

NOVO REŠENJE PROBLEMA SINHRONIZACIJE OČITAVANJA KODA KOD PSEUDOSLUČAJNIH POZICIONIH ENKODERA

NEW SOLUTION OF CODE READING SYNCHRONIZATION PROBLEM AT PSEUDORANDOM POSITION ENCODERS

Dragan Denić, Goran Miljković, Dragan Živanović, Milan Simić, *Elektronski fakultet u Nišu*

Sadržaj – Pseudoslučajni enkoderi, kao poseban pravac u razvoju novih tipova apsolutnih enkodera, se sve više proizvode i koriste za određivanje pozicije pokretnih sistema. U prvom delu rada su analizirane sve do sada primenjivane metode sinhronizacije očitavanja pseudoslučajnog koda, pri čemu su istaknute njihove prednosti i nedostaci. Potom je predstavljeno jedno novo rešenje sinhronizacije očitavanja pseudoslučajnog koda, koje koristi sami kodnu traku za sinhronizaciju. Pri tome je primenjeno Manchester kodiranje bitova pseudoslučajnog koda. Na kraju su predstavljeni dobijeni eksperimentalni rezultati.

Abstract – Pseudorandom encoders, as special direction in development of new absolute encoder types, are more and more manufactured and used for position determination of movable systems. In the first part of the paper are analysed all already applied methods for pseudorandom code reading synchronization, and their advantages and drawbacks are highlighted. Then, a new solution of pseudorandom code reading synchronization is presented, which uses code track itself for synchronization. The Manchester coding of pseudorandom code bits is applied. Experimental results are presented on the end.

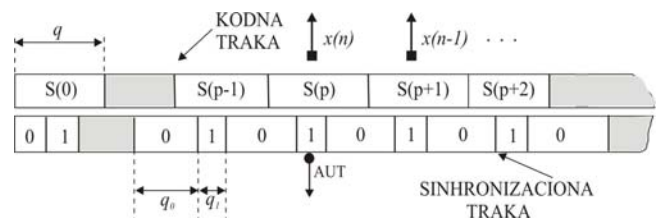
1. UVOD

Pseudoslučajni pozicioni enkoder predstavlja poseban trend u razvoju metoda merenja pozicije industrijskih pokretnih sistema. Za razliku od drugih kodova, kodne reči kod pseudoslučajnog koda su poredane longitudinalno na kodnoj traci [1], pri čemu se one preklapaju, odnosno prvih (n-1) bitova takve kodne reči je identično sa poslednjih (n-1) bitova prethodne kodne reči. Bilo koja n-to bitna kodna reč obezbeđena skeniranjem pseudoslučajne binarne sekvence pomoću prozora širine n je jedinstvena i može u potpunosti identifikovati apsolutnu poziciju prozora u odnosu na početak sekvence. Prilikom realizacije pseudoslučajnog enkodera problemi koje treba rešiti su: očitavanje koda, sinhronizacija očitavanja koda, detekcija grešaka očitavanja koda i konverzija pseudoslučajnog koda u prirodni kod.

Kvalitet funkcionisanja enkodera zavisi od nivoa pouzdanosti skeniranja koda zapisanog na disku ili mernoj traci enkodera. Sve tehnike određivanja apsolutnih pozicija imaju problem sa neodređenošću očitavanja, koje se može javiti pri prelazu između dve uzastopne pozicije. Klasični apsolutni enkoderi rešavaju ovaj problem korišćenjem cikličnih kodova (kao što je Grejov kod) ili dodatnih glava za očitavanje sa svojstvenim rasporedom (V skeniranje, U skeniranje itd.). Međutim, u slučaju pseudoslučajnih enkodera isključuje se mogućnost upotrebe cikličnih kodova u smislu Grejovog koda, a drugi tip rešenja (kao npr. V skeniranje) nije praktično primeniti, jer zahteva približno dvostruki broj glava za očitavanje koda. Najjednostavniji način rešenja ovog problema je upotreba spoljne sinhronizacije omogućene specijalnom trakom postavljenom duž kodne trake, ili korišćenjem metoda koji se ovde predlaže koji ne zahteva dodatnu traku, već koristi dodatno kodiranje na pseudoslučajnoj kodnoj traci.

2. METODA SPOLJNE SINHRONIZACIJE

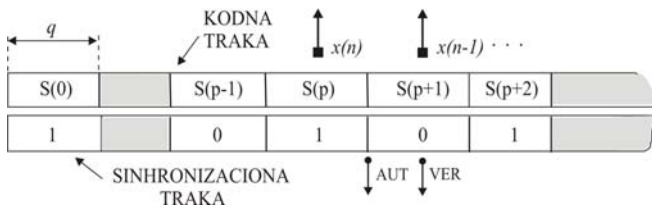
Jedno od rešenja problema sinhronizacije očitavanja pseudoslučajnog koda je upotreba spoljne sinhronizacije omogućene specijalnom trakom postavljenom duž kodne trake. Jedno konkretno rešenje sinhronizacione trake [2] je prikazano na slici 1. "Sinhronizacioni" markeri logičke vrednosti "1" su razmešteni na takav način da upadaju u sredinu svakog kvantizacionog intervala trake sa pseudoslučajnim kodom. Oni se detektuju dodatnom glavom za očitavanje (AUT) kao logička "1". Sinhronizaciona glava AUT je smeštena nasuprot markeru a odnosu na koga se određuje pozicija transportne jedinice, a to je upravo u liniji glave $x(n)$. Informacija dobijena od n glava za očitavanje koda se razmatra i smešta u bafer za očitavanje samo kada se glava AUT nađe iznad markeru sinronizacione trake. Ovim se rešava problem neodređenosti očitavanja, ali se unosi sistematska greška od $e = q_0/2$, gde je q_0 rastojanje između dva susedna markeru sinhronizacione trake.



Slika 1. Prva varijanta spoljne sinhronizacije čitavanja pseudoslučajnog koda

Sveobuhvatnije rešenje je prikazano na slici 2 [3]. Kao što se sa slike vidi, sinhronizaciona traka se sastoji od alternativnih sektora "0" i "1", koji su iste širine q kao i sektori kodne trake. Sinhronizaciona glava AUT je upotrebljena za detekciju prelaza između dva uzastopna

intervala kvantizacije. Dodata je još jedna glava za očitavanje (VER), smeštena na rastojanju $q/2$ od glave AUT i ona se zajedno sa sinhronizacionom glavom koristi za određivanje smeru kretanja. Glavni nedostatak primene metoda spoljne sinhronizacije očitavanja koda je cena fizičke realizacije dodatne sinhronizacione trake.

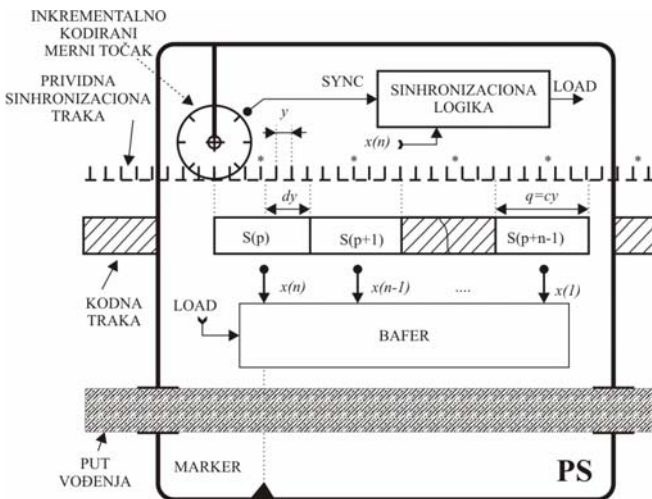


Slika 2. Druga varijanta spoljne sinhronizacije očitavanja pseudoslučajnog koda

3. METODA UNUTRAŠNJE SINHRONIZACIJE

U referenci [4] opisan je metod sinhronizacije kod koga je eliminisana spoljna sinhronizaciona traka. Broj traka je smanjen na jedan put vođenja (obavezan za sve automatski vođene pokretne sisteme) i pseudoslučajnu kodnu traku širine 1 bit.

Osnovni princip metode unutrašnje sinhronizacije je u primeni jednog dodatnog inkrementalno kodiranog mernog točka. On se koristi za "unutrašnje" generisanje sinhronizacionih signala za očitavanje koda. Princip rada ovog rešenja je ilustrovan na slici 3. Rezolucija kodiranja mernog točka y je tako odabrana da predstavlja celobrojni deo od rezolucije kodiranja pseudoslučajne kodne trake: $y = q/c$. Pri kretanju pokretnog sistema, inkrementalno kodirani merni točak se okreće i proizvodi izlazni signal SYNC. Radi lakšeg razumevanja metoda može se zamisliti da se ovaj signal dobija sa prividne sinhronizacione trake postavljene duž pseudoslučajne kodne trake, slika 3.



Slika 3. Metoda unutrašnje sinhronizacije očitavanja pseudoslučajnog koda

Signal sa izlaza inkrementalno kodiranog mernog točka se dovodi na ulaz posebno projektovane sinhronizacione logike. Sinhronizaciona logika selektuje specifične SYNC impulse koji se javljaju kada se glave za očitavanje pseudoslučajnog koda nađu na sredini kvantizacionih koraka. Ovi specifični impulsi (markirani zvezdicama na slici 3) prihvataju se kao

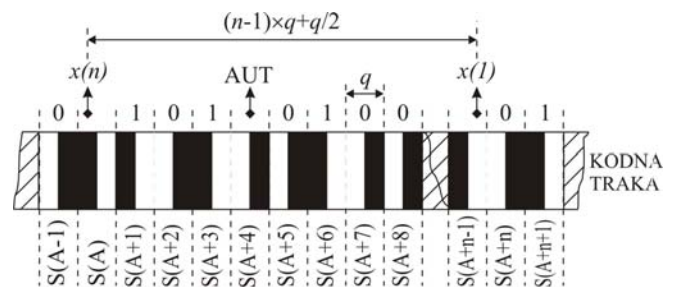
LOAD signal, koji se koriste za punjenje bafera pseudoslučajnim kodom (odgovara tekućoj poziciji pokretnog sistema).

Prednost je jeftino rešenje uz eliminisanje sinhronizacione trake duž kodne trake, a nedostatak je uvođenje grešaka usled proklizavanja. Vrednost ovih grešaka može biti smanjena povećanjem odnosa između rezolucije kodne trake i rezolucije virtuelne sinhronizacione trake.

4. PREDLOŽENA METODA SINHRONIZACIJE

Nova metoda sinhronizacije očitavanja koda [5] zasnovana je na korišćenju same kodne trake za dobijanje sinhronizacionih impulsa. Pseudoslučajni kod je nepogodan za realizaciju metoda skeniranja pseudoslučajne binarne kodne reči zbog nepredvidljivog niza 0-a i 1-a. Zato se dodatno vrši Manchester kodiranje bitova pseudoslučajnog koda. Tako, "1" se zamenjuje nizom "10", a "0" nizom "01". Za slučaj optičke implementacije prikazan je na slici 1 izgled kodne trake sa rasporedom primenjenih senzorskih glava. Manchester kodiranje je primenjeno u [6] za svrhe kombinovanja metoda apsolutnog i inkrementalnog merenja pozicije. Cilj je dobiti što veći broj prelaza između logičkih „0“ i „1“ i tako obezbediti sinhronizacione impulse preko odgovarajuće sinhronizacione logike. Ovi impulsi se dovode na takti ulaz bafera [4] za slučaj paralelnog očitavanja koda ili takti ulaz dvosmernog pomeračkog registra za slučaj serijskog očitavanja koda [7]. Na taj način sinhronizacioni impulsi, nazvani „LOAD“ impulsi, određuju trenutak pouzdanog očitavanja koda.

Ovde se koristi metoda očitavanja koda prezentovana u referenci [7]. Jednostavnom logikom se vrši selekcija jedne od dveju glava za očitavanje koda $x(n)$ i $x(l)$, a u zavisnosti od smeru kretanja pokretnog sistema (PS). Primenjenim rastojanjem između glava za očitavanje koda ostvaruje se histerezisna karakteristika očitavanja koda. Primenjena je sinhronizaciona glava AUT i ona se nalazi tačno na sredini kvantizacionog koraka q , za dati položaj senzorskih glava $x(n)$ i $x(l)$, slika 4. Logička vrednost na izlazu senzorske glave $x(n)$ odgovara očitanoj bitu pseudoslučajnog koda $S(A)$, dok je na izlazu senzorske glave $x(l)$ neophodno primeniti invertorsko kolo. Dodatno su ovim rešenjem obezbeđeni uslovi za primenu metode provere tačnosti očitavanja koda opisane u referenci [8].



Slika 4. Raspored senzorskih glava kod predloženog metoda sinhronizacije očitavanja pseudoslučajnog koda

Neka se pokretni sistem (PS) kreće udesno. Nakon pređenog puta $q/4$, senzorska glava $x(n)$ naći će se na sredini sektora apsolutne skale. Pomoću nje se može detektovati

prelaz sa jednog na drugi logički nivo u smislu dobijanja impulsa u tom trenutku. U tu svrhu se na izlazu senzorske glave $x(n)$ može upotrebiti detektor ivice signala. Istovremeno, glava $x(l)$ se nalazi na prelazu između dva sektora što ne dovodi uvek, što je i trenutni slučaj, do promene logičkog nivoa na njenom izlazu. Nakon sledećeg pređenog puta $q/4$ sinhronizaciona glava AUT će biti na prelazu između dva sektora i na izlazu detektora ivice, za dati raspored bitova, dobiće se impuls. Ovaj impuls se ne sme prihvatiti kao sinhronizacioni. On se neće javiti na prelazu svaka dva sektora apsolutne merne skale, što dodatno otežava realizaciju mehanizma za njegovo eliminisanje.

Dalje, nakon $q/4$ pređenog puta senzorska glava $x(l)$ će se naći na sredini sledećeg sektora i doći će do obavezne promene logičkog nivoa električnog signala na njenom izlazu. Senzorska glava $x(n)$ će se naći na prelazu između dva sektora i u ovom slučaju (nije uvek slučaj) na izlazu detektora ivice signala će se javiti impuls. Nakon sledećeg pređenog puta $q/4$, što čini ukupno pomeranje za jedan apsolutni kvantizacioni korak q , glava AUT će se naći na sredini sledećeg sektora. Uvek se pri tom prelazu detektuje impuls i taj impuls treba prihvatiti kao sinhronizacioni "LOAD" impuls. Znači, pri kretanju PS-a udesno između dva "LOAD" impulsa javljaju se redom:

- obavezan impuls na izlazu senzorske glave $x(n)$ (odnosno na izlazu detektora ivice signala) i eventualni impuls na izlazu glave $x(l)$;
- eventualni lažni "LOAD" impuls na izlazu senzorske glave AUT;
- obavezni impuls na izlazu senzorske glave $x(l)$ i eventualni impuls na izlazu glave $x(n)$.

Za slučaj ustaljenog kretanja pokretnog sistema ulevo imali bi isti slučaj, ali bi redosled pojave impulsa bio obrnut u odnosu na gore navedeni. Može se zaključiti da nezavisno od smera kretanja između dva sinhronizaciona impulsa "LOAD" uvek bi se dobila dva impulsa na izlazu ILI kola, na čijem ulazu su dovedeni izlazi detektora ivice signala glava za očitavanje koda. Ovo se može iskoristiti za eliminaciju lažnog sinhronizacionog impulsa.

Inače, zahvaljujući primenjenom Manchester kodiranju bitova pseudoslučajnog koda, informacija o smeru kretanja se može dobiti na klasičan način dodavanjem još jedne senzorske glave VER, [7]. Ova dodata senzorska glava treba se postaviti na rastojanju $q/4$ od senzorske glave AUT.

Za eliminisanje lažnog sinhronizacionog impulsa potreban je jedan dvosmerni dvobitni brojač. Za slučaj korišćenja D flip flopova, tabela stanja ulaza flip flopova neposredno pre nailaska takt impulsa data je u tabeli 1.

Vrednosti logičkih funkcija D_1 i D_2 su zatim predstavljene korišćenjem Karnoovih mapa. Iz ovih mapa se dobijaju sledeće logičke funkcije:

$$D_1 = RGT \cdot (\overline{Q_1} \cdot Q_2 + Q_1 \cdot \overline{Q_2}) + \overline{RGT} \cdot (\overline{Q_1} \cdot \overline{Q_2} + Q_1 \cdot Q_2)$$

$$D_2 = \overline{Q_2}$$

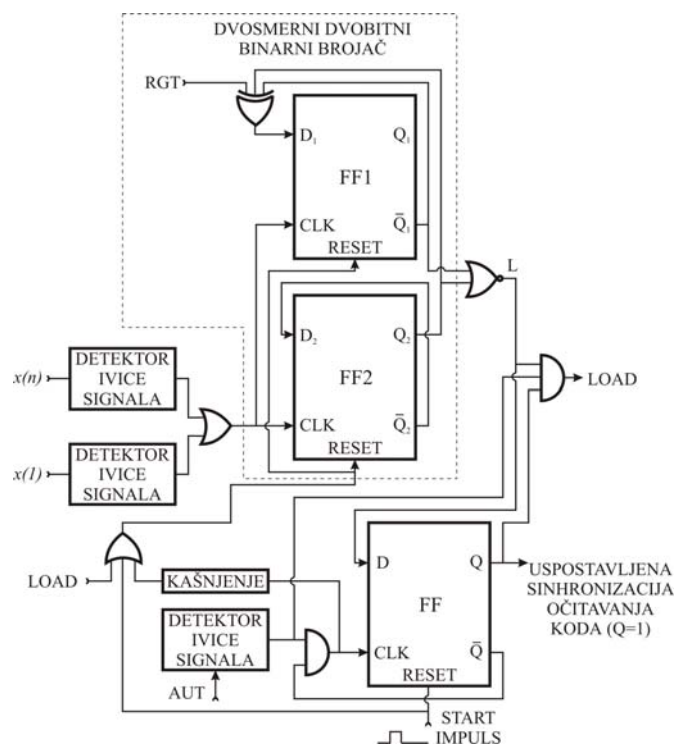
Daljom minimizacijom se dobija sledeća funkcija:

$$D_1 = RGT \oplus \overline{Q_1} \oplus Q_2$$

Tabela 1. Definisane logičke funkcije D_1 i D_2

RGT	Q_1	Q_2	D_1	D_2
1	0	0	0	1
0	0	0	0	1
1	0	1	1	0
0	0	1	1	0
1	1	0	0	1
0	1	0	0	1
1	1	1	1	0
0	1	1	1	0

Kompletna realizacija kontrolne logike za sinhronizaciju očitavanja koda je prikazana na slici 5. Dodatni D flip flop služi za uspostavljanje sinhronizacije nakon uključivanja sistema i nakon svake detektovane greške. Start impuls označava početak uspostavljanja sinhronizacije, resetuje D flip flop i postavlja izlaz dvosmernog dvobitnog brojača u stanje $(\overline{Q_1}, \overline{Q_2}) = (1,0)$. Svaki impuls dobijen pomoću senzorske glave AUT resetuje brojač i ispituje izlaz L ($L="1"$ pri $(\overline{Q_1}, \overline{Q_2}) = (0,0)$) pomoću D flip-flopa. Da bi bilo $L="1"$ neophodno je da se nakon impulsa sa glave AUT (za isti smer kretanja PS), javi dva uzastopna impulsa sa glava $x(n)$, $x(l)$. Ti impulsi predstavljaju takt impulse za brojač. To će se desiti kada se "lažni" sinhronizacioni impuls ne javi. On se ne javlja kada su bitovi koji odgovaraju prethodnom i tekućem apsolutnom sektoru različiti. Znači, nakon nekoliko pređenih kvantizacionih koraka q u istom smeru. Nakon $L="1"$, prvi impuls sa senzorske glave AUT se prihvata kao sinhronizacioni. D flip-flop se "zamrzava" u stanje $Q="1"$, čime se signalizira da je sinhronizacija očitavanja koda uspostavljena.



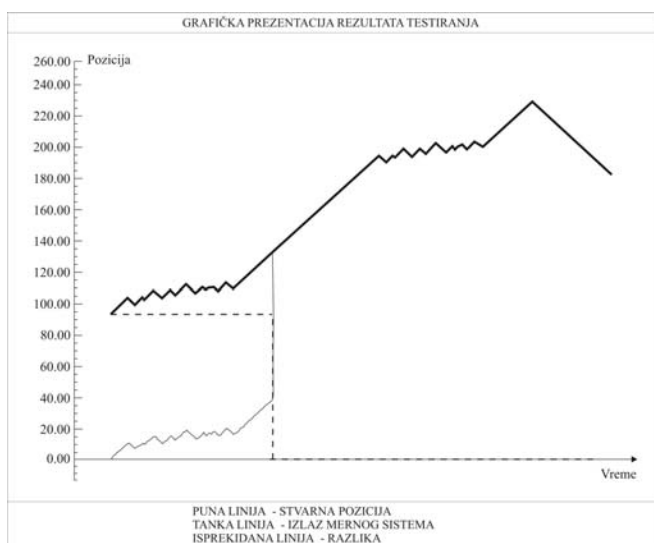
Slika 5. Kontrolna logika za dobijanje sinhronizacionih impulsa

Nadalje, brojač broji impulse sa izlaza logike za dobijanje impulsa pomoću glava ($x(n)$, $x(l)$) i uvek kada dođe u stanje $(\overline{Q}_1, \overline{Q}_2) = (0,0)$ dozvoljava prihvatanje impulsa sa senzorske glave AUT za sinhronizacioni. Ako do tog impulsa dođe pre izlaska brojača iz ovog stanja vrši se resetovanje brojača, odnosno postavljanje u stanje $(\overline{Q}_1, \overline{Q}_2) = (1,0)$. Znači pri $Q=1$ resetovanje brojača se vrši isključivo "LOAD" impulsom.

Ovakav pristup obezbeđuje pouzdan sinhronizacioni impuls i pri višestrukoj promeni smera kretanja između dva "LOAD" impulsa. Istovremeno, ovim je obezbeđen planirani "histerezis" u određivanju apsolutne pozicije. Nakon jednog prihvaćenog "LOAD" impulsa stanje brojača postaje $(\overline{Q}_1, \overline{Q}_2) = (1,0)$ i time se zabranjuje prihvatanje eventualnih ponovljenih "LOAD" impulsa u istom sektoru.

Recimo da je PS nakon "LOAD" impulsa krenuo udesno, slika 4. Posle prvog impulsa sa glava ($x(n)$, $x(l)$) brojač će biti postavljen u stanje $(\overline{Q}_1, \overline{Q}_2) = (1,1)$. Neka je zatim došlo do promene smera kretanja. Tek nakon tri impulsa sa glava ($x(n)$, $x(l)$), pri ustaljenom kretanju ulevo, brojač će doći u stanje $(\overline{Q}_1, \overline{Q}_2) = (0,0)$. Ovo stanje na izlazu brojača bi dozvolilo prihvatanje eventualnog impulsa sa senzorske glave AUT kao sinhronizacionog impulsa "LOAD". Ako bi PS nastavio kretanje ulevo do tog impulsa bi došlo, jer bi se nakon $q/4$ pređenog puta glava AUT našla na sredini sektora čija je apsolutna pozicija " $A+3$ ". Taj impuls bi istovremeno postavio brojač u stanje $(\overline{Q}_1, \overline{Q}_2) = (1,0)$.

Grafička prezentacija rezultata testiranja je data na slici 6. Korišćenjem računara simulira se kretanje PS-a [9], a na izlazu akvizicione kartice se generišu električni signali koji odgovaraju onim koji bi dobili na izlazu senzorskih glava. Ovi signali se vode na ulaz elektronskog bloka baziranog na mikroprocesoru koji primenjuje opisani metod sinhronizacije očitavanja koda. Na grafiku je izvršeno poređenje definisane putanje kretanja i niza izmerenih pozicija. Posle početnog određivanja apsolutne pozicije, greške se više ne javljaju uprkos sekvenci promena smera kretanja.



Slika 6. Rezultati testiranja

5. ZAKLJUČAK

Prikazani metod sinhronizacije očitavanja koda ima prednost u odnosu na ranije predložene, jer eliminiše jednu fizičku traku ili dodatni inkrementalno kodirani merni točak za slučaj unutrašnje sinhronizacije. Dodatno, utvrđeni redosled pojavljivanja impulsa sa primenjenih senzorskih glava omogućava realizaciju detektora greške sinhronizacije, čime se po potrebi može uvećati pouzdanost predloženog novog metoda. Predložena sinhronizaciona logika je primenjena kod realizovanog elektronskog bloka pseudoslučajnog enkodera i rezultati testiranja su ukazali na njenu potpunu funkcionalnost. Moguća je njena primena kod svakog pseudoslučajnog enkodera, ali treba istaći da zajedno sa metodom provere ispravnosti očitavanja koda predloženog u referenci [8] obezbeđuje dodatni kvalitet u smislu visoke pouzdanosti mernog sistema.

LITERATURA

- [1] E.M. Petriu, "Absolute position measurement using pseudorandom binary encoding", *IEEE Instrum. and Meas. Magazine*, Vol. 1, No. 3, pp. 19–23, 1998.
- [2] E.M. Petriu, et al., "On the position measurement of automated guided vehicle using pseudorandom encoding", *IEEE Trans. Instrum. and Meas.*, Vol. 38, No. 3, pp. 799–803, 1989.
- [3] E.M. Petriu, "Scanning method for absolute pseudorandom position encoders", *Electronic Letters*, Vol. 24, No. 19, pp. 1236–1237, 1988.
- [4] E.M. Petriu, et al., "Automated guided vehicle position recovery", *IEEE Trans. Instrum. and Meas.*, Vol. 39, No. 1, pp. 254–258, 1990.
- [5] D. Denic and G. Miljkovic, "Code reading synchronization method for pseudorandom position encoders", *Sensors and Actuators A: Physical*, A 150, pp. 188–191, 2009.
- [6] J.T.M. Stevenson and J.R. Jordan, "Absolute position measurement using optical detection of coded patterns", *J. Phys. E: Sci. Instrum.*, No. 21, pp. 1140–1145, 1988.
- [7] M. Arsic and D. Denic, "New pseudorandom code reading method applied to position encoders", *Electronic Letters*, Vol. 29, No. 10, pp. 893–894, 1993.
- [8] D. Denic and M. Arsic, "Checking of pseudorandom code reading correctness", *Electronic Letters*, Vol. 29, No. 21, pp. 1843–1844, 1993.
- [9] D. Denic, et al., "Recent trends of linear and angular pseudorandom encoder development", *International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM)*, Taormina, Italy, pp. 746–750, May 23–26, 2006.

Istraživanja u ovom radu su podržana od strane Ministarstva za nauku Republike Srbije u okviru projekta TR 32045.