

AUTOMATIZOVANI SISTEM ZA SORTIRANJE I PAKOVANJE REALIZOVAN POMOĆU PROGRAMABILNOG ROBOTSKOG MANIPULATORA SA ČETIRI STEPENA SLOBODE**AUTOMATED SYSTEM FOR SORTING AND PACKAGING REALIZED USING PROGRAMMABLE ROBOTIC MANIPULATOR WITH FOUR DEGREES OF FREEDOM**

Savo Ristić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – MEHATRONIKA

Kratak sadržaj – U ovom radu su predstavljene komponente automatizovanog sistema za sortiranje i pakovanje. Takođe, opisan je proces implementacije svih komponenti u funkcionalan sistem. Na kraju rada je predstavljen algoritam koji opisuje rad sistema.

Ključne reči: automatizovan sistem za sortiranje i pakovanje, programabilni robotski manipulator.

Abstract – This paper presents components of automated system for sorting and packaging. Also, process involving the implementation of components in functional system is presented. Paper concludes with algorithm that explains the working principle of automated system.

Keywords: automated system for sorting and packaging, programable robotic manipulator

1. UVOD

Još od nastanka procesa proizvodnje, vlasnici fabrika su tražili načine da povećaju produktivnost te smanje troškove. Ovaj način razmišljanja i rada je doveo do značajnog povećanja u interesovanju za automatizacijom kako bi se zamenuili ljudi u dosadnim i ponovljivim operacijama te da bi otklonili faktor ljudske greške i na taj način obezbedili stabilne i pouzdane procese. Da bi se obezbedila maksimalna autonomija sistema, odnosno da bi se sistemi digli na najviši stepen automatizacije, sve veći fokus je na upotrebi industrijskih robota.

Industrijska automatizacija, kao revolucionaran koncept i dokaz kontinualnog napretka i razvoja ljudske civilizacije, predstavlja osnovnu inspiraciju. Ideja za izradu ovog projekta je proistakla iz iskustva prikupljenog u radu u industriji sa visokim stepenom automatizacije. Iako inspirisano stvarnom proizvodnom linijom, krajnje idejno rešenje je prilagođeno dostupnim resursima u trenutku razvoja.

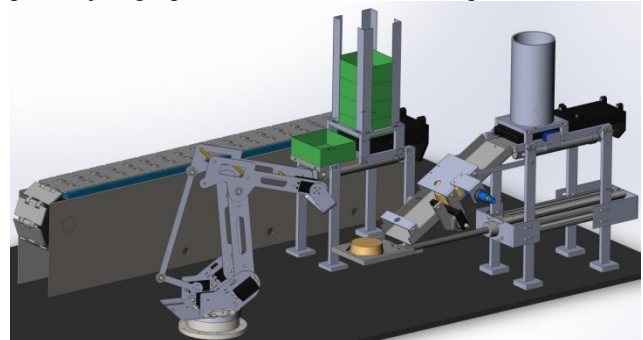
Cilj ovog rada je izrada automatizovanog sistema za sortiranje i pakovanje koji se zasniva na korištenju pneumatskih elemenata upravljanih pomoću industrijskog programabilnog logičkog kontrolera te integracija sistema sa programabilnim robotskim manipulatorom.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Jovan Bajić, docent.

2. ANALIZA KOMPONENTI SISTEMA**2.1. Mehanička konstrukcija sistema**

Na slici 1 prikazan je 3D model konstrukcije celokupnog sistema za sortiranje i pakovanje zajedno sa programabilnim robotskim manipulatorom. Svi modeli sistema su izrađeni u programu SOLIDWORKS. Slika 2 prikazuje u potpunosti realizovan sistem u procesu rada.



Slika 1. 3D Model sistema za sortiranje i pakovanje

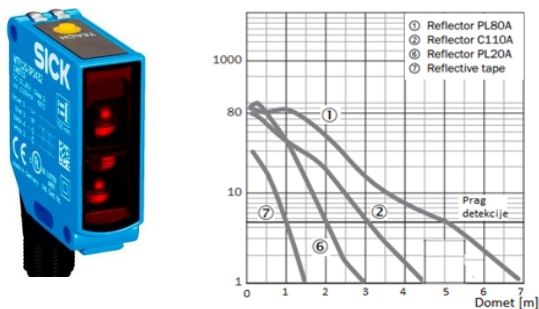
Konstrukcija sistema je realizovana kao četiri celine. Predmeti pakovanja i kutije, u koje se predmeti pakuju, su smešteni u sisteme vertikalnih dispnzera koji pomoću pneumatskih cilindara omogućavaju njihovo izguravanje na poziciju gde robotski manipulator vrši preuzimanje a zatim smeštanje na pokretnu traku pogonjenu asinhronim motor. Sve komponente sistema su izrađene kombinacijom materijala od nerđajućeg čelika (Č4580) i aluminijuma (Al) prema radioničkim crtežima formiranim na osnovu 3D modela. Elementi sistema koji su bili zahtevni za fizičku izradu, a zahtevali su izradu eksplicitno prema modelu, su izrađeni od plastike pomoću 3D štampača. Kutije i predmeti pakovanja su izrađeni na isti način.



Slika 2. Fizička realizacija sistema

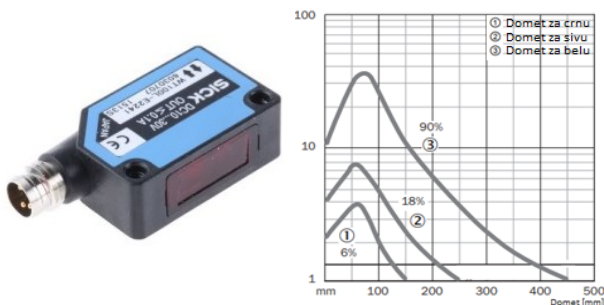
2.2. Senzori

Nakon izrade mehaničke konstrukcije sistema, sledila je implementacija senzora. Sistem je realizovan kao sekvencijalna mašina stanja koja prati pozicije kutije i predmeta koji se u njih pakuju i kao takav zahtevao je upotrebu digitalnih senzora prisustva.



Slika 3. Senzor WL12-3P2431 (levo) [2]
Zavisnost detekcije od dometa (desno)

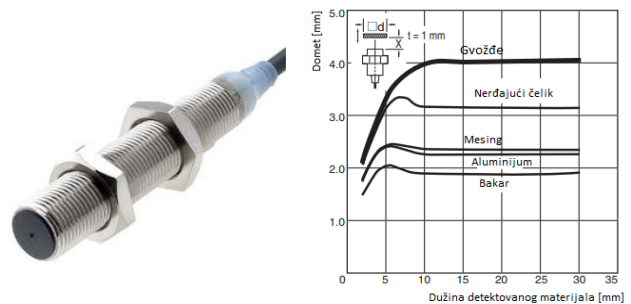
Za detekciju kutija u dispenzeru, kao i za detekciju kutije na pokretnoj traci, koristi se industrijski optički reflektivni senzor WL12-3P2431 prikazan na slici 3. Odlične karakteristike ovog senzora kao što su domet detekcije do 7 m, velika robusnost kao i upotreba reflektora, čine ovaj senzor idealnim za detekciju prisustva crnih kutija za pakovanje jer boja predmeta ne utiče na detekciju. Karakteristika reflektivnog senzora, koja opisuje zavisnost detekcije od dometa za različite reflektore, je prikazana na slici 3.



Slika 4. Senzor WT100L-E2241 (levo) [3]
Zavisnost detekcije od boje (desno)

Za detekciju predmeta pakovanja u dispenzeru, koristi se difuzni optički senzor WT100L-E2241 prikazan na slici 4. Iako ima manji domet detekcije i duplo manji vek trajanja, ovi senzori imaju veliku prednost zbog principa rada koji ne zahteva upotrebu reflektora te kao takvi predstavljaju idealno rešenje za mehanički sklop u kome nema dovoljno prostora za reflektor. Međutim, prilikom testiranja su uočeni problemi sa detekcijom predmeta pakovanja koji su crne boje. Razlog je veoma mali procenat difuzne remisije.

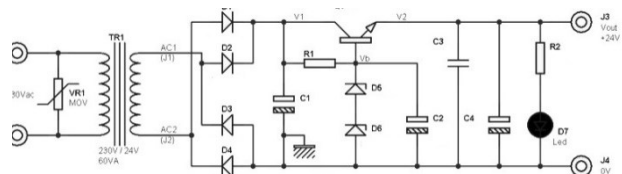
Da bi se omogućilo sortiranje predmeta pre pakovanja, potrebno je prvenstveno izvršiti inspekciju i utvrditi jesu li predmeti metalni ili ne metalni pri čemu se metalni predmeti pakuju dalje a nemetalni idu u škart. Inspekcija se vrši korištenjem induktivnog senzora Omron E2A-4M12. Prilikom testiranja je uočen problem sa dometom ovog senzora. Daljom analizom uočeno je da, pored debljine materijala, domet zavisi i od vrste metala predmeta koji se detektuje. Slika 5 prikazuje korišteni senzor, kao i njegovu zavisnost dometa od materijala.



Slika 5. Senzor Omron E2A-4M12 (levo) [4]
Zavisnost dometa od materijala (desno)

2.3 Aktuatori i sistem napajanja

Za pogon pokretne trake iskorišten je motor SEVER snage 0,25kW sa izlaznim brojem obrtaja $n = 900 \text{ min}^{-1}$ i obrtnim momentom $T = 9,4 \text{ Nm}$, priključen na trofaznu naponsku mrežu sa frekventnim regulatorom. Nominalna struja opterećenja je $I_n = 0,69 \text{ A}$, pri čemu, u slučaju da je rotor zaglavljen, motor može „povući“ struju i do 6,1A. Stoga, kako bi sistem bio siguran iskorištena je motorna zaštitna sklopka od 4A. Podešavanje struje isključenja na motornoj zaštitnoj sklopki se vrši u opsegu od 2,4 – 4 A pomoću potencijometra.



Slika 6. Šema jednosmernog izvora napajanja [5]

Za napajanje komponenti sistema, koje za rad zahtevaju stabilan napon od 24V, koristi se izvor napajanja jednosmerne struje, Siemens PS307 10A/24V. Slika 6 prikazuje šemu jednosmernog izvora napajanja koji obezbeđuje 24V.

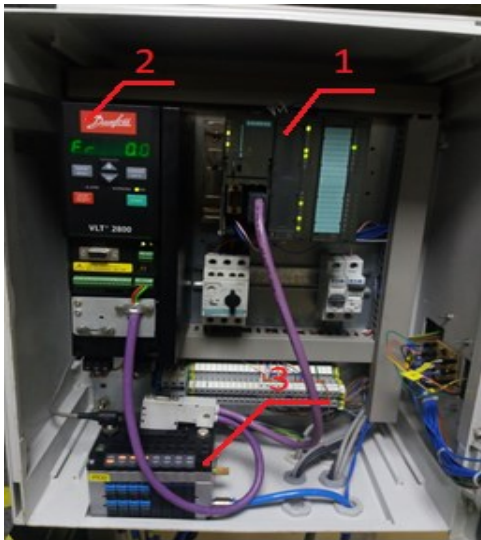
Linearno kretanje elemenata izrađenih na 3D štampaču, koji se koriste za izguravanje kutija i predmeta pakovanja iz vertikalnih gravitacionih dispenzera, se ostvaruje pomoću pneumatskih cilindara FESTO DSNU-25-100. Sortiranje predmeta pakovanja, nakon inspekcije, se vrši pomoću pneumatskog cilindra sa profilisanom klipnjačom FESTO DNC-32-200. Na slici 7 su prikazane vrste pneumatskih cilindara koji se koriste u ovom projektu.



Slika 7. FESTO DSNU-25-100 (levo) [6]
FESTO DNC-32-200 (desno)

2.4 Centralna upravljačka jedinica

Upravljanje automatizovanim sistemom za sortiranje i pakovanje, prema programski zadanim instrukcijama, se vrši pomoću programabilnog logičkog kontrolera Siemens S7-300 sa centralnom procesorskom jedinicom 315-2 DP, ulaznim modulom SM 321 DI16xDC24V koji očitava 16 ulaznih digitalnih vrednosti, i izlaznim modulom SM 321 DO16xDC24V 0,5A koji setuje 16 izlaznih digitalnih vrednosti. Komunikacija sa frekventnim regulatorom se vrši putem PROFIBUS-DP komunikacionog protokola. Na isti način je ostvarena i komunikacija sa ventilskim ostrvom koji upravlja radom pneumatskih aktuatora. Programabilni logički kontroler korišten u ovom sistemu je prikazan na slici 8, označen pod brojem 1.



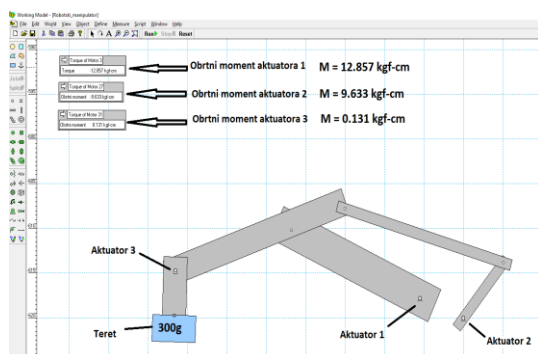
Slika 8. Upravljački elektro ormar

3. ANALIZA ROBOTSKOG MANIPULATORA

Kao zasebna jedinica u sistemu za sortiranje i pakovanje, koristi se programabilni robotski manipulator realizovan u antropomorfnjoj konfiguraciji sa četiri stepena slobode. Manipulator, koji je prikazan na slikama 1 i 2, predstavlja zaseban projekat [1] koji je optimizovan i prilagođen za realizaciju sistema za sortiranje i pakovanje.

3.1 Mehanička konstrukcija robotskog manipulatora

Fizička konstrukcija manipulatora je napravljena od aluminijuma na osnovu 3D modela izrađenog u programu SOLIDWORKS. Maksimalna nosivost je 300 grama a ustanovljena je na osnovu simulacije izvršene u programu Working Model 2D. Slika 9 prikazuje primer simulacije.



Slika 9. Simulacija nosivosti robotskog manipulatora [1]

3.2 Senzori i aktuatori robotskog manipulatora

Za pogon robotskog manipulatora su iskorišteni servo motori MG996R u konfiguraciji tako da svaki motor pogoni jedan zglobov manipulatora a da se pri tome, sistemom mehaničkih poluga, što više motora izmesti u bazu radi manjeg opterećenja. Korišteni servo motor ostvaruje obrtni moment od 0.92 Nm pri radnom naponu od 5 V sa maksimalnom strujom opterećenja od 1 A. Upravljanje servo motorm ostvaruje mikrokontroler pomoću PWM signala. Na slici 10 je prikazan servo motor u funkciji aktuatora (levo) i potencijometar u funkciji senzora (desno) u sistemu programabilnog robotskog manipulatora.



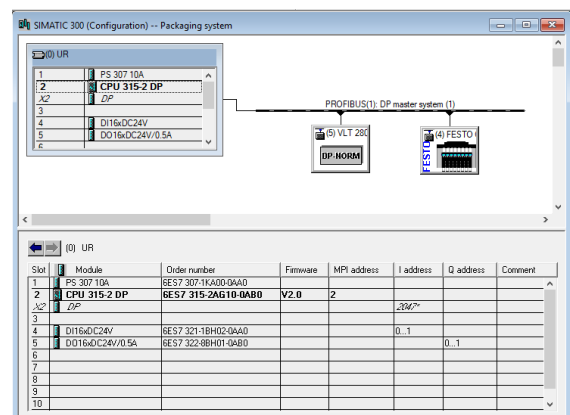
Slika 10. Servo motor MG996R (levo) Potencijometar 50KΩ (desno) [1]

Sistem robotskog manipulatora poseduje 4 potencijometra koji omogućavaju operateru da upravlja sa pozicijom sva četiri servo motora, odnosno sa svim zglobovima robotskog manipualtora. Uzimajući u obzir da je potencijometar u osnovi razdelnik napona, očitavanjem vrednosti napona preko analognog ulaza te obradom tih podataka, mikrokontroler može zadati servo motoru da dostigne poziciju proporcionalnu poziciji potencijometra.

4. IMPLEMENTACIJA KOMPONENTI SISTEMA

Senzori sistema za sortiranje i pakovanje su povezani na ulazni modul programabilnog logičkog kontrolera, dok su na izlazni digitalni modul povezane signalne sijalice i signali za komunikaciju sa robotskim manipulatorom.

Da bi se omogućila komunikacija putem PROFIBUS-DP protokola sa Danfoss frekventnim regulatorom i FESTO ventilskim ostrvom, potrebno je konfigurisati hardversku konfiguraciju u programu logičkog kontrolera. Time se podrazumeva instalacija i implementacija GSD fajlova frekventnog regulatora i ventilskog ostrva a zatim i podešavanje PROFIBUS adresa. Na slici 11. Je prikazana hardverska konfiguracija sistema.



Slika 11. Hardverska konfiguracija sistema

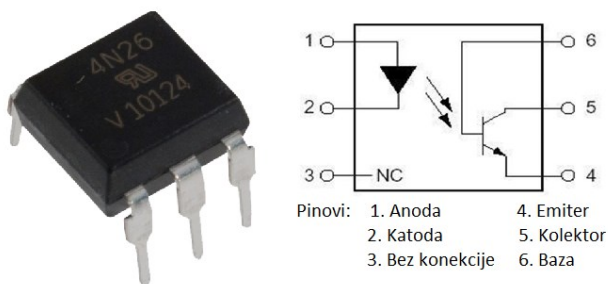
Upravljanje radom asinhronog motora ostvaruje se slanjem 16 bitne informacije u heksadecimalnom zapisu frekventnom regulatoru, upisivanjem na memorijsku lokaciju PQW256 i PQW258.

Upravljanje radom pneumatskih cilindara u sistemu omogućava se aktiviranjem izlaznih signala na ventilskom ostrvu. Ventilsko ostrvo sadrži 4 bistabilna razvodnika 5/2 i sa njima upravlja pomoću 8 bitova, pri čemu se svaka dva uzastopna bita koriste za aktivaciju solenoida koji menjaju stanje razvodnika.

Na primer, adresa Q2.0 aktivira prvi razvodnik u ventilskom ostrvu, dok adresa Q2.1 taj isti razvodnik vraća u početni položaj. Na slici 8 su prikazani korišteni frekventni regulator pod brojem 2 te ventilsko ostrvo pod brojem 3.

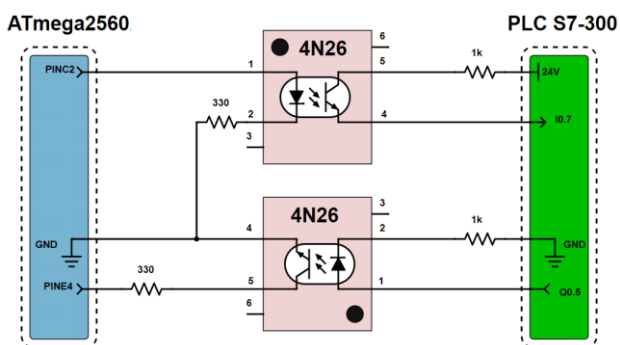
5. KOMUNIKACIJA SISTEMA SA ROBOTSKIM MANIPULATOROM

Komunikacija programabilnog logičkog kontrolera sa robotskim manipulatorom se ostvaruje korištenjem optokaplera 4N26. Fizički i šematski prikaz optokaplera je dat na slici 12, levo i desno respektivno.



Slika 12. Optokapler 4N26 [7]

Dakle, komunikacija se zasniva na razmeni logičkih signala između programabilnog logičkog kontrolera koji upravlja radom sistema za sortiranje i pakovanje te radi na naponu od 24V i mikrokontrolera koji upravlja radom robotskog manipulatora i pri tome radi na naponu od 5V. Na slici 13 je prikazana električna šema koja opisuje način komunikacije sistema za sortiranje i pakovanje sa robotskim manipulatorom.

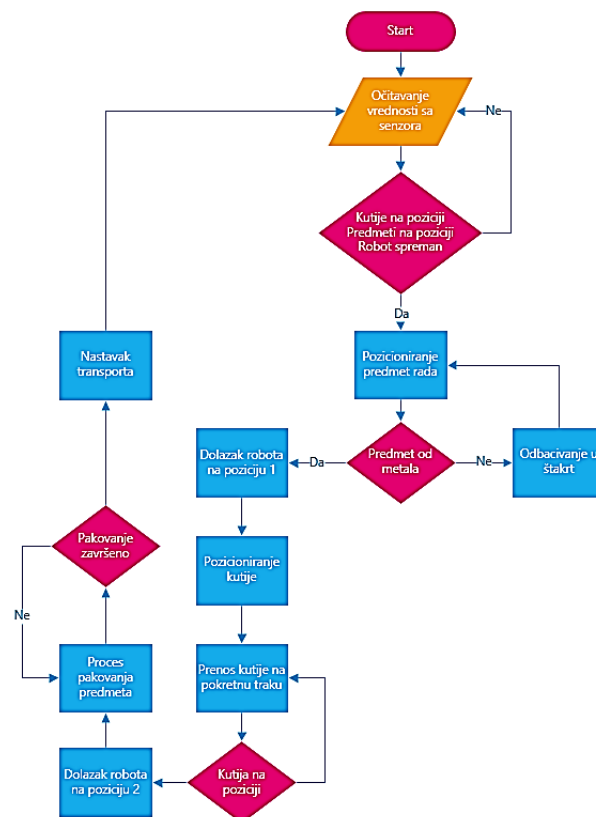


Slika 13. Električna šema komunikacije

Razmenom logičkih signala omogućeno je sekvencijalno izvršavanje mašine stanja koja u tačno definisanom trenutku šalje signal dozvole robotskom manipulatoru da krene sa izvršavanjem unapred programirane akcije, kao i slanje signala kojim mikrokontroler robotskog manipulatora označava stanje pripravnosti, odnosno ispunjene uslova za start.

6. ALGORITAM RADA SISTEMA

Algoritam, koji opisuje način rada sistema, je prikazan na slici 14. Algoritam je predstavljen dijagramom koji opisuje korake mašine stanja sistema.



Slika 14. Algoritam rada sistema

7. ZAKLJUČAK

Ovaj rad teži ka potpunom shvatanju primenljivosti automatike u oblasti industrije i njene implementacije u realnom industrijskom okruženju. Takođe, kroz rad su prikazani razni izazovi koji su zahtevali jedinstvene pristupe u implementaciji rešenja iz različitih tehničkih oblasti u cilju dobijanja krajnjeg rešenja.

8. LITERATURA

- [1] Savo Ristić "Programabilni robotski manipulator", Srbija, 2017.
- [2] http://www.sick.com/media/pdf/0/10/310/dataSheet_WL11-3P2431_1041436_en.pdf (decembar 2018)
- [3] https://www.sick.com/media/pdf/6/46/846/dataSheet_WT100L-E2241_6030707_en.pdf (decembar 2018)
- [4] https://industrial.omron.us/en/media/E2A_Data_sheet_EN_201312_D096_tcm849-114303.pdf (decembar 2018)
- [5] <http://powersupply33.com/24-volts-power-supply-at-2-amperes.html> (decembar 2018)
- [6] https://www.festo.com/cms/en-us_us/8575.htm (decembar 2018)
- [7] <https://www.vishay.com/docs/83725/4n25.pdf> (decembar 2018)

Kratka biografija:



Savo Ristić rođen u Doboju, BiH 1994. godine Osnovne studije završio na Fakultetu tehnički nauka, smer Mehatronika, 2017 godine.
Kontakt: savo.ristic4@gmail.com