

UNIVERZITET U BEOGRADU
MAŠINSKI FAKULTET
KATEDRA ZA PROIZVODNO MAŠINSTVO

Predmet
Industrijski roboti

**Programiranje industrijskih robota
korišćenjem uređaja za obučavanje**

Predmetni nastavnici

Beograd, 2025

Metode u programiranju

Prilikom programiranja industrijskih robota moguće je koristiti dve metode: online i offline.

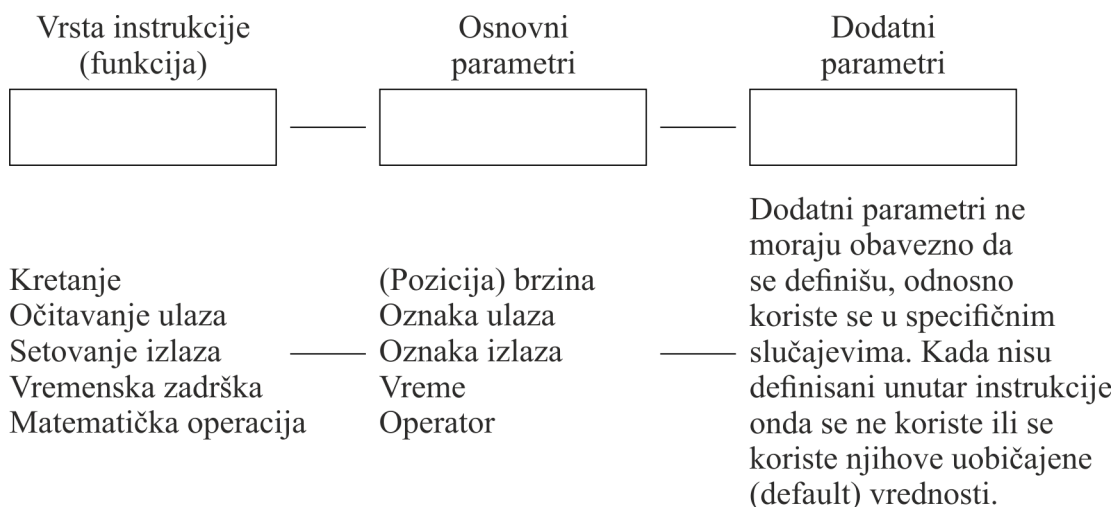
- Online
 - Koriste se uređaji za obučavanje (eng. teach box, teach pendant). To su HMI uređaji kojim operater komunicira sa upravljačkom jedinicom robota i programira njegovo kretanje.
 - Fizičkom ili kognitivnom interakcijom čoveka i robota (čovek izvršava transfer znanja i veština ka upravljačkoj jedinici robota, najčešće preko određenog haptičkog ili nekog sličnog uređaja) - **Programming by Demonstration**.
- Offline (Korišćenjem programskih jezika)
 - Programi se generišu eksterno, korišćenjem PC računara, na osnovu CAD modela u nekom od simulacionih okruženja (npr. ABB RobotStudio) i nakon generisanja oni se preko USB-a ili putem ethernet komunikacije prenose na upravljačku jedinicu robota.
 - Zadatak se može isprogramirati tako da se njegovo izvršenje može menjati u skladu sa promenama u procesu, na osnovu senzorskih informacija, u realnom vremenu (zavisi od upravljačke jedinice robota i dodatnog softvera i hardvera).

Programiranje u praksi zavisi od zadatka za čije se izvršenje robot programira, i to je najčešće kombinacija navedenih metoda. Nezavisno od metode programiranja, za programiranje se koriste JEZIK koji upravljačka jedinica robota može da interpretira i izvršava (zavisi od proizvođača robota!). U nastavku će biti objašnjena struktura INFORM jezika za programiranje YASKAWA robota.

Unutar INFORM jezika za programiranje robota postoje četiri grupe instrukcija koje se koriste. To su:

- Instrukcije kretanja (**MOVJ**, **MOVL**, **MOVC**, ...),
 - Ovo su instrukcije kojim se robotu zadaje način kretanja (**MOVJ** - kretanje u unutrašnjim koordinatama, **MOVL** - linearno kretanje u spoljašnjim koordinatama, **MOVC** - kretanje po kružnoj putanji, ...).
- I/O instrukcije (**DIN**, **DOUT**, **PULSE**, ...),
 - Ovo su instrukcije kojim se robotu zadaje način interakcije sa okruženjem (**DIN** - rad sa digitalnim ulazima, **DOUT** - rad sa digitalnim izlazima, **PULSE** - aktivacija digitalnog izlaza u određenom trajanju i njegova deaktivacija, ...).
- Kontrolne instrukcije (**JUMP**, **CALL**, **NOP**, ...) i
 - Ovo su instrukcije kojim se kontroliše tok izvršenja programa (**JUMP** - preskakanje dela programa nakon funkcije **JUMP** i izvršenje dela programa definisanog flag-om unutar te funkcije, **CALL** - pozivanje drugog programa (funkcije) unutar trenutnog programa, **NOP** - No operation, ...).
- Logičko-matematičke instrukcije (**AND**, **ADD**, **SUB**, ...).

Opšta struktura instrukcije unutar INFORM jezika za programiranje YASKAWA robota je data na slici 1.



Slika 1: Opšta struktura instrukcije

U nastavku će biti prikazani primeri iz uputstva za korišćenje YASKAWA robota u kojima se nalaze objašnjenja za najčešće korišćene instrukcije.

MOVJ - kretanje u unutrašnjim koordinatama

MOVJ	Function	Moves to a taught point with joint interpolation type.	
	Additional Item	Position data, Base axis position data, Station axis position data	These data do not appear on the screen.
		VJ=<play speed>	VJ: 0.01 to 100.00%
		PL=<position level>	PL:0 to 8
		NWAIT	
		UNTIL statement	
		ACC=(acceleration adjustment ratio)	ACC: 20 to 100%
		DEC=(deceleration adjustment ratio)	DEC: 20 to 100%
	Example	MOVJ VJ=50.00 PL=2 NWAIT UNTIL IN#(16)=ON	

Slika 2: MOVJ instrukcija

Primer: MOVJ VJ=30.00 ACC=30 DEC=65

Opis:

- MOVJ - kretanje u unutrašnjim koordinatama;
- VJ=30.00 - brzina kretanja je 30% od maksimalne brzine kretanja robota;
- ACC=30 - ubrzanje zglobova je 30% od maksimalnog ubrzanja zglobova;
- DEC=65 - usporenje zglobova je 65% od maksimalnog usporenja zglobova.

MOVL - linearno kretanje u spoljašnjim koordinatama

MOVL	Function	Moves to a taught point with linear interpolation type.	
	Additional Item	Position data, Base axis position data, Station axis position data	These data do not appear on the screen.
		V=<play speed>, VR=<play speed of the posture>, VE=<play speed of external axis>	V:0.1 to 1500.0 mm/s 1 to 9000.0 cm/min VR:0.1 to 180.0 deg/s VE:0.01 to 100.00%
		PL=<position level>	PL:0 to 8
		CR=(corner radius)	CR: 1.0 to 6553.5mm
		NWAIT	
		UNTIL statement	
		ACC=(acceleration adjustment ratio)	ACC: 20 to 100%
		DEC=(deceleration adjustment ratio)	DEC: 20 to 100%
	Example	MOVL V=138 PL=0 NWAIT UNTIL IN#(16)=ON	

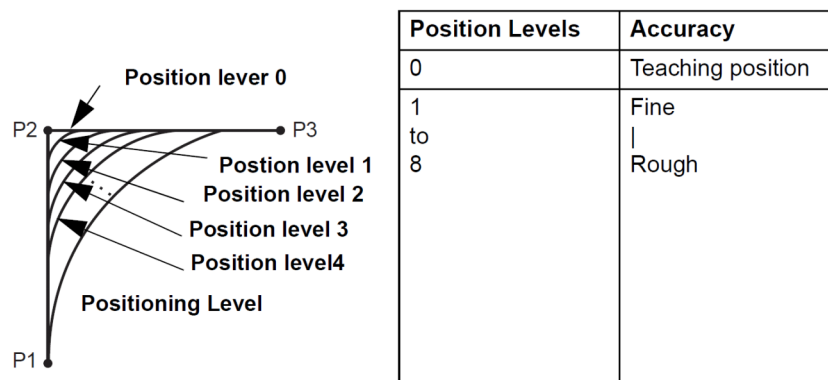
Slika 3: MOVL instrukcija

Primer: MOVL V=540.00 ACC=20 DEC=85

Opis:

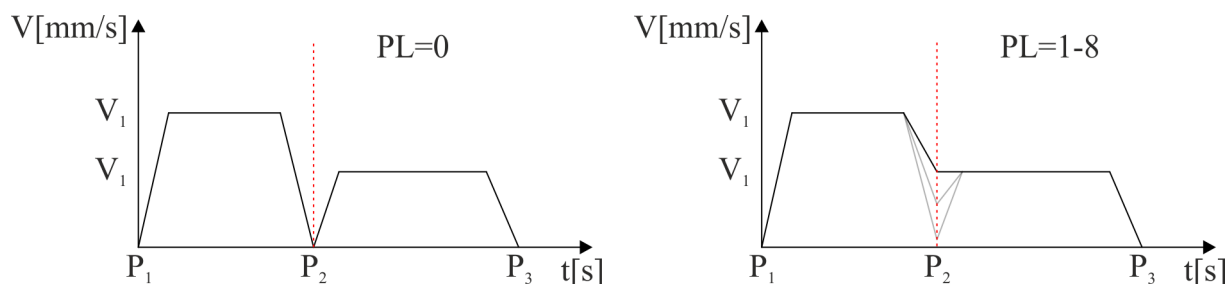
- MOVL - linearno kretanje u spoljašnjim koordinatama;
- VJ=540.00 - brzina kretanja je 540mm/s;
- ACC=20 - ubrzanje zglobova je 20% od maksimalnog ubrzanja zglobova;
- DEC=85 - usporenje zglobova je 85% od maksimalnog usporenja zglobova.

Pri programiranju zadatka robota, definišu se početni, krajnji i međupoložaji. Međupoložaji se tokom izvršenja programiranog radnog zadatka ostvaruju sa određenom preciznošću. Nivo preciznosti je zadat kao parametar **PL**.



Slika 4: Preciznost kretanja

Grafički se to može prikazati preko profila brzine. Kada je parametar PL=0 tada TCP robota prolazi kroz svaki zadati položaj, početni, krajnji i kroz sve zadate međupoložaje, odnosno zaustavlja se u svakom od njih. Kada je parametar PL=1-8 tada se robot ne zaustavlja u svakom međupoložaju već ih zaobilazi sa određenom preciznošću (vrši aproksimativno kretanje).



Slika 5: Preciznost kretanja - profil brzine

Nekoliko često korišćenih instrukcija za kontrolu toka programa su TIMER i WAIT.

TIMER - zaustavlja se izvršavanje koda određeni vremenski period

TIMER	Function	Stops for the specified time.	
	Additional Item	T=<time (seconds)>	0.01 to 655.35 s
	Example	TIMER T=12.50	

Slika 6: TIMER instrukcija

Primer: TIMER T=12.50

Opis:

- TIMER - zaustavlja se izvršavanje koda određeni vremenski period;
- T=12.50 - čeka se 12.5 sekundi.

WAIT - zaustavlja se izvršavanje koda dok se ne ispuni određeni uslov

WAIT	Function	Waits until the external input signal status matches the specified status.	
	Additional Item	IN# (<input number>), IGH# (<input group number>), IG# (<input group number>), OT# (<user output number>), OGH# (<output group number>), SIN# (<system input number>), SOUT# (<system output number>)	
		<status>,B<variable number>	
		T=<time (seconds)>	0.01 to 655.35 s
	Example	WAIT IN# (12)=ON T=10.00 WAIT IN# (12)=B002	

Slika 7: WAIT instrukcija

Primer: WAIT IN#(12)=ON

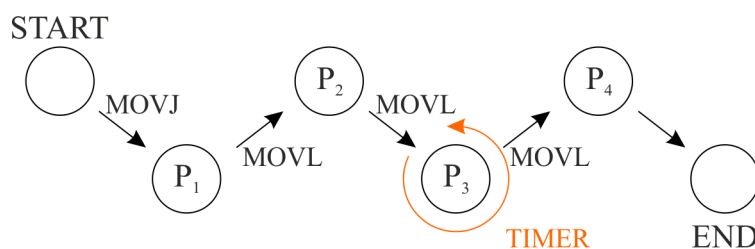
Opis:

- WAIT - zaustavlja se izvršavanje koda dok se ne ispuni određeni uslov;
- IN#(12)=ON - čeka se aktivacija digitalnog ulaza 12.

Primeri programiranja radnog zadatka robota

Primer 1:

Vrh robota (TCP), na početku, dolazi u početni položaj P_1 pa se zatim linearno kreće kroz međupoložaje P_2 i P_3 . Nakon dolaska u međupoložaj P_3 robot miruje 5 sekundi i linearnom interpolacijom odlazi u položaj P_4 .



Slika 8: Primer 1

Prikaz koda za izvršenje ovog zadatka, sa objašnjenima svake linije koda, je dat u nastavku.

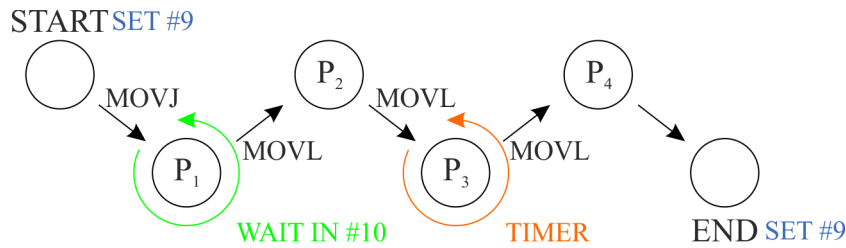
```
NOP
MOVJ  VJ= 5.00 ;kretanje u unutrašnjim koordinatama u pocetni položaj P1
MOVL  V= 100   ;ostvarivanje prvog međupoložaja P2, linearnom
          interpolacijom, brzinom 100 mm/s
MOVL  V= 100   ;ostvarivanje drugog međupoložaja P3, linearnom
          interpolacijom, brzinom 100 mm/s
TIMER  T= 5.0  ;vremenska zadrška od 5 sekundi
MOVL  V= 100   ;ostvarivanje krajnjeg položaja P4, linearnom
          interpolacijom, brzinom 100 mm/s
END
```

Kompletan kod se ispisuje između linija NOP i END i one ne smeju izostati iz koda.

Primer 2:

Vrh robota (TCP) se kreće zadatom putanjom iz primera 1. Nakon kretanja u početni položaj P_1 robot čeka signal za početak izvršenja zadatka (digitalni ulaz 10). Po aktiviranju signala, robot izvršava radni zadatak. Završetak radnog zadatka robot signalizira putem digitalnog izlaza 9.

Za potrebe ovog primera, koristiće se instrukcija **SET** kojom će se upravljati digitalnim izlazom 9 i instrukcija **WAIT** kojom se proverava stanje digitalnog ulaza 10.



Slika 9: Primer 2

Prikaz koda za izvršenje ovog zadatka, sa objašnjenima svake linje koda, je dat u nastavku.

```

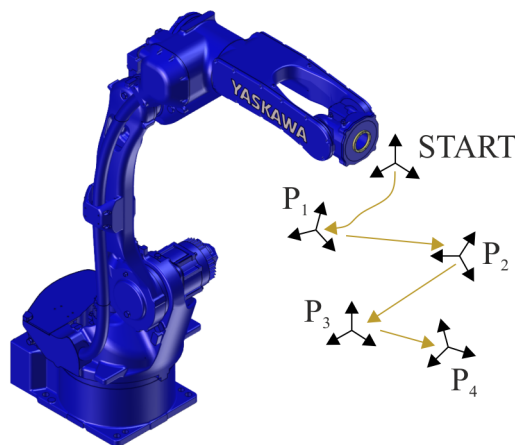
NOP
SET DOUT #(9)=0;podesavanje digitalnog izlaza 9 - deaktiviran
MOVJ  VJ= 5.00 ;kretanje u unutrašnjim koordinatama u pocetni položaj P1
WAIT IN#(10)=ON;cekanje START signala
MOVL  V= 100 ;ostvarivanje prvog međupoložaja P2, linearnom
        interpolacijom, brzinom 100 mm/s
MOVL  V= 100 ;ostvarivanje drugog međupoložaja P3, linearnom
        interpolacijom, brzinom 100 mm/s
TIMER T= 5.0 ;vremenska zadrška od 5 sekundi
MOVL  V= 100 ;ostvarivanje krajnjeg položaja P4, linearnom
        interpolacijom, brzinom 100 mm/s
SET DOUT #(9)=1;podesavanje digitalnog izlaza - aktiviran
END

```

Programiranje obučavanjem

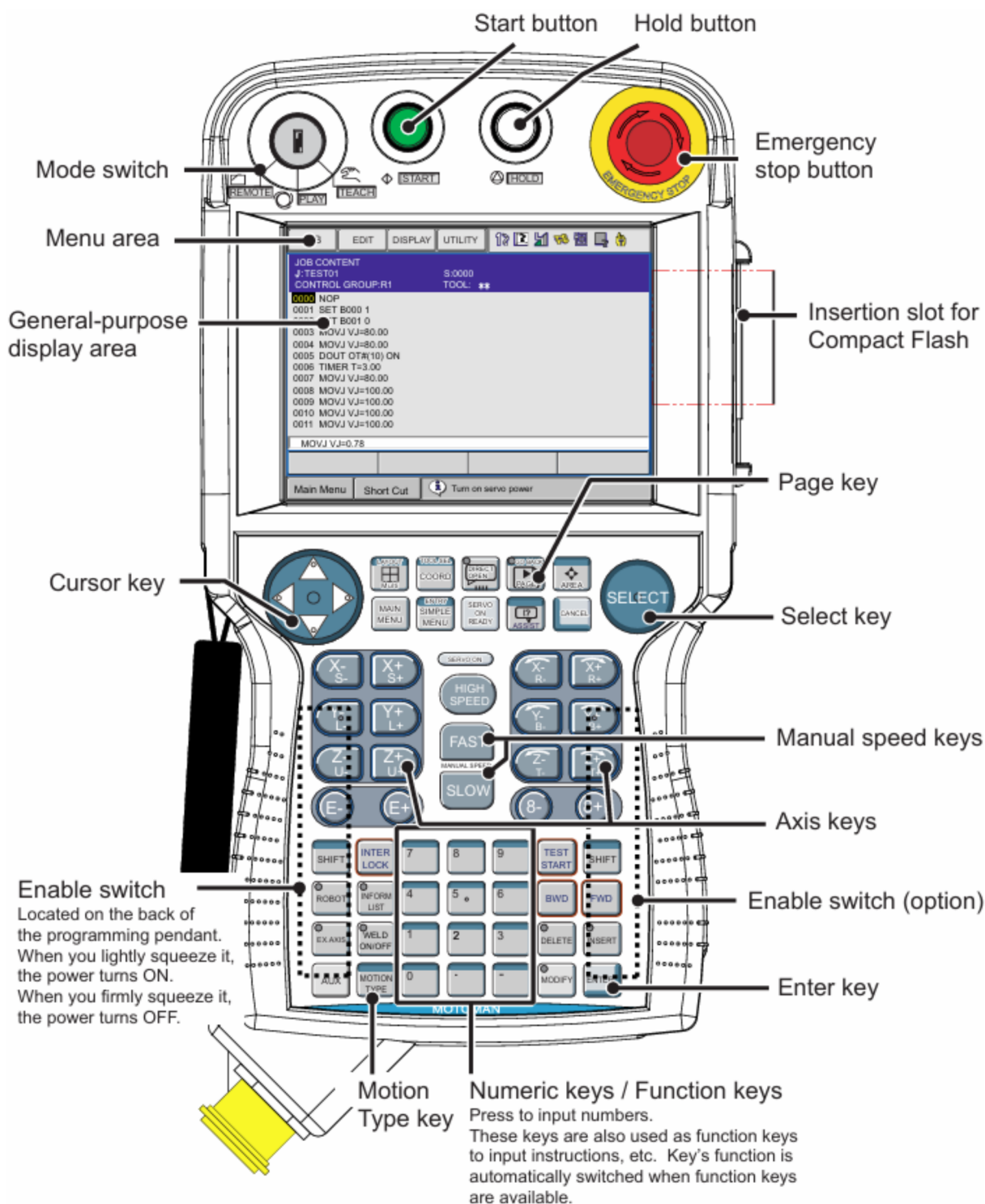
Kao što je već objašnjeno, radne zadatke koji su opisani primerima 1 i 2 je moguće isprogramirati na više načina. Sada će biti objašnjeno programiranje obučavanjem korišćenjem uređaja za obučavanje.

Kod programiranja obučavanjem pomoću uređaja, potrebno je pratiti sledeću logiku. Vrh robota (TCP) potrebno je prvo ručno dovesti u svaki položaj kroz koji je potrebno da TCP prođe prilikom izvršavanja radnog zadatka. Nakon što se TCP dovede u željeni položaj, položaj je potrebno zapamtiti i nakon toga podesiti način kretanja i ostale željene parametre.



Slika 10: Kretanje robota prilikom programiranja obučavanjem

Uređaj za obučavanje robota, koji se koristi da bi se robot pomerao i da bi se generisao program se naziva Teach Pendant ili Programing pendant i prikazan je na slici 11.



Slika 11: Uređaj za programiranje

Uređaj za programiranje je opremljen tasterima i prekidačima koji se koriste prilikom obučavanja robota i prilikom korigovanja radnih zadataka. Na ovom uređaju se, pored tastera i prekidača, nalazi i ekran osjetljiv na dodir preko koga se takode vrši interakcija sa robotom. Opis pojedinačnih, najčešće korišćenih tastera i prekidača ja dat u nastavku.

[START]



Izvršavanje radnog zadatka, nakon programiranja.
Taster sija zelenom bojom dok se izvršava radni zadatak.

E.STOP Button



Sigurnosni prekidač - pečurka. Isključuje servo motore kada se aktivira. Deaktivira se obrtanjem pečurke u desno.

[MODE]



Preklopni prekidač kojim se odabira mod rada robota.
PLAY - mod za izvršavanje radnog zadatka robota
TEACH - mod za obučavanje robota
REMOTE - mod za upravljanje robotom nekim drugim uređajem ili sistemom

Cursor



Taster za pomeranje kursora na ekranu

[SELECT]



Taster za odabir željenih opcija

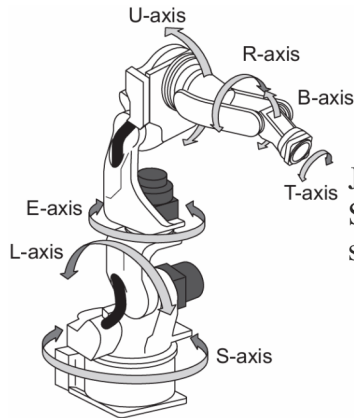


Omogućava napajanje servo motora. Mora biti aktiviran ako je potrebno pomerati robota. Dok je aktivan, iznad njega sija led indikator.

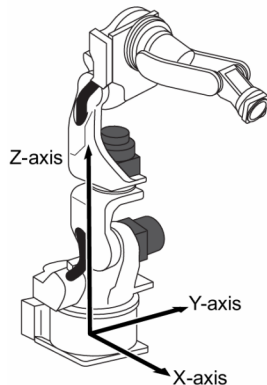
[COORD]



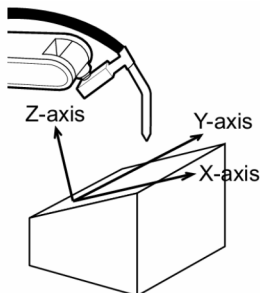
Odabir koordinatnog sistema za kretanje dok se robot obučava. Svaki pritisak na ovaj taster menja koordinatne sisteme po sledećem redosledu: JOINT - WORLD - TOOL - USER



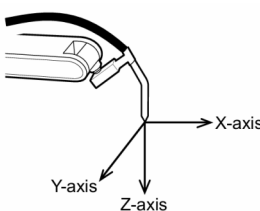
JOINT - Joint Coordinates - Unutrašnje koordinate. Svaka od osa se kreće nezavisno, kada je odabran ovaj koordinatni sistem.



WORLD - Cartesian Coordinates - Spoljašnje koordinate. Vrh robota (TCP) se kreće paralelno sa osama X, Y, Z baze robota.



USER - User Coordinates - Koordinatni sistem definisan od strane operatera. X, Y i Z osa ovog koordinatnog sistema se definišu u proizvoljnoj tački i pod proizvoljnim uglom. Vrh robota se kreće paralelno ovim osama.



TOOL - Tool Coordinates - Koordinate definisane u koordinatnom sistemu end-efektora. Efektivni pravac alata koji je postavljen na interfejs ploču robota određuje Z osu ovog koordinatnog sistema. U ovom slučaju, vrh robota se kreće paralelno osama ovog koordinatnog sistema.

[SHIFT]



Taster koji se koristi za promenu funkcije pojedinih tastera koji imaju više funkcija.

[INFORM LIST]



Taster kojim se ulazi u meni odabira pojedinačnih instrukcija INFORM jezika.

[MOTION TYPE]



Taster kojim se odabira tip interpolacije za kretanje do željene tačke tokom izvršavanja radnog zadatka. Svaki pritisak na ovaj taster menja tip interpolacije po sledećem redosledu:
MOVJ - MOVL - MOVC - MOVS

[FWD]



Taster kojim se robot pomera prema napisanom programu, dok je taster pritisnut. Može se koristiti kao provera napisanog programa pre puštanja robota u PLAY mod rada.

[BWD]



Taster kojim se robot pomera prema napisanom programu, u nazad, dok je taster pritisnut. Može se koristiti kao provera napisanog programa pre puštanja robota u PLAY mod rada.

[DELETE]



Brisanje odabrane instrukcije.

[INSERT]



Ubacivanje u program odabrane instrukcije.

[MODIFY]



Taster pomoću koga je moguće izvršiti modifikaciju neke već isprogramirane tačke u radnom zadatku robota.

[ENTER]



Taster za potvrđivanje odabrane instrukcije i opcije.

MANUAL SPEED keys



Taster za podešavanje brzine kretanja u toku programiranja, odnosno obučavanja robota. Svaki pritisak na ovaj taster menja brzinu po sledećem redosledu:
Inching - Slow - Medium - Fast

Axis Key



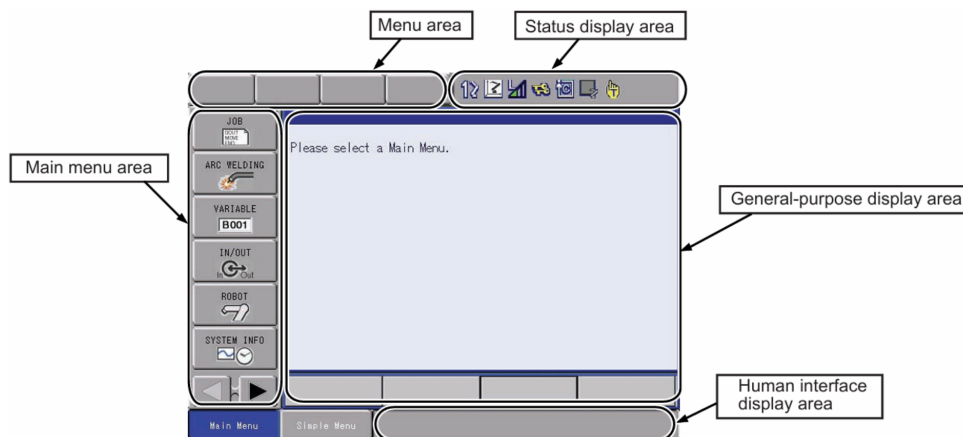
Tasteri za pomeranje pojedinačnih osa ili vrha robota u zavisnosti od odabranog koordinatnog sistema.

Numeric Key



Tasteri za unos podataka.

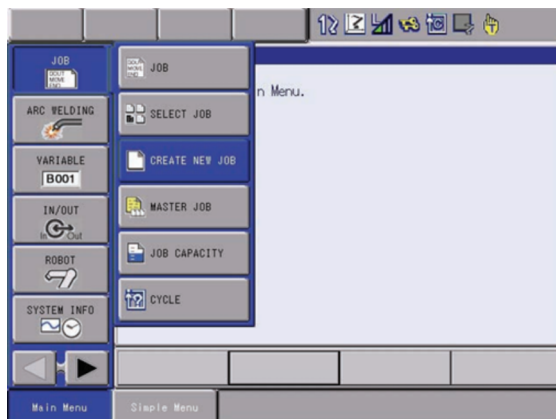
Ekran osjetljiv na dodir je podjeljen na pet zona. One su prikazane na slici ispod.



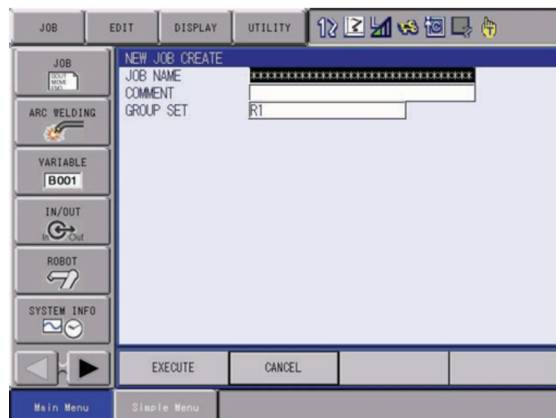
Slika 12: Ekran osjetljiv na dodir

Postupak programiranja - unošenje instrukcija za kretanje

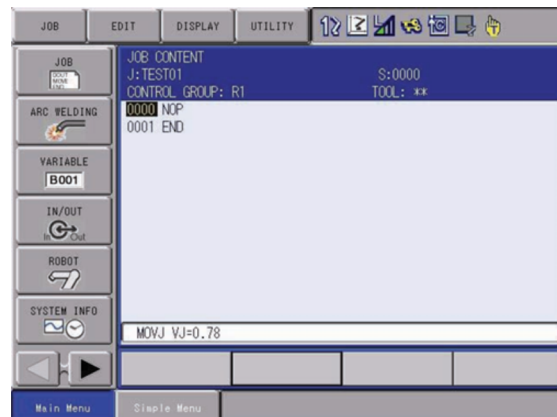
1. Podesiti mod rada na TEACH.
2. Sada je potrebno kreirati novi radni zadatak (JOB). To se radi na sledeći način:
 - MAIN MENU → JOB → CREATE NEW JOB



- Sada se otvara prozor u koji je potrebno uneti naziv i propratne parametre novog radnog zadatka.



- Nakon što se završi unos željenih podataka, pritisne se EXECUTE i novi radni zadatak je otvoren. Otvara se novi prozor u koji se unosi novi program. NOP i END instrukcije se automatski generišu i novi program se ispisuje između njih.



- Kursor treba da se nalazi u liniji koda ispod koje želimo da dodamo novi položaj za radni zadatak robota. Na početku to je svakako linija u kojoj se nalazi NOP instrukcija.
- Pritiska se taster SERVO ON i taster ENABLE koji se nalazi sa zadnje strane uređaja za obučavanje. Ovim je robot spreman za pomeranje.
- Vrh robota (TCP) se dovodi u željeni položaj.
- Pritiska se taster INSERT.
- Pritiska se taster ENTER i ovaj položaj je sačuvan u programu i nalazi se između NOP i END. Sada je potrebno definisati na koji način (vrsta kretanja) se dolazi do ovog položaja (MOVL, MOVJ, ...), kao i ostale parametre ovog kretanja.

- Kursor se postavlja na novu, insertovanu instrukciju,

```
0000 NOP
0001 MOVJ VJ=0.78
0002 END
```

- Pritiska se taster SELECT i kursor se prebacuje na zonu ekrana gde je moguće upisivati željene vrednosti.

```
MOVJ VJ=0.78
```

- Da bi se promenila vrsta kretanja, kao i brzina kretanja, potrebno je kursor podesiti ili na vrstu kretanja ili na brzinu i istovremenim pritiskom tastera SHIFT i ↑ ili ↓ se vrši promena.

```
MOVJ VJ=50.00
```

- Nakon što se završe izmene, pritisne se taster ENTER i položaj je unet u program radnog zadatka.
- Ponavljanjem ovog postupka se unose svi ostali potrebni položaji da bi se izvršio radni zadatak.

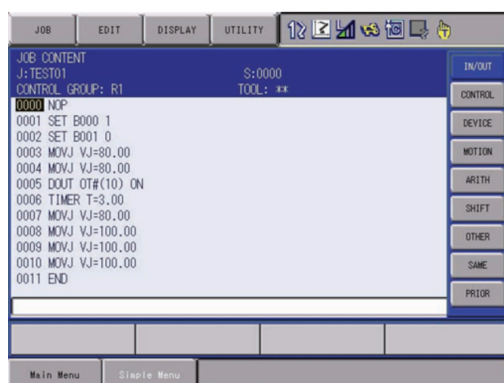
Insertovanje instrukcija programskog jezika INFORM

Pored ručnog pomeranja robota u željeni položaj i memorisanja tog položaja, moguće je i insertovati željene instrukcije u program robota. U nastavku će biti objašnjen način insertovanja željenih instrukcija u program bez pomeranja robota.

Instrukcije su podeljene u osam grupa i prikazane su u tabeli 1. Instrukcijama se pristupa tako što se pritisne taster **INFORM LIST**.



Nakon što se pritisne taster **INFORM LIST** sa desne strane ekrana osetljivog na dodir se prikazuje meni sa grupama raspoloživih instrukcija.

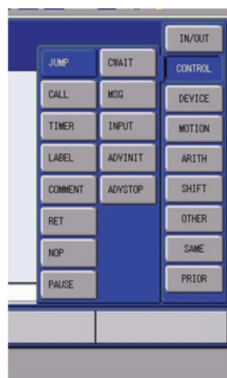


Slika 13: Pristup grupama instrukcija

Tabela 1: Prikaz instrukcija

Prikaz —	Grupa instrukcija —	Sadržaj —	Primer —
IN/OUT	Ulazno/izlazna instrukcija	Kontroliše ulaze i izlaze	DOUT, WAIT, ...
CONTROL	Kontrolna instrukcija	Kontroliše tok programa	JUMP, TIMER, ...
MOTION	Instrukcija kretanja	Pokreće manipulator	MOVJ, MOVL, ...
DEVICE	Radne instrukcije	Za konkretan radni zadatak. Zavarivanje, Farbanje, ...	ARCON, ...
ARITH	Aritmetičke instrukcije	Instrukcije za aritmetičke proračune	ADD, SET, ...
SHIFT	Instrukcije pomeranja	Napredne instrukcije za programiranje	SFTON, SFTOF, ...
SENS	Instrukcije za senzore	Napredne instrukcije za rad sa senzorima	COMARCON, ...
OTHER	Ostale instrukcije	Instrukcije koje ne pripadaju ostalim grupama	SHCKSET, ...
SAME	-	Određuje instrukciju na kojoj se nalazi kursor	-
PRIOR	-	Određuje prethodno registrovanu instrukciju	-

Pritiskom na željenu grupu instrukcija na ekranu se otvara novi meni sa svim instrukcijama iz te grupe.



Slika 14: Pristup instrukcijama

Insertovanje instrukcija u program

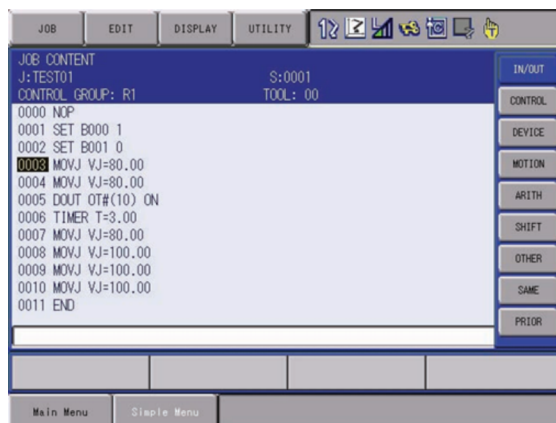
1. Dovedi kursor na željenu poziciju na ekranu,
 - Kursor je neophodno dovesti na liniju ispod koje je potrebno insertovati instrukciju.

Mesto ispod koga se dodaje instrukcija →

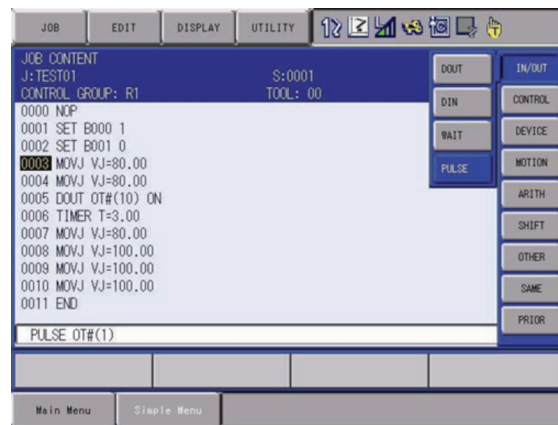
```

0002 SET B001 0
0003 MOVJ VJ=80.00
0004 MOVJ VJ=80.00
  
```

2. Pritisnuti taster **INFORM LIST**,
 - Otvara se meni sa desne strane ekrana, sa grupama instrukcija.



3. Selektuje se željena grupa instrukcija
 - Odabira se željena instrukcija iz određene grupe instrukcija.



4. Izmeniti željene parametre svake instrukcije prema potrebi. Ovo se izvodi u prostoru ekrana ispod programa.
5. Pritisnuti taster **INSERT** pa taster **ENTER** da bi se instrukcija insertovala u program.

Na ovaj način se insertuju instrukcije u program, bez pomeranja robota.