

Regionalni centar kompetentnosti u strukovnom obrazovanju u
strojarstvu – Industrija 4.0 (UP.03.3.1.04.0001); Srednja strukovna škola
Velika Gorica, Ulica kralja Stjepana Tomaševića 21, Velika Gorica,
www.rck-vg.hr



REGIONALNI CENTAR KOMPETENTNOSTI
U STRUKOVNOM OBRAZOVANJU U STROJARSTVU

Industrija 4.0

Robotika



www.esf.hr



Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog socijalnog fonda.



Sadržaj

1. Definicija robota	6
2. Primjene robota	8
2.1. Sklapanje - sastavljanje i rastavljanje	8
2.2. Zavarivanje i lemljenje	9
2.3. Doziranje i bojanje	10
2.4. Rukovanje materijalima i procesima	10
2.5. Rezanje, glodanje i ostale obrade	11
3. Kinematska struktura	13
3.1. Kartezijski robot	16
3.2. Cilindrični robot	17
3.3. Sferni robot	17
3.4. Scara robot	17
3.5. Revolutni robot	18
3.6. Paralelni robot	18
4. Odabir robota	20
4.1. Broj stupnjeva slobode gibanja	20
4.2. Veličina i oblik radnog prostora	21
4.3. Greška pozicioniranja	22
4.4. Kapacitet rukovanja	24
4.5. Brzina i ubrzanje	24
4.6. Krutost	25
5. Pogonski sustav robotskih članaka	27
5.1. Pogonski elementi (motori)	27
5.2. Prijenosnici gibanja	28
6. Senzori u robotici	31
6.1. Senzori sile i momenata	32
6.2. Vizijski sustavi	33
7. Programiranje robota	35





7.1.	Razvoj programiranja.....	35
7.2.	Upravljanje robotima.....	36
7.3.	Načini programiranja	37
7.4.	Razine programiranja.....	38
8.	Siguran rad s robotima.....	40
8.1.	Zaustavljanje rada manipulatora	40
9.	Oprema.....	42
9.1.	Karakteristike robota.....	42
9.2.	Upravljačka jedinica	45
9.3.	Upravljačka konzola	47
10.	Osnove rada s robotom	51
10.1.	Način rada robota.....	51
10.1.1.	T1 (<250 mm/s): Testni način rada 1	51
10.1.2.	T2 (100%): Testni način rada 2	52
10.1.3.	AUTO: Automatski način rada.....	52
10.2.	Navigacija na upravljačkoj konzoli	52
10.2.1.	Traka sa informacijama (Status bar)	52
10.2.2.	Funkcijski izbornik (Fctn).....	53
10.2.3.	Menu izbornik	54
10.2.4.	Višestruki prikazi	55
10.3.	Ručno pokretanje robota	55
10.3.1.	Singularnost.....	56
10.4.	Izrada programa na upravljačkoj konzoli	57
11.	Osnove gibanja.....	58
11.1.1.	Interpolacija gibanja zglobovima	58
11.1.2.	Linearna interpolacija gibanja.....	59
11.1.3.	Kružna interpolacija gibanja	59
11.1.4.	Način izvršavanja zadanog gibanja.....	60
11.2.	Ručno pokretanje programa.....	61
11.3.	Definiranje i izmjena pozicija.....	62





11.4.	Rad sa makro (macro) programima	62
11.5.	Dodatne opcije za rad s programima upravljačke konzole - EDCM izbornik.....	64
12.	Koordinatni sustavi i konfiguracije.....	67
12.1.	Koordinatni sustav robota – world frame i user frame.....	67
12.2.	Koordinatni sustav alata	69
12.3.	Izbor aktivnog koordinatnog sustava	69
12.4.	Offset i tool offset	70
12.5.	Konfiguracija robotske ruke	70
12.6.	Izrada koordinatnih sustava	71
12.6.1.	Izrada korisničkog koordinatnog sustava alata (UTOOL).....	71
12.6.2.	Korisnički koordinatni sustavi.....	73
12.6.2.1.	Metoda tri točke	73
12.6.2.2.	Metoda četiri točke	74
13.	Ulazno- izlazni signali (I/O).....	75
14.	Upravljačke strukture i programski elementi.....	76
14.1.	Registri	76
14.1.1.	Pozicijski registri	76
14.1.2.	Zaštita pozicijskih registara	77
14.1.3.	LPOS.....	78
14.1.4.	Numerički registri.....	78
14.2.	Uvjetne IF naredbe	78
14.3.	Petlje	79
14.3.1.	Beskonačna petlja.....	79
14.3.2.	FOR petlja	80
14.4.	Poziv drugog programa.....	81
14.5.	Izrada brojača	82
14.6.	Čekanje – Wait.....	82
14.7.	Razno.....	82
14.7.1.	Brojač vremena (Timer).....	83
14.7.2.	Override.....	83
14.7.3.	Komentari (Remark).....	83





14.8. Skip condition.....	84
15. Paletizacija.....	86
15.1. Vrste paletizacije	86
15.1.1. Paletizacija B.....	86
15.1.2. Paletizacija E.....	87
15.1.3. Paletizacija BX i EX.....	87
16. Načini pokretanja upravljačke jedinice	90
16.1. Initial start.....	90
16.2. Controlled start.....	90
16.3. Cold start.....	90
16.4. Hot start.....	91
Literatura.....	92
Kazalo slika.....	93
Kazalo tablica.....	95
Impresum.....	96



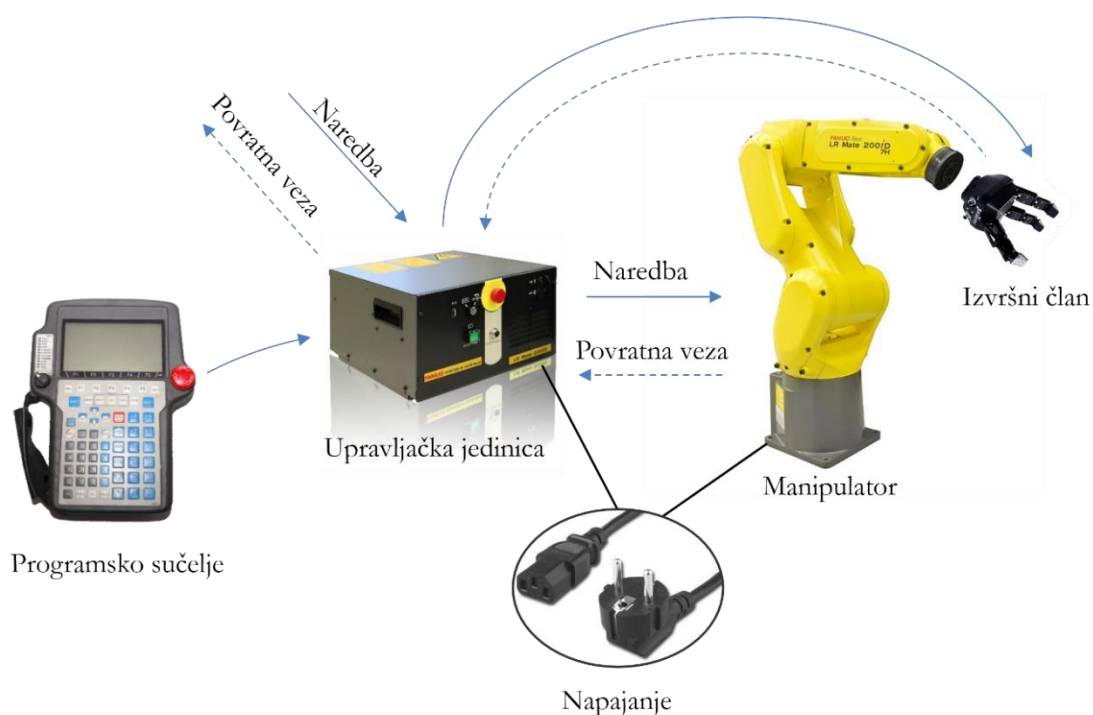
1. Definicija robota

Prema Međunarodnoj organizaciji za normizaciju (ISO), robot je definiran kao "programirani aktuirani mehanizam s određenim stupnjem autonomije za obavljanje lokomocije, manipulacije ili pozicioniranja". Ova definicija sadržana je u standardu ISO 8373:2021, koji određuje termine koji se koriste u vezi s robotima i robotskim uređajima, a djeluju u industrijskom i neindustrijskom okruženju. Prema ovom standardu, industrijski robot je automatski kontrolirani, reprogramabilni višenamjenski manipulator, programabilan u tri ili više osi, koji se može fiksirati na mjestu ili postaviti na mobilnu platformu za upotrebu u aplikacijama automatizacije u industrijskom okruženju.

Industrijski robot uključuje:

- manipulator, uključujući pokretače robota kojima upravlja upravljačka jedinica (kontroler) robota;
- upravljačka jedinica (kontroler) robota;
- sredstva za podučavanje i/ili programiranje robota, uključujući sva komunikacijska sučelja (hardver i softver).

Odnos između ovih komponenata je prikazan na Slika 1.1.



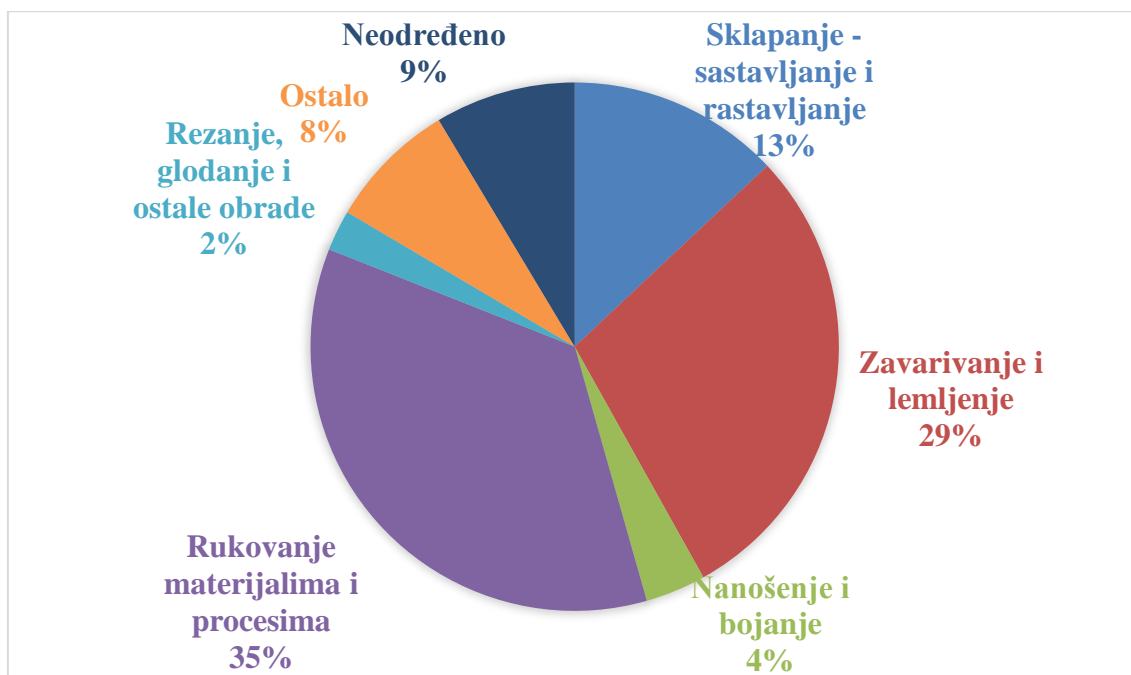
Slika 1.1 Dijelovi industrijskog robota

Industrijski roboti uključuju sve pomoćne osi koje su integrirane u kinematsko rješenje, a u slučaju mobilnih robota uključuju i manipulativne dijelove, tako da se mobilni robot sastoji od mobilne platforme s integriranim manipulatorom ili robotom.

Uz industrijske robote, koji imaju veliku primjenu u raznim proizvodno-distribucijskim namjenama, postoje i servisni roboti. Servisni robot je robot za osobnu ili profesionalnu uporabu koji obavlja korisne zadatke za ljude ili opremu. Zadaci za osobnu upotrebu uključuju rukovanje ili posluživanje predmeta, prijevoz, fizičku podršku, davanje smjernica ili informacija, dotjerivanje, kuhanje i rukovanje hranom i čišćenje. Zadaci u profesionalnoj uporabi uključuju inspekciju, nadzor, također i rukovanje predmetima, prijevoz osoba, davanje smjernica ili informacija, kuhanje i rukovanje hranom i čišćenje.

2. Primjene robota

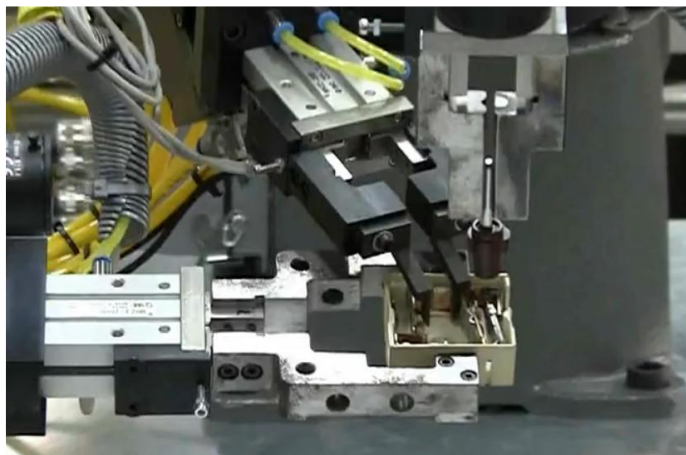
Industrijski roboti imaju široku primjenu u različitim kategorijama proizvodnje, što omogućava automatizaciju i povećanje efikasnosti u mnogim industrijama. Prema primjeni možemo ih podijeliti u pet kategorija, a njihov je udio prema zastupljenosti prikazan na Slika 2.1.



Slika 2.1 Zastupljenost industrijskih robota prema području primjene - izvor IFR 2018

2.1. Sklapanje - sastavljanje i rastavljanje

Ova kategorija uključuje automatizirano sklapanje dijelova u gotove proizvode te njihovo rastavljanje kada je to potrebno. Roboti koriste precizne pokrete za manipuliranje sastavnim dijelovima, često u radnim operacijama gdje je potrebna visoka točnost i dosljednost, kao što su proizvodnja elektronike, automobila ili medicinskih uređaja.



Slika 2.2 Robotsko sklapanje u Regionalnom centru izvrsnosti za robotske tehnologije

2.2. Zavarivanje i lemljenje

Roboti se koriste za automatizirano zavarivanje i lemljenje dijelova, omogućavajući brzo, precizno i dosljedno spajanje metala i drugih materijala. Ovo uključuje različite vrste zavarivanja, kao što su elektrolučno, točkasto, MIG, TIG i lasersko zavarivanje. Robotske ruke u zavarivanju pružaju izuzetnu preciznost u pozicioniranju zavarivačkog alata, što je ključno za postizanje visokokvalitetnih i ponovljivih zavara, posebno u industrijskim aplikacijama gdje se zahtijeva stroga standardizacija. Konstantnost brzine pomicanja vrha zavarivačkog pištolja, koju održavaju roboti, osigurava uniformnost i kvalitetu zavara. Ova tehnologija smanjuje ljudske pogreške i povećava učinkovitost, čineći robotske ruke neophodnim alatom u modernim proizvodnim procesima s visokim zahtjevima za kvalitetom i pouzdanošću.



Slika 2.3 Robotsko zavarivanja u pogonu tvrtke REVOZ, Novo Mesto

2.3. Doziranje i bojanje

Roboti u procesu proizvodnje precizno doziraju tekućine, kao što su ljepila, brtvila ili kemikalije a pri bojanju na proizvode automatizirano nanose boje i premaze, osiguravajući jednoliku primjenu i smanjenje otpada.



Slika 2.4 Robotsko nanošenje boje u pogonu tvrtke AD Plastik, Zagreb

2.4. Rukovanje materijalima i procesima

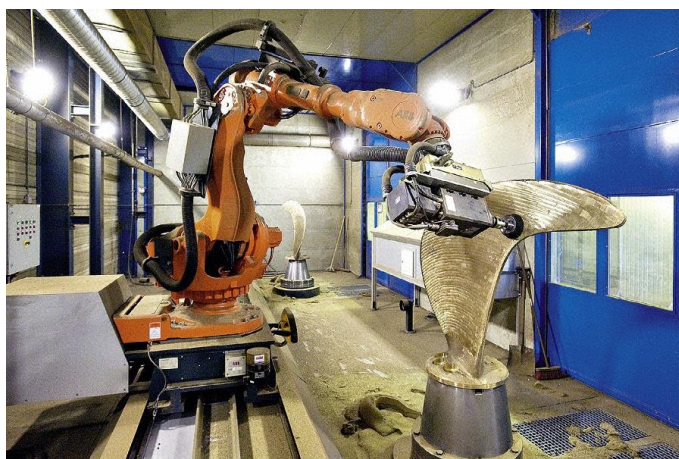
Ova kategorija obuhvaća širok spektar aplikacija, od prenošenja sirovina i proizvoda do njihovog sortiranja i pakiranja. Roboti su često integrirani u proizvodne linije, gdje komuniciraju s drugim strojevima i sustavima za upravljanje, kako bi se osigurala neometana protočnost proizvodnje. Koriste se za opsluživanje drugih strojeva, a posebno su korisni u situacijama gdje su materijali teški, opasni ili gdje je potrebna visoka preciznost. Roboti se koriste za povećanje učinkovitosti i smanjenje fizičkog opterećenja na radnike, primjerice u procesima poput paletizacije, pakiranja, utovara i istovara.



Slika 2.5 Robotsko rukovanje u pogonu tvrtke Klimaoprema, Nova Gradiška

2.5. Rezanje, glodanje i ostale obrade

Roboti se koriste za razne vrste obrade, uključujući rezanje (laserom, vodenim mlazom), glodanje, brušenje i poliranje. Ovo omogućava brzu i preciznu obradu materijala u različitim industrijama i smanjuje potrebu za ručnim radom, povećavajući preciznost i kvalitet gotovih proizvoda.



Slika 2.6 Robotska obrada odvajanjem čestica

Roboti imaju ključnu ulogu u optimizaciji proizvodnih procesa, donoseći tri glavne prednosti: točnost, ponovljivost i konstantnu brzinu alata. U primjenama poput rezanja, glodanja, brušenja i poliranja, roboti osiguravaju visoku preciznost u upravljanju alatima, što je neophodno za proizvodnju kvalitetnih i ujednačenih proizvoda. Osim toga, sposobnost robota da održi konstantnu brzinu alata, ključna je za jednolikost obrade i osigurava da svaki proizvod zadovolji iste visoke standarde kvaliteta. Konačno, robotski sustavi mogu precizno ponavljati zadatke s iznimnom dosljednošću, što je nezamjenjivo u proizvodnji koja zahtijeva visoku razinu efikasnosti i standardizacije.

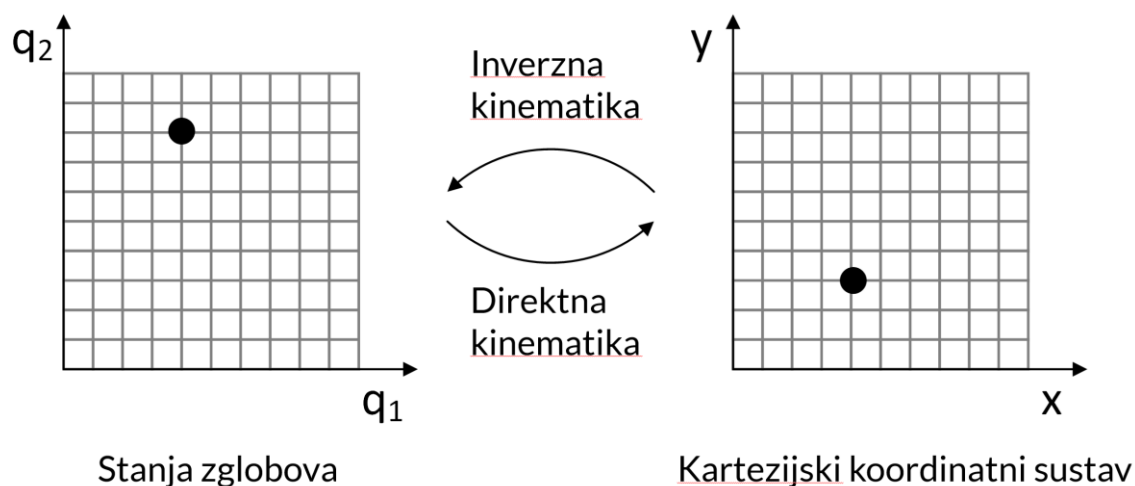
3. Kinematska struktura

Kinematska struktura robota odnosi se na raspored i povezanost njegovih pokretnih dijelova, koji određuju način na koji se robot može kretati i pozicionirati u prostoru. Osnovni elementi kinematske strukture robota uključuju:

- Zglobovi (engl. Joints) su osnovne točke rotacije ili translacije na robotu koje omogućavaju kretanje. Zglobovi mogu biti linearni (pravocrtno kretanje) ili rotacijski (zakretno kretanje), i svaki od njih pridonosi stupnjevima slobode koju robot posjeduje.
- Segmenti ili članci (engl. Links) su čvrsti dijelovi robota koji povezuju zglobove. Dužina i čvrstoća ovih segmenata utječe na radni doseg robota, na to koliko daleko ili blizu od svoje baze može dohvatiti, ili koliko težak predmet može podići.
- Baza (engl. Base) je temelj, ili platforma, na koju su pričvršćeni svi ostali dijelovi robota. Baza može biti stacionarna ili mobilna, ovisno o dizajnu i namjeni robota.
- Izvršni član (engl. End-Effector) je dio robota koji je izravno u interakciji s okolinom. To su, primjerice, hvataljke, alati za zavarivanje, sprejevi za bojanje, ili senzori. Ti dijelovi se prilagođavaju specifičnoj primjeni robota.
- Stupnjevi slobode (engl. Degrees of Freedom - DOF): Ovaj pojam opisuje broj nezavisnih pokreta koje robot može izvesti. Više stupnjeva slobode obično znači veću fleksibilnost i sposobnost izvođenja složenijih zadataka.

Kinematika robota određuje na koji način ovi elementi zajedno djeluju, kako bi se ostvario željeni opseg kretanja i pozicioniranja. Postoje dva pristupa rješavanju kinematičkih problema u robotici:

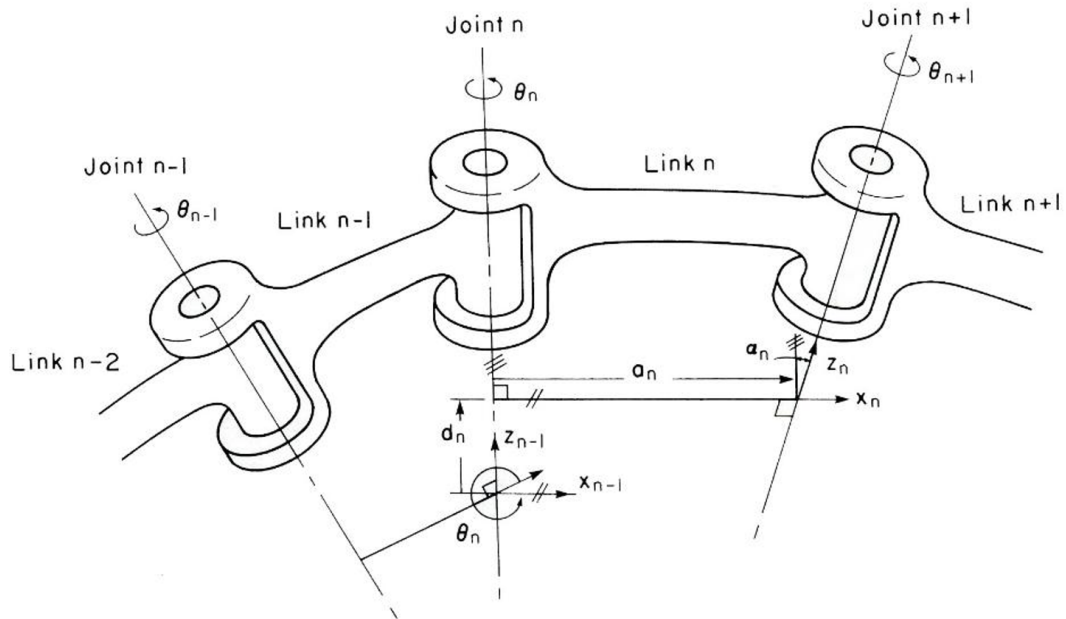
- Direktna kinematika (engl. Forward Kinematics): Proces određivanja položaja na temelju poznatih kutova zglobova i geometrije segmenata.
- Inverzna kinematika (engl. Inverse Kinematics): Proces određivanja potrebnih kutova zglobova kako bi se vrh doveo na željenu poziciju u prostoru.



Slika 3.1 Direktni i inverzni kinematski model na primjeru robota s dva zgloba (q_1 i q_2)

Denavit–Hartenbergovi parametri (DH parametri) su četiri parametra (d , θ , a , α) povezana s određenom konvencijom za pričvršćivanje referentnih koordinatnih sustava na karike prostornog kinematičkog lanca ili robotskog manipulatora. DH parametri θ , d , a i α između dva koordinatna sustava koji se nalaze na dva susjedna segmenta, definirani su na sljedeći način:

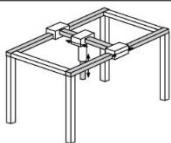
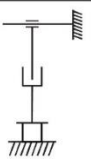
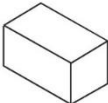
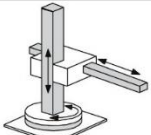
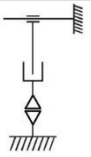

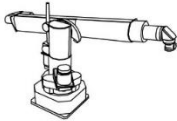
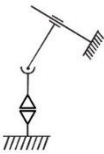

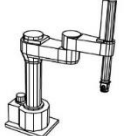
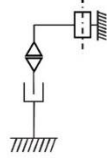


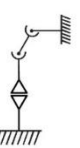


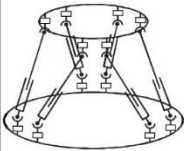

- parametar a je duljina zajedničke normale između dviju z osi, koja je okomita na obje z -osi;
- parametar d predstavlja udaljenost iz ishodišta do zajedničke normale (a);
- parametar α predstavlja rotaciju z -osi prvog članka oko x -osi drugog članka, kako bi ju doveo u isti položaj kao i z -os drugog članka;
- parametar θ predstavlja kut rotacije x -osi prvog članka oko z -osi prvog članka sve do x -osi drugog članka.



$$A_n = Rot(z, \theta) Trans(0, 0, d) Trans(a, 0, 0) Rot(x, \alpha)$$

Slika 3.2 Prikaz kinematskih parametara robotskih članaka

Razumijevanje kinematske strukture robota je ključno za dizajniranje robotičkih sistema, programiranje robota za izvođenje specifičnih zadataka, te za analizu i poboljšanje njegovih performansi. U standardnoj primjeni postoji nekoliko uobičajenih tipova kinematskih struktura prikazanih na Slika 3.3.

Robot	Kinematski lanac	Radni prostor
 kartezijski robot		
 cilindrični robot		
 sferni robot		
 SCARA robot		
 revolutni robot		
 paralelni robot		

Slika 3.3 Kinematske strukture robota

3.1. Kartezijski robot

Kategorija kartezijskih robota obuhvaća sve industrijske robote koji uključuju samo linearni pogon za svoje tri glavne osi, a pokreti su im podudarni s kartezijskim koordinatnim sustavom. Ovi strojevi često su ograničeni na tri osi, iako su razvijene neke posebne verzije s dodatnim rotacijskim osima montiranim na posljednjoj linearnoj osi. Ova kartezijska kategorija uključuje strojeve portalnog tipa, kao i linearne „pick and place“ uređaje. Konfiguracije ovih robota su različite i mogu se sastavljati iz modularnih setova, omogućavajući tako fleksibilnost u dizajniranju stroja za određeni zahtjev. Portalne izvedbe mogu biti izvedene s različitim oblicima potporne strukture. Glavna os može varirati u duljini manjoj od jednog do više desetaka metara. Mogu biti i vrlo robusni, sposobni nositi velike mase.

Dodatna prednost portalnih izvedbi je što minimiziraju utjecaj na tvornički pod i ručni pristup strojevima, jer su uglavnom smješteni iznad ostale opreme. Međutim, često su skuplji od ekvivalentnih robota s artikuliranim rukama. Njihova je primjena raznolika, iako se obično koriste za rukovanje, paletizaciju, plastično lijevanje, montažu i održavanje strojeva. Također imaju značajnu primjenu pri procesu zavarivanja i lijepljenja, posebno na vrlo velikim dijelovima.

3.2. Cilindrični robot

Ovi roboti imaju kombinaciju rotacijskih i linearnih osi, obično s rotacijom baze koja je praćena vertikalnom i horizontalnom linearnom osi te dodatnim rotacijskim osima na zglobovima. Pružaju čvrstu strukturu, s dobrom pristupačnošću, te su laki za programiranje i vizualizaciju. Međutim, zahtijevaju slobodan prostor na stražnjoj strani ruke. Posebno su prikladni za održavanje strojeva i općenite aplikacije za preuzimanje i postavljanje. Uglavnom se koriste u elektroničkoj industriji, posebno u aplikacijama čistih prostora.

3.3. Sferni robot

Sferni robot, također poznat kao polarni robot, jedan je od tipova industrijskih robota s specifične kinematske strukture. Osnovna konfiguracija sfernog robota uključuje dva rotacijska zgloba i jedan prizmatični zglob, čije osi čine polarni koordinatni sustav. Sferni roboti imaju dobru pristupačnost te mogu pristupiti objektima u sferičnom prostoru oko svoje baze, što je korisno u situacijama kada treba obavljati zadatke u različitim položajima i na različitim visinama. Iako nisu toliko uobičajeni kao kartezijski ili revolutni roboti, sferni roboti nalaze svoje mjesto na tržištu, posebno u specifičnim industrijskim aplikacijama koje zahtijevaju sferično kretanje.

3.4. Scara robot

SCARA konfiguracija pruža dodatne prednosti u odnosu na artikuliranu ruku. Ova konfiguracija je izvorno razvijena za primjene u montaži, stoga mu je i naziv „Selective Compliance Assembly Robot Arm“ (SCARA). Četveroosna ruka uključuje rotaciju baze, linearni vertikalni pokret praćen s dva rotacijska pokreta u istoj vertikalnoj ravnini. Zbog prirode konfiguracije, ruka je vrlo čvrsta u vertikalnom smjeru, a pokretljiva u horizontalnoj ravnini. Pruža visoku brzinu u kombinaciji s visokim ubrzanjem te radi s vrlo tijesnim tolerancijama. SCARA strojevi su obično mali, s nosivostima oko 2 kg i dosegom od oko 1 metar. Uglavnom se koriste za montažne aplikacije, iako se mogu koristiti i za

pakiranje, mali pritisak, doziranje ljepila i druge primjene. Primjena SCARA-e uglavnom je limitirana njihovom veličinom i ograničenjem od samo četiri osi.

3.5. Revolutni robot

Ovo su obično strojevi sa šest osi, iako su dostupni i neki strojevi sa sedam osi, koji pružaju redundanciju i tako poboljšavaju pristup nezgodnim prostorima. Struktura se sastoji od šest rotacijskih zglobova, a svaki je montiran na prethodnom zglobu. Imaju sposobnost dosezanja točke, unutar radnog prostora, u više od jedne konfiguracije ili pozicioniranja alata u bilo kojoj orijentaciji na određenoj poziciji. Zglobni pokret artikuliranih robotskih ruku je složen, pa ga se stoga može teško vizualizirati. Ruka je konstruirana tako da svaki zglob mora nositi težinu svih sljedećih zglobova; što znači da treći zglob eći nosi 4, 5 i 6. To utječe i na nosivost, količinu tereta koju robot može nositi, kao i na ponovljivost i točnost. Strukture nisu posebno čvrste, a ukupna ponovljivost svih osi je kumulativna. . Međutim, sve bolje performanse AC servomotora (***) pravilno je servomotori) i poboljšanja u mehanici pružaju izvrsne performanse za većinu primjena . Revolutni robot, tj. artikulirana ruka, najčešća je struktura industrijskih robota. Ova vrsta robota koristi se za mnoge procesne aplikacije, uključujući zavarivanje i bojanje, kao i mnoge aplikacije za rukovanje, uključujući održavanje strojeva, metalno lijevanje i opće rukovanje materijalom. Tipične veličine robota kreću se od 0,5 do preko 3,5 m doseg, i s nosivošću od 3 do preko 1000 kg. Postoji i niz artikuliranih ruku s četiri osi. Razvijene su za posebne primjene, kao što je paletiziranje, pakiranje i preuzimanje, jer za to nije potrebno orijentirati alat, pa stoga dvije osi zgloba nisu potrebne. Ova vrsta robota može postići veće brzine s većim teretima od usporedivih strojeva sa šest osi. Također se razvijaju i roboti s dvostrukim rukama, s dvije artikulirane ruke montirane na istu strukturu. Ove dvije ruke mogu surađivati, pa tako oponašaju čovjeka i prikladne su za montaže, gdje su potrebne dvije ruke koje rade zajedno, kako bi se sastavili potrebni dijelovi.

3.6. Paralelni robot

Paralelna ili delta konfiguracija uključuje robotske ruke koje imaju simultane prizmatične ili rotacijske zglobove. Razvijeni su kao strojevi montirani iznad glave, s motorima smještenim u baznoj strukturi, koji pokreću povezane ruke ispod. Prednost ovog pristupa je u smanjenju težine unutar ruku, čime se pruža vrlo visoka sposobnost ubrzanja i brzine. Međutim, imaju malu nosivost, obično ispod 8 kg. Stoga im je glavna primjena rukovanje, posebno na linijama za pakiranje u prehrambenoj industriji, kao i primjena u montaži. Ovi strojevi mogu postići slična vremena ciklusa kao SCARA roboti.

Delta robot također nije postavljen na podu nego je obješen, s bazom montiranom iznad glave. . Njegova jedinstvena značajka su tri artikulirane ruke koje su sve povezane s platformom koja se nalazi

ispod. Svaka ruka ima jedan pogonski i jedan prateći zglob. Baza iznad glave je veza 0 za sve tri ruke. U svakoj ruci zglob 1 je rotacijski i pogonjen. Njegov izlazni članak 1 povezan je sa zglobom 2, koji nije pogonjen, a izlazni članak 2 povezan je s platformom. Koordinacijom aktivacija tri pogonska zgloba, pozicija platforme može se kontrolirati u tri dimenzije dok se održava orijentacija završnog člana. Zasebna montaža zgloba obično nije uključena u delta robote. Završni je član izravno pričvršćen na donju stranu platforme.

Strukture se postižu povezivanjem niza rotacijskih i/ili linearnih pokreta ili zglobova. Svaki od zglobova omogućava pokret koji zajednički može pozicionirati strukturu robota, ili robotsku ruku, na određeni položaj. Da bi se pružila sposobnost pozicioniranja alata, montiranog na kraju robota, na bilo kojem mjestu pod bilo kojim kutom, potrebno je šest zglobova, ili šest stupnjeva slobode, što je općenito poznato kao šest osi.

4. Odabir robota

Uz stotine dostupnih modela robota, odabir najboljeg robota za posao može biti vrlo složen zadatak te je važno utvrditi koje kriterije razmatramo prilikom odabira. Pored uvjeta okoline i koordinacije s pripadajućom opremom, ostali važni čimbenici su:

- Broj stupnjeva slobode gibanja
- Oblik i veličina radnog prostora
- Greška pozicioniranja
- Kapacitet rukovanja
- Brzina i ubrzanje
- Krutost

4.1. Broj stupnjeva slobode gibanja

Broj stupnjeva slobode gibanja određuje pokretljivost manipulativnih članaka. Mali broj komponenata u sklopu i jedinstveni pravocrtni smjer sklapanja u pravilu zahtjeva tek 2 stupnja slobode, ali u većini slučajeva potrebna su najmanje tri. Robot sa šest stupnjeva slobode sposoban je bez ograničenja unutar radnog prostora doseći bilo koju točku, prateći zadanu putanju i orijentaciju. Jasno je da veći broj stupnjeva slobode pruža veću fleksibilnost, ali bitno povećava i cijenu opreme. Stoga kriterij za određivanje potrebnog broja stupnjeva slobode gibanja treba odrediti prema geometrijskim zahtjevima sklopa i sklapanja, očekivanim prostornim preprekama i potrebnoj fleksibilnosti.

Za svaki robot karakterističan je broj osi (engl. number of axis) za rotacijsko ili translacijsko kretanje njegovih segmenata. Općeniti manipulator ima šest osi te može dovesti vrh manipulatora u bilo koju poziciju i orijentaciju unutar radnog prostora. Broj stupnjeva slobode gibanja nekog tijela jednak je broju mogućih nezavisnih gibanja tijela prema mirnom koordinatnom sustavu. Položaj i orijentacija slobodno gibljivog tijela jednoznačno su opisani sa 6 vrijednosti – 3 vezane uz položaj (x , y , z) i 3 vezane uz orijentaciju (φ , θ , ψ). Mehanizam otvaranja i zatvaranja prstiju ne smatra se nezavisnom osi, jer ne utječe niti na poziciju niti na orijentaciju hvataljke. Ako manipulator ima više od šest osi, odnosno ako se proizvoljno zadana poza robota u potpunosti ostvaruje sa n zglobova, tada sličan robot sa $n+1$ zglobova spada u grupu redundantnih robota. Kod redundantnih se robota zadana poza robota može postići na više različitih načina, a višak stupnjeva slobode gibanja može se koristiti za izbjegavanje prepreka unutar radnog prostora.



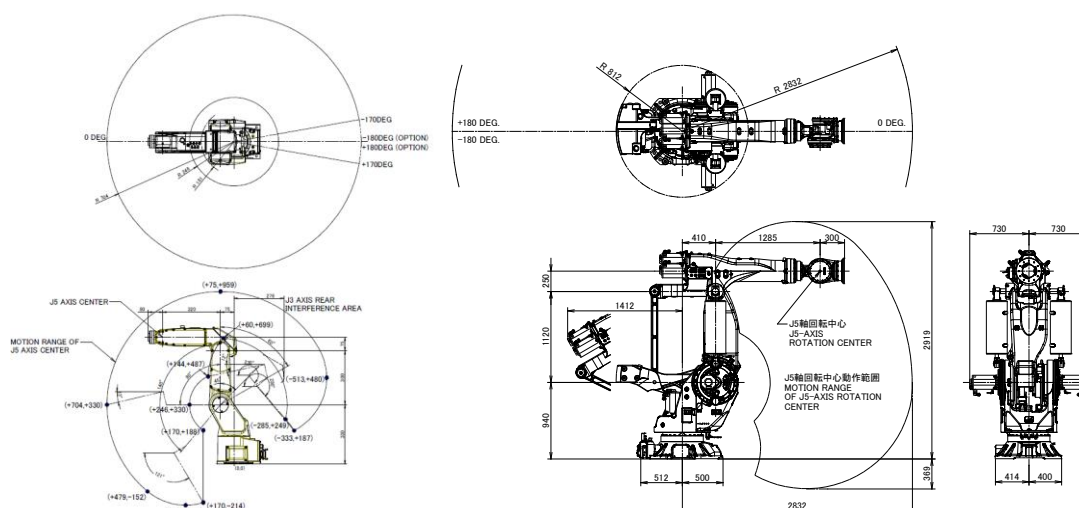
Slika 4.1 Roboti s različitim brojem osi

4.2. Veličina i oblik radnog prostora

Veličina i oblik radnog prostora definiraju se na temelju prostornog uređenja radne stanice. Važno je da su sve radne točke dostupne u zadanoj orijentaciji.

Radni prostor robota je definiran granicom postavljenom ograničenjem pokreta svih osi robota (unutar koje robot može obavljati svoj zadatak). Veličina i oblik radnog prostora robota određeni su opsegom, brojem, tipom i redoslijedom njegovih osnovnih osi te kontrolnim softverom. Ostala dodatna ograničenja mogu biti postavljena zadatkom proizvodnje. Budući da je konfiguracija robota već pronađena, a on se svrstava u kategorije kao što su kartezijske, cilindrične i polarne itd., tada se može vidjeti da svaka vrsta konfiguracije zahtijeva odgovarajući karakteristični radni prostor. Inženjer za primjenu mora osigurati da robot može dosegnuti potrebne lokacije i orijentacije unutar radnog prostora bez sudaranja s drugom opremom ili samim radnim komadom. To znači da inženjer mora razmotriti ne samo okvir radnog prostora robota već i volumen prostora zauzetog ukupnim postrojenjem robota. Zanimljiva usporedba može se napraviti razmatranjem i površine presjeka radnog prostora i ukupnog prostora potrebnog za svaki od strojeva. Ovo može biti posebno kritično za aplikacije gdje roboti rade na pretrpanoj proizvodnoj liniji ili u kompaktnoj robotskoj ćeliji. Razvijeno je nekoliko računalnih pomagala za pomoć pri izradi postava robotskog postrojenja pomoću 3D modeliranja za istraživanje pokreta robotske ruke unutar radnog prostora zbog potencijalne opasnosti od sudara. Mjera sposobnosti robota da omogući sposobnost doseg, bez zauzimanja dragocjenog prostora, dana je omjerom volumena radnog prostora, prema minimalnom volumenu robota. Koristeći ovu vrstu procjene, utvrđeno je da revolutni zglobovi antropomorfnih ruku pružaju visok, a time i koristan omjer. Suprotno tome, kartezijski roboti često imaju niske omjere. U slučaju gantry robota,

ovaj problem je donekle riješen time što je radni prostor robota sadržan unutar prostora strukture robota. U nekim je aplikacijama moguće izvesti cijeli zadatak unutar radnog prostora jednog stacionarnog robota. U mnogim aplikacijama zadatak može zahtijevati veći radni prostor koji bi robotu trebao biti dostupan da na optimalan način obavi postavljene zadatke, pa se u takvim slučajevima često dodaje dodatna os pokreta na bazi robota ili na nosaču rada u obliku transportne trake, shuttlea ili rotacijskog stola. Osnovna funkcija dodatnih osi je proširenje učinkovitog volumena radnog prostora.



Slika 4.2 Primjeri radnih prostora robota

4.3. Greška pozicioniranja

Greška pozicioniranja industrijskog robota odnosi se na odstupanje između željene pozicije koju programer namjerava postići i stvarne pozicije na koju robot postavlja svoj alat. Greške u pozicioniranju mogu utjecati na kvalitetu i preciznost robotskih operacija. Postoji nekoliko mogućih uzroka grešaka prilikom pozicioniranja:

- Mehaničke tolerancije: Odstupanja u proizvodnji i sklopu dijelova robota mogu dovesti do malih varijacija u veličini i obliku koji se zbrajaju kroz kinematski lanac.
- Zakrivljenost i deformacija: Pod opterećenjem, dijelovi robota mogu se savijati ili deformirati, uzrokujući tako greške u pozicioniranju.
- Zračnost i trenje: Zračnost u zglobovima i trenje između pokretnih dijelova mogu dovesti do toga da stvarni pokreti ne odgovaraju naredbama izdanima od kontrolera.
- Greške u povratnoj vezi: Neispravni ili neprecizni senzori mogu poslati netočne informacije kontrolnom sustavu, što rezultira netočnim pozicioniranjem.

- Dinamičke sile: Inercija i dinamičke sile tijekom brzih ili složenih pokreta mogu uzrokovati prekomjerno kretanje ili oscilacije koje vode do grešaka u pozicioniranju.
- Greške u softveru: Pogreške u programskom kodu ili u algoritmima za planiranje puta mogu dovesti do neželjenih pokreta robota.
- Termalna ekspanzija: Promjene temperature mogu uzrokovati širenje ili skupljanje materijala, što utječe na duljinu i orijentaciju robotskih članaka.
- Kalibracija: Ako robot nije ispravno kalibriran, njegovi pokreti neće biti točni. Kalibracija osigurava da kontroler robota pravilno razumije kako naredbe upućene motorima utječu na pokrete u prostoru.

Da bi se smanjile greške pozicioniranja, industrijski roboti često prolaze kroz rigorozne postupke kalibracije, pri čemu se koriste napredni algoritmi za kompenzaciju grešaka i implementiraju visokokvalitetni senzori za povratne informacije o poziciji. Redovito održavanje i inspekcije iznimno su važni u održavanju preciznosti robota tijekom vremena.

Dodatno, međunarodna norma za industrijske robote ISO 9283:1998, bavi se kriterijima i načinima ispitivanja robota. Normom obuhvaćena ispitivanja od velike su važnosti, jer informiraju o tome u kojoj mjeri ispitivani robot ispunjava proizvođačke, aplikacijske ili normativne specifikacije i zahtjeve. Normiranjem se nastoje identificirati kritične značajke proizvoda i definirati načini njihova vrednovanja, što je presudno prilikom odabira robota za određenu primjenu i omogućuje korisnicima uvid u pouzdane i usporedive informacije o različitim robotima. Ocjenjivanje i poboljšavanje performansi postojećih robotskih sustava je u interesu ne samo zadovoljavanja krajnjeg kupca, nego i proizvođaču potvrđuje specifikaciju njegovog proizvoda.

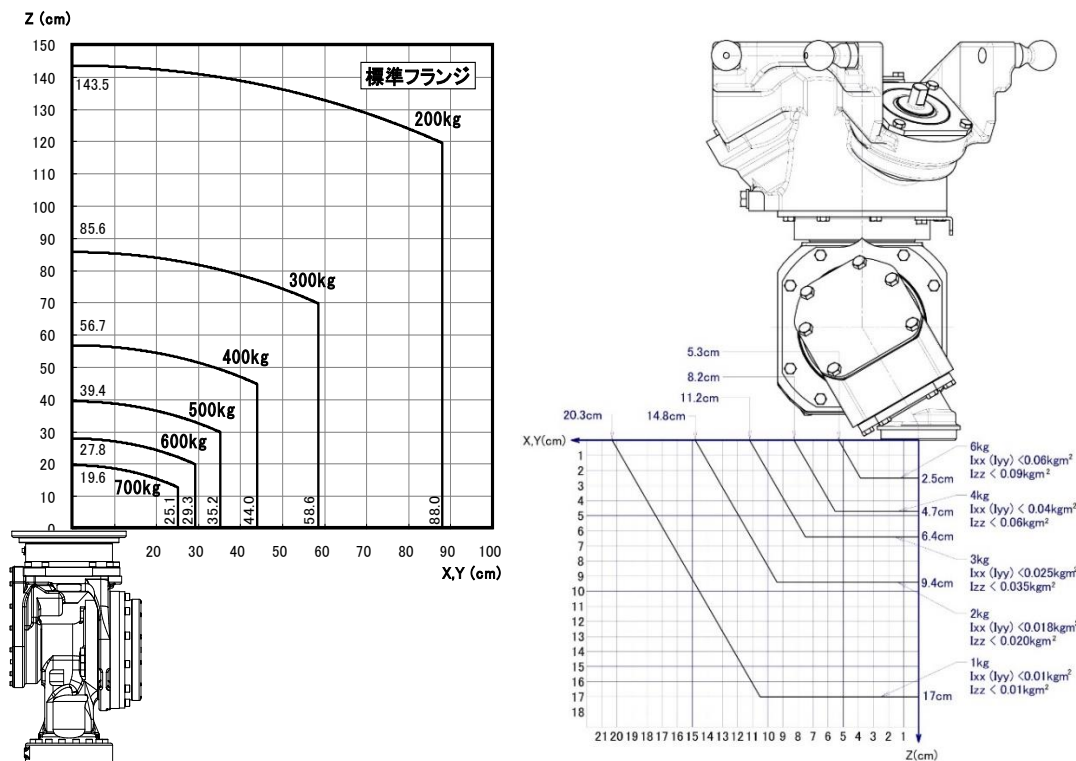
Ovaj standard obuhvaća niz testova i kriterija koji se koriste za procjenu različitih aspekata, uključujući:

- Točnost i ponovljivost položaja
- Varijacija točnosti višesmjernog položaja
- Točnost i ponovljivost udaljavanja
- Vrijeme stabiliziranja pozicije
- Premašivanje pozicije
- Položajna postojanost
- Točnost i ponovljivost putanje
- Točnost putanje pri ponovnom orijentiranju
- Kutna odstupanja
- Značajke brzine putanje
- Najkraće vrijeme zauzimanja položaja
- Statička popustljivost

- Šavna odstupanja

4.4. Kapacitet rukovanja

Nosivost (engl. payload) označava maksimalnu masu tereta koju robot može prenijeti. Nosivost ovisi o veličini, konfiguraciji i konstrukciji robota, te o pogonskom sustavu koji pogoni zglobove robota. Masa tereta može biti od nekoliko kilograma do nekoliko tona. Potrebno je ispravno definirati masu koju robot nosi (payload), jer se unutar upravljačke jedinice prema njoj mijenjaju parametri brzine i ubrzanja – s velikom masom robot ne može izvoditi kretnje maksimalnom brzinom. Posebno osjetljivi na raspored masa su paralelni roboti, kojima povećanje mase drastično smanjuje brzinu kretanja.



Slika 4.3 Krivulje dozvoljene nosivosti s obzirom na udaljenost od priborice

4.5. Brzina i ubrzanje

Brzina i ubrzanje su ključni parametri koji utječu na performanse i učinkovitost industrijskog robota.

Brzina robota odnosi se na to koliko brzo robotska ruka ili završni član (end-effector) može putovati iz jedne točke u drugu. Obično se mjeri u milimetrima po sekundi (mm/s) ili metrima po sekundi (m/s). Brži roboti mogu značajno smanjiti vrijeme ciklusa u proizvodnji, što može dovesti do veće produktivnosti i nižih troškova po jedinici. Veće brzine mogu rezultirati smanjenom točnošću i većom vjerojatnošću kolizija. Također, veće brzine mogu povećati i troškove održavanja zbog veće izloženosti habanju.

Ubrzanje robota odnosi se na brzinu kojom robot može promijeniti svoju brzinu. To je ključno za omogućavanje robotu da brzo reagira na promjene u radnom okruženju pri obavljanju zadatka. Obično se mjeri u milimetrima po sekundi kvadrat (mm/s^2) ili metrima po sekundi kvadrat (m/s^2). Veća ubrzanja omogućuju robotu da brže dosegne svoju maksimalnu brzinu, što može biti korisno u dinamičkim ili visokoproduktivnim okruženjima. Veća ubrzanja mogu povećati rizik od oštećenja robota ili radnog okruženja, posebno u slučaju neočekivanih prepreka ili pogrešaka u programiranju.

Optimalna brzina i ubrzanje za određenu aplikaciju ovisit će o nizu faktora, uključujući specifične zahtjeve proizvodnje, okruženje u kojemu robot radi, a zavisi i o karakteristikama samog robota. Inženjeri će često trebati pronaći pravu ravnotežu između brzine, ubrzanja, preciznosti i sigurnosti, kako bi robotu osigurali efikasno i pouzdano obavljanje zadataka. Primjerice, u montaži se uglavnom pojavljuju kratke kretnje, za vrijeme kojih pogonski sklop ne može dostići svoju punu brzinu, pa je iznimno važno osigurati odgovarajuće ubrzanje koje se ostvaruje pri složenom gibanju, odnosno kada se pokreću svi članci kinematičkoga lanca.

Standardni testovi uključuju mjerenja:

- pojedinačna brzina osi (maksimum),
- rezultanta brzine (maksimum),
- maksimalna brzina pri kontinuiranom upravljanju putanjom, pri određenoj točnosti,
- ubrzanje u različitim uvjetima,
- minimalno vrijeme pozicioniranja pri nazivnom opterećenju, za određenu prijedenu udaljenost i preciznost putanje.

4.6. Krutost

Krutost industrijskog robota odnosi se na otpornost robota na deformaciju pod utjecajem vanjskog opterećenja. Krutost je ključan faktor koji utječe na sposobnost robota da održava preciznost i točnost pozicioniranja, osobito pod opterećenjem ili tijekom izvršavanja zadataka koji zahtijevaju visoku silu ili moment. Krutost se često kvantificira kao omjer između primijenjene sile i pomaka koji ta sila proizvodi. U idealnom slučaju, robot s visokom krutošću imat će vrlo mali pomak čak i pod velikim opterećenjima. Međutim, povećanje krutosti može rezultirati većom masom i smanjenom

efikasnošću, pa se stoga mora pronaći ravnoteža koja je optimalna za određenu primjenu.

Inženjeri moraju uzeti u obzir krutost tijekom dizajniranja robota, jer nedostatna krutost može dovesti do pogrešaka u radu, smanjene točnosti, pa čak i mehaničkog oštećenja u ekstremnim slučajevima. Krutost je povezana i sa samom kinematskom strukturom. Po svojoj kinematskoj strukturi SCARA i portalni robot odlikuju se visokom krutošću, nasuprot revolutoj strukturi, kod koje se javljaju veliki momenti na rotacijskim zglobovima i shodno tome veća mogućnost otklona. Redovito održavanje i kalibracija mogu pomoći u očuvanju krutosti robota tijekom vremena.

5. Pogonski sustav robotskih članaka

Pomicanje tijela, ruke i ručnog zgloba robotskog manipulatora vrši se upotrebom pogonskog sustava (mehanizma) robota. Pogonski sustav određuje performanse manipulatora, a u određenoj mjeri i određuje područja primjene robotskog manipulatora.

5.1. Pogonski elementi (motori)

U upotrebi su najčešće jedan od tri sljedeća pogona:

- Električni motor,
- Hidraulični motor,
- Pneumatski motor.

Većina suvremenih robota pogonjena je elektromotorima, zbog postizanja većih brzina i točnosti, kao i lakšeg upravljanja. Najčešće se koriste motori koji rade na istosmjernu struju, kao i koračni motori. Takvi motori uključuju povratnu vezu, koja osigurava učinkovitu regulaciju motora s obzirom na zadanu poziciju pogonjenog članka. Rad im je kontinuiran i ne stvaraju veliku buku. Koračni motori rade na načelu pretvorbe diskretnih električkih signala u precizne kutne pomake - korake. Stoga se takvim motorima jednostavno upravlja digitalnim računalima, generiranjem odgovarajućeg broja električkih impulsa za zadano kretanje. Međutim, zbog takvog načina rada dolazi do vibracija. Osim toga, kod nepredviđenog opterećenja mogu uzrokovati greške u pozicioniranju, jer obično nisu upravljani putem povratne veze.

Prednosti:

- Tiho, čisto
- Niska cijena instalacije i rada

Nedostatci:

- Obično se ne koristi u velikim robotima za manipuliranje velikim masama
- Ograničena upotreba u aplikacijama u kojima je prisutna opasnost od požara (npr. prskanje boja)

Hidraulični motori se uglavnom koriste za velike sile nošenja. U odnosu na električne znatno su skuplji pa se, osim za teške terete, danas još samo koriste za pogon robota predviđenih da rade u zapaljivoj atmosferi, kao npr. u prisustvu boja, gdje se električni motori ne smiju primjenjivati.

Prednosti:

- Visoki omjer snage i mase
- Veća krutost od električnih pogona
- Dobre performanse pri malim brzinama
- Širok raspon brzina bez posebnih upravljačkih krugova
- Nije potrebno hlađenje

Nedostatci:

- Nelinearni i teško upravljivi
- Visoki troškovi održavanja

Pneumatski prigoni rijetko se primjenjuju zbog stlačivosti zraka, što stvara probleme pri upravljanju kod većih ubrzanja, kada se pojavljuju složene oscilacije. Pneumatski elementi najčešće se susreću na izvršnom članku robota - hvataljki za prihvat predmeta rada.

Prednosti:

- Velika brzina i relativno velika snaga s obzirom na masu
- Vrlo niske cijene
- Jednostavnost u kontroli
- Nema zagađivanja radnog područja
- Može biti upravljano nizom otvorenih i zatvorenih ventila
- Nije potrebno hlađenje

Nedostatci:

- Nelinearni i teško upravljivi

Pneumatski i hidraulični motori koriste se i u kombinaciji s elektromotornim, radi kompenzacije mase teških članaka.

5.2. Prijenosnici gibanja

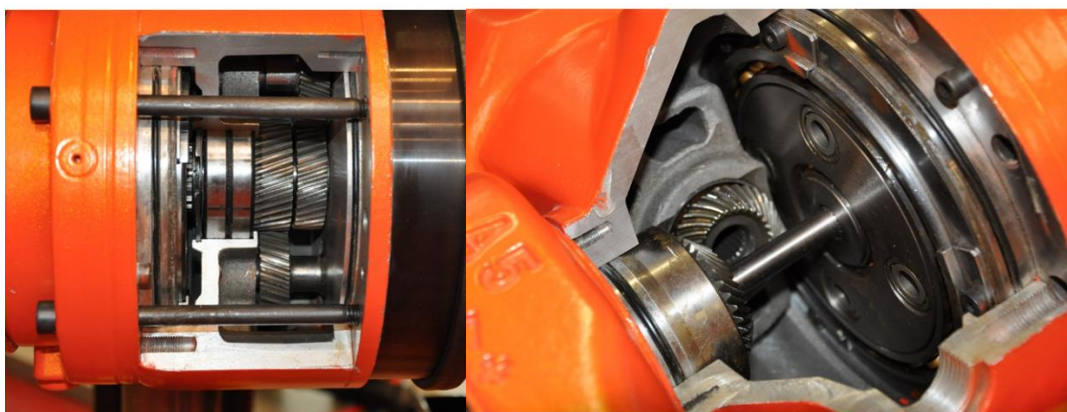
Prijenosnici gibanja su mehanički uređaji koji prenose gibanje između dijelova unutar stroja ili između strojeva. Oni omogućuju kontrolu pokreta, uključujući smjer, brzinu i položaj. Vrste prijenosnika gibanja su:

- Zupčanici - prenose rotacijsko gibanje između vratila pomoću zuba.
- Remenice i remeni - prenose rotacijsko gibanje pomoću remena koji se proteže između dviju remenica.
- Lanci i lančanici - pomažu u prijenosu rotacijskog gibanja.
- Vijci i matice - pretvaraju rotacijsko gibanje u linearno gibanje.
- Krivulje i podizači - prenose rotacijsko gibanje u linearno gibanje ili oscilirajuće gibanje.
- Spojke - omogućuju prijenos momenta između dvaju vratila.
- Diferencijali - omogućuju različite brzine rotacije između dvaju vratila.

Prijenosnici gibanja i momenata su temeljni za funkcioniranje kompleksnih mehaničkih i robotskih sustava. Oni omogućuju preciznu kontrolu pokreta i momenta, što je ključno za mnoge industrijske aplikacije, uključujući montažu, obradu i pakiranje. Razvoj efikasnijih i kompaktnijih prijenosnih sustava omogućuje bolje performanse i veću pouzdanost u suvremenim robotskim i industrijskim aplikacijama.



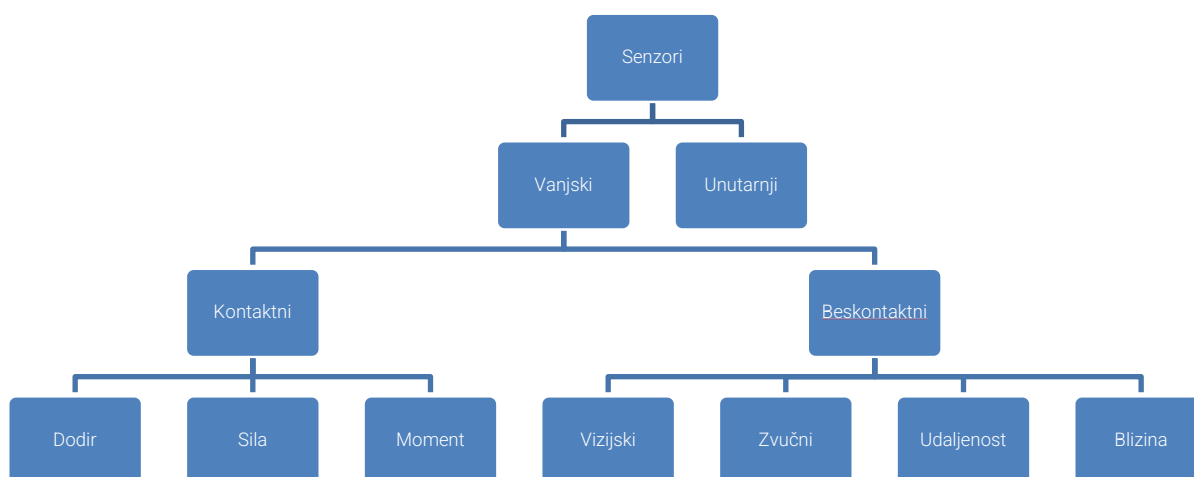
Slika 5.1 Remenice i remeni



Slika 5.2 Zupčanici

6. Senzori u robotici

Upravljanje robotskim sustavom bilo bi relativno jednostavno kada bi potpuni model okoline bio dostupan, i kada bi pokretači robota mogli izvršavati naredbe za kretanje u potpunosti u odnosu na ovaj model. Nažalost, u većini slučajeva potpuni model svijeta nije dostupan i savršena kontrola mehaničkih struktura nikada nije realna pretpostavka. U robotici su senzori ključni za percepciju okoline i stanja samog robota i koriste se kao sredstvo za kompenzaciju nedostatka potpune informacija. Uloga senzora je pružanje informacije o stanju okoline i stanju robota kao sustava za kontrolu, donošenje odluka i interakciju s drugim agentima u okolini, kao npr. ljudima. (***) Podjela senzora (Slika 6.1) na vanjske i unutarnje, te dalje na kontaktne i beskontaktne, omogućuje robotima da budu u interakciji sa svijetom oko sebe i da pravilno izvršavaju svoje zadatke.



Slika 6.1 Vrste senzora

Vanjski senzori:

- Kontaktni senzori
 - Dodir - detektiraju fizički kontakt između robota i objekta u njegovu okruženju. Koriste se za aplikacije poput potvrde prisutnosti objekta ili za mjerenje sile pritiska.
 - Sila - mjere intenzitet sile između robota i vanjskog objekta. Često se koriste u montaži ili u operacijama gdje robot mora primijeniti specifičnu silu.

- Moment - senzori koji mjere zakretni moment na robotovim zglobovima ili alatima. Bitni su u aplikacijama gdje je precizna kontrola momenta ključna, kao što je zatezanje vijaka do određenog momenta.
- Beskontaktni senzori:
 - Vizijski senzori - koriste kamere i obradu slike za prepoznavanje objekata, čitanje oznaka, ili navigaciju. Vizijski sustavi su sveprisutni u modernoj robotici.
 - Zvučni senzori - primjerice, ultrazvučni senzori se koriste za određivanje udaljenosti pomoću reflektiranog zvuka. Korisni su u navigaciji i izbjegavanju prepreka.
 - Udaljenost - LIDAR i laserski skeneri mjere udaljenost od objekata, koristeći vremenski pomak reflektirane svjetlosti. Često se koriste u mobilnoj robotici.
 - Blizina - senzori blizine detektiraju prisutnost objekta bez potrebe za fizičkim kontaktom, obično koristeći infracrvenu ili kapacitivnu tehnologiju.

Unutarnji senzori:

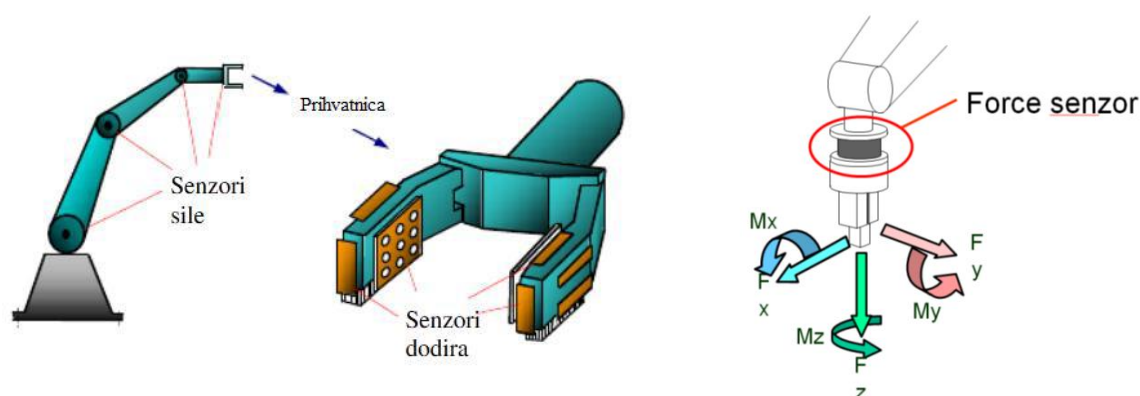
- Potenciometri - mjere električni potencijal i koriste se za praćenje položaja zglobova robota.
- Tahometri - mjere brzinu vrtnje, obično na motorima, te pružaju povratne informacije o brzini kretanja ili brzini rotacije.
- Enkoderi - senzori koji prate i šalju povratne informacije o poziciji ili brzini pokretnih dijelova robota, kao što su zglobovi i osi. Oni su ključni za precizno upravljanje i praćenje pokreta u robotskim aplikacijama. Postoje dvije osnovne vrste enkodera: inkrementalni i apsolutni.

6.1. Senzori sile i momenata

Kako bi se ostvarila što bolja interakcija robota s okolišem, senzori sile i momenata neizostavni su dijelovi inteligentnih robota. Postoji više različitih senzora za mjerenje sile i momenta i oni se ugrađuju na različita mjesta na robotu.

Osnovna mjesta ugradnje senzora sile i momenata su:

- na prstima prihvatnice
- na prirubnicu robota
- u zglobovima robota

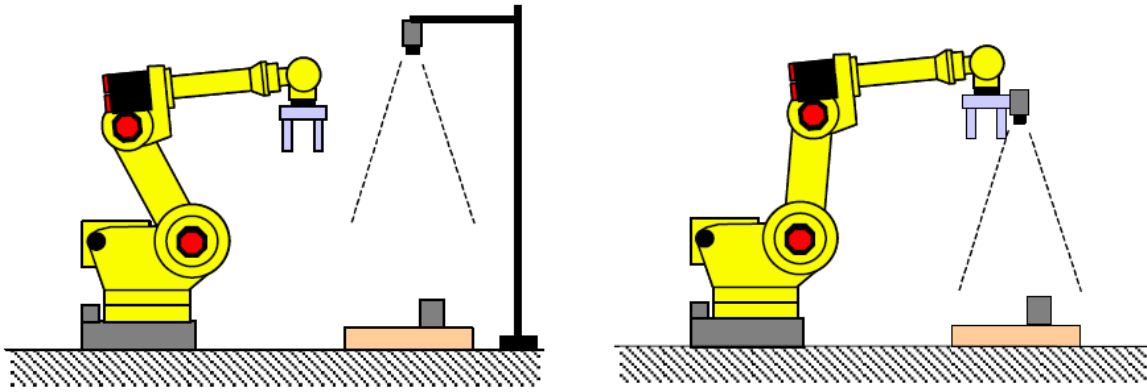


Slika 6.2 Ugrađeni senzori sile i momenata

6.2. Vizijski sustavi

Vizijski sustavi u robotici igraju ključnu ulogu u omogućavanju robotima da vizualno interpretiraju svoje okruženje, što je ključno za mnoge primjene, uključujući automatizaciju, proizvodnju, inspekciju i interakciju s okolinom. Ovi sustavi omogućuju robotima obavljanje složenih zadataka koji zahtijevaju prepoznavanje objekata, praćenje, sortiranje i manipulaciju. Temelj vizijskog sustava čine kamere i slični senzori koji prikupljaju vizualne podatke iz okoline. Ovi uređaji mogu varirati od jednostavnih 2D kamera do složenih 3D senzorskih sustava. Nakon prikupljanja vizualnih podataka, slijedi proces obrade slike. Ovo uključuje detekciju, prepoznavanje i klasifikaciju objekata, kao i izračunavanje njihovih položaja i orijentacija. Vizijski podatci se integriraju s kontrolnim sustavom robota kako bi se omogućilo precizno vođenje i manipulacija. To uključuje izračunavanje putanja, izbjegavanje prepreka i prilagođavanje pokreta robota. Vizijski sustavi se koriste u mnogim industrijama, uključujući automobilsku, elektroničku, prehrambenu i farmaceutsku industriju. Primjene uključuju montažu, pakiranje, kontrolu kvalitete, sortiranje i skladištenje. Napredak u području umjetne inteligencije i strojnog učenja dodatno je unaprijedio mogućnosti vizijskih sustava. Robotski sustavi sada mogu bolje razumjeti složene scene i prilagoditi se promjenjivim uvjetima.

Vizijski sustavi igraju ključnu ulogu u razvoju inteligentnijih, fleksibilnijih i efikasnijih robotskih sustava koji mogu bolje surađivati s ljudima i prilagoditi se različitim radnim okruženjima.



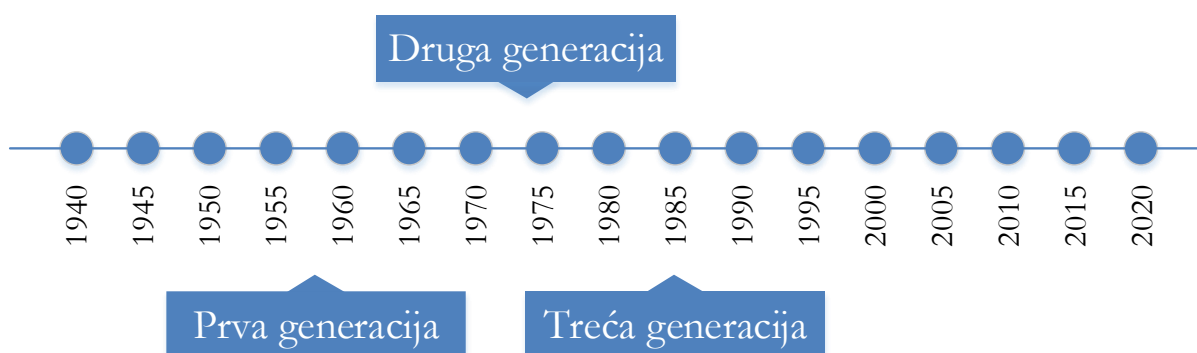
Slika 6.3 Kamera na fiksnoj poziciji i na robotskoj ruci

7. Programiranje robota

7.1. Razvoj programiranja

Programiranje robota razvijalo se paralelno s robotima. Prvi roboti zahtijevali su ručne postavke i podešavanja. Danas se programiranje vrhunske tehnologije postiže korištenjem računala i jednostavnih izbornika. Što su programi za robote jednostavniji, to će ih proizvođači radije koristiti. Razvoj industrijskih robota odvijao se u tri razdoblja, koja se nazivaju generacijama. Te generacije su:

- Prva generacija – kraj 1950-ih do sredine 1970-ih.
- Druga generacija – sredina 1970-ih do sredine 1980-ih.
- Treća generacija – sredina 1980-ih do danas.



Roboti prve generacije izvodili su isključivo ponavljajuće zadatke i nisu reagirali na promjenjive uvjete. Ti roboti često su imali samo dva ili tri stupnja slobode i koristili su pneumatske ili hidrauličke aktuatora za premještanje objekata. Programiranje tih robota uključivalo je podešavanje mehaničkih zaustavljanja i graničnih prekidača. To je kontroliralo duljinu hoda svake programabilne osi.

Složenije programiranje obavljeno je korištenjem rotirajućeg bubnja koji je sadržavao aktivacijske prekidače. Mogao se postaviti i izvršiti niz sekvencijalnih pokreta. Također su često korišteni pneumatski ili električni relejni logički krugovi. To je omogućilo kontrolu programiranih koraka pomoću mehaničkog tajmera. Ukupan broj programabilnih koraka bio je između 10 i 100, ovisno o sofisticiranosti robota.

Sredinom 1970-ih, proizvođači robota počeli su eksperimentirati s naprednijim programiranjem. Godine 1977. Unimation i Olivetti su predstavili robote koji su se mogli kontrolirati pomoću programskih jezika. Programski jezik sastoji se od riječi, brojeva i simbola koji se koriste na strukturiran način, za stvaranje uputa za računalo. Najraniji roboti druge generacije nisu bili komercijalno uspješni. Neke kompanije su možda bile zastrašene složenim robotskim programiranjem i visokim troškovima korištenja robota u usporedbi s ručnim radom. Tek početkom 1980-ih roboti druge generacije, koji su

podržavali upotrebu programskih jezika, počeli su se koristiti u industriji. Roboti su se koristili za izvođenje različitih zadataka, kao što su zavarivanje, prskanje boje, sklapanje, te učitavanje i istovarivanje strojeva. Robote je trebalo programirati da obavljaju te aktivnosti.

Kako su roboti druge generacije postajali složeniji, opremljeni su unutarnjim sensorima i sustavima za kontrolu zatvorenog kruga. To im je dalo ograničenu količinu povratnih informacija o njihovom okruženju. Unutarnji senzori su se koristili za otkrivanje stvarnog položaja robota. Taj položaj se uspoređivao s položajem navedenim u programu, omogućavajući robotu da se po potrebi premjesti na ispravan položaj. Ostali unutarnji senzori, kao što su mjerači naprezanja, koristili su se za otkrivanje kvarova. Ako je otkriven kvar, problem je automatski ispravljen, ili je upozorenje poslano operatoru.

Roboti treće generacije razvijeni su kroz upotrebu umjetne inteligencije. Umjetna inteligencija (UI) je znanost i inženjerstvo koje omogućava strojevima izvođenje operacija obično povezanih s inteligentnim ljudskim ponašanjem. Marvin Minsky, jedan od očeva umjetne inteligencije, definira je kao znanost o tome kako natjerati strojeve da rade stvari koje bi zahtijevale čovjekovu inteligenciju.. Znanstvenici i inženjeri proučavaju UI od 1930-ih. Međutim, praktična upotreba uglavnom je bila ograničena na laboratorijska istraživanja, sve do kasnih 1980-ih.

Roboti treće generacije sposobni su osjetiti okolinu i donositi inteligentne odluke za učinkovitije izvođenje zadataka. Sensorni uređaji, poput senzora za vid, pružaju robotima informacije o njihovu okruženju. Roboti koriste te informacije za određivanje pravog načina za izvođenje zadatka. Na primjer, sustavi za vid koriste se za prepoznavanje odgovarajućih dijelova, omogućavajući robotima razlikovanje dobrih i loših dijelova na proizvodnoj liniji.

7.2. Upravljanje robotima

Operacija robota ili kontrola robota općenito se može podijeliti u dvije kategorije:

- Upravljeni roboti
- Autonomni roboti

Grupa telerobota predstavlja operacije robota koje su daljinski kontrolirane od strane ljudskog operatera, korištenjem nekog uređaja za daljinsko upravljanje ili teledirigiranje. Neki daljinski upravljači zahtijevaju vezu (vrstu žice) da budu fizički spojeni s robotom, a druge vrste daljinskog upravljanja su bežične (na primjer, radio ili infracrveno upravljanje). Važno je uočiti da bez daljinskog upravljanja ili vanjske intervencije robot ne izvodi nikakvu radnju.

Grupa autonomnih robota predstavlja vrstu robota koja ne zahtijeva ljudskog operatera. Umjesto toga, robot pristupa skupu uputa i izvršava ih autonomno, bez intervencije ili prekida daljinskim upravljačem. Upute za rad autonomnog robota su u njega pohranjene, prije nego što započne radnju.

Autonomni robot se ne oslanja na daljinsko upravljanje i svaku radnju obavlja samostalno.

Postoje i hibridni roboti i neke varijacije, gdje teleroboti imaju neke autonomne radnje, a autonomni roboti ponekad imaju teledirigiranja.

Upravljeni
robot

Daljinski upravljani



Teledirigirani



Autonomni
roboti

Logički upravljani



Potpuna autonomija



Slika 7.1 Upravljanje robotima

7.3. Načini programiranja

Načini programiranja robota mogu se podijeliti na dvije glavne kategorije: "On line" i "Off line" programiranje.

1. On line programiranje:

- "Ručno" programiranje: Ovo uključuje izravno manipuliranje robotom ili njegovim dijelovima kako bi se postavili željeni pokreti ili zadatci. Često se radi o jednostavnom i intuitivnom pristupu koji ne zahtijeva napredna tehnička znanja.
- Upravljačka konzola (engl. teach pendant): Ovaj uređaj omogućuje operateru da kroz sučelje s tipkama ili ekranom osjetljivim na dodir unese potrebne instrukcije robotu, obično putem skupa predefiniраниh naredbi ili direktnim pokretanjem robota u željeni položaj.

- Učenje vođenjem: Metoda programiranja gdje operater fizički vodi robota kroz željene pokrete. Robot zapamti ove pokrete i može ih ponoviti bez daljnje ljudske intervencije.

2. Off line programiranje:

- Robotski programski jezici: Posebno dizajnirani jezici koji omogućuju pisanje složenih programa za izvršavanje zadataka. Ovi jezici su obično prilagođeni specifičnostima robotskih sustava i omogućuju visoku razinu kontrole i preciznosti.
- Opći programski jezici: Standardni programski jezici poput C++, Pythona ili Jave, mogu se koristiti za programiranje robota, posebice kada se integriraju s robotičkim API-jima ili razvojnim okruženjima. Pružaju fleksibilnost i moć za razvoj složenih i visoko prilagodljivih robota.

7.4. Razine programiranja

Programiranje robota uključuje više razina složenosti, koje se mogu razvrstati u tri glavne kategorije:

1. Upravljanje aktuatorima (Joint Level):

- Ova razina se odnosi na osnovno upravljanje pojedinačnim pokretima robota, posebno njegovih zglobova.
- Aktuatori su mehanički dijelovi robota koji omogućavaju kretanje, kao što su motori ili servomehanizmi koji pokreću zglobove.
- Programiranje na ovoj razini uključuje naredbe koje direktno kontroliraju položaj, brzinu i ubrzanje svakog aktuatora ili zgloba.
- Cilj je postići precizno pozicioniranje dijelova robota za izvršavanje specificiranih pokreta u prostoru.

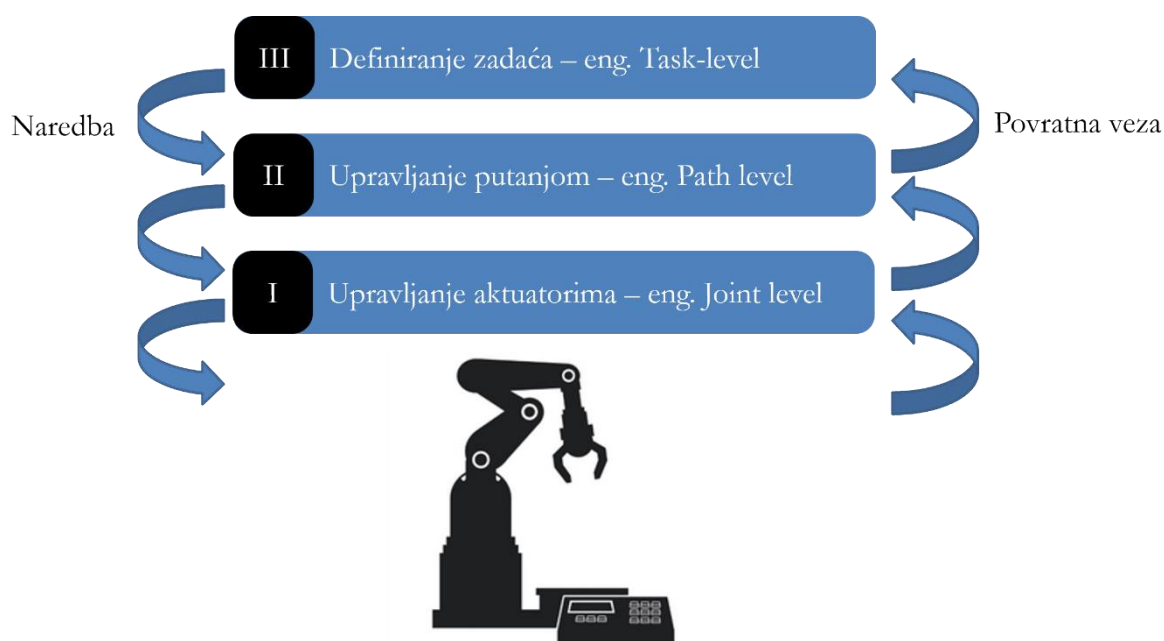
2. Upravljanje putanjom (Path Level):

- Na ovoj razini, koordiniraju se pojedinačni pokreti aktuatora kako bi se stvorila glatka i kontinuirana putanja za kretanje robota.
- Programer mora uzeti u obzir kinematiku i dinamiku robota, planirajući kako će se robot kretati iz jedne točke u prostoru u drugu.
- Uključuje metode, kao što su linearno i kružno interpoliranje, gdje se robotu nalaže da slijedi određenu putanju između unaprijed određenih točaka.
- Robotu se mora osigurati mogućnost izbjegavanja prepreka i izvođenje pokreta na efikasan i siguran način.

3. Definiranje zadaća (Task Level):

- Najviša razina programiranja robota uključuje definiranje složenih zadaća koje robot treba izvršiti.
- Ova razina uključuje razumijevanje i tumačenje zadataka koje robot treba izvesti, poput montaže, zavarivanja, ili pakiranja.
- Programer na ovoj razini koristi apstraktne naredbe koje opisuju zadatak, a robotski kontroler tada prevede te naredbe u konkretne putanje i pokrete aktuatora.
- Može uključivati integraciju s različitim sensorima i prilagodljivost u realnom vremenu, kako bi se robot mogao prilagoditi promjenama u okruženju ili zadatku.

Sve tri razine rade zajedno, kako bi omogućile robotima da izvode zadatke s visokim stupnjem autonomije i sofisticiranosti.



Slika 7.2 Razine programiranja robota

8. Siguran rad s robotima

Siguran rad s robotima izuzetno je važan, kako bi se osigurala zaštita svih uključenih osoba. Ključni aspekti zaštite pri radu s robotima su:

- Rad pri malim (kontroliranim) brzinama - rad s robotima pri niskim brzinama smanjuje rizik od ozljeda i omogućava bolju kontrolu nad robotom. Prije nego što se poveća brzina, uvijek provjerite i osigurajte da su svi sustavi robota ispravni.
- Siguran razmak od robota - važno je održavati siguran fizički razmak od robota dok je u pogonu. To će smanjiti rizik od kontakta s robotom i potencijalnih ozljeda. Ograničenja pristupa i fizičke barijere mogu pomoći u održavanju tog razmaka.
- Nikada vizualno ne blokirajte prostor između robota i osobe koja upravlja robotom (operater) - imajte jasnu liniju vidljivosti kako biste mogli pratiti rad robota i brzo reagirati na promjene ili hitne situacije.
- Testiranje programa u koračnom (STEP) načinu rada pri kontroliranim brzinama – izvršavanje liniju po liniju koda je posebno važno prilikom programiranja robota, kako biste osigurali da se robot ponaša onako kako je planirano, bez nepredviđenih problema ili opasnosti.
- Pravilno održavanje - redovito održavajte i servisirajte robota, kako biste osigurali da radi ispravno i sigurno. Provodite rutinske provjere sustava i po potrebi zamjenjujte oštećene dijelove.
- Sigurnosna obuka - svi operateri moraju proći odgovarajuću sigurnosnu obuku prije početka rada s robotima. Obuka uključuje: upoznavanje s osnovnim funkcijama robota, postupcima za siguran pokret i upravljanje robotom, identifikaciju i reakciju na hitne situacije.

8.1. Zaustavljanje rada manipulatora

Prema EN ISO 13850:2008, postoje tri načina za zaustavljanje rada manipulatora.

Kategorija zaustavljanja 2: Kontrolirano kočenje uz očuvanje povezanog napajanja servomotora. Robot se polako zaustavlja dok potpuno ne stane. Nakon zaustavljanja, servomotori i dalje primaju napajanje, a izvršenje programa je pauzirano. To omogućuje brzo nastavljanje operacija i ne skraćuje vijek trajanja servomotora. Robot se zaustavlja bez odstupanja od putanje kretanja. Sigurnosni sustav za kontrolu prati je li manipulator ostaje na položaju zaustavljanja.

Kategorija zaustavljanja 1: Kontrolirano kočenje isključivanjem napajanja servomotora nakon što su

se zaustavili. Manipulator se usporava dok potpuno ne stane. Rad servomotora omogućuje kočenje. Kada se to dogodi, kočnice se aktiviraju i servomotori se isključuju iz napajanja.

Kategorija zaustavljanja 0: Neupravljano kočenje, putem trenutnog isključivanja napajanja od pogonskih mehanizama. Ova vrsta prekida rada događa se kada se pritisne tipka za hitno zaustavljanje (e-stop). Kada se primi signal zaustavljanja, servomotori se odmah isključuju iz napajanja i kočnice se istovremeno primjenjuju. Prioritet je zaustaviti manipulator što je prije moguće, stoga se ovom metodom kočenja ne održava putanja robota, što može dovesti do skraćivanja vijeka trajanja mehanizama robota. U slučaju opasnosti za život ili zdravlje, signal kategorije "0" treba uvijek izdati. Ovo je najbrži način zaustavljanja robota. Nastavak rada zahtijeva ručnu vožnju do jedne od programskih točaka, kako bi robot mogao vratiti svoju putanju i započeti ponovo rad od točke s poznatim koordinatama.

9. Oprema

FANUC edukacijski paketi, uključujući obrazovnu ćeliju s industrijskim robotom FANUC ER-4iA te opciju sa suradničkim robotom FANUC CRX, predstavljaju značajan korak u pružanju sveobuhvatnog obrazovanja u području robotike. Ove opcije omogućavaju obrazovnim institucijama da polaznicima pruže praktično iskustvo s različitim koncepcijama automatizacije.

Ovi obrazovni paketi imaju svoju primjenu u naprednim tečajevima programiranja, gdje se obrađuje složene algoritme i tehnike upravljanja za industrijsku automatizaciju. Osim praktičnog rada, ove obrazovne ćelije mogu se koristiti i za istraživačke projekte na kojima se može eksperimentirati s novim tehnologijama i pristupima u robotici. Pružanje mogućnosti izbora između različitih tipova omogućava korisnicima stjecanje širokog spektra vještina i znanja, što je izuzetno važno u brzorastućem i razvijajućem području industrijske automatizacije i robotike.

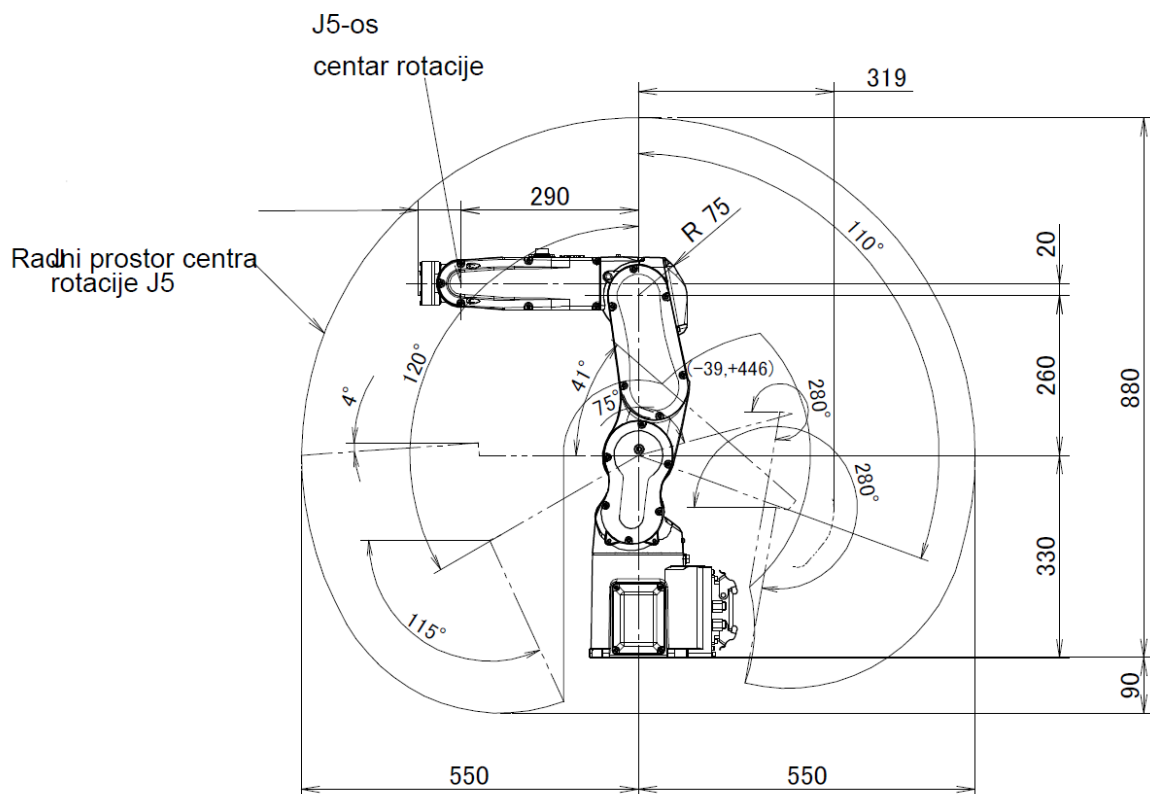
9.1. Karakteristike robota

Edukacijski paket s robotom FANUC ER-4iA

Tablica 9.1 Osnovne tehničke karakteristike robota FANUC ER-4iA

Broj osi	6	
Težina	20 kg	
Doseg	550 mm	
Točnost ponavljanja	± 0.01 mm	
Maksimalna nosivost na zglobu	4 kg	
Opseg gibanja	J1	340°
	J2	230°
	J3	402°
	J4	380°

	J5	240°
	J6	720°
Maksimalna brzina	J1	460°/s
	J2	360°/s
	J3	520°/s
	J4	560°/s
	J5	560°/s
	J6	900°/s

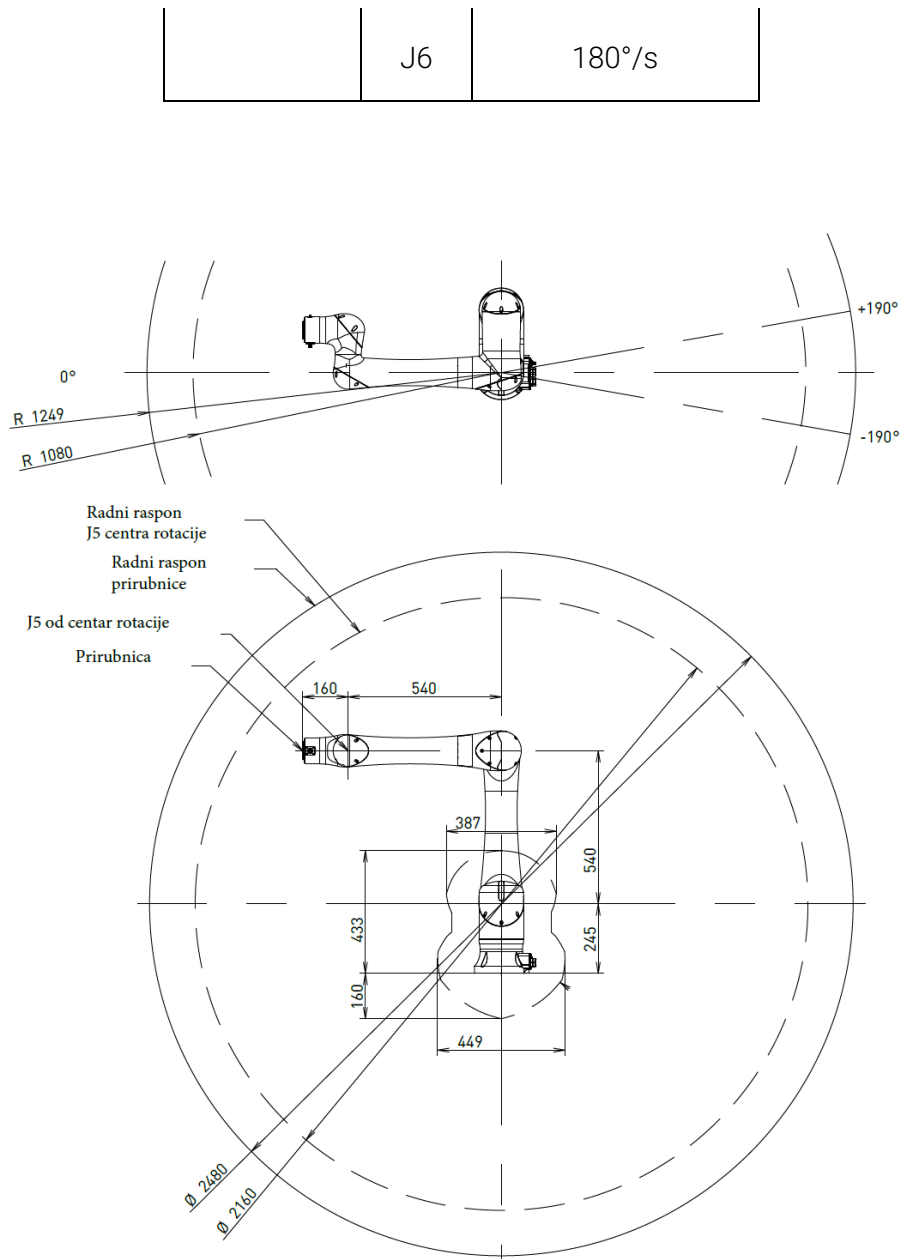


Slika 9.1 Radni prostor Fanuc ER-4iA (izvor Fanuc robotics)

Edukacijski paket s robotom FANUC CRX-10iA

Tablica 9.2 Osnovne tehničke karakteristike robota FANUC CRX-10iA

Broj osi	6	
Težina	40 kg	
Doseg	1249 mm	
Točnost ponavljanja	± 0.04 mm	
Maksimalna nosivost na zglobu	10 kg	
Opseg gibanja	J1	380°
	J2	360°
	J3	570°
	J4	380°
	J5	360°
	J6	450°
Maksimalna brzina	J1	120°/s
	J2	120°/s
	J3	180°/s
	J4	180°/s
	J5	180°/s



Slika 9.2 Radni prostor Fanuc CRX-10iA (izvor Fanuc robotics)

9.2. Upravljačka jedinica



Slika 9.3 Tipovi Fanuc upravljačkih jedinica

Upravljačka jedinica koristi se za upravljanje robotima. Softver upravljačke jedinice nije baziran na platformi osobnih računala, tako da nije podložan napadu računalnih virusa. Zahvaljujući vlastitom softveru, vrijeme ponovnog paljenja (engl. reset) upravljačke jedinice i spremnosti za rad u manje od jedne minute, znatno povećava radno vrijeme robota.

U slučaju gubitka električne energije, postoji sigurna zaštita od gubitka podataka.

Upravljačka jedinica posjeduje sigurnosni sustav koji prati rad servomotora robota i u slučaju bilo kakve greške ga zaustavlja. Kontinuirano se prati temperatura svakog servomotora te u slučaju pregrijavanja upravljačka jedinica zaustavlja rad robota te se ispisuju podatci o grešci. Također se

kontinuirano prati opterećenje motora. Prilikom njihovog preopterećenja, dolazi do trenutnog zaustavljanja motora.

9.3. Upravljačka konzola

Upravljačka konzola (engl. Teach pendant) prikazana na slici Slika 9.4 služi za programiranje robota, za njegovo ručno pomicanje, za pregled informacija o robotu te različita upozorenja i druge operacije. Na upravljačkoj konzoli može se prikazivati slika s kamere robota, mogu se pregledavati internet stranice (uvjet je da je upravljačka jedinica spojena na mrežni čvor koji ima pristup internetu), itd.

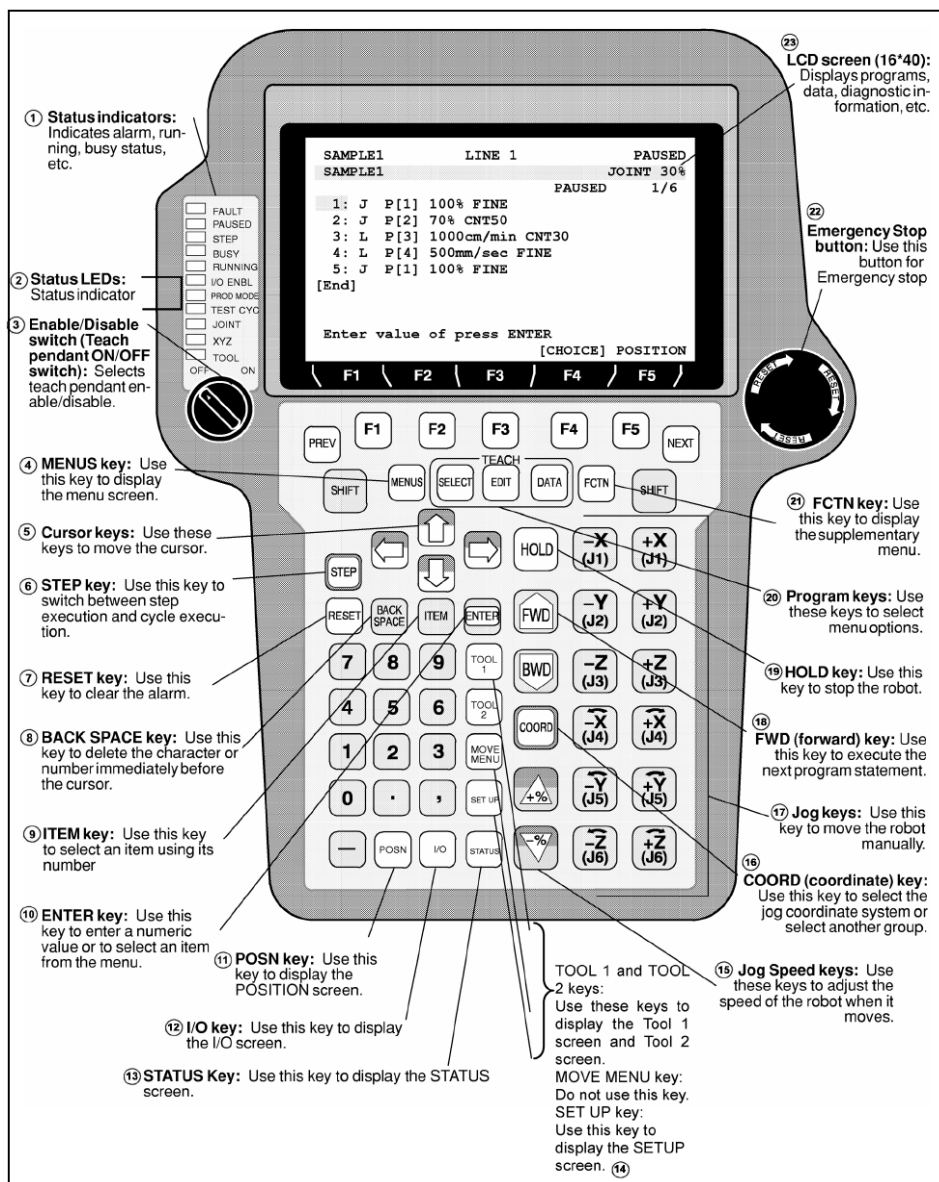


Slika 9.4 Upravljačka konzola - iPendant

Neke od osnovnih radnji za koje se može koristiti upravljačka konzola su:

- Jog – ručno pokretanje robota
 - Ručno pokretanje robota omogućava pokretanje vrha središta alata u korisničkom koordinatnom sustavu (eng. user frame), koordinatnom sustavu svijeta robota (engl.

- world frame) ili koordinatnom sustavu alata (engl. tool frame) i to trima translacijama (x, y, z) i trima rotacijama (w, p, r)
- Moguće je pokretanje robota zasebno oko svake od šest osi.
 - Pregled trenutne pozicije robota
 - Trenutna pozicija robota u korisničkom koordinatnom sustavu, koordinatnom sustavu svijeta robota
 - Trenutna rotacija svakog od šest zglobova
 - Pregled stanja ulaznih i izlaznih signala (digitalnih, analognih, grupnih, signala robota)
 - Pisanje programa – primjer pisanja jednostavnog programa:
 - Definiranje koordinatnog sustava robota
 - Definiranje koordinatnog sustava alata
 - Unos ili učenje točaka
 - Kreiranje gibanja
 - Slanje i čekanje digitalnih signala
 - Slanje robotskih signala (kontrola stanja hvataljke robota)
 - Petlje
 - Odlučivanje
 - Vremenska stanka (engl. wait)



Slika 9.5 Prikaz upravljačke konzole s pojašnjenjem namjene pojedinih tipki

Opis pojedine tipke (Slika 9.5):

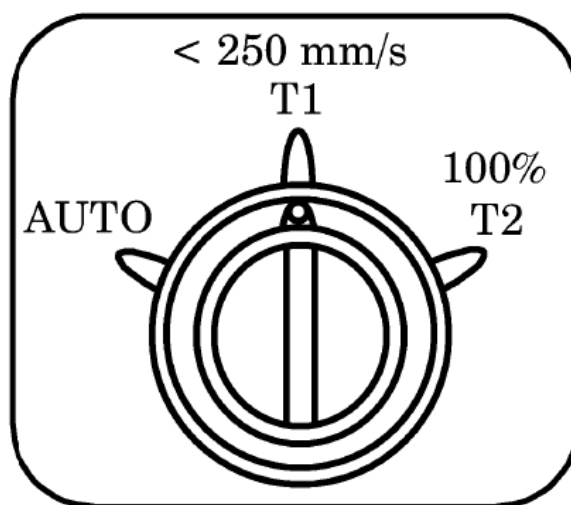
1. Indikator stanja (engl. *status indicator*) – označava alarm, u radu, zauzet...
2. LED diode stanja – na upravljačkoj konzoli upravljačke jedinice R 30iA Mate ove se oznake nalaze na zaslonu upravljačke konzole
3. Omogućena / onemogućena (engl. *enable - disable*) upravljačka konzola – ON/OFF sklopka
4. Tipka *izbornik* (engl. *menu*) – služi za prikazivanje glavnog izbornika
5. Tipke pokazivača (engl. *cursor*) – služe za pomicanje pokazivača
6. Tipka *korak* (engl. *step*) – služi za promjenu načina rada između koračnog i kontinuiranog načina izvršavanja naredbi
7. Tipka za vraćanje na izvorne postavke (engl. *reset*)

8. Tipka pomak unatrag (engl. *backspace*) – koristi se za brisanje broja ili znaka koji se nalazi prije pokazivača
9. Tipka predmet (engl. *item*) – koristi se za označavanje predmeta koristeći njegov broj
10. Tipka unos (engl. *enter*) – koristi se za upis numeričke vrijednosti ili znaka, označavanje programa, potvrde predmeta sa izbornika, itd...
11. Tipka pozicije (POSN, engl. *position*) – koristi se za prikaz zaslona pozicija robota
12. Tipka ulaz/izlaz (I/O, eng. *input/output*) – koristi se za prikaz zaslona sa ulazno- izlaznim signalima robota
13. Tipka stanja (engl. *status*) – Koristi se za prikaz zaslona sa stanjem robota
14. Tipke alata (engl. *tool*) – prikaz zaslona alata
15. Tipka brzine kretanja robota (engl. *jog speed*) – koristi se za određivanje brzine robota prilikom izvođenja naredbi gibanja
16. Tipka koordinatnih sustava (COORD, engl. *coordinate*) – koristi se za izbor koordinatnog sustava robota
17. Tipka za ručno pomicanje robota (engl. *Jog*) – ručno pomicanje robota
18. Tipka naprijed (FWD, engl. *forward*) –koristi se za izvođenje sljedeće naredbe u programu
19. Tipka čekanja (engl. *hold*) – koristi se za zaustavljanje robota
20. Tipke programa (engl. *program keys*) – koriste se za izbor opcija izbornika
21. Tipka funkcije (FCTN) – prikaz dodatnog izbornika
22. Tipka hitnog zaustavljanja (engl. *emergency stop button*) – koristi se za zaustavljanje rada robota
23. LCD ekran upravljačke konzole

10. Osnove rada s robotom

10.1. Način rada robota

Na upravljačkoj jedinici se nalazi prekidač s tri pozicije. Prekidač služi za biranje optimalnog načina rada robota prema zahtjevima i okolnostima. Tri operacijska načina rada su: AUTO, T1 i T2.



Slika 10.1. Prekidač za odabir načina rada

10.1.1. T1 (<250 mm/s): Testni način rada 1

Ovaj način rada je predviđen za korištenje prilikom učenja pozicija kod rada robota. Također se koristi za ispitivanje programa, tj. putanja robota, sadržanih u programskom kodu pri malim brzinama.

Programi se izvršavaju uz pomoć upravljačke konzole. Brzina pomicanja robota uz pomoć tipki na upravljačkoj konzoli je ograničena na 250 mm/s. Brzina prilikom izvođenja programa se može dovesti do 100%, ali je tih 100% ograničeno na maksimalnu brzinu od 250 mm/s. Npr. ako je zadana brzina 300 mm/s, ona će biti ograničena na 250 mm/s. Ako je brzina na primjer 200 mm/s, neće se promijeniti. Ako se brzina ograniči na 50%, to znači da će tada maksimalno ostvariva brzina biti 125 mm/s.

10.1.2. T2 (100%): Testni način rada 2

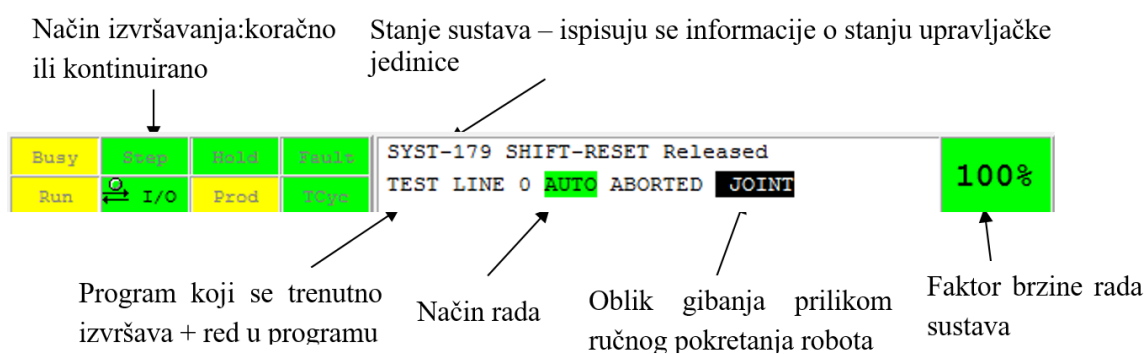
T2 je način rada namijenjen za konačnu provjeru kreiranog programa. U T1 načinu rada nemoguće je provjeriti stvarne putanje i vrijeme ciklusa jer je ograničena brzina izvođenja. U T2 načinu to je moguće, jer robot radi pri proizvodnim brzinama, zato što ne postoji ograničenje brzine. Program se može pokretati isključivo uz pomoć upravljačke konzole. Brzina pomicanja robota, uz pomoć tipki na upravljačkoj konzoli, ograničena je na 250 mm/s.

10.1.3. AUTO: Automatski način rada

Automatski način rada je namijenjen za uporabu prilikom proizvodnje. Programi se mogu izvoditi uz pomoć vanjskih uređaja. Nije moguće izvoditi program upotrebom upravljačke konzole. U ovom načinu rada robot može ostvariti maksimalne moguće brzine.

10.2. Navigacija na upravljačkoj konzoli

10.2.1. Traka sa informacijama (Status bar)



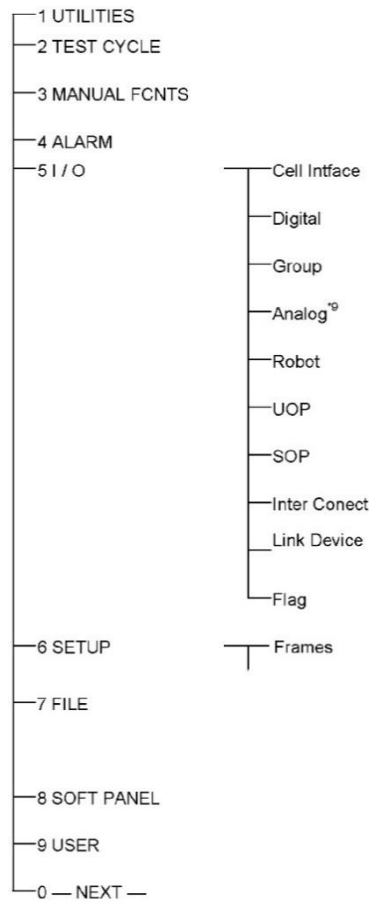
Slika 10.2 Informacijska traka

10.2.2. Funkcijski izbornik (Fctn)

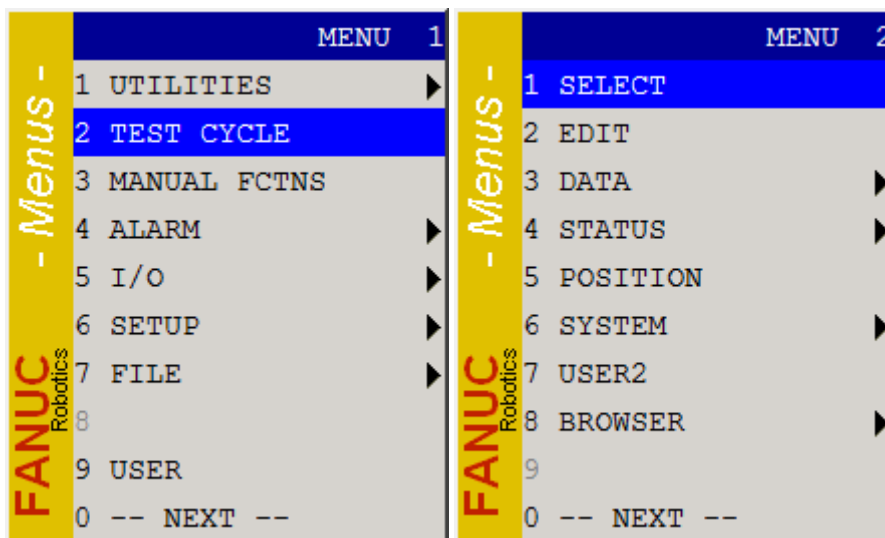
FUNCTION 1		FUNCTION 2	
FANUC Robotics - Functions -	1 ABORT (ALL)	FANUC Robotics - Functions -	1 QUICK/FULL MENUS
	2 Disable FWD/BWD		2 SAVE
	3		3 PRINT SCREEN
	4		4 PRINT
	5		5
	6		6 UNSIM ALL I/O
	7 RELEASE WAIT		7
	8		8 CYCLE POWER
	9		9 ENABLE HMI MENUS
	0 -- NEXT --		0 -- NEXT --

Slika 10.3. Funkcijski izbornik

10.2.3. Menu izbornik



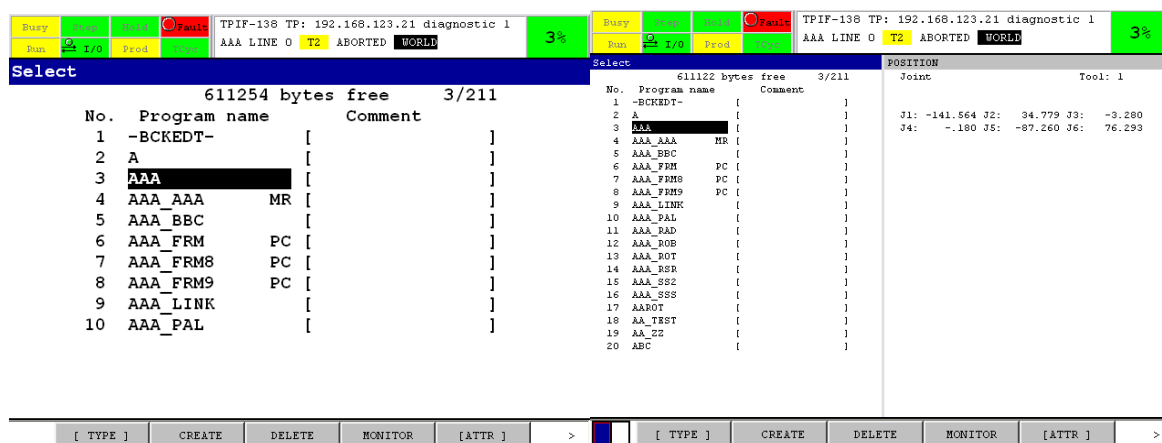
Slika 10.4 Pregled često korištenih funkcija



Slika 10.5. Menu izbornik

10.2.4. Višestruki prikazi


Prilikom izvršavanja ili oblikovanja programa često je poželjno imati uvid u druge segmente rada, kao što su stanje registara, signala i sl. . Za aktiviranje izbornika višestrukih prikaza pritisnite SHIFT+DISP. Odabirom Double otvaraju se dva ekrana. Ako iPendant ima dodirni zaslon, možete jednostavno dodirnuti jedan od prozora kako biste ga doveli u fokus. Ako nema dodirnog zaslona, morate koristiti tipku DISP za prolazak kroz njih.

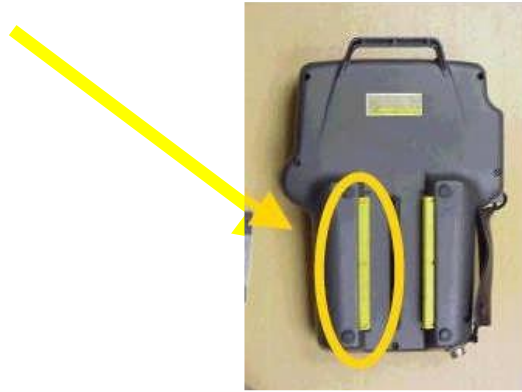


Slika 10.6 Prikaz jednog ili dva prozora na zaslonu

10.3. Ručno pokretanje robota

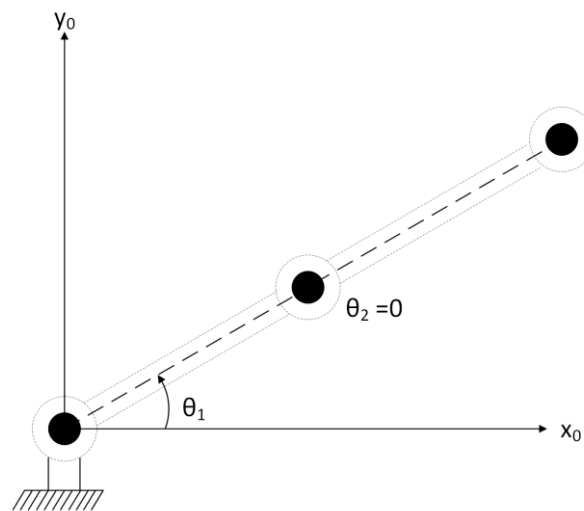
Sljedeći uvjeti moraju biti zadovoljeni za uspješno izvođenje:

1. Upravljačka konzola upaljena - ON 
2. Deadman switch (DS)
3. Poništenje grešaka – kombinacija tipki SHIFT + Reset
4. Pritisak na tipke za ručno pokretanje robota
5. Tipka COORD (bez SHIFT) definira tip koordinatnog sustava za pokretanje robota
 - JOINT – definiranje kutova zakreta pojedinog zgloba
 - WORLD – kartezijski koordinatni sustav
 - USER – kartezijski koordinatni sustav
 - TOOL – kartezijski koordinatni sustav



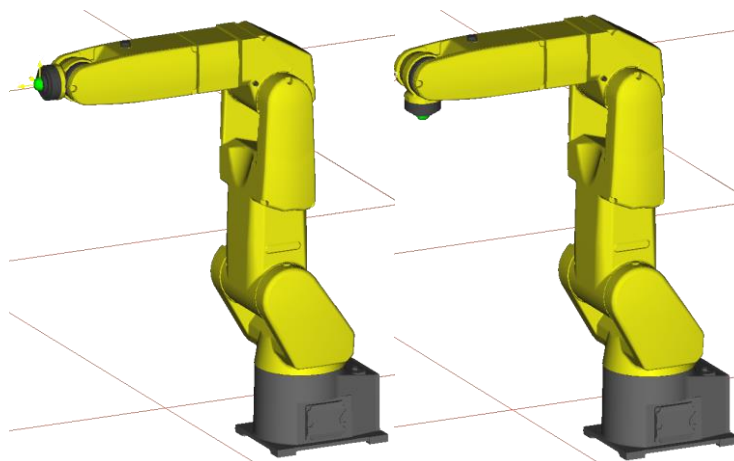
Slika 10.7 Deadman switch

10.3.1. Singularnost



Slika 10.8 Slučaj singularnosti

Prilikom pokretanja mehaničke jedinice robota u kartezijskim koordinatama, neovisno o tome radi li se o ručnom ili programskom kretanju, mora se osigurati konfiguracija zglobova koja ne izaziva singularitet prilikom rješavanja inverznog kinematičkog problema. Kolinearnost osi četvrtog i šestog zgloba dovodi do takvog slučaja.

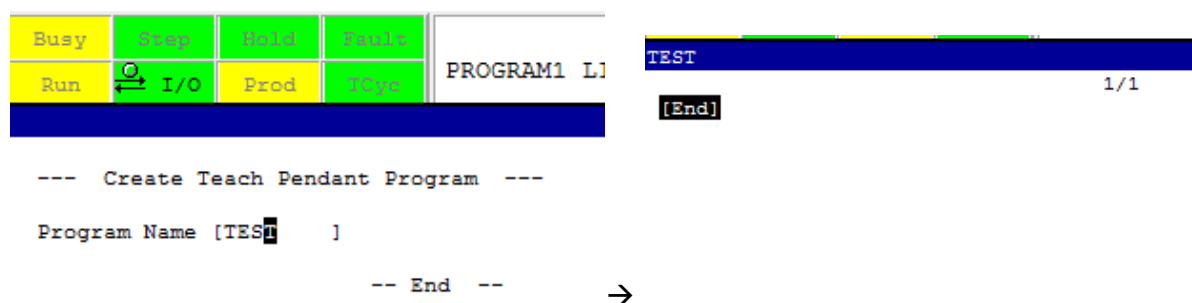


Slika 10.9 Lijevi robot – osi zglobova 4 – 6 kolinearne; Desni robot – osi zglobova 4 i 6 pod kutom od 90°

Zbog toga je potrebno, primjerice, os 5 zakrenuti za -90° . Izravno definiranje kuta zakreta pojedinog zgloba robota, te definiranje pomaka vrha alata unutar određenog koordinatnog sustava, moguće je napraviti pomoću izbornika *Current position* na upravljačkoj konzoli.

10.4. Izrada programa na upravljačkoj konzoli

Za izradu programa na upravljačkoj konzoli potrebno je pritisnuti tipku *SELECT* → te *Create* (F2). Nakon upisa naziva programa i pritisnute tipke *ENTER* dobiva se prazan *EDITOR* programa.

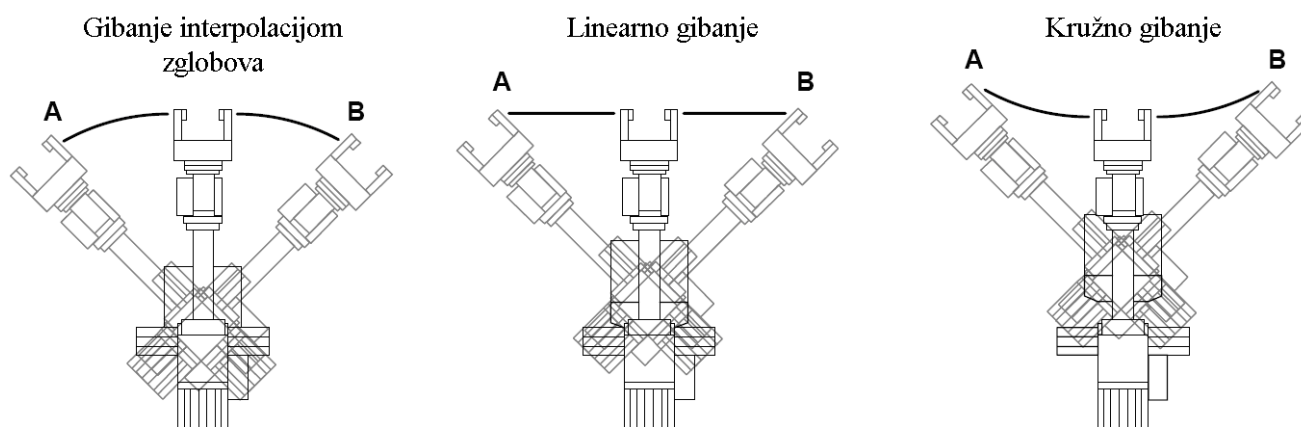


Slika 10.10 Novi program na upravljačkoj konzoli

Spremanje trenutne pozicije obavit će se pomoću tipke *POINT* (F1). Oznaka @, ako se nalazi ispred određene točke, označava da se robot trenutačno nalazi u toj točki

11. Osnove gibanja

Gibanje robota, tj. gibanje središta alata, može biti linearno, kružno ili nepravilno. Prilikom gibanja središte alata mora proći kroz određene točke, a način gibanja između tih točaka može biti različit, kako je to prikazano na slici 11.1



Slika 11.1 Vrste gibanja središta alata robota

11.1.1. Interpolacija gibanja zglobovima

Prilikom interpolacije gibanja zglobovima sve osi robota pokreću se u isto vrijeme i zajedno se počinju usporavati. Dobivena trajektorija nije jednostavnog geometrijskog oblika, ali ju je moguće ponoviti. Gibanje se definira izračunavanjem najdužeg vremena koje je potrebno jednoj od šest osi da napravi zadano gibanje definiranom brzinom. Ova os se naziva i ograničavajuća os (engl. limiting axis). Tada se brzina ostalih osi podešava prema najsporijoj, te se gibanje izvršava.

Sintaksa za ovu vrstu gibanja je sljedeća:

```
1: J P[1] 50% FINE
```

Vrh središta alata giba se do točke P[1] brzinom od 100 mm/s. Ključna riječ FINE predstavlja način izvršavanja gibanja. (Slika 11.3)

11.1.2. Linearna interpolacija gibanja

Pravila koja vrijede prilikom gibanja središta alata linearnom interpolacijom su sljedeća:

- Središte alata giba se po ravnoj liniji od početne do završne točke definiranom brzinom
- Orijentacija alata jednoliko se mijenja od početne do završne točke

Sintaksa za ovu vrstu gibanja je sljedeća:

```
1: L P[2] 200mm/sec CNT 100
```

Vrh središta alata giba se do točke P[2] brzinom od 200 mm/s. Vrh središta alata giba se do točke P[1] brzinom od 100 mm/s. Ključna riječ CNT predstavlja način izvršavanja gibanja (Slika 11.3).

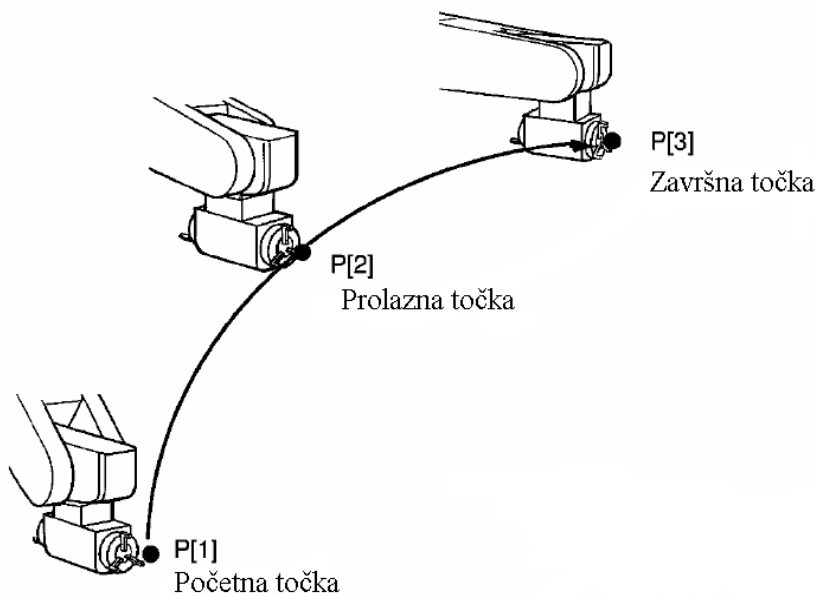
11.1.3. Kružna interpolacija gibanja

Sljedeća pravila vrijede prilikom gibanja središta alata kružnom interpolacijom:

- Središte alata giba se po kružnom luku od početne do završne točke definiranom brzinom
- Također se definira prolazna točka koja određuje radijus kružnog luka
- Naredba za upravljačku konzolu koja izvršava kružno gibanje iz trenutne točke 1 kroz točku 2 do završne točke 3 (Slika 11.2) je sljedeća:

```
1: J P[1] 100% FINE
2: C P[2]
3: C P[3] 500 mm/sec FINE
```

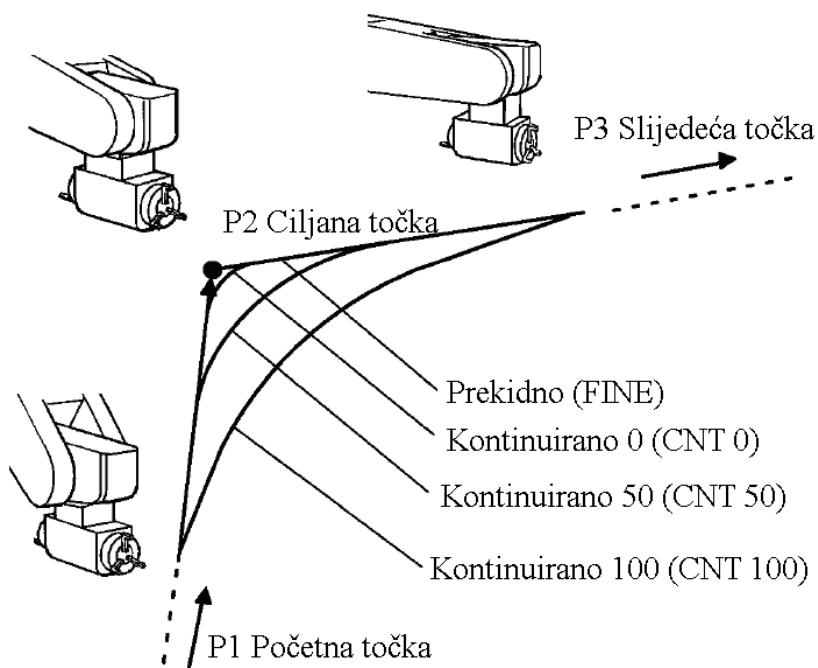
Vrh središta alata giba se od točke P[1] brzinom od 500 mm/s do točke P[3] kroz točku P[2]. Ključna riječ FINE predstavlja način izvršavanja gibanja. (Slika 11.3)



Slika 11.2 Kružna interpolacija gibanja

11.1.4. Način izvršavanja zadanog gibanja

Svako gibanje je moguće izvršiti na dva različita načina. Vrh središta alata prilikom prolaska kroz definiranu točku može proći točno kroz točku, ili ju zaobići u određenom luku. Ova dva načina gibanja prikazana su na slici Slika 11.3




Slika 11.3 Način izvršavanja zadanog gibanja središta alata

Izvršavanje prekidnog kretanja (engl. Fine) dovodi središte alata u svaku definiranu točku te u njoj dolazi do zaustavljanja, a potom kretanja u sljedeću točku. Druga vrsta gibanja je kontinuirano (engl. Continuous - CNT). Uz ovaj način izvršavanja potrebno je upisati cjelobrojni broj od 0 do 100, gdje veći broj predstavlja veću udaljenost središta alata prilikom njegovog prolaska pored zadane točke (Slika 11.3). Postavka CNT 100 znači da ne dolazi do deceleracije vrha alata prilikom prolaska pored zadane točke.

11.2. Ručno pokretanje programa

Sljedeći uvjeti moraju biti zadovoljeni za uspješno ručno pokretanje programa:

1. Gljiva na upravljačkoj konzoli i upravljačkoj jedinici je izvučena
2. Postavka rada u T1 – testni mod (max 250mm/s)!
3. Upravljačka konzola je upaljena - ON 
4. Prekid postojećeg programa – izvršava se tipkom Fctn te izborom (1) Abort all
5. Deadman switch (DS)
6. Poništenje grešaka – kombinacija tipki SHIFT + Reset
7. Program mora biti označen - I te tipka ENTER nakon pritiska na tipku Select upravljačke konzole ili označena prva linija koda unutar programa
8. Tipka FWD pokreće program

STEP način rada

Prilikom testiranja, te pogotovo kod prvog pokretanja programa, potrebno je na upravljačkoj konzoli izabrati koračni režim rada (*STEP*) kako bi se program testirao liniju po liniju. Pritisnite tipku STEP i vidjet ćete uključen indikator koraka na vrhu zaslona. Pritiskom na SHIFT+FWD izvršava se samo jedna instrukcija, pauzirajući zadatak nakon što je gotov.

Kretanje unatrag

Kada prođete kroz nekoliko redaka koda i pritisnete SHIFT+BWD vidjet ćete kako se robot pomiče natrag kroz kod. Možda će vam biti korisno koračati naprijed-natrag kroz svoje izjave o kretanju, kako biste fino prilagodili položaje, brzine i CNT-vrijednosti.

11.3. Definiranje i izmjena pozicija

Prilikom oblikovanja programa novu točku definiramo spremanjem trenutne pozicije pomoću tipke POINT (F1). Oznaka @ koja se nalazi ispred određene točke označava da se robot trenutno nalazi u toj točki. No, ako točka nije točno tamo gdje želite, može se i naknadno ažurirati tu poziciju na dva načina: „Direct-Entry“ i „Touch Up“.

Direct entry

Pomaknite kursor dok ne označite broj između P[] zagrada. U donjem izborniku će se pojaviti opcija „Position“ kao softverska tipka F5 (NAPOMENA: možda ćete morati pritisnuti Next da biste je prikazali). Kada pritisnete F5 možete vidjeti stvarne kartezijske koordinate P[]. Ovdje ih možete promijeniti, ali budite oprezni, jer za ovu radnju nema potvrde. Ako pogrešno upišete broj možete sudariti robota ili učiniti položaj nedostižnim.

Touch Up

Postavite robota na novi položaj i zatim pomaknite kursor tako da bude na liniji s naredbom pokreta na P[]. Pojavit će se softverska tipka TOUCHUP iznad F5. Pritiskom na F5 točka se ne bi smjela izmijeniti, jer je ugrađen sigurnosni element koji sprječava korisnike da slučajno izmijene pozicije. Kontroler zahtijeva da pritisnete SHIFT i F5 u isto vrijeme za eventualnu izmjenu.

11.4. Rad sa makro (macro) programima

MAKRO je robotski program koji je sličan uobičajenom TP programu, a razlika je u tome da nam nudi i dodatne mogućnosti. Možemo ga izvesti iz:

- TP programa;
- Pritiskom na korisnički definiranu tipku;
- Ulaznim signalom (DI, RI, GI).

Postavke makro naredbi

Postavkama makro naredbi možemo pristupiti pomoću izbornika

MENU -> SETUP -> MACRO

Macro Command			
1/150			
	Instruction name	Program	Assign
1	[Open hand 1	][	]MF[1]
2	[Close hand 1	][	]MF[2]
3	[Relax hand 1	][	]MF[3]
4	[Open hand 2	][	]MF[11]
5	[Close hand 2	][	]MF[12]
6	[Relax hand 2	][	]MF[13]
7	[	][	]--[ 0]
8	[	][	]--[ 0]
9	[	][	]--[ 0]
10	[	][	]--[ 0]

[TYPE] CLEAR [CHOICE]

Slika 11.4 Postavke makro naredbi

Ovdje možemo definirati imena naših makro naredbi i dodijeliti njihovo izvršavanje korisničkim tipkama, digitalnim i robotskim ulazima, itd.

Postavke makro programa

U listi postojećih programa izaberemo željeni makro program i pristupimo njegovim svojstvima uz pomoć naredbe DETAIL (tipka F2)

Program detail	
7/7	
Positions:	FALSE Size: 132 Byte
Program name:	
1	MAK
2	Sub Type: [Macro]
3	Comment: []
4	Group Mask: [*,*,*,*,*,*,*]
5	Write protect: [OFF]
6	Ignore pause: [OFF]
7	Stack size: [300]

END PREV NEXT

Slika 11.5 Postavke makro programa

Kod makro programa kao Sub Type potrebno je odrediti da se radi o makro programu

Ako program ne sadrži naredbe gibanja, potrebno je definirati Group Mask kao na slici 11.5. To nam omogućava pokretanje programa kada nije moguće izvoditi naredbe koje uključuju kretanje.

11.5. Dodatne opcije za rad s programima upravljačke konzole - EDCM izbornik

Namjena EDCMD menija je editiranje TP programa. EDCMD se nalazi iznad funkcijske tipke F5. Ako se iznad F5 ne nalazi EDCMD meni, pritisnemo tipku NEXT.

Meni obuhvaća sljedeće funkcije:

1. INSERT
2. DELETE
3. COPY (+ PASTE)
4. FIND
5. REPLACE
6. RENUMBER
7. COMMENT
8. UNDO

INSERT

Funkcija INSERT ubacuje prazne programske redove u robotski program. Prazan programski red ubacuje se u red iznad kursora.

F5;

INSERT;

(How many lines to insert?);

Upišemo željeni broj praznih programskih redova;

ENTER.

DELETE

Funkcija DELETE briše programske redove TP programa

F5;

DELETE;

(Delete line (s)?);

Kursorskim tipkama, ili definiranjem područje koje želimo izbrisati;

ENTER

COPY

Funkcija COPY kopira programske redove na drugu lokaciju

F5;

COPY;

Kursorskim tipkama, ili definiranjem područja koje želimo kopirati

COPY.

Kursor premjestimo na programski red na koji želimo kopirati izabrane redove programa i izaberemo PASTE.

Nakon izbora PASTE, editor nam nudi sljedeće opcije:

F2 –LOGIC

(kopira se logika, brojevi pozicija ostaju prazni, pozicije se ne kopiraju);

F3 –POS-ID

(kopiraju se pozicije i brojevi pozicija);

F4 –POSITION

(kopiraju se pozicije, broj pozicije se ne kopira, nego se povećava na sljedeći slobodan broj pozicije);

F5 –CANCEL.

FIND

Funkcija u programu traži navedeni niz, odnosno naredbu.

REPLACE

Koristi se za zamjenu naredbi u TP programu.

F5

REPLACE

RENUMBER

Nakon brisanja i ubacivanja novih pozicija može se dogoditi da brojevi pozicija u TP programu nisu u pravom redoslijedu (1,4,3,2). Funkcijom RENUMBER pozicije se ponovo prenumeriraju, tako da budu u logičnom slijedu (1, 2, 3, 4).

COMMENT

Funkcija COMMENT uključi ili isključi prikaz komentara.

R[1: Brojac] s komentarom

R[1:] bez komentara

UNDO

Vrati stanje prije izvođenja posljednje funkcije.

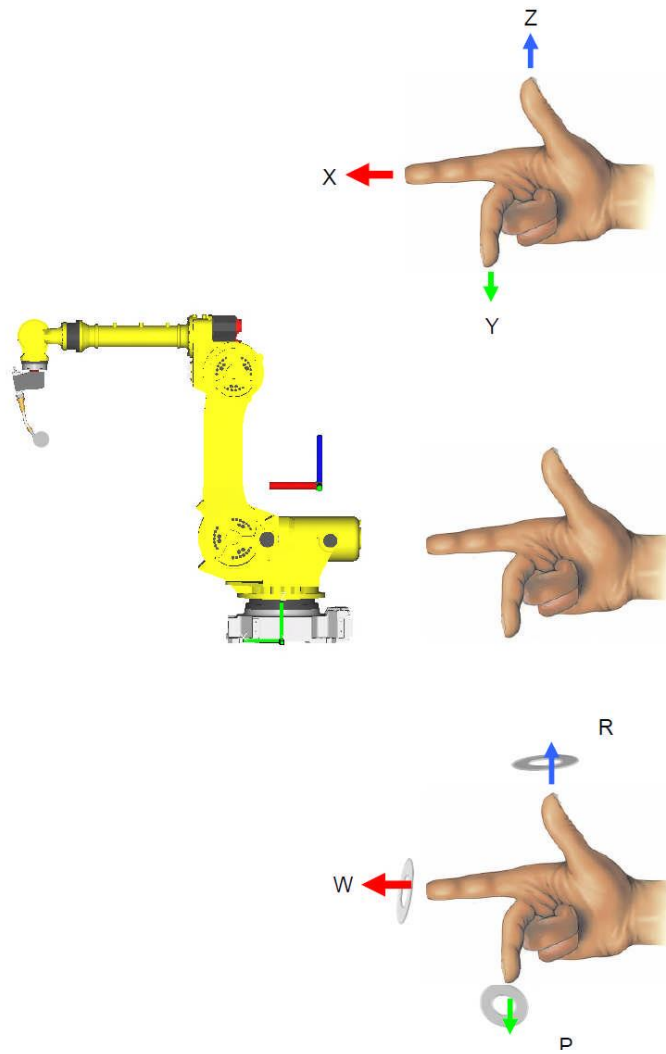
12. Koordinatni sustavi i konfiguracije

Kada govorimo o ručnom režimu rada industrijskih robota, kao što su FANUC roboti, kretanje u četiri različita koordinatna sustava igra ključnu ulogu. Svaki od ovih koordinatnih sustava ima svoje specifičnosti i primjene, što omogućava operaterima da precizno i efikasno manipuliraju robotom za obavljanje različitih j zadataka . Ova četiri koordinatna sustava su:

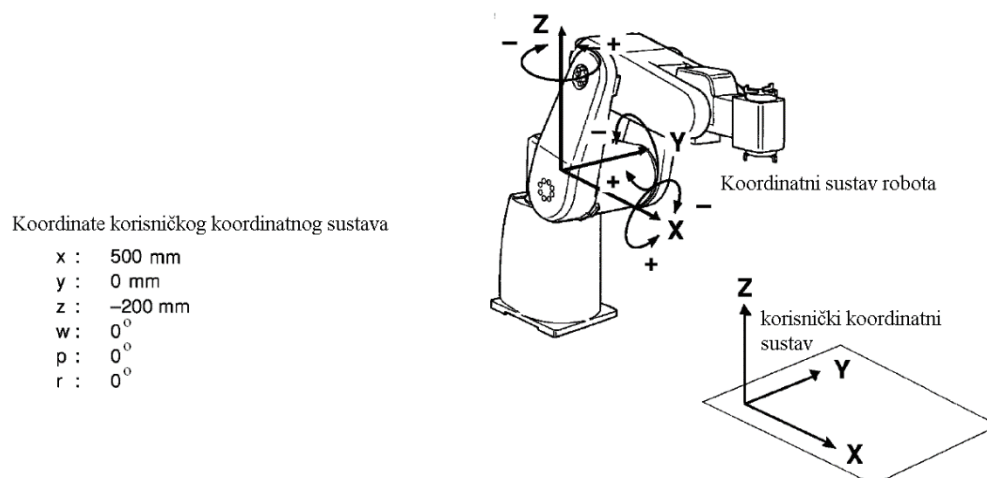
- WORLD FRAME – kartezijski (pravokutni) bazni koordinatni sustav
- JOINT FRAME - koordinatni sustav osi
- TOOL FRAME - koordinatni sustav alata
- USER FRAME – korisnički koordinatni sustav

12.1. Koordinatni sustav robota – world frame i user frame

Po standardnim postavkama koordinatni sustav robota definiran je u određenoj točki tijela robota. Ovaj koordinatni sustav je kartezijski, pravokutni, desnokretni koordinatni sustav. Pravokutni koordinatni sustav možemo u prostoru jednostavno predočiti pravilom desne ruke (Slika 12.1). Svaki korisnički koordinatni sustav definira se u odnosu na ovaj osnovni koordinatni sustav i to prostornom translacijom po tri osi - x, y i z; te redom rotacijama oko tih triju osi – w, p i r. Moguće je definirati do devet korisničkih koordinatnih sustava. Prikaz koordinatnih sustava prikazan je na slici 12.2.



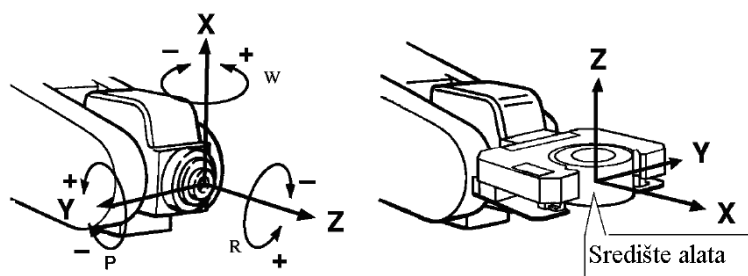
Slika 12.1 Pravilo desne ruke



Slika 12.2 Koordinatni sustav robota, korisnički koordinatni sustav

12.2. Koordinatni sustav alata

Ovisno o alatu koji robot koristi (npr. različite hvataljke) mora se definirati koordinatni sustav alata kako bi vrh alata uvijek izvršavao željeno gibanje. Analogno preddefiniranom koordinatnom sustavu svijeta robota, postoji i preddefinirani koordinatni sustav prihvata alata. On se nalazi, kako je prikazano na slici 12.3, u osi šestog zgloba. Prema ovoj točki dalje se definira svaki koordinatni sustav alata. Upravljačka jedinica ima mogućnost definiranja do deset koordinatnih sustava alata. Koordinatni sustav alata definira se pomakom po tri osi i rotacijama od točke prihvata alata.



Slika 12.3 Točka prihvata alata (lijevo) i koordinatni sustav središta alata (desno)

12.3. Izbor aktivnog koordinatnog sustava

Prije upotrebe moramo aktivirati odabrani koordinatni sustav. To možemo napraviti na nekoliko načina:

Unutar upravljačkog programa

[INST] -> OFFSET/FRAMES -> UTOOL_NUM=....

Napomena: Poželjno je vršiti pozivanje koordinatnih sustava unutar programa, jer tako možemo biti sigurni da je aktiviran koordinatni sustav u kojemu su zapisane naše točke.

Prečicom preko COORD tipke

Kombinacijom tipki SHIFT+COORD. U gornjem desnom kutu pojavi se meni. Kursorskim tipkama osvjetlimo željeno polje i upišemo odgovarajući ID broj koordinatnog sustava.

Preko menija za izbor koordinatnih sustava

MENU -> SETUP -> FRAMES -> TYPE -> TOOL FRAME/USER FRAME -> SETIND -> željeni broj

Izborom aktivnog koordinatnog sustava utječe se na referencu prilikom ručnog pomicanja robotske ruke u USER načinu.

12.4. Offset i tool offset

OFFSET je naredba kojom možemo jednu točku, više točaka ili cjelokupan program pomaknuti bez promjene programa.

Naredba za kretanje s dodatnom OFFSET naredbom, s obzirom na aktivni korisnički koordinatni sustav.

Sintaksa:

```
1: J P[1] 50% FINE Offset, PR[...]
```

TOOL OFFSET je naredba kojom možemo odrediti odmak pozicije robota od zadane točke, s obzirom na koordinatni sustav alata.

Sintaksa:

```
1: J P[1] 50% FINE Tool_Offset, PR[...]
```

12.5. Konfiguracija robotske ruke

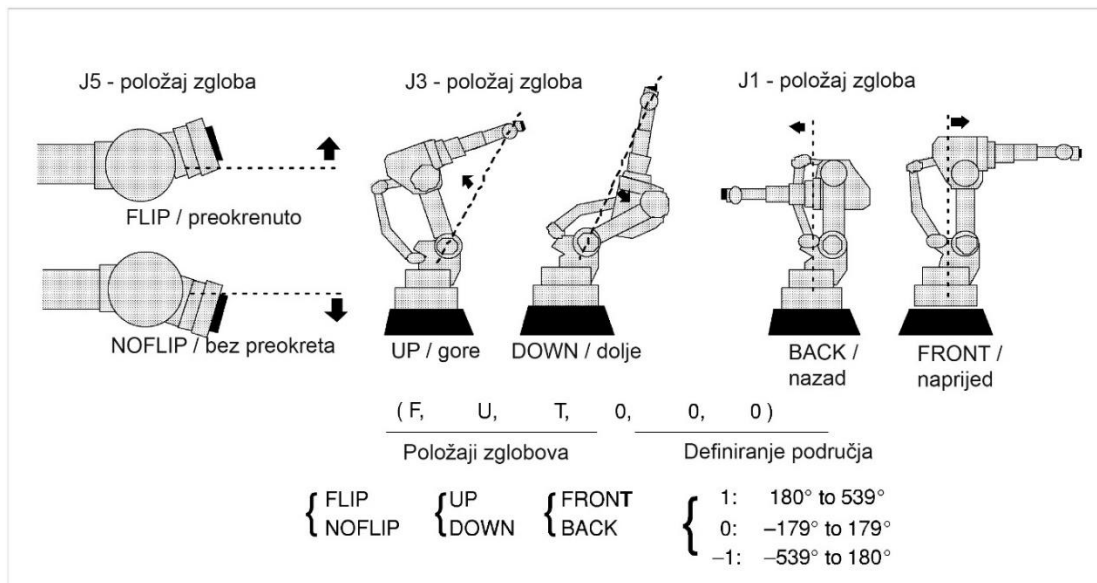
Konfiguracija robotske ruke i parametar "CONF", koji se često nalazi u programiranju industrijskih robota, ključan je parametar za određivanje specifičnog položaja ili orijentacije robota, osobito kada postoji više mogućih rješenja za inverznu kinematiku. Inverzna kinematika je proces određivanja potrebnih kutova zglobova robota kako bi se postigao određeni položaj end-effectora (na primjer ruke ili alata robota).

Konfiguracija "CONF" obično uključuje tri glavna parametra:

- Položaj ručnog zgloba J5 (Wrist Flip/No Flip) - Ovaj parametar određuje je li ručni zglob robota okrenut ili nije. "Flip" znači da je ručni zglob okrenut u odnosu na određenu referentnu točku, dok "No Flip" znači da nije.
- Položaj lakta J3 (Elbow Up/Elbow Down) - Određuje položaj lakta robota, bilo da je lakat okrenut prema gore ili prema dolje. Ova konfiguracija može bitno utjecati na putanju kojom se robot kreće i na pristup različitim radnim područjima.
- Položaj J1 (Front/Back) -određuje je li prvi zglob robota okrenut prema naprijed ili nazad.

Razumijevanje i pravilno postavljanje ovih parametara ključno je za precizno i efikasno programiranje

industrijskih robota, jer omogućava programerima da definiraju način na koji će robot izvršiti zadani zadatak, uzimajući u obzir ograničenja prostora, potrebne pokrete i specifične ciljeve zadatka. Za optimalno programiranje, programeri moraju razumjeti kako ovi parametri utječu na rad robota u stvarnim radnim uvjetima.

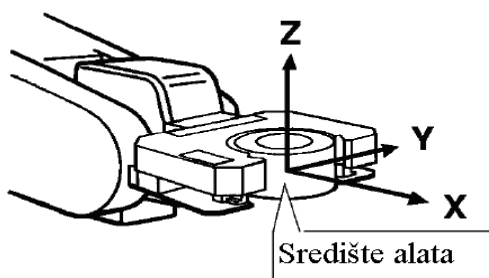


Slika 12.4 Konfiguracije robotske ruke

12.6. Izrada koordinatnih sustava

12.6.1. Izrada korisničkog koordinatnog sustava alata (UTOOL)

Koordinatni sustav alata određuje TCP (Tool Center Point). Koordinatno ishodište je tvornički postavljeno na sredinu priрубnice osi 6.



Slika 12.5 Središte alata

Točnost robotske ruke ovisi o nizu faktora. Neki od njih su:

- tvornička kalibracija robota

- kalibracija koordinatnog sustava alata
- kalibracija korisničkog koordinatnog sustava

S ciljem postizanja što veće točnosti robotske ruke, potrebno je što preciznije izvršiti kalibraciju korisničkog i koordinatnog sustava alata.

Koordinatnim sustavima pristupamo uz pomoć izbornika MENU -> SETUP ->FRAMES

Tool Frame	X	Y	Z	Comment	1/10
1	0.0	0.0	180.0	[Eoat1]
2	0.0	0.0	0.0	[Eoat2]
3	0.0	0.0	0.0	[Eoat3]
4	0.0	0.0	0.0	[Eoat4]
5	0.0	0.0	0.0	[Eoat5]
6	0.0	0.0	0.0	[Eoat6]
7	0.0	0.0	0.0	[Eoat7]
8	0.0	0.0	0.0	[Eoat8]
9	0.0	0.0	0.0	[Eoat9]
10	0.0	0.0	0.0	[Eoat10]

Active TOOL \$MNUTOOOLNUM[1] = 1

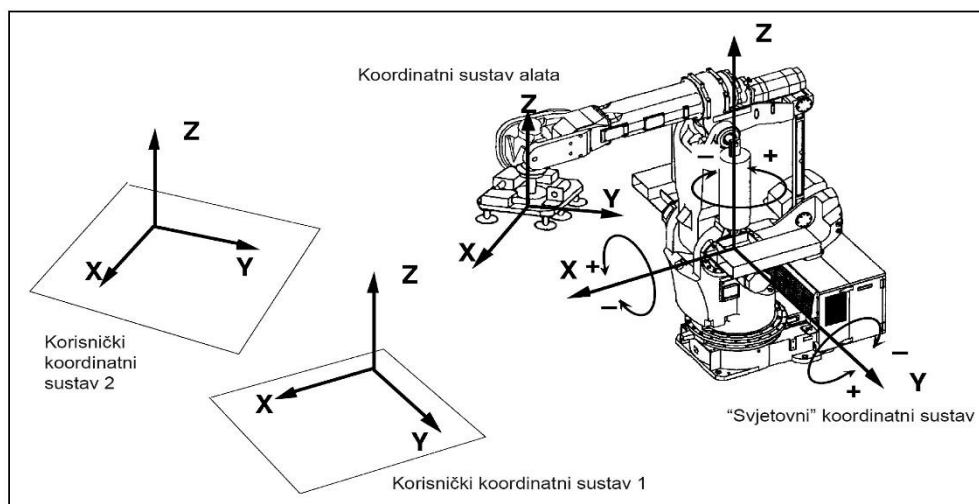
[TYPE]	DETAIL	[OTHER]	CLEAR	SETIND
----------	--------	----------	-------	--------

Slika 12.6 Izbornik koordinatnih sustava

Metode kalibracije koordinatnog sustava alata su:

- Metoda tri točke;
- Metoda šest točaka;
- Direktan unos.

12.6.2. Korisnički koordinatni sustavi



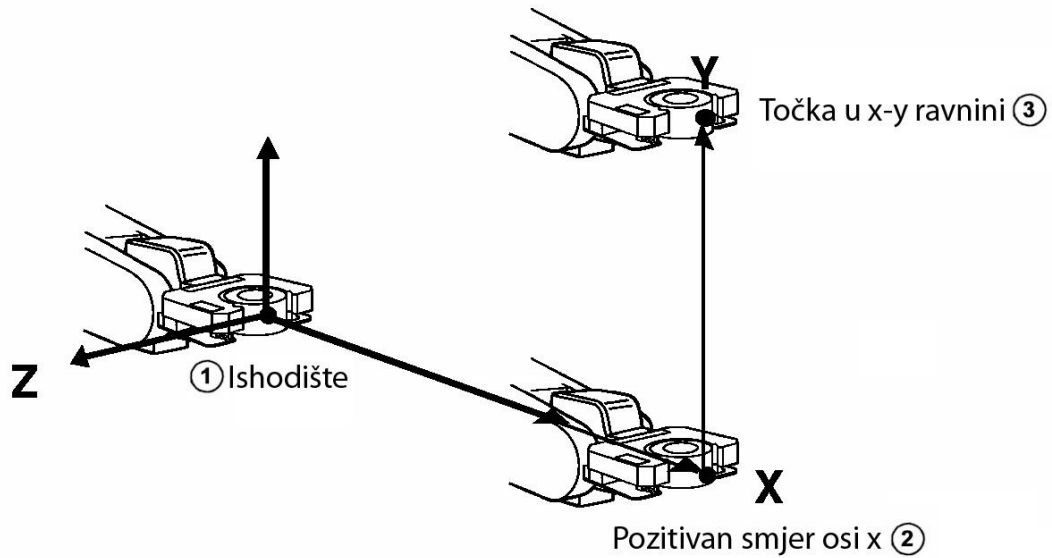
Slika 12.7 Koordinatni sustavi

Metode kalibracije korisničkog koordinatnog sustava su:

- Metoda tri točke
- Metoda četiri točke
- Direktan unos.

12.6.2.1. Metoda tri točke

Potrebno je definirati: (1) ishodište, (2) pozitivan smjer osi x i (3) točku u x-y ravnini.

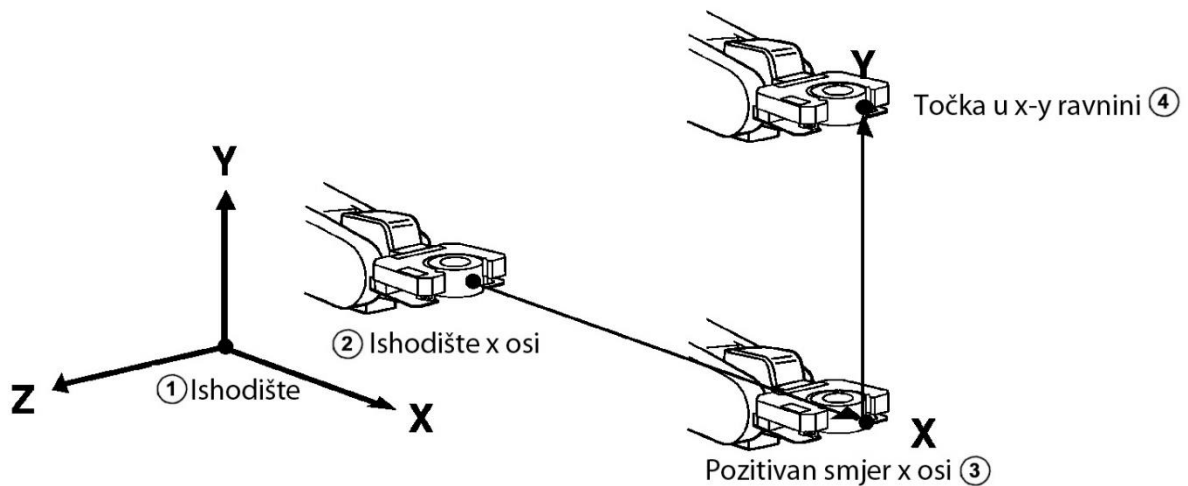


Slika 12.8. Metoda tri točke

12.6.2.2. Metoda četiri točke

Potrebno je definirati četiri točke:

(1) Ishodište koordinatnog sustava, (2) ishodište za određivanje pozitivnog smjera x osi, (3) pozitivan smjer x osi i (4) točku u x-y ravnini (s obzirom na točku 2).



Slika 12.9. Metoda četiri točke

Razlika u odnosu na metodu tri točke je to što možemo imati neovisno ishodište za određivanje pozitivnog smjera x osi u odnosu na ishodište koordinatnog sustava.

13. Ulazno- izlazni signali (I/O)

Upravljačka jedinica ima mogućnost slanja i primanja digitalnih signala, analognih signala, grupnih signala te robotskih signala.

Pomoću digitalnih signala (DI – engl. digital input = digitalni ulaz; DO – engl. digital output = digitalni izlaz) upravljačka jedinica komunicira s drugim elementima sustava. Svaki digitalni ulaz ili izlaz može imati dva stanja:

- upaljeno (istina) - ON (engl. true)
- ugašeno (laž) - OFF (engl. false)

Uz pomoć ovih signala moguća je jednostavna komunikacija između upravljačke jedinice i uređaja u sustavu. Komunikacija između dviju upravljačkih jedinica robota pomoću digitalnih signala naziva se rukovanje (engl. handshaking).

Uz pomoć robotskih signala RO (engl. robot output – robotski izlaz) i RI (engl. robot input – robotski ulaz) kontrolira se stanje hvataljke robota. Moguće je definirati grupe digitalnih signala (GO[], GI[]) te koristiti analogne ulaze i izlaze, ako postoji ugrađena analogna signalna ploča unutar upravljačke jedinice robota (AI[] i AO[])

I/O statement	1	I/O statement	2
1 DO[]=...		R[]=AI[]	
2 R[]=DI[]		F[]=(...)	
3 RO[]=...		R[]=(...)	
4 R[]=RI[]			
5 GO[]=...			
6 R[]=GI[]			
7 AO[]=...			
8 --next page--		--next page--	

Slika 13.1. Ulazno-izlazni signali – naredbe unutar TPP-a

Primjer sintakse korištenja ulazno-izlaznih signala:

```
1: DO[1]=ON
2: DO[2]=PULSE, 1.0sec
3: DO[1]=(DI[1] AND DI[2])
```

14. Upravljačke strukture i programski elementi

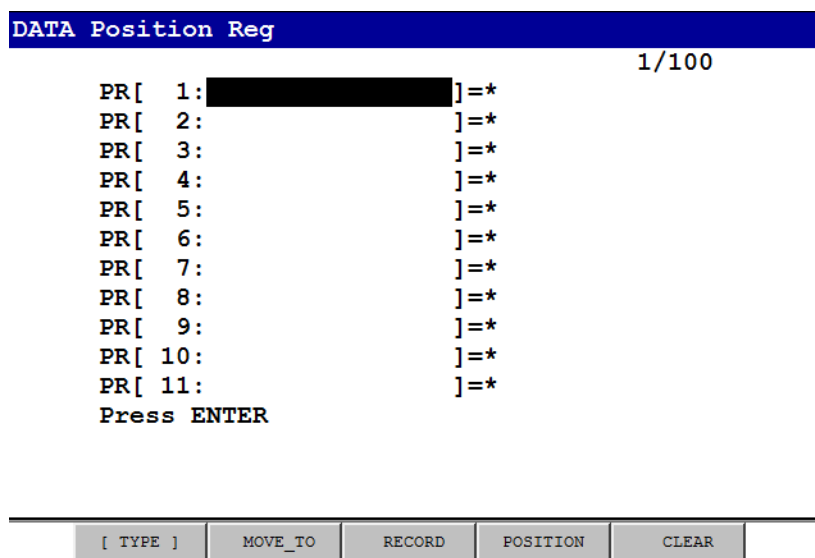
14.1. Registri

U kontekstu Fanuc robota, termin "Registar" odnosi se na skupinu memorijskih lokacija unutar robotskog kontrolera, a koristi se za pohranu specifičnih vrsta podataka.

14.1.1. Pozicijski registri

Pristupanje pozicijskim registrima:

MENU -> NEXT -> DATA -> POSITION REG



Slika 14.1 Pozicijski registri

Važno:

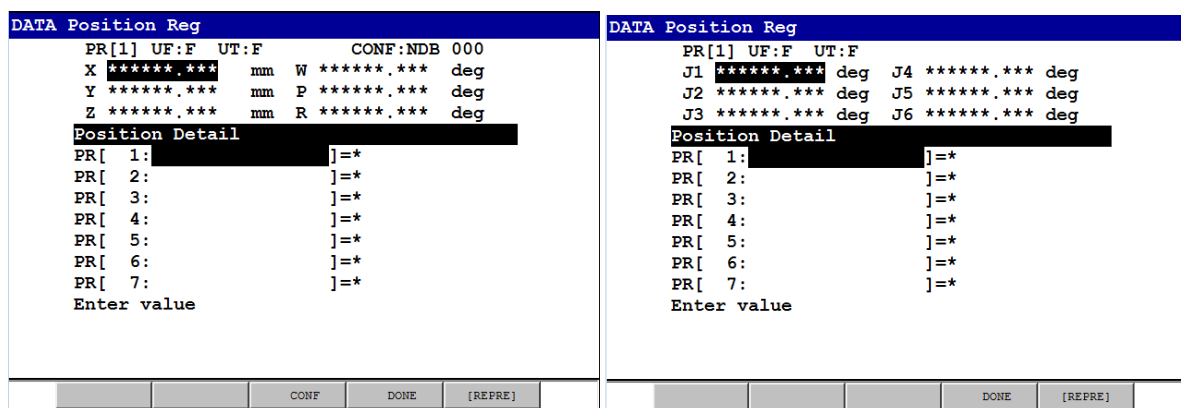
Pozicijski se registri koriste u programima. Promjeni podataka zapisanih u pozicijskim registrima valja pristupiti s oprezom, zbog mogućih izmjena upravljačkih programa u kojima se oni pozivaju

Pozicijske podatke moguće je izmijeniti na dva načina:

1. Opcijom "RECORD" - učitava trenutnu poziciju

2. Ručnim upisom koordinata i definiranjem konfiguracije robotske ruke

Pozicijski registri mogu biti zapisani na dva različita načina – kartezijski prikaz (x,y,z,w,p,r) ili kao zakreti svakog pojedinog zgloba (J1-J6)



Slika 14.2. Zapisi pozicijskih registara

Primjer sintakse korištenja pozicijskog registra unutar upravljačkog programa:

```
1: J PR[1] 50% FINE
```

14.1.2. Zaštita pozicijskih registara

Podatke zapisane u pozicijskim registrima moguće je zaštititi od izmjena pomoću funkcija koje se pozivaju unutar programa:

[INST] -> LOCK PREG

- LOCK PREG

Onemogućuje izmjene svih pozicijskih registara.

- UNLOCK PREG

Vraća mogućnost izmjene pozicijskih registara

14.1.3. LPOS

Dobivanje trenutnog položaja robota pomoću LPOS-a.

Trenutni položaj robota (u odnosu na trenutni UFRAME i TOOL FRAME) možete dobiti dodjeljivanjem LPOS-a (za linearnu poziciju) pozicijskom registru. Mogu se koristiti različite komponente (X, Y, Z, itd.) registra položaja kako bi se odredila pozicija robota u prostoru.

Primjer sintakse korištenja pozicijskog registra unutar upravljačkog programa:

```
1: PR[1]=LPOS
```

NAPOMENA: Postoji i JPOS vrijednost koja vraća robotove trenutne Joint-vrijednosti.

14.1.4. Numerički registri

Osim registara položaja postoje registri koji služe za pohranu cijelih ili decimalni brojeva. Upravljačka jedinica ima mogućnost pohrane do 200 ovakvih registara. Sintaksa za korištenje broja koji se nalazi u i-tom registru je R[i]. S registrima je moguće raditi cijeli niz operacija koje će biti prikazane u daljnjim poglavljima. Prikaz izbornika s registrima prikazan je na slici 14.3.

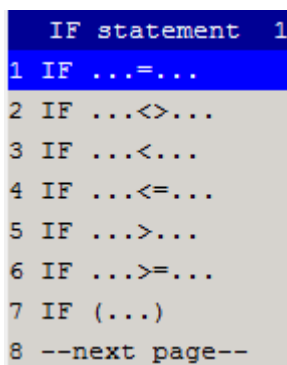
DATA Registers		
		1/200
R[1:		]=1.123
R[2:		]=12548
R[3:		]=0
R[4:		]=0
R[5:		]=0
R[6:		]=0
R[7:		]=0

Slika 14.3. Numerički registri

Dobra je praksa označavati svoje registre dok ih koristite. Učinite to pritiskom na ENTER na praznom mjestu pored brojanog ID-a za R[1].

14.2. Uvjetne IF naredbe

U kontekstu programiranja Fanuc robota, "Uvjetna IF naredba" je kontrolna struktura koja omogućava izvršavanje određenih dijelova programskog koda, ovisno o ispunjenju specifičnog uvjeta ili skupa uvjeta. Ova naredba je temeljni alat za donošenje odluka unutar robotskog programa. Uvjetnu IF naredbu moguće je dodati iz izbornika INST.



Slika 14.4. IF naredba – INST izbornik

Primjer sintakse IF naredbe:

```
1: IF R[1]=0, JMP LBL[10]
2: IF R[2]<>2, JMP LBL[20]
```

U izborniku IF naredbe nalazi se i naredba SELECT (u nekim drugim programskim jezicima ovo je CASE naredba) pomoću koje je moguće ispitati stanje određenog signala ili registra te na temelju toga izvršiti skok na dodijeljenu oznaku ili pozvati određeni program.

Primjer sintakse SELECT naredbe:

```
1: SELECT R[3]=1, JMP LBL[1]
2:           =0, JMP LBL[2]
3:           =3, JMP LBL[3]
4:           ELSE, JMP LBL[99]
```

14.3. Petlje

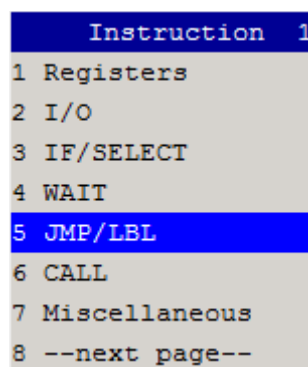
14.3.1. Beskonačna petlja

U programiranju Fanuc robota, beskonačna petlja se može kreirati korištenjem kombinacije oznaka (labels) i skok naredbi (jump). Ovo se postiže dodavanjem oznake (LBL[x]) i skokom na tu oznaku (JMP LBL[x]) iz INST izbornika. Struktura beskonačne petlje izgleda otprilike ovako:

- Dodavanje oznake (LBL[x]): Prvo se postavlja oznaka (label) koja služi kao referentna točka unutar programa. Oznaka se definira pomoću LBL naredbe s jedinstvenim identifikatorom (npr., LBL[1], LBL[2], itd.). Ovo označava početak petlje.
- Programski kod: Nakon postavljanja oznake, slijedi programski kod koji se želi ponavljati unutar petlje. Ovaj dio može sadržavati različite naredbe i operacije koje robot treba izvesti.

- Skok na oznaku (JMP LBL[x]): Na kraju bloka koda dodaje se skok naredba (JMP) koja upućuje program da se vrati na prethodno definiranu oznaku. Ova naredba uzrokuje da se program ponovno izvršava od točke gdje je postavljena oznaka, stvarajući time beskonačnu petlju.
- Izlazak iz petlje: Iako je petlja definirana kao 'beskonačna', u praksi se obično implementiraju mehanizmi za njezin prekid, kao što su određeni uvjeti ili događaji koji omogućuju izlazak iz petlje.

Beskonačnu petlju moguće je napraviti dodavanjem oznake (LBL[x]) i skoka na oznaku (JMP LBL[x]) iz INST izbornika.



Slika 14.5. JMP/LBL naredba

Prikazan je primjer beskonačne petlje, unutar koje robot prolazi kontinuiranim gibanjem interpolacijom zglobovima, kroz točke P[1] i P[2].

Primjer sintakse beskonačne petlje:

```
1: LBL[1]
2:
3: J P[1] 50% FINE
4: J P[2] 50% FINE
5:
6: JMP LBL[1]
```

14.3.2. FOR petlja

U kontekstu programiranja Fanuc robota, FOR petlja je kontrolna struktura koja omogućava ponavljanje određenog dijela programskog koda, određeni broj puta. Ova petlja se koristi kada je potrebno višestruko izvršiti isti skup naredbi, s unaprijed definiranim brojem ponavljanja.

Prikazan je primjer programa koji izvršava zadano gibanje kroz točke 1, 2 i 3 deset puta, te nakon toga

odlazi u točku 4 i potom završava.

Primjer sintakse FOR petlje:

```
1: FOR R[1]=1 TO 10
2: L P[1] 100mm/sec CNT100
3: L P[2] 100mm/sec CNT100
4: L P[3] 100mm/sec CNT100
5: ENDFOR
6: L P[4] 100mm/sec CNT100
```

FOR petlju moguće je napraviti i kombinacijom naredbi: R[], LBL, JMP[] LBL[] i IF.

Primjer sintakse FOR petlje:

```
1: R[1]=0
2: LBL[1]
3: R[1]= R[1]+1
4: L P[1] 100mm/sec CNT100
5: L P[2] 100mm/sec CNT100
6: L P[3] 100mm/sec CNT100
7: IF R[1]=10, JMP LBL[2]
8: JMP LBL[1]
9: LBL[2]
```

Na ovaj način moguće je izraditi korisnički definirane petlje, kao i ugniježdene (Nested) petlje tj. petlju u petlji.

14.4. Poziv drugog programa

Poziv programa moguće je naredbama CALL i RUN iz INST izbornika. Postoji velika razlika između ovih dviju vrsta poziva, pa će se unutar ovog seminara koristiti samo naredba CALL.

- Call – standardni poziv drugog programa, gdje se program iz kojeg je izvršen poziv zaustavlja (pauzira) na liniji koda CALL naredbe onoliko dugo koliko treba da se izvrši pozvani program
- Run (Multitasking) – paralelan rad pozvanog programa

14.5. Izrada brojača

U svrhu brojača poslužiti će numerički registar koji se u određenom dijelu programa inicijalizira u početnu vrijednost. Aritmetičkom operacijom zbrajanja ili oduzimanja mijenja se vrijednost registra tj. brojača. Brojač je prikazan u primjeru FOR petlje.

14.6. Čekanje – Wait

WAIT naredba zaustavlja rad robotskog programa dok nije ispunjen uvjet za nastavak. Uvjet može biti:

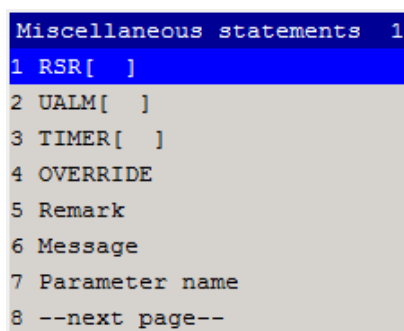
- Vremenski u sekundama;
- Digitalni ulaz;
- Vrijednost registra.

Primjer sintakse naredbe čekanja – Wait

```
1: WAIT 1.0(sec)
2: WAIT DI[1]=ON
3: WAIT R[1]<10
4: WAIT (DI[1] AND DI[2])
```

14.7. Razno

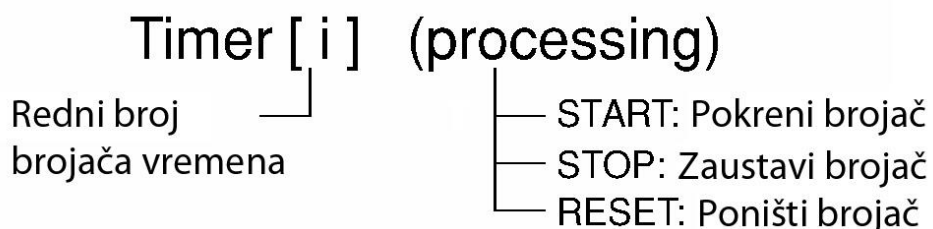
[INST] -> Miscellaneous



Slika 14.6. Miscellaneous izbornik

14.7.1. Brojač vremena (Timer)

U programiranju Fanuc robota, "TIMER" je funkcija koja omogućava mjerenje vremenskih intervala ili implementaciju kašnjenja u izvršavanju programa. TIMER se koristi za kontrolu vremena izvršavanja određenih dijelova programa ili postavljanje vremenskih ograničenja za određene operacije.



Primjer 1: **TIMER [1]=START**
 TIMER [1]=STOP
 TIMER [1]=RESET

Slika 14.7. Brojač vremena

Vrijednost brojača može se koristiti u programu uz pomoć registara. Primjer sintakse:

```
1: R[1]=TIMER[1]
```

14.7.2. Override

Naredba override mijenja faktor brzine s kojim se množi programski zadana brzina kretanja robota

$$\text{OVERRIDE} = (\text{vrijednost}) \%$$

- + R[i]
- + Const
- + AR[]

Slika 14.8. Faktor brzine

14.7.3. Komentari (Remark)

Pomoću funkcije remark moguće je u program dodavati komentare. . Komentari nemaju nikakvog utjecaja na izvođenje programa. Komentari mogu sadržavati do 32 znaka uključujući alfanumeričke znakove (*,-,@, itd.). Za uređivanje komentara potrebno je pritisnuti tipku ENTER.

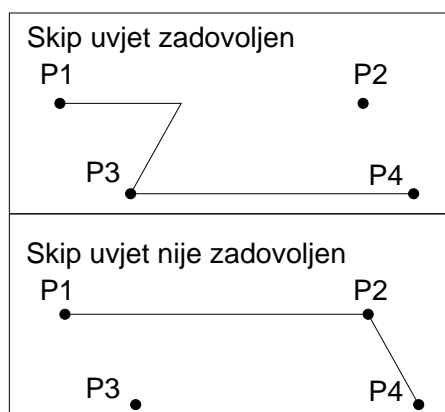
14.8. Skip condition

Naredba SKIP izvršava preskakanje na definiranu oznaku (LBL) u slučaju da definirani uvjet nije ispunjen. Ako je uvjet ispunjen, naredba SKIP zaustavlja trenutno kretanje prema zadanoj točki i izvršava programsku naredbu u sljedećem redu. Ako uvjet nije ispunjen, skok na oznaku se izvršava nakon završetka trenutnog kretanja.

```

1: SKIP CONDITION DI[1]<>ON
2: J P[1] 100% FINE
3: L P[2] 100mm/sec FINE Skip, LBL[1]
4: J P[3] 100% FINE
5: LBL[1]
6: J P[4] 100% FINE

```

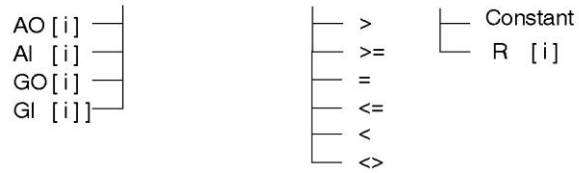


Slika 14.9. Skip uvjet

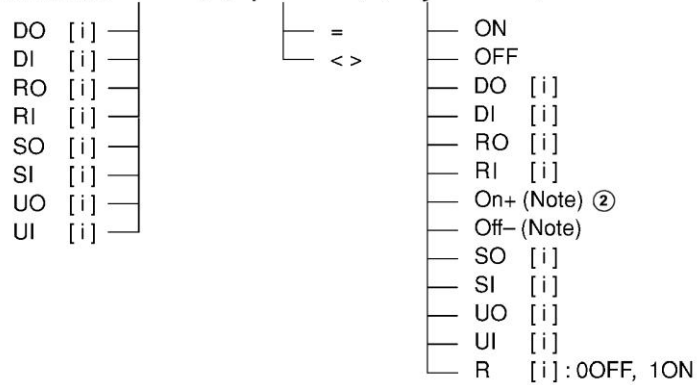
SKIP CONDITION [vrijednost] (operator) (vrijednost)



SKIP CONDITION [varijabla] (operator) (vrijednost)



SKIP CONDITION [stavka] (operator) (vrijednost)



Slika 14.10. Moguće postavke skip uvjeta

15. Paletizacija

Paletizacija je proces u kojem se roboti koriste za precizno i organizirano slaganje predmeta na palete. Ova funkcija omogućava efikasno rukovanje i skladištenje predmeta, s minimalnim uloženim vremenom i trudom. Ključna prednost paletizacije leži u sposobnosti robota da nauči položaje nekoliko reprezentativnih točaka, što mu omogućuje da automatski i dosljedno raspoređuje predmete u definiranom uzorku na paleti. Ovaj proces je posebno koristan u logističkim operacijama, proizvodnji i skladištima, gdje se zahtijeva brzo i precizno rukovanje s velikim brojem predmeta.

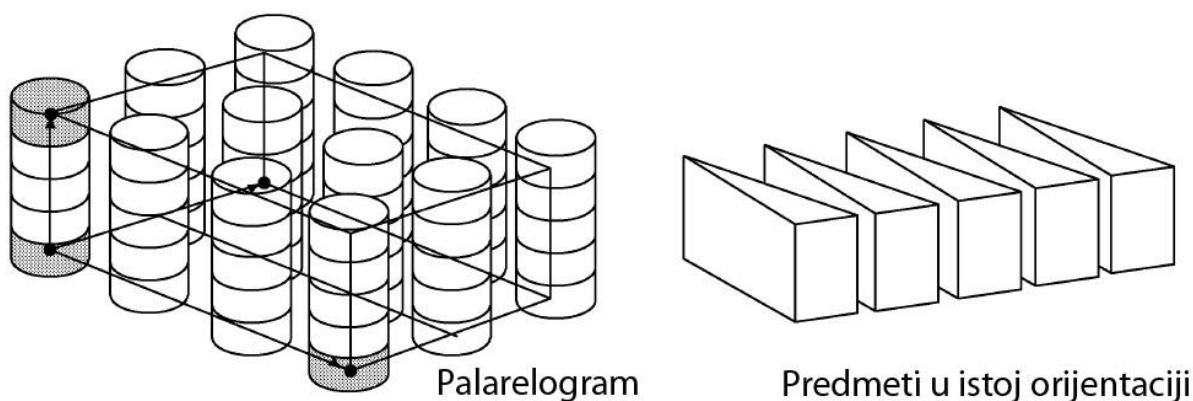
15.1. Vrste paletizacije

Postoje četiri vrste paletizacije s obzirom na obrasce slaganja i prilaznih i izlaznih putanja:

- Paletizacija B i paletizacija BX
- Paletizacija E i paletizacija EX

15.1.1. Paletizacija B

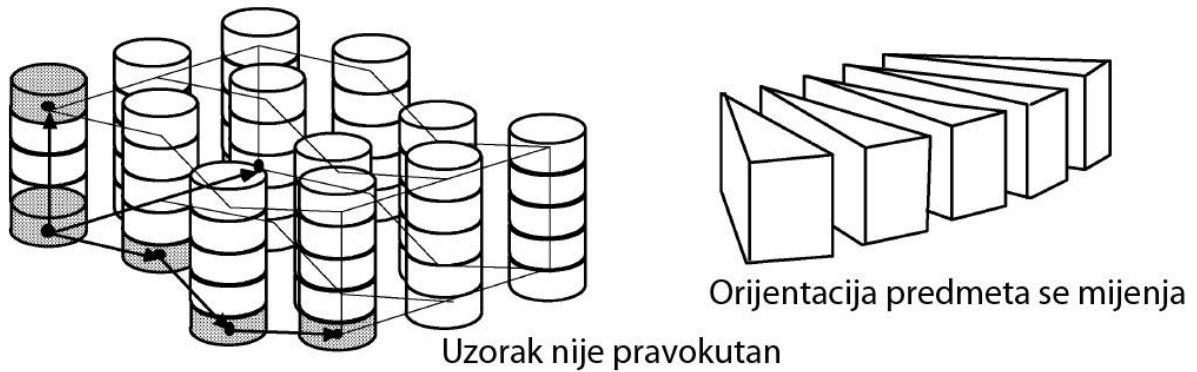
Osnovni oblik paletizacije.



Slika 15.1. Paletizacija B

15.1.2. Paletizacija E

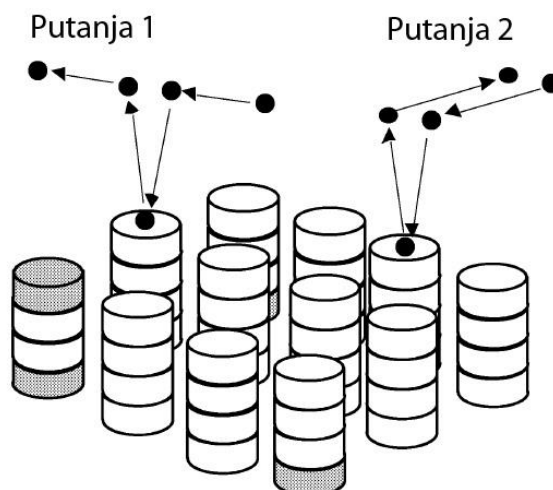
Koristi se za nešto složenije uzorke slaganja, tj. kada uzorak slaganja nije paralelogram. Također se koristi za slučaj da se orijentacija predmeta mijenja.



Slika 15.2. Paletizacija E

15.1.3. Paletizacija BX i EX

Kod paletizacija tipa BX i EX moguće je postaviti više različitih prilazno/izlaznih putanja. Kod paletizacija B i E moguće je definirati samo jednu putanju.



Slika 15.3. Paletizacija BX i EX

```

PALETTIZING statement 1
1 PALETTIZING-B
2 PALETTIZING-BX
3 PALETTIZING-E
4 PALETTIZING-EX
5 PALETTIZING-END
6
7
8

```

PALETTIZING Configuration

```

PALETTIZING_1 [ ]
TYPE = [PALLET ] INCR = [ 1 ]
  PAL REG = [ 1] ORDER = [RCL ]
  ROWS = [ 1]
  COLUMNS = [ 1]
  LAYERS = [ 1]
  AUXILIARY POS = [ NO ]
  APPR =[ 1] RTRT =[ 1]

```

Press ENTER

PALETTIZING Bottom Points

```

1: *P [ 1, 1, 1] 1/1
  2: *P [ 2, 1, 1]
  3: *P [ 1, 2, 1]
  4: *P [ 1, 1, 2]
[End]

```

PALETTIZING Route Points

```

IF PL[ 1]=[*,*,*] 1/1
1:Joint *P [A_1 ] 30% FINE
  2:Joint *P [BTM ] 30% FINE
  3:Joint *P [R_1 ] 30% FINE
[End]

```

```
1: PALLETIZING-B_1
2:J PAL_1[A_1] 30% FINE
3:J PAL_1[BTM] 30% FINE
4:J PAL_1[R_1] 30% FINE
5: PALLETIZING-END_1
```

[End]

16. Načini pokretanja upravljačke jedinice

Upravljačka jedinica ima četiri moguća načina za pokretanje.

16.1. Initial start

Kada se upravljačka jedinica pokrene u ovom načinu, sve datoteke unutar upravljačke jedinice se brišu i sve postavke se vraćaju na tvorničke.

Izvršavanje

Prilikom uključivanja držati istovremeno tipke F1 i F5. Zatim u izborniku koji se pojavi izabrati opciju Init Start i u sljedećem izborniku potvrditi izvršavanje.

Važno

Ovaj način pokretanja briše sve programe i postavke. Iz tog je razloga uvijek prije pokretanja ove opcije potrebno napraviti sigurnosne kopije svih postavki i važnih programa.

16.2. Controlled start

U ovom načinu rada nije moguće upravljanje robotom. Međutim, moguće je pristupiti i uređivati sistemske varijable, što u normalnom režimu rada nije moguće. Također se može pristupiti sistemskim datotekama i raznim postavkama robota. U ovom načinu rada moguće je iz izbornika, koji se aktivira pritiskom na Fcnt tipku, pokrenuti sustav u Cold start režimu rada. Ovaj način rada uobičajeno se koristi prilikom održavanja upravljačke jedinice i ne koristi se u normalnim radnim uvjetima.

Izvršavanje

Prilikom uključivanja držati istovremeno tipke Prev i Next, a potom u izborniku koji se pojavi izabrati opciju Cotrolled start.

16.3. Cold start

Prilikom pokretanja u Cold start načinu:

- Svi izlazni signali – digitalni, analogni, robotski se gase i postavljaju u stanje 0
- Trenutni program je prekinut i početak izvršavanja programa počinje u trenutnom redu
- Faktor brzine je postavljen na tvorničku vrijednost
- Način gibanja prilikom ručnog pomicanja je postavljen na JOINT

Izvršavanje

Prilikom uključivanja držati istovremeno tipke Prev i Next. Zatim u izborniku koji se pojavi izabrati opciju Cold start.

16.4. Hot start

Ovo je normalan način pokretanja upravljačke jedinice. Prilikom pokretanja na ovaj način, kada se podigne upravljačka jedinica u radno stanje, svi programi i stanje ulazno/izlaznih jedinica se vraćaju u stanje koje je prethodilo zadnjem isključenju.

Literatura

- ISO 8373:2021
- ISO 13850:2008
- International Federation of Robotics, World Robotics - Industrial Robots
- Fanuc robotics operator's manual
- Fanuc robotics ER-4iA product information
- Fanuc robotics CRX-10iA product information

Kazalo slika

Slika 1.1	Dijelovi industrijskog robota	6
Slika 2.1	Zastupljenost industrijskih robota prema području primjene - izvor IFR 2018.....	8
Slika 2.2	Robotsko sklapanje u Regionalnom centru izvrsnosti za robotske tehnologije	9
Slika 2.3	Robotsko zavarivanja u pogonu tvrtke REVOZ, Novo Mesto.....	9
Slika 2.4	Robotsko nanošenje boje u pogonu tvrtke AD Plastik, Zagreb	10
Slika 2.5	Robotsko rukovanje u pogonu tvrtke Klimaoprema, Nova Gradiška	11
Slika 2.6	Robotska obrada odvajanjem čestica	11
Slika 3.1	Direktan i inverzan kinematski model na primjeru robota s dva zgloba (q_1 i q_2).....	14
Slika 3.2	Prikaz kinematskih parametara robotskih članaka	15
Slika 3.4	Kinematske strukture robota	16
Slika 4.1	Roboti s različitim brojem osi	21
Slika 4.2	Primjeri radnih prostora robota	22
Slika 4.3	Krivulje dozvoljene nosivosti s obzirom na udaljenost od prirubnice	24
Slika 5.1	Remenice i remeni	29
Slika 5.2	Zupčanici	29
Slika 6.1	Vrste senzora	31
Slika 6.2	Ugrađeni senzori sile i momenata	33
Slika 6.3	Kamera na fiksnoj poziciji i na robotskoj ruci	34
Slika 7.1	Upravljanje robotima	37
Slika 7.2	Razine programiranja robota	39
Slika 9.1	Radni prostor Fanuc ER-4iA (izvor Fanuc robotics)	43
Slika 9.2	Radni prostor Fanuc CRX-10iA (izvor Fanuc robotics)	45
Slika 9.3	Tipovi Fanuc upravljačkih jedinica	46
Slika 9.4	Upravljačka konzola - iPendant	47
Slika 9.5	Prikaz upravljačke konzole s pojašnjenjem namjene pojedinih tipki	49
Slika 10.1.	Prekidač za odabir načina rada.....	51
Slika 10.2	Informacijska traka	52
Slika 10.3.	Funkcijski izbornik.....	53
Slika 10.4	Pregled često korištenih funkcija.....	54
Slika 10.5.	Menu izbornik.....	54
Slika 10.6	Prikaz jednog ili dva prozora na zaslonu.....	55
Slika 10.7	Deadman switch.....	56
Slika 10.8	Slučaj singularnosti.....	56
Slika 10.9	Lijevi robot – osi zglobova 4 – 6 kolinearne; Desni robot – osi zglobova 4 i 6 pod kutom od 90°	57
Slika 10.10	Novi program na upravljačkoj konzoli	57
Slika 11.1	Vrste gibanja središta alata robota	58
Slika 11.2	Kružna interpolacija gibanja	60

Slika 11.3	Način izvršavanja zadanog gibanja središta alata	60
Slika 11.4	Postavke makro naredbi	63
Slika 11.5	Postavke makro programa	63
Slika 12.1	Pravilo desne ruke	68
Slika 12.2	Koordinatni sustav robota, korisnički koordinatni sustav	68
Slika 12.3	Točka prihvata alata (lijevo) i koordinatni sustav središta alata (desno)	69
Slika 12.4	Konfiguracije robotske ruke	71
Slika 12.5	Središte alata	71
Slika 12.6	Izbornik koordinatnih sustava	72
Slika 12.7	Koordinatni sustavi	73
Slika 12.8.	Metoda tri točke	74
Slika 12.9.	Metoda četiri točke	74
Slika 13.1.	Ulazno-izlazni signali – naredbe unutar TPP-a	75
Slika 14.1	Pozicijski registri	76
Slika 14.2.	Zapisi pozicijskih registara	77
Slika 14.3.	Numerički registri	78
Slika 14.4.	IF naredba – INST izbornik	79
Slika 14.5.	JMP/LBL naredba	80
Slika 14.6.	Miscellaneous izbornik	82
Slika 14.7.	Brojač vremena	83
Slika 14.8.	Faktor brzine	83
Slika 14.9.	Skip uvjet	84
Slika 14.10.	Moguće postavke skip uvjeta	85
Slika 15.1.	Paletizacija B	86
Slika 15.2.	Paletizacija E	87
Slika 15.3.	Paletizacija BX i EX	87

Kazalo tablica

Tablica 9.1 Osnovne tehničke karakteristike robota FANUC ER-4iA.....	42
Tablica 9.2 Osnovne tehničke karakteristike robota FANUC CRX-10iA.....	44

Impresum

Autor: dr. sc. Bojan Šekoranja

Lektor: Gordana Hajni, prof.

Recenzent: doc. dr. sc. Filip Šuligoj

Zaključak Recenzenta:

"Priručnik Robotike" koji je izrađen za Regionalni centar kompetentnosti u strukovnom obrazovanju u strojarstvu – Industrija 4.0, smješten u Srednjoj strukovnoj školi Velika Gorica, predstavlja izuzetno vrijedan i sveobuhvatan edukativni resurs. Detaljno obrađujući teme od definicije robota do naprednih koncepta u programiranju i paletizaciji, priručnik je ne samo informativan, već i praktično koristan za studente i stručnjake u području robotike. Posebno impresionira raznolikost obrađenih tema, uključujući kinematsku strukturu različitih tipova robota, senzorske tehnologije, i sofisticirane metode programiranja. Ovaj priručnik je ne samo korak naprijed u obrazovanju, već i dragocjen doprinos strukovnom obrazovanju u Hrvatskoj, usmjeravajući studente prema vrhuncima Industrije 4.0.