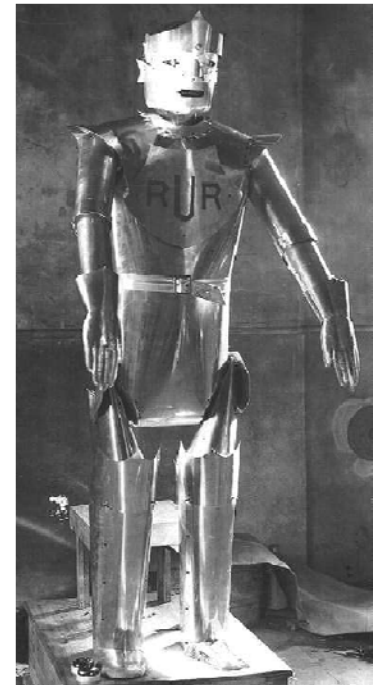


ROBOTIKA

ROBOT ?

- O staroslavenske riječi *robota*, što znači rad, odnosno teški rad (još uvijek se i u našim krajevima čuje riječ *rabota*)
- Tko ju je prvi upotrijebio ?
 - ➔ Karel Čapek 1921. godine u svojoj utopističkoj drami R.U.R. (*Rossum's Universal Robots*)



Definicija robota

- Prema ISO 8373 robot je:

➔ automatski upravljani, reprogramirajivi, višenamjenski manipulator programirajiv u tri ili više osi, koji može biti ili stacionaran ili mobilan za primjene u industrijskoj automatizaciji.

- Za koje robote vrijedi ova definicija ?
 - ➔ Za industrijske robote, tj. za sadašnje robote
- Hoće li ona vrijediti za robote budućnosti ?
 - ➔ NEĆE, jer se na njih postavljaju novi, daleko složeniji zahtjevi.

Zahtjevi na robote budućnosti ?

- Autonomno gibanje u nepoznatom prostoru
 - ➔ Gdje je ? Kamo ide ? Kako do tamo doći ? Kako izbjeći sudare s drugima ?
 - Izvršavanje složenih manipulacijskih zadataka
 - ➔ Prepoznavanje objekata – oblik, materijal,
 - Interakcija s ljudima i/ili s drugim robotima u okruženju
 - Sposobnost samoučenja i inteligentnog zaključivanja
 - ... itd.
-

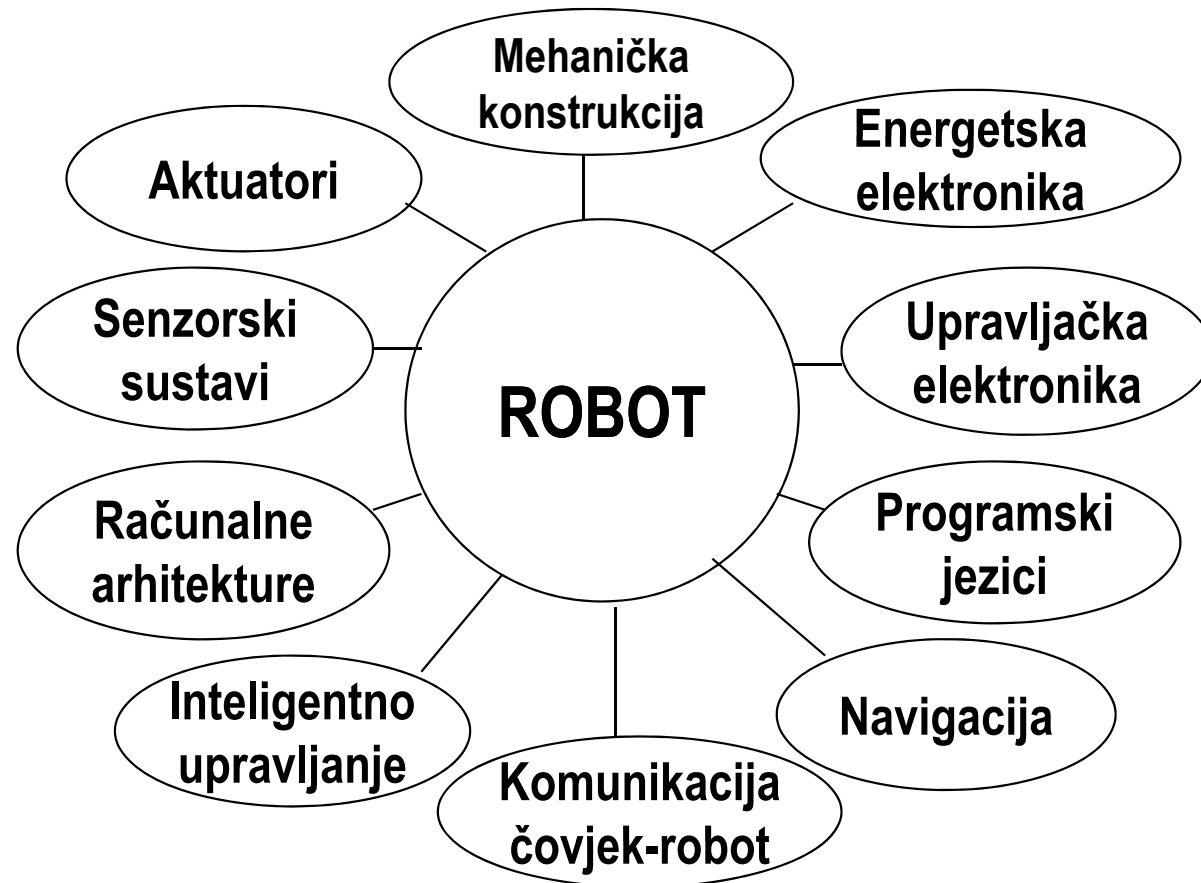
Moguća definicija robota budućnosti ?

- Robot je:
 - ➔ mobilan i manipulativan fizički sustav koji se autonomno giba kroz nestrukturirani prostor, ostvarujući pritom interakciju s ljudskim bićima ili autonomno obavljajući neki posao umjesto njih.
 - ➔ Ovo su tzv. uslužni roboti.
 - ➔ Jesu li oni roboti budućnosti ?
 - ❖ Da, to su roboti koji će se uskoro pojaviti među nama, tj. to su roboti neposredne budućnosti.
- Što će biti u daljnjoj budućnosti (možda već za 30 godina) ?
 - ➔ Pojavit će se tzv. personalizirni roboti:
 - ❖ Inteligentne kreature koje mogu hodati, govoriti, misliti, slušati, osjećati, gledati, donositi odluke

Roboti ?

● Mehatronički sustavi

➤ **Mehanika + Elektronika = Mehatronika**



Robotika

- Nova znanost? Zasebna grana u tehničkoj znanosti? – NE.
- Robotika je višedisciplinarna i međudisciplinarna grana tehnike koja objedinjuje:
 - mehaniku, fiziku, matematiku, automatsko upravljanje, elektroniku, računalstvo, kibernetiku, umjetnu inteligenciju, ...
- Je li robotika i nešto šire od tehnike?

Robotika

- Roboti budućnosti – inteligentni i autonomni sustavi koji će djelovati u zajednici s ljudima => važna uloga netehničkih disciplina:
 - Fiziologija, psihologija, sociologija, logika, lingvistika, filozofija, etika, teologija, pravo, antropologija, dizajn, ...
- Robotika u stvari integrira spoznaje iz gotovo svih područja znanosti – **izlog znanosti**

Zašto roboti ?

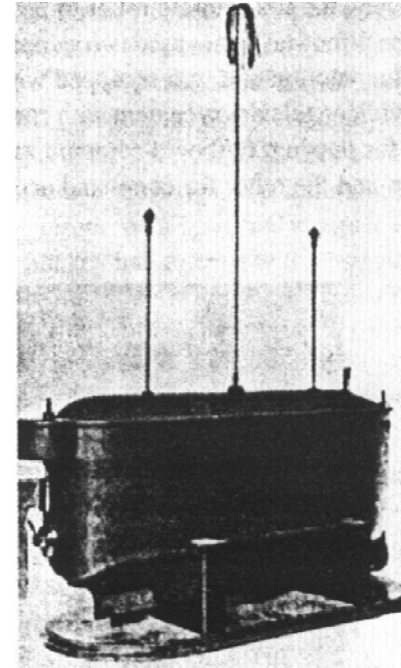


- Obavljanje poslova koji su za čovjeka umarajući, dosadni ili neprilični
- Pristup mjestima koja su za čovjeka opasna ili nedostupna
- Manji troškovi, a veća kvaliteta i produktivnost rada
- Starenje stanovništva u razvijenim zemljama (nažalost i u RH)
- Nedostatak radne snage
- Fasciniranost ljudi kreaturama koje mogu hodati, govoriti, misliti, slušati i gledati kao i oni sami

Povijest robota

- Prvi robot ?
 - Vjerojatno div Talos, izrađen od bronce ali s udahnutim životom.
 - Prema grčkoj mitologiji, Talos je bio čuvar i zakonodavac otoka Krete.
- ZF roboti u ZF knjigama, filmovima i igricama
- Primjeri ZF filmova:
 - Metropolis (1926, 2002), Frankenstein (1931), Robot Monster (1953), Forbidden Planet (1956), Terminator (1984, ...), Transformers (1986, ...), Robocop (1987, ...), The Matrix (1999, ...), Artificial Intelligence (2001), ... više stotina njih

- Prvi stvarni robot ?
 - ➔ Oko 1890. – Roboti Nikole Tesle – vjerojatno prvi mobilni roboti => bežično upravljana vozila.
 - ➔ Na slici je daljinski upravljano Teslino plovilo.



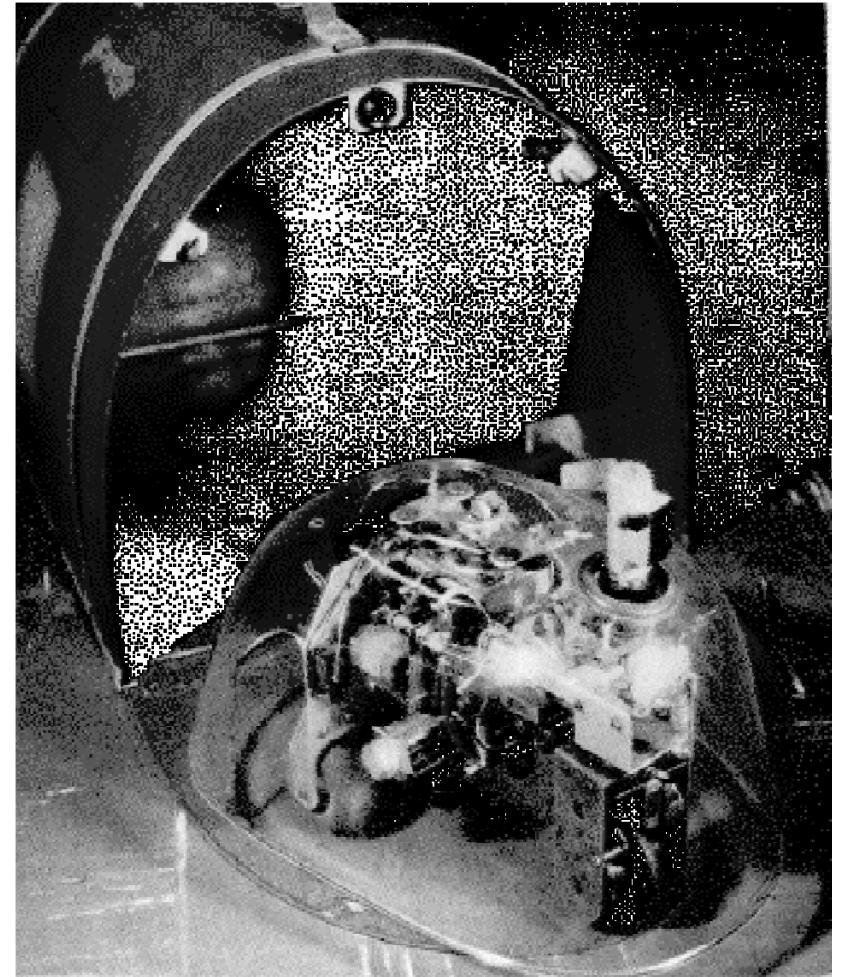
FER: Bubamara (1960-te)

- Prvi robot u primjeni ?
 - ➔ 1962. - General Motors –



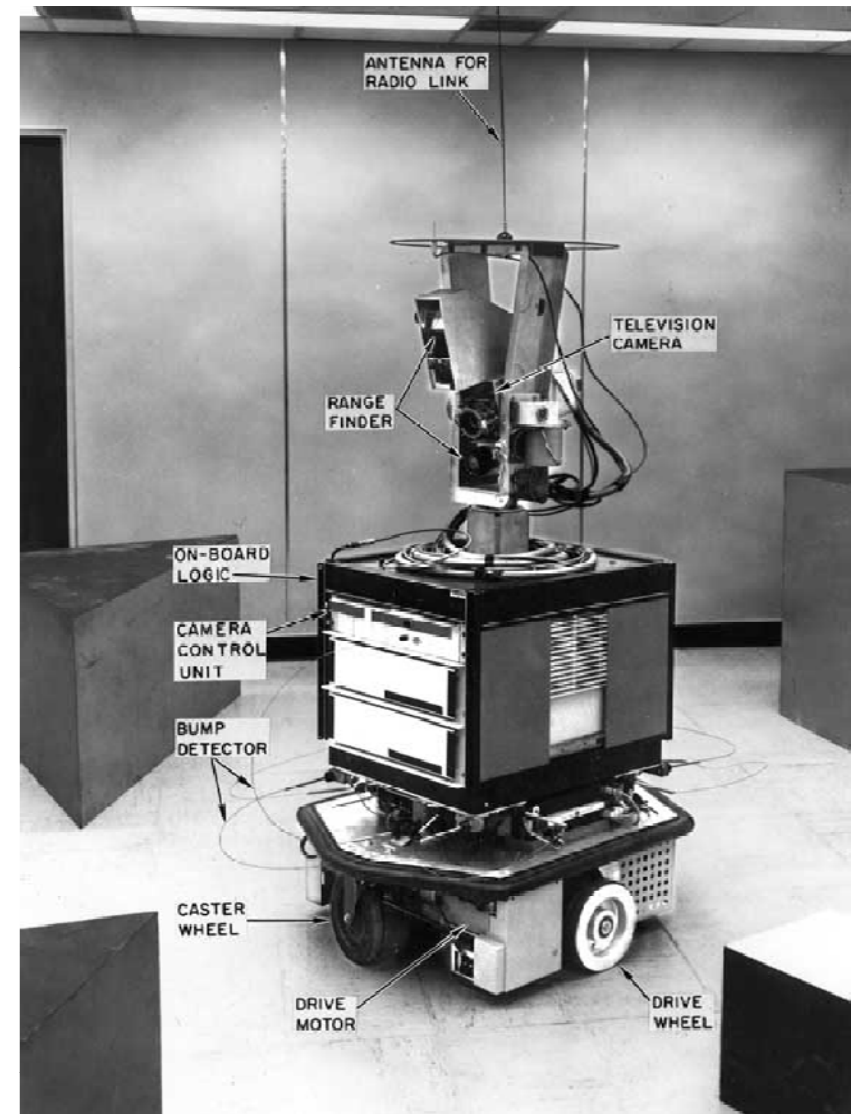
“Tortoise”

- 1950. – William Grey Walter
=> razvio elektroničku kornjaču - prvo potpuno autonomno vozilo:
 - ➔ oči – fotocijevi;
 - ➔ uši – mikrofoni;
 - ➔ ticala – kontaktni prekidači;
 - ➔ pamćenje – kondenzatori;
 - ➔ mogla se gibati bez nezgoda te pronaći škrinju i isprazniti ju.



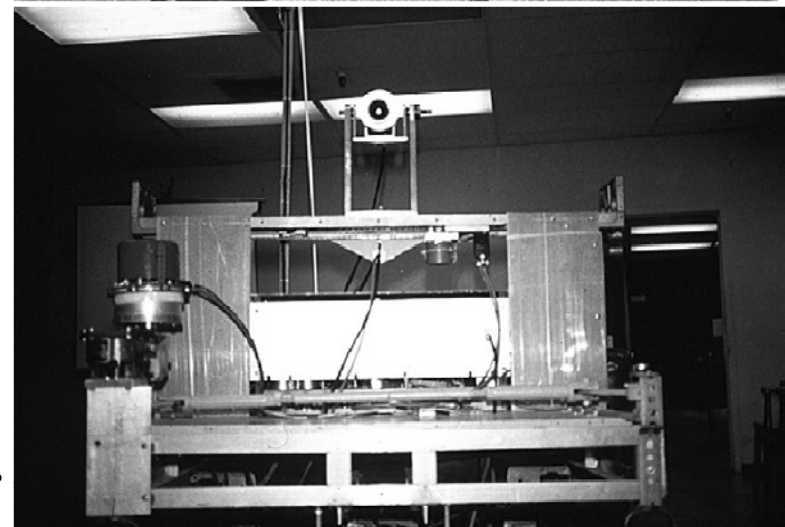
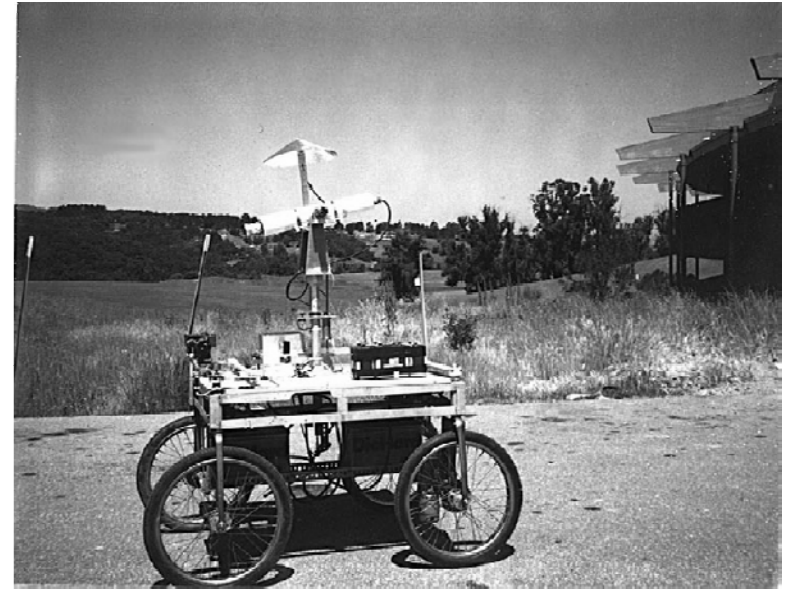
Shakey – 1966.-1972.

- Autori: Nils Nilsson, Charles Rosen *et al.*, u Stanford Research Institute.
- Prva mobilna platforma opće namjene.
- Zadatak: pronaći kutiju zadane veličine, oblika i boje u prostoru od nekoliko soba te ju premjestiti na definirano mjesto.

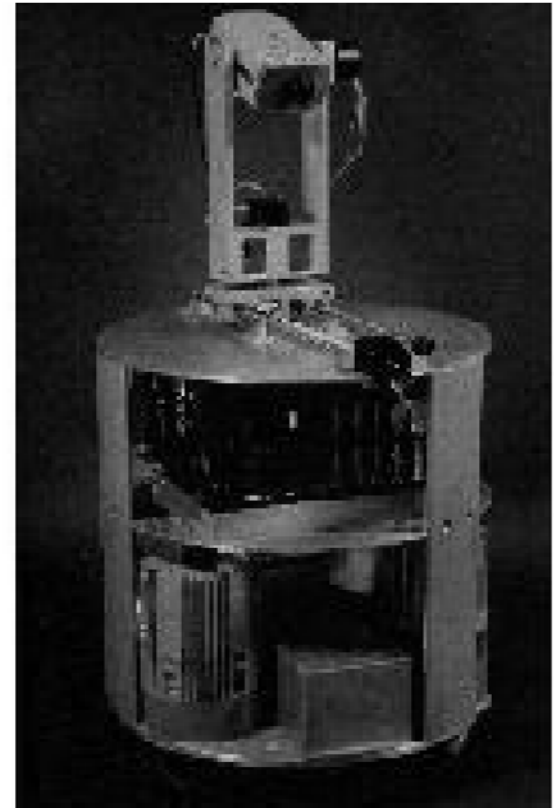


Stanford Cart: 1976-1979.

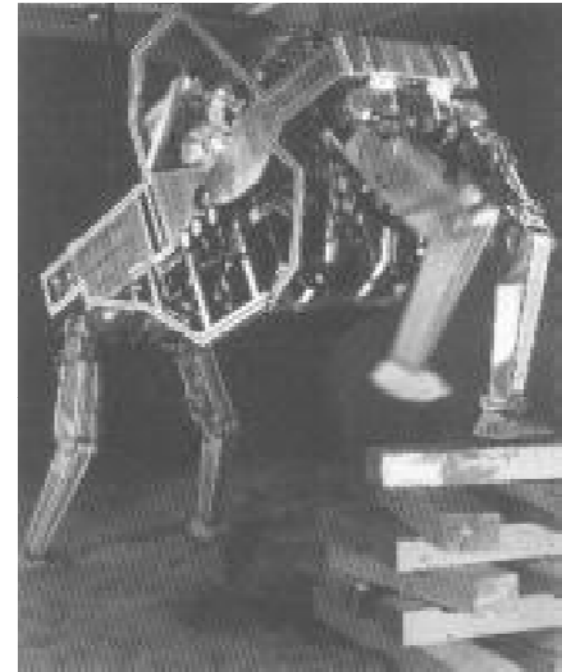
- Autori: Hans Moravec *et al.* u Stanford Artificial Intelligence Laboratory.
- Sterovizija s 1 kamerom koja se pomiče niz kliznu vodilicu okomitu na optičku os kamere (u jednom prolazu 9 slika):
 - ➔ Usporedbom slika u vremenu izračunava se novi položaj vozila.
 - ➔ Usporedbom slika iz istog položaja robota izgrađuje se karta prostora.
 - ➔ Brzina gibanja 1 m za 10-15 minuta.



- 1980. – **Rover projekt – MR PLUTO** (na slici)
 - **Autori:** Hans Moravec *et al.* u Carnegie Mellon University.
 - **Sinkroni pogon, IC i Sonari, Pan/Tilt kamera.**
- 1975. - **Hilare I** (Francuski projekt MR-a):
 - **sonari te laserski senzor udaljenosti i kamera montirani na Pan/Tilt nosač.**



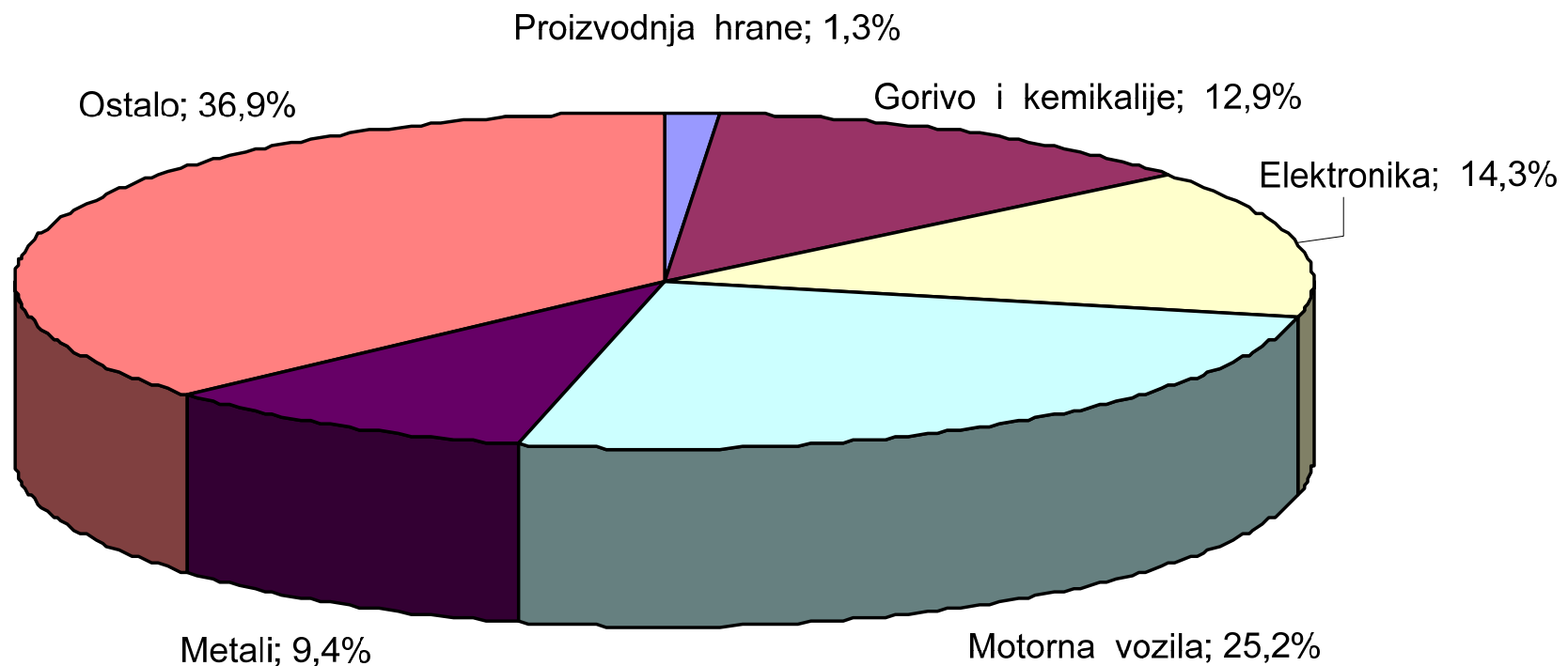
- 1960.- GE Quadruped
 - Hodajući četveronožni robot
 - Tvrtnka General Electric



- Sredinom 1980.-tih istraživanja MR-a doživljavaju “boom”, tako da danas na tržištu ima veliki broj tvrtki koje proizvode MR-e

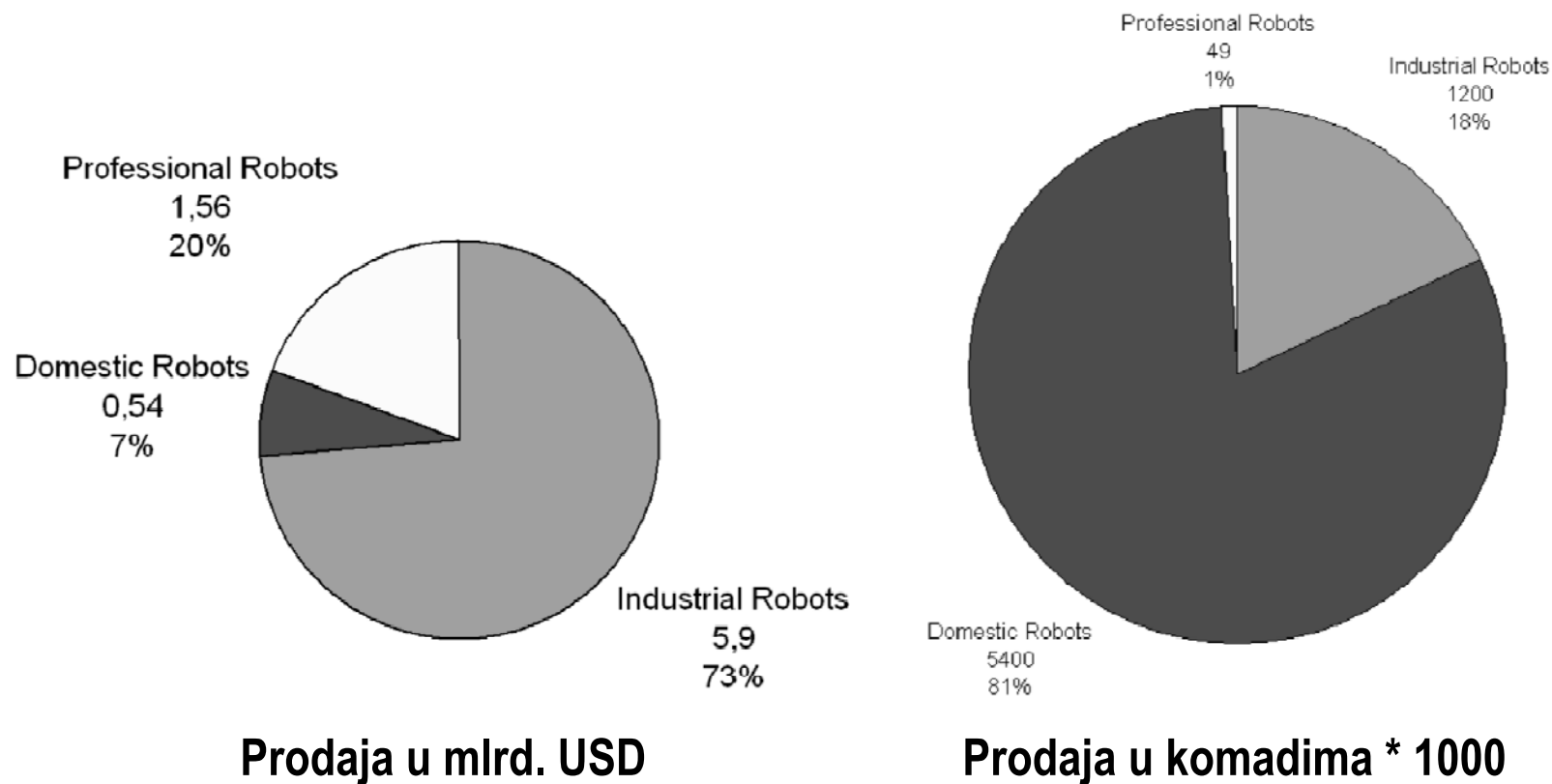
Stanje svjetskog tržišta

- U 2000. godini – ukupno ~1 milijun



Izvor: UN World Robotics (UNECE)

- U 2007. godini – ukupno oko 6,5 milijuna robota



- U 2011. se očekuje prodaja 18 milijuna robota

Automobilska industrija

Neumorno obavljaju mnoge jednostavne operacije u industriji, imaju izvrsnu ponovljivost

Koliko ih ima:

oko 960.000

Japan 350.000; EU 350.000; Ostale Europske države 10.000

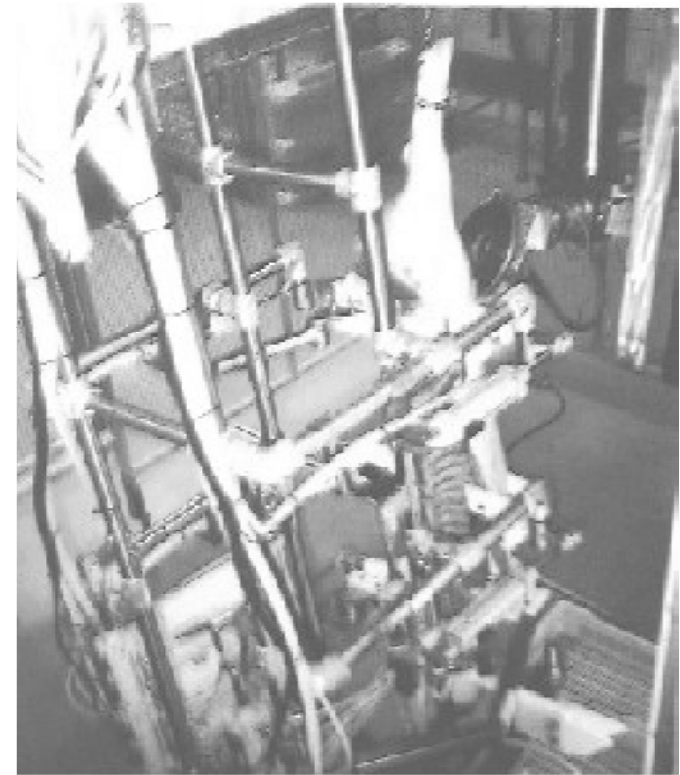
SAD 130.000000,

Azija i Australija 75.000

Industrijska automatizacija



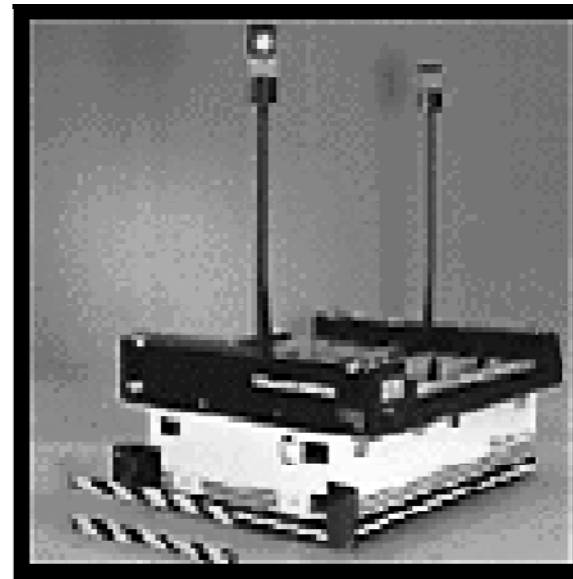
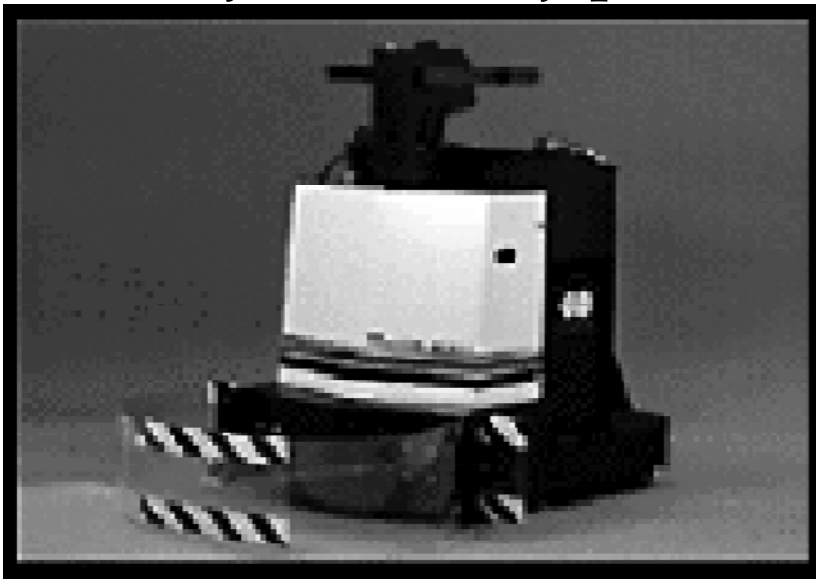
Paletizacija u skladištu



Sječenje mesa

Automatska vođena vozila

- **vučna vozila, prijenosnici tereta, viličari**
- **namjena => manipulacija materijalom u tvornicama, skladištima, pretovarnim zonama**
- **izvorno zasnovani na ukopanim žičanim vodičima - > veliki zahvati u prostoru.**
- **novije inačice zasnovane na laserskim senzorima udaljenosti i bar-kod svjetlećim naljepnicama.**



Uslužni roboti



Invalidska kolica



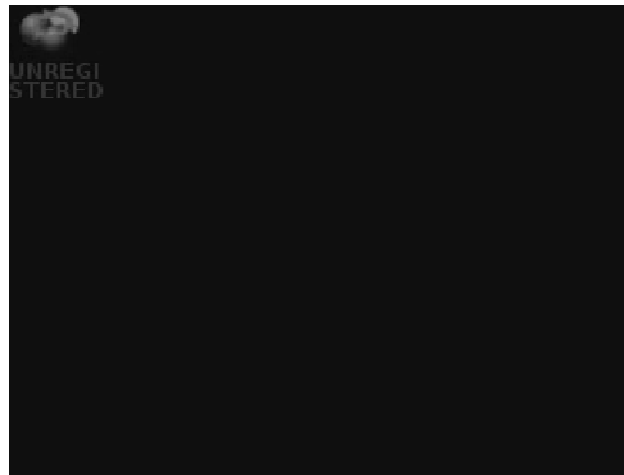
Skupljač teniskih loptica



Autonomni čistač podova



Autonomna kosilica



Autonomni usisavač (~1 milijun)



Razminiranje (DOK-ING)

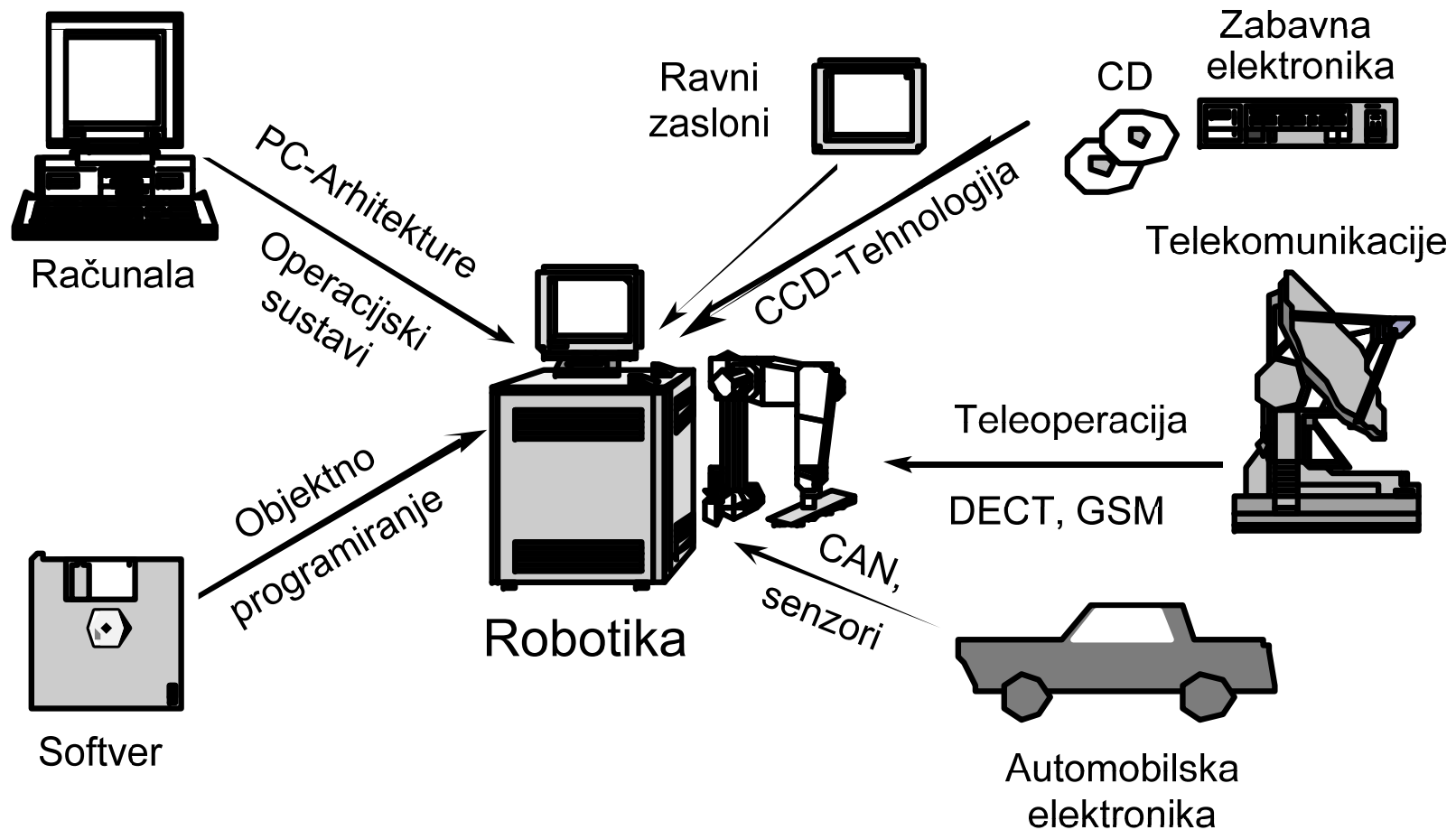
Hodajúci roboti

Big Dog
(Boston Dynamics)

Asimo (Honda)

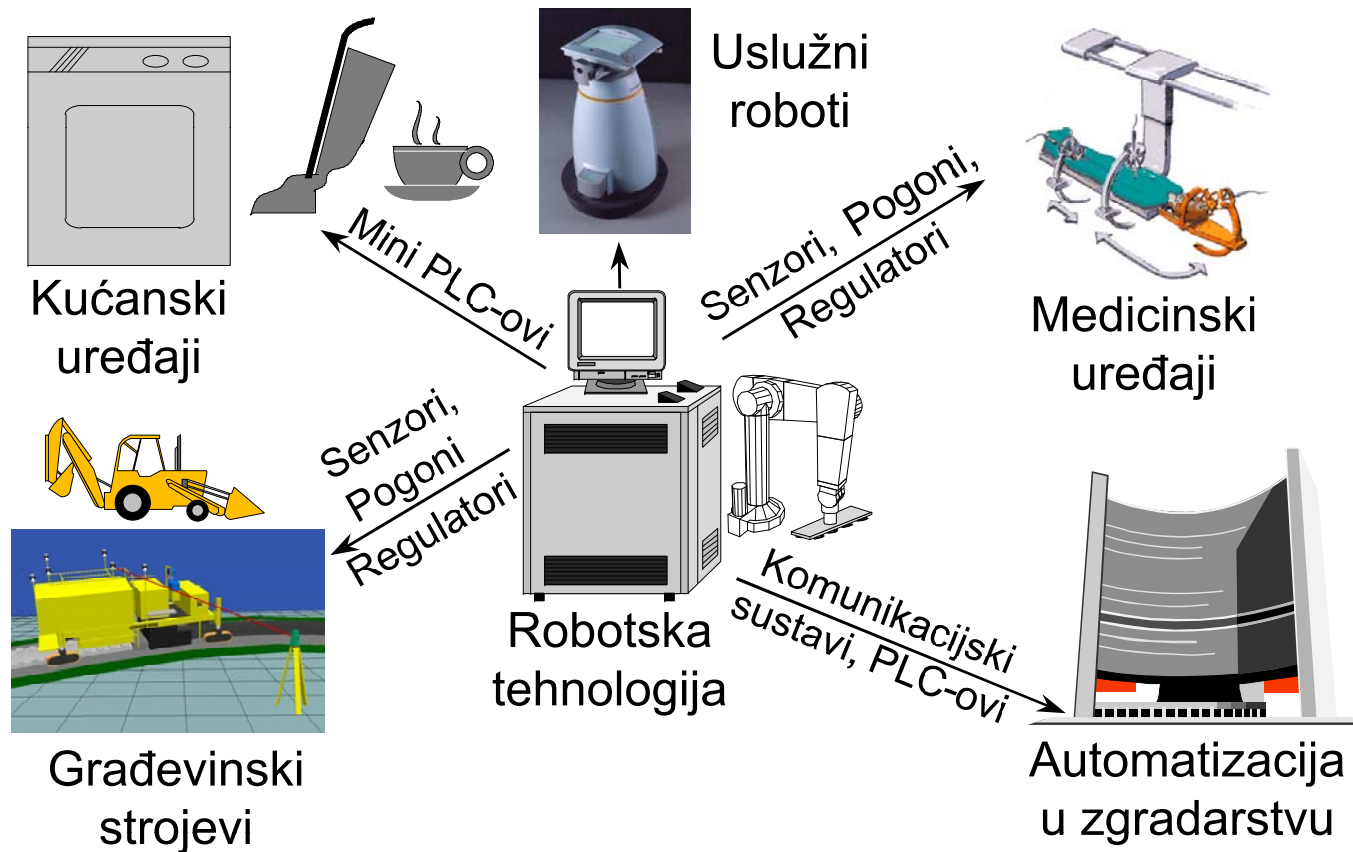
Stanje razvoja robotike

● Migracija drugih tehnologija u robotiku



Stanje razvoja robotike

- Migracija robotske tehnologije u druge primjene



Generacije robota

1. generacija

2. generacija

3. generacija

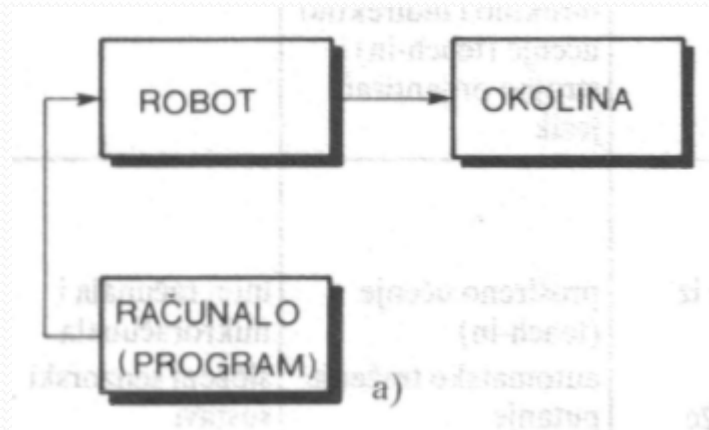
Generacije robota

- Kao što se to uvriježilo u drugim industrijskim proizvodima, i za robote je uvedena vremenska i funkcionalna podjela na tzv. generacije.
- Govori se o prvoj, drugoj i trećoj generaciji robota.
- Obilježjem robotske generacije smatra se složenost informatičkog sustava robota, što znači njegov funkcionalni sadržaj.

Generacije robota

1. generacija

- Programirani roboti - obuhvaćarobote koji sesada primjenjuju.
- Njih karakterizira čisto **upravljanje**.
- Prema slici to je upravljački lanac upravljački uređaj -prigon - mehanizam ruke -prihvatnica, pa nema povratne informacije.



Generacije robota

1. generacija

- Ti su roboti bez osjetila is vrlo ograničenom »inteligencijom«, od atributa inteligencije imaju samo pamćenje (memoriju), u koje je pohranjen program.
- Uz ograničenu inteligenciju i osjete, znatno zaostaju u spretnosti i pokretljivosti u odnosu prema čovjekovoj ruci.
- Ipak djelotvorno mogu obavljati samo niskokvalificirani rad, pa i okolina mora biti visokoorganizirana.
- Postoji mogućnost da se ugradi i pokoji senzor, što bitno ne mijenja svojstva robota prve generacije.

Generacije robota

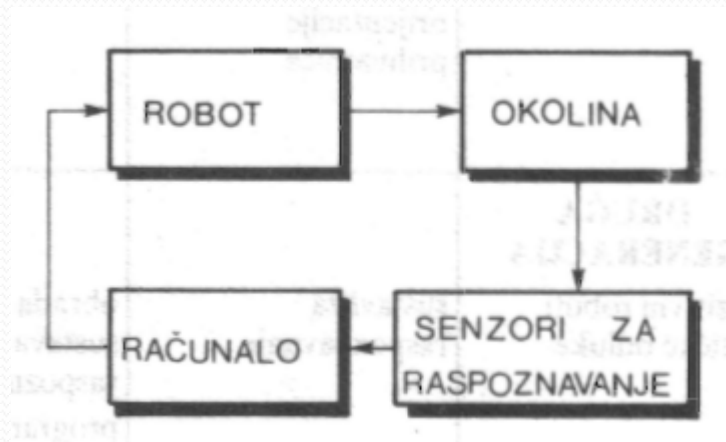
1. generacija

➤ Roboti prve generacije vjerojatno će i ubuduće biti najrašireniji jer zadovoljavajuće rješavaju problem rukovanja u jednostavnijim slučajevima, koji su i najčešći u industrijskoj primjeni.

Generacije robota

2. generacija

- Senzitivni roboti - opremljena je nizom senzora (vizualni, taktilni, sile), a mogu imati isustave za raspoznavanje.
- Roboti preko senzora dobivaju informacije o stanju okoline, a pomoću jednostavne logike ugrađene u računalo takvi roboti imaju mogućnost reagiranja.
- U tim je slučajevima već riječ o **regulaciji** s petljom povratne veze (slika).



Generacije robota

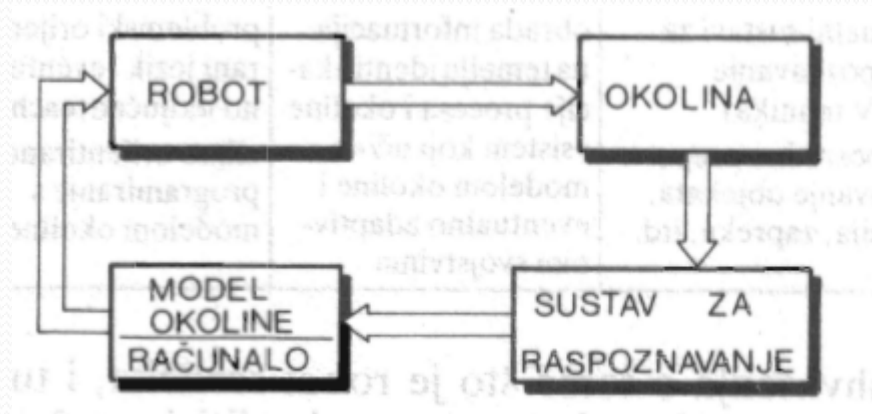
2. generacija

- Uz pamćenje, ti roboti imaju mogućnost donošenja jednostavne logičke odluke: da ili ne.
- Na taj se način kontrolom sile mogu zaštititi uređaji, smanjiti organiziranost okoline (slaganje, orijentacija predmeta), a konačni je cilj da robot može predmete »vaditi iz kutije« (engl. pick-from-the-box).

Generacije robota

3. generacija

- Inteligentni roboti - opremljena je, osim sustavima za raspoznavanje, računalima nove generacije.
- Prema slici to je vođenje **multivarijabilnog procesa s v i š e** izlaznih i ulaznih varijabli.



Generacije robota

3. generacija

- Cijeli bi sustav trebao imati svojstva višeg stupnja inteligencije, tj. donošenja odluka u determiniranim uvjetima (analiza), učenje i odlučivanje u nedeterminiranim uvjetima (sinteza).
- Za tu je umjetnu inteligenciju najbitnija mogućnost učenja (povezuje nova iskustva s postojećim znanjem).
- To se može postići modelom vanjskog svijeta ugrađenim u memoriju računala, odnosno datotekom.
- Uspoređivanjem s dobivenim informacijama iz vanjskog svijeta, robot samostalno reagira na vanjske promjene, tj. donosi odluke bez programske upute.

Generacije robota - zaključak

- Roboti s umjetnom inteligencijom još su budućnost, a trebali bi zamijeniti čovjeka u nepovoljnim uvjetima na dnu oceana, u svemiru, u ozračenoj okolini.
- Određivanje generacije robota može se provesti i s druge točke gledanja.
- Neki se tehnološki zadatak po pravilu rješava u tri hijerarhijske razine.
- Na najvišoj, strateškoj razini, postavlja se cilj, razrađuje idejno rješenje razbijanjem na rješenja djelomičnih problema.

Generacije robota - zaključak

- Na **taktičkoj** razini djelomični se problemi algoritmiraju i donose odluke.
- Na **operativnoj** razini upravlja se izvođenjem tih algoritama.
- Kao i čovjek, robot preuzima operativni zadatak upravljanja osnovnim operacijama, a okolina je visokoorganizirana (prva generacija).

Generacije robota - zaključak

- Na **taktičkoj** se razini donose odluke u složenim operacijama, a iz okoline se stalno dobivaju aktualne informacije (druga generacija).

- Konačno, na najvišoj, **strateškoj** razini određuju se ciljno usmjerene operacije; mora postojati složeni model okoline, prema kojemu se donose odluke u smislu postavljenog cilja (treća generacija).

Generacije robota - zaključak

<i>Razina odluke</i>	<i>Dobivanje informacija</i>	<i>Razrada informacija</i>	<i>Programiranje</i>	<i>Upravljački sustavi</i>
PRVA GENERACIJA programirani roboti operativne odluke	sustavi za mjerenje puta i kuta zglobova mjerenje položaja i orijentacije prihvatnice	program upravljanja nema povratnu kontrolu	ručno programiranje (ožičenje, utična ploča) direktno i indirektno učenje (teach-in) i strojno orijentirani jezik	konvencionalna elektronika mikroračunala
DRUGA GENERACIJA senzitivni roboti taktičke odluke	sustavi za raspoznavanje	obrada veličina iz sustava za raspoznavanje program se može mijenjati	prošireno učenje (teach-in) automatsko traženje putanje sistemski orijentirani jezik	mini računala i mikroračunala složeni senzorski sustavi pretežno modularna gradnja
TREĆA GENERACIJA inteligentni roboti strateške odluke	vizualni sustavi za raspoznavanje (TV tehnika) neposredno prepoznavanje objekata, stanja, zapreka, itd.	obrada informacija na temelju identifikacije procesa i okoline »sistem koji uči« s modelom okoline i eventualno adaptivnim svojstvima	problemski orijentirani jezik (eventualno uključen teach-in) ciljno orijentirano programiranje s modelom okoline	povezana računala složeni senzorski sustav s obradom informacija modularna gradnja

Generacije robota - zaključak

- Budući da su različita shvaćanja o tome što je robot, i tu podjelu treba uzeti uvjetno.
- Dogovorno se među robote mogu ubrojiti i uređaji s čvrsto spojenom automatikom (hardverski automati) koji samo uzimaju predmete i odlažu ih (engl. pick-and-place), a izvedeni su jednostavnom tehnikom male automatike.
- I granična su područja »siva«: da li i koliko senzora određuje prvu ili drugu generaciju, koji stupanj umjetne inteligencije određuje treću generaciju?

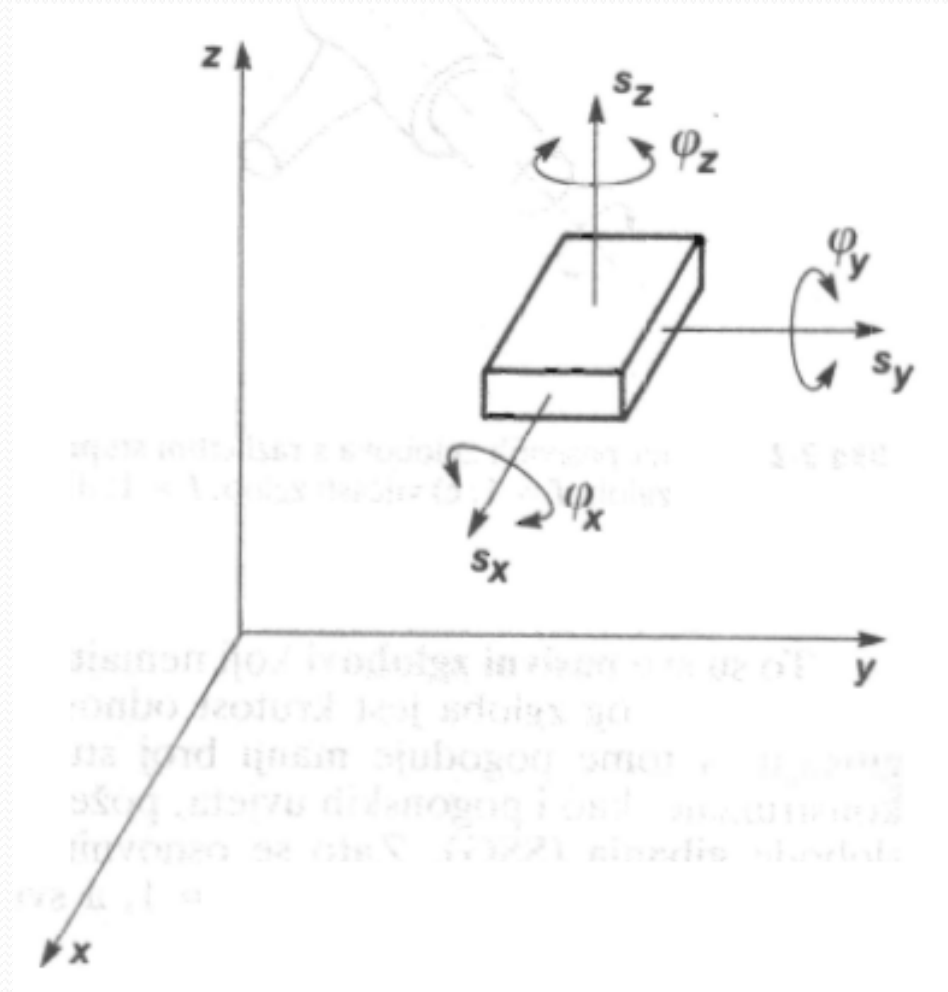
MEHANIZAM ROBOTA

Mehanizam robota

- Osnovno značenje u proučavanju robotskog mehanizma ima njegova kinematička struktura koja je definirana načinom povezivanja pojedinih članaka izglobova.
- Zato ćemo najprije govoriti o osnovnim pojmovima iz kinematike, te o kinematičkoj i mehaničkoj strukturi robota.

Osnovni kinematički pojmovi

➤ Slobodno se tijelo u kartezijskom prostoru može gibati na šest neovisnih načina (slika):



Osnovni kinematički pojmovi

- Tri translacije (pomaka) duž koordinatnih osi x , y , z , čime se postiže **pozicioniranje** točke nekog tijela u prostoru;
- Tri rotacije (zakreta) oko koordinatnih osi, čime se omogućuje **orijentacija** tijela prema toj točki, tj. pozicioniranje druge točke tijela koja je čvrsto povezana s prvom.
- Orijehtacija se može ostvariti samo rotacijom oko međusobno okomitih osi.

Osnovni kinematički pojmovi

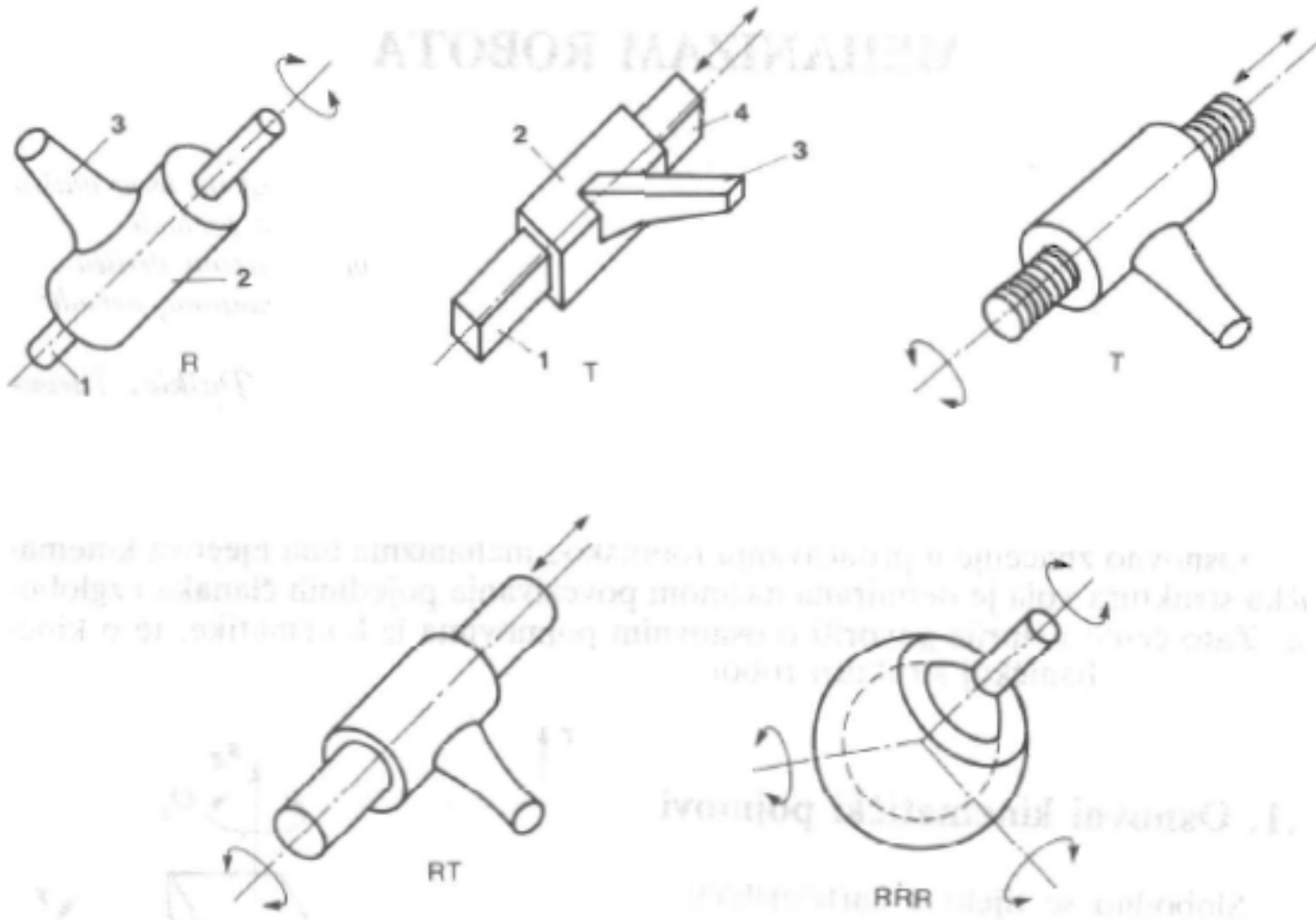
➤ Za slobodno tijelo čije se gibanje u prostoru određuje pomoću šest parametara, kažemo da ima **šest stupnjeva slobode gibanja**:

$$f = 6 .$$

➤ Ako se jedno tijelo mobilno veže na drugo, nastaje **zglob**, što smanjuje mogućnosti gibanja, pa je $f < 6$.

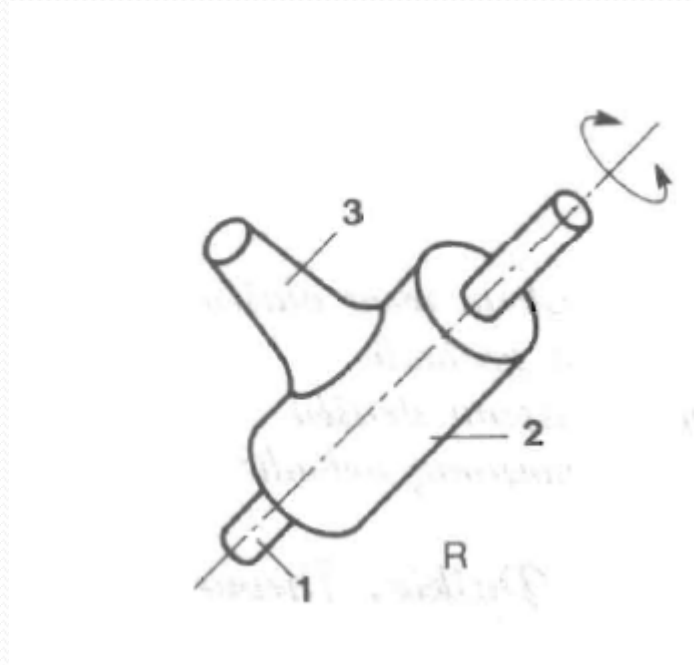
➤ Ima različitih izvedbi zglobova, a nekoliko jednostavnijih prikazano je na slici dalje.

Osnovni kinematički pojmovi



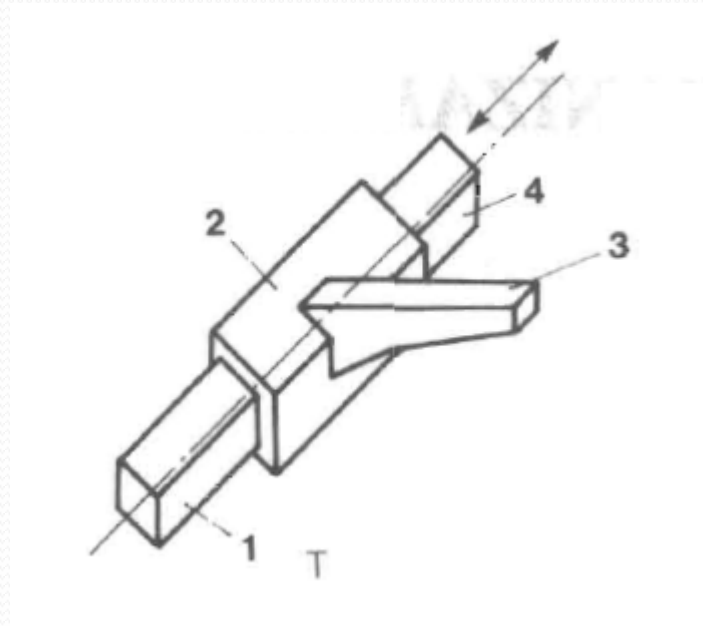
Osnovni kinematički pojmovi

Rotacijski zglob (zakretanje oko jedne osi), sa $f = 1$



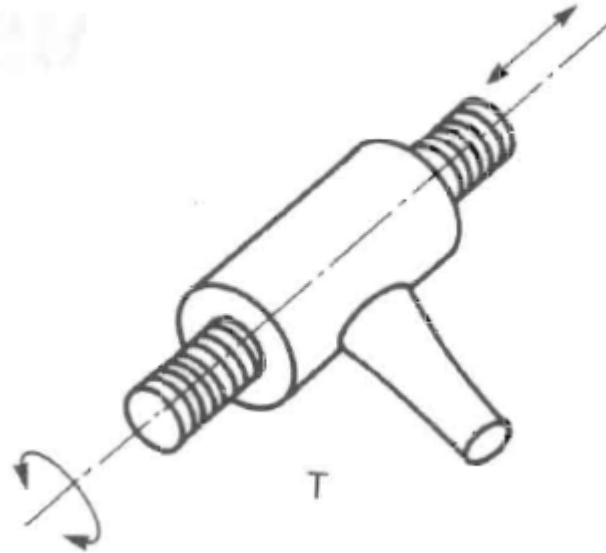
Osnovni kinematički pojmovi

Translacijski zglob (pomak duž jedne osi), sa $f = 1$



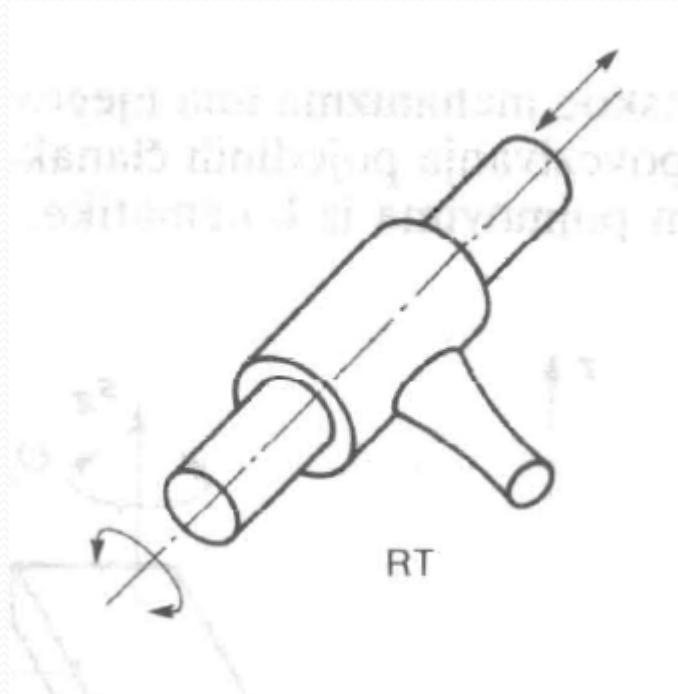
Osnovni kinematički pojmovi

Vijčasti zglob (vezano zakretanje oko osi i pomak duž nje),
sa $f=1$ - zglob se helikoidalno giba;



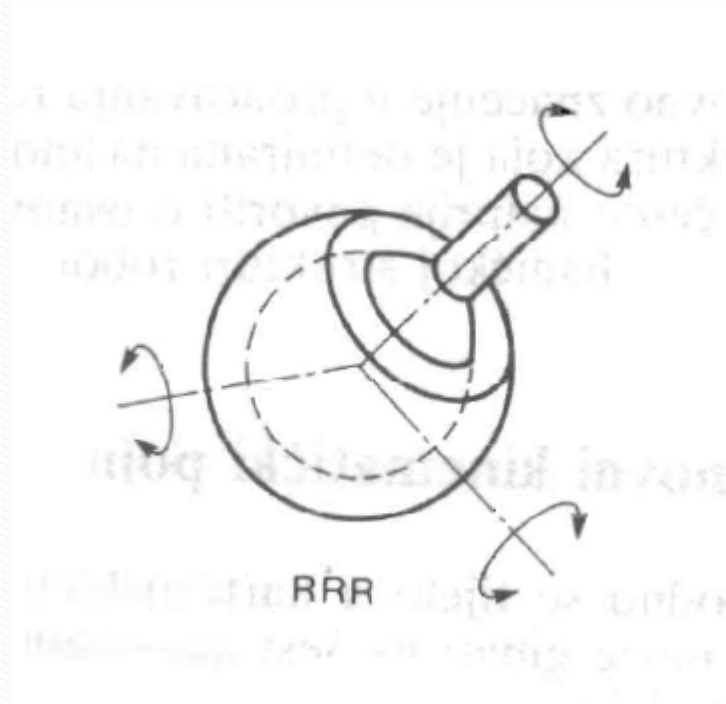
Osnovni kinematički pojmovi

Valjkasti zglob (zakretanje i pomak valjka unutar šupljeg valjka), sa $f = 2$;



Osnovni kinematički pojmovi

Kuglasti zglob (tri neovisna zakretanja kugle unutar šuplje kugle), sa $f = 3$ - sličnost s ljudskim zglobovom.

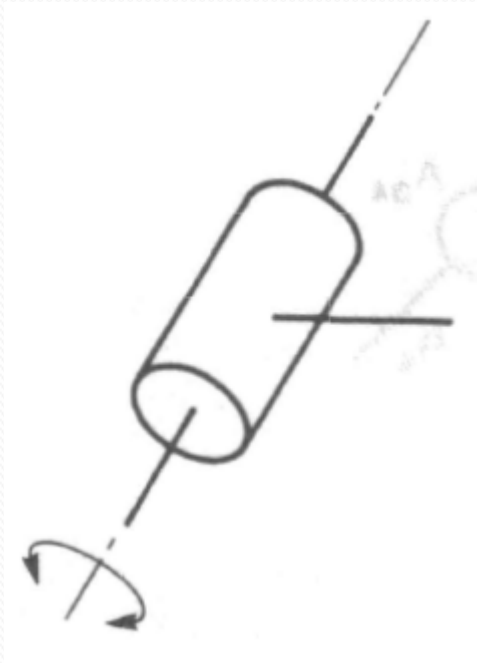


Osnovni kinematički pojmovi

- To su sve **pasivni zglobovi** koji nemaju pokretačke prigone.
- Najvažnije mjerilo kvalitete jednog zgloba jest krutost odnosno otpor prema svakome nepoželjnom gibanju, a tome pogoduje manji broj stupnjeva slobode gibanja.
- I sa stajališta konstrukcije, kao i pogonskih uvjeta, poželjno je da zglobovi imaju što niži stupanj slobode gibanja (SSG).
- Zato se osnovnim smatra **rotacijski zglob**, te **translacijski zglob**, sa $f = 1$, a svi zglobovi sa $f > 1$ mogu se svesti na ta dva zgloba.

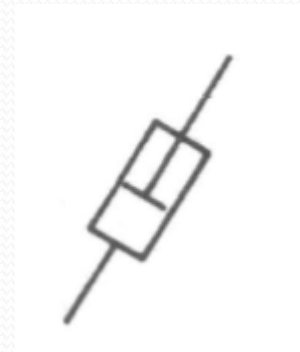
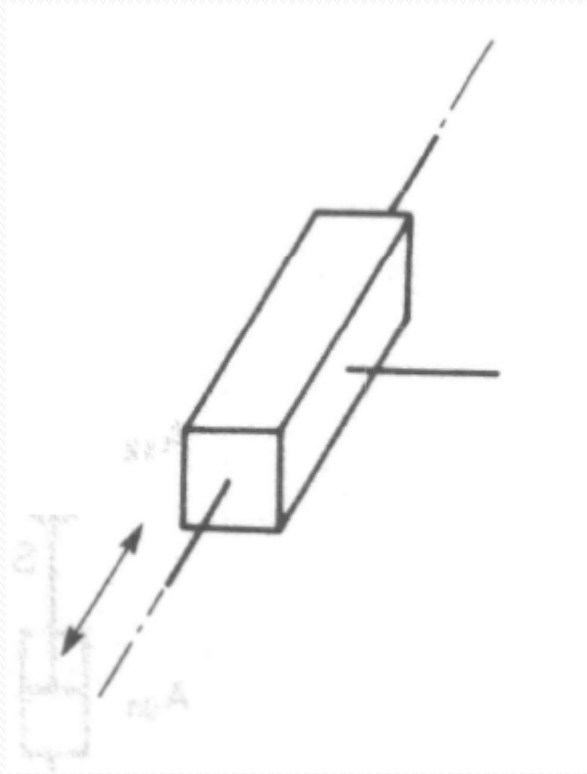
Osnovni kinematički pojmovi

- Shematski prikaz osnovnih zglobova:
- rotacijski



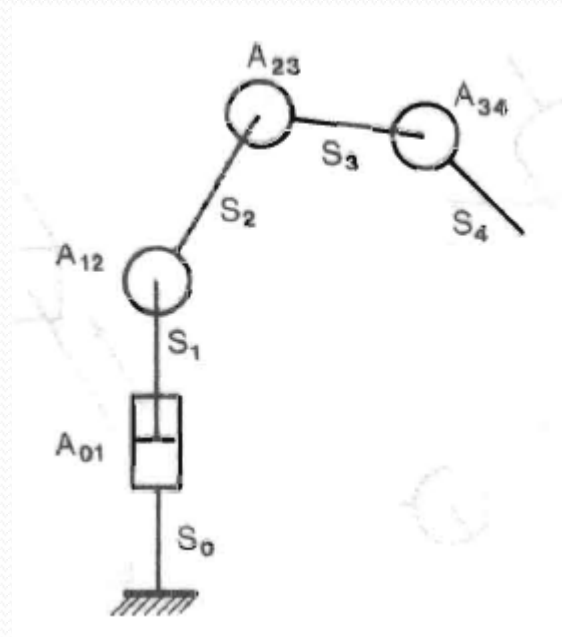
Osnovni kinematički pojmovi

- Shematski prikaz osnovnih zglobova:
- translacijski zglob



Osnovni kinematički pojmovi

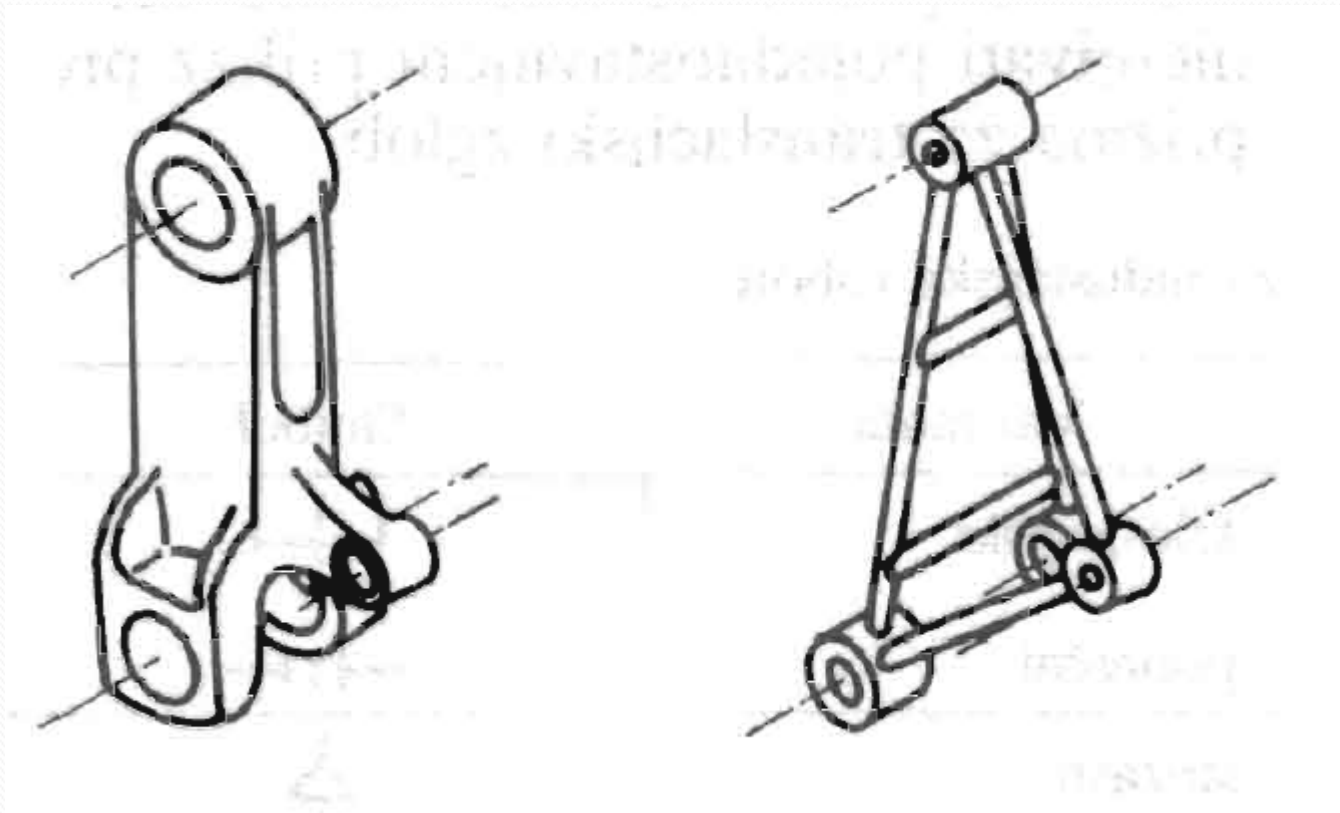
➤ Za prikazivanje kinematičkih struktura robota prikladna je apstraktna kinetička shema, **kinematički lanac**.



➤ Prema slici to je, zapravo, niz čvrstih, krutih tijela koja se označuju kao članci (segmenti) S_1, S_2, \dots , njih povezuju **zglobovi** (artikulacije) A_{01}, A_{12}, \dots

Osnovni kinematički pojmovi

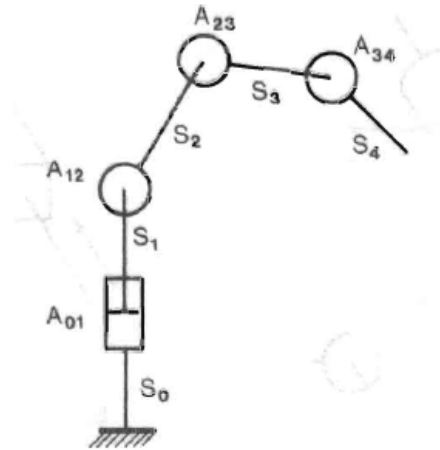
- Predodžbu izgleda članka daje slika:
- - lijevo je odljevak od lakog metala
- - desno su zavareni profili.



- Preporučljivo je da masa bude što manja, a krutost što veća.

Otvoreni kinematički lanac

- Otvoreni kinematički lanac na slici tipičan je za robote;
 - početni članak S_0 vezan je za čvrstu podlogu - krajnji članak S_4 nosi prihvatnicu.



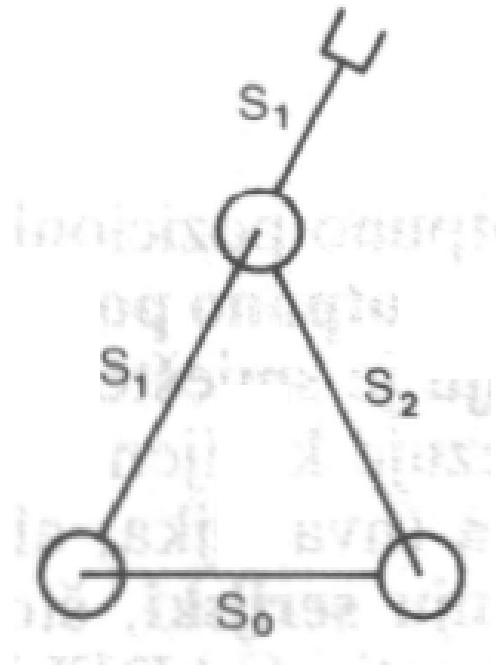
- Kako svaki zglob ima $f = 1$, cijeli kinematički lanac odnosno ruka i šaka sa n zglobova ima:

$$F = n * f = n * 1 = n \text{ stupnjeva slobode gibanja.}$$

- Roboti s centraliziranim prigonima u podnožju imaju otvorene razgranate kinematičke lance.

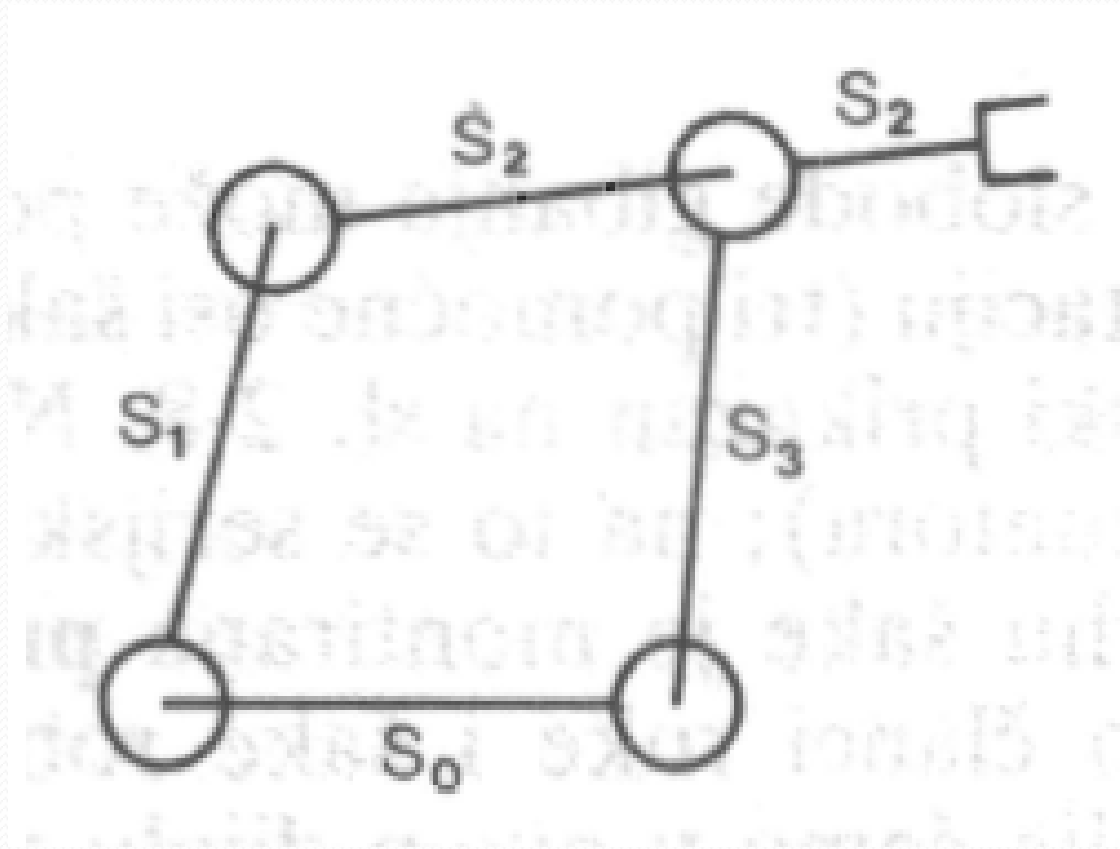
Zatvoreni kinematički lanac

- Zatvoreni kinematički lanci imaju smanjeni stupanj slobode gibanja.
- Na slici je $F = 0$ (jer tri rotacijska zgloba tvore čvrsti trokut)



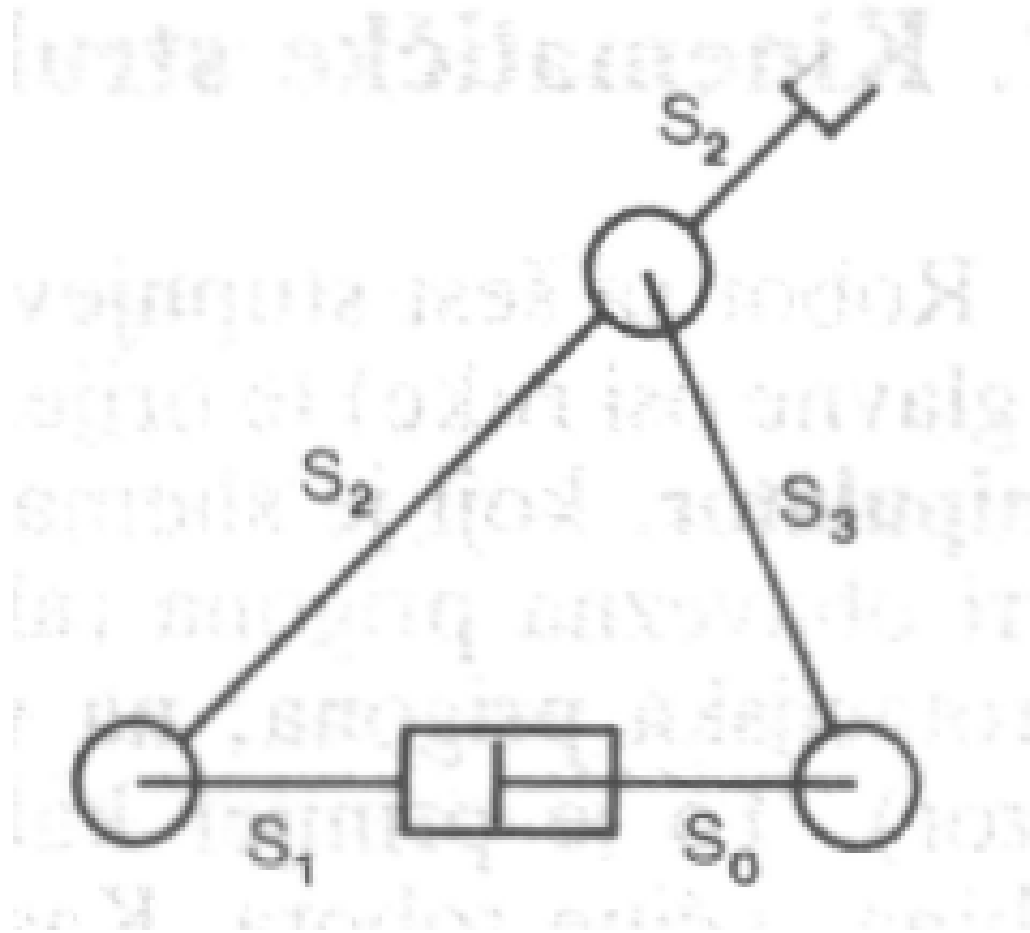
Zatvoreni kinematički lanac

- Na slici je $F = 1$ (jer se od četiri rotacijska zgloba samo jedan može slobodno gibati).



Zatvoreni kinematički lanac

- Na slici je $F = 1$ (jer se od tri rotacijska i jednog translacijskog zgloba opet samo jedan može slobodno gibati).



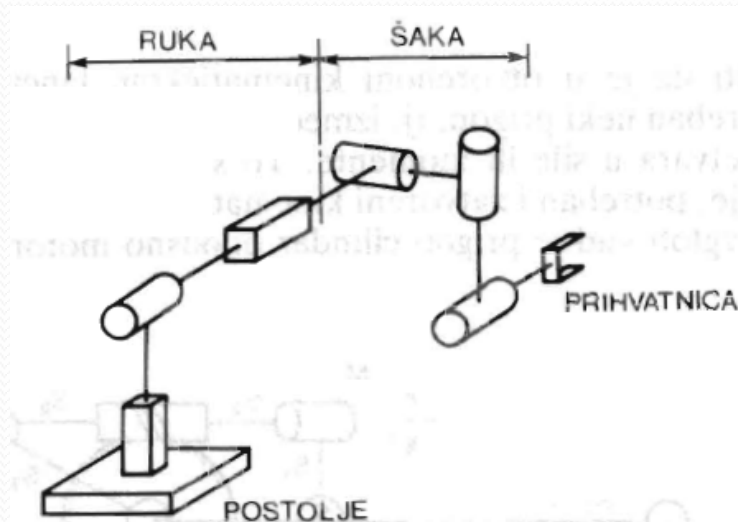
Kinematički lanci

➤ Često se utoku radnog ciklusa robota koji su u montaži događa da se otvoreni kinematički lanac zatvara:

- kada alat (npr. brus) dodiruje površinu obratka.
- pritom mogu nastati znatne sile i momenti koji se moraju uzeti u obzir.

Kinematičke strukture robota

- Robot sa šest stupnjeva slobode gibanja može postići potpuno pozicioniranje (tri glavne osi ruke) te orijentaciju (tri pomoćne osi šake).
- To je **potpuno pokretljivi manipulator**.
- Na **postolju** je smještena **ruka** sa tri obavezna prigona (aktuatora);
 - na to se serijski nadovezuje korijen **šake** sa tri rotacijska prigona;
 - na vrhu šake je montirana **prihvatnica** (hvataljka, alatka, senzor).



Kinematičke strukture robota

- Prema maksimalno pokretljivoj i spretnoj čovječjoj ruci, koja ima 32 stupnja slobode gibanja, i tisuće osjetila položaja, sile i temperature, robot djeluje nezgrapno i teško.
- Povećanje broja stupnjeva slobode gibanja tehnički je veoma složeno.
- Ipak se primjenjuje redundantnost robotskih osi, i to zbog sljedećih razloga:
 - ruka takvog robota može zaobići prepreke, npr. pri radu na unutrašnjosti karoserije;
 - može se postići optimiranje utroška energije, kao u slučaju čovječje ruke;
 - takva je ruka popustljiva (engl. compliance), što je velika prednost pri radu.

Kinematičke strukture robota

- Općenito se može reći da veći broj stupnjeva slobode gibanja sve više ograničava funkcionalnost robota.
- Tako se smanjuje točnost, povećava kompjutorsko vrijeme, otežava prijenos energije duž članaka, a jasno da se povećavaju i troškovi.
- Zato se teži da se broj zglobova smanji ispod šest, čak ikad se pojavljuju redundantni zglobovi.

Minimalne strukture

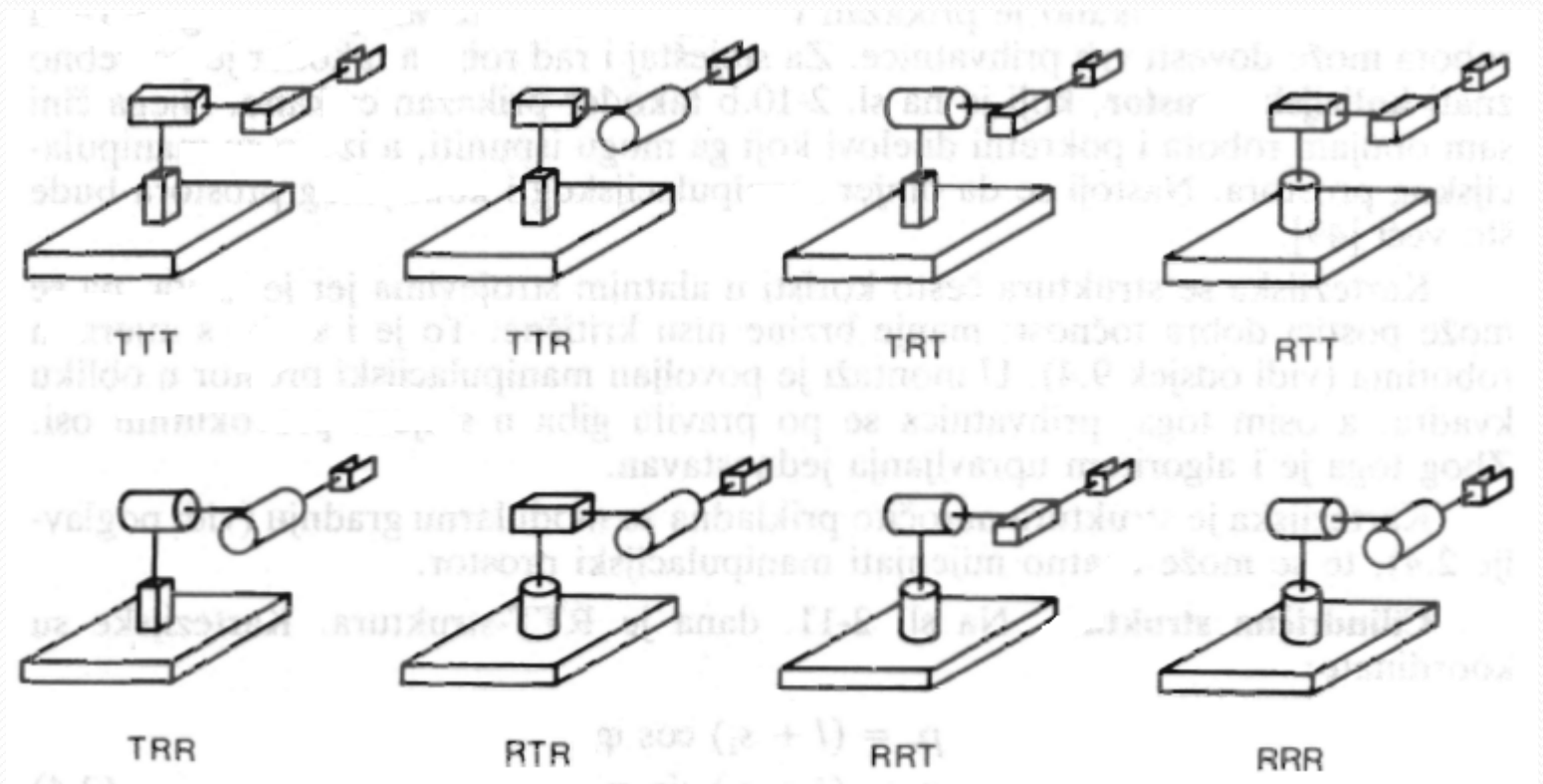
- Svaki robot mora imati barem mogućnost pozicioniranja u prostoru - jer bez toga nema robota.
- Zato se struktura sa tri stupnja slobode gibanja naziva **minimalna konfiguracija**.
- Sa tri stupnja slobode gibanja pozicionira se korijen šake, a stvarno je zanimljiv položaj vrha prihvatnice.
- Uz dva osnovna zgloba ruke (R i T) i tri stupnja slobode gibanja, postoji

$$V = 2^f = 2^3 = 8$$

mogućih konfiguracija koje sushematski prikazane na slici dalje.

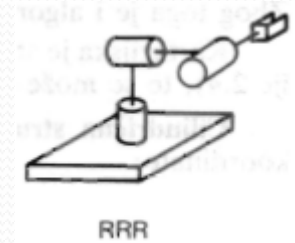
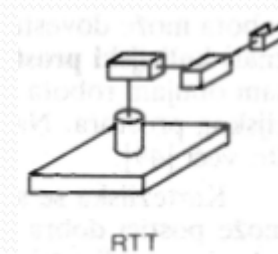
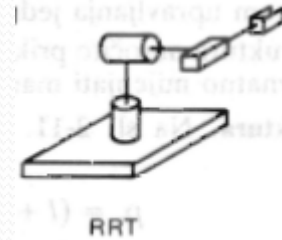
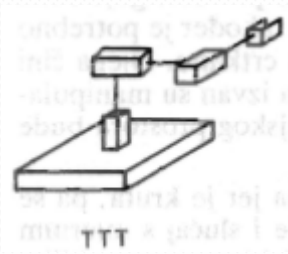
Minimalne strukture

- Moguće kinematičke strukture za $f=3$



- Svaka struktura ima svoje prednosti i mane, a općenito se može reći da rješenja s rotacijskim zglobovima imaju jednostavniju mehaničku konstrukciju, složenije programiranje gibanja i brži su od translacijskih.

Minimalne strukture



Od njih se upotrebljavaju:

- kartezijska struktura TTT
- cilindrična struktura RTT
- sferna struktura RRT
- revolutna struktura RRR.

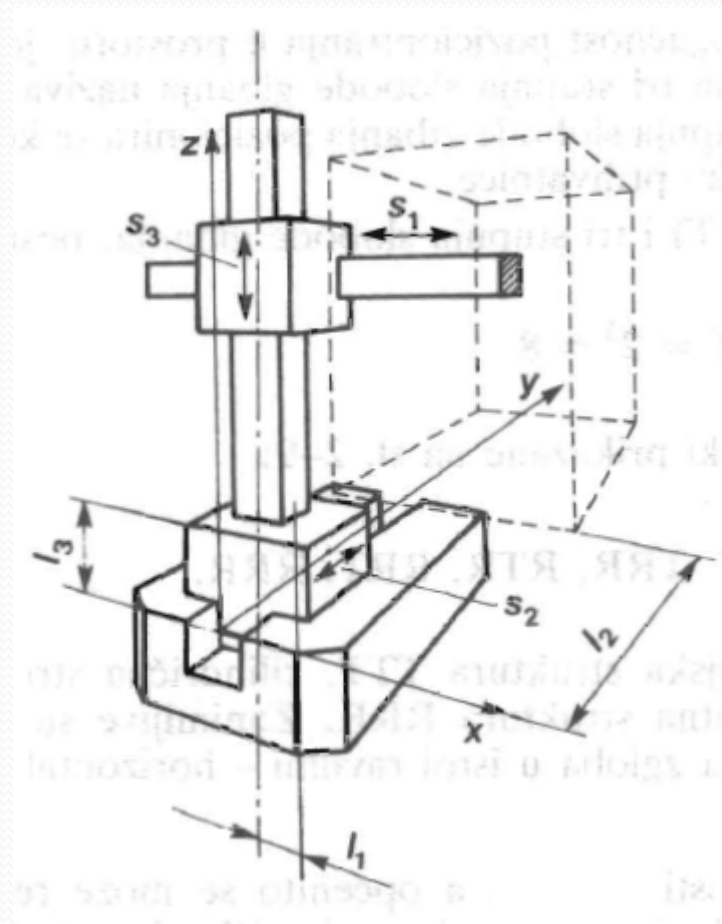
Kartezijska struktura

➤ Mogu se očitati sljedeće kartezijske (vanjske) koordinate, sve u odnosu prema referentnim koordinatama (unutrašnjim) samog robota:

$$p_x = l_1 + s_1$$

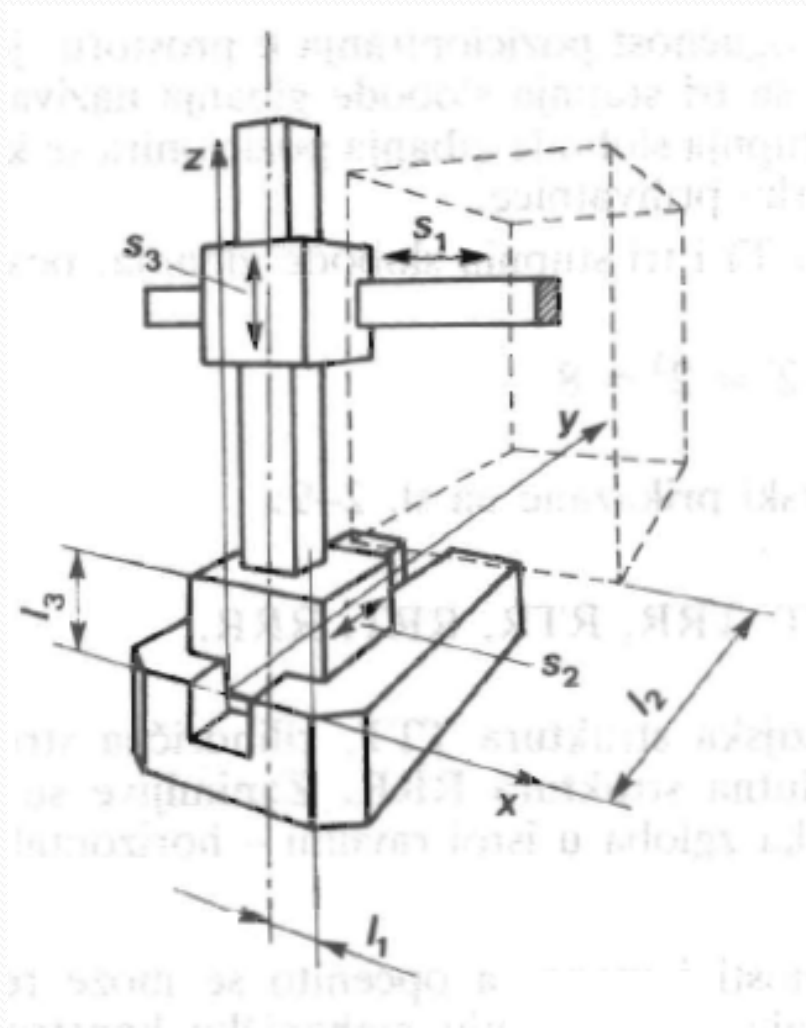
$$p_y = l_2 + s_2$$

$$p_z = l_3 + s_3$$



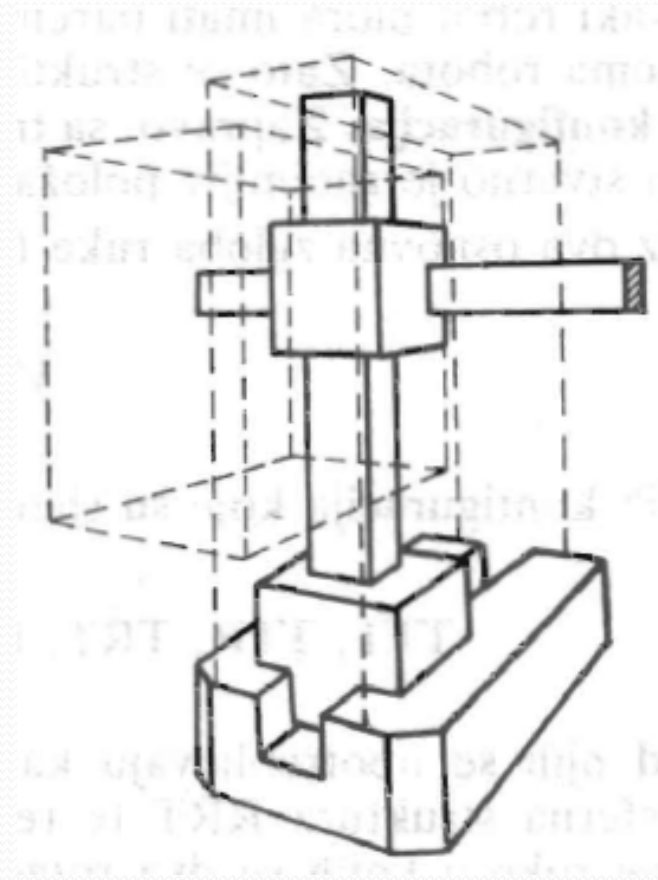
Kartezijska struktura

- Na slici jecrtkano prikazan **manipulacijski (radni) prostor**.
- Unutar tog prostora ruka robota može dovesti vrh prihvatnice.



Kartezijska struktura

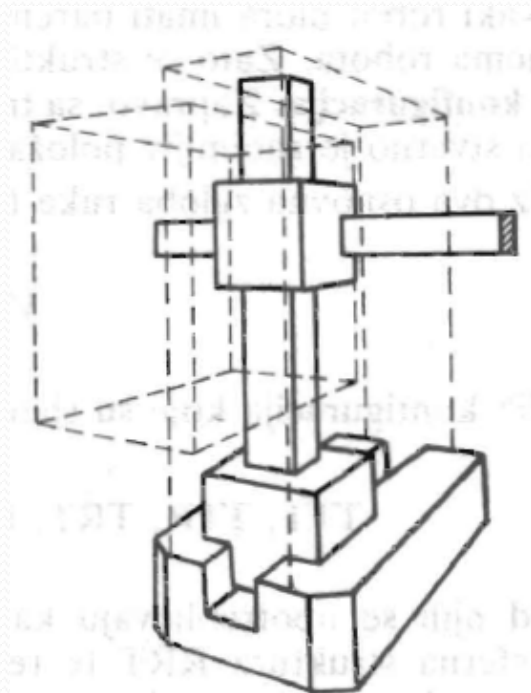
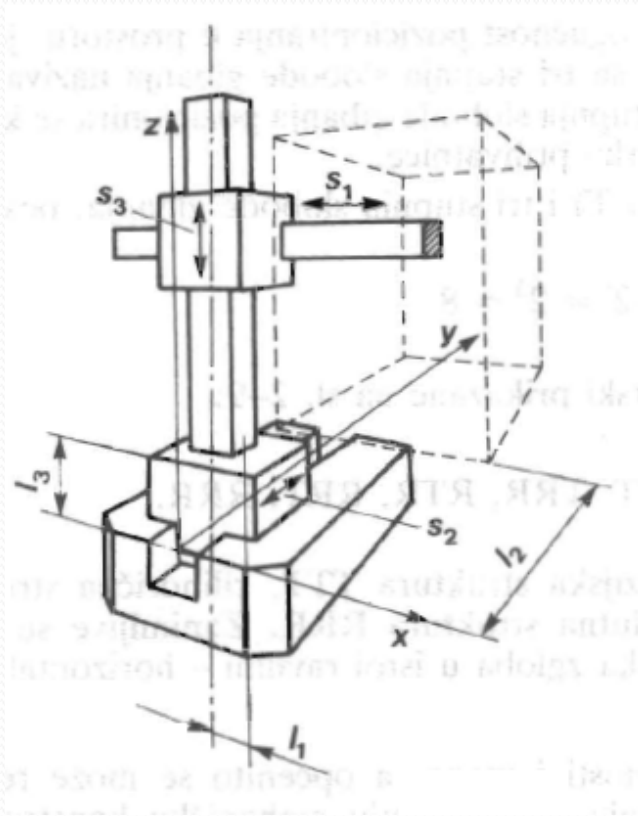
- Za smještaj i rad robota također je potrebno znati **kolizijski prostor** (na slici prikazan crtkano).



- Njega čini sam obujam robota i pokretni dijelovi koji ga mogu ispuniti, a izvan su manipulacijskog prostora.

Kartezijska struktura

- Nastoji se da omjer manipulacijskog i kolizijskog prostora bude što veći.



Kartezijska struktura

- Kartezijska se struktura često koristi u alatnim strojevima jer je kruta, pa se može postići dobra točnost; manje brzine nisu kritične.
- To je islučaj s mjernim robotima (prošlo predavanje).
- U montaži je povoljan manipulacijski prostor u obliku kvadra, a osim toga, prihvatnica se po pravilu giba u smjeru pravokutnih osi.
- Zbog toga je i algoritam upravljanja jednostavan.
- Kartezijska je struktura naročito prikladna za modularnu gradnju, te se može znatno mijenjati manipulacijski prostor.

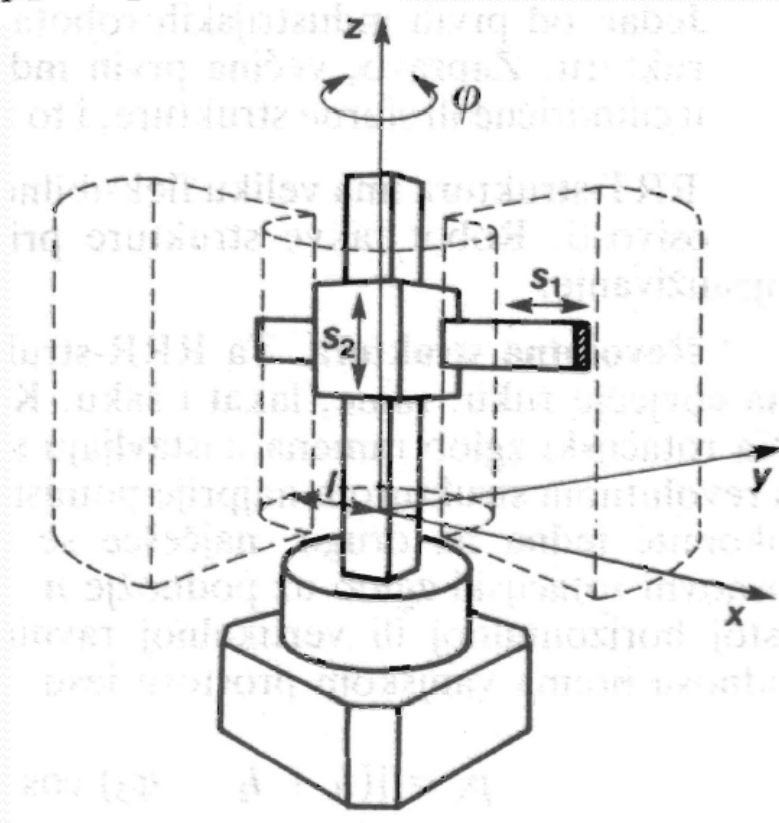
Cilindrična struktura

➤ Kartezijske su koordinate:

$$p_x = (l + s_1) \cos \varphi$$

$$p_y = (l + s_1) \sin \varphi$$

$$p_z = s_2$$



➤ Cilindrična struktura ruke robota RTT

Cilindrična struktura

- S obzirom na građu, RTT-struktura ima slična svojstva točnosti i krutosti kao i TTT-struktura.
- Upotrebljava se za opsluživanje alatnih strojeva jer se mijenjanje obradaka obavlja u horizontalnom smjeru.

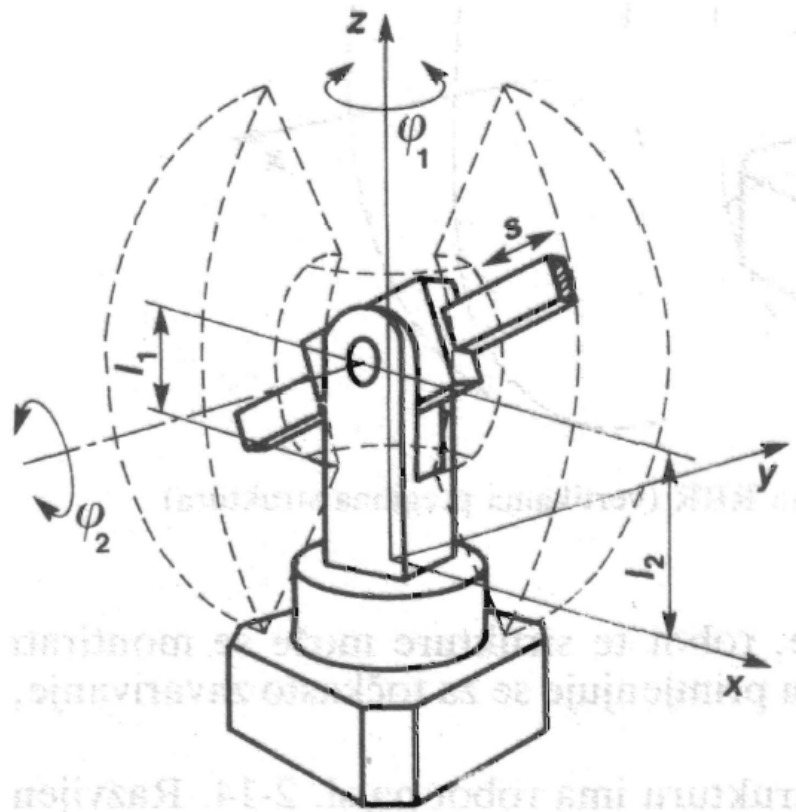
Sferna struktura

➤ Kartezijske su koordinate:

$$p_x = (l_1 + s) \cos \varphi_1 \cos \varphi_2$$

$$p_y = (l_1 + s) \sin \varphi_1 \cos \varphi_2$$

$$p_z = l_2 + (l_1 + s) \sin \varphi_2$$



➤ Sferna struktura ruke robota RRT.

Sferna struktura

- Jedan od prvih industrijskih robota uopće - Unimate, firme Unimation ima tu strukturu.
- Zapravo, većina prvih industrijskih robota 1960-tih godina u SAD bili su cilindrične ili sferne strukture, i to zbog relativno lakog načina upravljanja.
- RRT-struktura ima veliku fleksibilnost u pristupu određenoj lokaciji, a srednje je nosivosti.
- Robot takve strukture primjenjuje se za točkasto zavarivanje i za opsluživanje.

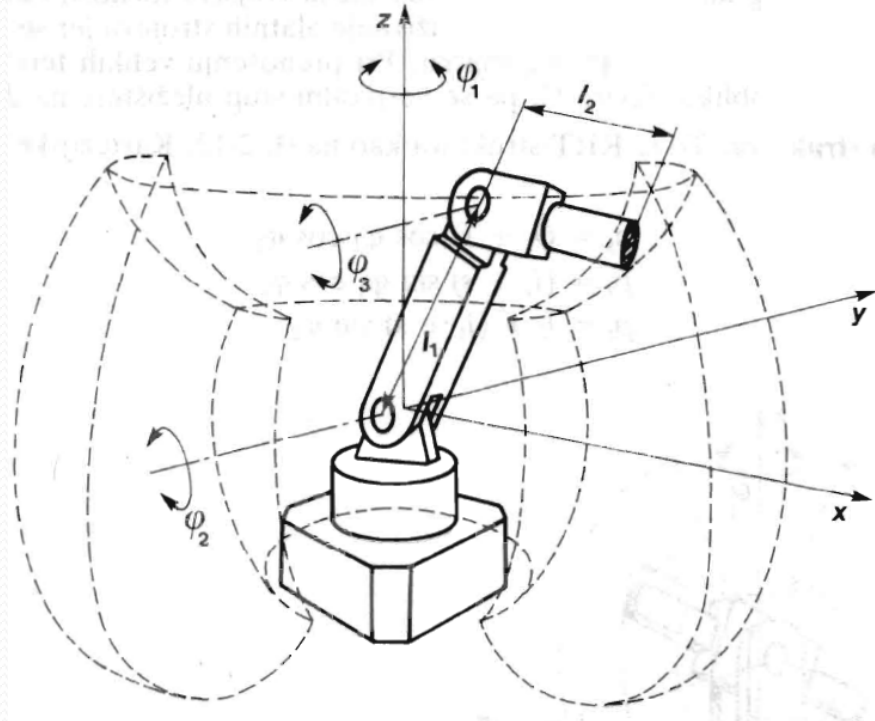
Revolutna struktura

- Kartezijske koordinate prihvatnice u odnosu prema vanjskom prostoru jesu:

$$p_x = [(l_1 + l_2 \cos \varphi_3) \cos \varphi_2 - l_2 \sin \varphi_2 \sin \varphi_3] \cos \varphi_1$$

$$p_y = [(l_1 + l_2 \cos \varphi_3) \cos \varphi_2 - l_2 \sin \varphi_2 \sin \varphi_3] \sin \varphi_1$$

$$p_z = (l_1 + l_2 \cos \varphi_3) \sin \varphi_2 + l_2 \sin \varphi_3 \cos \varphi_2$$



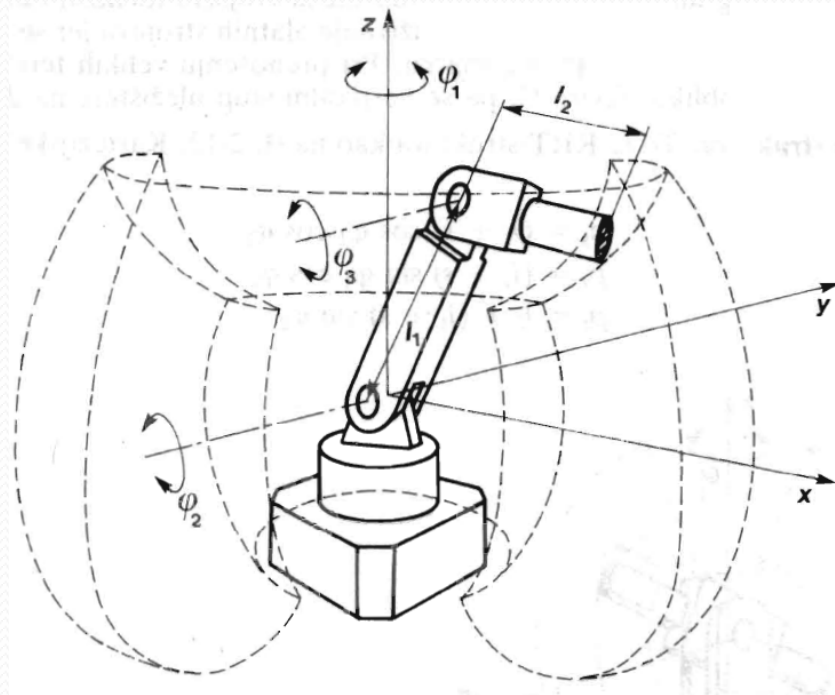
Revolutna struktura

➤ RRR-struktura ponajviše podsjeća na čovječju ruku:

➤ rame

➤ lakat

➤ šaka.

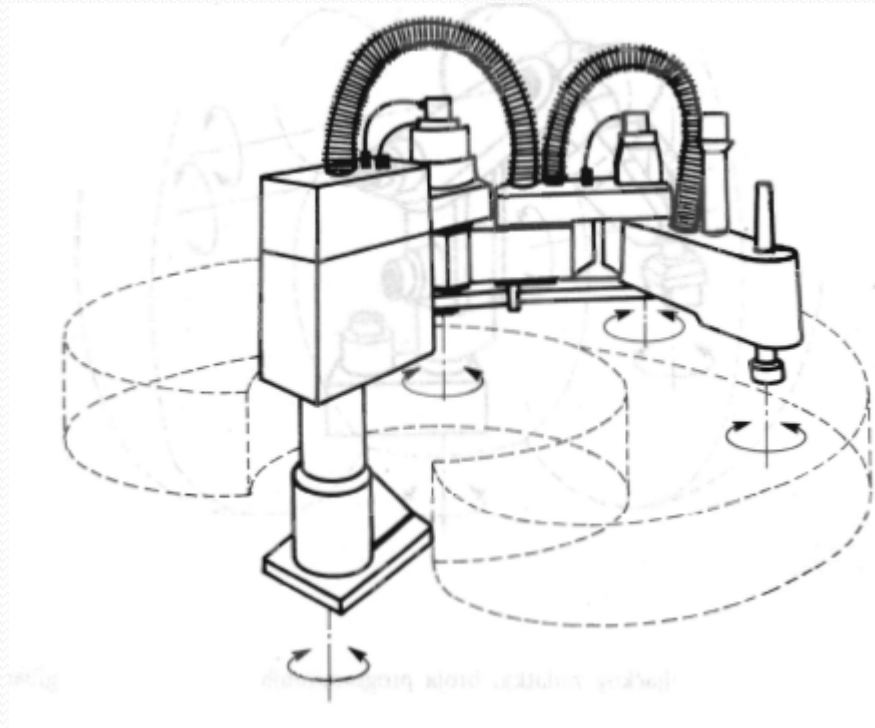


➤ Kao i u čovjeka, svi su zglobovi rotacijski.

➤ Na rotacijski zglob ramena nastavljaju se zglobovi lakta i zapešća.

Horizontalna pregibna ruka

➤ Takvu strukturu ima robot na slici:



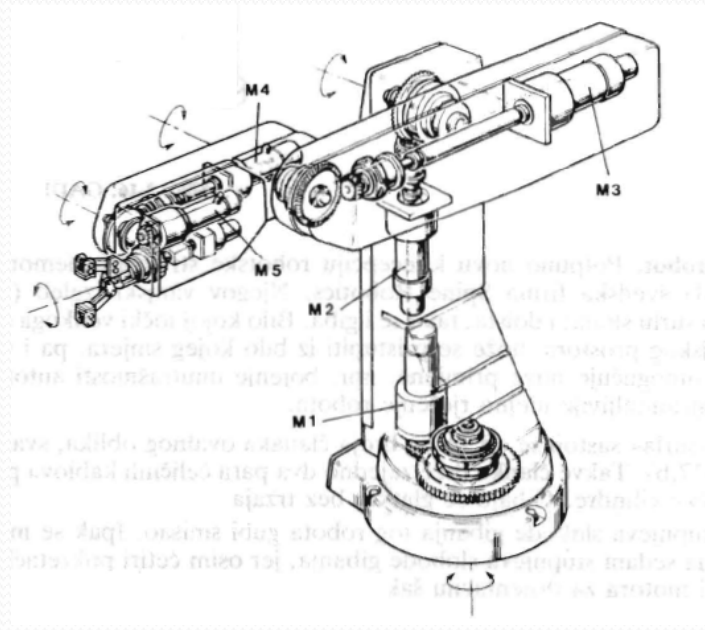
➤ Razvijen je 1981.g. u Japanu, a na tržištu je poznat pod nazivom SCARA (engl. Selected Compliance Assembly Robot Arm).

Horizontalna pregibna ruka

- Razvoj računala omogućio je programiranje složenih algoritama vođenja.
- Struktura RRR-R sa slike prije ima nosivi stup velike krutosti, što osigurava dobru nosivost mase i do 30 kg.
- Osim toga, rotacije su smještene u horizontalnoj ravnini, pa se redundantnošću postiže popustljivost ruke u toj ravnini kao i mogućnost obilaženja prepreke.
- Zbog svojih svojstava veoma je pogodan pri montaži (umetanje).

Mehanički podsustavi robota

- APRA-Renault (robot, Francuska)
- to je robot sa pet stupnjeva slobode gibanja
- pogon je električni

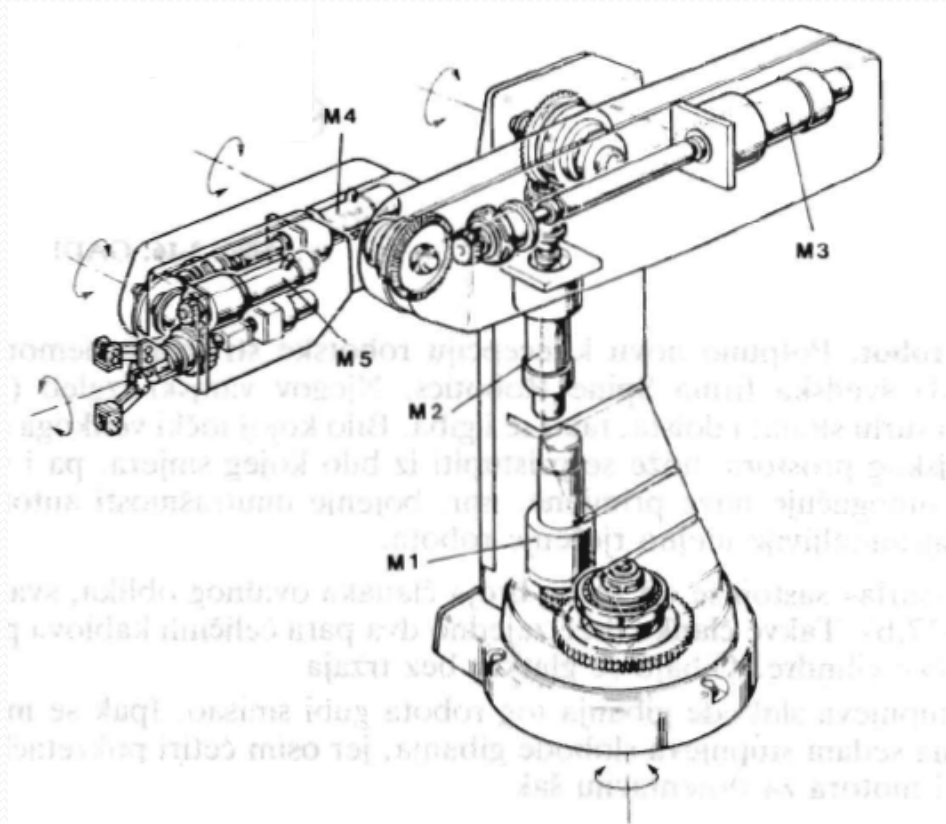


- elektromotori M1 do M5 zakreću pojedine članke preko reduktora
- zanimljivo je uočiti kako je statički uravnotežen drugi članak: elektromotor M3 smješten je tako da čini protutežu s prijenosnim pužnim mehanizmom

Mehanički podsustavi robota

➤ APRA-Renault (robot, Francuska) ima **decentralizirane prigone**

- njihove su mase direktno vezane začlanke i njihove zglobove
- nema većih problema oko prijenosnika gibanja, ali mase prigona smanjuju dinamičke performanse robota

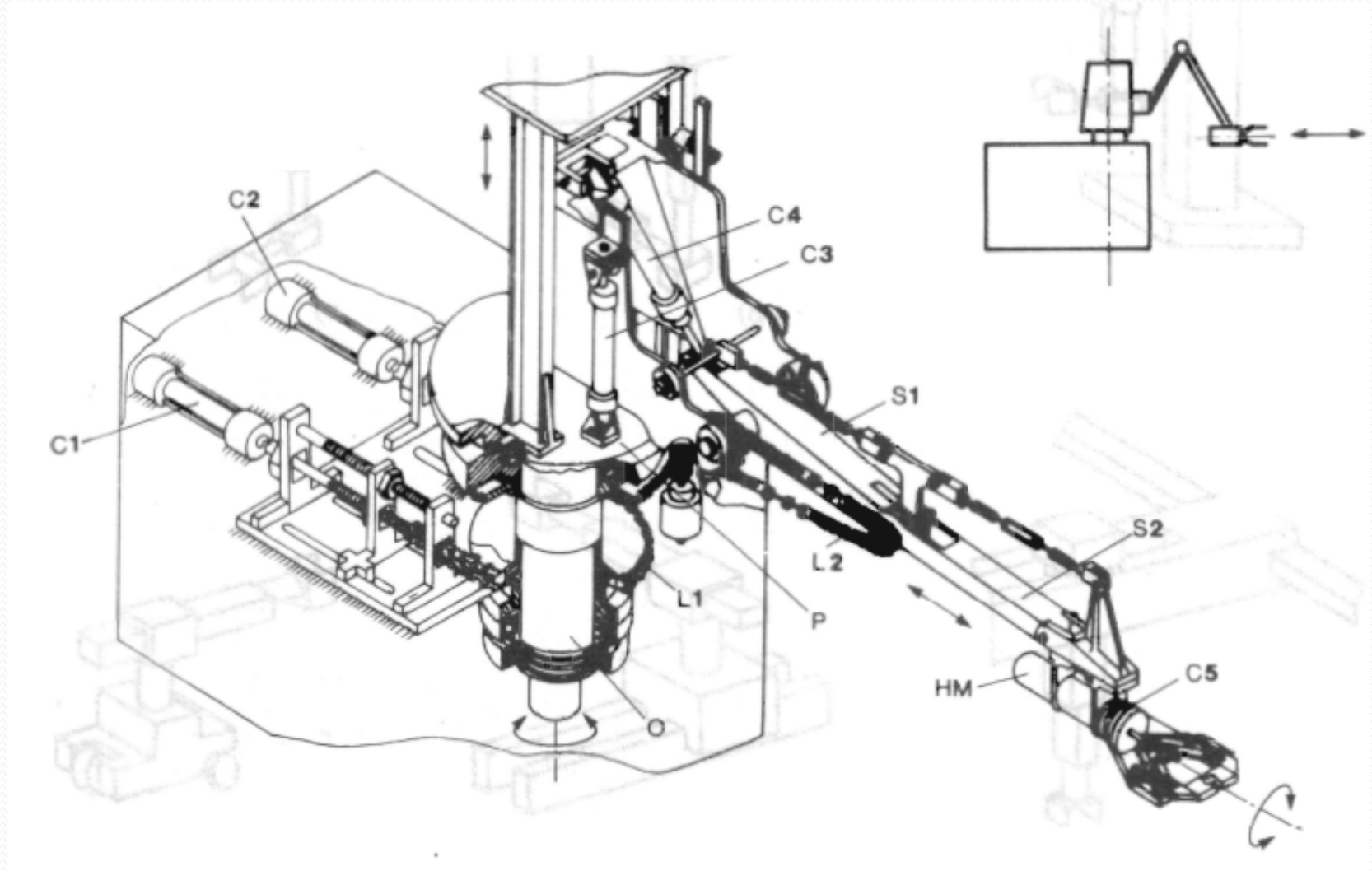


Mehanički podsustavi robota

- postoje i robotske izvedbe s **centraliziranim prigonima** smještenim u postolju ili blizu njega
- takva izvedba zahtijeva drukčije prijenosne mehanizme kao što su remeni, lanci, navojna vretena, zupčaste letve i sl.
- gibanje se teško prenosi preko više zglobova; trenje mehaničkih prijenosa smanjuje korisnu snagu i točnost;
- elastičnost dijelova prenosnika pogoduje vibracijama
- smanjuju se sile, ali se povećava brzina gibanja ruke robota

Mehanički podsustavi robota

- Tokyo Keiki (robot, Japan)
- četiri stupnja slobode gibanja i hidrauličkim prigonom



Mehanički podsustavi robota

- cilindri C1 i C2 preko lanca L1 zakreću osovinu 0
- cilindar C3 daje vertikalni pomak platformi P
- cilindar C4, zajedno sa dva kinematički vezana paralelograma, daje paralelni pomak
- naime, kad cilindar C4 zakrene članak S1 za neki kut, za isti ali suprotni kut lanac L2 zakrene članak S2
- hidromotor **HM** obavlja orijentaciju oko uzdužne osi
- cilindar C5 steže kliješta hvataljke

Postolje ili podvoz

- postolje robota nalik je i na postolje alatnog stroja
- osnovna ploča može biti lijevana ili zavarena od profilnog željeza
- dok je alatni stroj obično stojeći, pričvršćen za pod, robot ima više mogućnosti pričvršćenja

Postolje ili podvoz

➤ Tipovi postolja i podvoza:

➤ a) stojeće postolje

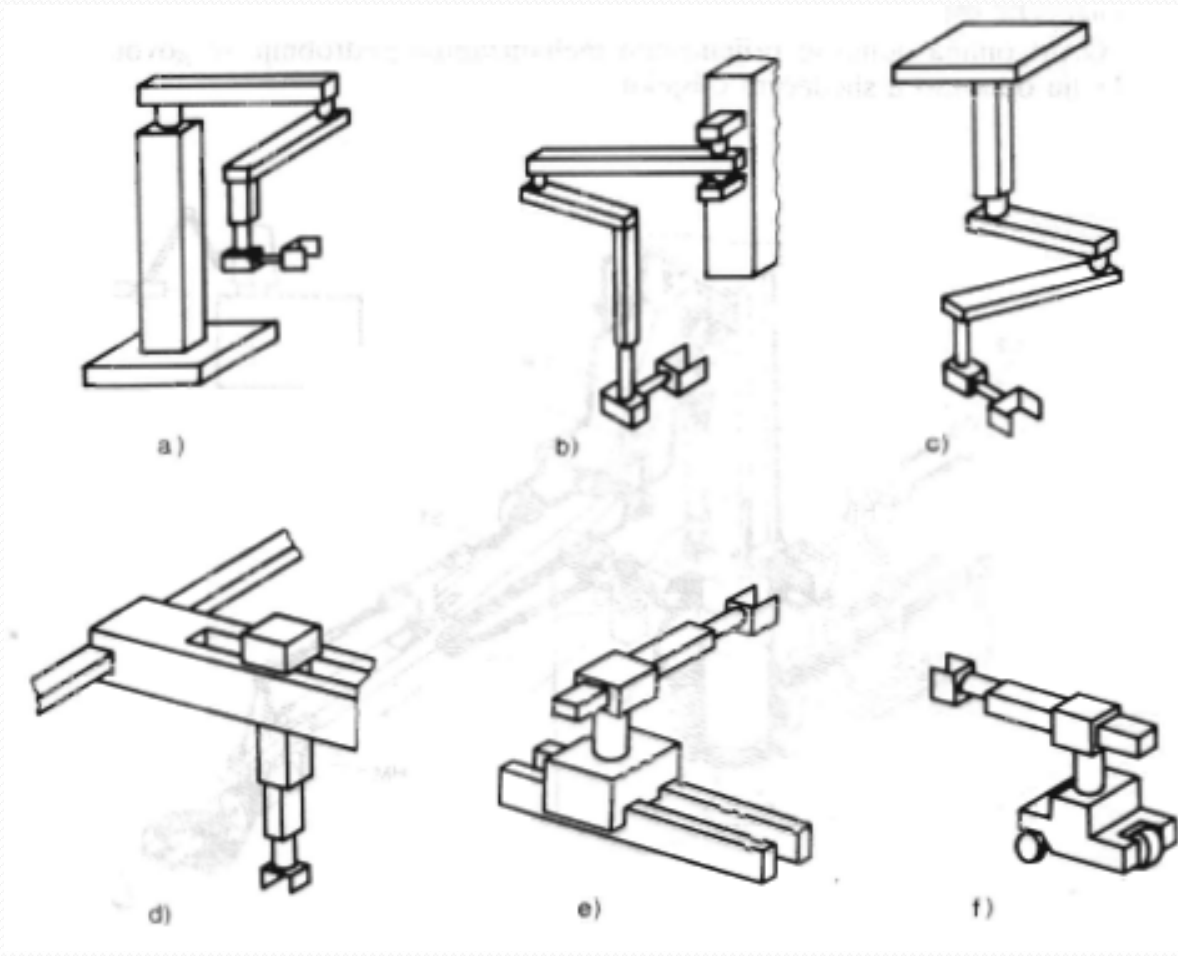
➤ b) zidno postolje

➤ c) stropno postolje

➤ d) portalno postolje;
podvoz u obliku

e) tračnice

f) kolica



Postolje ili podvoz

- postolje robota može biti konzolno izvedeno i pričvršćeno na pod, zid ili strop, ili pak portalno izvedeno
- u svim je tim slučajevima stupanj slobode gibanja podvoza $f = 0$
- ako je postolje pokretljivo, govori se o podvozu robota
- podvoz može biti na tračnicama sa stupnjem slobode gibanja podvoza $f = 1$
- može biti na kolicima, sa stupnjem slobode gibanja podvoza $f = 2$

Ruka i šaka

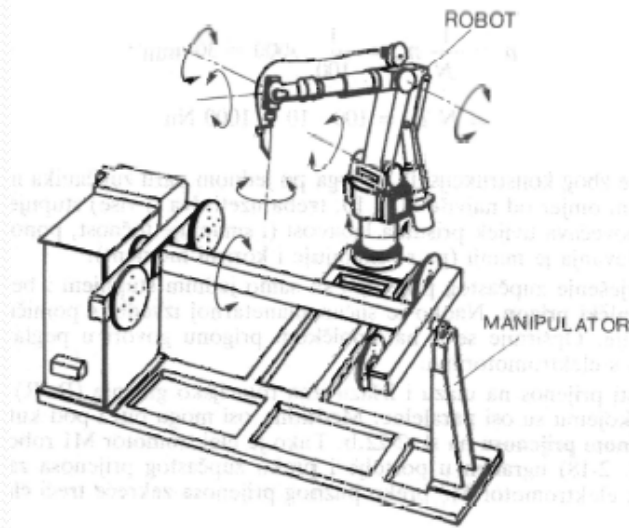
- promatrajući funkcionalnost, dosada se odijeljeno analizirala ruka i šaka robota
- tri zgloba (rotacijska ili translacijska) ruke omogućuju potpuno pozicioniranje prihvatnice u prostoru, a tri zgloba šake (samo rotacijska!) osiguravaju potpunu orijentaciju prihvatnice
- s konstrukcijskog stajališta, zglobovi ruke i šake čine cjelinu
- u daljim razmatranjima ruka i šaka promatrati će se kao cjelina kojoj je zadatak da vodi prihvatnicu prema predviđenome upravljačkom algoritmu

Ruka i šaka

- pri projektiranju robota odlučujuću ulogu ima izbor kinematičkog lanca:
- veći broj zglobova znatno povećava pokretljivost (prednost)
- mehanička konstrukcija složenija i skuplja (nedostatak)
- krutost (i točnost) su smanjeni (nedostatak)
- teže je riješiti energetske i informacijske vodove (nedostatak)
- opseg informacijske podrške se povećava (nedostatak)
- Treba paziti i na izbor tipa zglobova:
 - rotacijski su mehanički jednostavniji
 - zahtijevaju složenije algoritme upravljanja
 - s translacijskim je zglobovima obrnuto

Ruka i šaka

- za neke je operacije potrebna velika pokretljivost (npr. lučno zavarivanje)
- da se robot ne optereti dodatnim zglobovima, može mu se dodati periferni uređaj s više stupnjeva slobode gibanja



- prikazano je takvo rješenje: robotu sa šest stupnjeva slobode gibanja (rotacijskih) dodan je manipulator s jednim stupnjem slobode gibanja (rotacijskim)
- oni su povezani s upravljačkim uređajem koji istodobno upravlja sa sedam osi

Prijenosnici snage

Energetski prigoni u robotima najčešće su elektromotori s rotacijskim gibanjem ili hidraulički cilindri s translacijskim gibanjem

Snaga se prenosi na rotacijski ili translacijski zglob pomoću mehaničkih **prijenosnika** snage:

- zupčastog prijenosnika
- zupčaste letve sazupčanikom
- navojnog vretena s maticom
- zupčastog remena
- lanca
- zglobne poluge

Energetski prigoni i prenosnici snage spajaju se u zatvoreni kinematički lanac, što čini aktivni zglob

Prijenosnici snage

Elektromotori imaju male momente i velike kutne brzine u odnosu prema sporohodnim mehanizmima

Zato su potrebni zupčasti prijenosi, **reduktori** koji smanjuju kutne brzine i ujedno u istom prijenosnom omjeru povećavaju moment, što znači stotinjak puta

Novo rješenje zupčastog prijenosa sa samo jednim stupnjem i bez labavosti daje **harmonički prigon**

Naoko je sličan planetarnoj izvedbi s pomičnim osima, ali on to nije

Osi mogu biti i pod kutom od 90° kao pri **pužnom prijenosu** (elektromotor M1 robota APRA-Renault)

Elementi mehaničkog sustava

Segmenti (engl. links)

Uležištenja

Osovine (vratila)

Prijenosnici gibanja i momenata

Kompenzatori gravitacijskog djelovanja

Prihvatnica

Segmenti

osiguravaju čvrstoću i krutost konstrukcije

okrugli, kvadratni, rešetkasti, ...

što lakši materijali

rastavljivi spojevi

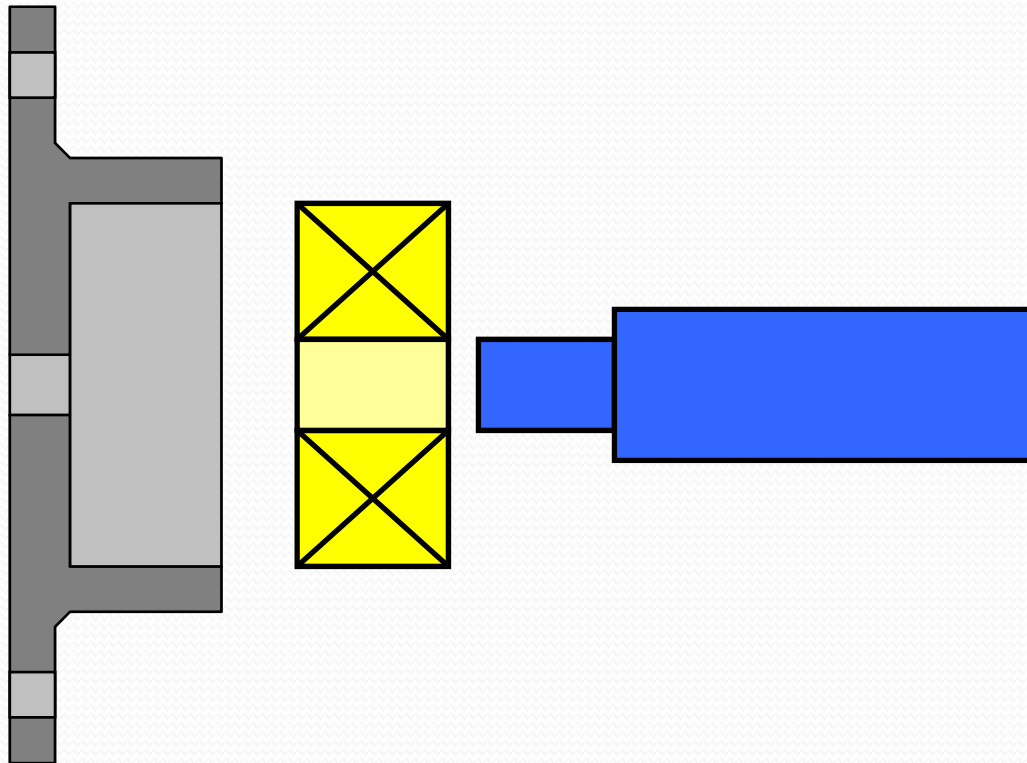
modularna gradnja

Uležištenja

omogućuju rotaciju/translaciju SSG-a

klizni, kotrljajući

trenje (suho i viskozno) svesti na minimum



Osovine (vratila)

prenose gibanja i sile (momente)

potrebni ih je uležištiti na dva mjesta

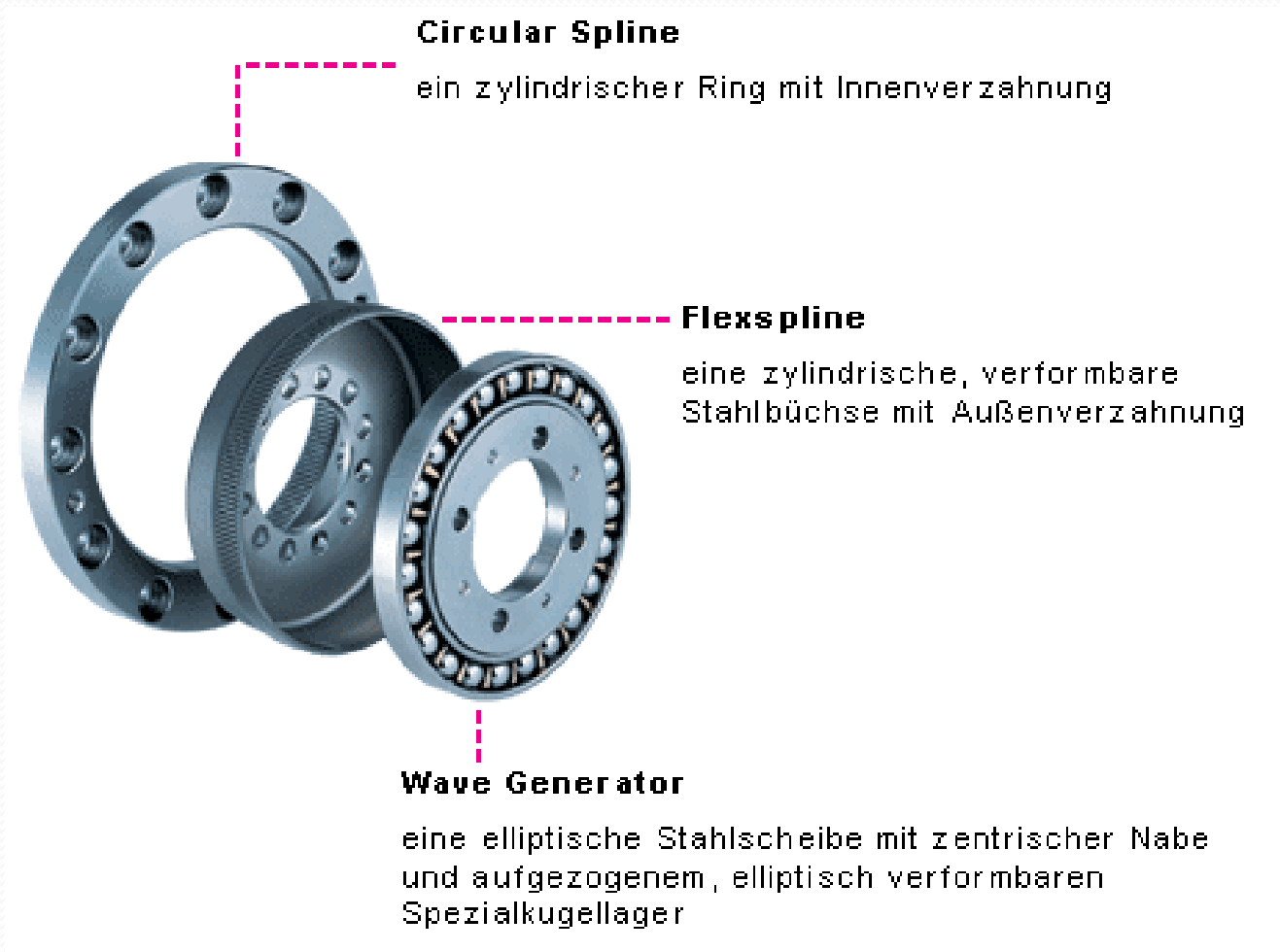
Prijenosnici gibanja i momenata

zupčasti

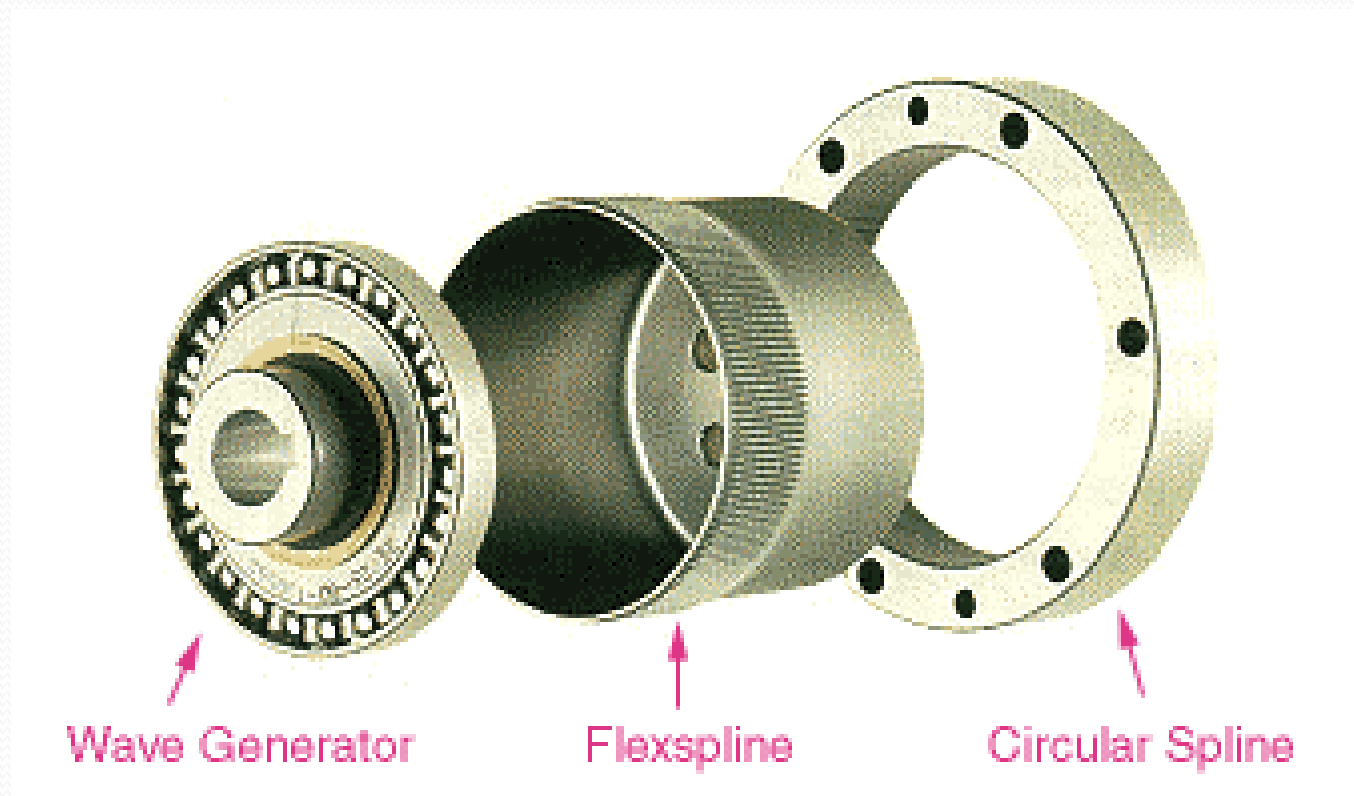
lančani

harmonički

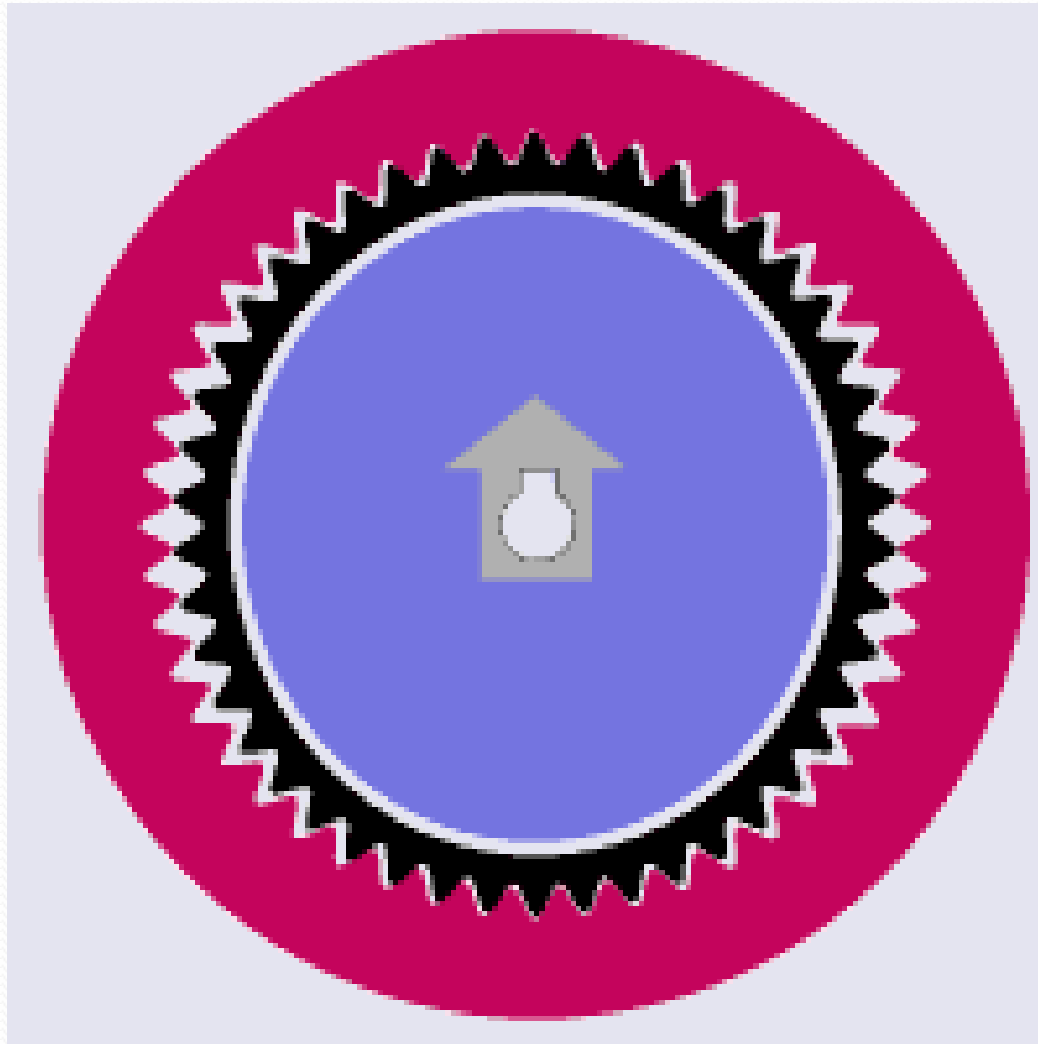
Harmonički prijenosnici gibanja i momenata



Harmonički prijenosnici gibanja i momenata

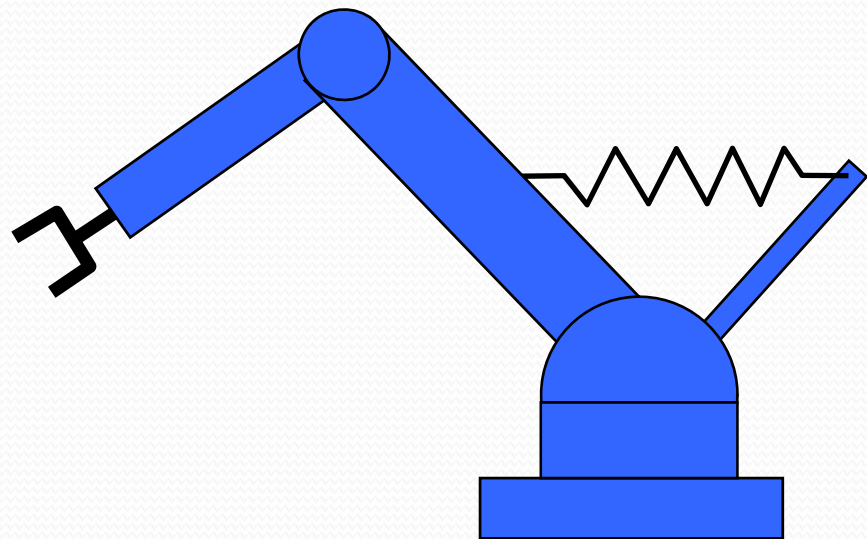
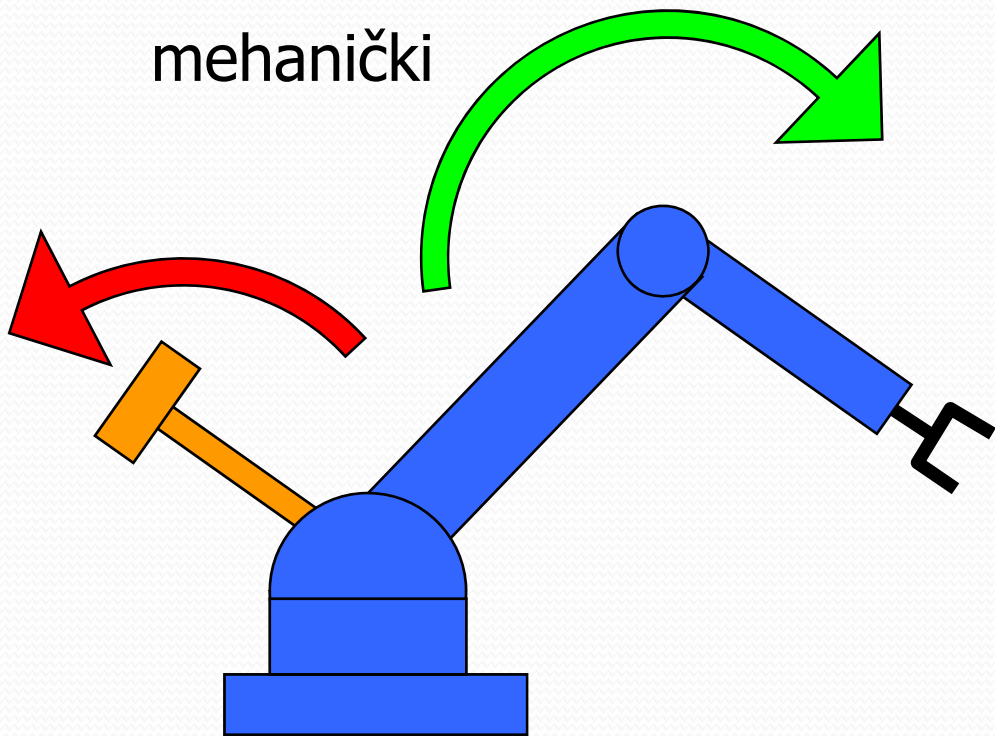


Harmonički prijenosnici gibanja i momenata



Kompenzatori gravitacijskog djelovanja

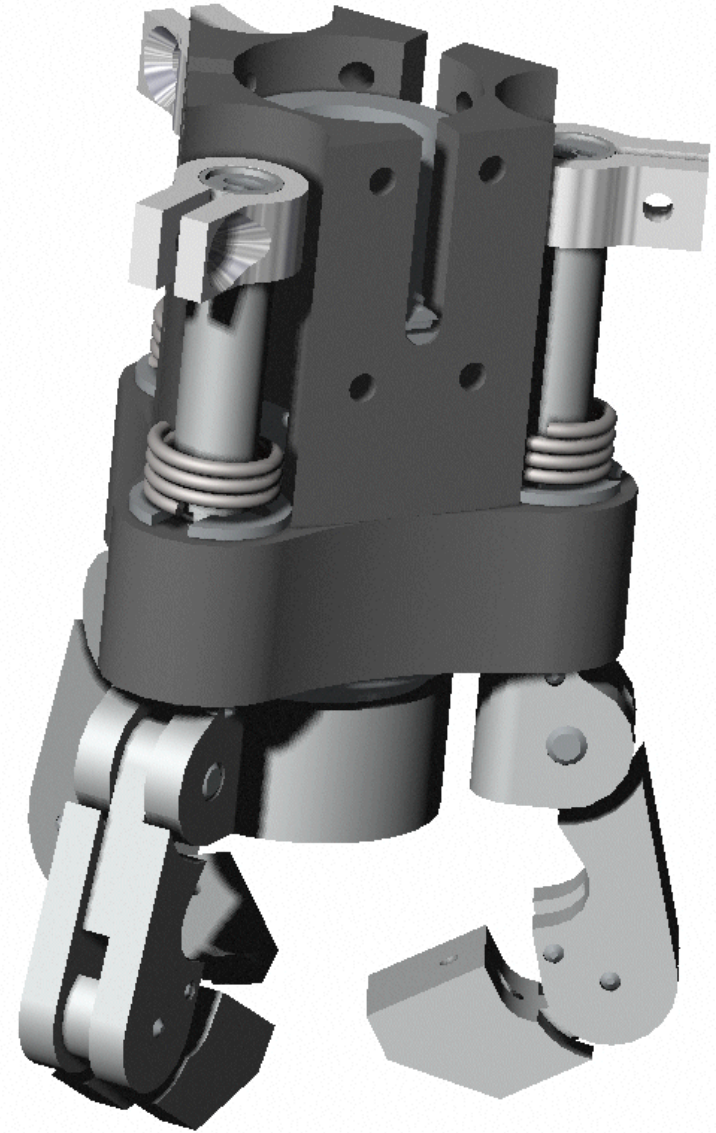
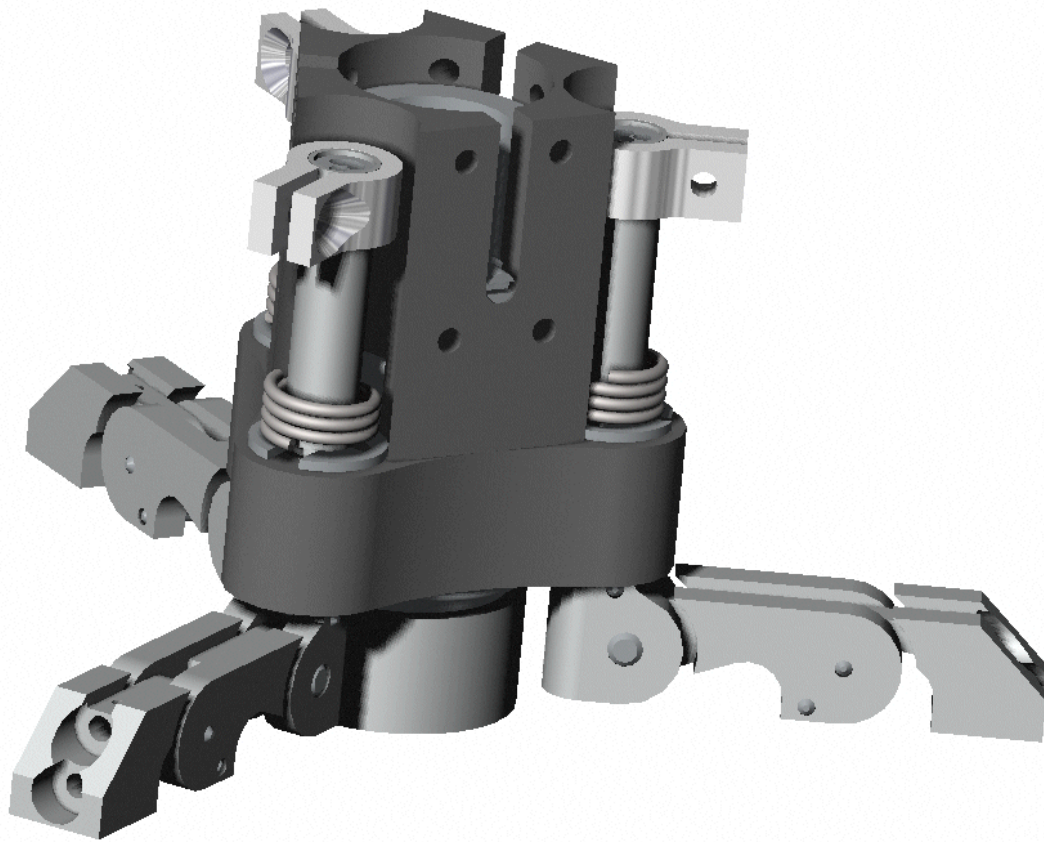
mehanički

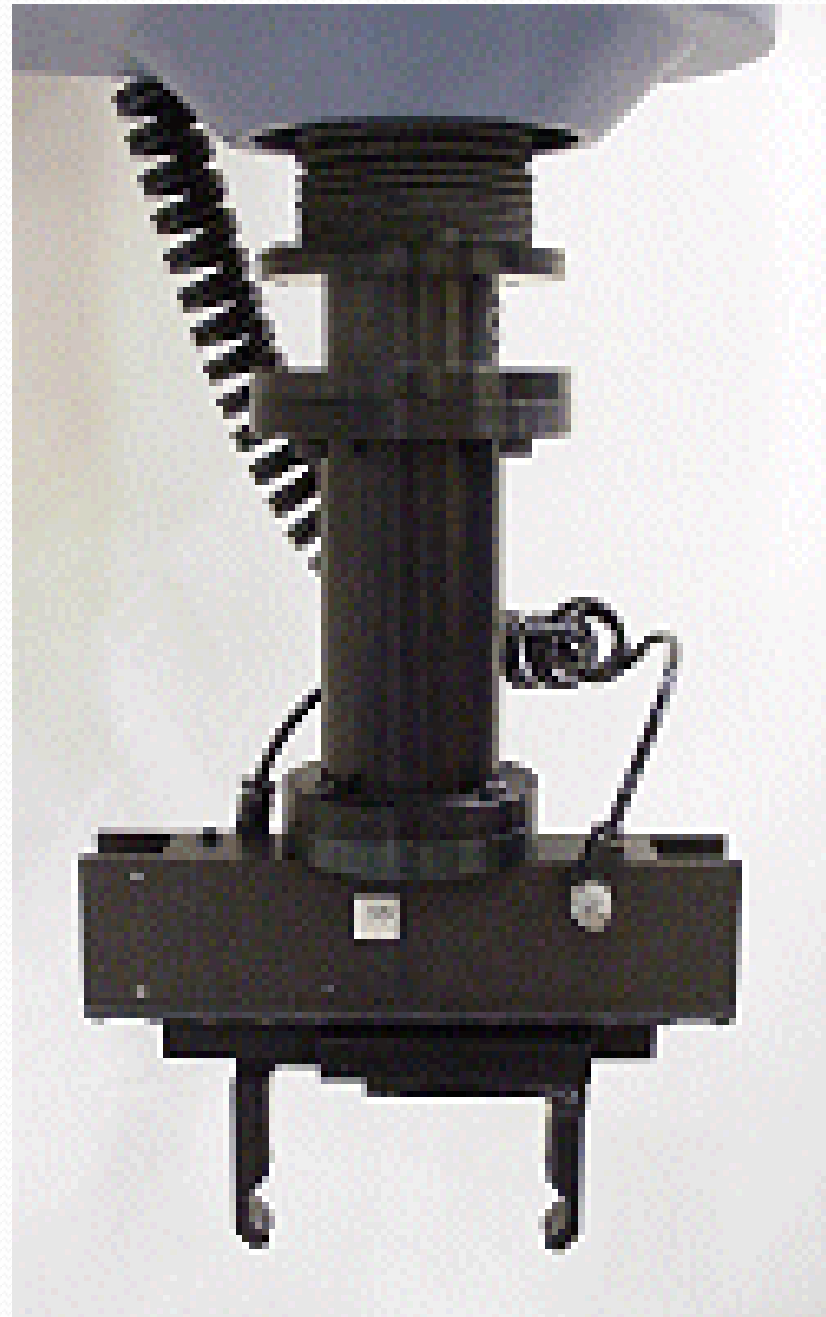
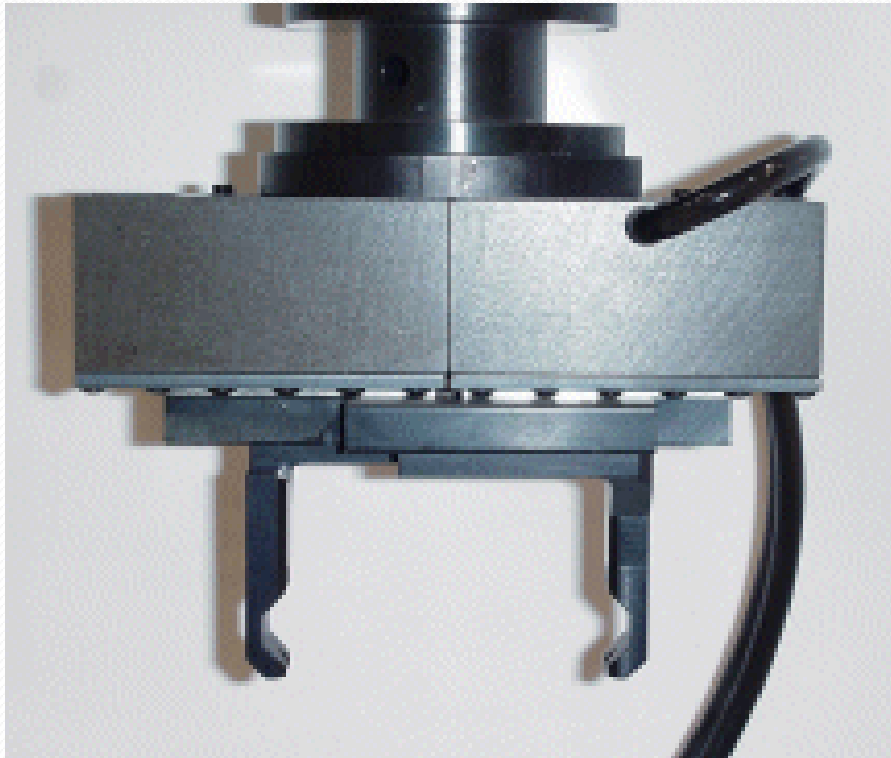
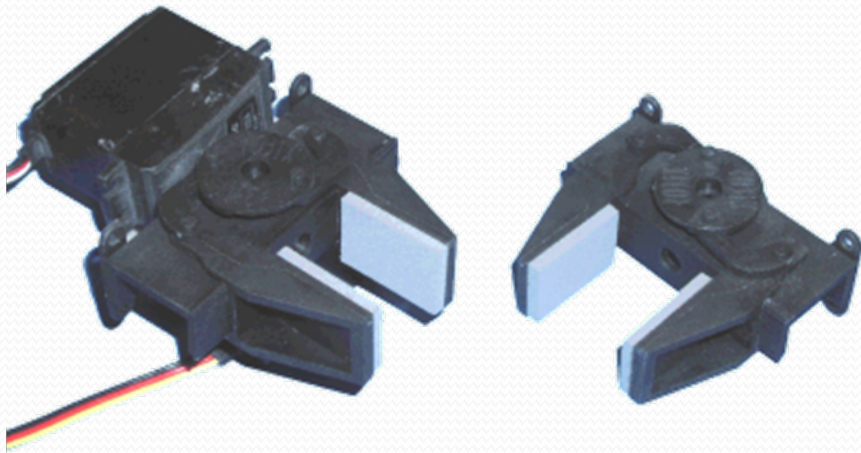


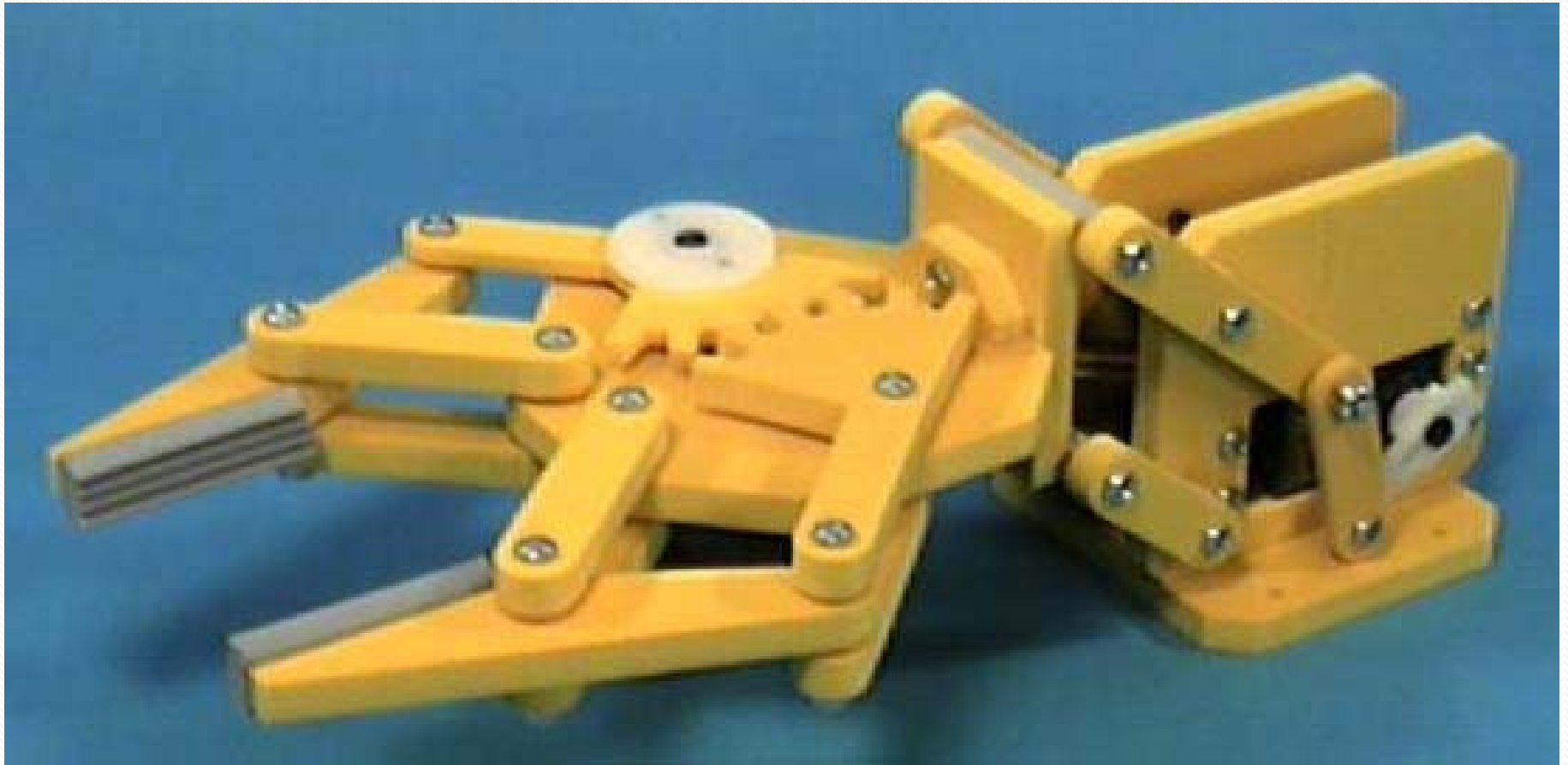
Prihvatnice

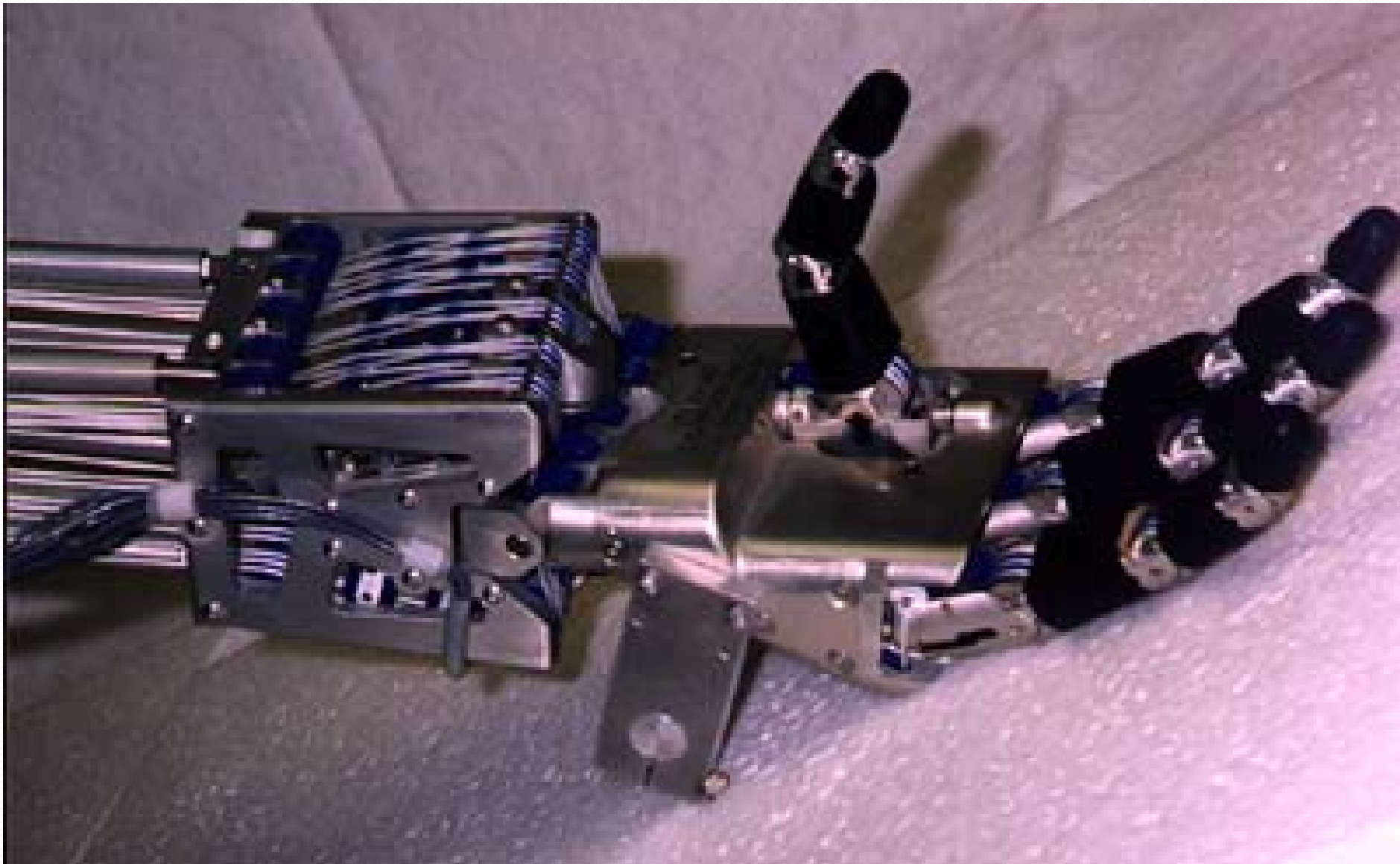
rješavaju problem orijentacije i hvatanja

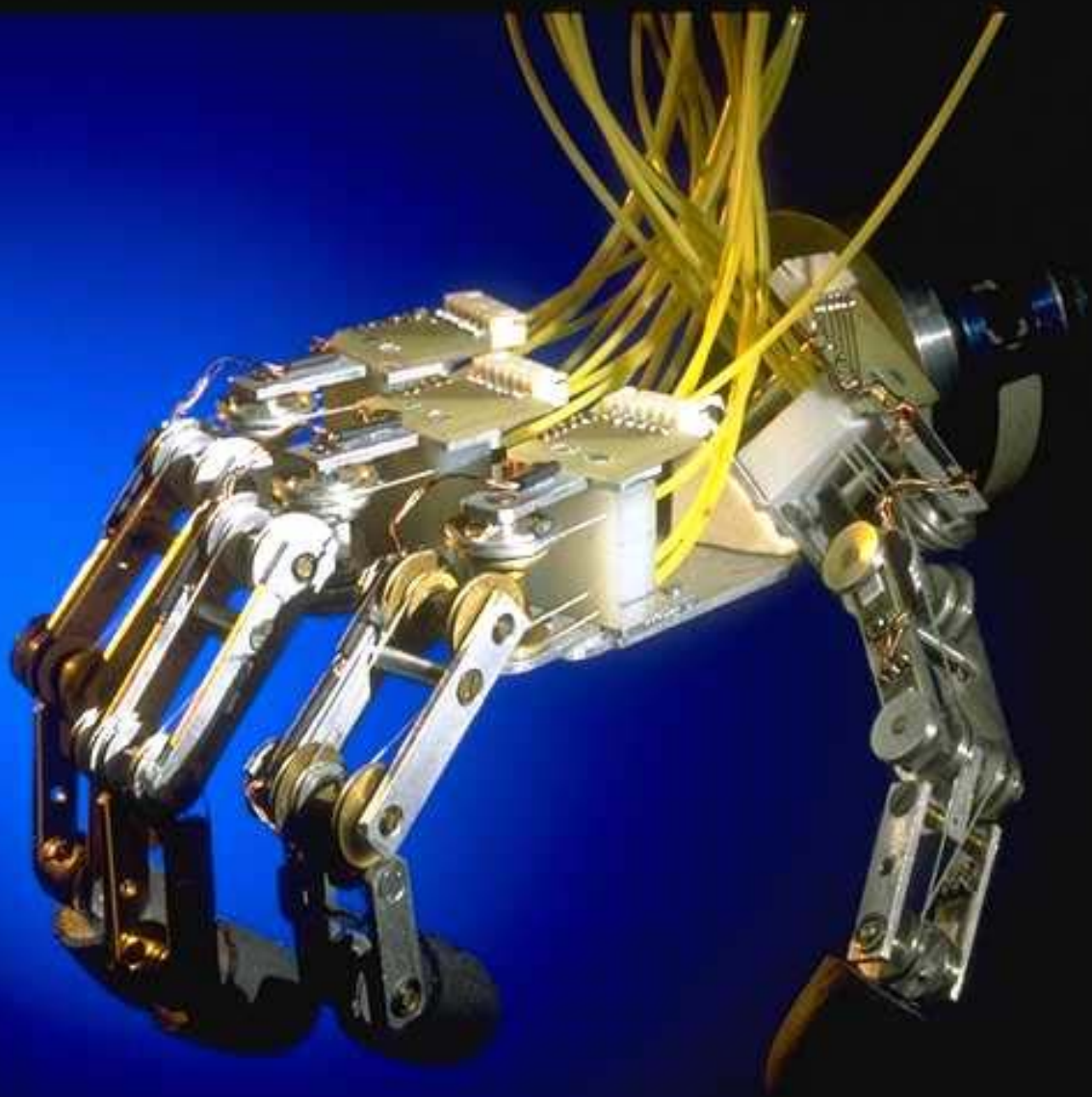
imaju samo rotacijske SSG

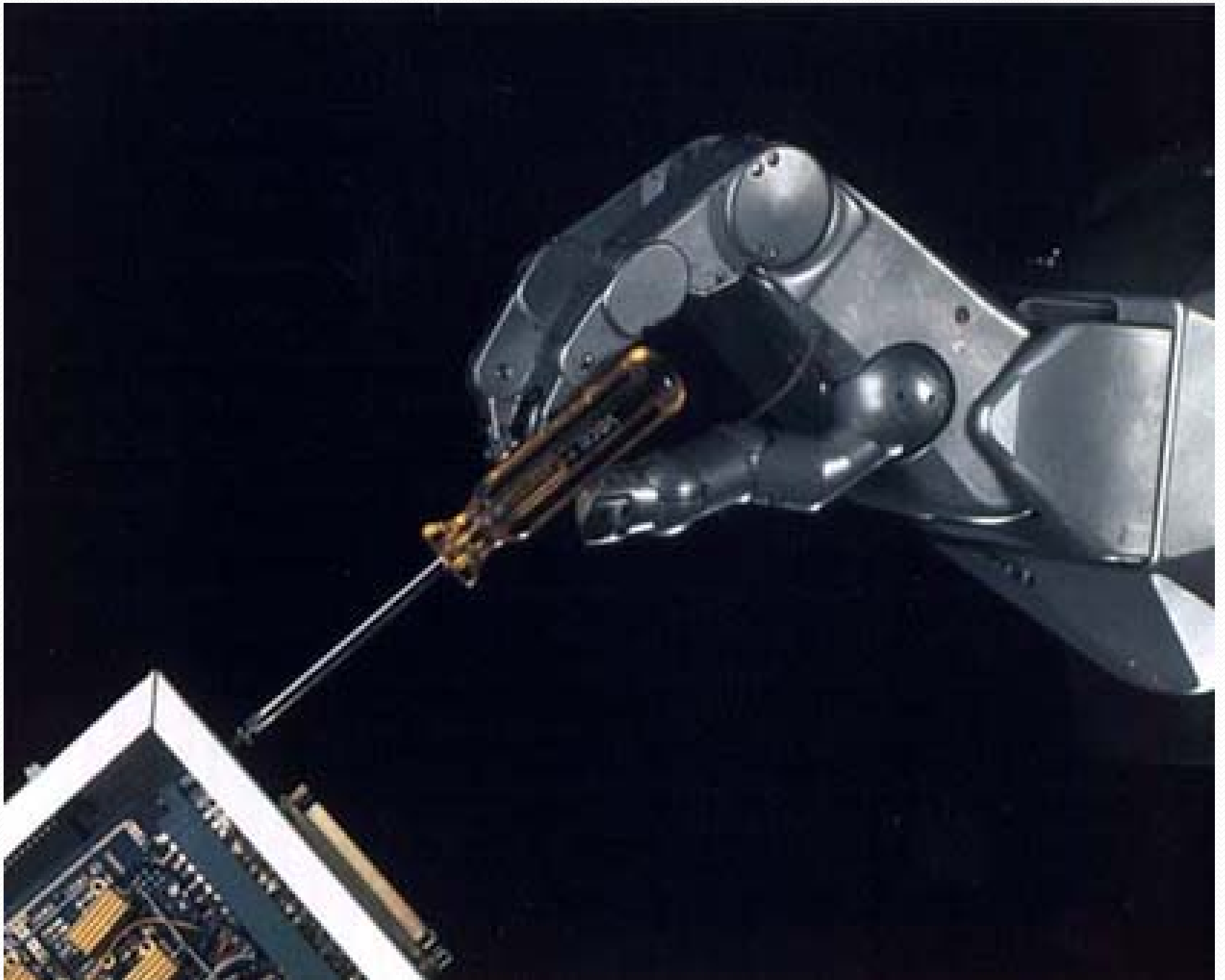


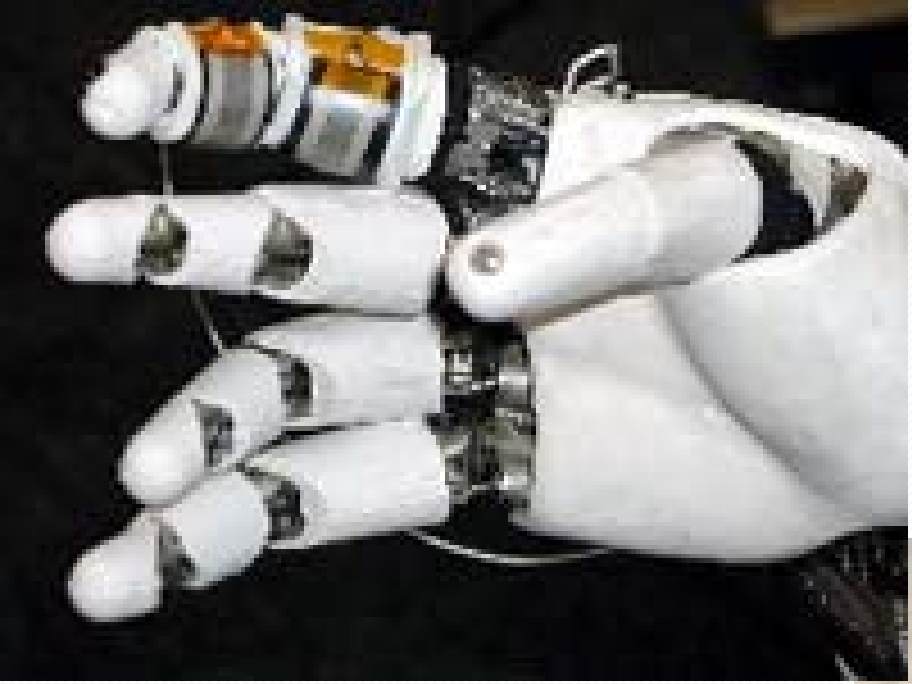










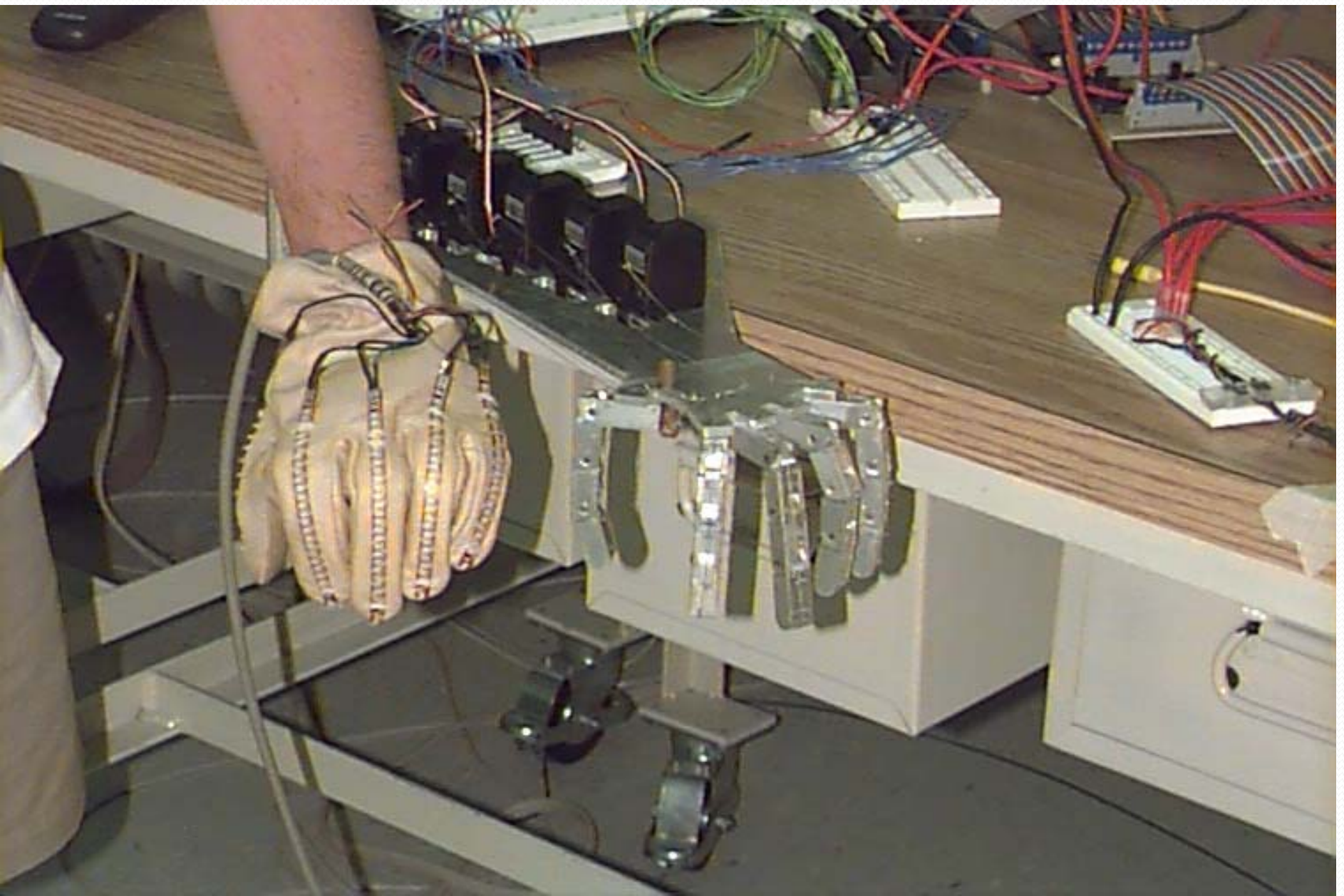




Robotic hand (Photographed at JPL)

Courtesy of Dr. Graham Whiteley, Sheffield Hallam U., UK.





Ograničenja mehaničkog sustava

$$q < q_{\max}$$

$$\dot{q} < \dot{q}_{\max}$$

$$T < T_{\max}$$

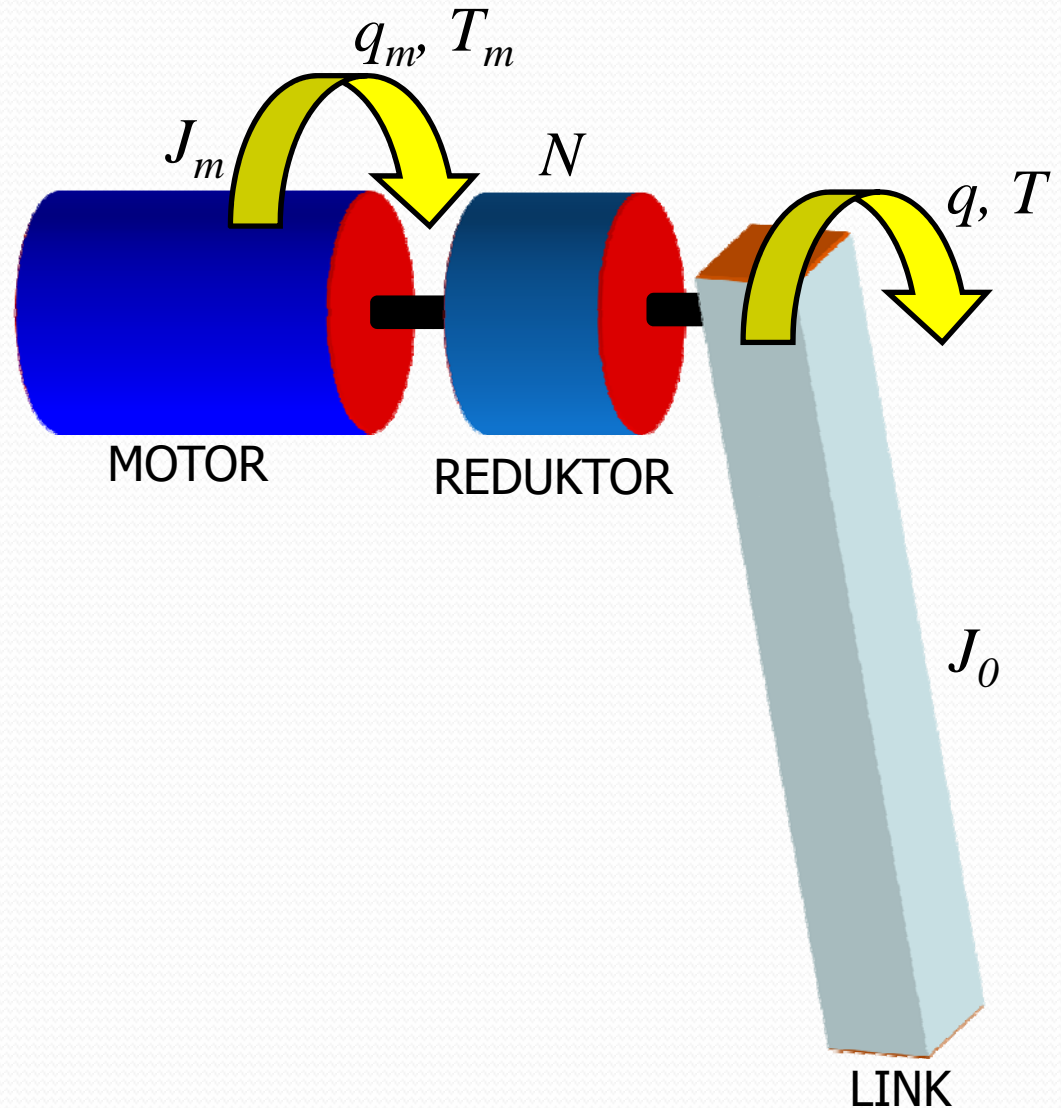
Kinematika upravljane koordinate

$$q = q_m / N$$

$$\dot{q} = \dot{q}_m / N$$

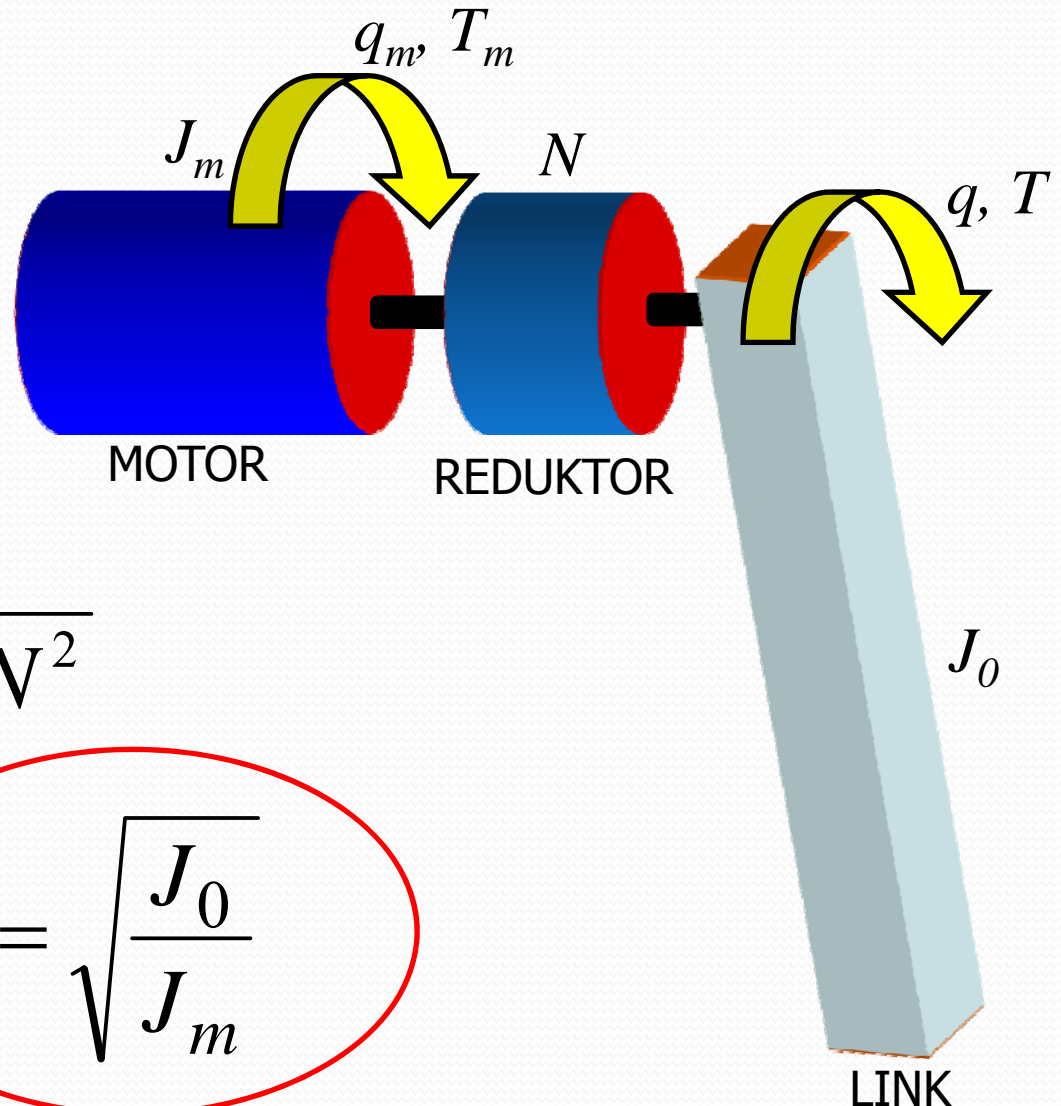
$$\ddot{q} = \ddot{q}_m / N$$

$$T = T_m N$$



Dinamika upravljane koordinate

$$\ddot{q} = \ddot{q}_{\max}$$



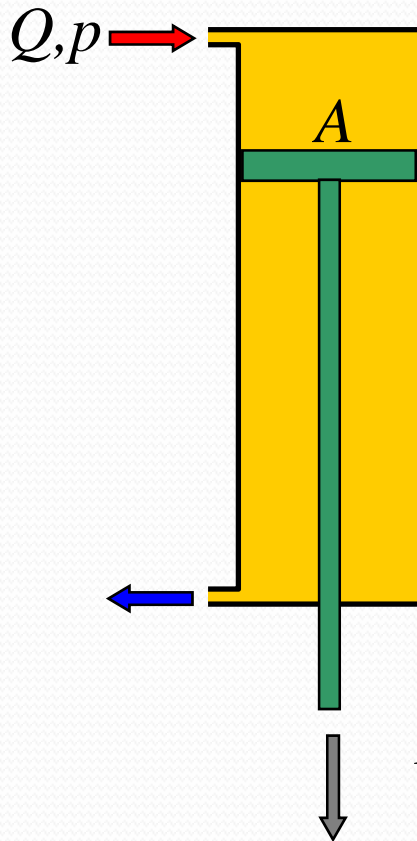
$$\ddot{q} = \frac{T}{J} = \frac{T_m N}{J_0 + J_m N^2}$$

$$\frac{\partial \ddot{q}}{\partial N} = 0 \Rightarrow N = \sqrt{\frac{J_0}{J_m}}$$

ENERGETSKI SUSTAV ROBOTA

Hidraulički pogon

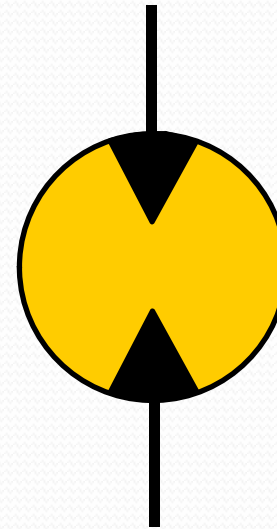
Cilindar



$$v = \frac{Q}{A}$$

$$F = pA$$

Motor

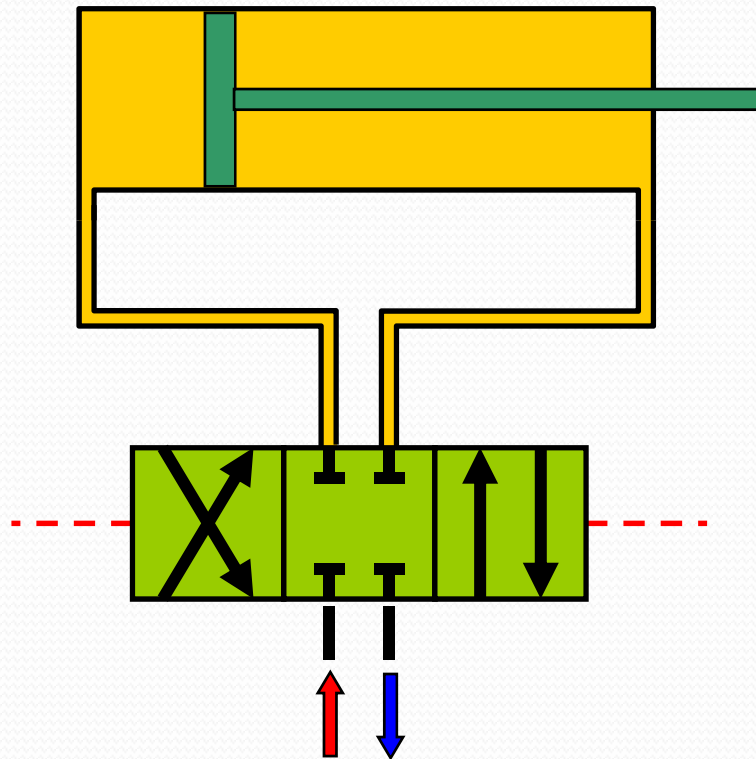


$$\omega = \frac{Q}{q_r}$$

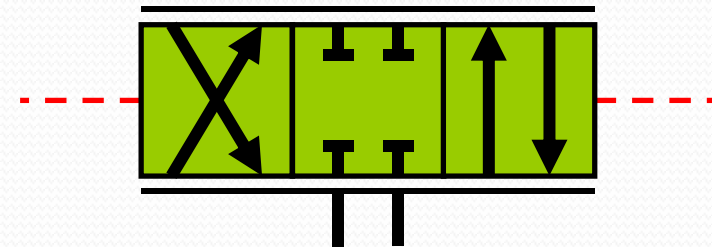
$$T = pq_r$$

Upravljanje hidrauličkim pogonom

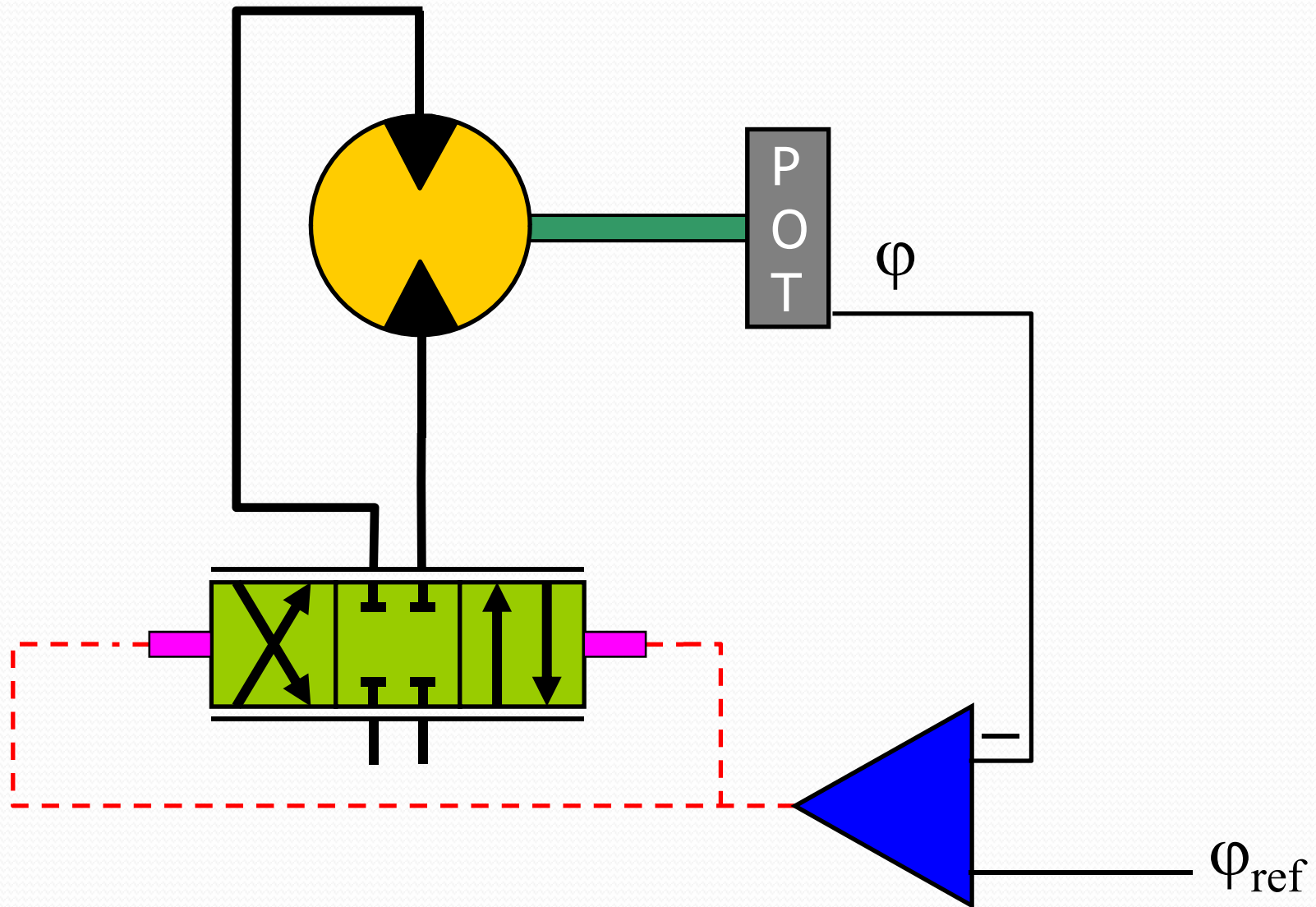
razvodnik 3/4



◆ servo-razvodnik



Povratna veza i elektro-hidraulički servo-razvodnik



Usporedba s električnim pogonom

	hidromotor	elektromotor
Težina	1	1+
Veličina	1	1+
Inercija	1	1+

Prednosti hidraulike

fluid je male stišljivosti

fluid je velike toplinske vodljivosti

fluid ne podliježe zasićenju

uređaji su trajni i pouzdani

Nedostaci hidraulike

uređaji su skupi (zbog visoke kvalitete izrade)

problem održavanja čistoće i viskoznosti fluida

potreba za povratnim vodovima za fluid

Pneumatski pogon

simboli slični onima u hidraulici

problem stišljivosti zraka

potreba za regulacijom protoka i tlaka zraka

kod robota se uglavnom ne koristi

Električni pogon

Istosmjerni motori

Sinkroni motori

Asinkroni motori

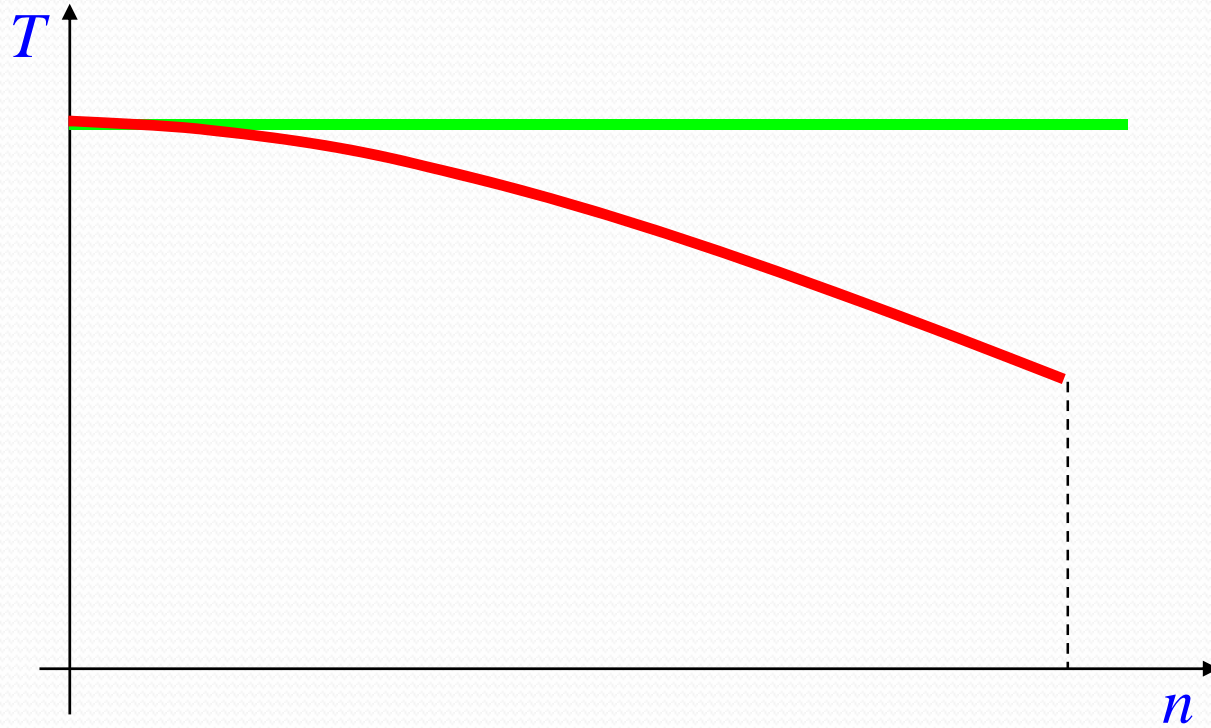
Koračni motori

Linearni motori

Piezoelektrični motori

Transformacija struje u moment (silu).

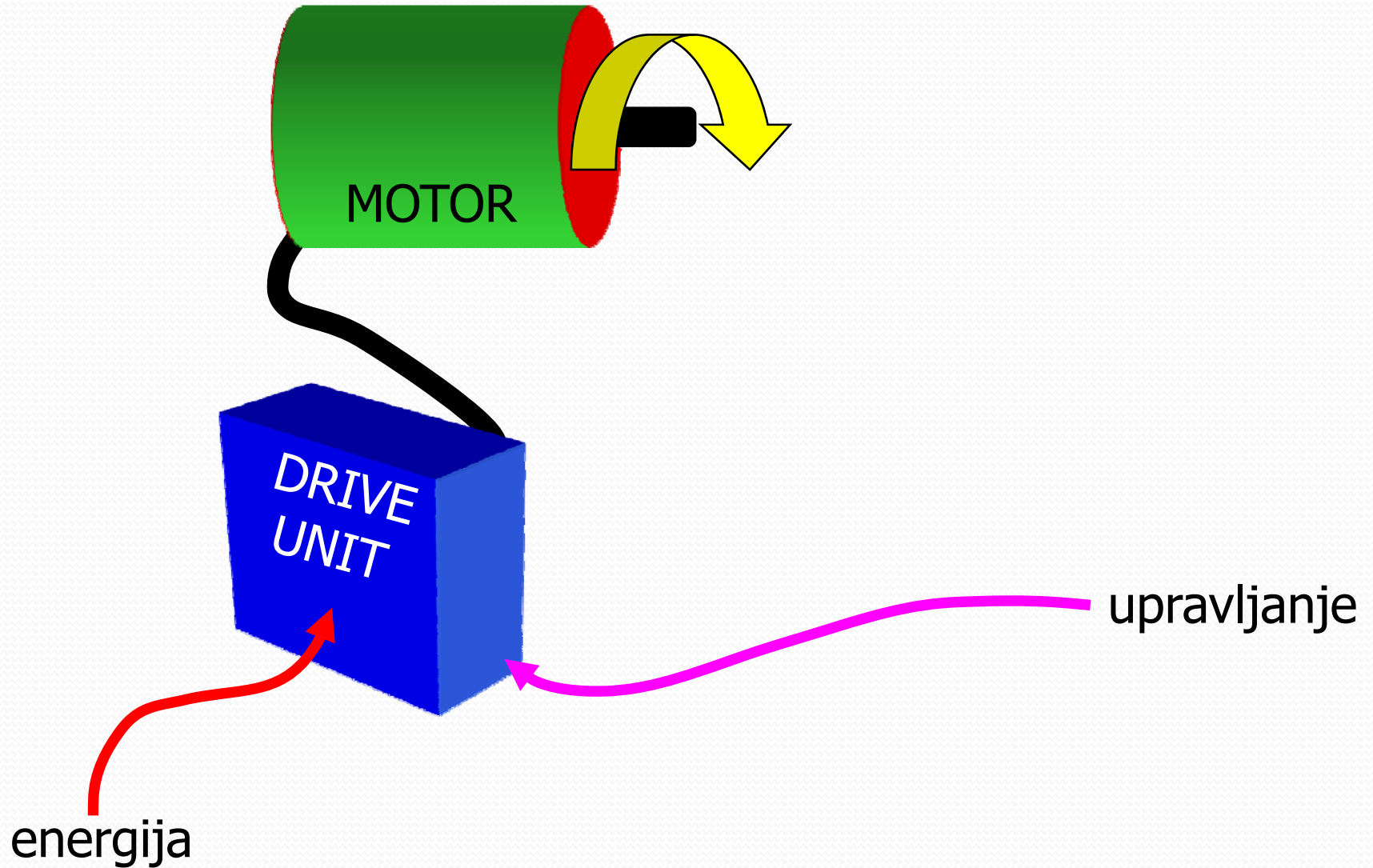
Opća momentna karakteristika



Karakteristike motora na ABB robotima

		mali	srednji	veliki
T_n	Nm	1.7	5	12
T_{max}	Nm	4.5	13.5	26
I_n	A	3.8	9.5	23.3
K_m	Nm/A	0.45	0.48	0.88
R	Ω	3.8	0.7	0.12
J_m	kgm ²	1.3×10^{-4}	4.7×10^{-4}	3.52×10^{-3}
P	kW	0.7	1.9	5.8
U_{max}	V	27	29	29
M	kg	4.4	8.2	20.8

Upravljačka jedinica motora



Prednosti koračnih motora

nije potrebna povratna veza pa je niža cijena

jednostavno upravljanje

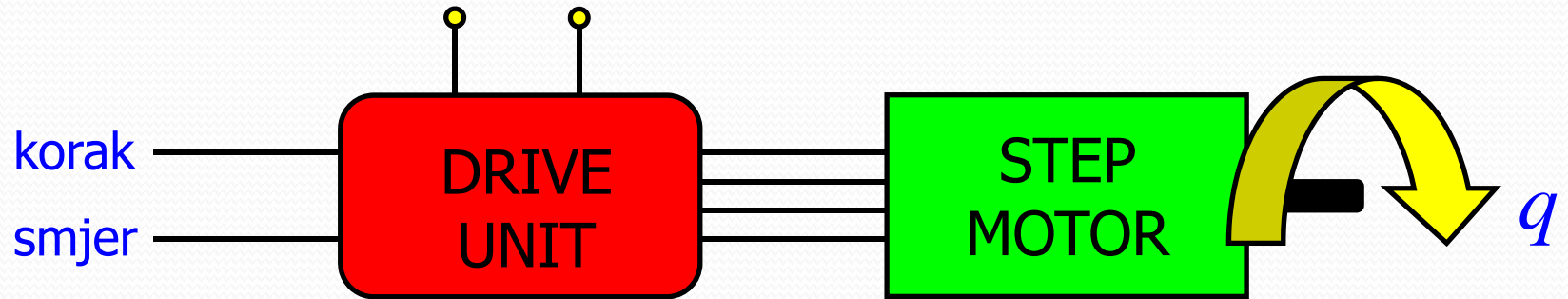
moguće poboljšavati momentnu karakteristiku

Nedostaci koračnih motora

moguć gubitak koraka

omjer snaga/veličina je manji nego kod DC motora

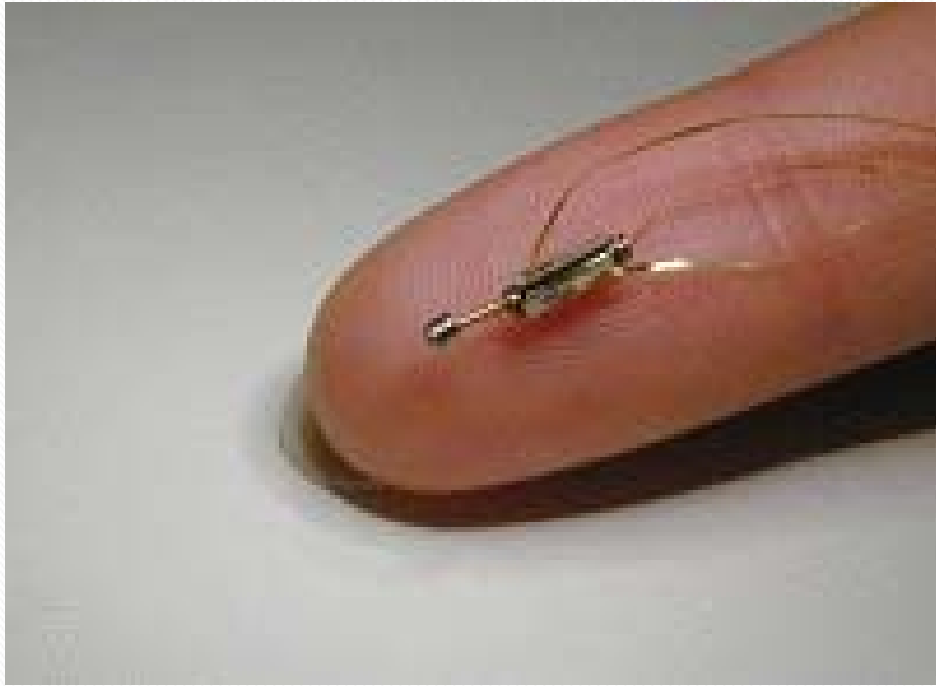
Step Motor Drive Unit



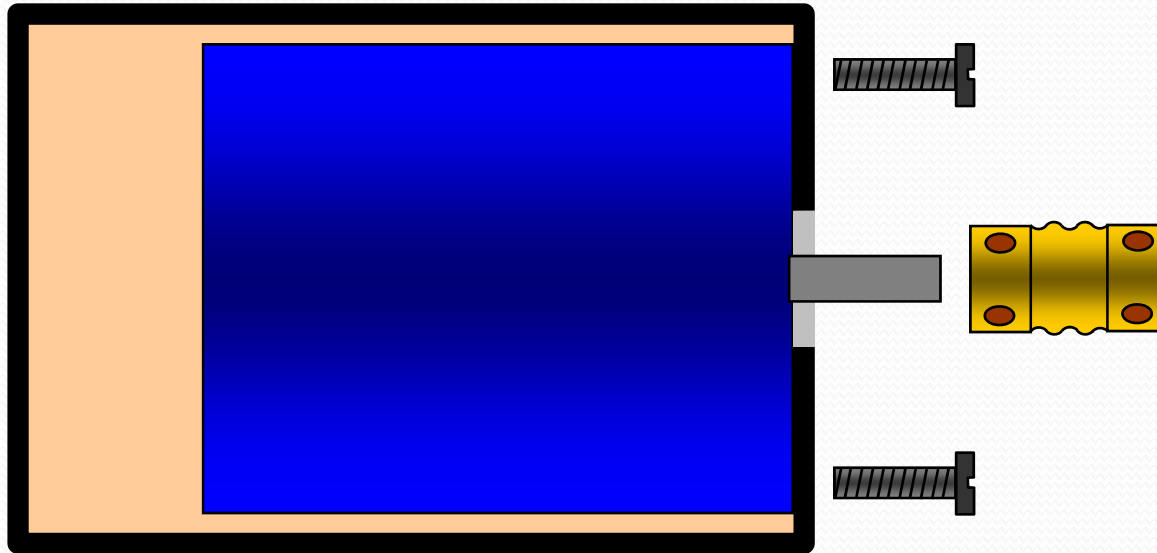
Karakteristike koračnog motora BERGER LAHR

		RDM 5913/50
korak	°	0.72/0.36
faza	-	5
T_{hold}	Nm	4
T_{max}	Nm	3.1
I_n	A/fazi	2.8
R	Ω	1
J_m	kgm ²	1.8×10^{-4}
P	W	160 (do 8kHz)
$\Phi \times L$	mm	84x130
M	kg	

Piezoelektrični motori



Montaža motora



MJERNI SUSTAV ROBOTA

Senzori unutarnjih stanja

Mjerenje položaja

- mikroprekidač
- potenciometar
- apsolutni enkoder
- inkrementalni enkoder
- rezolver

Mjerenje brzine

- tahometar
- inkrementalni enkoder

Mjerenje sile/ubrzanja

- tenzometarske trake
- integrirani senzor

Senzori vanjskih stanja

Matrični senzor opipa

Ultrazvučni senzor

Infracrveni senzor

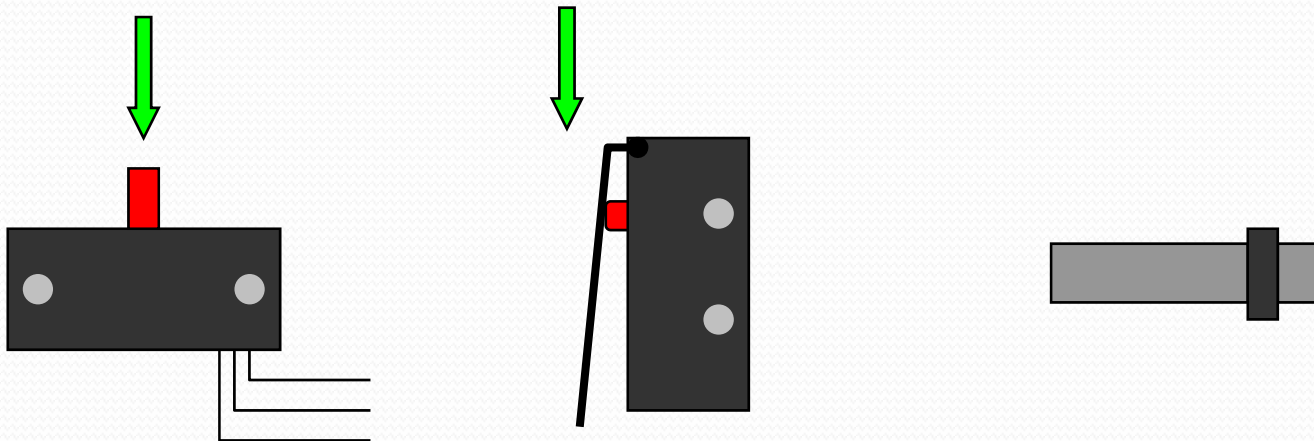
Vizualni senzori

Mikroprekidač

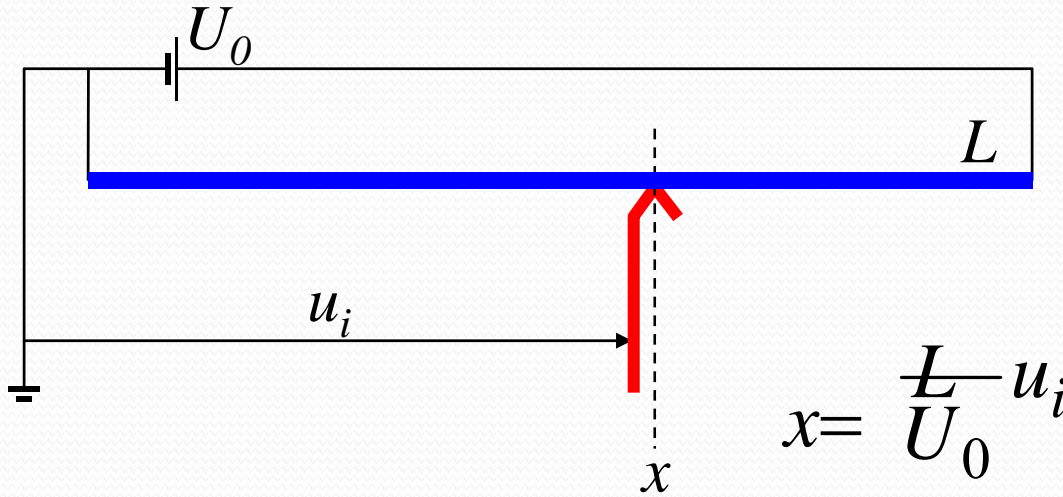
detektira dolazak u određeni položaj

digitalni oblik informacije

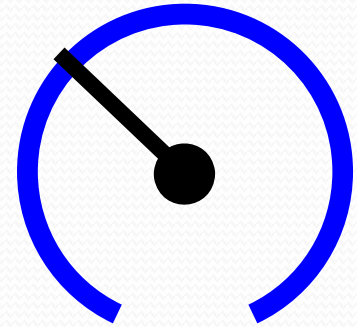
principi: mehanički, induktivni, kapacitivni, optički, ...



Potenciometar



$$x = \frac{L}{U_0} u_i$$



$$\varphi = \frac{300^\circ}{U_0} u_i$$

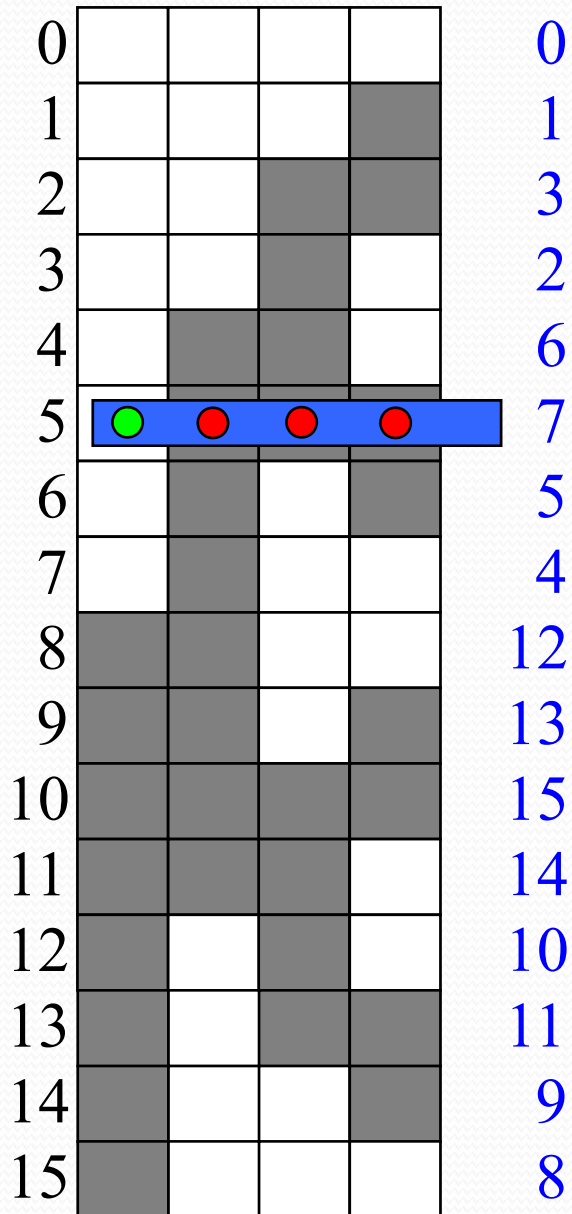
prednosti

- niska cijena
- mjeri apsolutni iznos

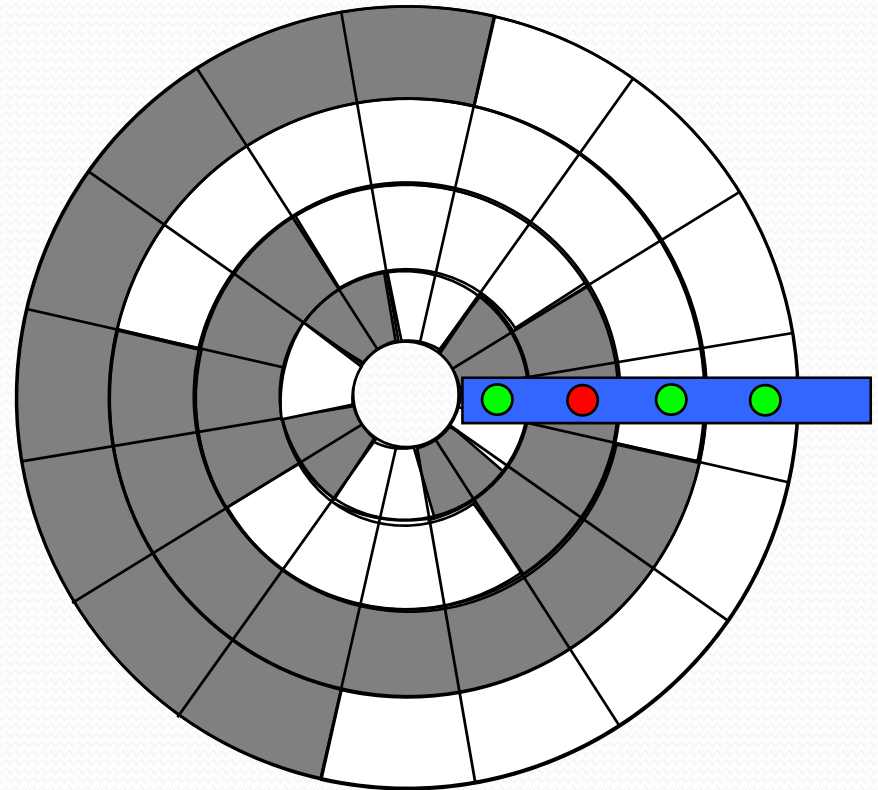
nedostaci

- trošenje
- smetnje
- potreban AD pretvornik

Apsolutni enkoder

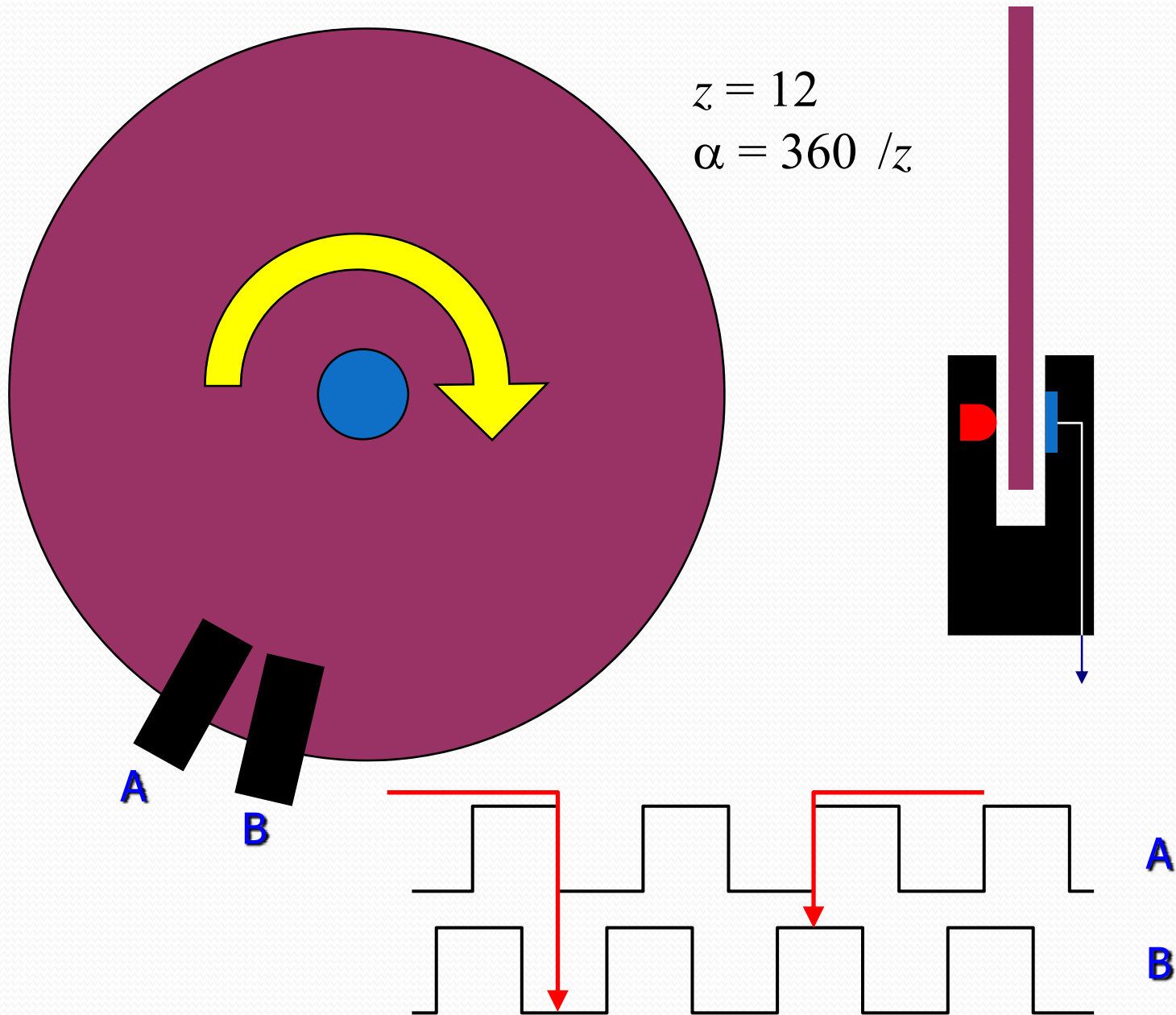


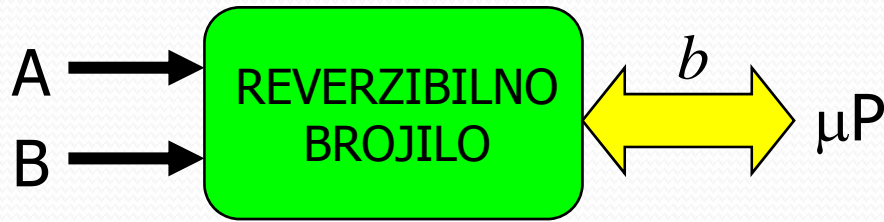
0
1
3
2
6
7
5
4
12
13
15
14
10
11
9
8



◆ Grayev kod

Inkrementalni enkoder



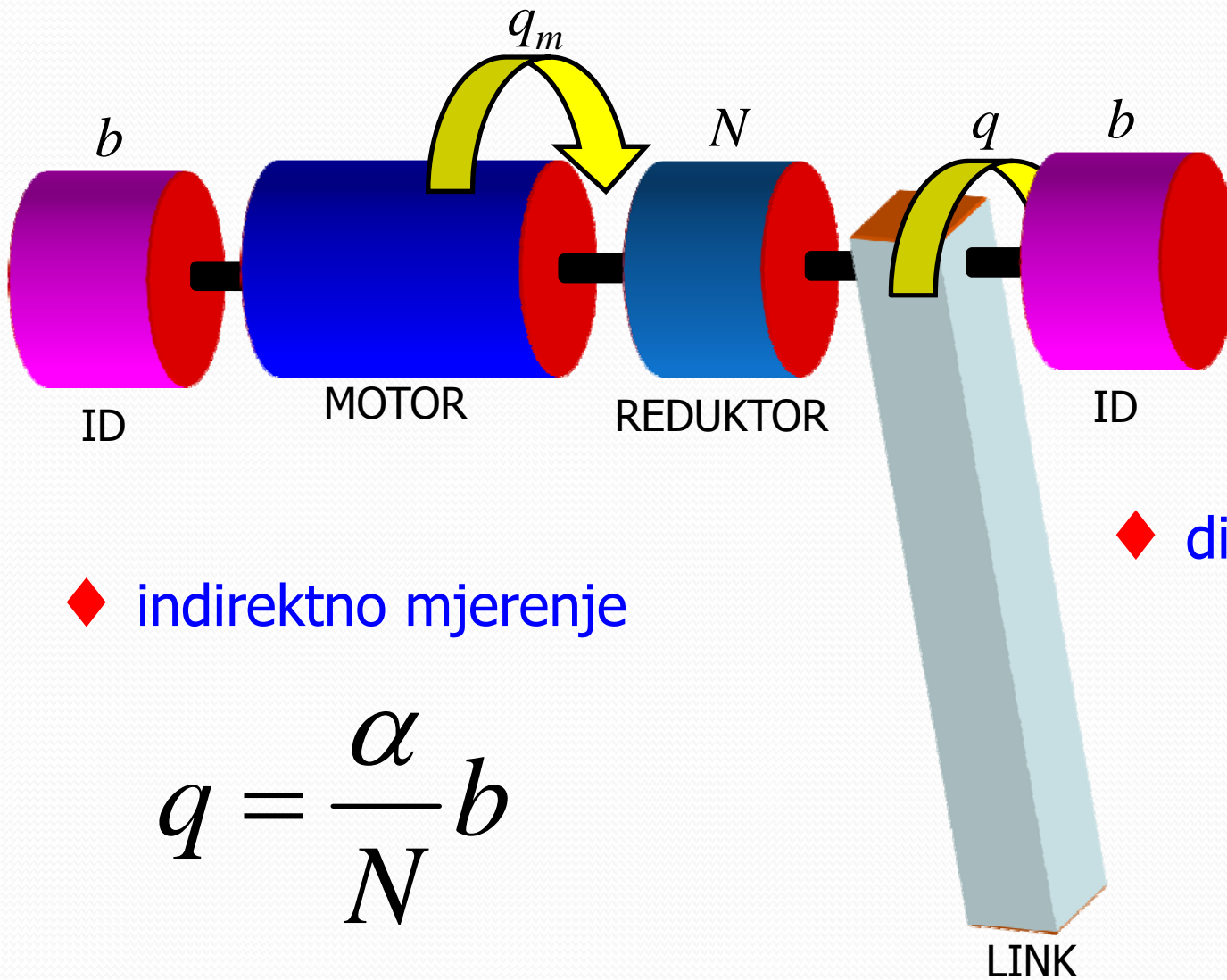


prednosti

- visoka točnost i pouzdanost
- mali moment inercije
- moguć prijenos signala na veće udaljenosti

nedostaci

- mjeri relativni iznos koordinate
- osjetljiv na vlagu i vibracije



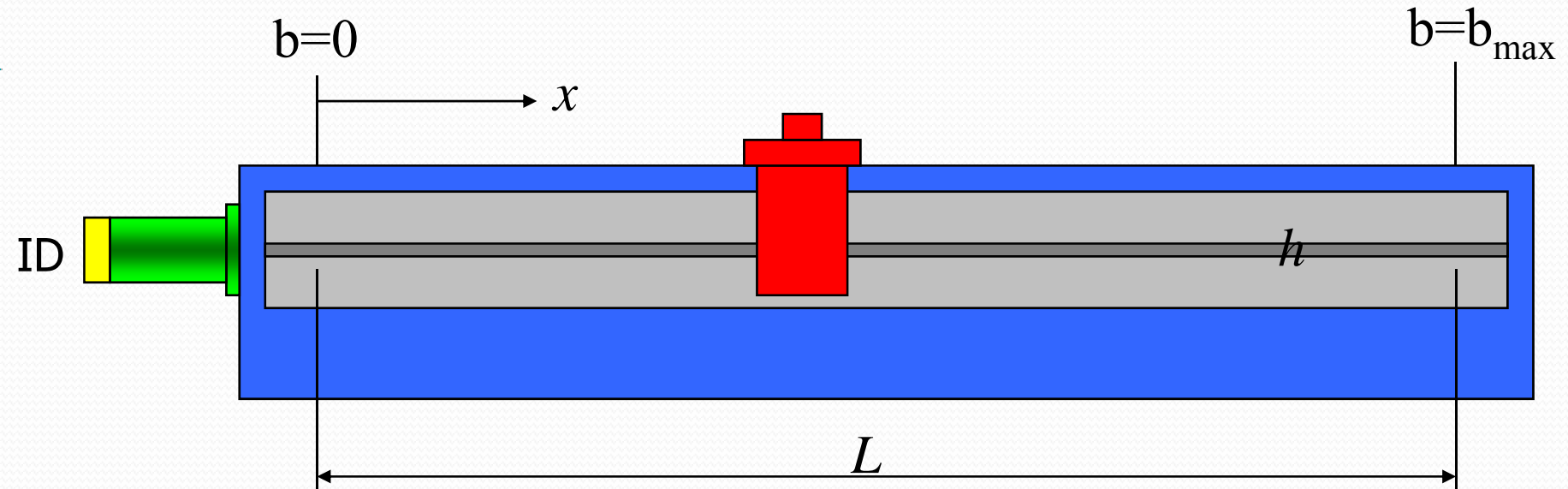
◆ indirektno mjerenje

$$q = \frac{\alpha}{N} b$$

◆ direktno mjerenje

$$q = \alpha b$$

Mjerenje položaja suporta alatnog stroja



pomak klizača za jedan impuls ID-a: $\Delta x = h\alpha / 360^\circ$

položaj klizača: $x = b \Delta x$

opseg brojenja brojila: $b_{\max} = (L \cdot 360^\circ) / (h\alpha)$

Primjer: $\alpha = 1^\circ$ ($z=360$)

$$h = 5 \text{ mm}$$

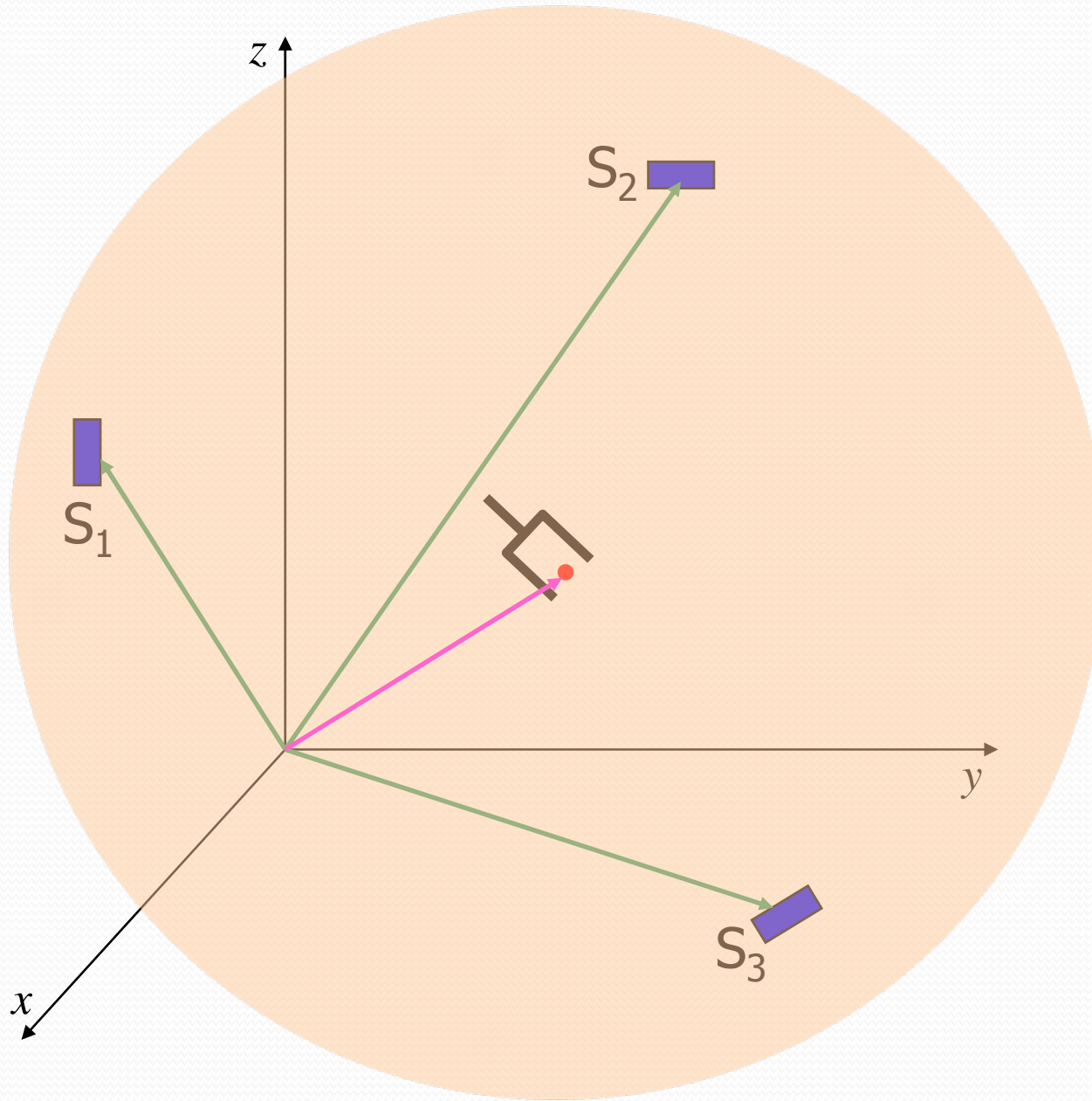
$$L = 1 \text{ m}$$

Rješenje: $\Delta x = 0.0138888888 \text{ mm}$

$$b_{\max} = 72\,000$$

$$n = 17 \text{ bitova}$$

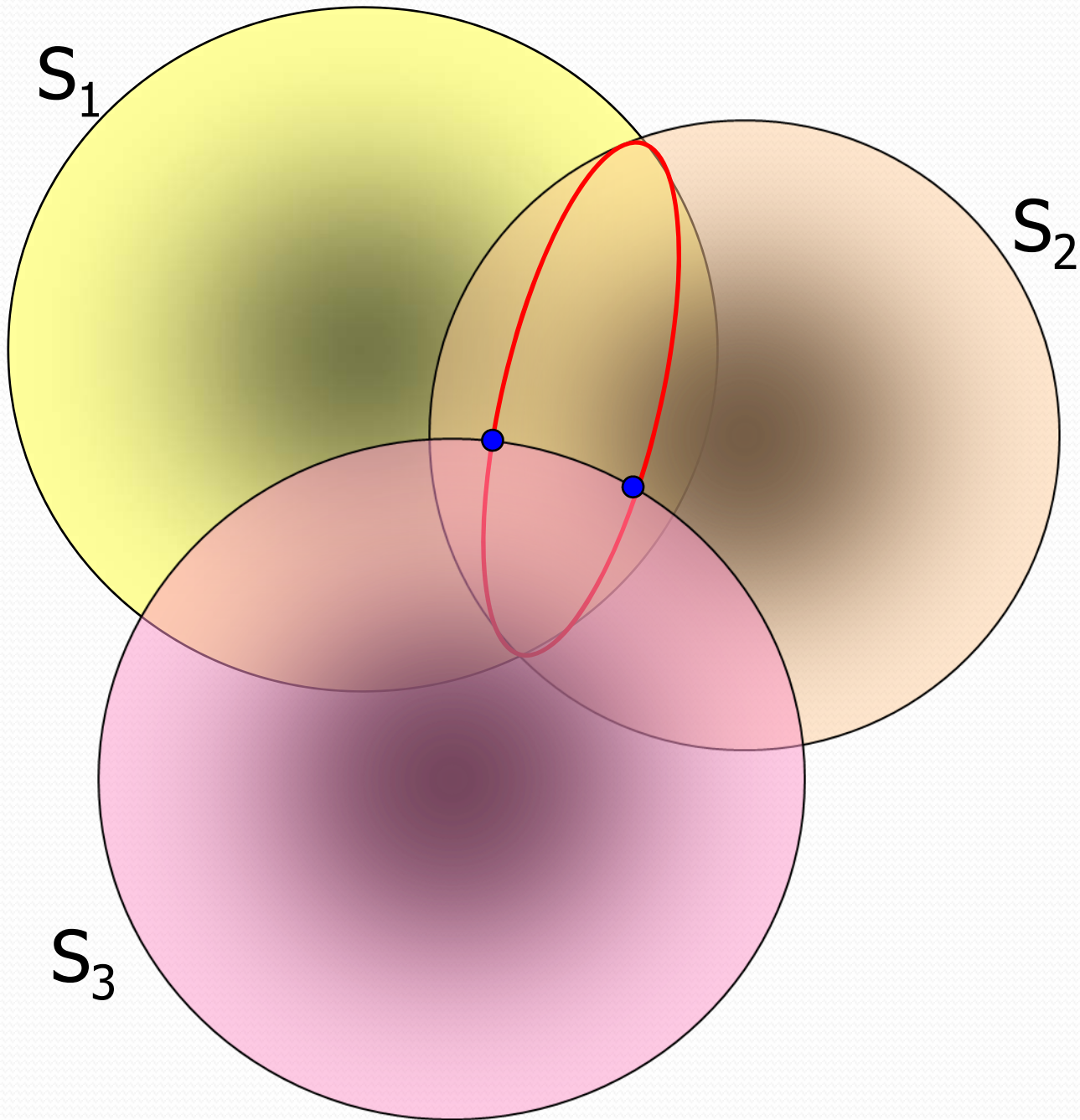
Bezkontaktno "direktno" mjerenje položaja



$$S_1 \rightarrow R_1$$

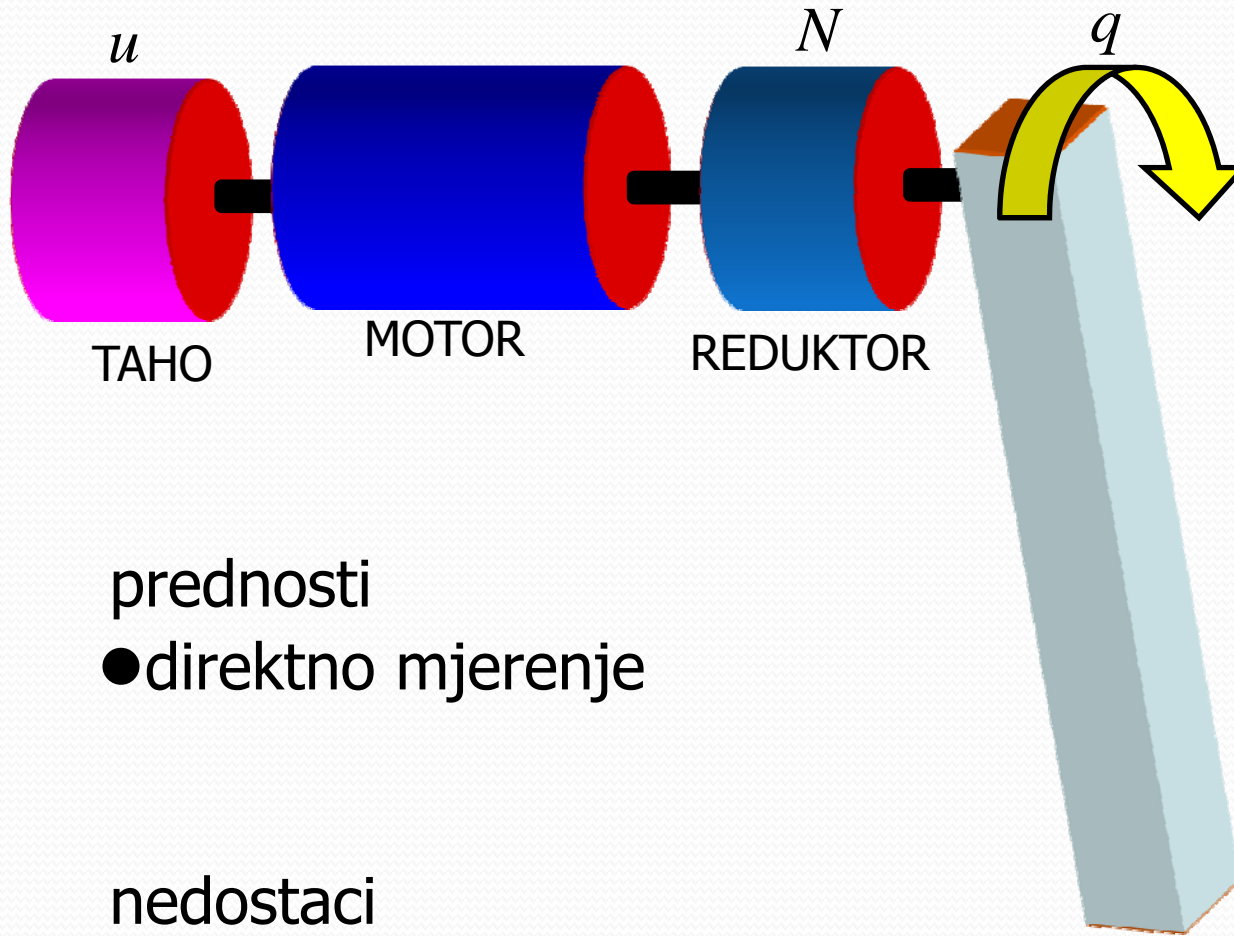
$$S_2 \rightarrow R_2$$

$$S_3 \rightarrow R_3$$



S_4

Tahometar



$$u = K\dot{q}$$

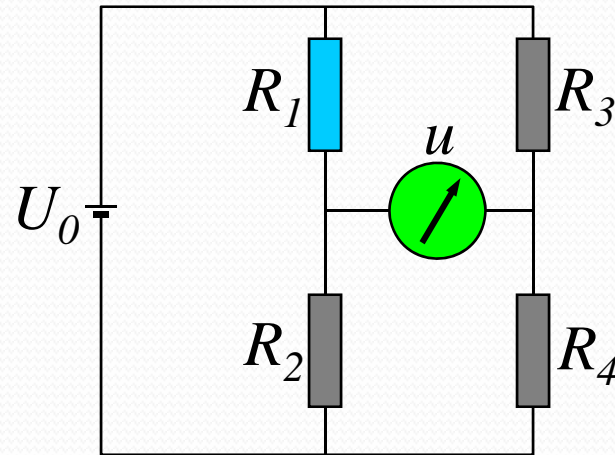
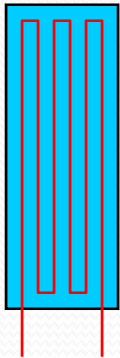
prednosti

- direktno mjerenje

nedostaci

- značajno dinamičko opterećenje
- nelinearna ovisnost kod malih brzina
- potreban AD pretvornik

Mjerenje sile/ubrzanja tenzometarskim trakama



$$R_1 R_4 = R_2 R_3$$

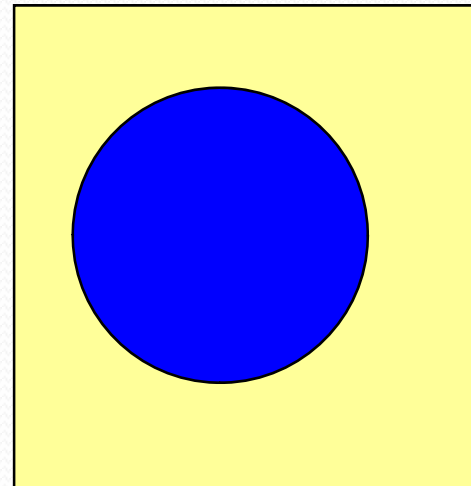
$$F = K_T u$$

višekomponentni senzor sile (za šaku)

Matrični senzor opipa

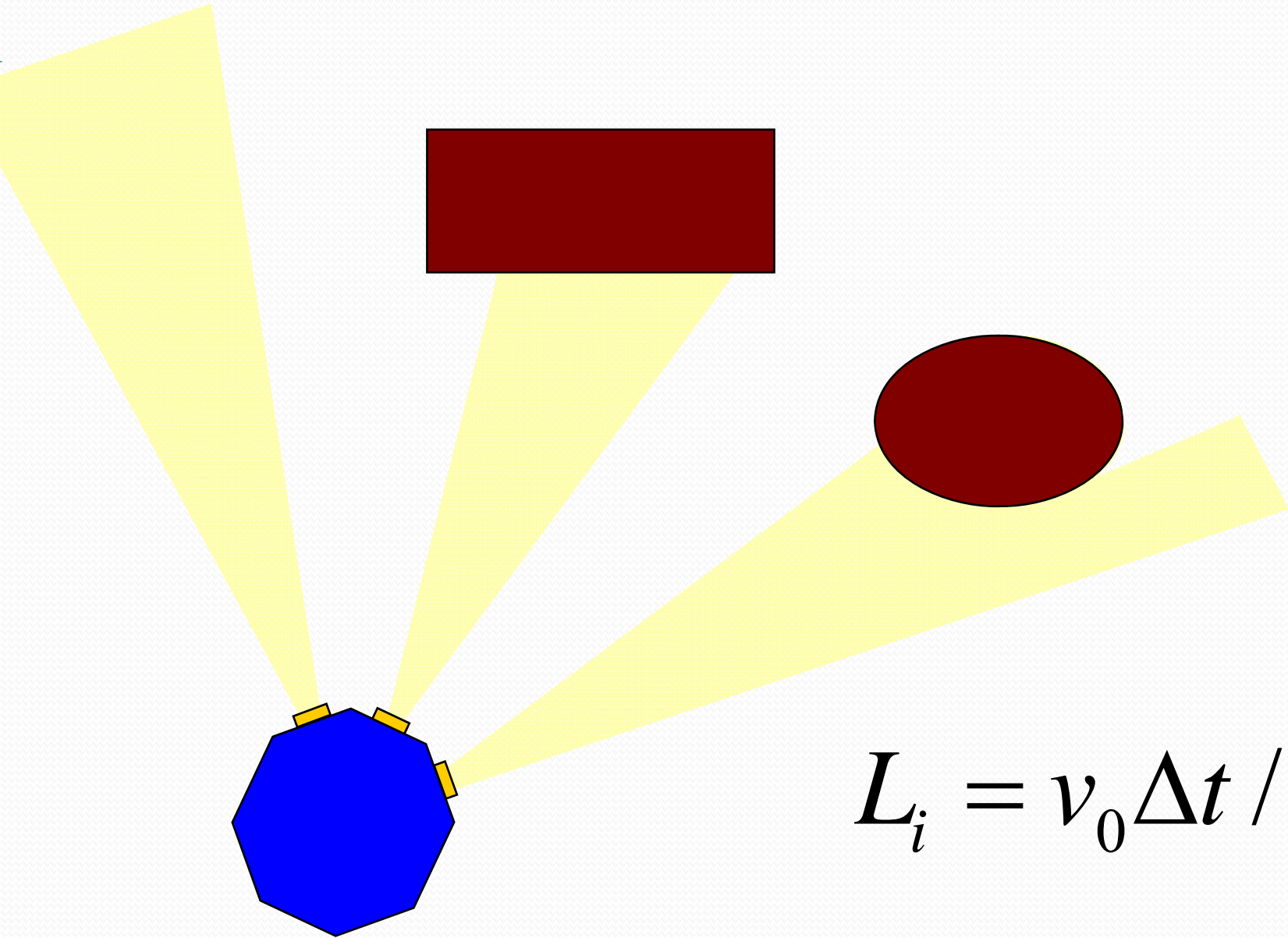


0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0
0	1	1	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0



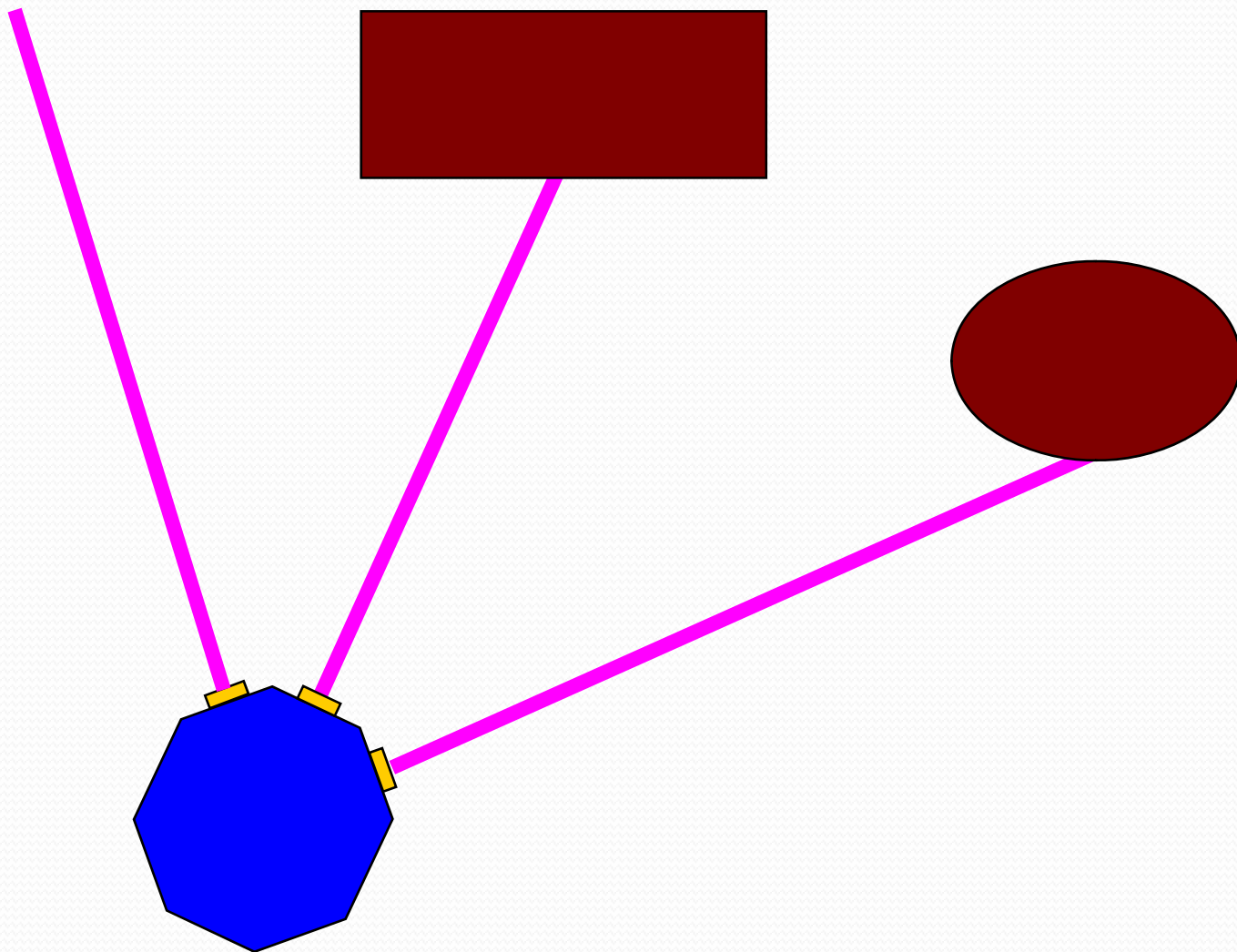
0
32
56
124
60
56
32
0

Ultrazvučni senzori



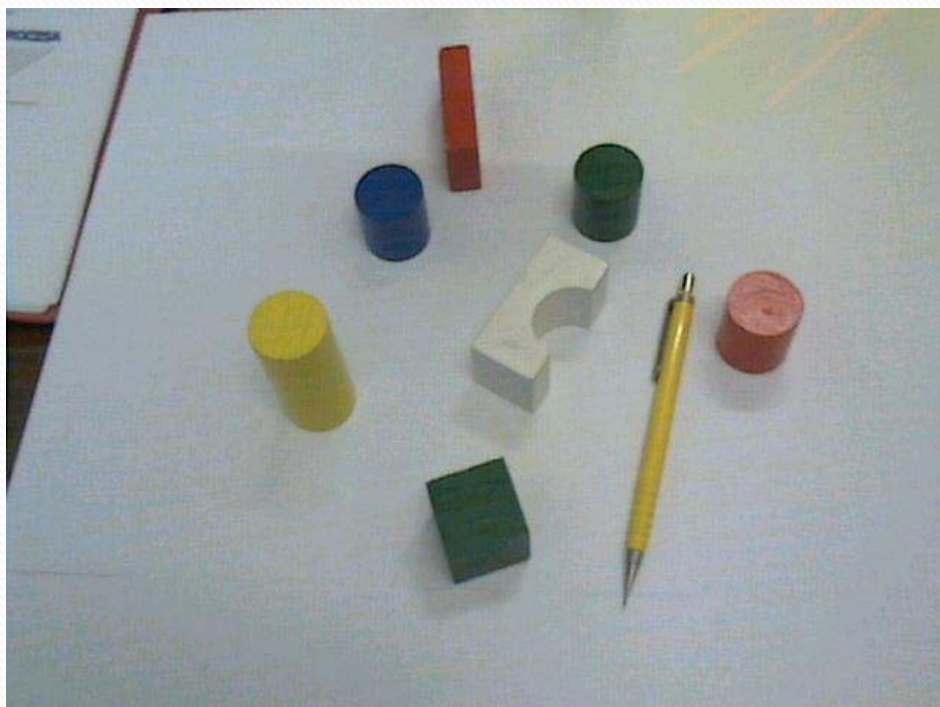
$$L_i = v_0 \Delta t / 2$$

Infracrveni senzori



Vizualni senzori

opći pogled

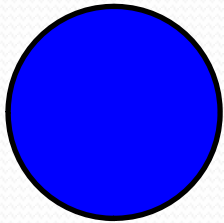


karakterističan pogled

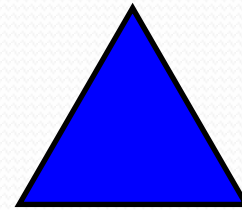


Parametar oblika

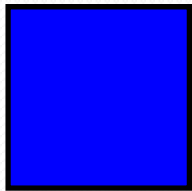
$$p = \frac{(\textit{opseg})^2}{\textit{površina}}$$



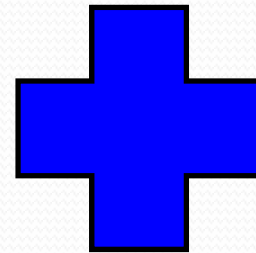
$$p = 4\pi = 12.56$$



$$p =$$



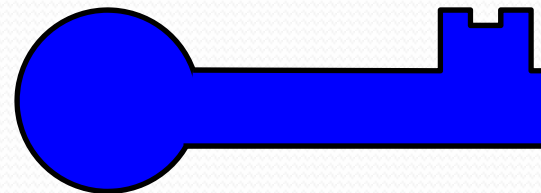
$$p = 16$$



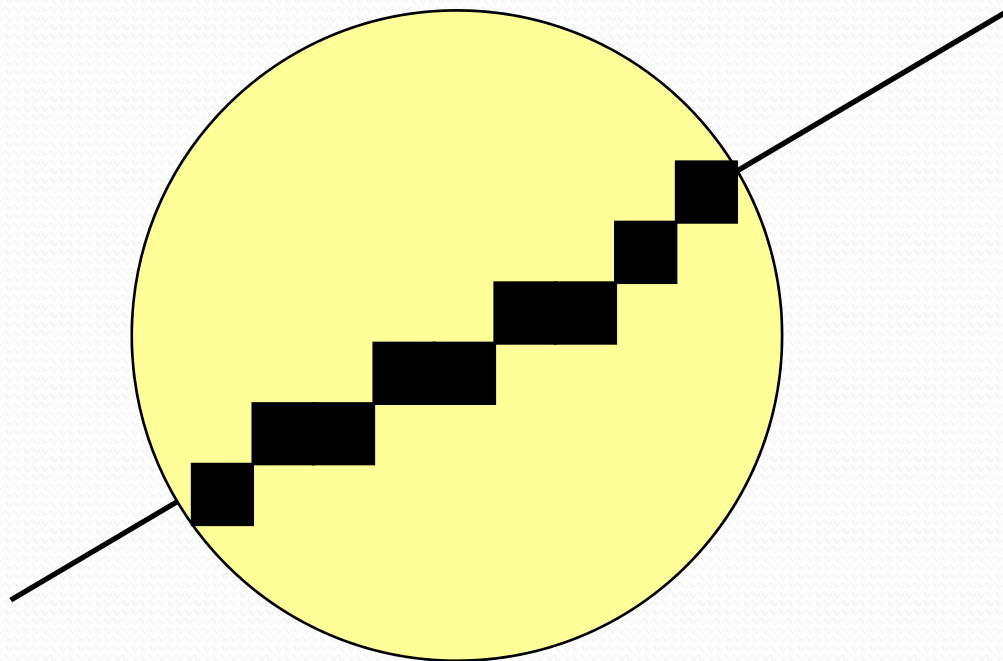
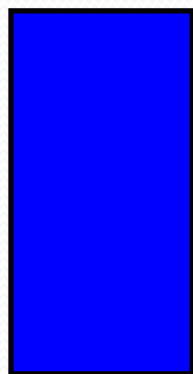
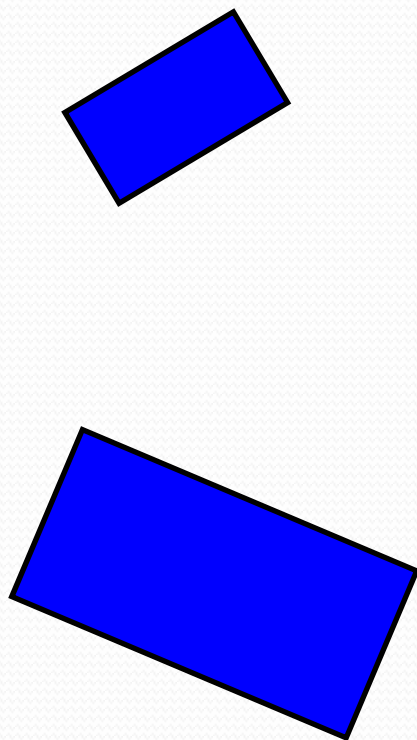
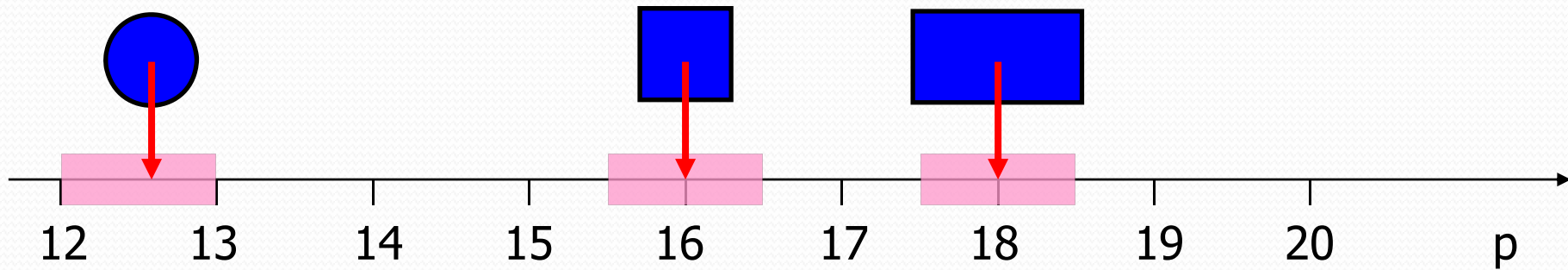
$$p =$$



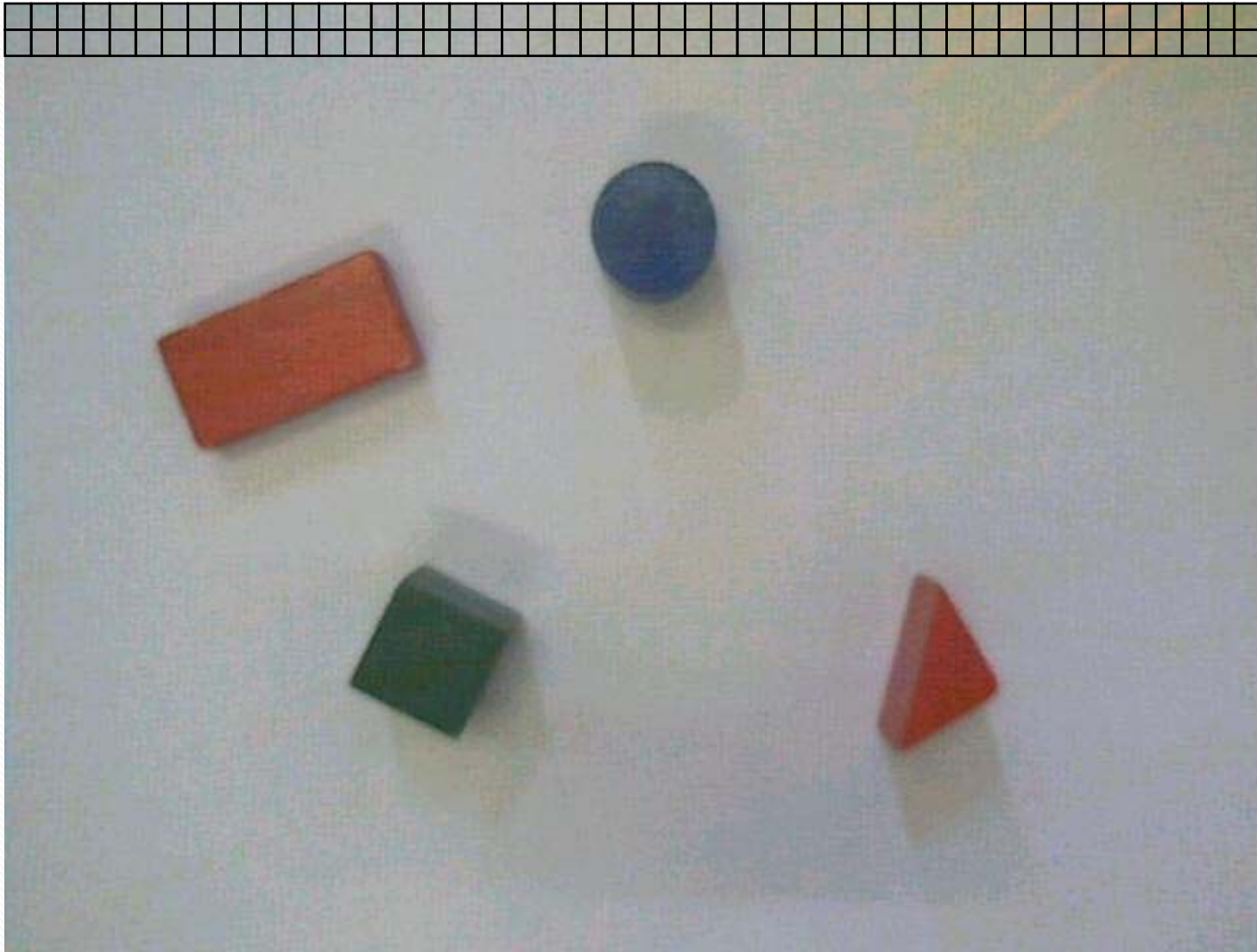
$$p = 18$$



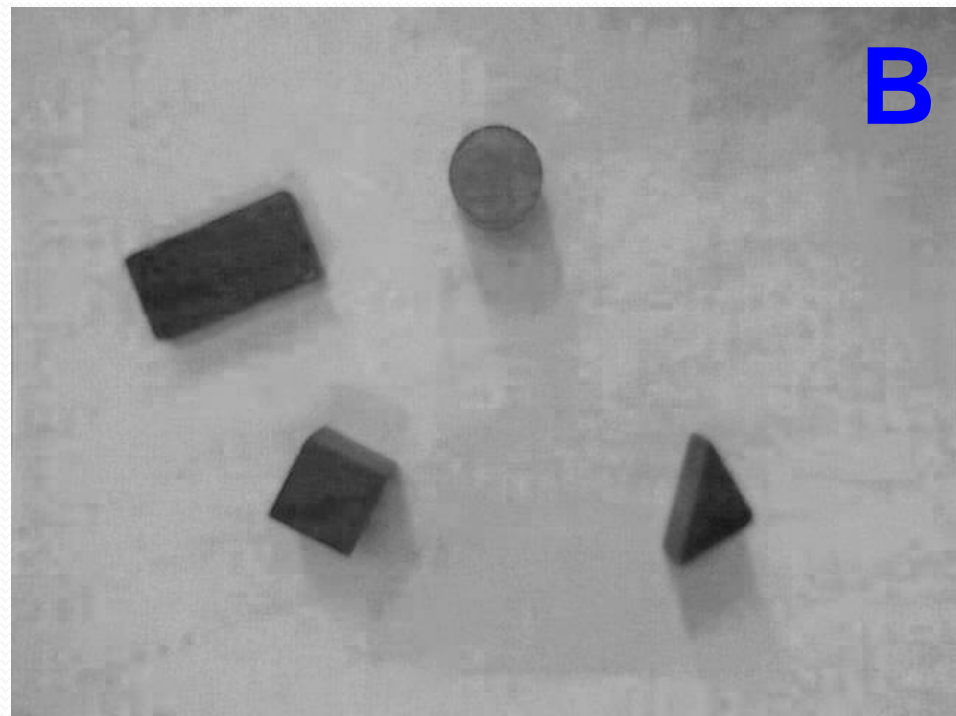
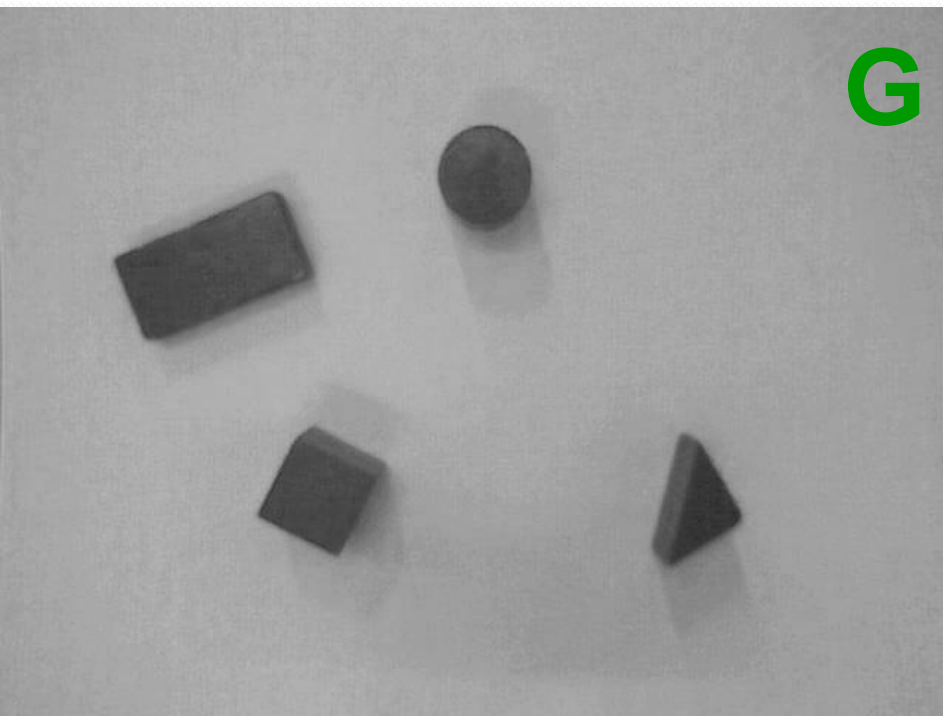
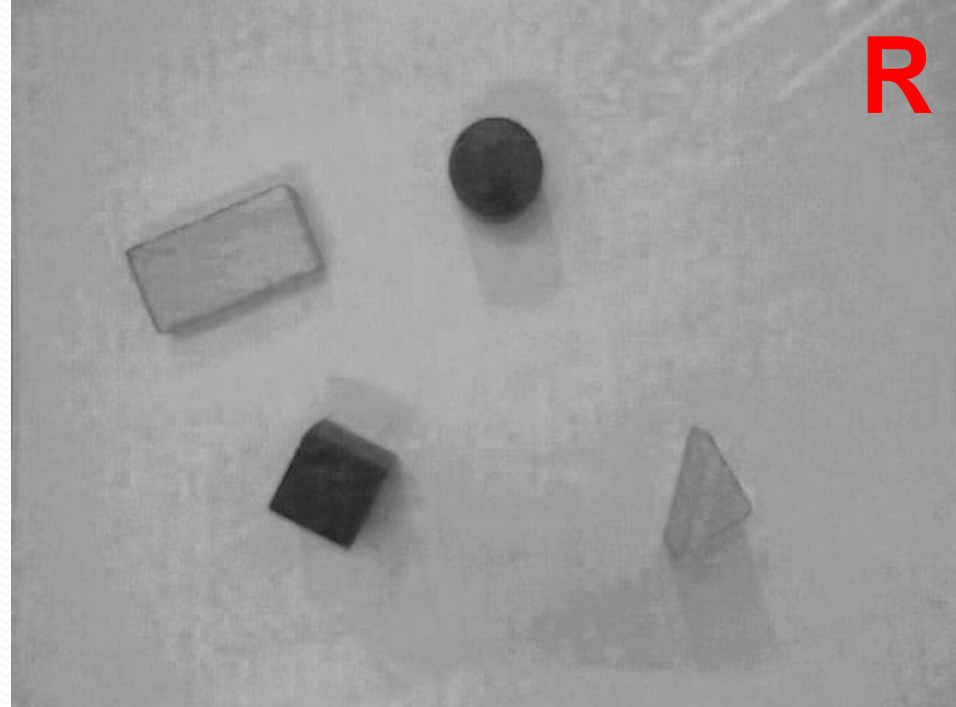
$$p =$$



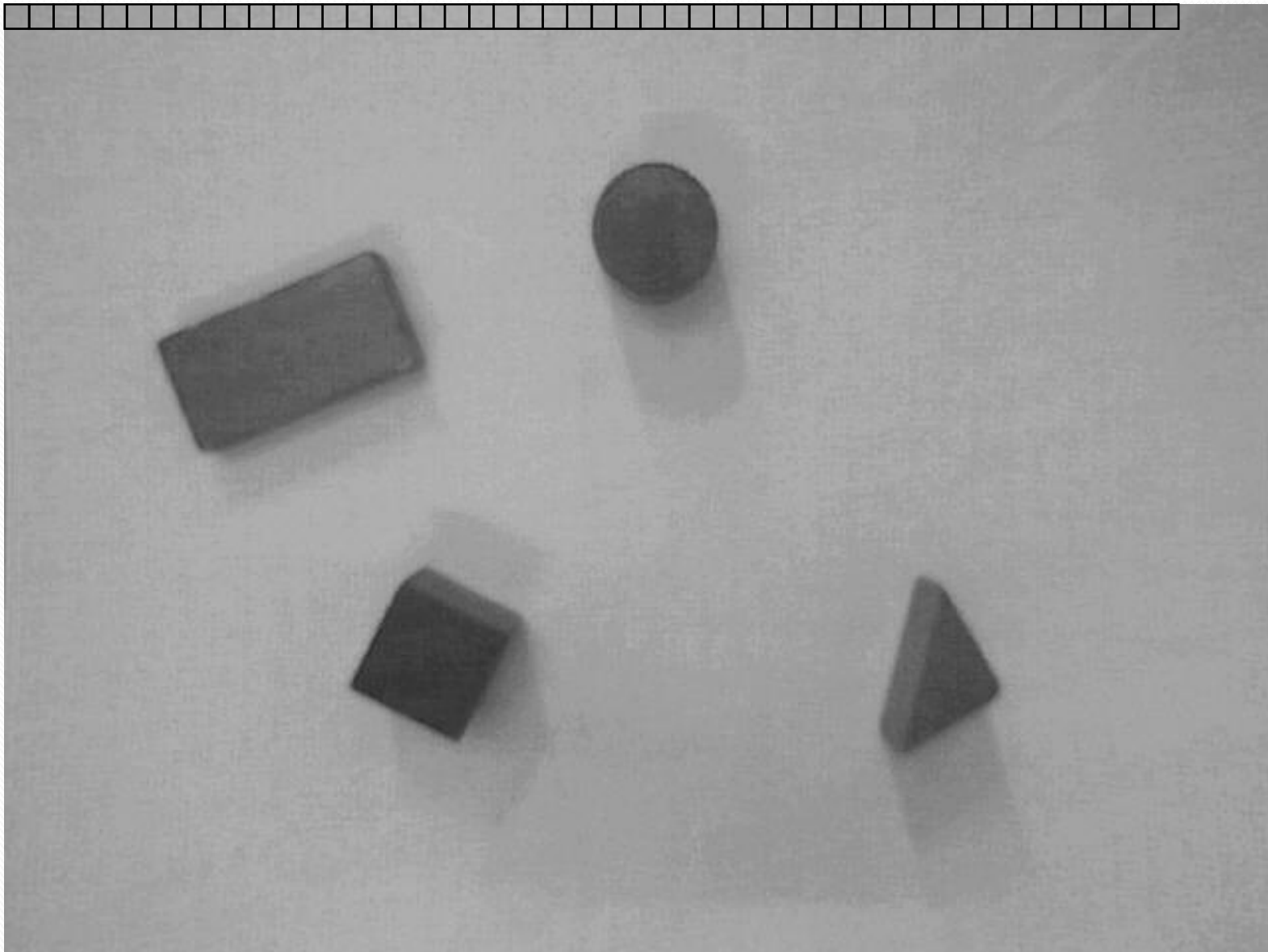
Slika kao RGB matrica



104	155	165
151	158	153
74	64	62
86	66	76
89	88	81
72	71	75
72	71	76
72	71	76
93	98	95
112	102	108
112	102	108
112	102	109
122	102	108
88	98	93
92	99	94
99	98	96
91	98	97
...
...
133	143	141
131	143	142



Slika kao BW matrica



155

158

64

66

88

71

71

71

98

102

102

102

102

98

99

98

98

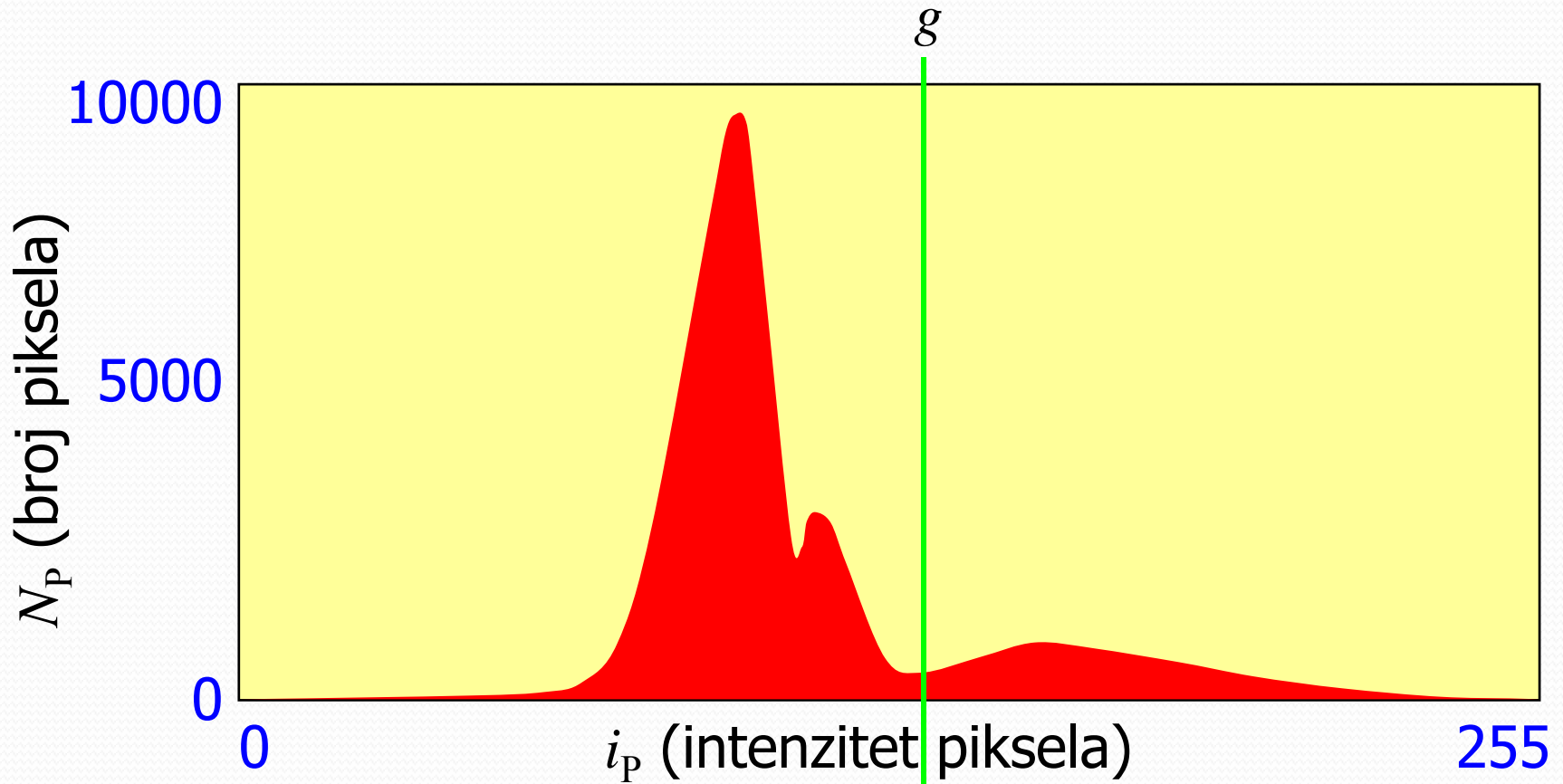
...

...

143

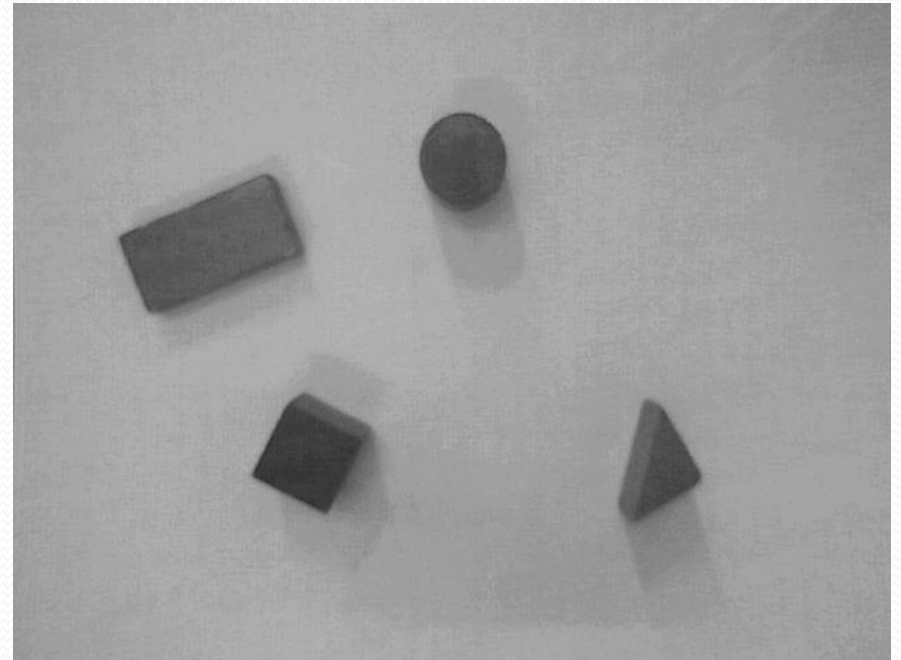
143

Histogram

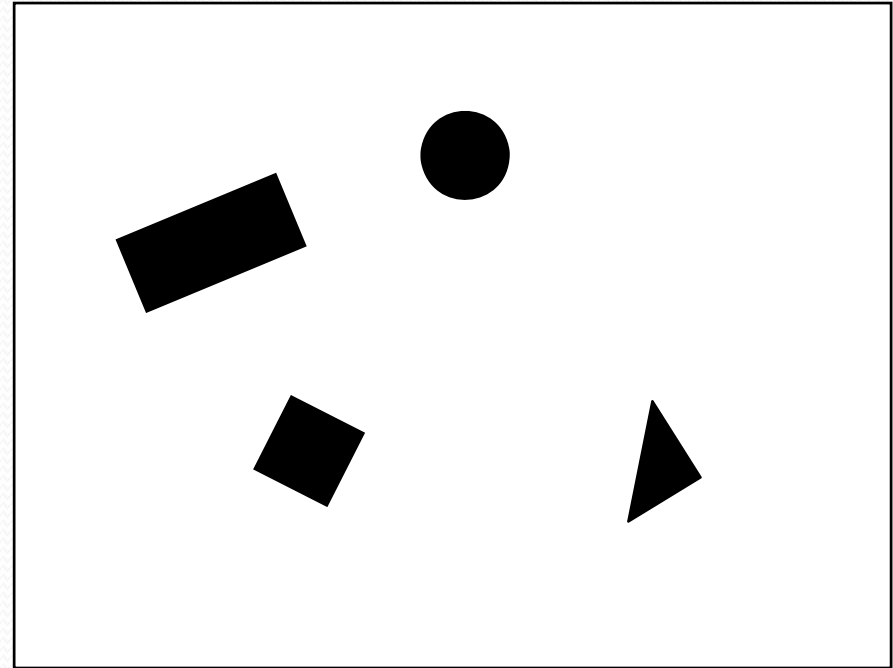
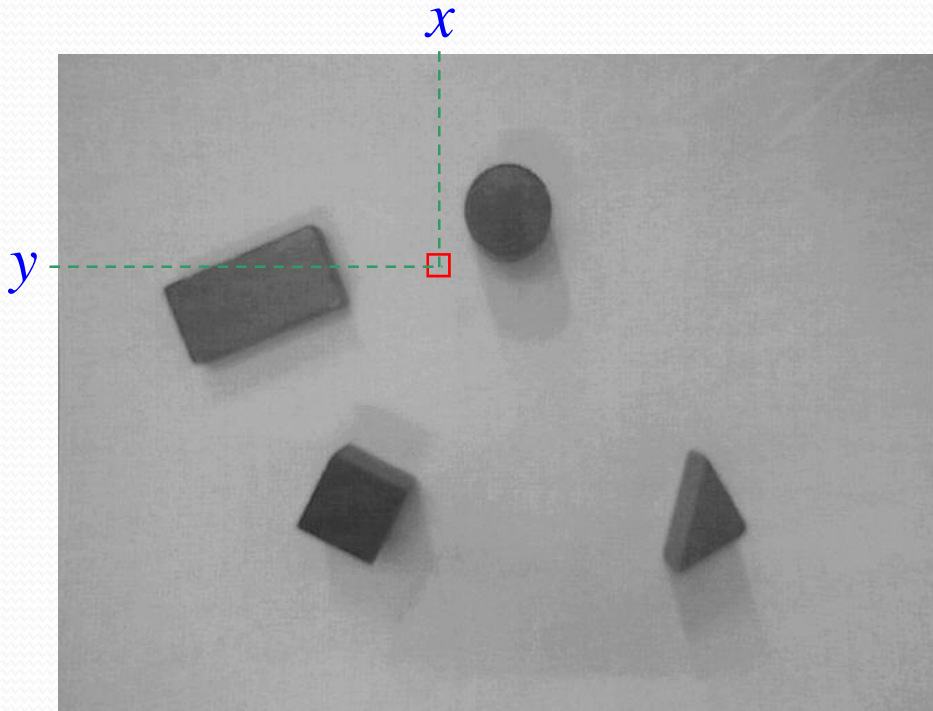


$$\sum_{P=0}^{P=255} N_P(i_P) = \text{ukupni broj piksela slike}$$

Obrada slike – RGB \rightarrow BW



Obrada slike - binarizacija



for $x:=1$ to L do

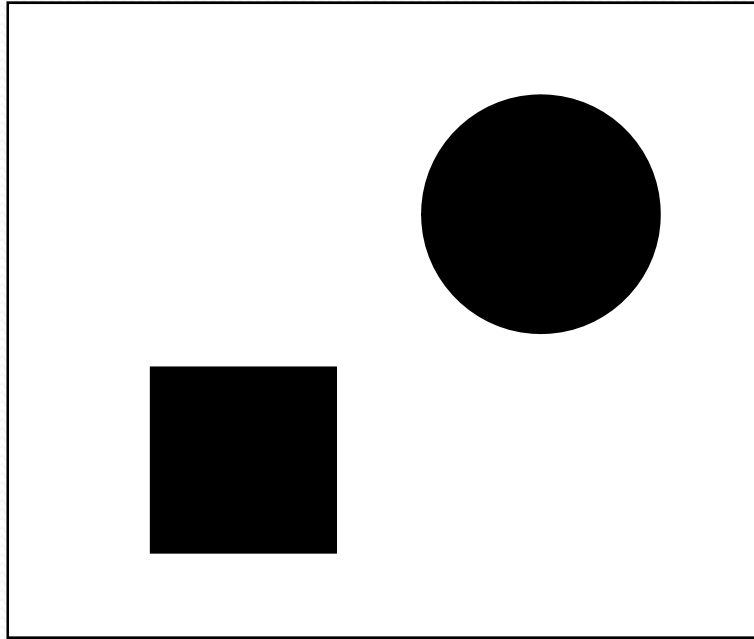
 for $y:=1$ to H do

 if $s(x,y) < g$ then $s(x,y)=0$ else $s(x,y)=255$;

0=crno

255=bijelo

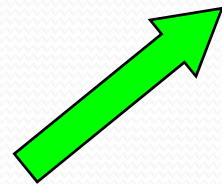
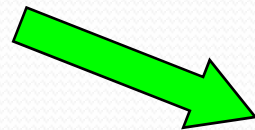
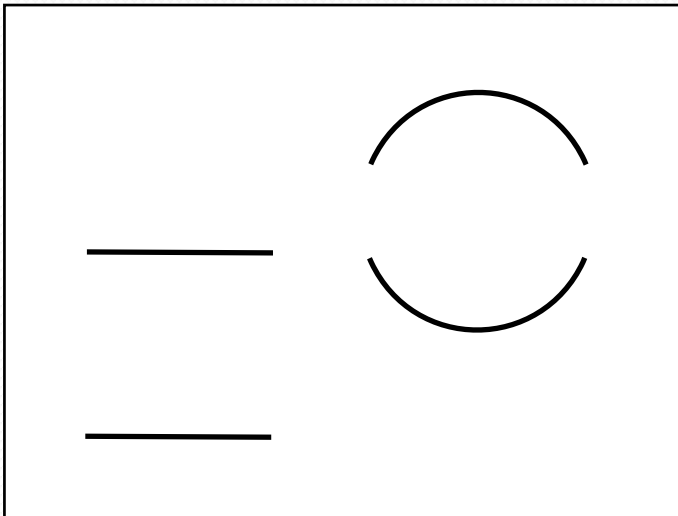
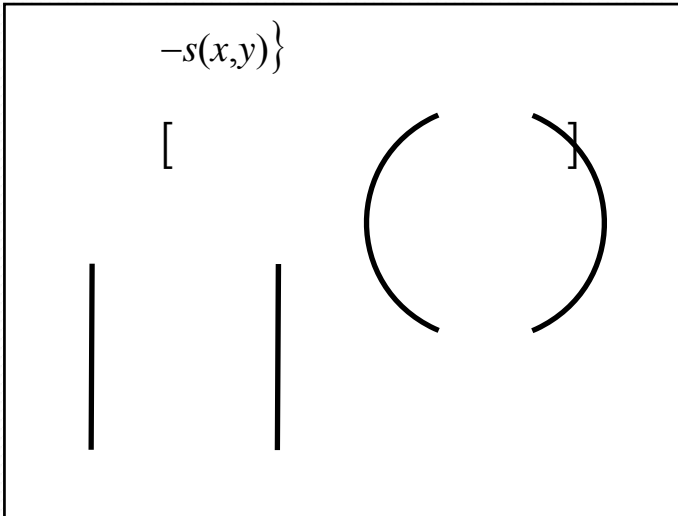
Obrada slike - površina



$$\text{površina} = \sum_{y=1}^H \sum_{x=1}^L s(x, y) = 0$$

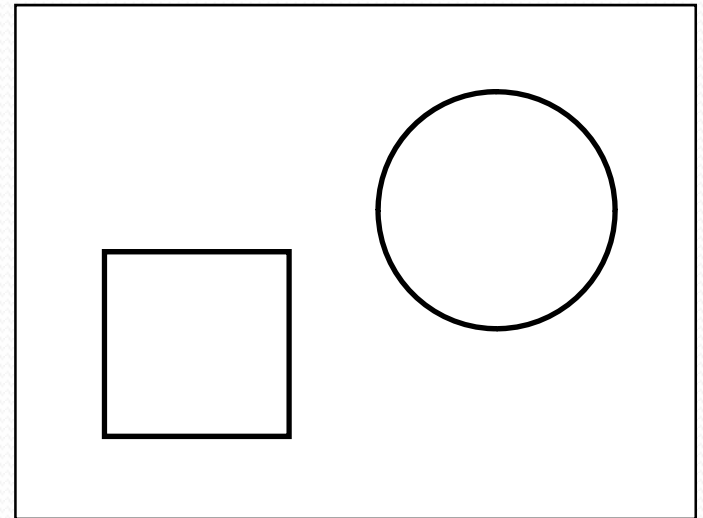
Obrada slike - opseg $s(x,y)$

$$\mathbf{S}_x = \frac{\partial \mathbf{S}}{\partial x} = \text{abs} \left\{ \begin{array}{l} | \\ -s(x,y) \end{array} \right\}$$



$s(x+1,y)$

$$\mathbf{D} = \mathbf{S}_x \oplus \mathbf{S}_y$$



$$\text{opseg} = \sum_{y=1}^H \sum_{x=1}^L d(x,y) = 0$$

$$\mathbf{S}_y = \frac{\partial \mathbf{S}}{\partial y} = \left\{ s(x,y) \mid s(x,y) = \text{abs}[s(x,y+1) - s(x,y)] \right\}$$

Ostali parametri prepoznavanja

broj stranica (vrhova)

odnos stranica

kut između stranica

sadržaj oblika (okruglo+kvadratno)

boja !!!???

...

Dodatni elementi prepoznavanja

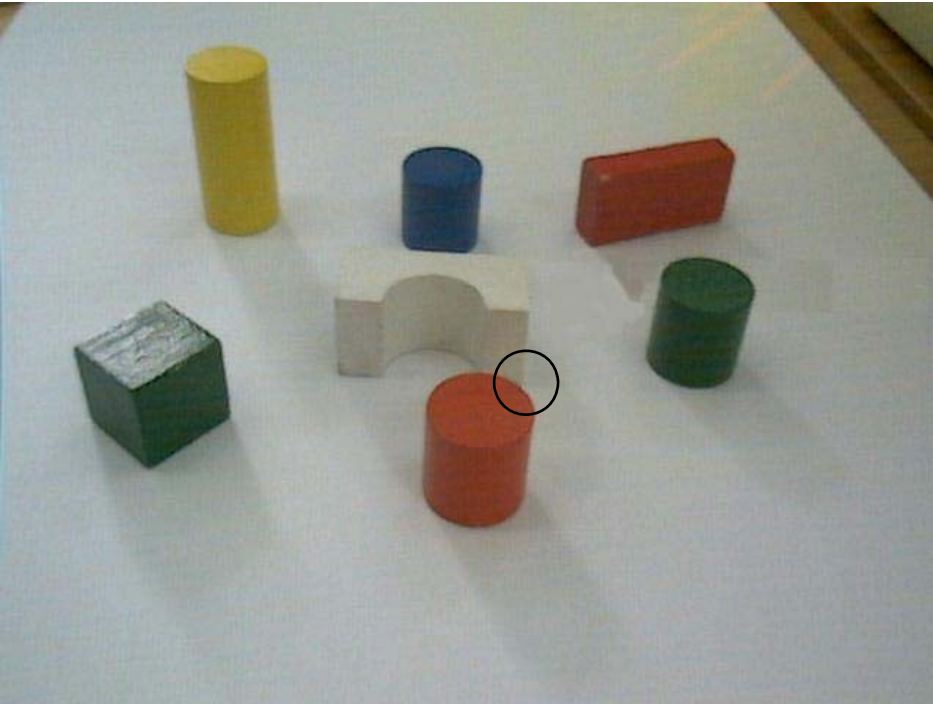
koordinate težišta

orijentacija stranica

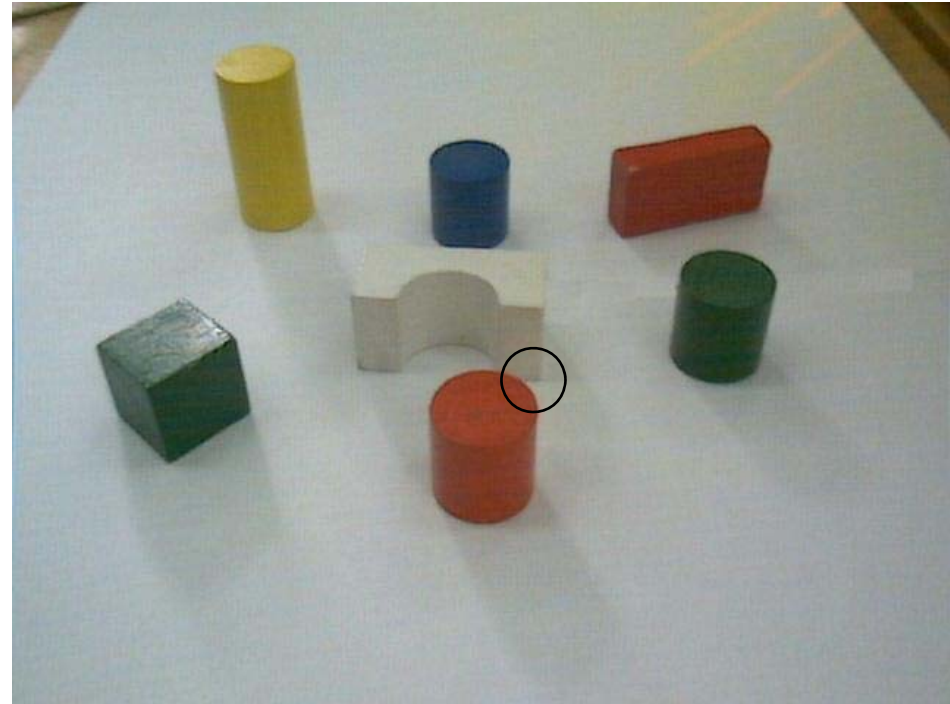
...

Stereo vid

lijevo oko



desno oko

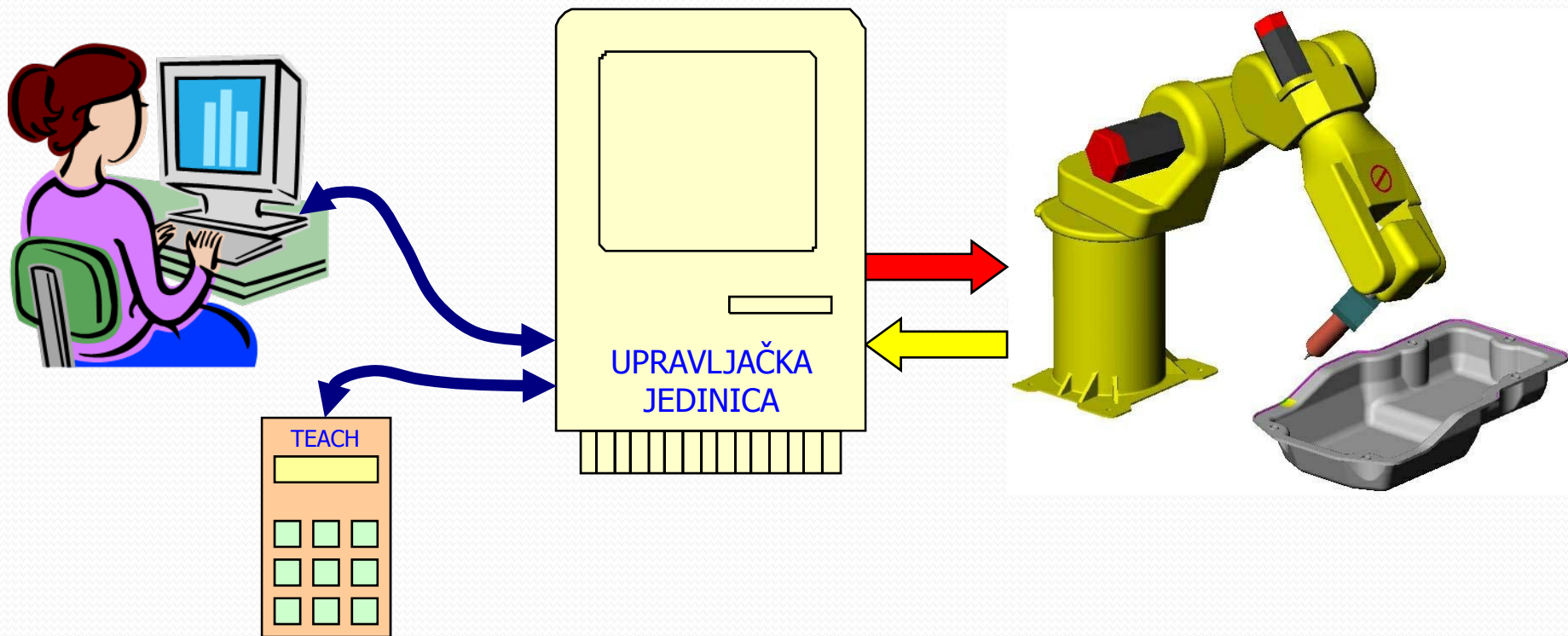


Detalj slike

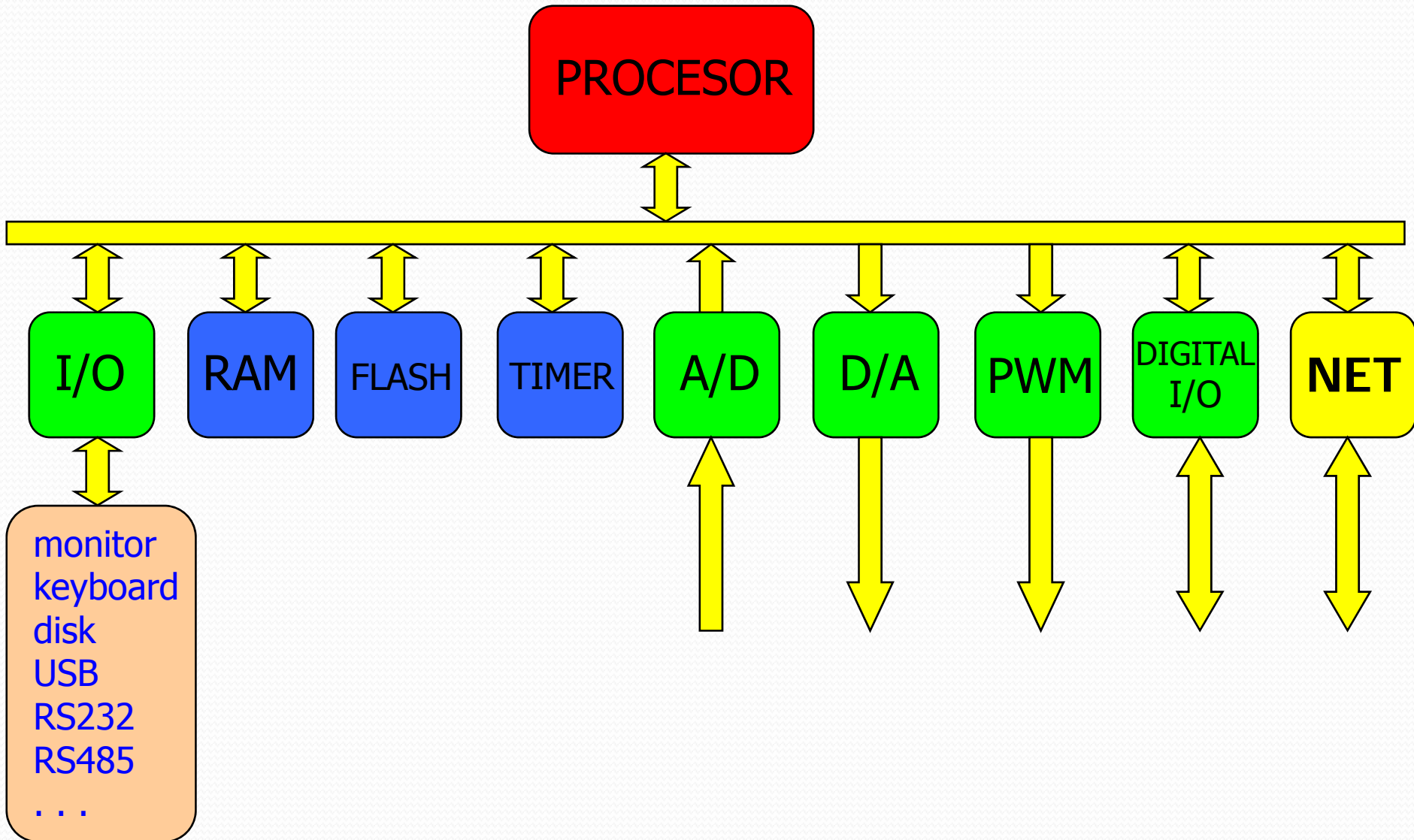


UPRAVLJAČKI SYSTAV ROBOTA

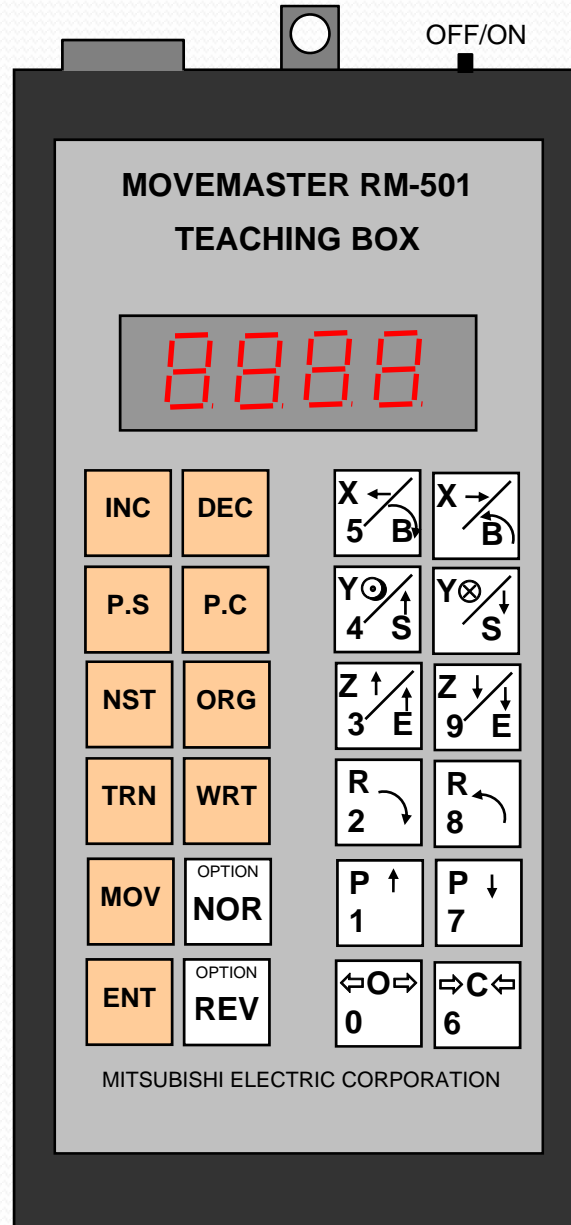
Veza čovjek-robot



Struktura upravljačkog računala



Privjesak za učenje robota RM501



RHINO

ON

Mark III Pendant with I/O control



		OFF	ON	
Go Hard Stops LEARN/ ENTER	Set Soft Home Go-Soft Home	1 ↔ A	1 ← A	GRIP
User RUN / HALT	DELAY EDIT	2 ↷ B	2 ↶ B	WRIST ROTATE
DELETE Move INSERT Move	ERASE / Clear END / PLAY	3 ↑ C	3 ↓ C	WRIST FLEX
Previous Move Next Move	Previous Motor Next Motor	4 ↑ D	4 ↓ D	ELBOW FLEX
LOAD SAVE	Control To Head Aux Display	5 ↑ E	5 ↓ E	SHOULDER FLEX
No Input Input Wait Input	Jump On Input Jump To Program	6 ↷ F	6 ↶ F	WAIST ROTATE
Toggle Output Turn Output	Search On Input Clear Program	7 ↷ G	7 ↶ G	AUX MOTOR "G"
SWIFT	1 Slow 10 Fast	8 ↷ H	8 ↶ H	AUX MOTOR "H"





Literatura

1. T. Šurina, M. Crneković, *Industrijski roboti*, Školska knjiga, Zagreb, 1990.
2. M. Crneković, *Industrijski i mobilni roboti*, predavanja, FSB – Zagreb
3. B. Jerbić, *Zavod za robotiku i automatizaciju proizvodnih sustava-Katedra za projektiranje izradbenih i montažnih sustava*, projekti, FSB – Zagreb
4. B. Jerbić, Z. Kunica, *Inteligentni montažni sustavi*, predavanja, FSB – Zagreb
5. B. Jerbić, *Projektiranje automatskih montažnih sustava*, predavanja, FSB – Zagreb
6. Z. Kovačić, V. Krajči, S. Bogdan, *Osnove robotike*, Grafis, Zagreb, 2000.