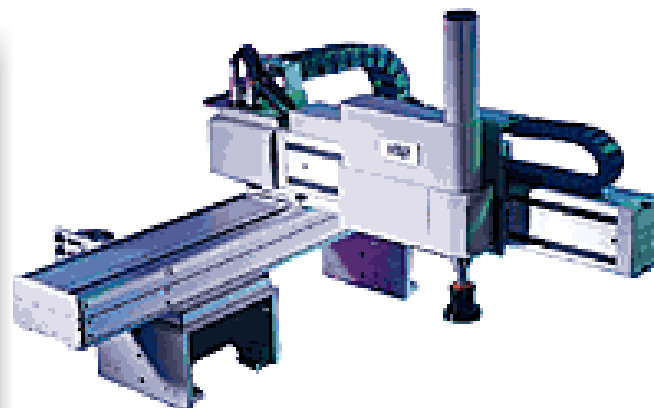


Prismatic Cartesian  
robot



Rotary SCARA  
robot

# Robot „ízületek” (folyt...)



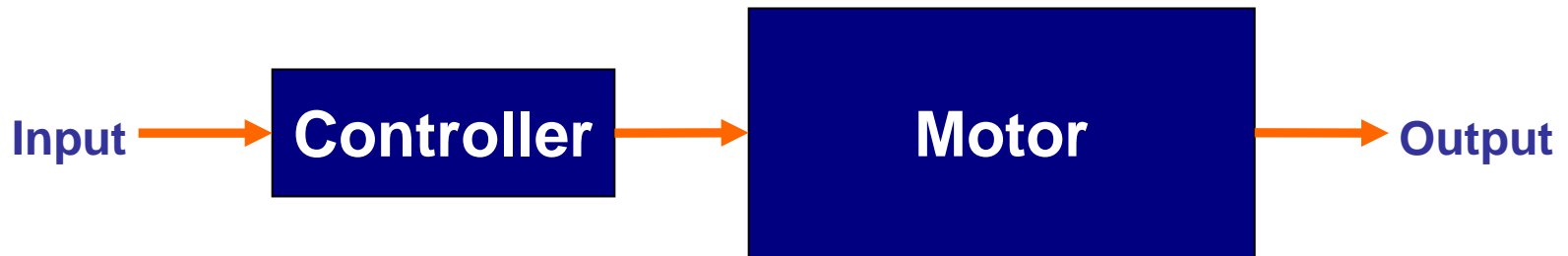
A robotok, a beavatkozók irányítása szempontjából két csoportra oszthatók:

- Szervo robotok
- Nem szervo robotok

A nem szervo robotok általában nyílt-hurkú vezérléssel rendelkeznek, ahol a mozgások előre definiált mechanikai korlátok határozzák meg.

A szervo robotok zárt-hurkú szabályozási köröket tartalmaznak.

A nyílt-hurkú vezérlésnél nincs visszajelzés kimenetről, az input egy belső állapot, modell alapján kerül előállításra.



Vezérlések alkalmazhatók olyan jól definiált esetekben, ahol a bemenetek hatásai a kimenetekre matematikailag nagy biztonsággal modellezhetők.

Például egy állandó terhelést mozgató villanymotor sebessége és a betáplált feszültség közti összefüggés egyértelműen leírható, így nyílt-hurkú vezérléssel jól kezelhető.

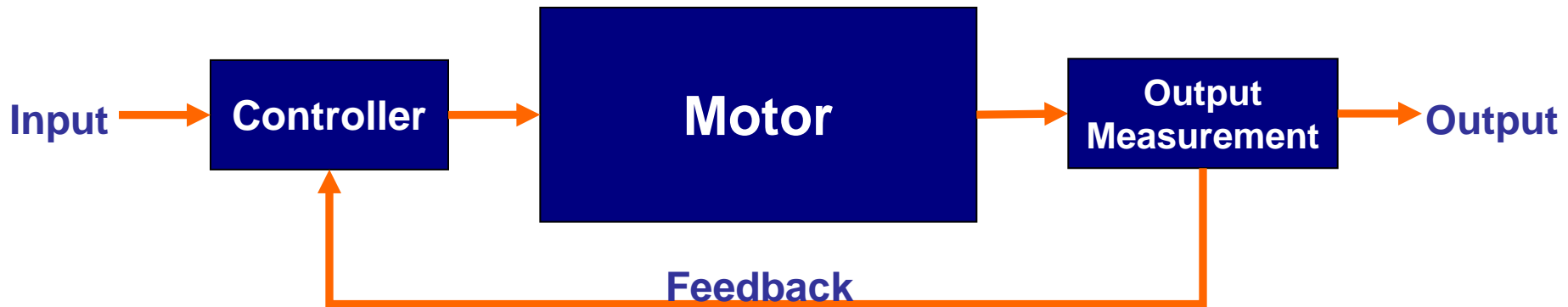


Vezérléseket egyszerű folyamatknál használnak, ahol a visszajelzés nem kritikus.

- Egyszerű a vezérlő felépítése
- Olcsó

Nagy pontosságú és adaptív irányítások elérésére nem alkalmas, ezekben az esetekben visszacsatolt (zárt-hurkú) szabályozásokra van szükség.

A zárt-hurkú vagy visszacsatolt szabályozás folyamatos visszajelzést kap a bemenet kimentre gyakorolt hatásáról.



A kimeneten mért értékek befolyásolják a bemenet értékeit.

A visszacsatolt szabályozások a következő előnyökkel rendelkeznek a vezérlésekhez képest:

- Zavarok korrigálása
- A modell hibáinak korrigálása
- Instabil folyamatok stabilizálása
- Kisebb érzékenység a paraméterek változására
- Alapjel követési képesség

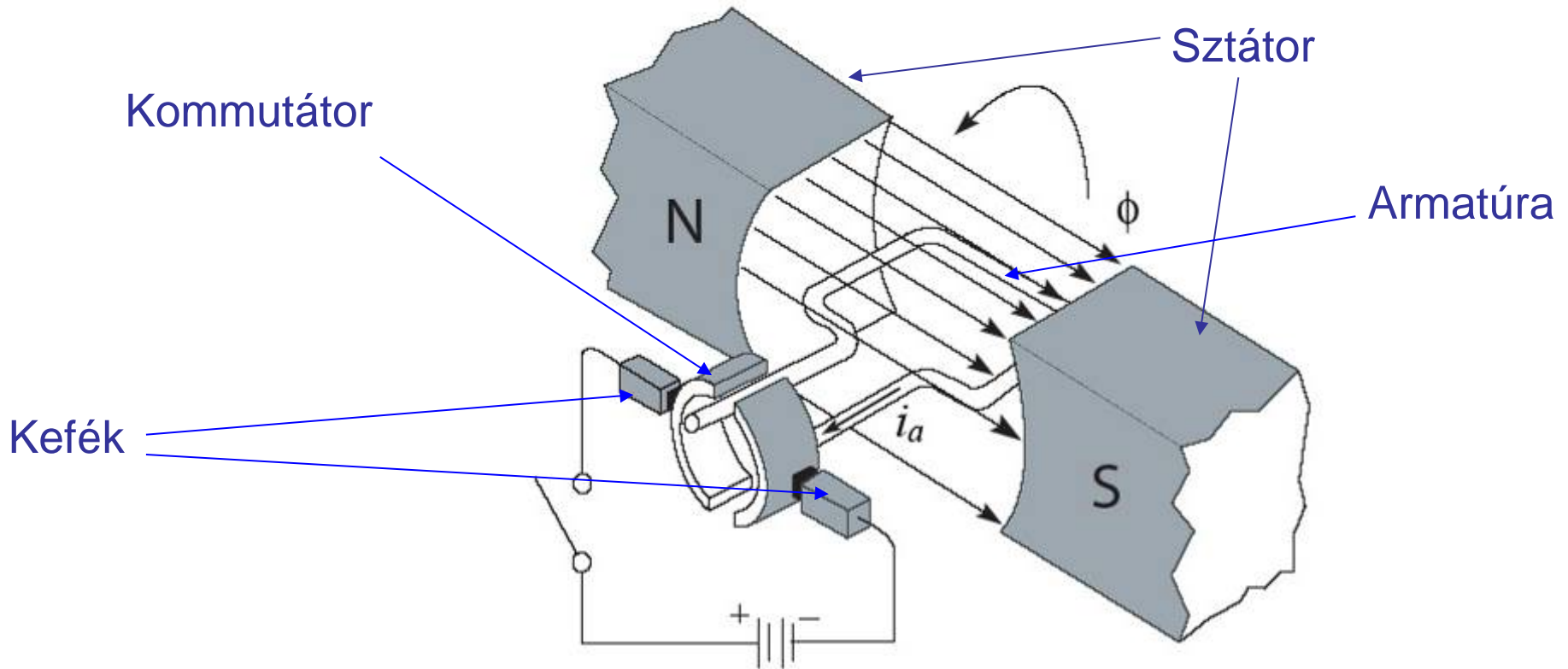
## Leggyakoribb aktuátorok:

- **Villamos motor**, a legelterjedtebb a mobil robotikában mind a hajtási mind a manipulációs területen
- **Pneumatikus és hidraulikus** aktuátorok, nagy méretű manipulátoroknál, ipari alkalmazásoknál, a mobil robotoknál aránylag ritkák
- **Mesterséges izmok**, élő izmok másolása, többféle megoldás létezik

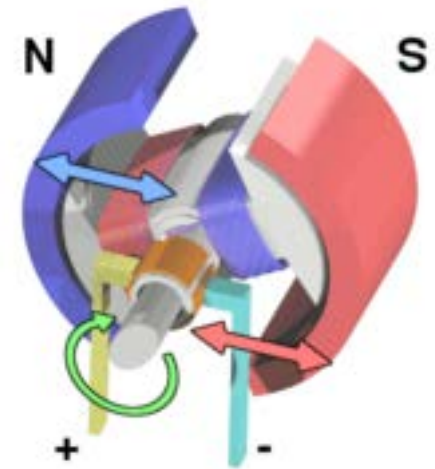
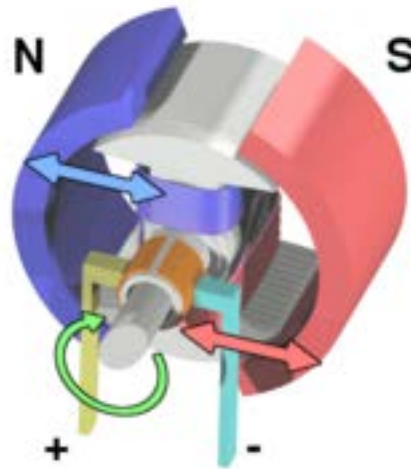
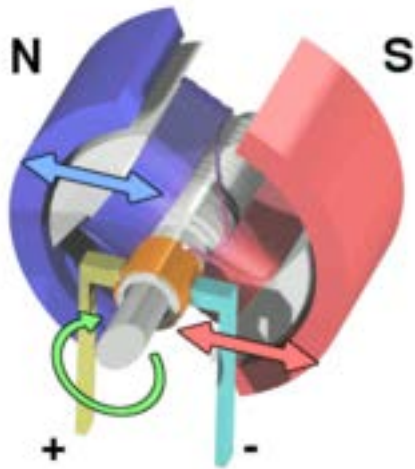
A villamos motorok a leggyakrabban használt elemek a mobilitás és manipulációs feladatokhoz szükséges nyomatékok előállítására.

Mobil robotoknál az áramforrás jellege miatt az egyenáramú (állandó mágnesű) motorok a legelterjedtebbek.

# Egyenáramú villamos motor (DC)



## Egyenáramú villamos motor(folyt...)



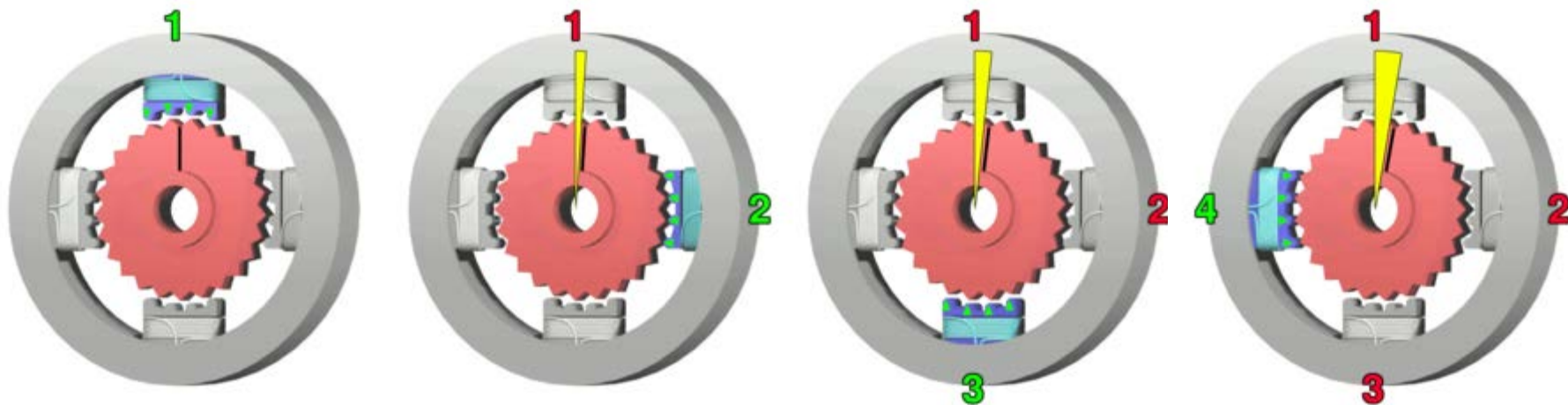
Fix lépésekkel forgatható, pontos szögbeállást tesz lehetővé, illetve tartást egy pozícióban.

A lépésköz finomítható:

- Mind az álló- mind a forgórész pólus számának növelésével
- Lágymágneses „fogazott” álló- és forgórészszel
- Elektronikus szabályozással



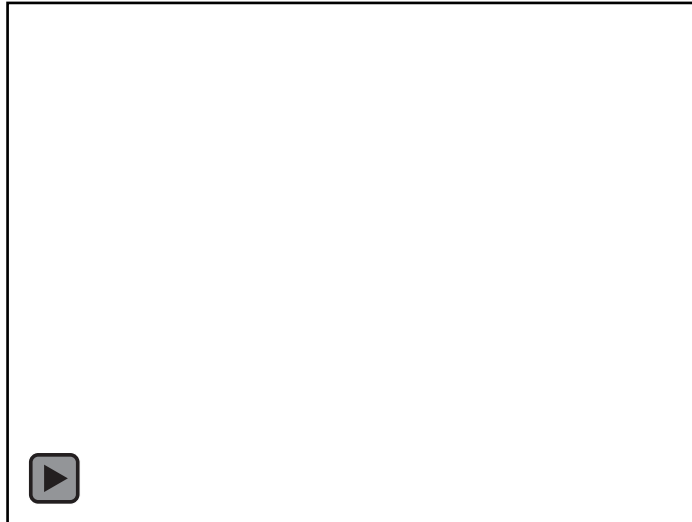
# Léptetőmotor (folyt...)



25 foga van a rotornak, minden lépés  $3,6^\circ$ -ot jelent,  
100 lépés egy teljes fordulat

## Léptetőmotor előnyei:

- Egyszerűen illeszthető digitális rendszerekbe
- Vezérléssel  $\pm 1$  lépés pontossággal irányítható, visszacsatolás nélkül
- Nagy tartónyomatéka van



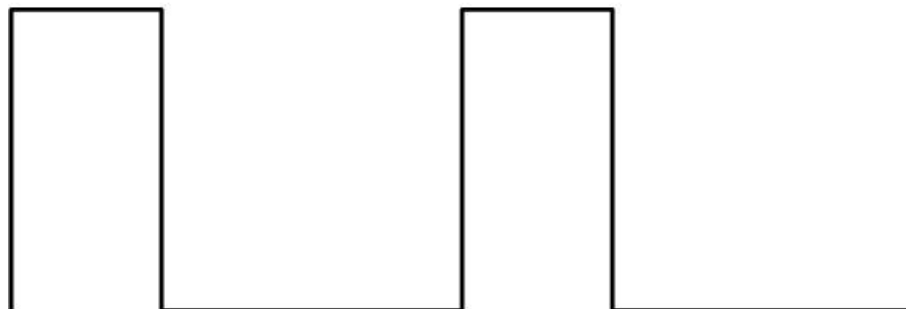
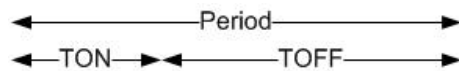
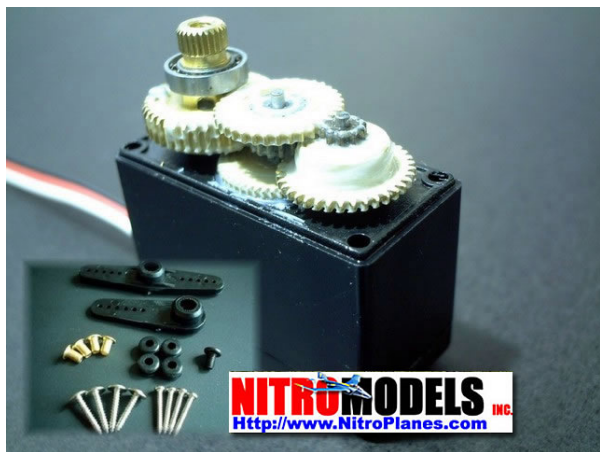
Kompakt felépítésű komplett pozícionáló hajtások.

Elnevezés az RC modellezésből ered.

Egyvezetékes irányítás, kommunikáció PWM alapon.

- Analóg
- Digitális
  - Pontosabb
  - Programozható
  - Hálózatba fűzhető

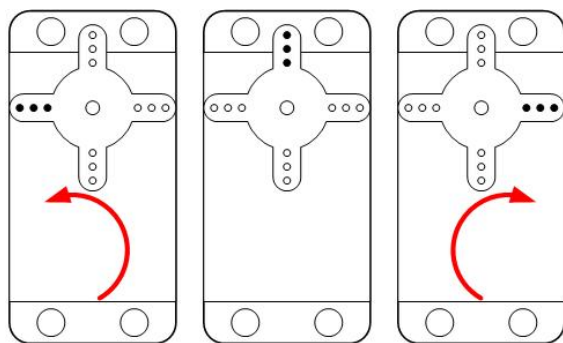
# Kiss méret, nagy nyomaték, egyszerű irányítás



$$\text{Period} = \text{TON} + \text{TOFF}$$

$$\text{Frequency} = 1 / \text{Period}$$

$$\text{Duty Cycle} = \frac{\text{TON}}{\text{TON} + \text{TOFF}} * 100$$



Left Position

Center Position

Right Position

1 ms

1.5 ms

2 ms





Nagy a nyomaték – tömeg arányuk, ahol nagy erőre van szükség ott alkalmazzák.

Kiszolgáló egységeik bonyolultak, kis robotoknál nem alkalmazzák (főleg a hidraulikát).

A levegő összepréselhető, nemlineáris tulajdonságokat mutat.

Több mint 40 évre visszatekintő kutatási terület.

Az aktivált izmok összehúzódnak ezt a mozgást az ízületek forgó mozgássá alakítják.

Bilaterális mozgáshoz a szemközti oldalra is kell egy izmot csatlakoztatni.

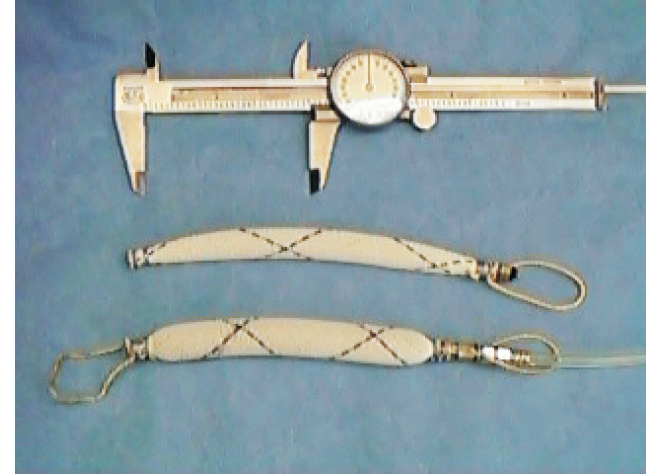


# Mesterséges izomzat: McKibben típus

A McKibben izom volt az egyik első kísérlet.

Gumicső egy speciálisan szőtt nylon szövevettel.

Levegőt nyomva a csőbe a szövet megakadályozza a hosszirányú nyúlást, így a keresztmetszet növekedés mellett rövidülés jön létre mint az élő izmoknál.



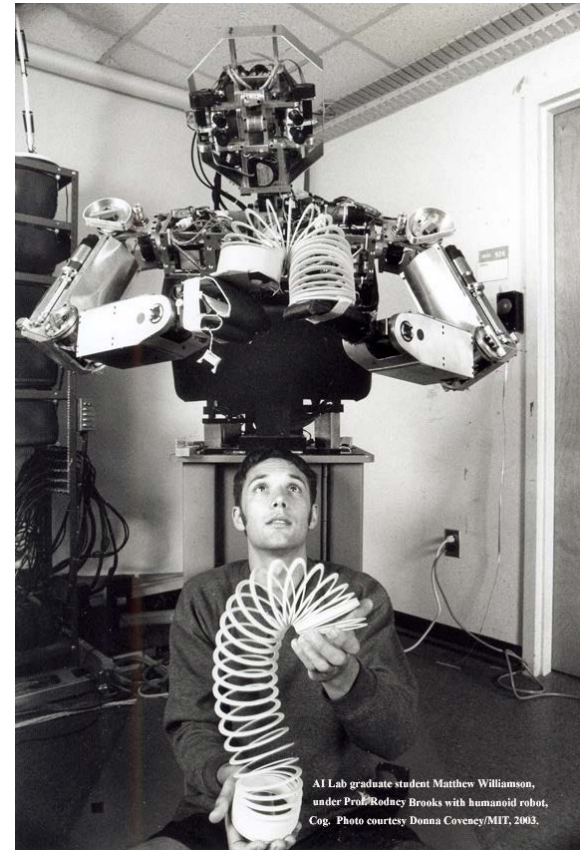


# Mesterséges izomzat: McKibben típus

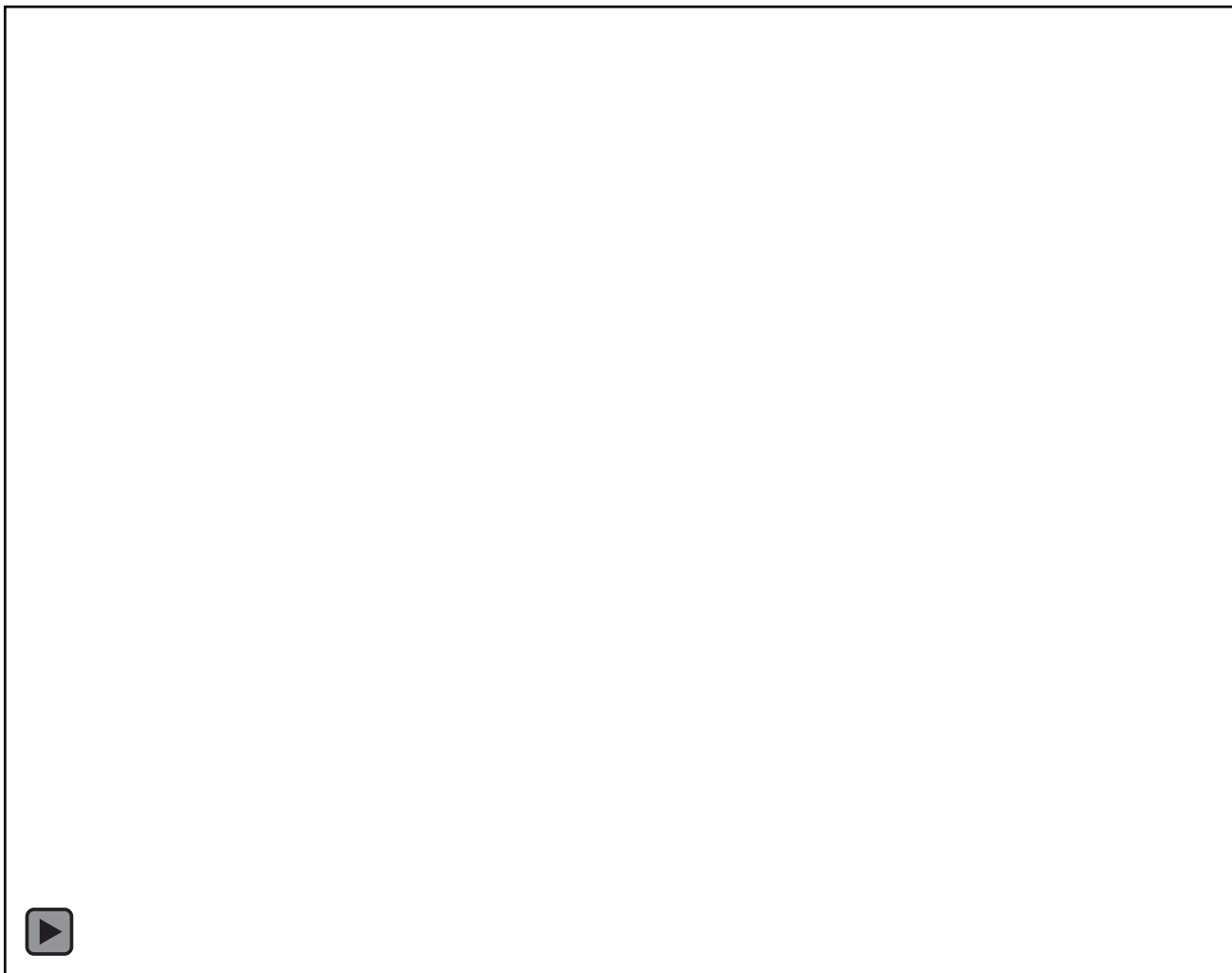
1960-as első próbálkozásokat továbbiak követték:

- (Brooks, 1977) humanoid torzó, melynek kezeit mesterséges izmok mozgatták.
- (Pratt and Williamson 1995) kétlábú robot lábainak mozgatása mesterséges izmokkal

A sok kísérlet ellenére nincs még „igazi” mesterséges izom



# Mesterséges izom: McKibben típus



**Shape memory alloys (SMAs)** nem szokványos mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek:

- melegítés hatására összehúzódnak
- az alakváltozás mértéke 100 szorosa a szokásos fémekénél

Mesterséges izomként használható, lehűlés után visszanyeri eredeti formáját.

A melegítés villamos úton is történhet.

## SMA-k használatának főbb problémái:

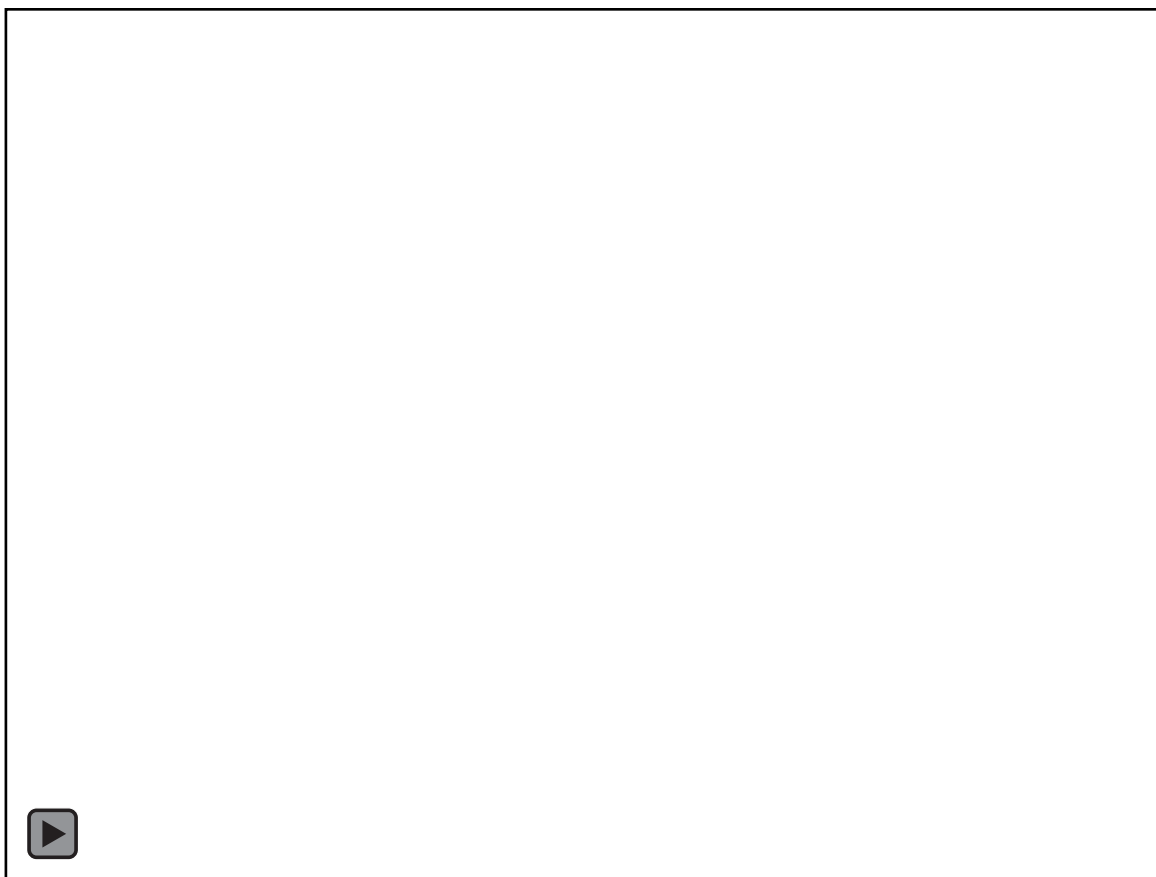
- Kis erőt tud kifejteni .
- Lassan hűl le, így lassan nyeri vissza eredeti formáját.

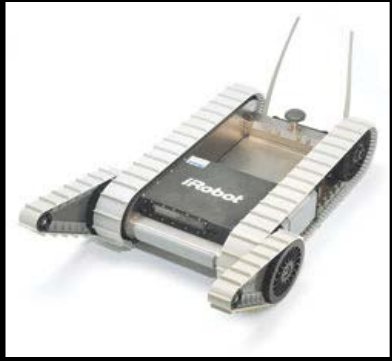
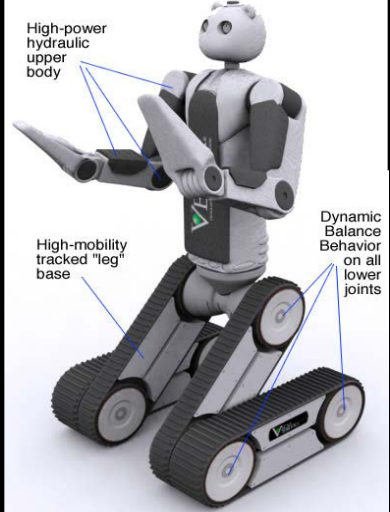


SMA-hoz hasonlóan az Elektroaktív Polimerek (EAP) is változtatják alakjukat, villamos áram hatására.

Előnyük, hogy rugalmasak és jól tudják emulálni a biológiai izmok mozgását.

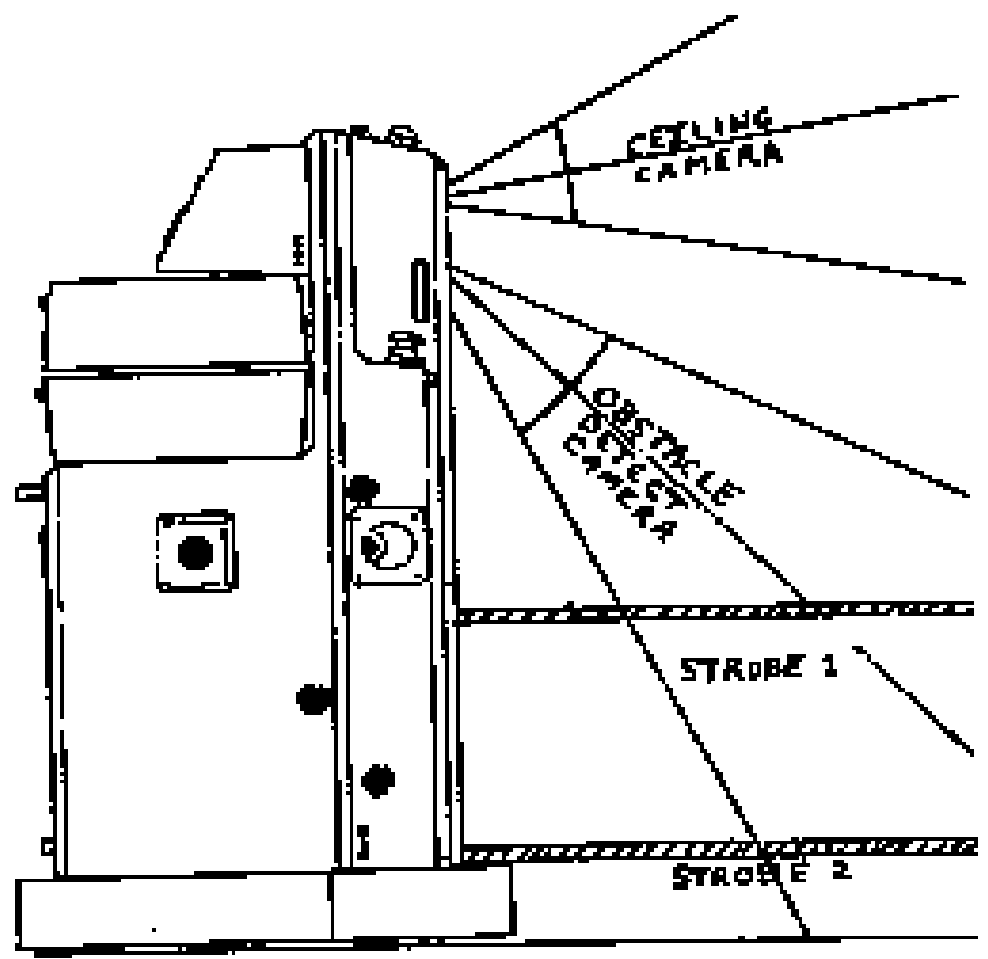
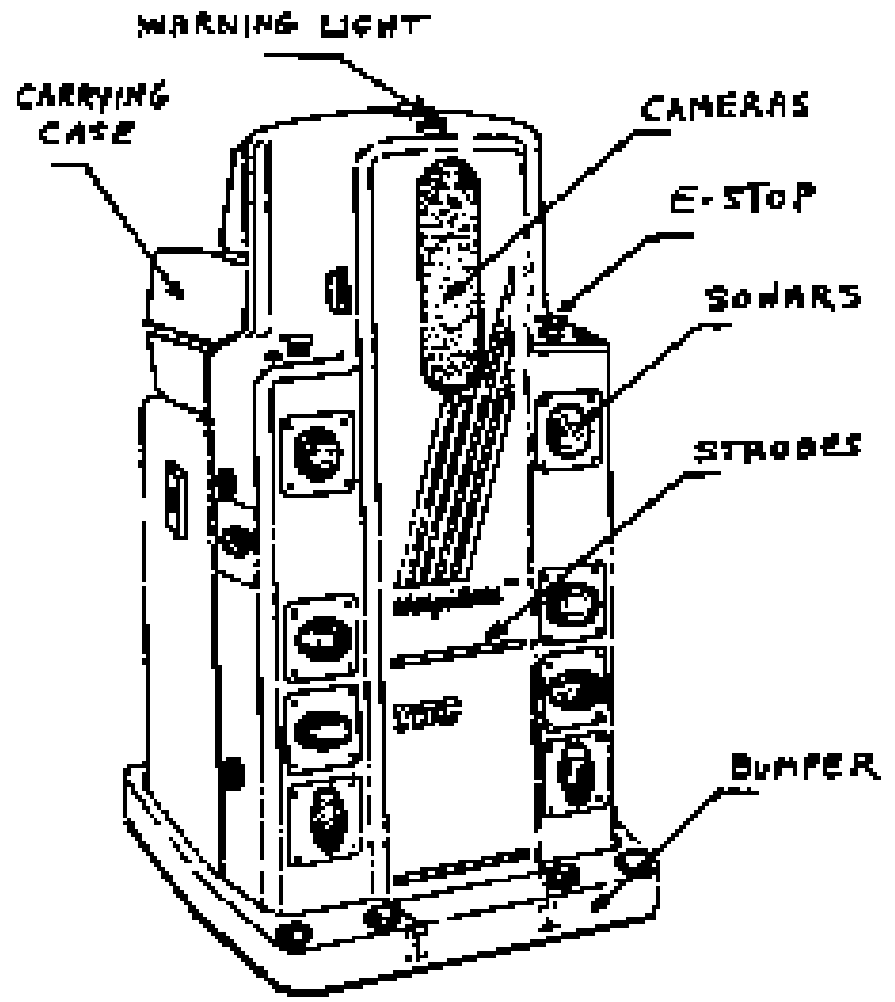
Sajnos csak nagyon kis erő átvitelére alkalmasak és a mechanikai energia sűrűségük is relatív kicsi.





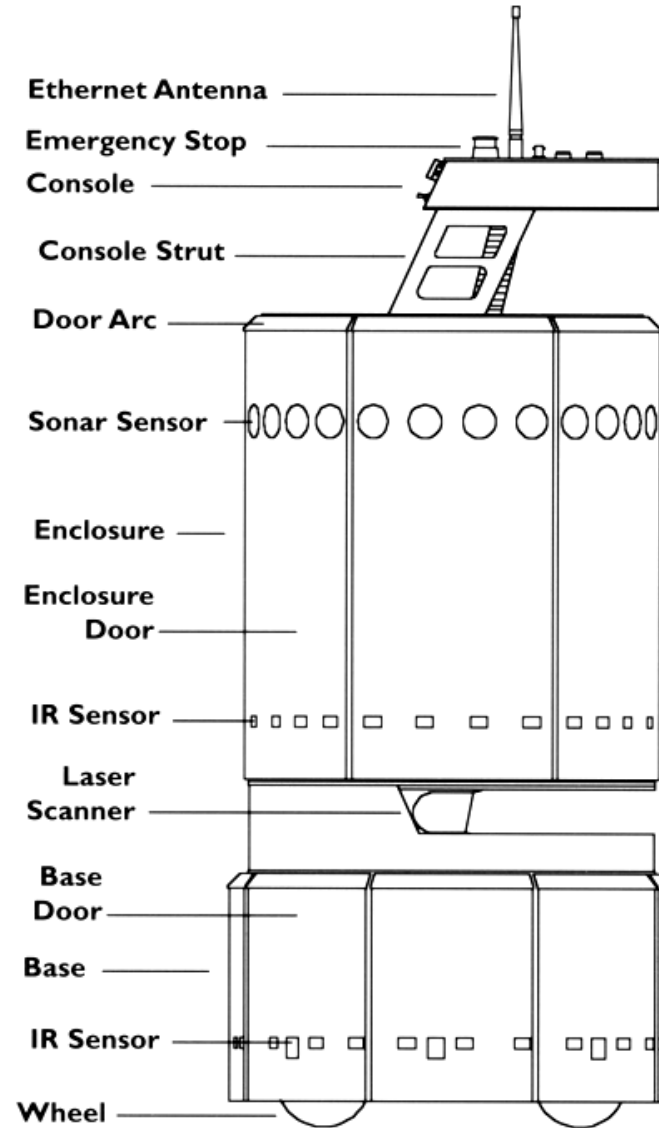
# Mobil Robotok: 3. Szenzorok

# Példa: HelpMate, Transition Research Corp.

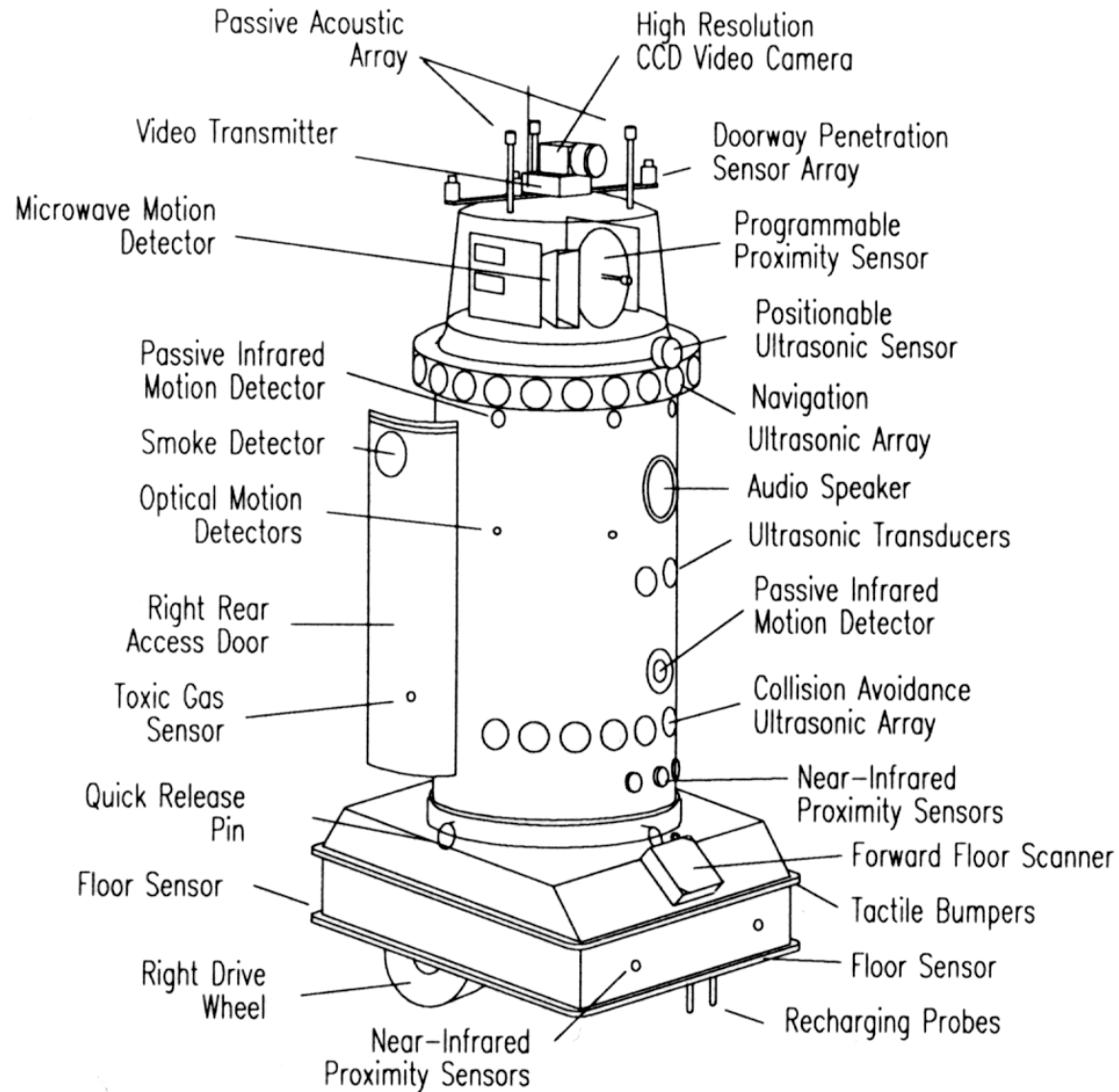




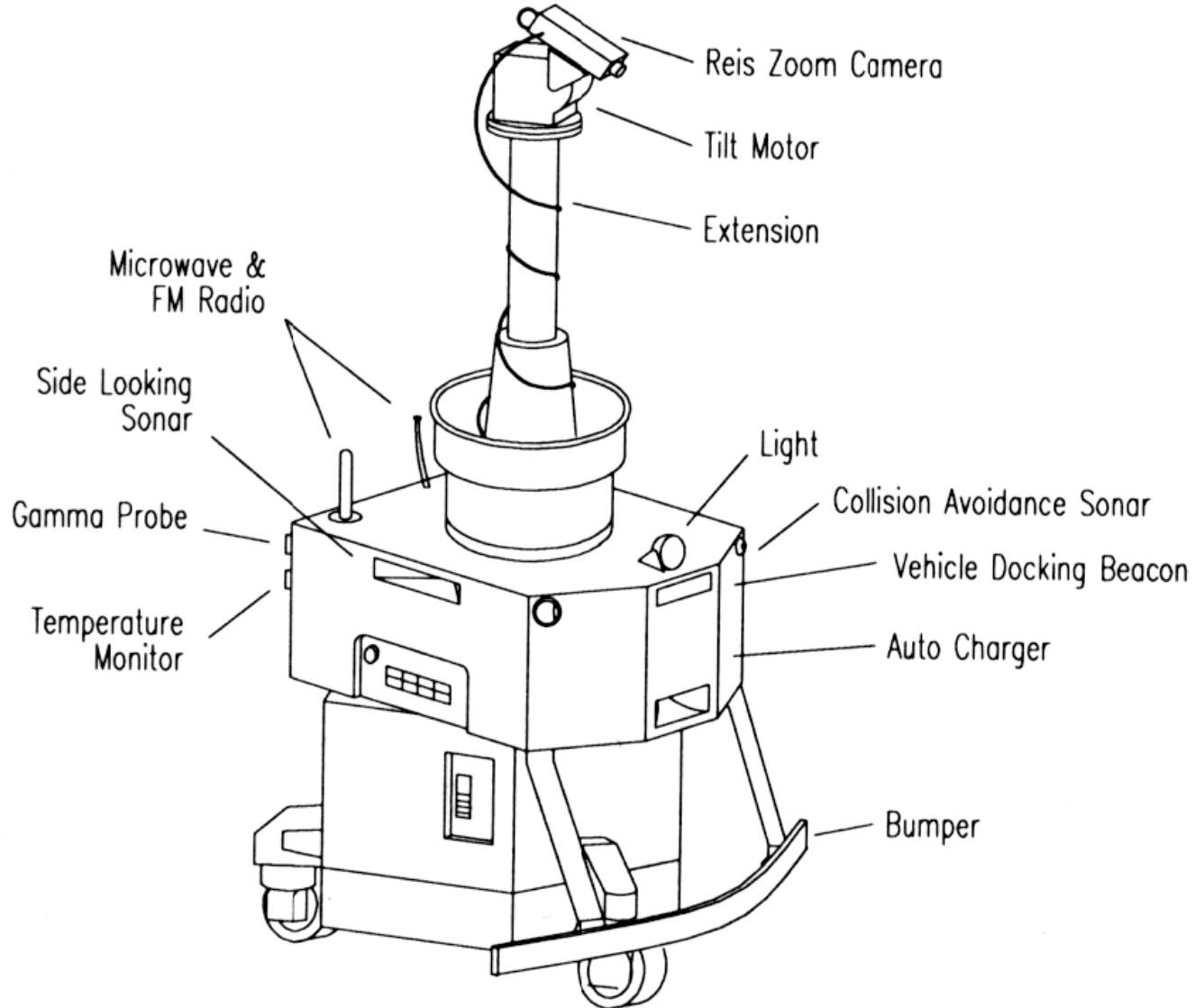
# Példa: B21, Real World Interface



# Példa: Robart II, H.R. Everett



# Példa: Savannah, River Site Nuclear Surveillance Robot



# Példa: BibaBot, BlueBotics SA, Switzerland

IMU  
Inertial Measurement Unit

Emergency Stop Button

Wheel Encoders



Omnidirectional Camera

Pan-Tilt Camera

Sonar Sensors

Laser Range Scanner

Bumper

# Evolution Robotics Scorpion



Logitech QuickCam Pro 3000

- 640 X 480 video; 1.3 MP still mode

Built-in microphone for sound/voice recognition applications

IR Sensors

- 4 ledge detection sensors
- 3 up-facing sensors
- 13 horizontal facing sensors

Bump Sensor

# Activmedia Robotics *PeopleBot*



## Proprioceptív szenzorok

- Belső jellemzők érzékelése
- Pl. motor fordulatszám, kerék terhelés, robot mozgás iránya, akku státusza, stb.

## Exteroceptív szenzorok

- Információk a robot környezetéről
- Objektumok távolsága, környezeti fény intenzitása, speciális jellemzők, stb.

## Passzív szenzorok

- Energia a környezetből

## Aktív szenzorok

- Adott energiát bocsájt ki és a reakciót méri
- Jobb teljesítmény, de befolyásolhatja a környezetet



General classification (typical use)	Sensor Sensor System	PC or EC	A or P
Tactile sensors (detection of physical contact or closeness; security switches)	Contact switches, bumpers	EC	P
	Optical barriers	EC	A
	Noncontact proximity sensors	EC	A
Wheel/motor sensors (wheel/motor speed and position)	Brush encoders	PC	P
	Potentiometers	PC	P
	Synchros, resolvers	PC	A
	Optical encoders	PC	A
	Magnetic encoders	PC	A
	Inductive encoders	PC	A
	Capacitive encoders	PC	A
Heading sensors (orientation of the robot in relation to a fixed reference frame)	Compass	EC	P
	Gyroscopes	PC	P
	Inclinometers	EC	A/P

A, active; P, passive; P/A, passive/active; PC, proprioceptive; EC, exteroceptive.

General classification (typical use)	Sensor Sensor System	PC or EC	A or P
Ground-based beacons (localization in a fixed reference frame)	GPS	EC	A
	Active optical or RF beacons	EC	A
	Active ultrasonic beacons	EC	A
	Reflective beacons	EC	A
Active ranging (reflectivity, time-of-flight, and geo- metric triangulation)	Reflectivity sensors	EC	A
	Ultrasonic sensor	EC	A
	Laser rangefinder	EC	A
	Optical triangulation (1D)	EC	A
	Structured light (2D)	EC	A
Motion/speed sensors (speed relative to fixed or moving objects)	Doppler radar	EC	A
	Doppler sound	EC	A
Vision-based sensors (visual ranging, whole-image analy- sis, segmentation, object recognition)	CCD/CMOS camera(s) Visual ranging packages Object tracking packages	EC	P

Valós környezet mérése mindig hibás!

A szenzor általános alap jellemzői:

- **Dynamic range (dinamikus sáv):** Alsó és felső limitek aránya, általában decibelben
- **Range (érzékelési tartomány):** A minimum és maximum érték különbsége
- **Resolution (felbontás):** Két szomszédos érték közötti távolság

Valós környezet mérése mindig hibás!

A szenzor általános alap jellemzői:

- **Linearity (linearitás):** A kimenet változása a bemenet függvényében
- **Bandwidth or frequency (sávszélesség és frekvencia):** A szenzor érzékelési és átviteli sebessége

Karakterisztikák melyek a valós környezet szempontjából érdekesek:

- Sensitivity (érzékenység)
  - A kimenet és bemenet változás aránya
- Cross-Sensitivity (kereszt érzékenység)
  - A környezet paramétereinek hatása a mérés pontosságára
- Error/Accuracy (hiba/pontosság)
  - Különbség a mért és a tényleges érték között
- Systematic/Deterministic Error  
(szisztematikus/determinisztikus hiba)
  - (Elméletileg) modellezhető faktor

# *In Situ* Szenzor minőségi jellemzők (folyt...)

- Random/Non-Deterministic Error (véletlenszerű/nem determinisztikus hiba)
  - Előre nem látható hiba
- Precision (precízió)
  - Mért eredmény reprodukálhatósága

A mobil robotnak érzékelni, analizálnia és értelmeznie kell a környezete állapotát

A valós mérések dinamikus környezetben történnek és hibákkal terhelvek

Pl.:

- megvilágítás változása
- tükröződések
- fény vagy hangelnyelő felületek
- a szenzor kereszt érzékenysége

A szenzor viselkedése valószínűségi eloszlással modellezhető (véletlenszerű hibák)

- Általában kevés információval rendelkezünk
- A valószínűségi eloszlást legtöbbször szimmetrikusnak illetve Gauss eloszlásúnak vesszük
- Nagyon fontos a hiba előfordulási lehetőségének és mértékének ismerete, illetve az aszimmetria figyelembe vétel



# Forgó jeladók (encoder)

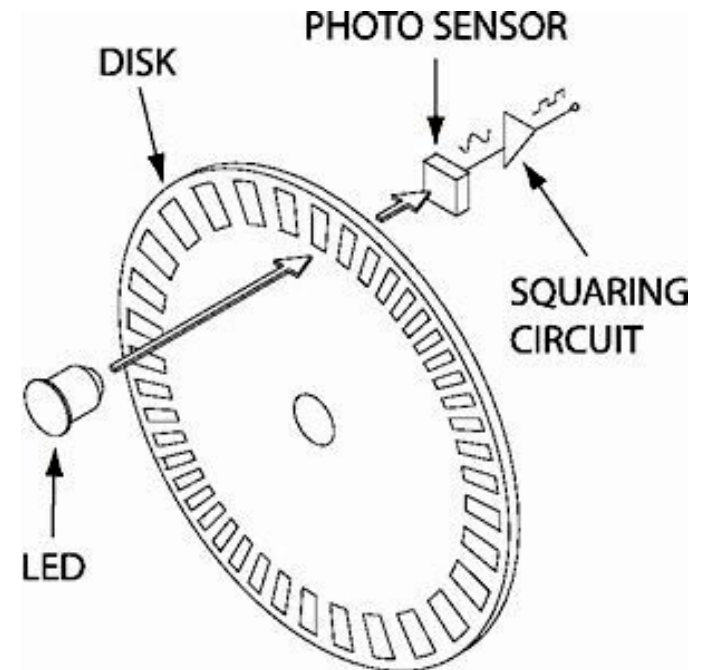
A forgó jeladók a kerék illetve a motor pozíciójáról vagy elfordulásáról ad információt.

Mobil robotoknál az inkrementális jeladó az elterjedtebb.

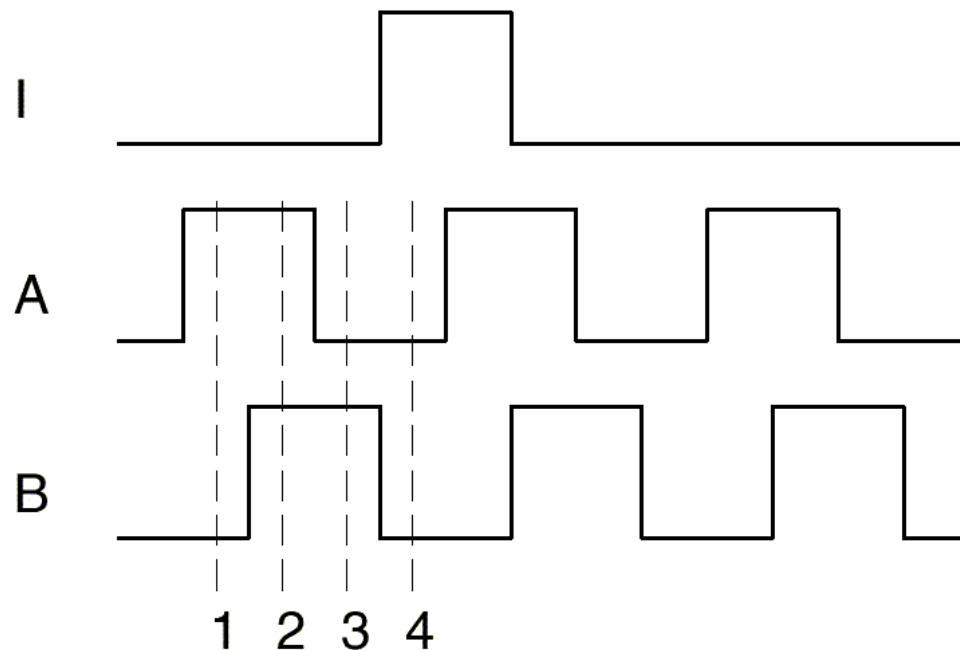
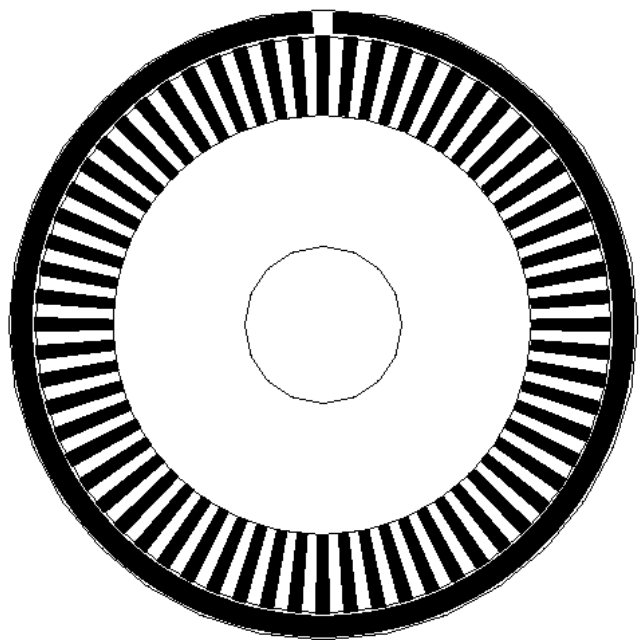
A kerék elfordulásának integrálásával számolható a megtett út - **odometria**

Az optikai inkrementális jeladók proprioceptív szenzorok

Felbontás: 100 – 4000 ipr



# Quadratikus inkrementális jeladó



State	Ch A	Ch B
$S_1$	High	Low
$S_2$	High	High
$S_3$	Low	High
$S_4$	Low	Low

Az irány szenzorok lehetnek belső- (gyroscope, inclinometer) illetve külső (compass) állapotok mérésén alapulók.

A robot orientációját és billenését mérik.

Sebesség és idő méréssel együtt pozíció becslést végezhetünk.

- Klasszikus navigáció: előreszámítás (dead reckoning)

Krisztus előtt kb. 2000 évvel

A föld mágneses terét méri  
– Irány abszolút mérése



## Sokféle változat

- Mechanikus mágneses (iránytű)
- Mágneses mező közvetlen mérése (Hall-effect, magneto-resistive sensors)

## Legnagyobb hátrányok

- A föld mágneses mezejének gyengesége
- Nagy a zavar érzékenysége
- (Beltérben nem alkalmazható)

Írány szenzor mely egy fix keret orientációját rögzíti

- Egy mobil eszköz abszolút irányát méri

Giroszkópot használnak a repülésben,  
űrrepülésben, a Segway-ben.

Úgy működik mint a bicikli vagy  
a jo-jo.

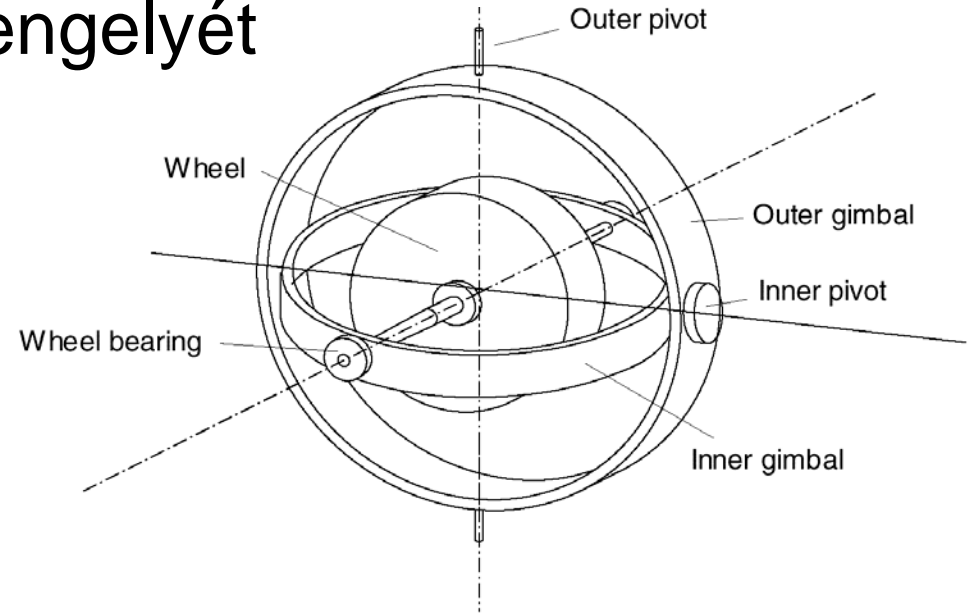
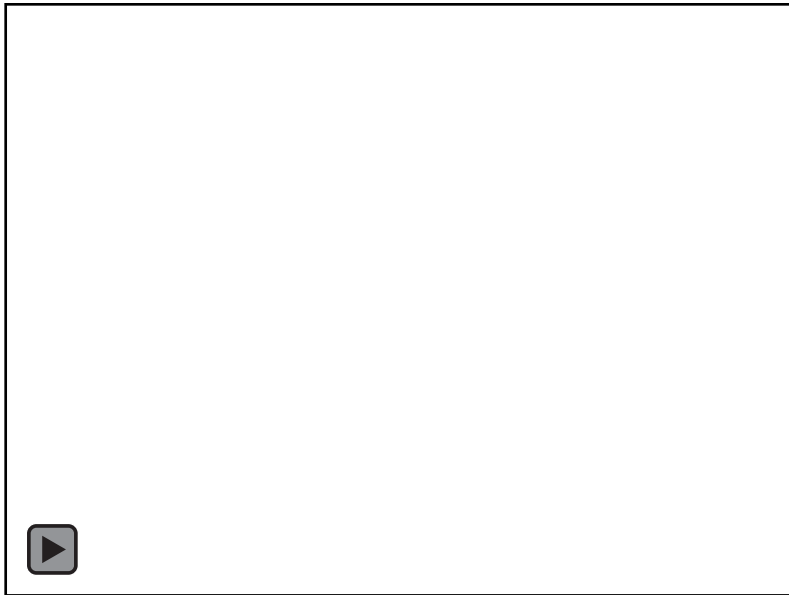
Kétféle típusa van

- Mechanikai giroszkóp
- Optikai giroszkóp



A rotor inerciáját használja ki

– stabilan tartja a forgás tengelyét



Első megjelenés 1980-as években

– repülőgépek

Két monokróm fénysugár (laser) egy forrásból

– egymással szembe tekint száloptika tekercsek

– a forgásirányba kicsit kisebb az út, nagyobbak tűnik a frekvencia – a különbség arányos a szögsebességgel

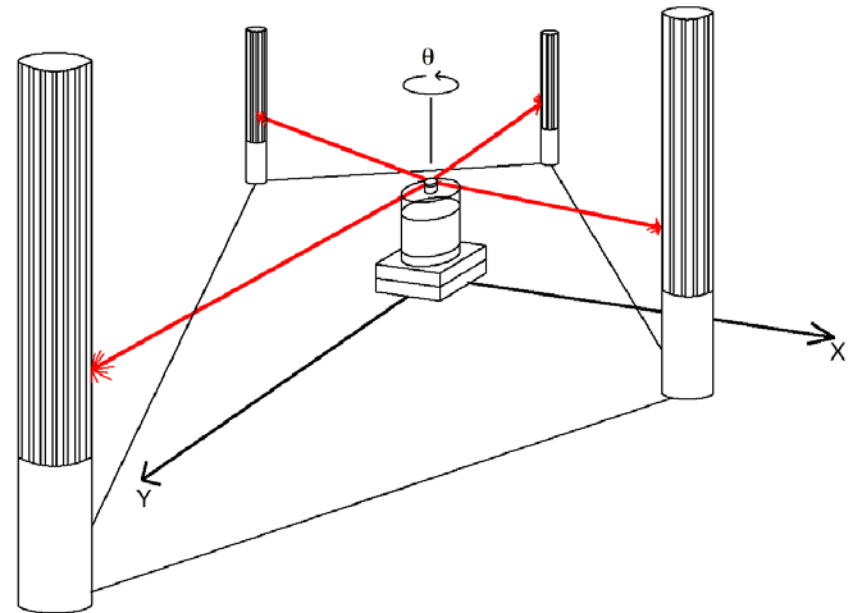


Mobil robotikában a navigáció és pozícionálás elegáns megoldásai.

- precízen meghatározott pozíciók

A legősbibb tájékozódási módszer

- természetes irányjelek
- mesterségesek,  
pl. világító torony



A Global Positioning System (GPS)  
forradalmasította a kültéri navigációt

- legfontosabb mobil robot navigációs eszköz
- beltérben nem használható

Irányjelek használatának hátrányai:

- Irányjelek telepítése befolyásolja a környezetet - drága
- Limitált rugalmasság

# Global Positioning System (GPS)

Katonai célokra épült, jelenleg civil célokra is felhasználható

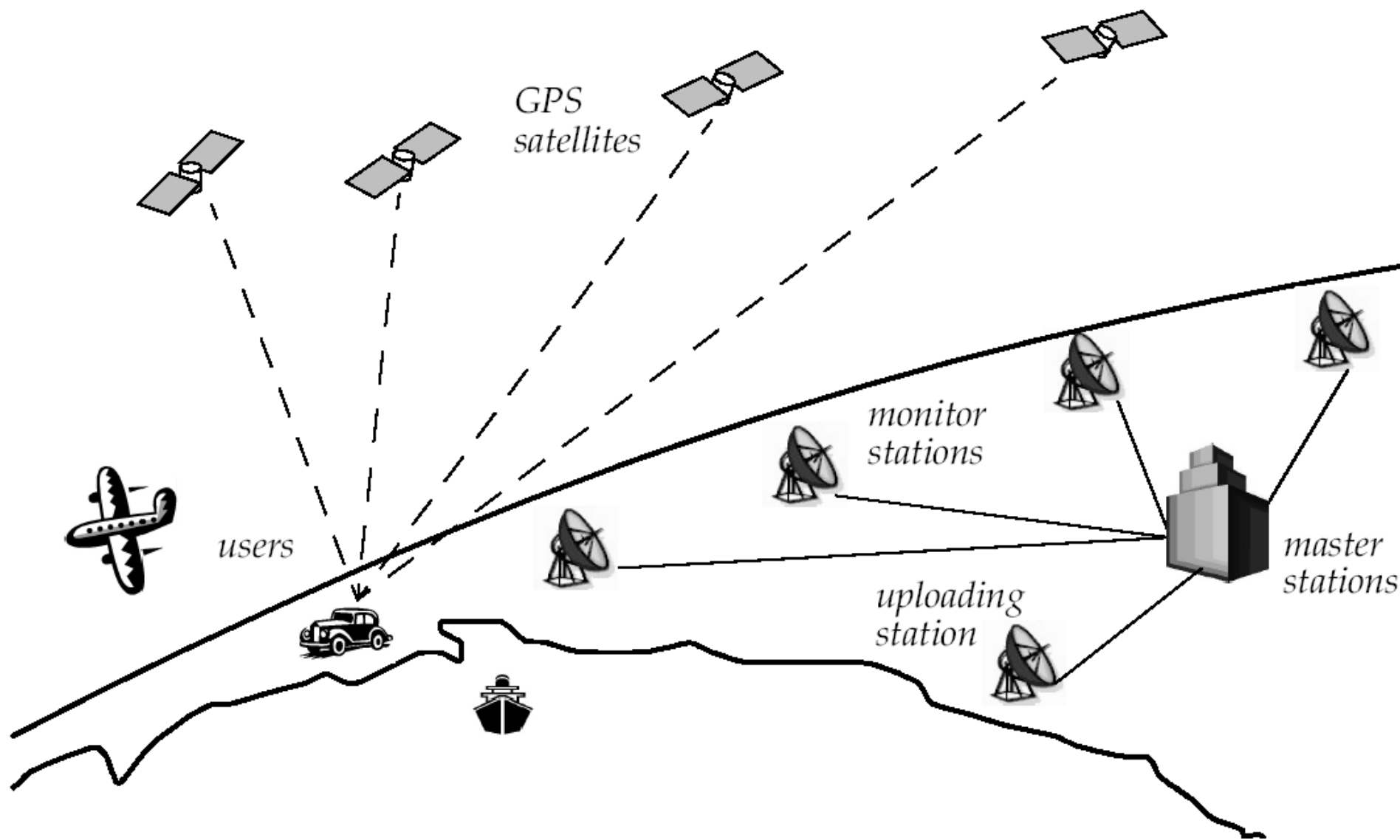
- 24 műhold (3 tartalék) kering kb. 20 km magasan 12 órás keringési idővel
- 6 keringési pálya  $55^\circ$ -os inklinációval a földi egyenlítőhöz képest
- Pályánként 4 műhold

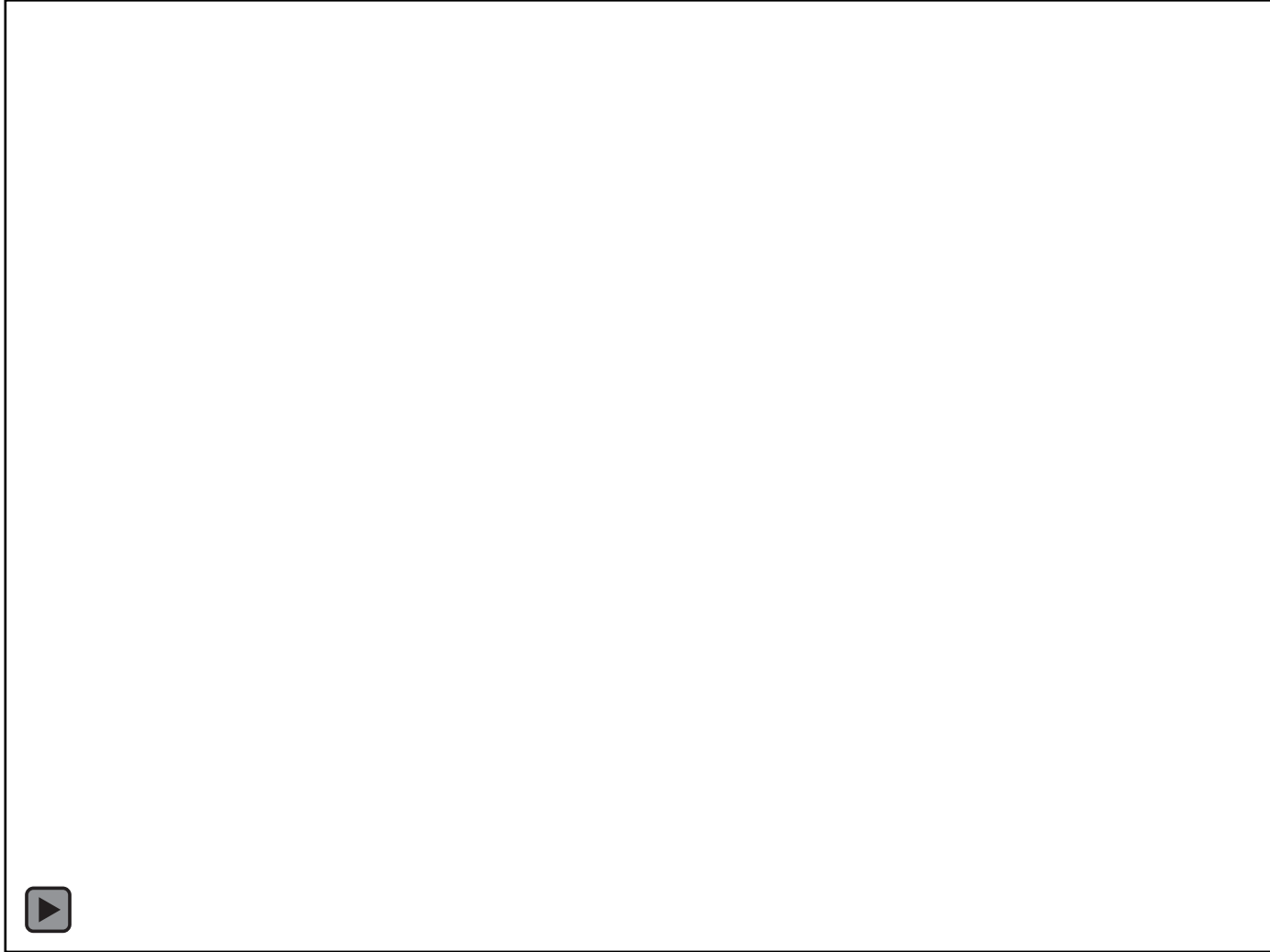
Lokalizáció 4 műhold jelterjedési ideje alapján

- 3D + idő
- háromszögelés

## Technikai problémák:

- Idő szinkronizálás az egyes műholdak és a vevő között
- Valós idejű, pontos műhold lokalizálás
- A jel futásidejének precíz mérése
- Interferenciák





Többnyire a jelterjedési sebesség mérésén alapulnak.

- fény, hang, elektromágneses sugárzás

$$d = c \cdot t$$

ahol:

- $d$  = terjedési távolság (oda-vissza befutott út)
- $c$  = a hullám terjedési sebessége
- $t$  = futás idő

## Mérési sebesség:

- hangsebesség:  $\sim 0.3$  m/ms
- elektromágneses hullám sebessége:  $\sim 0.3$  m/ns
- távolság 3 méter
  - 10 ms ultrahangos rendszerrel
  - 10ns Laser-es távmérővel
  - A kis futásidőket nehéz mérni - drága



Mérési minőséget befolyásoló tényezők:

- A visszavert jel beérkezési idejének mérése
- A futási idő mérésének pontatlansága (laser)
- A kibocsájtott jel kúpszöge (szonár)
- A cél anyag és felület minősége
- A beesési szög
- Terjedési sebesség
- A robot és cél mozgása

# Ultrahangos távolságmérő (sonar)

Ultrahang csomagot bocsájt ki

A  $d$  távolság a visszavert jel sebességéből (hangsebesség)  $c$  és a futási idejéből  $t$  számítható:

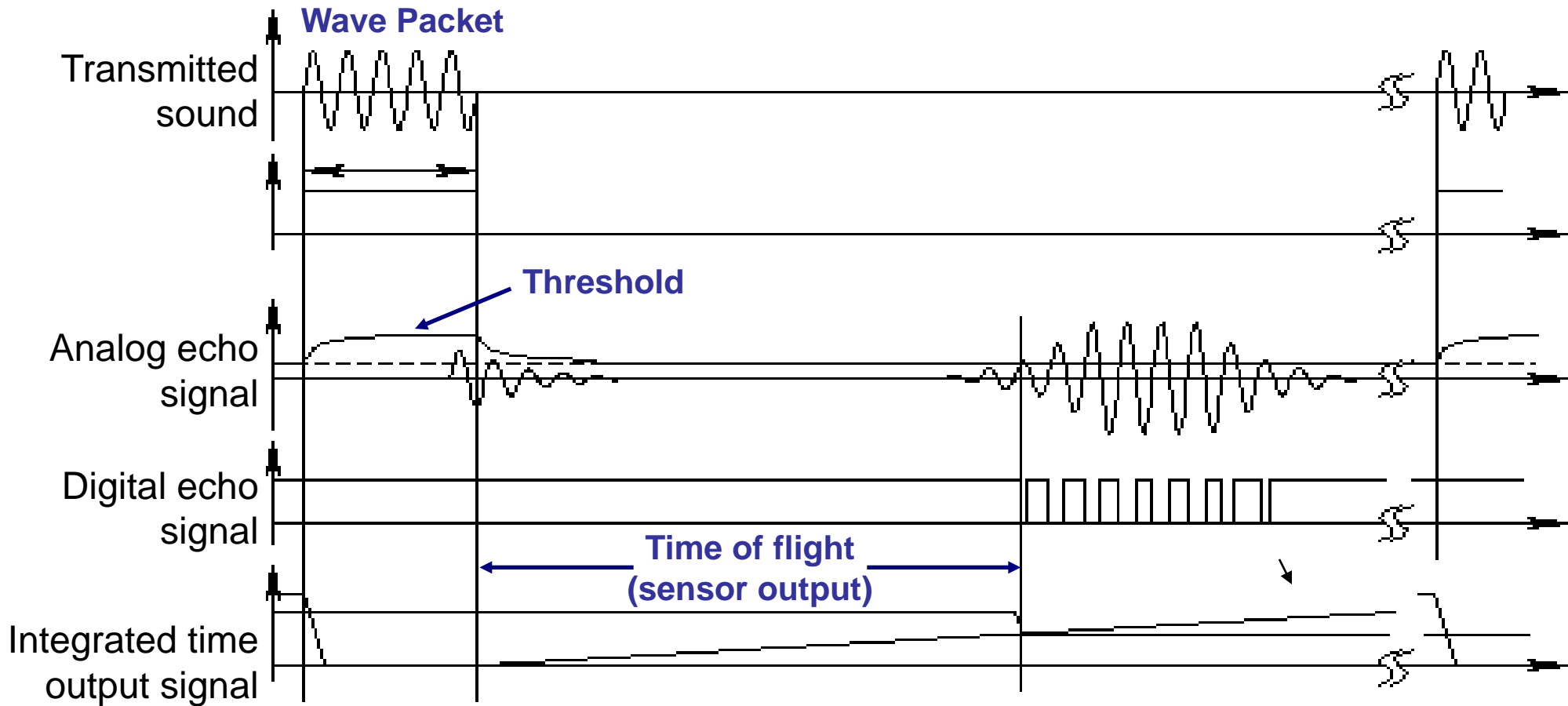
$$d = \frac{c \cdot t}{2}$$

A hangsebesség (levegőben  $c = 340$  m/s)

$$c = \sqrt{\gamma \cdot R \cdot T}$$

- $\gamma$ : hőegyüttható
- $R$ : gázállandó
- $T$ : hőmérséklet (Kelvin)

# Ultraszagos távolságmérő(folyt...)



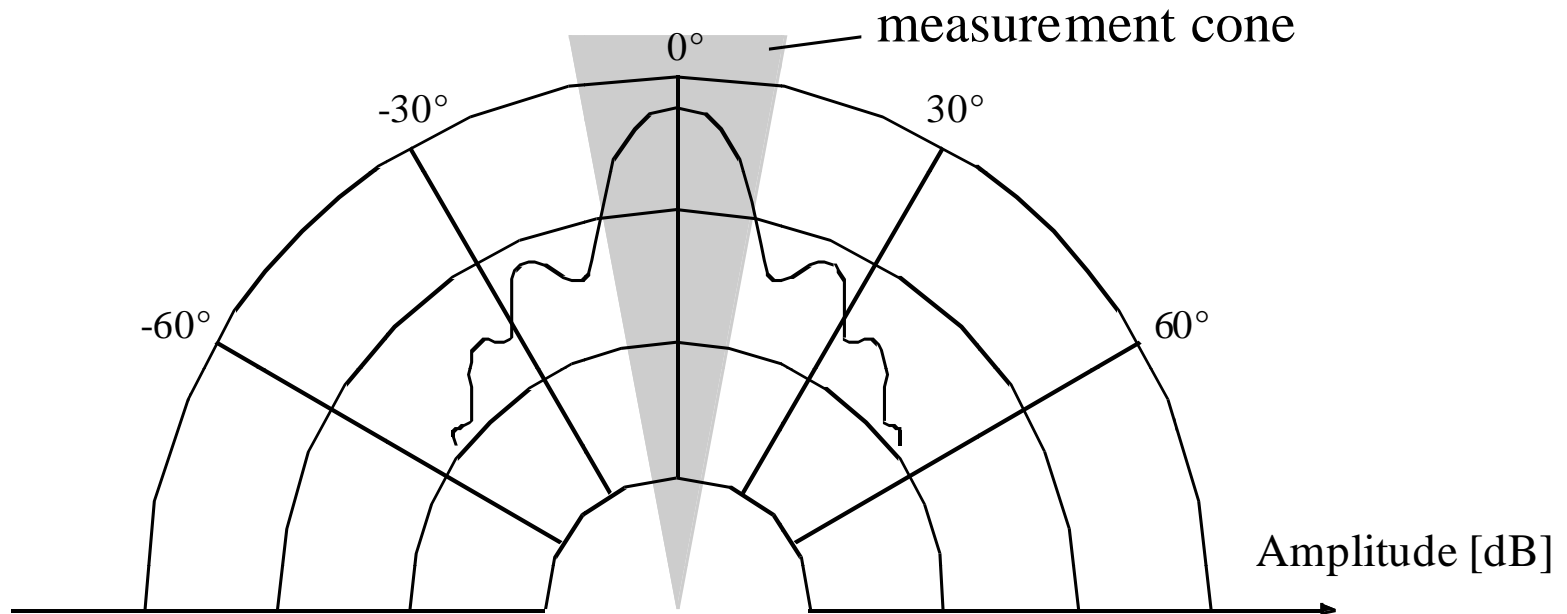
Signals of an Ultrasonic Sensor

# Ultraszagos távolságmérő(folyt...)

Tipikus frekvencia: 40 - 180 kHz

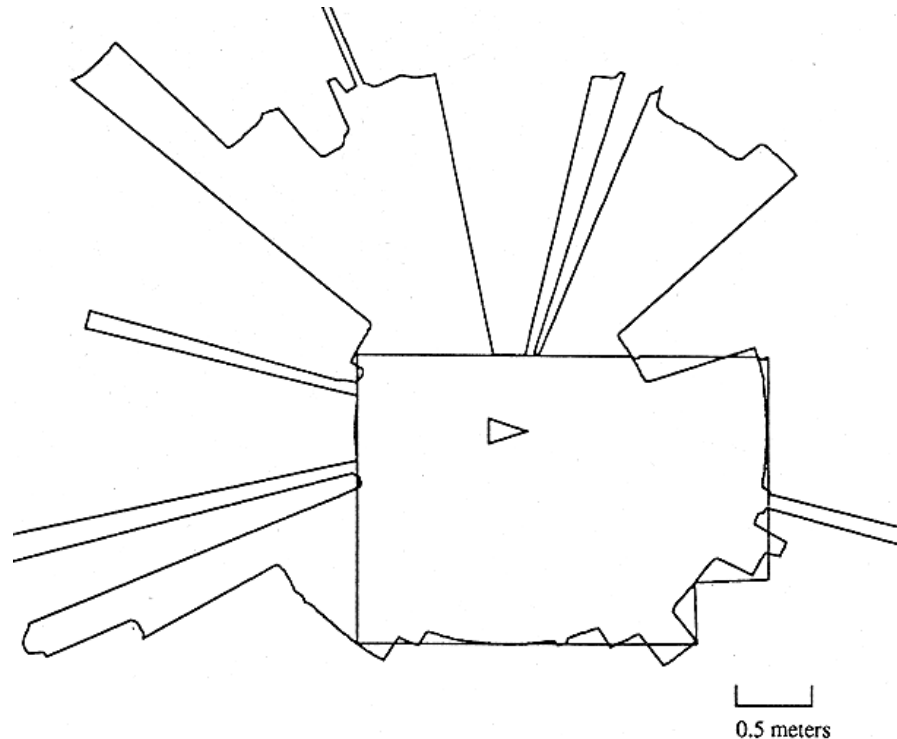
A hangsugár „kúpban” terjed

– nyitási szög 20 és 40 közötti (pencil beam  $\sim 15^\circ$ )

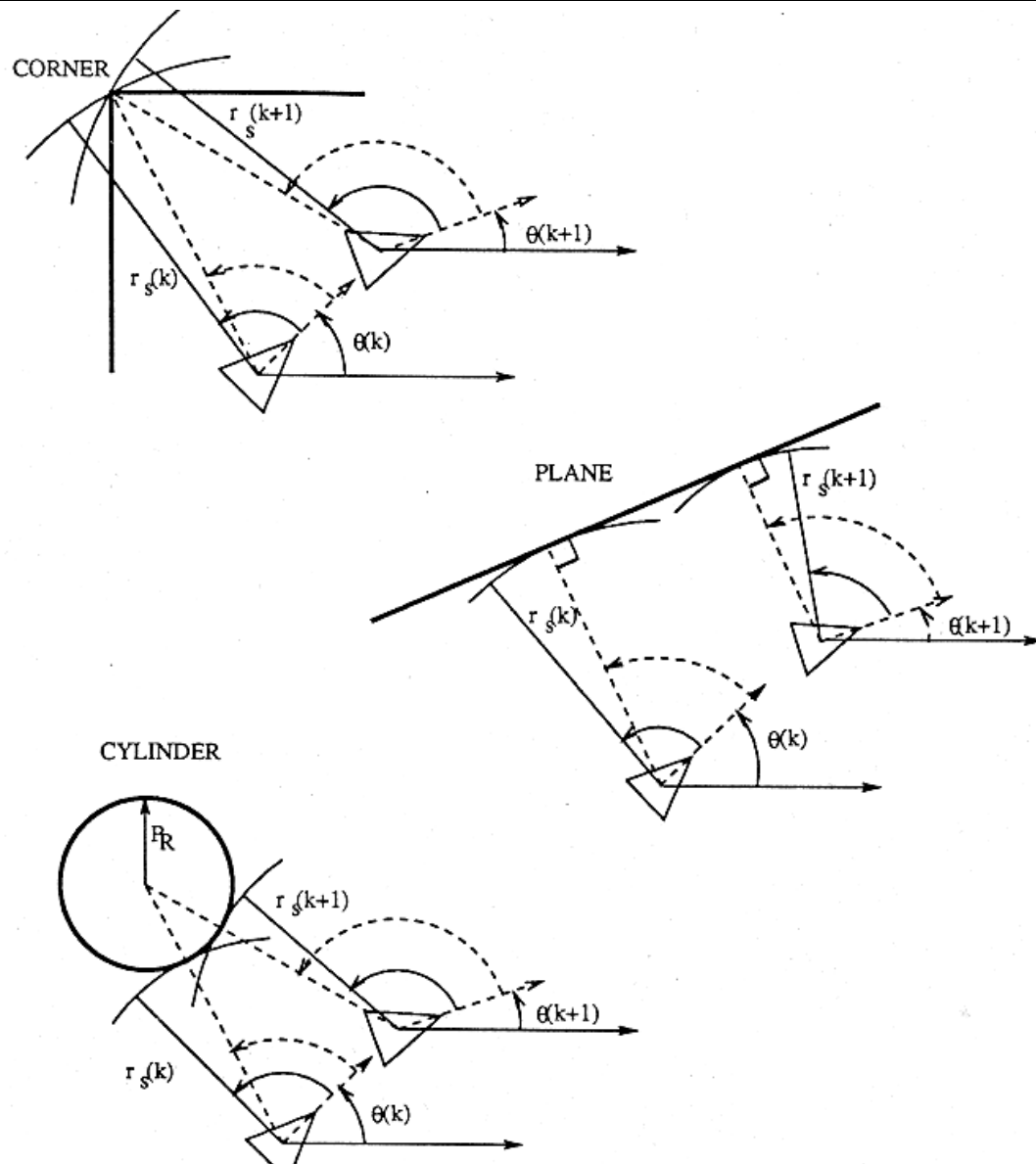


## További problémák

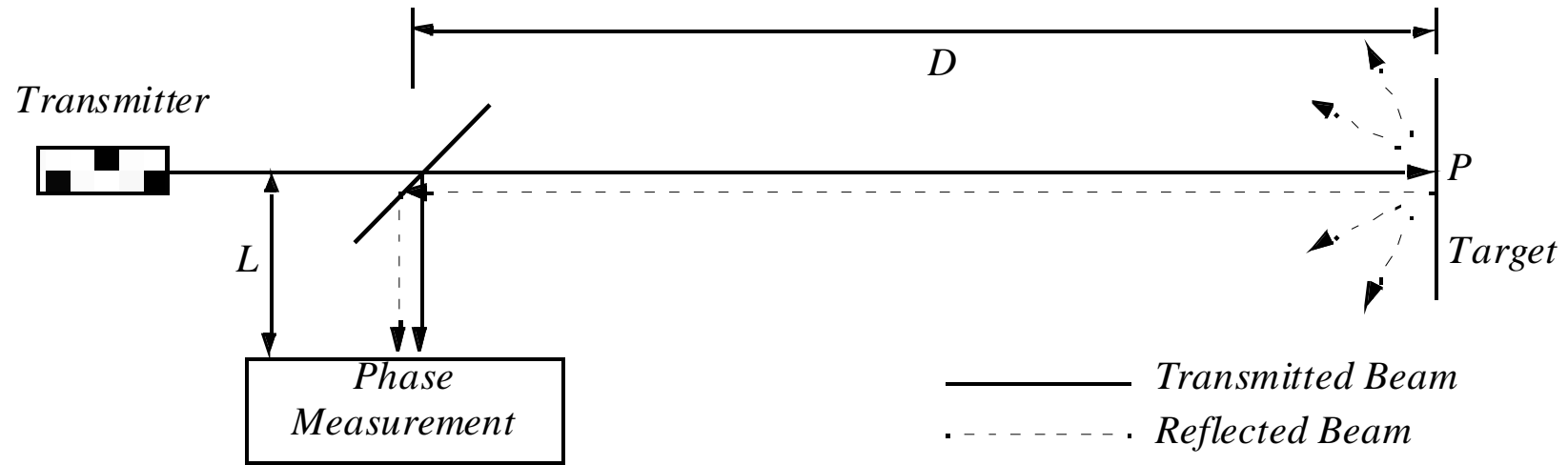
- puha felületek elnyelik a hang energiát
- nagy beesési szög eltéríti a jelet
- többszörös visszhangok



# Ultraszagos távolságmérő(folyt...)

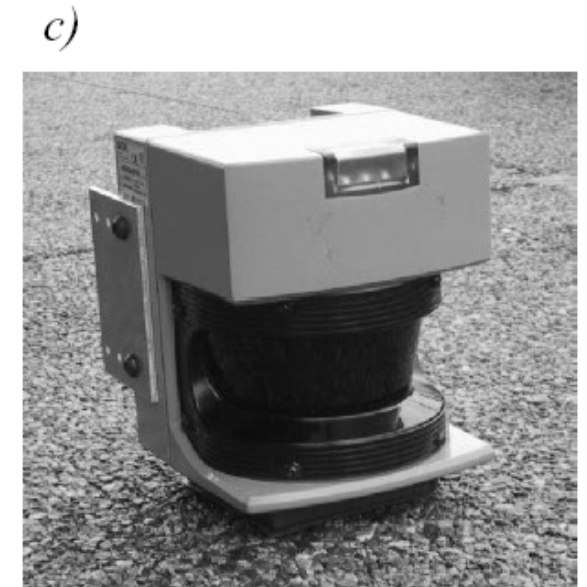
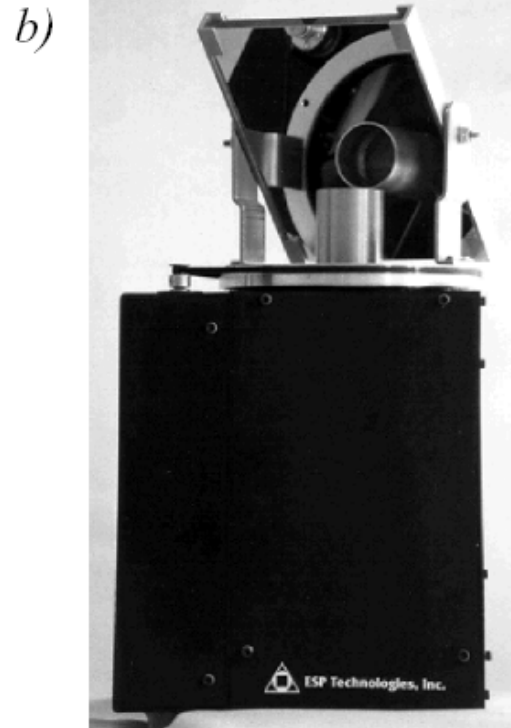
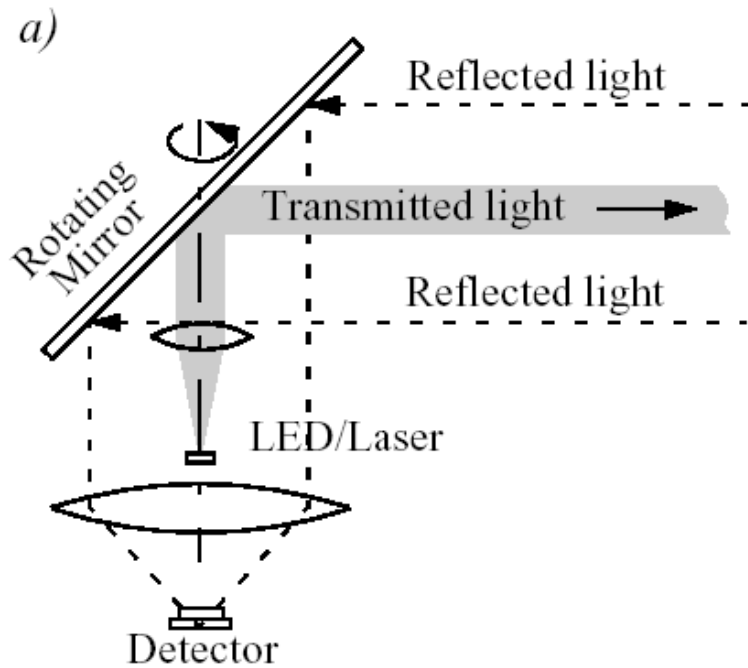


# Laser távmérő (Laser Range Sensor)



## Koaxiális kibocsájtott és visszavert jel

- Az adó párhuzamos Laser sugarakkal megvilágítja a tárgyat
- A vevő érzékeli visszavert jelet és számítja annak futásidejét

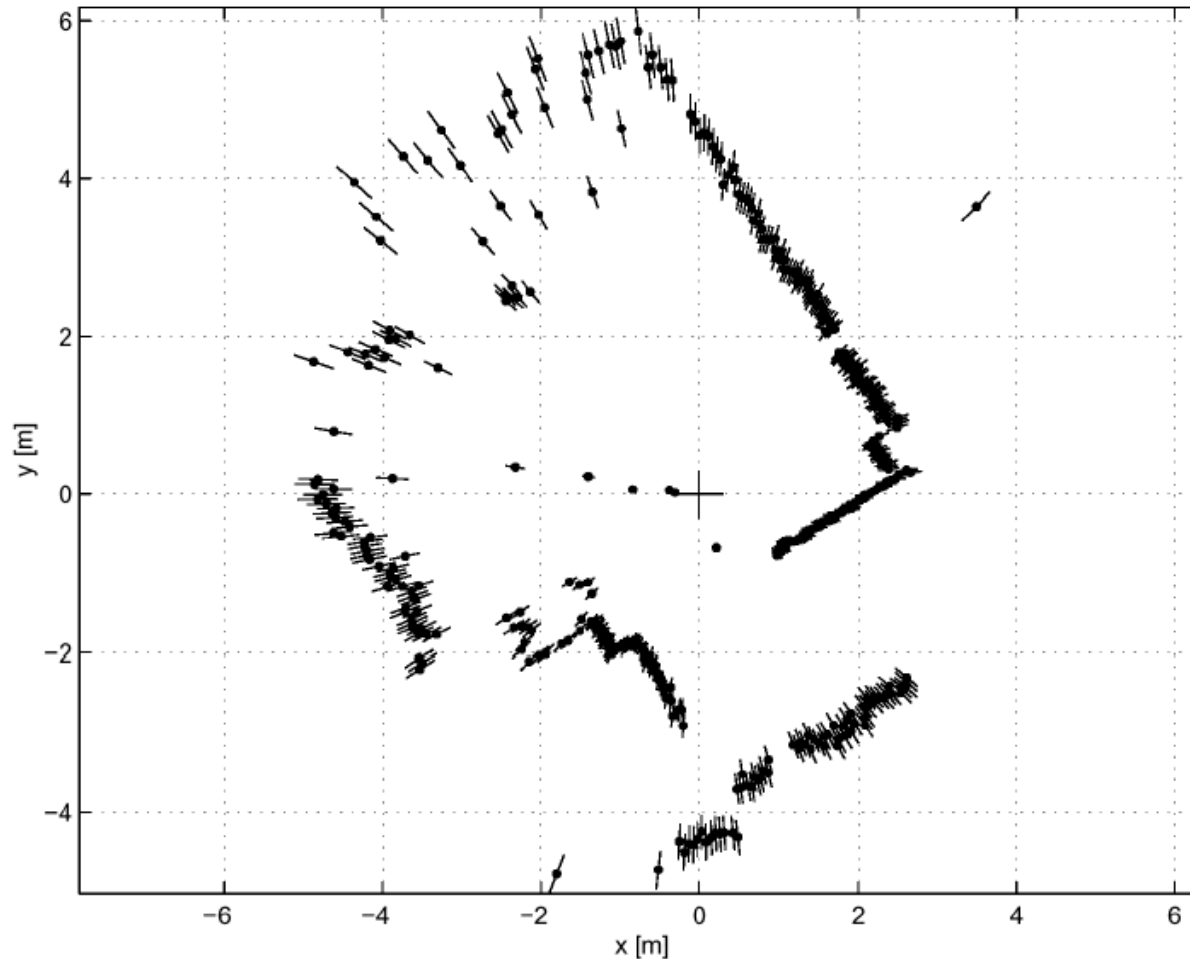


**Figure 4.11**

(a) Schematic drawing of laser range sensor with rotating mirror; (b) Scanning range sensor from EPS Technologies Inc.; (c) Industrial 180 degree laser range sensor from Sick Inc., Germany



## Forgótükrös 2D Laser szkennerek



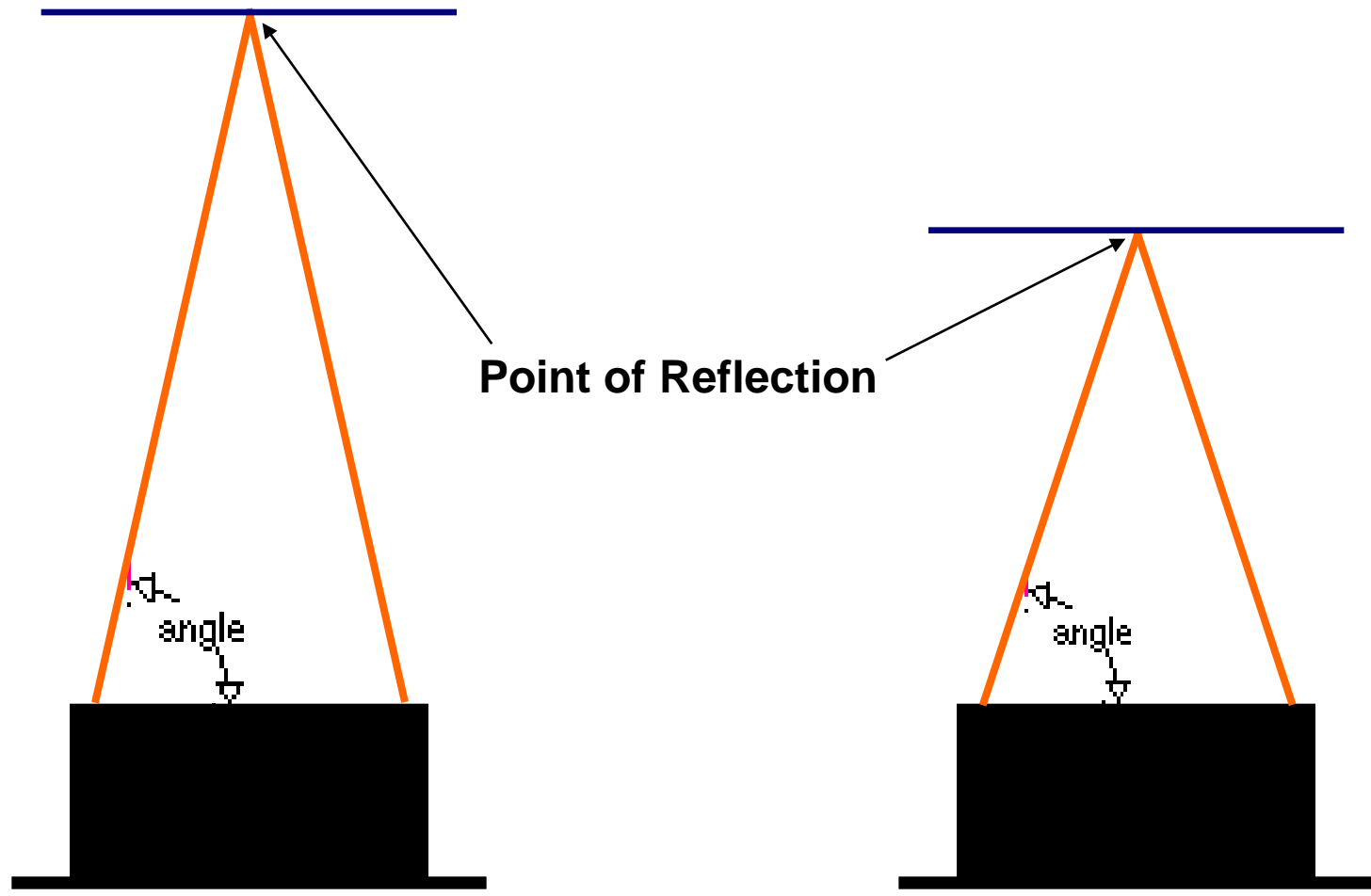
A vonalak hossza a bizonytalanságot jelzi.

Az IR szenzorok infravörös fénysugarat bocsájtanak ki és egy lineáris CCD érzékelőn mérik a visszavert sugár beesési szögét - háromszögelés

Alap jellemzőik:

- Impulzus IR kibocsájtás (emitter)
- Visszaverődve „háromszöget” képez az emitter a tárgy és a detektor között
- az emitter és detektor egymáshoz viszonyított helyzete ismert és kötött
  - közös tokozás

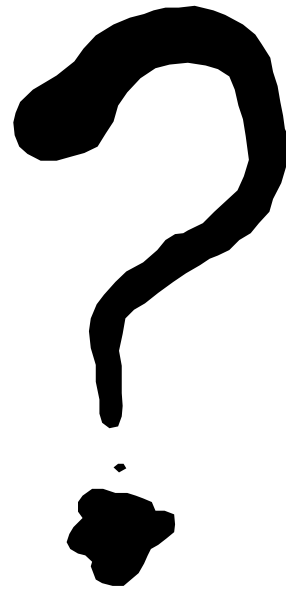
# Infravörös (IR) szenzorok (folyt...)



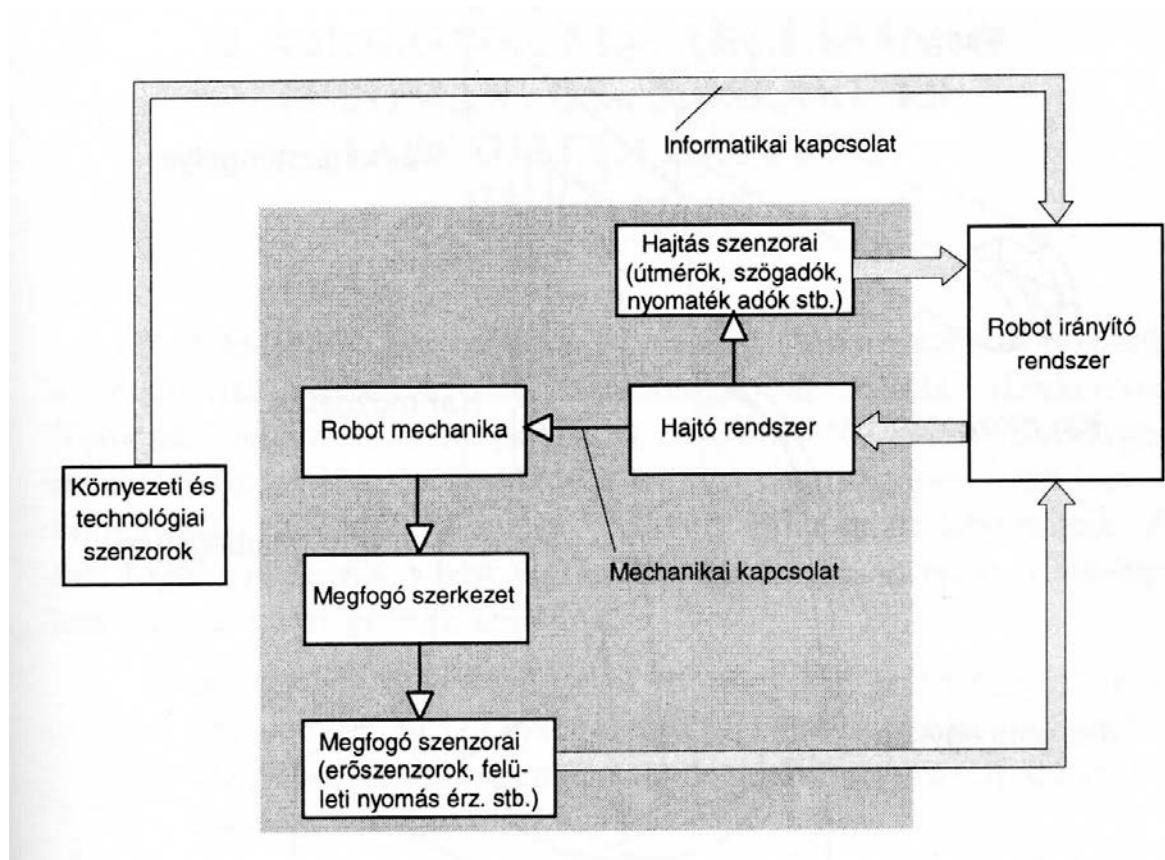
## Sharp analóg szenzorok

- közepes méréstartomány  
GP2D12 (10cm - 80cm)
- közeli mérésekhez  
GP2D15 (1cm - 24cm)
- 38 ms mérési ciklusidő

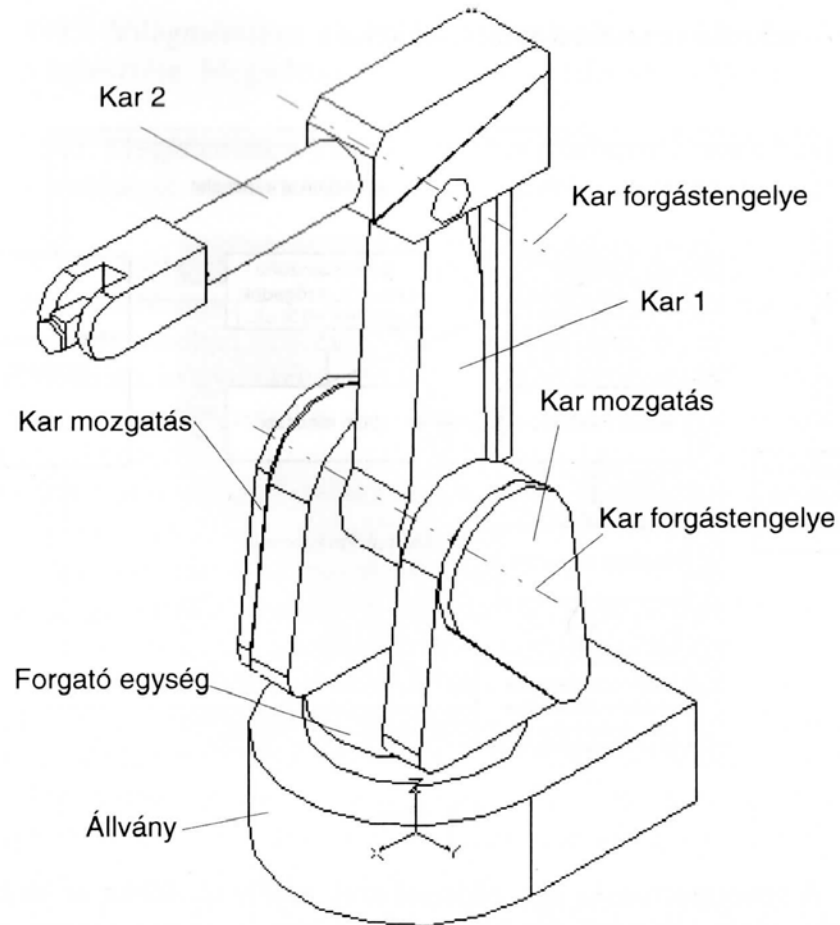




# Robot funkcionális felépítése

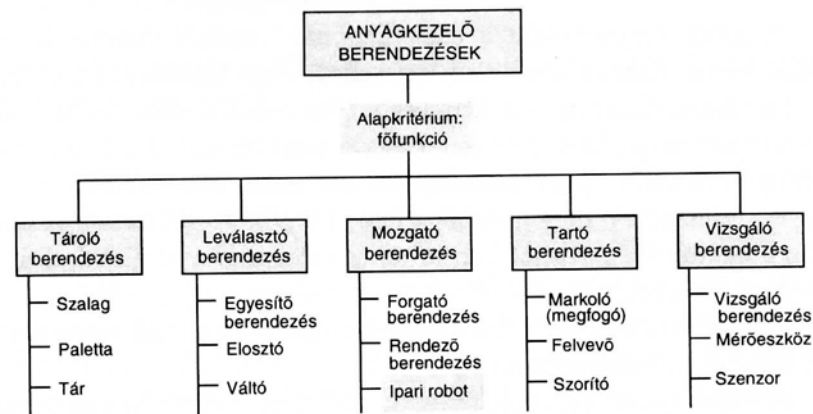


# Karmozgás leképezése



# Robotok funkcionális elemzése

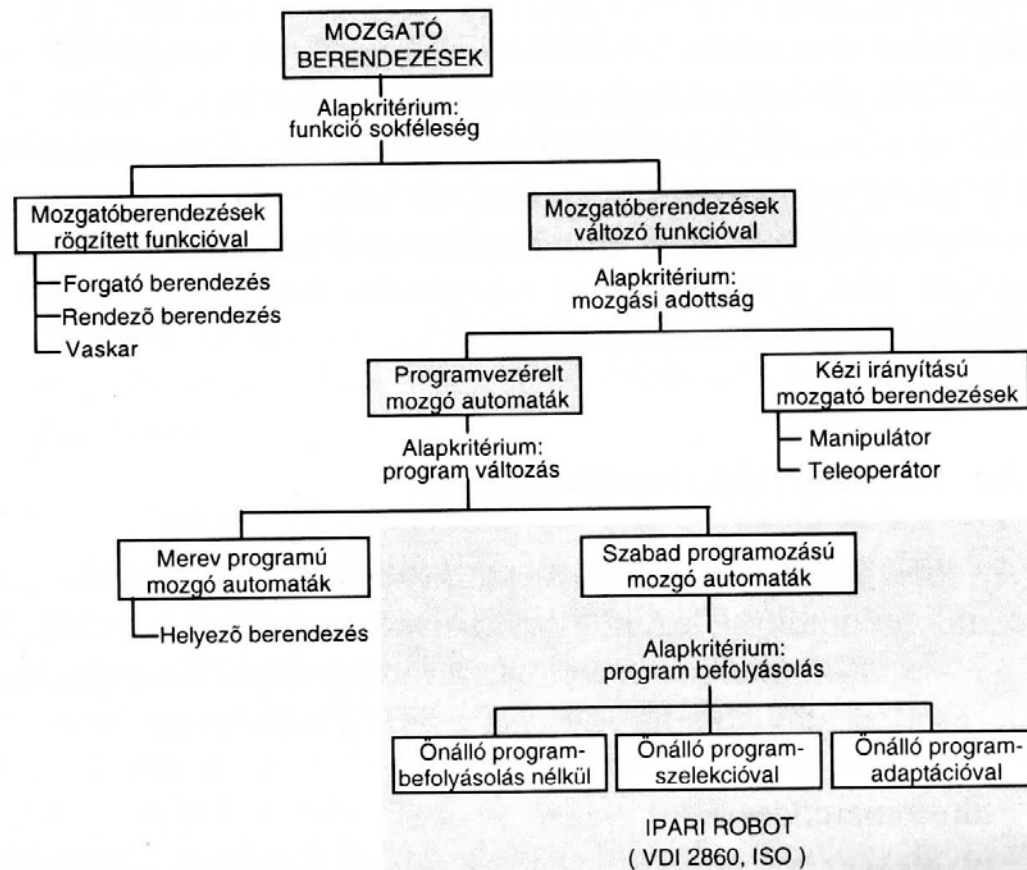
- Anyagkezelő berendezések fő funkcionális egységei (VDI 2860)





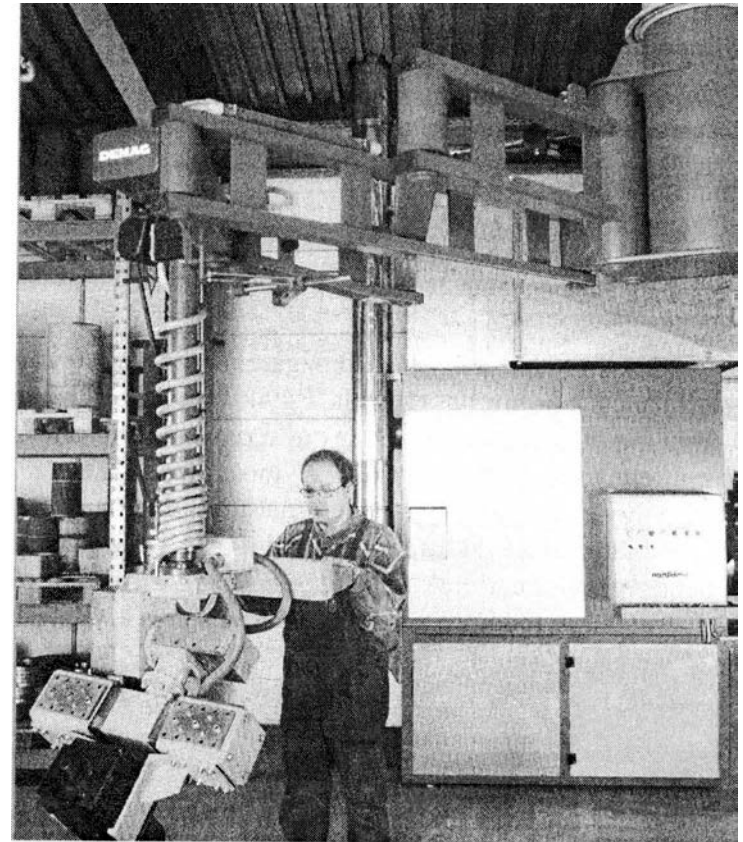
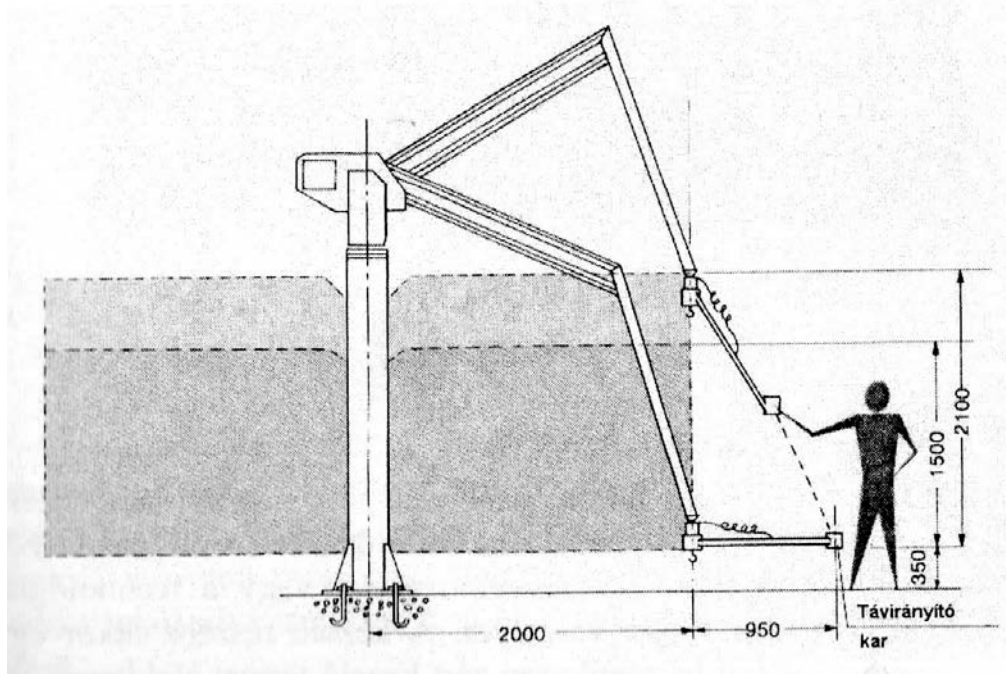
# Robotok funkcionális elemzése

- Mozgató berendezés elemzése



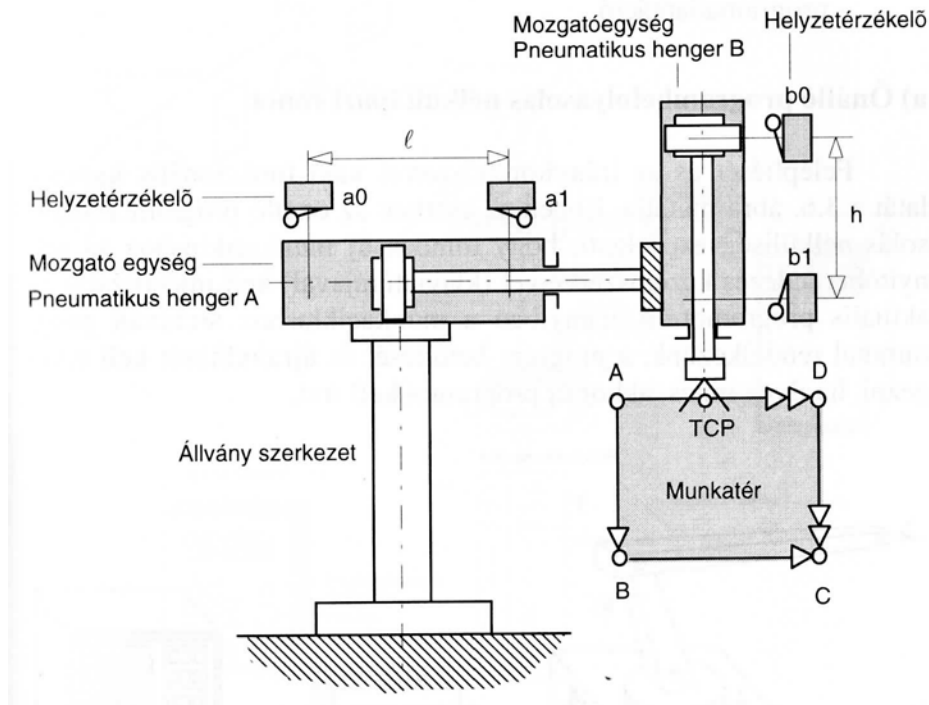
IPARI ROBOT  
( VDI 2860, ISO )

# Manipulátor, teleoperátor



# Helyezőberendezés

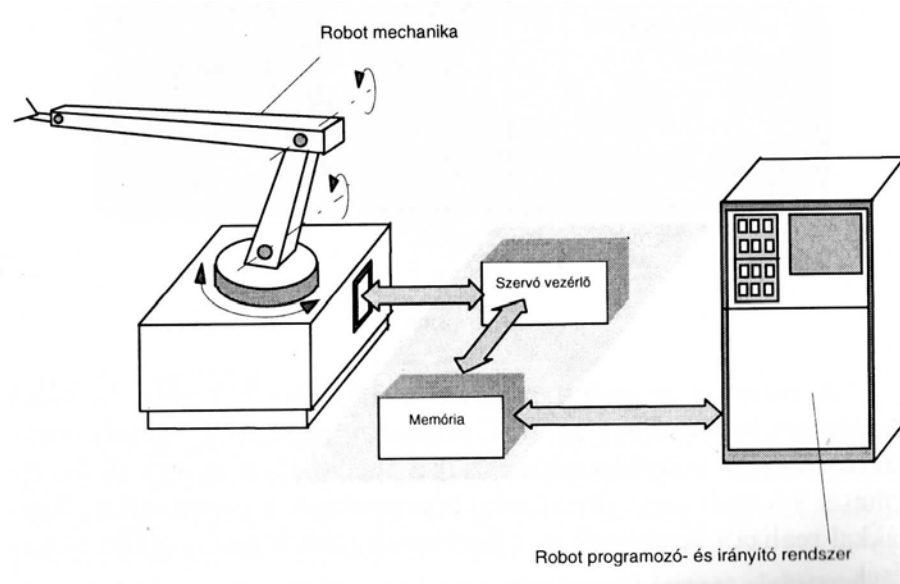
- A programvezérlés csak egyetlen mozgásciklus végrehajtására alkalmas



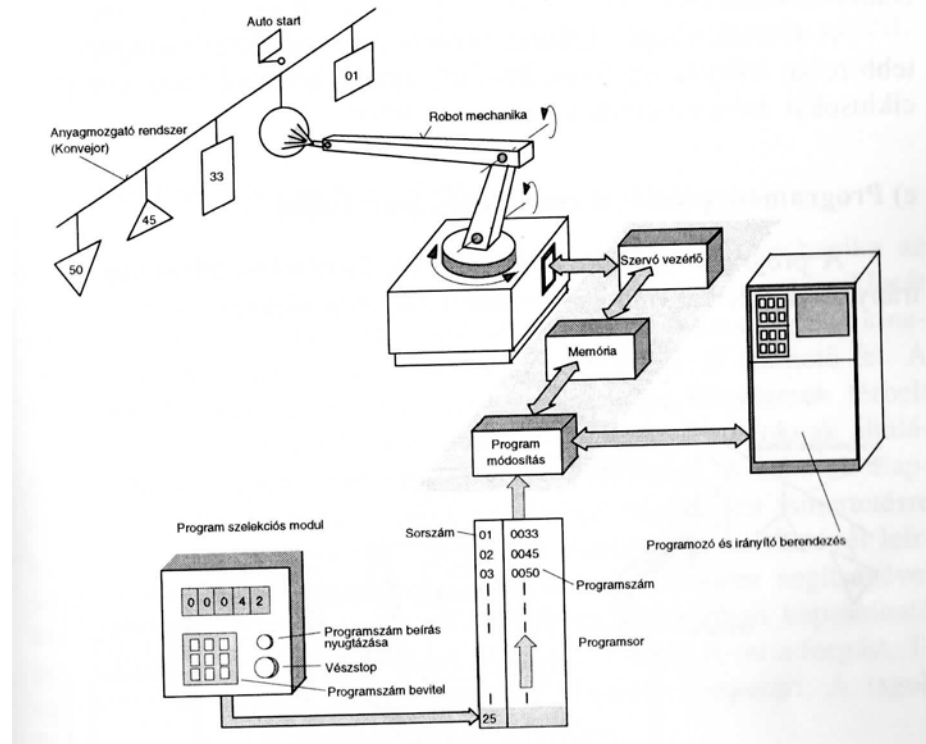
# Ipari robot

- Az ipari robot mechanikus beavatkozás nélkül átprogramozható
  - önálló programbefolyásolás nélkül
  - programszelekció
  - programadaptáció

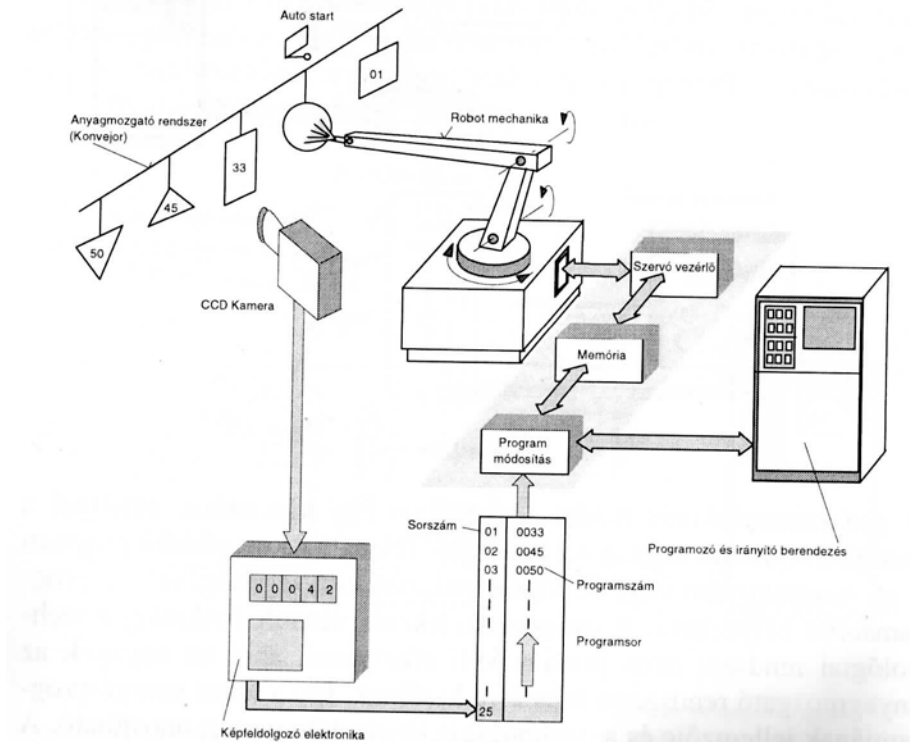
# Önálló programbefolyásolás nélküli ipari robot



# Programszelekcióval rendelkező ipari robot



# Programadaptációval rendelkező ipari robot



# Robotok mechanikai csoportosítása


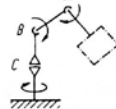


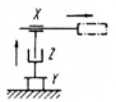


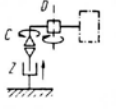


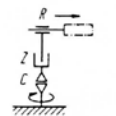




- Mechanikai testek (karok, tagok) + kinematikai kényszerk
- Kinematikai kényszer általában:
  - forgó (**R**otáció)
  - egyenes vonalú mozgás (**T**ranszláció)
- A pozíciómozgás általában három tagú robotmechanikával valósul meg.
  - $2^3 = 8$  egymástól független változatban kapcsolható egymáshoz


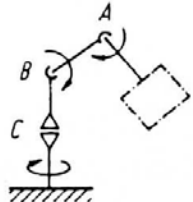


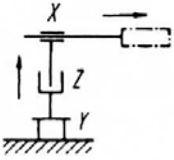
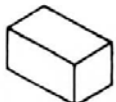
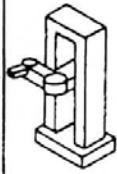
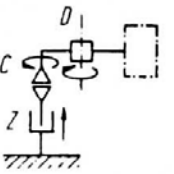



# A tagok összekapcsolási változatai

- **RRR**
  - RTR
  - **TRR**
  - **RRT**
  - TRT
  - **RTT**
  - TTR
  - **TTT**
- Robot osztályok
    - derékszögű koordinátarendszerű **TTT**
    - henger koordinátarendszerű **RTT**
    - gömbi koordinátarendszerű **RRT**
    - csuklós rendszerű
      - függőleges síkú csuklókaros **RRR**
      - vízszintes síkú csuklókaros **TRR**

# Robot osztályok (kinematikai felépítés szerint)

Kinematikai jelleg	Képi nézet	Kinematikai felépítés	Munkatér
Csuklókaros (függőleges síkú)			
Derékszögű koordinátás			
Csuklókaros (vízszintes síkú)			
Henger koordinátás			
Gombi koordinátás			

Kinematikai jelleg	Képi nézet	Kinematikai felépítés	Munkatér
Csuklókaros (függőleges síkú)			
Derékszögű koordinátás			
Csuklókaros (vízszintes síkú)			

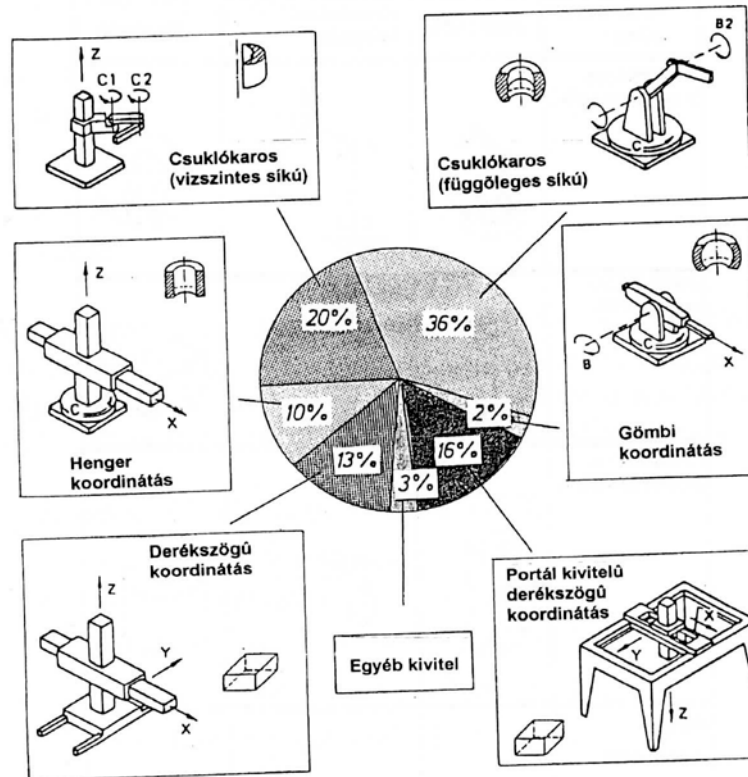
# Robot osztályok (kinematikai felépítés szerint)

Kinematikai jelleg	Képi nézet	Kinematikai felépítés	Munkatér
Csuklókaros (függőleges síkú)			
Derékszögű koordinátás			
Csuklókaros (vízszintes síkú)			
Henger koordinátás			
Gömbi koordinátás			

Henger koordinátás			
Gömbi koordinátás			

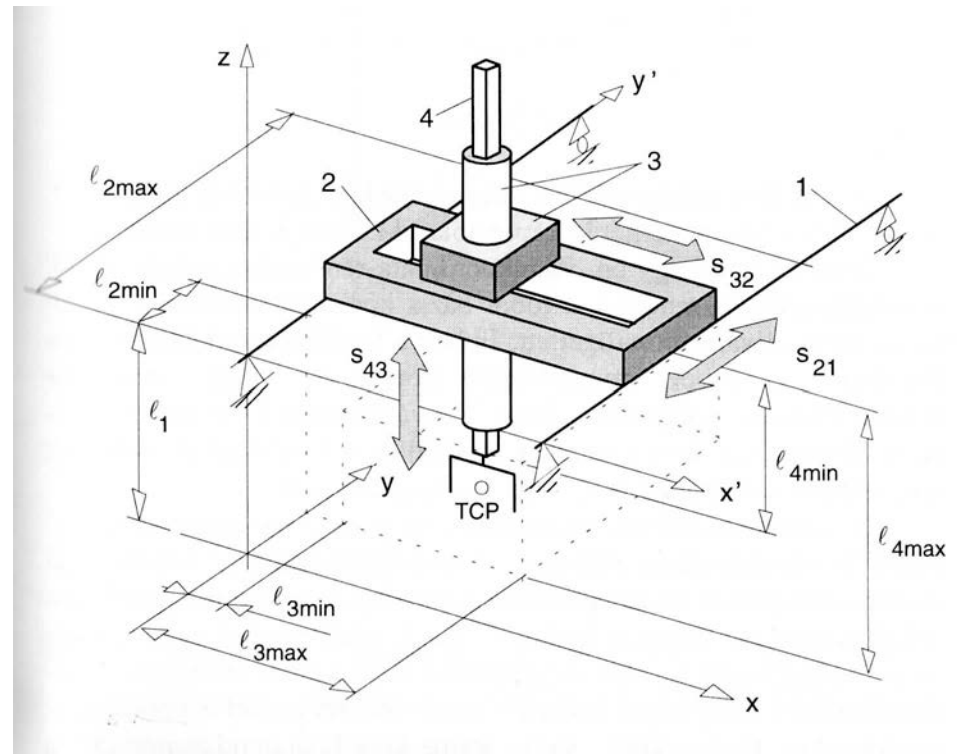
# Egyes osztályok százalékos megoszlása



# Robotok mechanikai felépítése

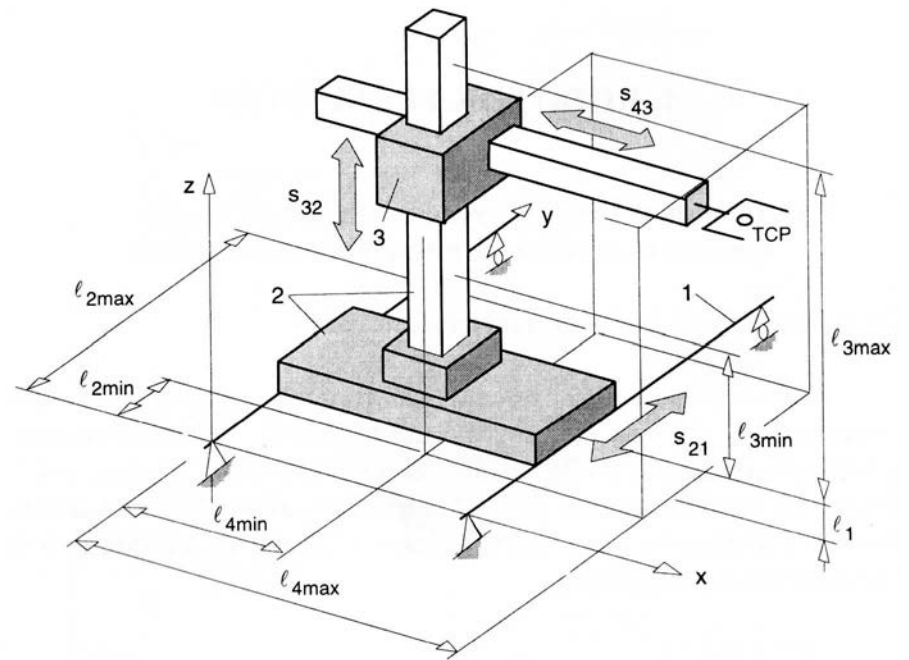
# Derékszögű koordinátarendszerű robot

- Portál robot

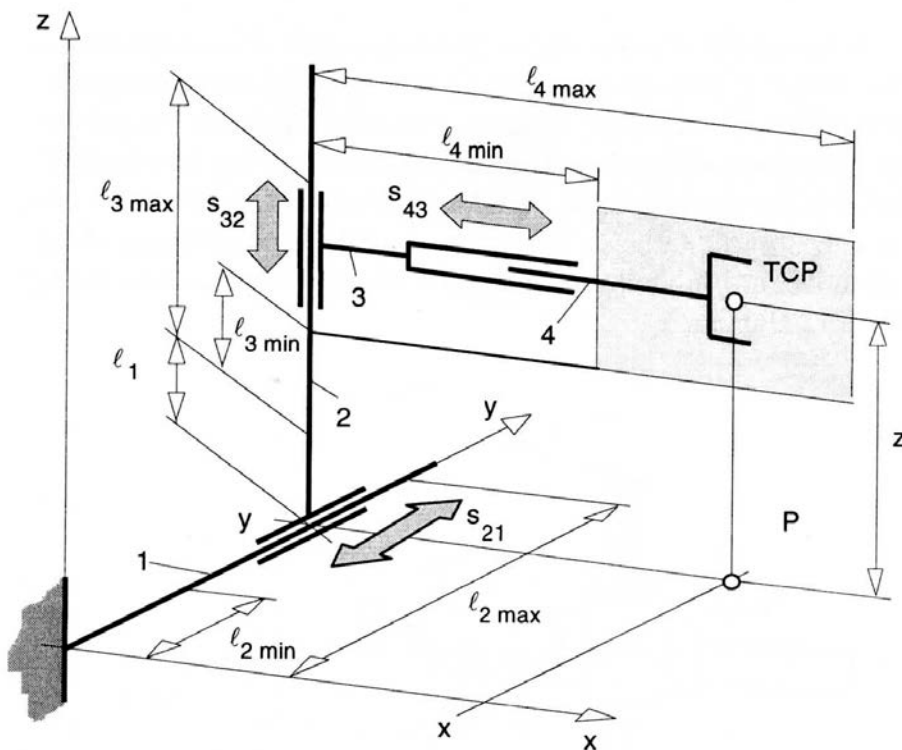


# Derékszögű koordinátarendszerű robot

- Álló rendszerű



# Derékszögű koordinátarendszerű robot



$$x = l_{4\min} + s_{43}$$

$$y = l_{2\min} + s_{21}$$

$$z = l_1 + l_{3\min} + s_{32}$$

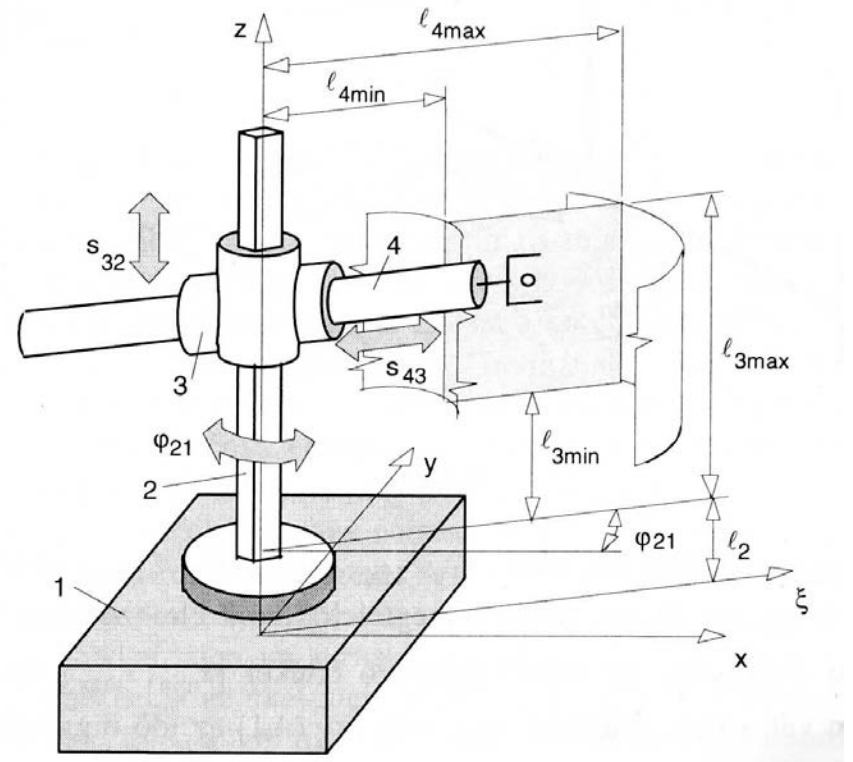
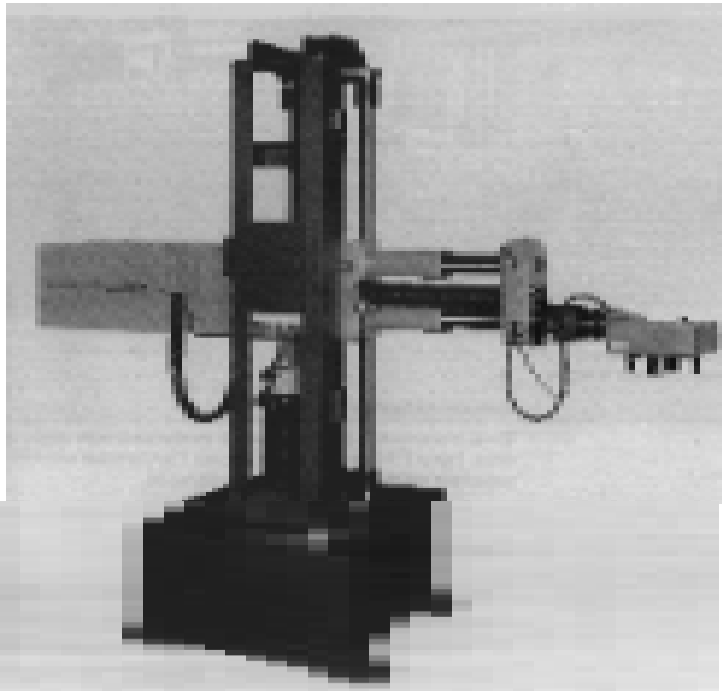
$$x(t) = l_{4\min} + s_{43}(t)$$

$$y(t) = l_{2\min} + s_{21}(t)$$

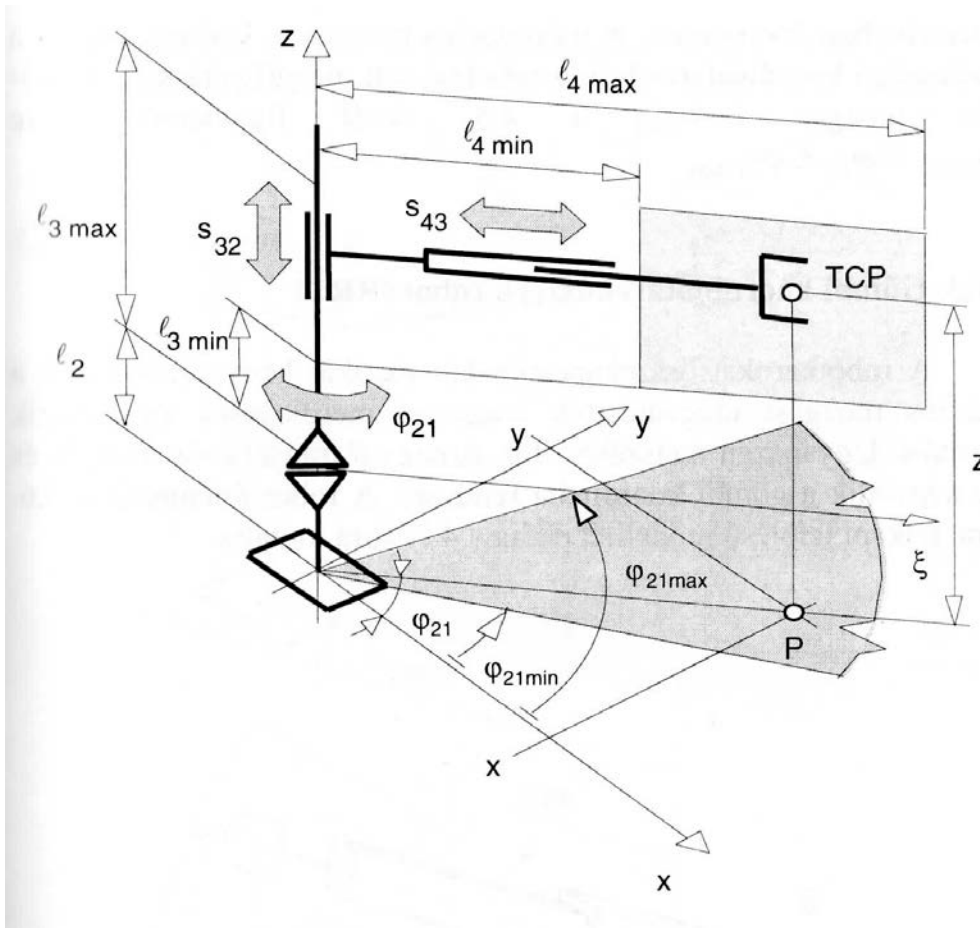
$$z(t) = l_1 + l_{3\min} + s_{32}(t)$$



# Henger koordinátarendszerű robot (RTT)



# Henger koordinátarendszerű robot (RTT)



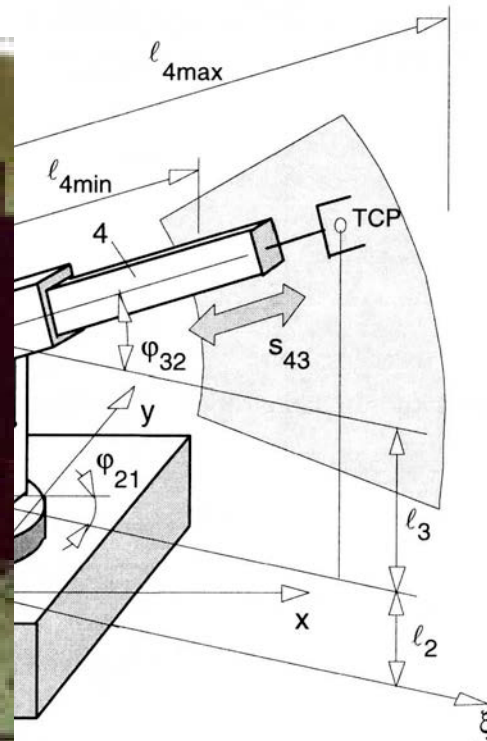
$$x = (l_{4 \min} + s_{43}) \cos \varphi_{21}$$

$$y = (l_{4 \min} + s_{43}) \sin \varphi_{21}$$

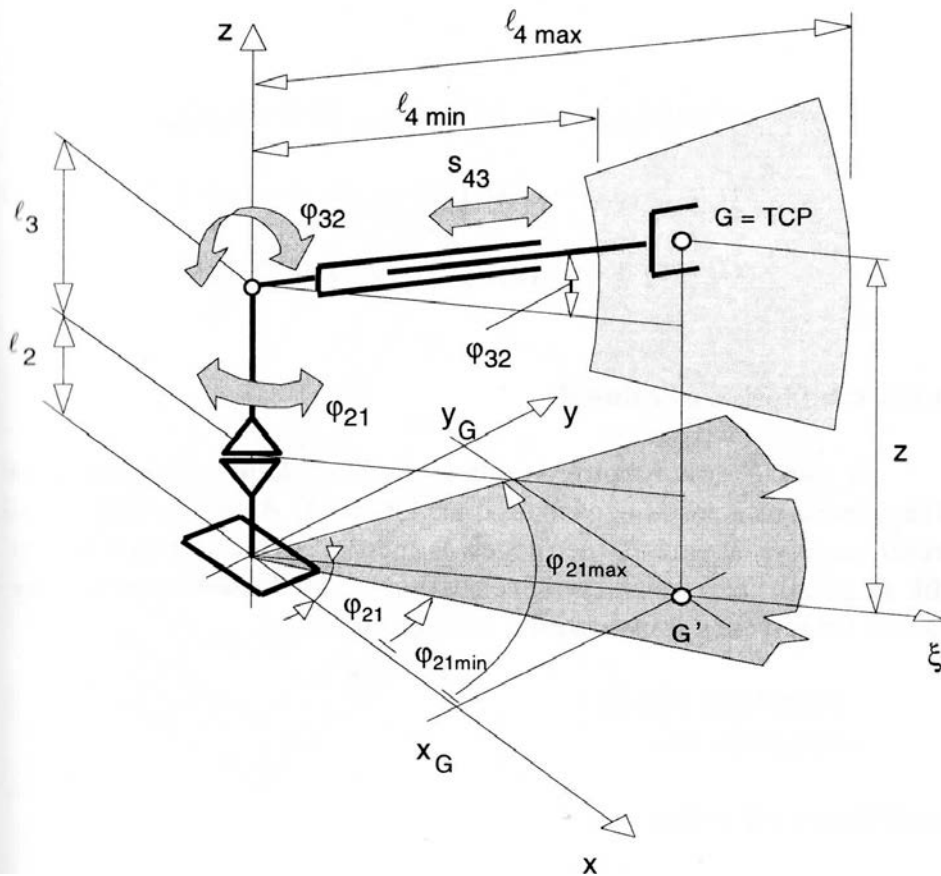
$$z = l_2 + l_{3 \min} + s_{32}$$

$$\varphi_{21 \min} \leq \varphi_{21} \leq \varphi_{21 \max}$$

# Gömbi koordinátarendszerű robot (RRT)



# Gömbi koordinátarendszerű robot (RRT)



$$x = (l_{4\min} + s_{43}) \cos \varphi_{32} \cos \varphi_{21}$$

$$y = (l_{4\min} + s_{43}) \cos \varphi_{32} \sin \varphi_{21}$$

$$z = l_2 + l_3 + (l_{4\min} + s_{43}) \sin \varphi_{32}$$

$$\varphi_{21\min} \leq \varphi_{21} \leq \varphi_{21\max}$$

$$\varphi_{32\min} \leq \varphi_{32} \leq \varphi_{32\max}$$

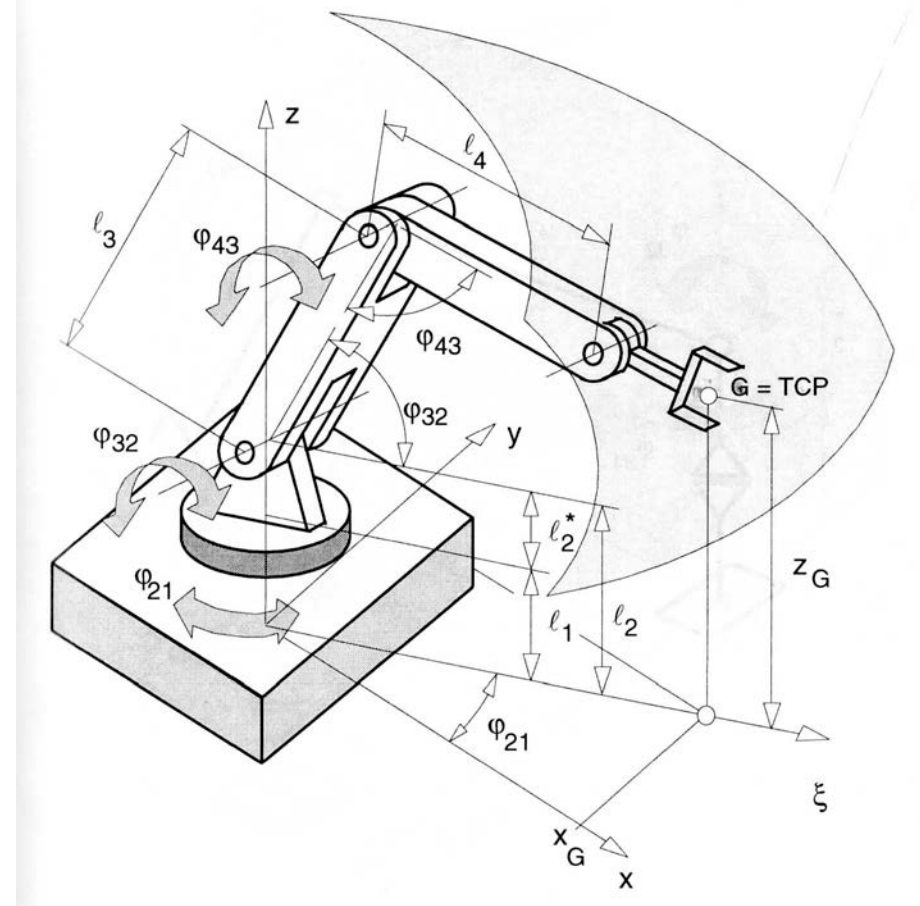
$$x(t) = (l_{4\min} + s_{43}(t)) \cos \varphi_{32}(t) \cos \varphi_{21}(t)$$

$$y(t) = (l_{4\min} + s_{43}(t)) \cos \varphi_{32}(t) \sin \varphi_{21}(t)$$

$$z(t) = l_2 + l_3 + (l_{4\min} + s_{43}(t)) \sin \varphi_{32}(t)$$

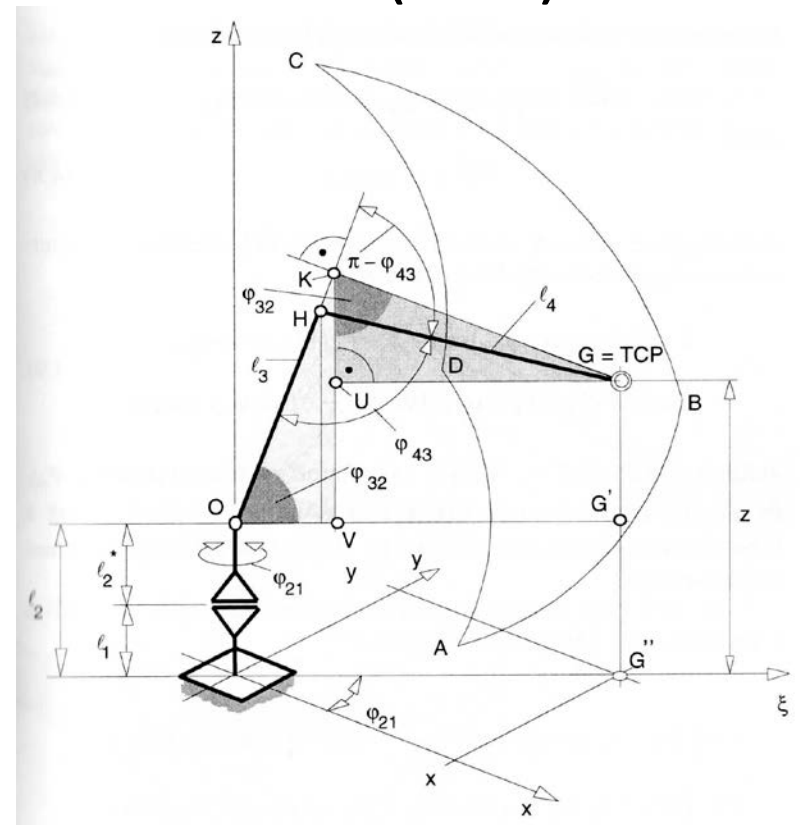
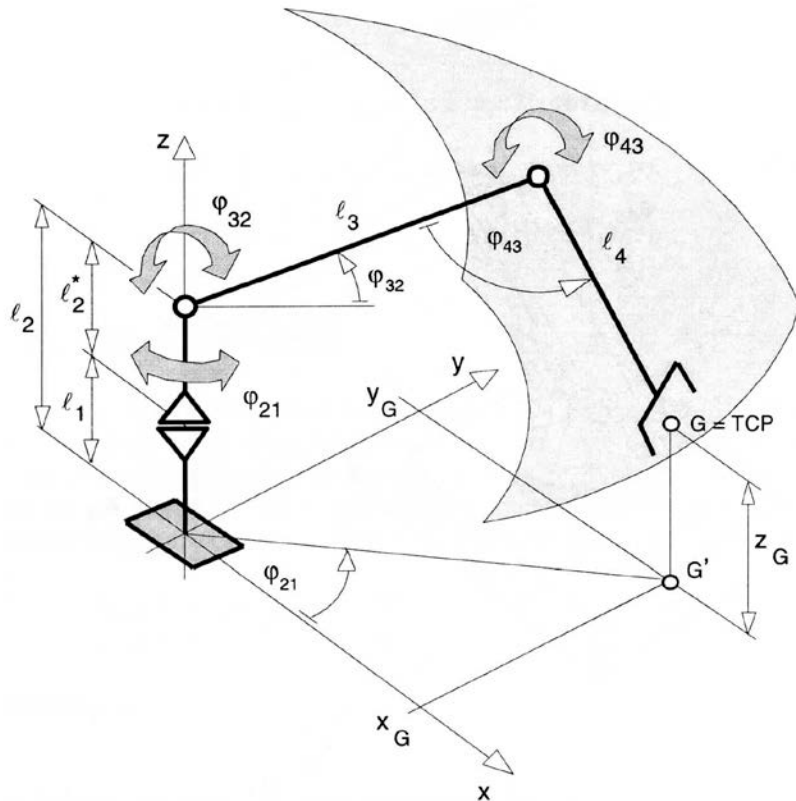
# Csuklókaros Robotok

- Függőleges síkú csuklókaros robotok (RRR)



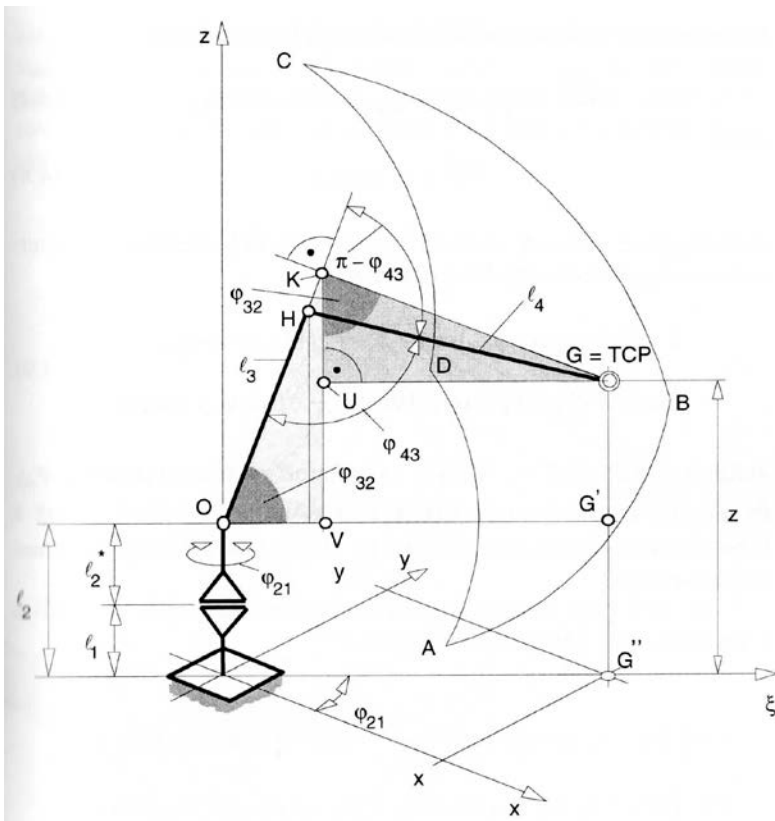
# Csuklókaros Robotok

- Függőleges síkú csuklókaros robotok (RRR)



# Csuklókaros Robotok

- Függőleges síkú csuklókaros robotok (RRR)



$$\xi = (l_3 + \overline{HK}) \cos \varphi_{32} + \overline{KG} \sin \varphi_{32}$$

$$z = l_2 + (l_3 + \overline{HK}) \sin \varphi_{32} - \overline{KG} \cos \varphi_{32}$$

$$\overline{HK} = l_4 \cos(\pi - \varphi_{43}) = -l_4 \cos \varphi_{43}$$

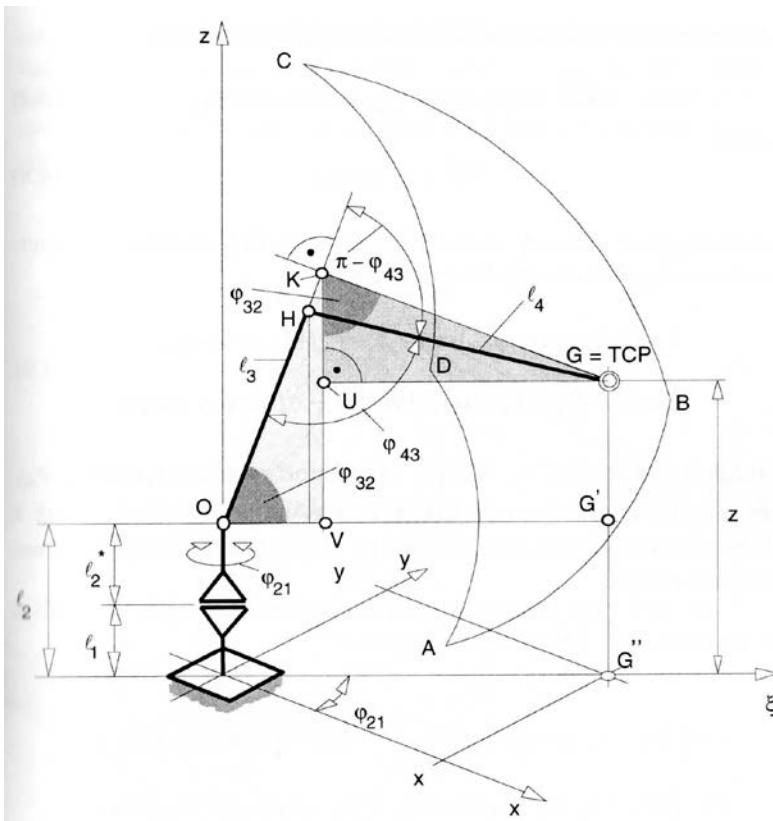
$$\overline{KG} = l_4 \sin \varphi_{43}$$

$$\xi = (l_3 - l_4 \cos \varphi_{43}) \cos \varphi_{32} + l_4 \sin \varphi_{43} \sin \varphi_{32}$$

$$z = l_2 + (l_3 + l_4 \sin \varphi_{43}) \sin \varphi_{32} - l_4 \sin \varphi_{43} \cos \varphi_{32}$$

# Csuklókaros Robotok

- Függőleges síkú csuklókaros robotok (RRR)



$$x = \left( (l_3 - l_4 \cos \varphi_{43}) \cos \varphi_{32} + l_4 \sin \varphi_{43} \sin \varphi_{32} \right) \cos \varphi_{21}$$

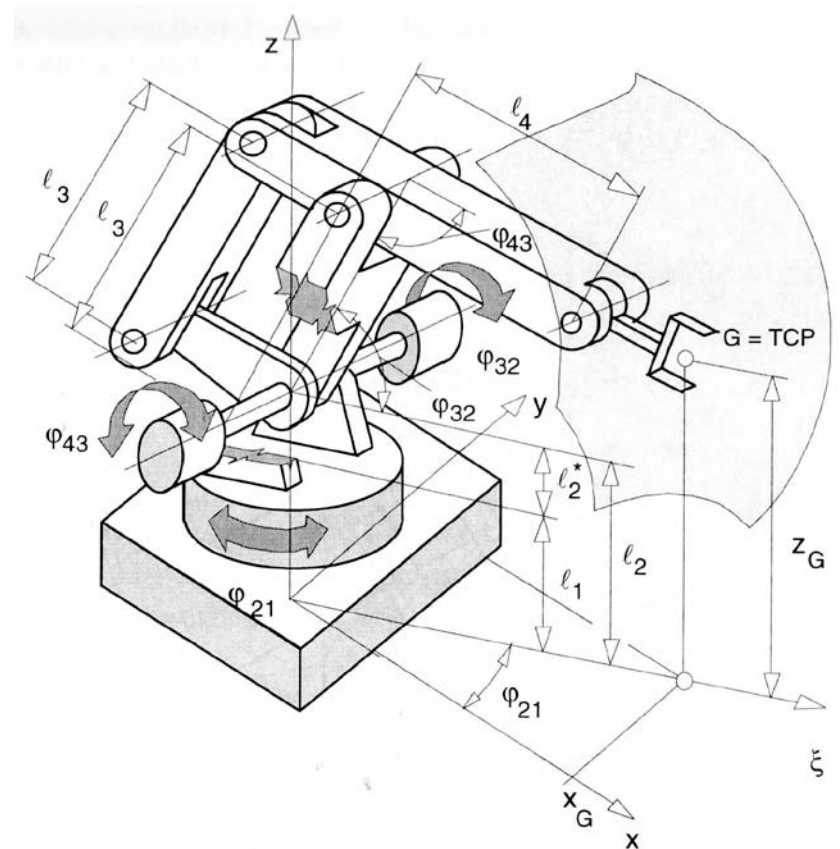
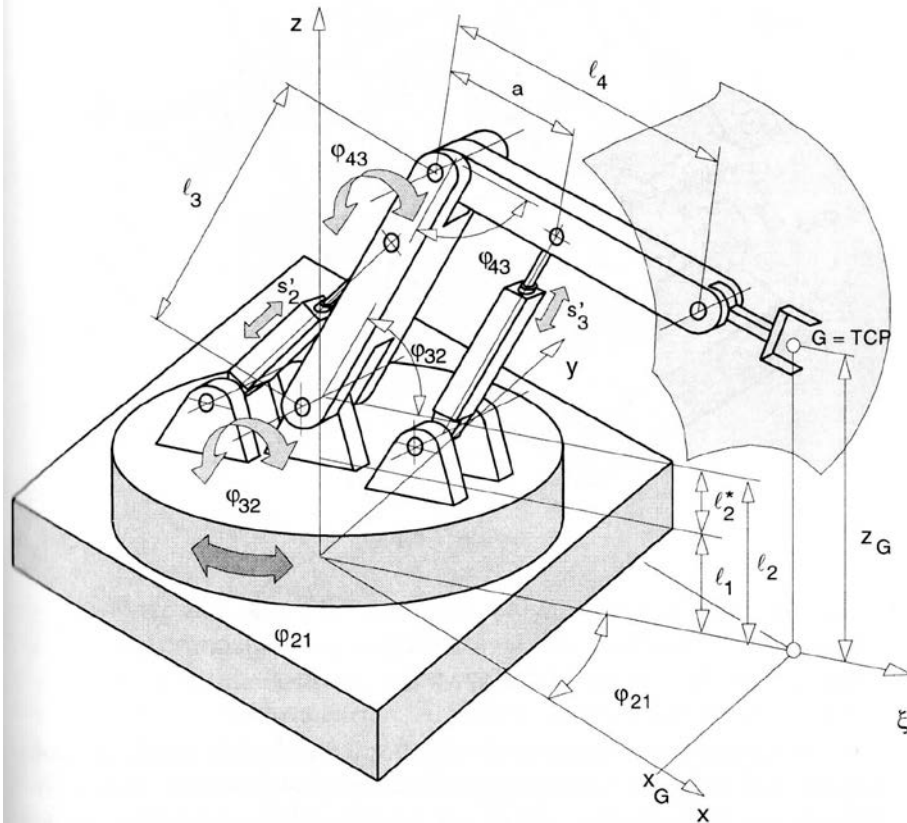
$$y = \left( (l_3 - l_4 \cos \varphi_{43}) \cos \varphi_{32} + l_4 \sin \varphi_{43} \sin \varphi_{32} \right) \sin \varphi_{21}$$

$$z = l_2 + (l_3 + l_4 \sin \varphi_{43}) \sin \varphi_{32} - l_4 \sin \varphi_{43} \cos \varphi_{32}$$



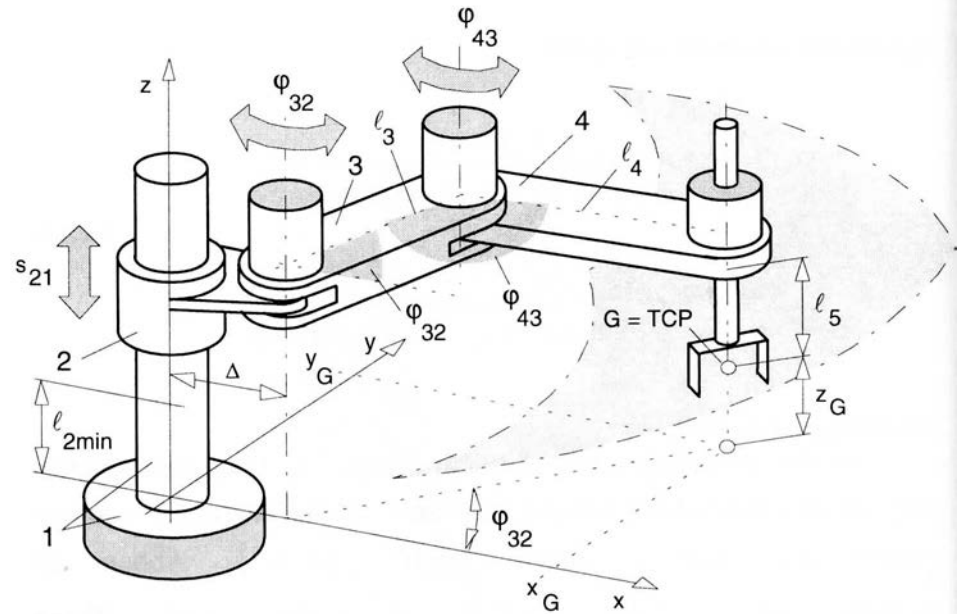
# Csuklókaros Robotok

- Függőleges síkú csuklókaros robotok (RRR)



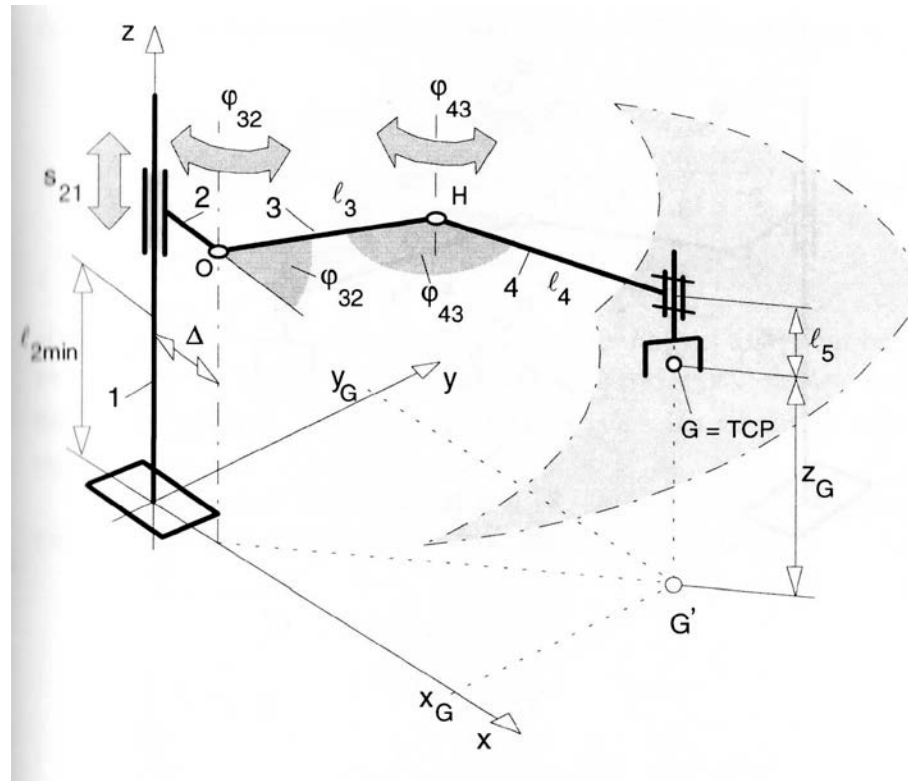
# Csuklókaros Robotok

- Vízszintes síkú csuklókaros robotok (RRT , TRR)
  - SCARA - Selective Compliance Assembly Robot Arm



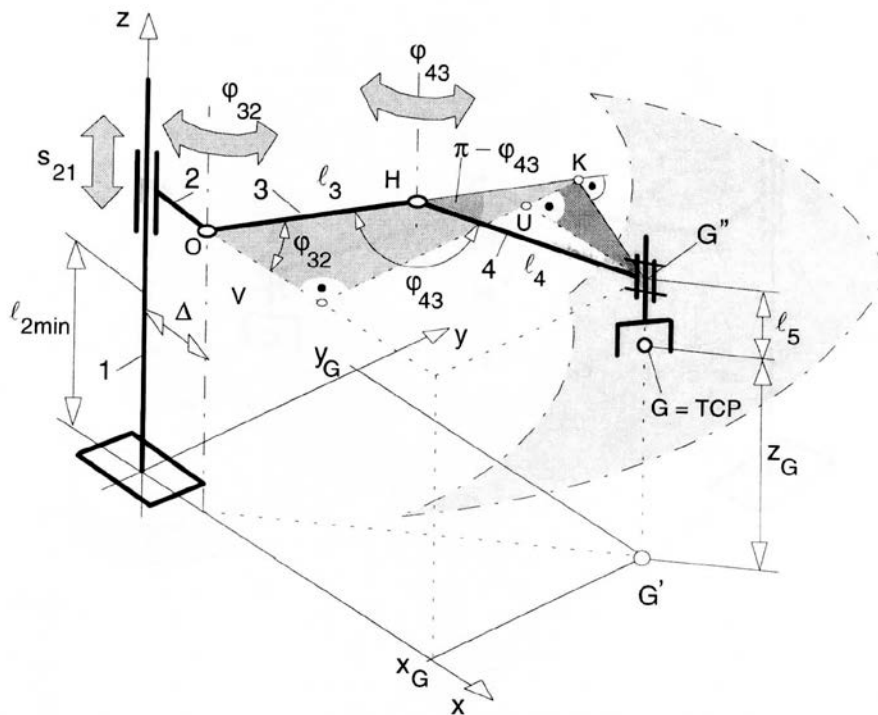
# Csuklókaros Robotok

- Vízszintes síkú csuklókaros robotok (TRR - SCARA)



# Csuklókaros Robotok

- Vízszintes síkú csuklókaros robotok (TRR - SCARA)



$$x = \Delta + (l_3 + \overline{HK}) \cos \varphi_{32} + \overline{KG} \sin \varphi_{32}$$

$$y = (l_3 + \overline{HK}) \sin \varphi_{32} - \overline{KG} \cos \varphi_{32}$$

$$z = l_{2\min} + s_{21} - l_5$$

$$\overline{HK} = -l_4 \cos \varphi_{43}$$

$$\overline{KG''} = l_4 \sin \varphi_{43}$$

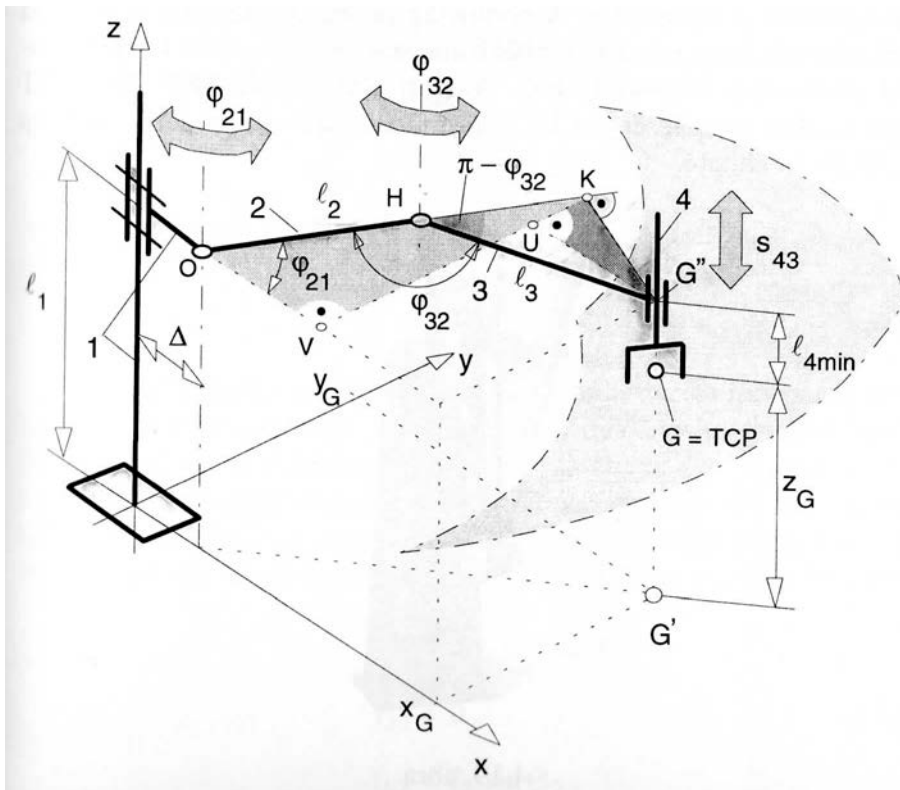
$$x = \Delta + (l_3 - l_4 \cos \varphi_{43}) \cos \varphi_{32} + l_4 \sin \varphi_{43} \sin \varphi_{32}$$

$$y = (l_3 - l_4 \cos \varphi_{43}) \sin \varphi_{32} - l_4 \sin \varphi_{43} \cos \varphi_{32}$$

$$z = l_{2\min} + s_{21} - l_5$$

# Csuklókaros Robotok

- Vízszintes síkú csuklókaros robotok (RRT - SCARA)



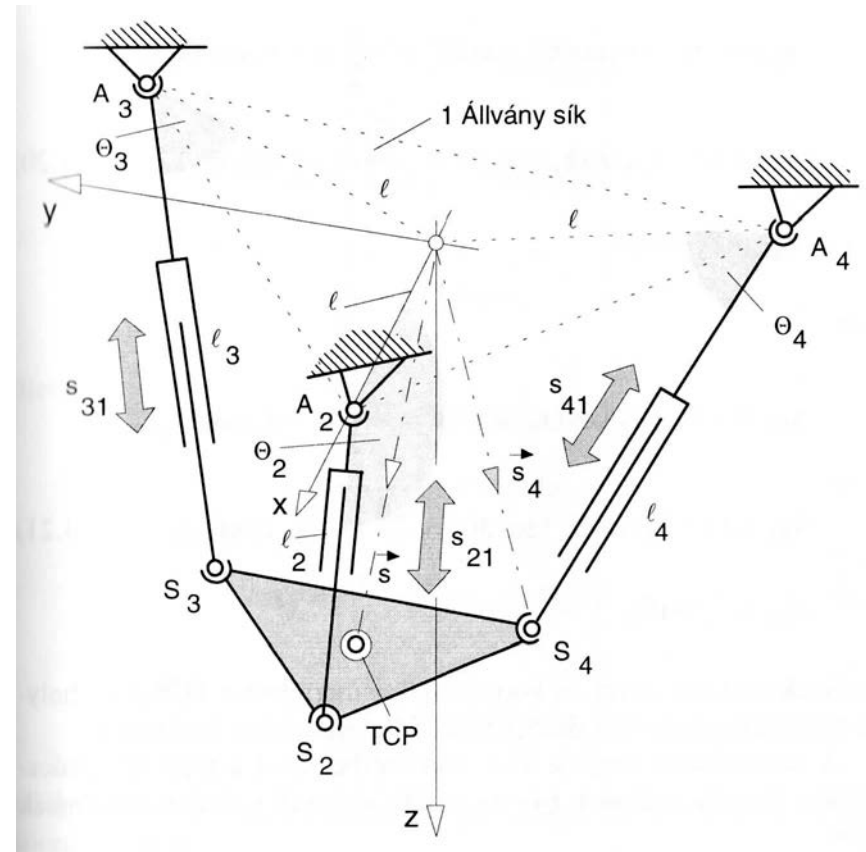
$$x = \Delta + (l_2 - l_3 \cos \varphi_{32}) \cos \varphi_{21} + l_3 \sin \varphi_{32} \sin \varphi_{21}$$

$$y = (l_2 - l_3 \cos \varphi_{32}) \sin \varphi_{21} - l_3 \sin \varphi_{32} \cos \varphi_{21}$$

$$z = l_1 - l_{4\min} - s_{43}$$

# Robotplatformok lineáris mozgásokból

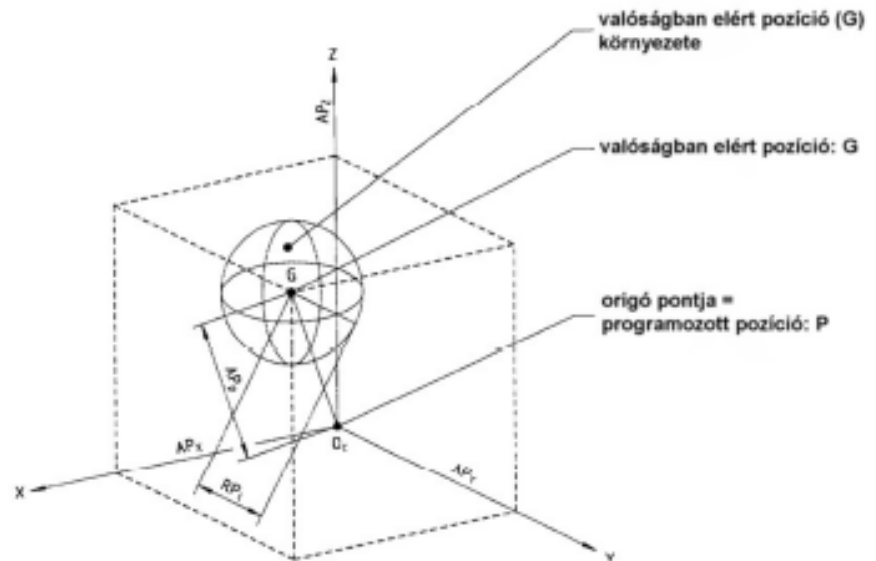
- Tricept



# Robot főbb pontossági paramétereit - 1

- ISO 9283 Manipulating industrial robots -- Performance criteria and related test methods
- **AP /Pose accuracy/ Pozícionálási pontosság**
  - A programozott pozíció és a valóságban elért átlagos pozíció közötti különbség.
  - IRB 2400L-7/1.8 ABB robotnál értéke 0.04mm.
  - adott terheléssel, ugyanazon programozott pozíciót vizsgálva és azonos irányból végezve a méréseket

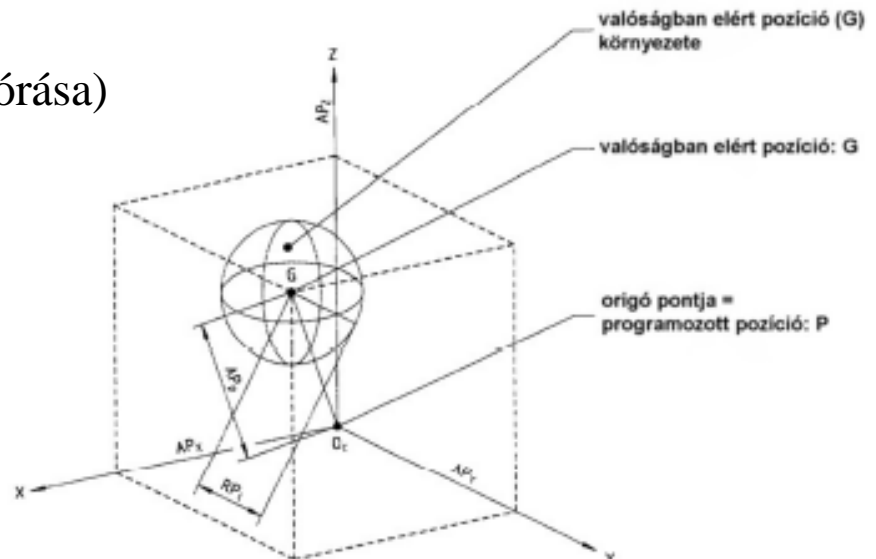
$$AP_p = \sqrt{AP_x^2 + AP_y^2 + AP_z^2}$$



# Robot főbb pontossági paramétereit - 2

- **2.1.2 RP /Pose repeatability/ Pozíció ismétlési pontossága**
  - A „legnagyobb variációs gömb” sugara,
  - IRB 2400L-7/1.8 ABB robotnál értéke 0.07mm.
  - Egy adott mérési sorozaton belül, adott terheléssel, ugyanazon programozott pozíciót vizsgálva és azonos irányból végezve a méréseket.
  - Az ismétlési pontosság a robot alkatrészeinek precizitásától és merevségétől függ.

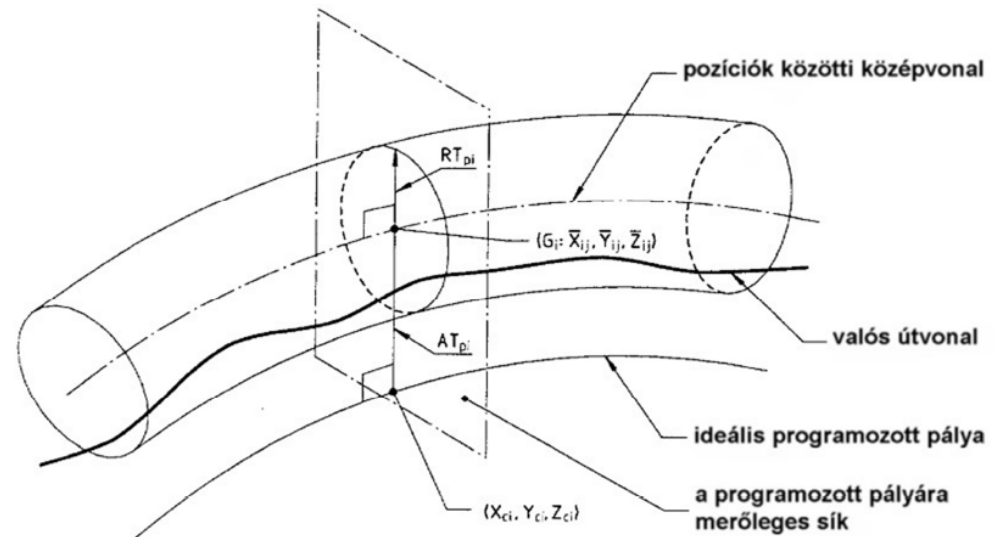
$$RP_l = l_{\text{átl}} + 3S_l \quad (S_l : \text{eltérések szórása})$$





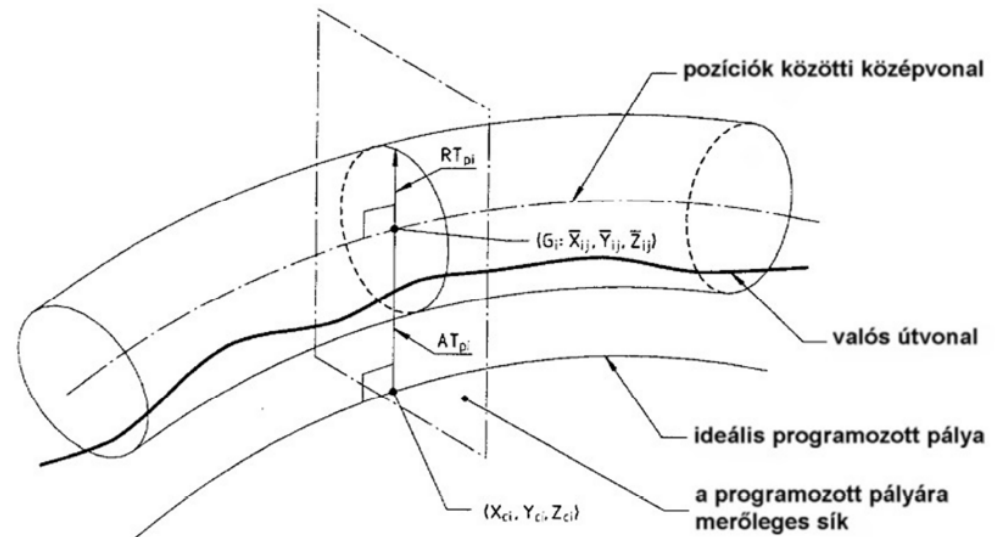
# Robot főbb pontossági paramétereit - 3

- **AT /Linear path accuracy/ Lineáris pálya pontosság**
  - A maximális pályaeltérést jelenti az egyes programozott teszt pozíciópontok közötti ideális pálya és a valóban befutott pályák között, IRB 2400L-7/1.8 ABB robotnál értéke 0.78mm.
  - A lineáris pálya pontossága a robot mechanikai pontosságától, a pozíciómérő rendszer felbontásától és a robot kalibráltságától függ.



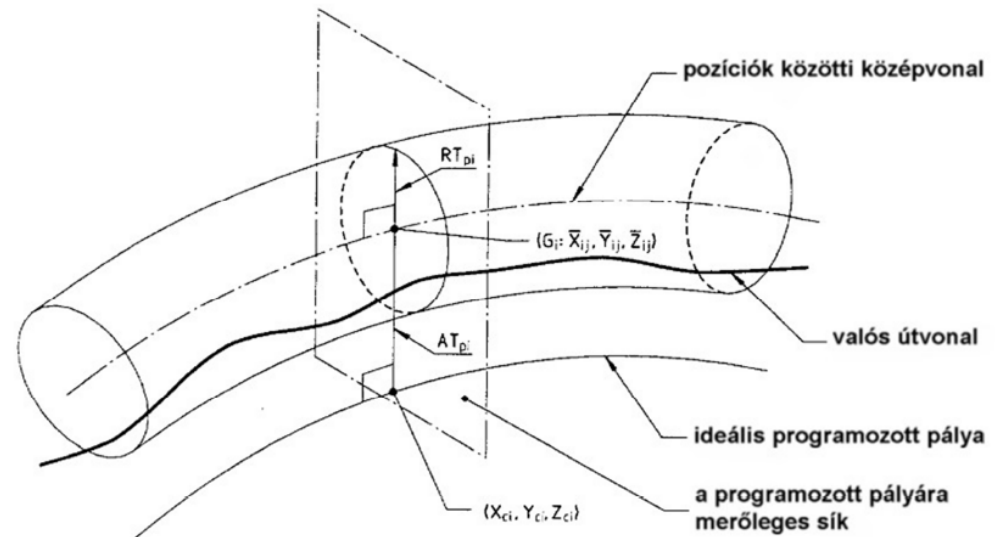
# Robot főbb pontossági paramétereit - 3

- **AT /Linear path accuracy/ Lineáris pálya pontosság**
  - A maximális pályaeltérést jelenti az egyes programozott teszt pozíciópontok közötti ideális pálya és a valóban befutott pályák között, IRB 2400L-7/1.8 ABB robotnál értéke 0.78mm.
  - A lineáris pálya pontossága a robot mechanikai pontosságától, a pozíciómérő rendszer felbontásától és a robot kalibráltságától függ.



# Robot főbb pontossági paramétereit - 4

- **2.1.4 RT /Linear path repeatability/ Lineáris pályaismétlés pontossága**
  - Az egyes programozott teszt pozíciópontok között ismételt utak közötti maximális eltérést jelenti. IRB 2400L-7/1.8 ABB robotnál értéke 0.11mm.
  - A lineáris pályaismétlés pontossága a robot mechanikai pontosságától és a pozíciómérő rendszer felbontásától függ.



# Robot főbb pontossági paraméterei - 5

- **AD /Distance accuracy/ Távolsági pontosság**
  - Az egyes programozott teszt pozíciópontok (P2, P4 átló az ISO kockában) közötti és a valóságban elért átlagos pozíciópontok közötti távolság eltérését jelenti, általános értéke ~20mm.
- **RD /Distance repeatability/ Távolság ismétlési pontossága**
  - A valóságban elért pozíciópontok közötti távolság eltérései szórásának háromszorosa, általános értéke ~ 0.2mm.

# Robot főbb pontossági paraméterei - 6

- **E /Exchangeability/ Robot felcserélhetőség**
  - Mértéke kifejezi, hogy egy adott robot típus lecserélése után mennyivel változnak a pozíciók ugyanazon körülményeket feltételezve (hőmérséklet, mechanikai installáció, szerszámozás).
  - Az eltérések a következőkből adódnak:
    - gyártásból adódó mechanikus toleranciákból
    - robot összeszerelési eltérésekből
    - kalibrációs hibákból
  - Mérése 5 robotra vonatkozik, robotonként 30 méréssel, és ugyanazt a vezérlőt használva. Az eltérések maximumát kell megadni.
  - Ez az érték nagyban kifejezi a robot minőségét, éppen ezért a robotok paraméterei között nem tüntetik fel szívesen, nagyságrendileg 10 és 30mm között fordul elő. (nagyban összefügg a távolsági pontossággal)

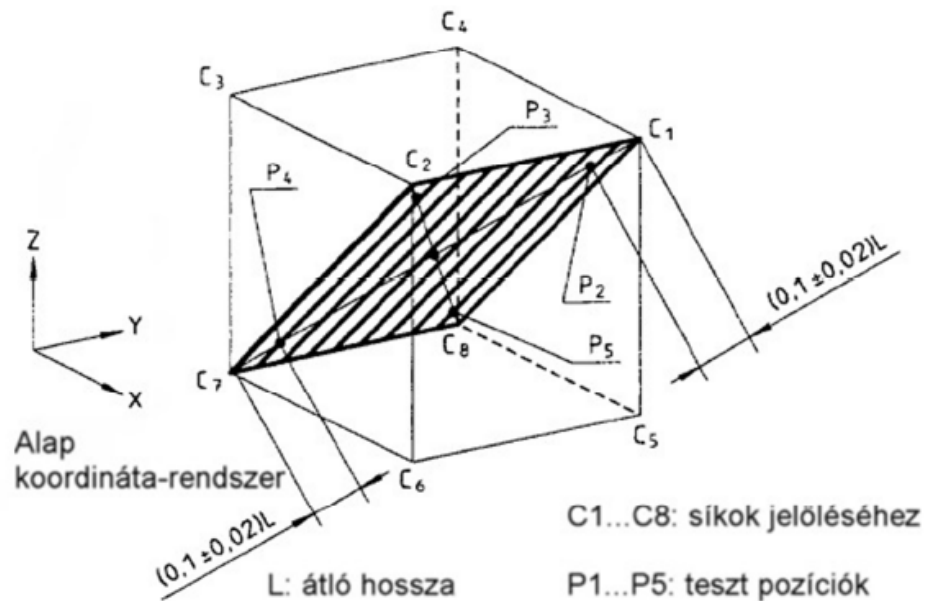
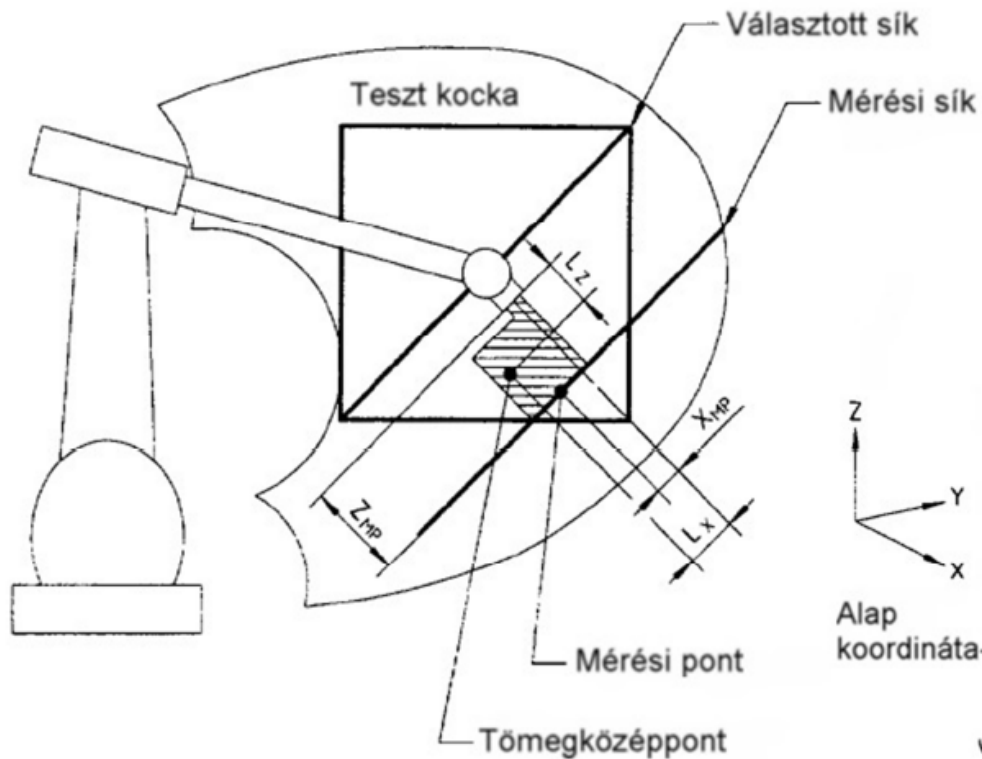
# Robot főbb pontossági paraméterei - 7

- /Multi directional pose accuracy variation/ Több irányú pozícionálási pontosság változás
- /Position stabilisation time/ Pozíció stabilizációs idő
- /Position overshoot/ Pozíció túllövés
- /Drift of pose characteristics/ Pozícionálási pontosság elkúszásának mértéke
- /Path accuracy on reorientation/ Reorientációs pálya pontosság
- /Cornering deviation/ Eltérések sarokponti mozgásnál
- /Path velocity characteristics/ Sebesség eltérések a pálya mentén
- /Minimum posing time/ Minimális pozícionálási idő
- /Static compliance/ Statikus terhelésekre adott pozíció eltérés
- /Weaving deviations/ Pályára superponált keresztmozgások eltérése (hegesztő, ragasztó felhasználásoknál használatos)
  
- **Orientációs hibák**

# Pontossági paraméterek tesztelése

- gyártó által ajánlott felállítás, installálás
  - bemelegedett rendszer (warmed-up) /kivéve a "drift of pose" mérést
  - névleges terhelés
  - környezeti hőmérséklet  $20\text{C}^{\circ} \pm 2\text{C}^{\circ}$  (24 órás aklimatizáció szükséges)
  - mérések alap koordináta-rendszerben
  - a referencia és a mérési pontok az un. ISO kockán belül legyenek
- a méréseket a pozíció stabilizálódása után végezzük
- mérési pont a TCP (pontos helyét a riportban meg kell adni)
- maximális sebesség beállítások mellett (vagy: 100-50-10% pályakövetésnél)
- mérések száma: lásd ISO 9283 pl. 30mérés

# ISO tesztkocka

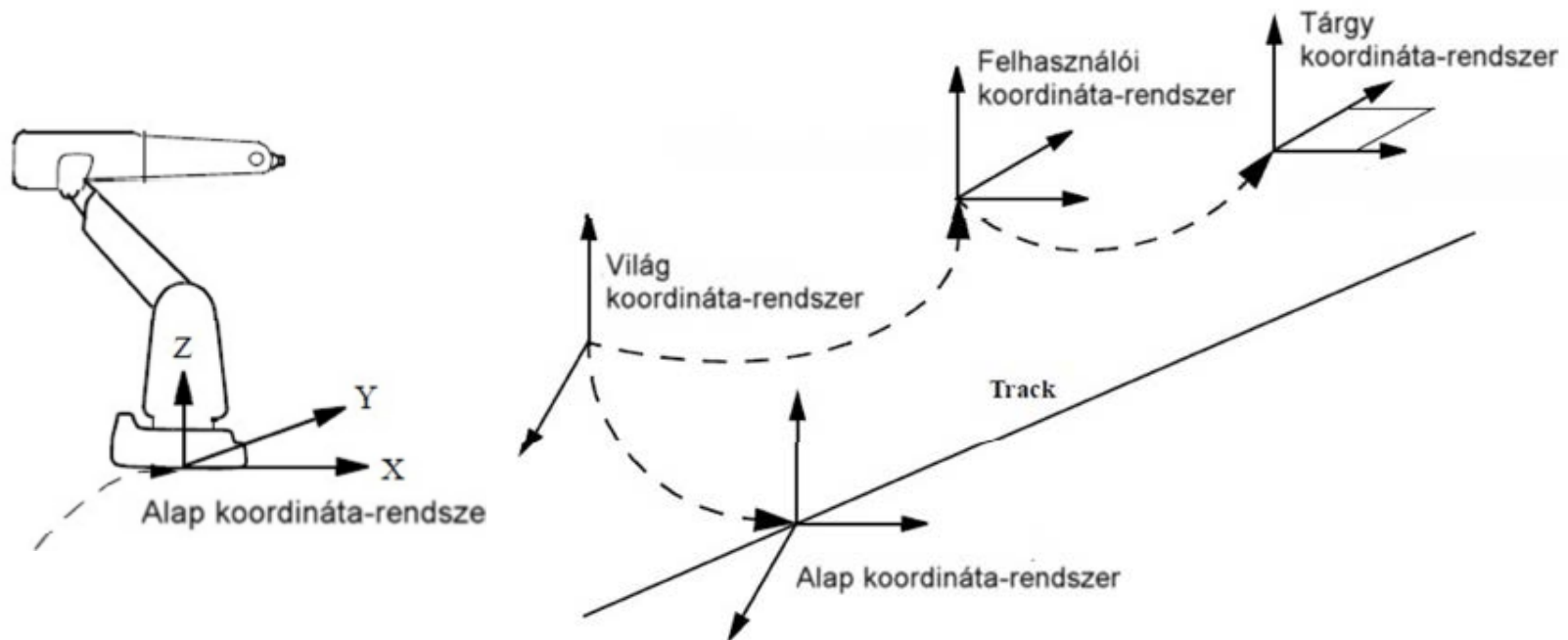




# **Robottechnikában alkalmazott koordináta-rendszerek**

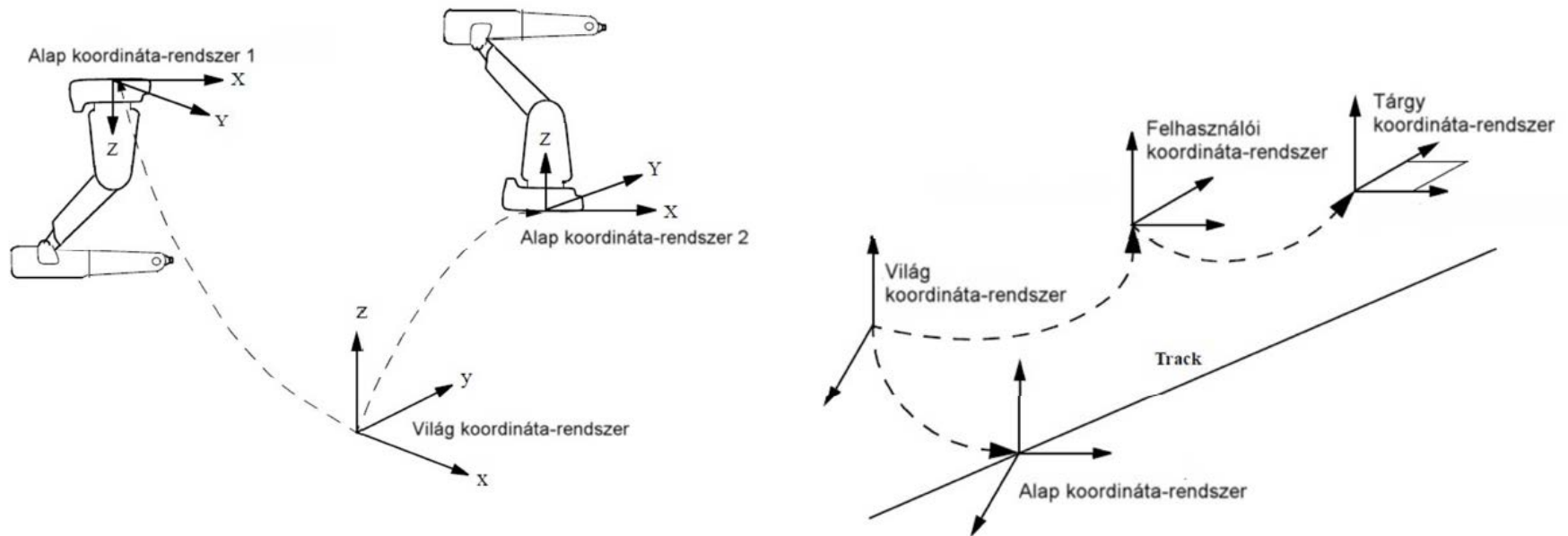
# ALAP (BASE) koordináta-rendszer

- Az ALAP (BASE) koordináta-rendszer mindig a robot alapjának középpontjához rögzített.
- Programfutás alatt a robotvezérlőben a belső számítások ezen koordináta-rendszer alapján történnek.



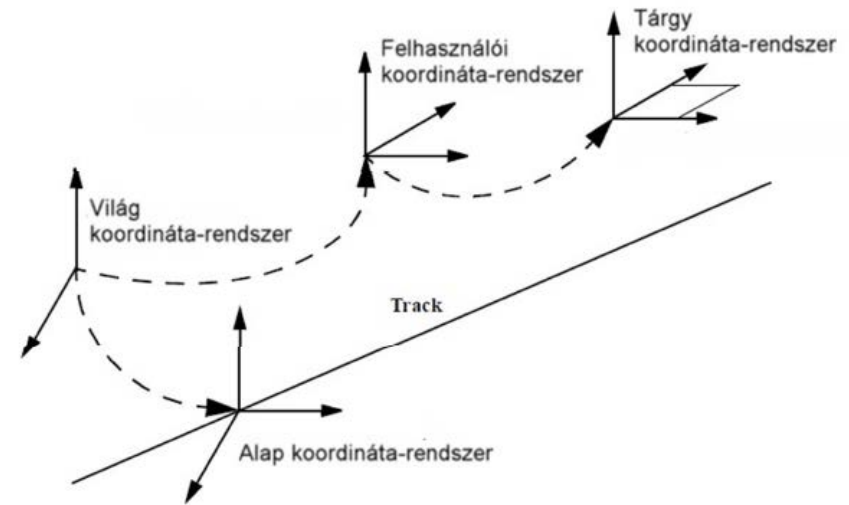
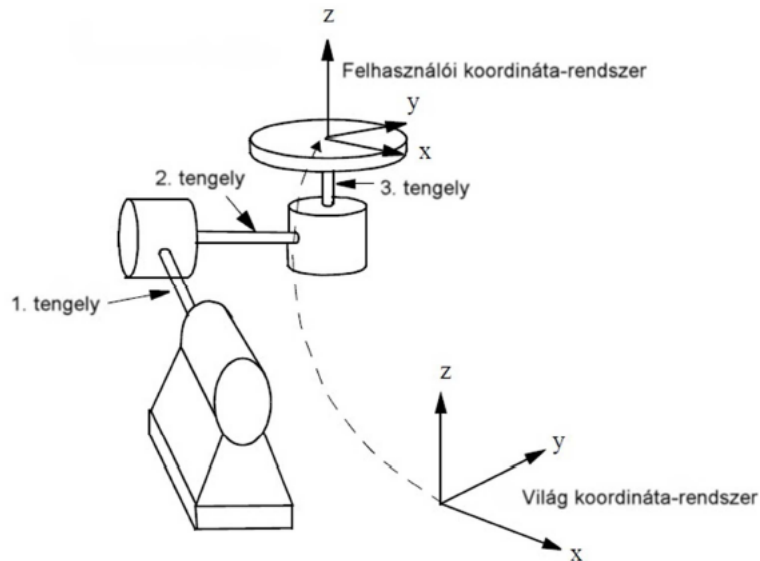
# VILÁG (WORLD) koordináta-rendszer

- A világ koordináta-rendszer az alap koordináta-rendszer (rendszerek) egy fajta másolataként is elképzelhető.
  - Ezt egy un. eltolási keret (FRAME) definiálásával érhetjük el.



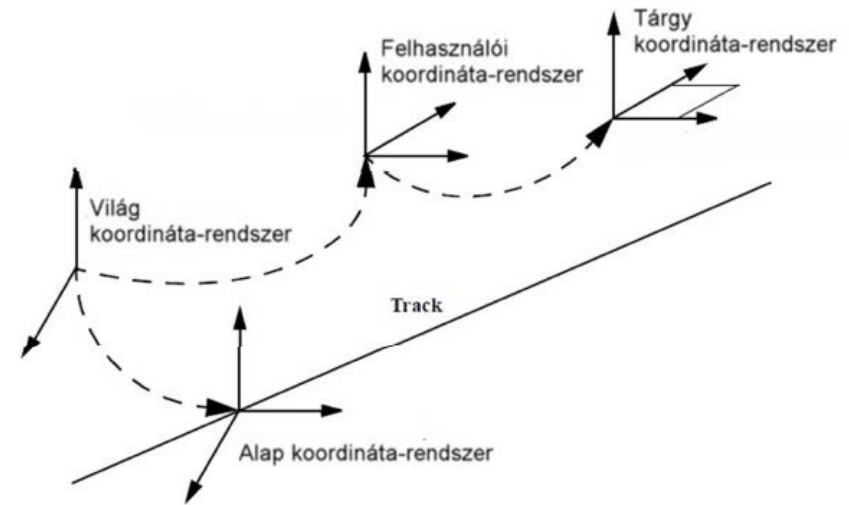
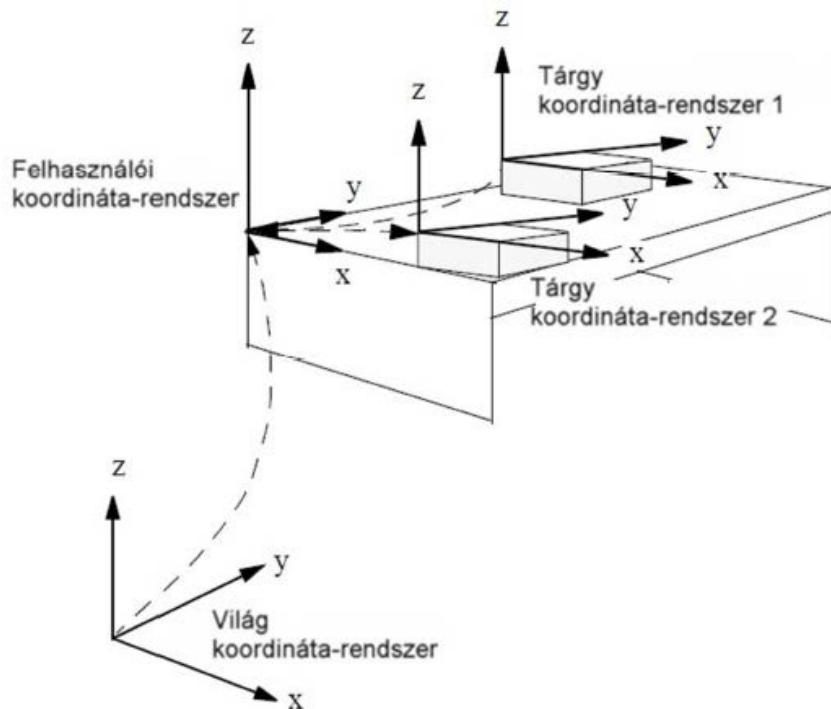
# FELHASZNÁLÓI (USER) koordináta-rendszer

- A felhasználói koordináta-rendszer alaprendszere a világ koordináta-rendszer.
  - egyes készülékekhez rendelt felhasználói koordináta-rendszer. A munkadarab lefogató készülékek cseréje esetében nem kell újraprogramozást végeznünk.



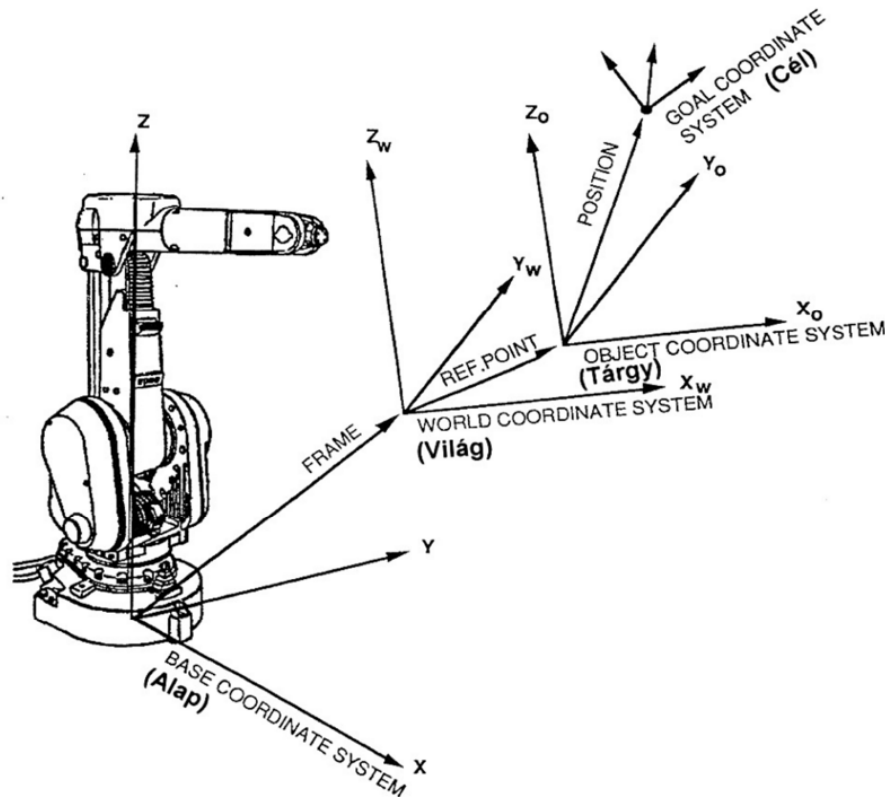
# TÁRGY (OBJECT) koordináta-rendszer

- Ha a robot több tárgyon is végez műveletet, vagy ha a tárgyak helyzete megváltozhat, akkor hasznos lehet egy a tárgy egy bizonyos pontjára vonatkozó koordináta-rendszer használata.



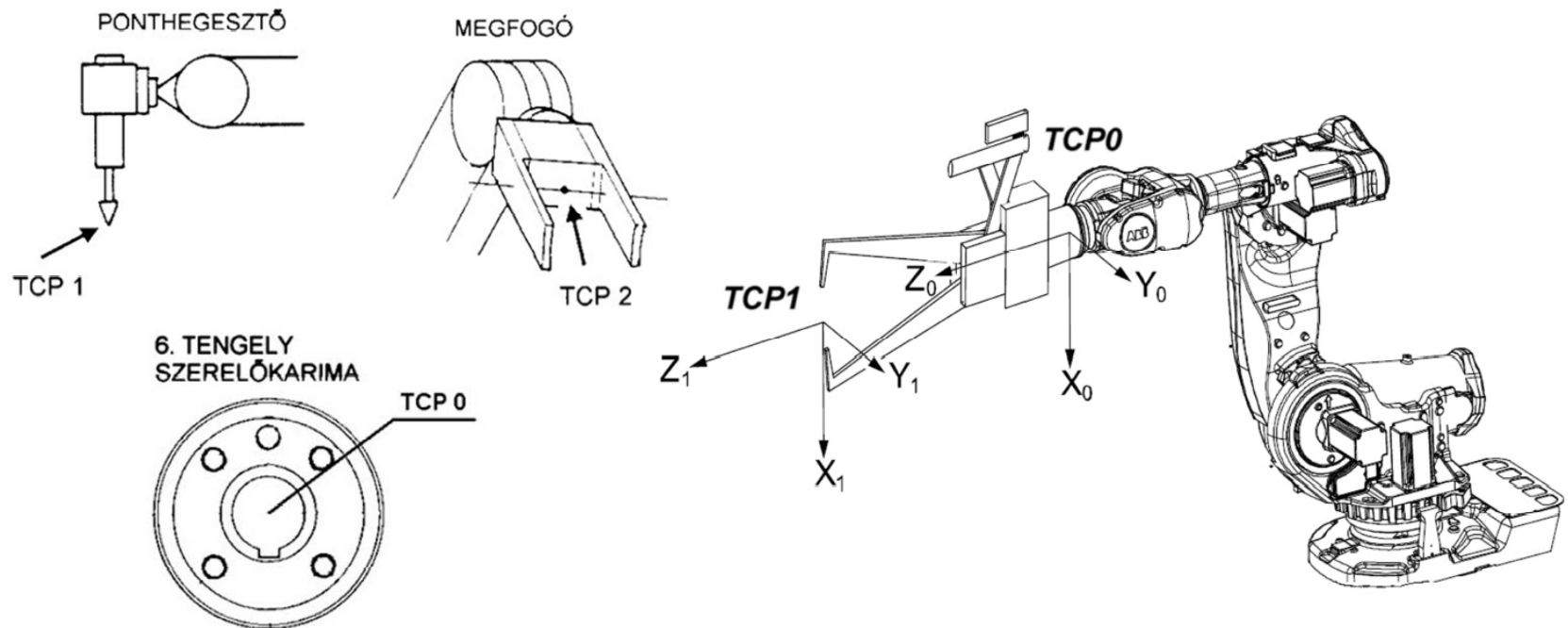
# CÉL (GOAL) koordináta-rendszer

- A "legkülső" koordináta-rendszer a CÉL (GOAL) koordináta-rendszer. Ez definiálja a célpozíciót, (X,Y,Z és orientáció) ahová a robot a rászertelt szerszámmal eljut.
  - Ez a pont kerül eltárolásra minden pozícióutasításban.



# ROBOT SZERSZÁMKÖZÉPPONT ( Tool Center Point -TCP)

- A robotpozíciók és robotmozgások az un. robot szerszámközeppontra értelmezettek.
  - Ezt a pontot valahol a szerszámon kell definiálni, pl. hegesztésnél a hegesztő szerszám csúcsa, megfogónál a megfogó közepe.



**Köszönöm a figyelmet!**