

Pouzdana detekcija grešaka očitavanja koda u pseudoslučajnom apsolutnom enkoderu

Goran Miljković, Dragan Denić, Milan Simić, Aleksandar Jocić

Apstrakt—Pseudoslučajni apsolutni enkodori se najčešće koriste u modernim servo sistemima radi pouzdanog određivanja pozicije i ugaone brzine. Enkoder u ovom radu ima na kodnom disku dve fazno pomerene pseudoslučajne binarne sekvence koje se serijski očitavaju. Različite nesavršenosti i zaprljanja kodne trake dovode do grešaka u procesu očitavanja koda, što onda uzrokuje pogrešne informacije o poziciji. U radu je predstavljena pouzdana metoda detekcije grešaka bazirana na formiranju glavne i kontrolne kodne reči na osnovu očitanih bitova sa dve različite pseudoslučajne kodne trake. Predstavljen je enkoder koji nakon pogrešno očitano bita ne daje pogrešnu informaciju o poziciji.

Ključne reči—detekcija grešaka, apsolutni optički enkodori, pseudoslučajne binarne sekvence

I. UVOD

Obrotni pseudoslučajni apsolutni enkodori igraju važnu ulogu u modernim sistemima automatizacije, računarskim periferijama, teleskopima, itd. Ovi enkodori, za razliku od klasičnih apsolutnih enkodera, na disku imaju jednu pseudoslučajnu kodnu traku i sinhronizacionu traku. Kodne reči su sada raspoređene uzdužno na kodnoj traci, pri čemu se dve uzastopne kodne reči razlikuju samo u jednom bitu. Prozor dužine n -bita, koji klizi duž n -bitne pseudoslučajne binarne sekvence (PRBS), u bilo kom trenutku obezbeđuje jedinstvenu kodnu reč koja se koristi za određivanje apsolutne pozicije [1, 2]. U poređenju sa klasičnim apsolutnim enkoderima, pseudoslučajni enkodori mogu za očitavanje koda koristiti jednu ili dve senzorske glave. Pseudoslučajni apsolutni enkoder je sastavljen od sledećih komponenti: sistema za očitavanje koda [2, 3], konvertora pseudoslučajnog u prirodni kod [2, 4, 5], sistema za sinhronizaciju očitavanja koda [2, 4, 6] i sistema za detekciju grešaka u očitavanju koda [7, 8]. Sinhronizacija se može realizovati korišćenjem sinhronizacione trake ili dodatnim kodiranjem bitova koda. Konverzija pseudoslučajnog u prirodni kod može se izvršiti kao paralelna, serijska ili serijsko-paralelna. Metode paralelne konverzije su najbrže, ali zahtevaju veliku memoriju. Serijska konverzija je jednostavnija, ali sa dužim vremenom konverzije. Serijsko-paralelna konverzija je kompromisno

rešenje koje kombinuje jednostavnost serijske konverzije i brzinu paralelne konverzije. Serijsko očitavanje pseudoslučajnog koda se može realizovati korišćenjem jedne glave za očitavanje koda plus dve glave za očitavanje sinhronizacione trake [2, 3]. Međutim, da bi se osigurao kontinuitet u formiranju kodnih reči prilikom promene smera rotacije, mnogo je bolje koristiti dve glave za očitavanje koda [2, 3]. Nedostatak serijskog očitavanja koda je potreba za inicijalnim kretanjem prilikom startovanja enkodera kako bi se formirala prva validna kodna reč. Očitavanje pseudoslučajnog koda se može realizovati i paralelno sa nizom fotodetektora.

Tačnost i pouzdanost pozicioniranja pomoću pseudoslučajnog enkodera je pod uticajem različitih tipova grešaka [9, 10]: greške u kvantizaciji, mehaničke greške (ekscentričnost, centriranost glava za očitavanje koda), greške u proizvodnji diska (eliptičnost, netačno odštampan kod na disku), različiti uticaji okoline (temperatura, vibracije, prašina, vlaga, udarci, itd.). Stoga je cilj rada predstaviti enkoder koji je otporniji na ove uticaje i koji bi bio pogodniji za visoko pouzdane aplikacije, na primer, u automobilskoj industriji, svemiru, avionima i vojnoj opremi. Pošto se sinhronizaciona traka koristi za definisanje trenutka očitavanja kodnih traka, brojne metode koje su razvijane od različitih autora za procenu i korekciju grešaka kod inkrementalnih enkodera se mogu primeniti kod pseudoslučajnog enkodera prilikom očitavanja sinhronizacione trake.

Različite varijante serijskog očitavanja pseudoslučajnog koda su opisane u prvom delu rada. Zatim je predstavljeno poboljšano rešenje očitavanja koje koristi dve glave za očitavanje pseudoslučajnog koda i dve fazno pomerene kodne trake. Dodatna glava za očitavanje koda i dodatna kodna traka su maksimalno iskorišćeni za povećanje pouzdanosti i fleksibilnosti enkodera, što je poboljšanje u odnosu na rešenja predstavljena u referencama [1, 2, 3]. Glavni deo rada je primena metode provere tačnosti očitavanja bitova koda, pri čemu, ako se javila greška enkoder neće dati pogrešnu informaciju o poziciji, nego će preći u drugi mod rada sa smanjenom pouzdanošću, ali sa tačnom informacijom o poziciji.

II. SERIJSKO OČITAVANJE PSEUDOSLUČAJNOG KODA

Za razliku od klasičnih apsolutnih enkodera, pseudoslučajni kod omogućava serijsko očitavanje sa jednom ili dve glave za očitavanje koda. Inicijalno rešenje sa jednom glavom za očitavanje koda, slika 1, formira kodnu reč u pomeračkom registru (baferu), pri čemu je prilikom startovanja enkodera

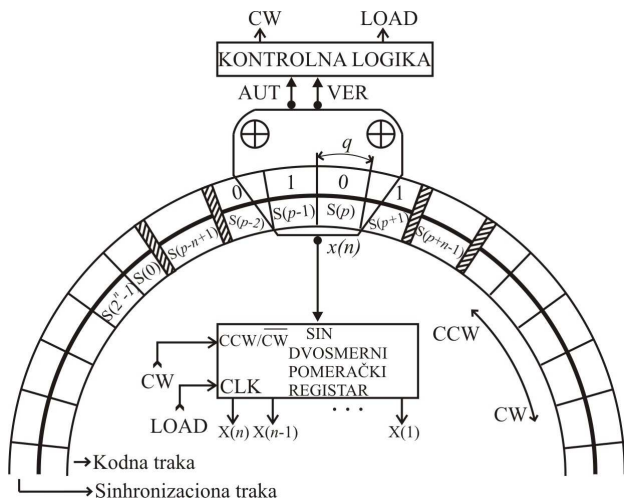
Goran Miljković – Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija (e-mail: goran.miljkovic@elfak.ni.ac.rs).

Dragan Denić – Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija (e-mail: goran.miljkovic@elfak.ni.ac.rs).

Milan Simić – Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija (e-mail: goran.miljkovic@elfak.ni.ac.rs).

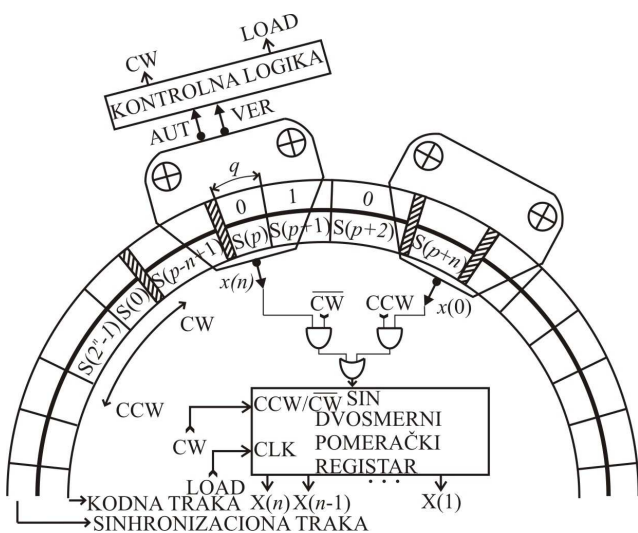
Aleksandar Jocić – Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija (e-mail: aleksandar.jocic@elfak.ni.ac.rs).

potrebno pročitati prvih n bitova PRBS koda kako bi se formirala prva kodna reč [2, 6]. Svaka sledeća kodna reč formira se od prethodno pročitanih $n-1$ bitova plus jedan novi pročitani bit pseudoslučajnog koda. Jedan od nedostataka serijskog čitanja sa jednom glavom za očitavanje koda je gubitak informacije o poziciji pri promeni smeru rotacije.



Sl. 1. Serijsko očitavanje pseudoslučajnog koda sa jednom glavom za očitavanje.

Očitavanje pseudoslučajnog koda koje otklanja nedostatke prethodnog rešenja i pruža neke dodatne mogućnosti, zasnovano je na uvođenju druge glave za očitavanje koda [3]. U ovom rešenju se koriste dve glave za očitavanje koda na udaljenosti nq , gde je q korak kvantizacije koda na pseudoslučajnoj traci, slika 2.

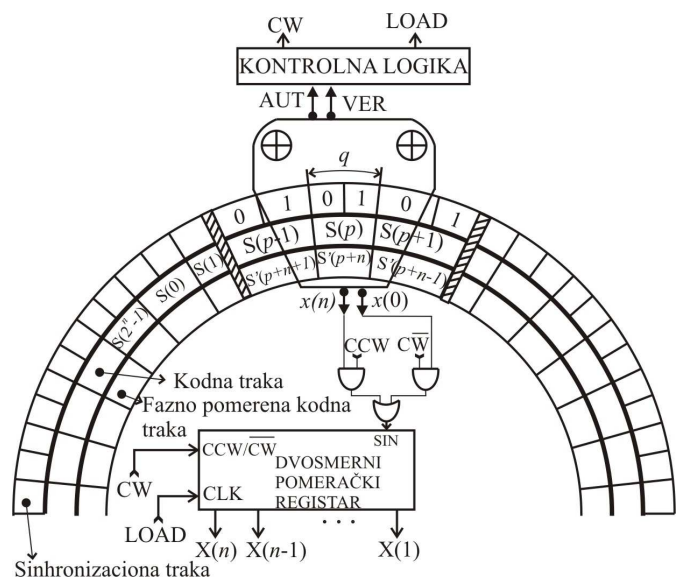


Sl. 2. Serijsko očitavanje pseudoslučajnog koda sa dve glave za očitavanje.

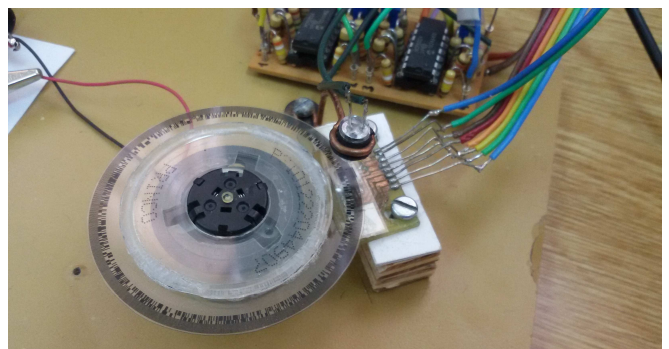
Ovo rešenje takođe ima sinhronizacionu traku sa dve glave za očitavanje AUT i VER koje se koriste za određivanje trenutka očitavanja pseudoslučajnog koda kao i za određivanje smeru rotacije enkodera. Kada je rotacija u smeru kazaljke na satu (CW), očitani bitovi pomoću glave $x(n)$ se koriste za formiranje kodne reči, a kada je rotacija u smeru suprotnom

od kretanja kazaljke na satu (CCW), koristi se glava $x(0)$. Ovo rešenje ima kontinuitet u formiranju kodnih reči, odnosno informacija o poziciji se ne gubi prilikom promene smeru rotacije. U trenutku kada glava za očitavanje koda $x(n)$ čita bit $S(p)$, tada glava za očitavanje koda $x(0)$ čita bit $S(p+n)$. Takođe, ovo rešenje omogućava primenu stalne provere tačnosti očitavanja koda, pri čemu se koriste bitovi sa obe glave za očitavanje koda [7]. Glavni nedostatak ovog rešenja je praktična realizacija enkodera, jer je raspored glava za očitavanje koda na maloj razdaljini nq , koja je podložna promenama zbog uticaja temperature, vibracija, itd.

Skeniranje pseudoslučajnog koda koje će se primeniti u ovom radu se zasniva na upotrebi dve glave za očitavanje koda kao i dve kodne trake sa fazno pomeranim pseudoslučajnim binarnim sekvencama, slika 3. Dve glave za očitavanje koda su raspoređene na pravoj liniji koja prolazi kroz središte diska. Jedna glava za očitavanje koda očitava bitove $S(p)$ sa prve kodne trake, a druga glava za očitavanje koda $S'(p+n)$ sa fazno pomerene kodne trake. Sada je lakše centriranje glava za očitavanje koda, odnosno lakša je praktična realizacija sistema očitavanja koda. Ovaj enkoder ima jednu kodnu traku više od prethodnog rešenja, ali mnogo manje kodnih traka nego kod klasičnih apsolutnih enkodera.



Sl. 3. Serijsko očitavanje pseudoslučajnog koda sa dve glave za očitavanje i dve pseudoslučajne kodne trake.

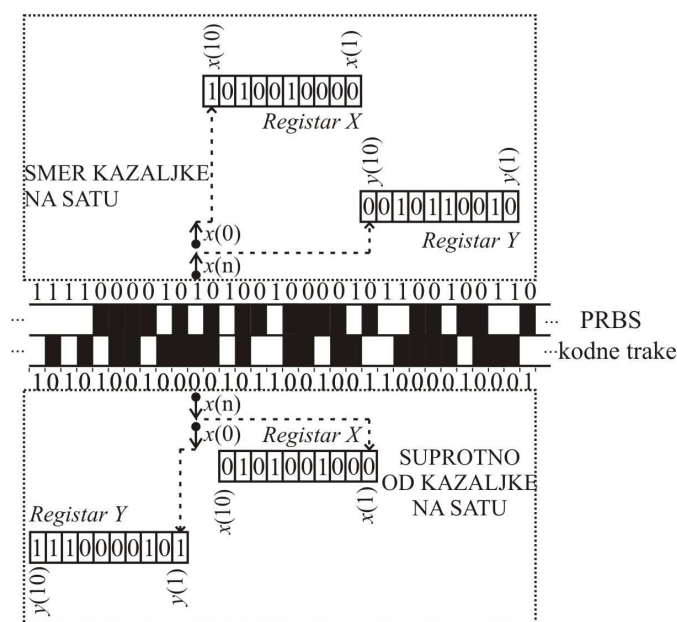


Sl. 4. Izgled diska enkodera i sistema očitavanja koda.

U realizovanom 10-bitnom pseudoslučajnom enkoderu, slika 4, zbirna širina prozračnog i tamnog zarezna na inkrementalnoj traci jednaka je širini jednog bita sa pseudoslučajne kodne trake. Dve pseudoslučajne kodne trake su međusobno fazno pomerene za 9 bita. Dobijeni sinusni signali sa optičkih čitača se pomoću elektronskog kola pretvaraju u pravougaone signale koji se vode na digitalne ulaze akvizicione kartice. Algoritam rada enkodera je realizovan u LabVIEW okruženju. Ovo je jedno kit rešenje enkodera koje je lako sastaviti i rastaviti. Kako bi se uštedelo na vremenu i novcu, izbegnuta je realizacija više različitih diskovna enkodera sa namerno implementiranim greškama, već se greške u očitavanju koda softverski simuliraju.

III. DETEKCIJA GREŠKE OČITAVANJA PSEUDOSLUČAJNOG KODA

Metoda detekcije greške očitavanja pseudoslučajnog koda biće objašnjena u nastavku na primeru pseudoslučajnog enkodera apsolutne pozicije sa 10-bitnom rezolucijom, koji je prikazan na slici 4. Fazno pomerena pseudoslučajna kodna traka daje referencu koja omogućava proveru ispravnosti očitavanja koda, slika 5. Prema ovoj metodi detekcije grešaka, jedna glava za očitavanje koda koristi se za formiranje glavne pseudoslučajne 10-bitne kodne reči (koja odgovara trenutnoj poziciji), a druga glava za očitavanje koda koristi se za formiranje kontrolne pseudoslučajne 10-bitne kodne reči.



Sl. 5. Formiranje glavne i kontrolne kodne reči.

Učitavanje bitova pseudoslučajnog koda u glavni registar X (dvosmerni pomerački registar za formiranje glavne pseudoslučajne kodne reči) i u kontrolni registar Y, zavisi od smera rotacije osovine enkodera. Provera greške očitavanja koda se vrši pri svakom čitanju novih bitova sa pseudoslučajnih kodnih traka. Pri čemu, sadržaj registra Y pomera se za 10 bita ulevo korišćenjem postupka direktnog generisanja pseudoslučajne binarne sekvence (PRBS) [4] (za kretanje u smeru kazaljke na satu) ili za 10 bita udesno

koristeći inverzni zakon generisanja pseudoslučajne binarne sekvence (za kretanje u smeru suprotnom od kretanja kazaljke na satu). Izbor direktnog ili inverznog zakona generisanja se može odraditi pomoću multipleksera. Na kraju, ispituje se jednakost dobijene kodne reči i sadržaj registra X. Prethodno opisani postupak ne može se primeniti u prvih 10 koraka nakon promene smera rotacije, jer se počinje sa formiranjem nove kontrolne kodne reči. Međutim, za to vreme bitovi koji su bili u registru Y neposredno pre promene smera rotacije, učitavaju se u glavni registar X. Takođe, bitovi koji su bili u registru X neposredno pre promene smera rotacije učitavaju se u kontrolni registar Y. Ovde se pretpostavlja da su svi bitovi u registru Y tačni, jer prethodno nisu detektovane greške.

Ako se osovina enkodera okreće u smeru kazaljke na satu, a trenutni sadržaj registra za formiranje kodne reči je $\{X = 1010010000\}$ i $\{Y = 0010110010\}$ (slika 5). Nakon promene smera rotacije, novi bitovi koje pružaju glave za očitavanje koda $x(0) = 0$ i $x(n) = 0$ se učitavaju na pozicije $x(1)$ i $y(1)$ registara X i Y, respektivno. Očigledno je da je u trenutku kada je novi bit učitao u registar X njegova tačna vrednost je na poziciji $y(10)$ kontrolnog registra Y. U trenutku kada je novi bit učitao u kontrolni registar Y njegova tačna vrednost je na poziciji $x(10)$ glavnog registra X. Budući da su prethodni sadržaji registara istovremeno pomeraju ulevo, u trenutku učitavanja novih bitova u glavnom i kontrolnom registru, njihova tačna vrednost biće na pozicijama $x(10)$ i $y(10)$. Slično razmatranje bi bilo kada bi smer rotacije bio obrnut i kada bi došlo do promene smera rotacije.

Kod predstavljenog enkodera se za proveru tačnosti očitavanja koda koriste dve 10-bitne kodne reči sa dve međusobno fazno pomerene pseudoslučajne binarne sekvence koje formiraju glavnu i kontrolnu kodnu reč. Ako se nije dogodila greška u očitavanju koda, enkoder može nastaviti da radi u normalnom režimu rada sa 10-bitnom rezolucijom. Ako se bit netačno očita, enkoder može nastaviti da radi u režimu smanjene pouzdanosti koristeći bitove sa samo jedne pseudoslučajne kodne trake. U režimu smanjene pouzdanosti enkoder ne može proveravati tačnost očitanih bita shodno postupku sa slike 5. U ovom režimu je komplikovanije formiranje kodnih reči prilikom promene smera rotacije [2]. Prilikom rada u režimu smanjene pouzdanosti enkoder može u pozadini nastaviti sa postupkom provere grešaka očitanih bitova sa slike 5, a u trenutku kada je bit tačno pročitao može se vratiti u normalni režim rada. Jedan pogrešno očitani bit može u 10-bitnom pomeračkom registru uzrokovati 10 pogrešnih informacija o poziciji. Nepovoljniji slučaj je kada je pseudoslučajne kodne trake, pri čemu enkoder može nastaviti da radi u inkrementalnom režimu rada koristeći signale sa sinhronizacione trake. U inkrementalnom režimu rada enkoder bi formirao trenutnu poziciju počev od poslednje tačne apsolutne pozicije. Ovo bi bio privremeni režim rada dok se ne obavesti korisnik i dok ne usledi njegova reakcija na neispravan rad pseudoslučajnih kodnih traka. Kako bi se testirao rad enkodera softverski su generisane greške na različitim mestima kodne trake kako bi se simulirao pogrešno očitani bit i pratio rad enkodera kad naiđe na takvu situaciju.

Predstavljeno rešenje rasporeda kodnih traka na disku enkodera, načina očitavanja koda sa kodnih traka i korišćenje detekcije grešaka očitanih bitova poboljšava pouzdanost i fleksibilnost pseudoslučajnog apsolutnog enkodera. Enkoder ima više modova rada, a promena moda rada enkodera se može zasnivati na osnovu zahteva krajnjeg korisnika ili kao odgovor na netačno očitavanje bitova sa kodne trake. Nedostatak ovakvih enkodera je potreba za inicijalnim kretanjem prilikom formiranja prve validne kodne reči nakon svakog startovanja enkodera, vremenski zahtevna konverzija pseudoslučajnog/prirodni kod, kao i manje pouzdana detekcija greške u trenutku promene smeru rotacije.

IV. ZAKLJUČAK

U radu je razmatran pseudoslučajni apsolutni enkoder sa očitavanjem pseudoslučajnog koda pomoću dve glave kojim se očitavaju dve fazno pomerene pseudoslučajne kodne trake. Primenjena je metoda za proveru tačnosti očitanih bita, pri čemu se značajno povećava pouzdanost predloženog rešenja enkodera. U slučaju pogrešno očitanih bita sa pseudoslučajne kodne trake, enkoder neće dati pogrešnu informaciju o poziciji, pošto je sposoban da to detektuje i da nastavi da radi u modu smanjene pouzdanosti korišćenjem bitova sa druge pseudoslučajne kodne trake. Predloženo rešenje enkodera je pouzdano i fleksibilno, pa se može koristiti u aplikacijama gde je bitna pouzdanost rada, kao na primer, u vojnoj industriji, avionima, svemiru, medicinskim aparatima, itd.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] F.J. MacWilliams, N.J.A. Sloane, Pseudo-random sequences and arrays, Proceeding of IEEE, Vol. 64, No. 12, pp. 1715-1728, 1976.
- [2] E. M. Petriu, J. S. Basran, On the position measurement of automated guided vehicles using pseudorandom encoding, in IEEE Trans. IM, vol. 38, no. 3, pp. 799-803, 1989.
- [3] M. Arsić, D. Denić, New pseudorandom code reading method applied to position encoders, in Electron. Lett. vol. 29, pp. 893-894, 1993.
- [4] E.M. Petriu, J.S. Basran, F.C.A. Groen, Automated guided vehicle position recovery, in IEEE Trans. Instrum. Meas. vol. 39, pp. 254-258, 1990.
- [5] D. Denić, I. Stojković, Pseudorandom/natural code converter with parallel feedback logic configuration, in Electron. Lett. vol. 46, pp. 921-922, 2010.
- [6] D. Denić, G. Miljković, Code reading synchronization method for pseudorandom position encoders, in Sensor. Actuat. A-Phys. vol. 150, pp. 188-191, 2009.
- [7] D. Denić, M. Arsić, Checking of pseudorandom code reading correctness, in Electron. Lett. vol. 29, pp. 1843-1844, 1993.
- [8] D. Denić, G. Miljković, J. Lukić, M. Simić, Serial code reading correctness detection applied to pseudorandom absolute encoders, 11th International Conference „Research and Development in Mechanical Industry“ (RaDMI 2011), Sokobanja, Serbia, 15-18. September 2011, SaTCIP (Scientific and Technical Center for Intellectual Property), pp. 481-488, 2011, ISBN 978-86-6075-027-5.
- [9] G. Miljković, D. Denić, M. Simić, M. Dinčić, D. Živanović, Pseudorandom absolute position encoder implemented as a virtual instrument, Proceedings of the International Scientific Conference UNITECH 2015, Gabrovo, Bugarska, 20-21 November 2015, Technical University of Gabrovo, vol. 1, pp. 355-358, ISSN 1313-230X, <http://unitech.tugab.bg>.
- [10] M., R.; Molengraft, van de R.; Steinbuch, M, Error modeling and improved position estimation for optical incremental encoders by means of time stamping. In: Proceedings of the 2007 American Control Conference, New York City, USA, July 11-13, 2007, pp. 3570-3575.

ABSTRACT

Pseudorandom absolute encoders are most commonly used in modern servo systems to reliably determine position and angular velocity. The encoder in this paper has two phase-shifted pseudorandom binary sequences on the code disk that are read in series. Various imperfections and contamination of the code track lead to errors in the process of reading the code, which then causes incorrect position information. The paper presents a reliable method of error detection based on the formation of main and control code words based on reading bits from two different code tracks. An encoder is presented which, after a wrongly read bit, does not give incorrect position information.

Reliable detection of code reading errors in a pseudorandom absolute encoder

Goran Miljković, Dragan Denić, Milan Simić,
Aleksandar Jocić