

Realizacija upravljanja makete kartezijskog manipulatora

Studentski rad

Mateo Stojanović

Student drugog ciklusa studija

Elektrotehnički fakultet

Istočno Sarajevo, Bosna i Hercegovina

mateo.stojanovic.m141@student.etf.ues.rs.ba

Sažetak – U radu je opisan način upravljanja maketom kartezijskog manipulatora pomoću programabilnog logičkog kontrolera (PLK) Siemens S7-300. Edukaciona maketa, koja se nalazi u Laboratoriji za industrijsku automatizaciju Elektrotehničkog fakulteta u Istočnom Sarajevu, simulira rad AS/RS sistema. Pogodna je za praktičan rad u nastavi u cilju edukacije studenata iz oblasti mehatroničkih sistema i robotike. Opisan je način sekvencijalnog upravljanja, razlaganjem problema na niz stanja koja se trebaju izvršiti prema utvrđenom redosljedu. Student, nakon što savlada rad na ovoj maketi, je spreman koristeći znanja iz teorije konačnih automata i naredbe za programiranje PLK rješavati složenije probleme u realnim industrijskim procesima.

Ključne riječi – kartezijski manipulator; AS/RS sistem; PLK Siemens S7-300; sekvencijalno upravljanje; edukaciona maketa

I. UVOD

Jedan od najefikasnijih načina podučavanja i upoznavanja studenata sa načinima automatizacije procesa pomoću programabilnih logičkih kontrolera (PLK) je putem didaktičkih maketa. One su dizajnirane da simuliraju različite procese u industriji koji se trebaju ubrzati i automatizovati. Na taj način studenti tokom studija stječu znanje o rješavanju problema koji se mogu naći u praksi te se lakše prilagođavaju budućim radnim izazovima. Na Elektrotehničkom fakultetu u Istočnom Sarajevu u Laboratoriji za industrijsku automatizaciju nalazi se edukaciona maketa kojom se simulira automatizovani sistem za skladištenje i preuzimanje dijelova (eng. Automated storage and retrieval system, AS/RS). AS/RS je tip računarski upravljanih sistema koji vrši čuvanje, skladištenje i preuzimanje proizvoda i zaliha, najčešće u distributivnim centrima, skladištima i proizvodnim pogonima. Glavni zadatak ovakvog sistema je da na automatski način prenese robu sa prijemne platforme na unaprijed zadatu skladišnu lokaciju ili da sa te lokacije robu dostavi na predajnu platformu za dalju otpremu. Prednosti uvođenja automatizacije u ovaj proces su bolja iskorištenost skladišnog prostora, smanjena mogućnost greške, povećana brzina izvršenja procesa, povećana sigurnost radnika i drugo [1].



Slika 1. Izgled makete kartezijskog manipulatora

II. OPIS MAKETE

Maketa predstavlja troosni kartezijski manipulator, prikazan na Sl. 1. Upravljanje kod kartezijskih manipulatora se odvija linearno po tri ose, koje su međusobno postavljene pod pravim uglom. Kretanje po svakoj osi je određeno postavljanjem linearnog aktuatora, čija je pobuda generisana signalom iz upravljačkog sistema, u konkretnom slučaju iz PLK. Odlikuje ih preciznost, ponovljivost i velika iskorištenost radnog prostora radi korištenja tri ose [2].

Elementi koji čine manipulator su [3]:

- 1) hvataljka za sortiranje predmeta
- 2) police za skladištenje predmeta (4 police na koje je moguće postaviti do 5 radnih predmeta)
- 3) motori za kretanje hvataljke (po jedan za svaku osu)
- 4) kontrolni panel



Slika 2. Prikaz kontrolnog panela

Hvataljka služi za premještanje radnih predmeta na željenu poziciju. Kretanje se vrši po tri ose – x, y i z ose. Kretanje je omogućeno putem jednosmjernih motora i ograničeno je graničnim prekidačima, za sve tri ose. Postoji ukupno 6 graničnih prekidača koji određuju krajnji položaj hvataljke, po 2 za svaku osu. Pozicioniranje na određenim pozicijama po x i y osi određuje se pomoću fotoelektričnih senzora. Svaki prolazak hvataljke izaziva promjenu intenziteta svjetlosti, koja se detektuje sensorima postavljenim na tačno određenim pozicijama. Po x osi hvataljka se može zaustaviti na 5 pozicija, a po y osi na 4 pozicije. Kretanje po z osi je određeno samo graničnim prekidačima, tako da su moguće samo dvije krajnje pozicije, naprijed i nazad. Dakle, hvataljka svojim kretanjem opisuje geometrijsko tijelo kvadar. Motori koji regulišu kretanje po x i y osi mogu biti aktivni istovremeno, dok se kretanje po z osi vrši odvojeno od prethodna dva procesa.

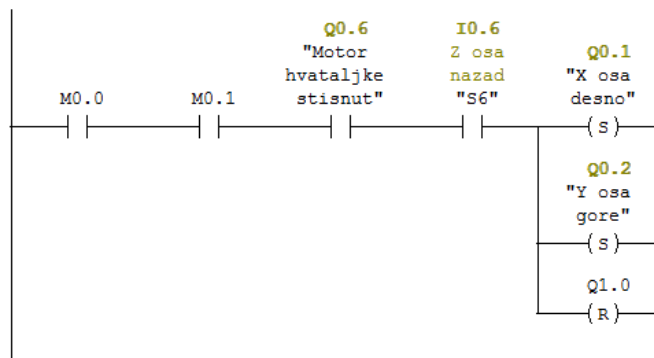
Dio kontrolnog panela koji je potreban za realizaciju ovog zadatka je prikazan na Sl. 2. Sastoji se od:

- 1) tastera STOP za prekidanje rada manipulatora
- 2) tastera START za pokretanje rada manipulatora
- 3) tastera FAULT za intervenciju koja prekida pojavu neželjenih uslova nastalih pri radu
- 4) tastera ON kojeg treba držati pritisnutim za vrijeme rada manipulatora

III. SEKVENCIJALNO UPRAVLJANJE

Sekvencijalno upravljanje predstavlja način rješavanja problema koji se sastoji od izvršavanja niza, odnosno sekvence uvijek istih operacija, po principu "Ako se zadovolji određeni uslov, tada nastupa sljedeća akcija". Na kraju izvršenja procesa će uvijek biti isti rezultat. Jednostavnost ovakvog načina upravljanja ga čini pogodnim za upotrebu u upravljanju automatskih mašina i procesa u kojima se zahtijeva da proces ili mašina slijede uvijek istu sekvencu operacija. Tokom izvršenja procesa ni u jednom trenutku ne smije doći do preklapanja komandi. Prednost sekvencijalnog upravljanja se ogleda u tome što je moguće upravljati složenim sistemima ukoliko se glavni problem razloži na manje i poznate probleme i utvrdi sekvencu akcija koje se moraju izvršiti po tačno određenom redoslijedu.

Sekvencijalno upravljanje u proizvodnim sistemima je bila odlika relejnih sistema, koji su radi jednostavnosti, fleksibilnosti i veće efikasnosti zamijenjeni PLK-ovima. Kako bi se uvođenje PLK na što brži i lakši način implementiralo u industrijskim pogonima, osmišljen je programski jezik prilagođen tehnici koja je svim korisnicima relejnih sistema



Slika 3. Izgled mreže u leder programskom jeziku

poznata. Tako je nastao leder (eng. ladder) programski jezik. Programiranje se odvija po mrežama, a svaka mreža se sastoji od niza grafičkih simbola, odnosno programskih naredbi koje predstavljaju logičke elemente. Svaka mreža se sastoji od dva dijela. Na lijevoj strani se nalazi uslov izražen u formi prekidačke logike, dok se na desnoj strani nalazi akcija koja se treba izvršiti ukoliko je uslov ispunjen [4]. Na Sl. 3 je prikazan izgled jedne takve mreže u leder programskom jeziku. Očigledno je da ovakav način programiranja u potpunosti odgovara logici sekvencijalnog programiranja. Iz tog razloga, u leder programskom jeziku je izrađeno rješenje ovog zadatka.

IV. OPIS RJEŠENJA

A. PLK i hardverska konfiguracija

Pri rješavanju ovog zadatka korišten je PLK Siemens S7-300, koji se koristi na Elektrotehničkom fakultetu pri izvođenju nastave iz oblasti robotike i automatizacije, a za njegovo konfigurisanje i programiranje korišten je programski paket SIMATIC Manager STEP 7. Hardverska konfiguracija kontrolera potrebna za izvršavanje zadatka je sljedeća: napojna jedinica PS 307 5A koja na izlazu daje 24V/5A, centralna procesorska jedinica CPU 315F-2PN/DP, digitalni U/I modul sa 16 ulaza/izlaza – DI16/DO16x24V/0.5A, analogni U/I modul sa 4 ulaza i 2 izlaza – AI4/AO2x8/8bit, te CP343-2 komunikacioni modul za komunikaciju između računara i PLK. Kako je već navedeno, programiranje je izvršeno u leder programskom jeziku.

Za povezivanje manipulatora i PLK koristi se D-sub kabl sa 37 pinova, a pored toga je potreban napojni kabl koji dovodi naizmjenični mrežni napon na ulaz napojne jedinice manipulatora. S druge strane, komunikacija između PLK i računara se odvija putem MPI komunikacije pomoću MPI/DP kabla.

B. Opis problema

Maketa AS/RS sistema se sastoji od 4 police na koje se smještaju radni predmeti. Uvedena je pretpostavka da na donju policu dolaze radni predmeti koji se onda trebaju postaviti na svoje mjesto na neku od gornjih polica. Ukupno je 5 horizontalnih pozicija (x osa) na svakoj polici. Početna pozicija hvataljke je donji lijevi ugao, odnosno krajnja lijeva pozicija po x osi, krajnja donja pozicija po y osi i krajnja

TABELA I. TABELA DODIJELJENIH SIMBOLA I ADRESA

| Adresa | Simbol | Komentar |
|--------|---------------|---|
| I0.0 | S0 | Granični prekidač: x osa lijevo |
| I0.1 | S1 | Granični prekidač: x osa desno |
| I0.2 | B1 | Svjetlosna barijera: položaj po x osi |
| I0.3 | S3 | Granični prekidač: y osa dolje |
| I0.4 | S4 | Granični prekidač: y osa gore |
| I0.5 | B2 | Svjetlosna barijera: položaj po y osi |
| I0.6 | S6 | Granični prekidač: z osa nazad |
| I0.7 | S7 | Granični prekidač: z osa naprijed |
| I1.0 | S2 | Predmet prisutan na polici |
| I1.3 | START | Taster START za pokretanje hvataljke |
| Q0.0 | X_lijevo | Pokretanje motora po x osi lijevo |
| Q0.1 | X_desno | Pokretanje motora po x osi desno |
| Q0.2 | Y_gore | Pokretanje motora po y osi gore |
| Q0.3 | Y_dolje | Pokretanje motora po y osi dolje |
| Q0.4 | Z_nazad | Pokretanje motora po z osi nazad |
| Q0.5 | Z_naprijed | Pokretanje motora po z osi naprijed |
| Q0.6 | Motor_Stisnut | Motor hvataljke stisnut |
| Q0.7 | Motor_Opušten | Motor hvataljke opušten |
| Q1.0 | Y1 | Kretanje hvataljke prema radnom predmetu |
| Q1.2 | Y2 | Kretanje hvataljke sa radnim predmetom |
| M0.0 | Flag_1 | Marker: indikator kretanja hvataljke prema radnom predmetu po x osi |
| M0.1 | Flag_2 | Marker: indikator kretanja hvataljke prema radnom predmetu po y osi |
| M0.3 | Flag_3 | Marker: indikator kretanja hvataljke sa radnim predmetom po x osi |
| M0.4 | Flag_4 | Marker: indikator kretanja hvataljke sa radnim predmetom po y osi |

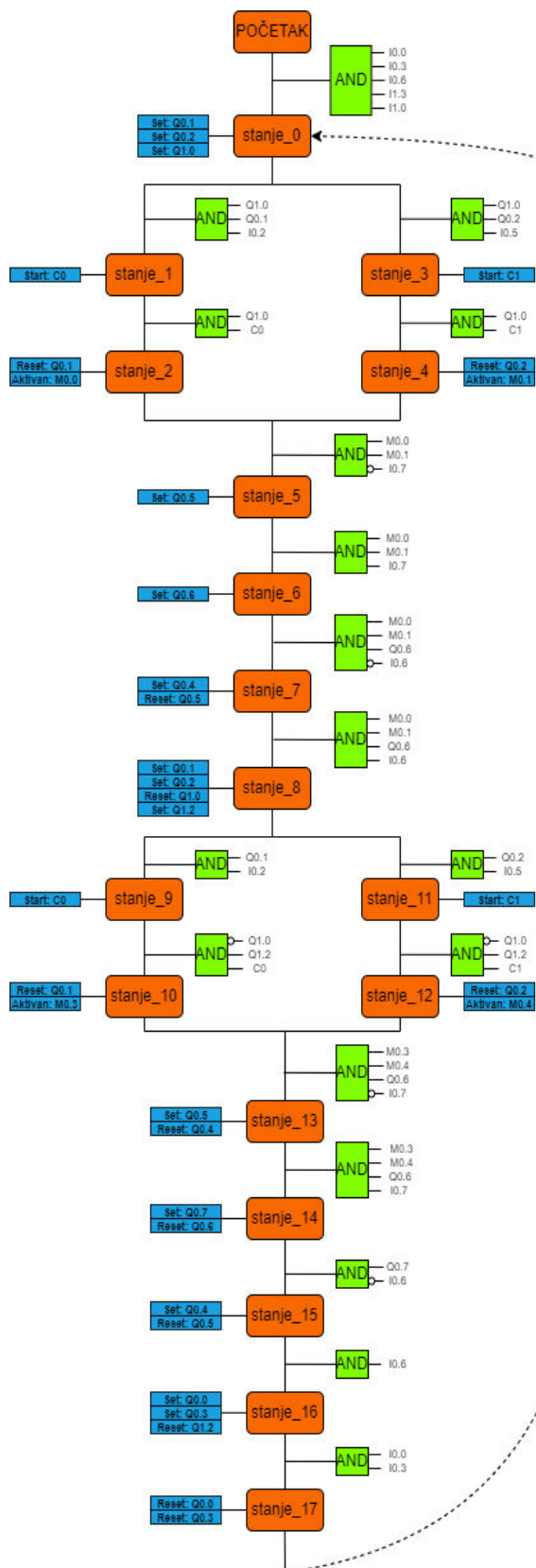
položaj nazad po z osi. Zadatak je da hvataljka, sve dok su prisutni radni predmeti na donjoj polici, uzme predmet i prenese ga na unaprijed određenu poziciju (od strane korisnika) na nekoj od gornjih policica. Kada se ne detektuje prisustvo radnih predmeta koji čekaju red za prenos do svog mjesta, proces se zaustavlja. Na osnovu navedenih zahtjeva formirana je tabela dodijeljenih simbola i adresa ulaznim i izlaznim promjenjivim (Tabela 1).

C. Rješenje problema

Na Sl. 4. je prikazan dijagram stanja na osnovu kojeg je urađeno rješenje projektnog zadatka. Rješavanje zadatka se može podijeliti na 17 različitih stanja čije izvršavanje ovisi od

ulaznih i izlaznih promjenjivih, datim u tabeli simbola i adresa.

Na početku je potrebno da hvataljka bude u svojoj početnoj poziciji, što je određeno graničnim prekidačima po x, y i z osi te da postoji radni predmet na donjoj polici. Pritiskom na taster START počinje rad hvataljke. Kako je uzeto da je početni položaj donji lijevi ugao, potrebno je pokretanje motora za kretanje po x osi desno i y osi gore. Pored toga, setuje se izlazni bit Q1.0 koji označava da se hvataljka kreće prema radnom predmetu. Prolasci hvataljke po x i y osi se detektuju pomoću svjetlosnih barijera, predstavljenih bitovima I0.2 i I0.5, respektivno. Zasebni brojač za svaku osu broji prolasku hvataljke kroz svjetlosnu barijeru i tako se dobija informacija o položaju hvataljke. Zaustavljanje hvataljke je urađeno pomoću komparatora. Na jedan ulaz se unosi sadržaj brojača, a na drugi pozicija na odgovarajućoj osi na kojoj se nalazi radni predmet ili ga treba ostaviti. Kada se te dvije vrijednosti izjednače, resetovanjem izlaznih bitova koji upravljaju motorima hvataljke, ista se zaustavlja. Na taj način hvataljka dolazi do pozicije na x i y osi na kojoj se nalazi radni predmet, što je predstavljeno stanjima 1 i 2 za x osu, te 3 i 4 za y osu. Tom prilikom se aktiviraju i memorijski bitovi M0.0 i M0.1. Nakon toga, hvataljka se kreće prema radnom predmetu, odnosno pokreće se motor za kretanje naprijed po z osi. Dolaskom u krajnji položaj naprijed po z osi, predstavljeno aktivnim bitom I0.7, hvataljka uzima radni predmet. Nakon što je hvataljka uzela radni predmet, vraća se nazad u krajnji položaj po z osi. Sljedeći korak, predstavljen stanjem 8, je kretanje ka poziciji na kojoj se treba ostaviti radni predmet. Pošto je pri simulaciji AS/RS sistema uzeto da na donju policu dolaze predmeti koje treba skladištiti na gornjim policama, opet se pokreću motori za kretanje desno po x osi i gore po y osi. Pošto se sada hvataljka kreće sa radnim predmetom, resetuje se bit Q1.0, a setuje Q1.2. Na isti način kao kod kretanja prema radnom predmetu, pomoću brojača i komparatora, je određena pozicija na kojoj će se zaustaviti hvataljka u ovom slučaju. Uslov da je aktivan bit Q1.2 i a neaktivan Q1.0 je uveden kako ne bi došlo do kolizije u radu brojača, odnosno u konkretnom slučaju da ne bi došlo do istovremenog rada brojača u stanjima 1 i 9 ili 2 i 11. Kada hvataljka dođe u odgovarajući položaj po x i y osi na kojem treba ostaviti radni predmet, što je predstavljeno memorijskim bitovima M0.3 i M0.4, zaustavljaju se motori kretanja desno i gore. Potom hvataljka ide naprijed do krajnjeg položaja po z osi gdje ostavlja radni predmet, tj. motor hvataljke je opušten (setovan bit Q0.7, a resetovan Q0.6, stanje 14). Hvataljka se zatim kreće nazad po z osi. Nakon što je radni predmet ostavljen na svoju poziciju, hvataljka se vraća u početni položaj po x i y osi (sada su aktivni motori za kretanje lijevo i dolje) te se resetuje izlazni bit Q1.2. Dolaskom u početni položaj po svim osama, ispunjen je jedan ciklus rada hvataljke. Ukoliko postoji još jedan predmet na donjoj polici, ciklus se ponovo izvršava počevši od stanja 0.



Slika 4. Dijagram stanja rješenja problema

U ovom radu je opisana realizacija upravljanja maketom troosnog karterzijanskog manipulatora, koja simulira AS/RS sistem za skladištenje proizvoda u industrijskim i distributivnim pogonima. Za upravljanje je korišten PLC Siemens S7-300, a programiranje je rađeno u namjenskom programskom okruženju Simatic Manager STEP7. Manipulator sa police na koju dolaze radni predmeti prenosi i sortira iste na njihove skladišne pozicije, u svrhu ubrzanja i automatizacije procesa skladištenja proizvoda. Zadatak je riješen koristeći princip sekvencijalnog upravljanja, a rješenje je prikazano putem dijagrama stanja. Problem se može razložiti na 17 različitih stanja, odnosno sekvenci, čijim se izvršavanjem prema tačno utvrđenom redoslijedu ostvaruje željeni način rada. Potrebno je da hvataljka manipulatora iz svog početnog položaja dođe do radnog predmeta, uzme ga, prenese ga na određenu skladišnu poziciju i vrati se u početni položaj.

Maketa je pogodna za edukaciju studenata iz oblasti mehatroničkih sistema i robotike. Cilj je da studenti kroz rad na maketi nauče sekvencijalno programiranje složenih mehatroničkih sistema. Osim toga, za programiranje su, pored bit logičkih operacija, korištene još samo naredbe brojač i komparator. Dakle, studenti kroz osnovne naredbe u programiranju PLC koje se uče na uvodnim časovima iz ove oblasti, mogu da upravljaju složenim realnim industrijskim procesima.

ZAHVALNICA

Autor se zahvaljuje prof. Slobodanu Luburi na pruženju podršci tokom izrade ovog rada. Ovo istraživanje finansirao je Pokrajinski sekretarijat za visoko obrazovanje i naučnoistraživačku djelatnost Autonomne pokrajine Vojvodine, Republika Srbija, kroz projekat br. 142-451-2004/2022-01.

LITERATURA

- [1] <https://www.conveyco.com/blog/automated-storage-and-retrieval-types/>, pristupljeno decembar 2022.
- [2] <https://www.linearmotiontips.com/what-is-a-cartesian-robot/>, pristupljeno decembar 2022.
- [3] "Technology station MHM 16020-V4 – Automatic Storage and Retrieval System", Wuekro
- [4] <http://es.elfak.ni.ac.rs/mps/materijal/6-LEDER.pdf>, prisupljeno decembar 2022.

ABSTRACT

The paper describes the method of controlling the model of Cartesian manipulator using the programmable logic controller (PLC) Siemens S7-300. The educational model, located in the Laboratory for industrial automation at the Faculty of Electrical Engineering in East Sarajevo, simulates the operation of the AS/RS system. It is suitable for practical work in classes in order to educate students in the field of mechatronic systems and robotics. The method of sequential programming is described, by breaking down the problem into a different states that should be executed in the given order. After completing education on this model, the student is ready to solve more complex problems in real industrial processes using knowledge

from the finite automata theory and commands used for PLC programming.

**CONTROL REALIZATION OF THE MODEL OF
CARTESIAN MANIPULATOR**

Mateo Stojanović