

Testiranje rada linearnog niza fotodetektora na primeru optičkog inkrementalnog enkodera

Ivana Randelović
Katedra za merenja
Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet
u Nišu
Niš, Republika Srbija
ivana.randjelovic@elfak.ni.ac.rs
<https://orcid.org/0009-0005-9126-7396>

Goran Miljković
Katedra za merenja
Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet
u Nišu
Niš, Republika Srbija
goran.miljkovic@elfak.ni.ac.rs
<https://orcid.org/0009-0004-1973-2911>

Jelena Jovanović
Katedra za merenja
Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet
u Nišu
Niš, Republika Srbija
jelena.jovanovic@elfak.ni.ac.rs
<https://orcid.org/0000-0001-7238-6393>

Milan Dinčić
Katedra za merenja
Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet
u Nišu
Niš, Republika Srbija
milan.dincic@elfak.ni.ac.rs
<https://orcid.org/0000-0001-7508-0277>

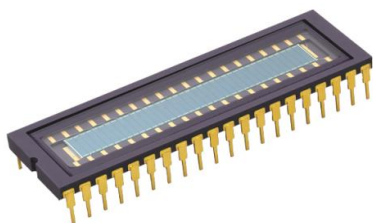
Dragan Denić
Katedra za merenja
Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet
u Nišu
Niš, Republika Srbija
dragan.denic@elfak.ni.ac.rs
<https://orcid.org/0000-0001-5582-0944>

Abstract—U radu je testiran rad optičkog modula TSL 1401-DB koji ima ugrađen čip sa linearnim nizom od 128 fotodetektora. Detaljno je analiziran princip rada optičkog modula i njegovo povezivanje sa matičnom pločom. Zatim je testiran rad ovog modula na primeru očitavanja inkrementalne trake sa diska inkrementalnog enkodera niske rezolucije. Predstavljani su očitani signali sa inkrementalne trake prilikom rotacije diska enkodera.

Ključne reči—inkrementalni optički enkoder, linearni niz fotodetektora, merenje pozicije

I. UVOD

Linearni nizovi fotodetektora sadrže veći broj fotodetektora integrisanih na čipu, tako što su raspoređeni jedan pored drugog na zajedničkom supstratu, [1]. Mogu se smestiti stotine, pa čak i hiljade fotodetektora na jednom čipu, Sl. 1. Mogu se formirati jednodimenzionalni ili dvodimenzionalni nizovi fotodetektora. Primena ovakvih senzora je moguća na polju merenja dužine, širine, prečnika, debljine, zatim za lociranje objekata, ivica, brojanje proizvoda na traci, očitavanje bar kodova, itd. Ovi fotodetektoru su optimizovani za ultraljubičastu, vidljivu ili infracrvenu svetlost. Ako se koriste fotodiode u linearnom nizu fotodetektora, one mogu raditi u fotoprovodnom režimu (inverzno polarisane) kako bi se smanjilo vreme odziva usled manje kapacitivnosti p/n spoja, u poređenju sa radom u fotonaponskom režimu. Čip može da sadrži dodatna elektronska kola za pojačanje signala iz fotodiode. Fotodetektoru u linearnom nizu se mogu očitavati paralelno (brži način), ili je potreban takt i dodatni signali za istovremeno očitavanje svih fotodetektora u nizu.



Sl. 1. Spoljašnji izgled čipa sa linearnim nizom fotodetektora [9]

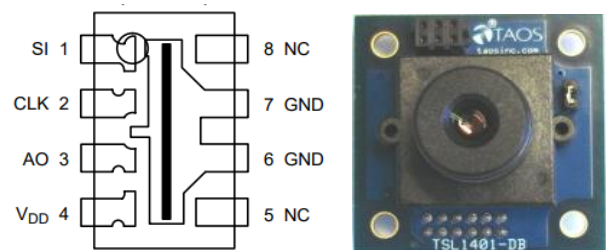
Za svrhe merenja pozicije linearni nizovi fotodetektora mogu detektovati položaj laserskog zraka koji osvetljava pojedinačne fotodetektore, pri čemu veći broj fotodetektora u nizu povećava i opseg merenja pozicije. Takođe, linearni nizovi fotodetektora se mogu iskoristiti za očitavanje koda sa diska optičkih pozicionih enkodera različitih tipova, [2], [3]. To može biti određivanje relativne pozicije kod inkrementalnih enkodera [4]-[6] ili apsolutne pozicije kod različitih tipova apsolutnih pozicionih enkodera. Precizno i tačno merenje pozicije je potrebno u brojnim aplikacijama, kao što su CNC mašine, pokretni delovi aviona, mašine za štampanje, antene, radarski sistemi, pokretni delovi u automobilima, itd.

Na početku rada je detaljno opisan korišćeni optički modul TSL1401-DB, pri čemu su analizirane njegove karakteristike i princip rada, [7]. Zatim je modul montiran na matičnu ploču koja omogućuje očitavanje linearnog niza fotodetektora sa optičkog modula i prenos informacija u računar preko USB interfejsa. Na kraju su predstavljani eksperimentalni rezultati očitavanja inkrementalne trake primenom ovog optičkog modula kod inkrementalnog enkodera niske rezolucije.

II. LINEARNI NIZ FOTODETEKTORA

A. Optički modul TSL 1401-DB

U radu se analiziraju performanse rada i mogućnost primene modula TSL 1401-DB firme Parallax kod optičkih pozicionih enkodera. Modul sadrži čip sa linearnim nizom od 128 fotodetektora TSL 1401R-LF i sočivo za fokusiranje svetlosti, veličine 7,9 mm, Sl. 2.

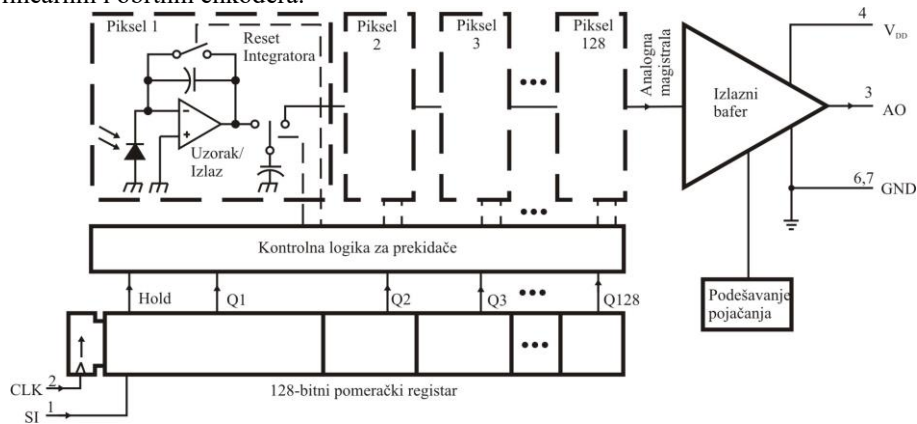


Sl. 2. Pinovi čipa sa nizom fotodetektora TSL1401R-LF i spoljašnji izgled modula TSL 1401-DB [7]

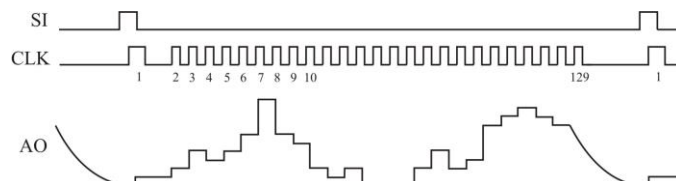
Ovaj rad je podržalo Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije [evidencioni broj ugovora: 451-03-65/2024-03/200102].

Integrirani čip sa linearnim nizom fotodetektora TSL1401R-LF firme TAOS sadrži 128 x 1 fotodiode u nizu, zajedno sa pripadajućim pojačavačima i funkcijom hold za pojedinačne piksele koja omogućava istovremeno očitavanje svih piksela, Sl. 3. Dimenzije piksela (fotodiode) su $63,5 \mu\text{m} \times 55,5 \mu\text{m}$, pri čemu je rastojanje između centara piksela $63,5 \mu\text{m}$, a razmak između piksela $8 \mu\text{m}$. Rad kola pojednostavljuje interna kontrolna logika koja zahteva samo dva signala na ulazu: serijski ulaz (SI) i signal takta, Sl. 4. Osvetljavanjem piksela (fotodiode) generiše se fotostruja koja se integrirali aktivnim integratorom koji je dodeljen svakom pikselu. Za vreme perioda integraljenja, kondenzator uzorkovanja se povezuje za izlaz integratora preko analognog prekidača. Iznos naelektrisanja akumuliranog na pikselu proporcionalan je intenzitetu svetlosti i vremenu integraljenja. Maksimalna frekvencija takta na kojoj kolo može raditi je 8 MHz.

Detaljna blok šema linearnog niza fotodetektora, [8], prikazana je na Sl. 3. Za svaki piksel važi da se izlaz i reset integratora kontroliše uz pomoć 128-bitnog pomeračkog registra i kontrolne logike za resetovanje. Jedan ciklus očitavanja fotodetektora počinje postavljanjem signala SI na logičku "1", Sl. 4. Interni signal Hold se generiše pojavom rastuće ivice signala SI i prenosi na analogne prekidače pojedinačnih piksela. Ovo uzrokuje da se svih 128 kondenzatora za uzorkovanje razdvajaju od njihovih integratora i počinje reset period integratora. Naelektrisanje smešteno u kondenzatorima se sekvencijalno povezuje sa izlaznim pojačavačem koji generiše analogni izlaz AO. Istovremeno, u toku trajanja prvih 18 perioda takta, svi integratori piksela su resetovani i naredni proces integracije počinje sa sledećom, 19-tom periodom takta. U trenutku pojave 129. po redu rastuće ivice signala takta, SI signal ne taktuje više pomerački registar i analogni izlaz AO je u stanju visoke impedanse, Sl. 4. Nominalna vrednost napajanja senzora je 5 V. Sa napajanjem od 5 V, na izlazu je nominalno 0 V kada nema detekcije svetlosti, 2 V za normalni nivo bele svetlosti i 4.8 V za visok nivo saturacije svetlosti. Izlaz sa svih piksela linearnog niza fotodetektora je analogni napon proporcionalan intenzitetu svetlosti kojom je osvetljen svaki pojedinačni piksel. Linearni niz fotodetektora TSL1401R-LF se može primeniti u širokom spektru aplikacija uključujući skeniranje slike, očitavanje koda i markera, optičko prepoznavanje znakova, detekcija ivica i pozicioniranje, primena kod optičkih linearnih i obrtnih enkodera.



Sl. 3. Blok šema linearnog niza fotodetektora [8]

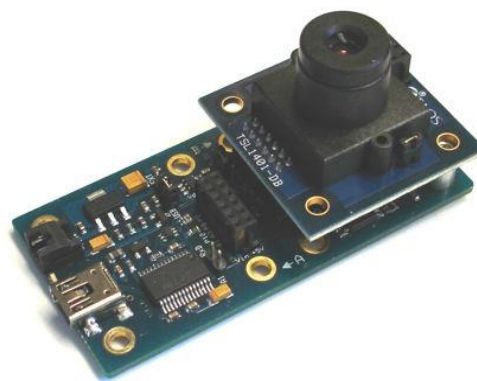


Sl. 4. Signali na ulazu i izlazu linearnog niza fotodetektora [7]

B. Montiranje optičkog modula na matičnu ploču i povezivanje sa računarom

MoBoStamp-pe matična ploča je iskorišćena za rad sa modulom TSL 1401-DB, njegovo očitavanje uz prenos signala u računar preko USB interfejsa, Sl. 5. Napajanje matične ploče ide preko USB interfejsa.

Za ispravan rad matične ploče i modula, instalirani su odgovarajući drajveri, kao i softver proizvođača koji omogućuje prikaz i jednostavniju analizu dobijenih podataka iz modula. Matična ploča ima EEPROM memoriju za smeštanje korisničkih programa i podataka. Matična ploča ima mogućnost istovremenog montiranja dva modula i rad sa njima. Takođe, matična ploča je opremljena sa dva programabilna Atmel AVR mikrokontrolera, preprogramirana za digitalne I/O, PWM izlaz, analogni ulaz i merenja frekvencije. Skeniranje slike može biti kontinualno ili može biti sinhronizovano sa ivicom spoljašnjeg signala.

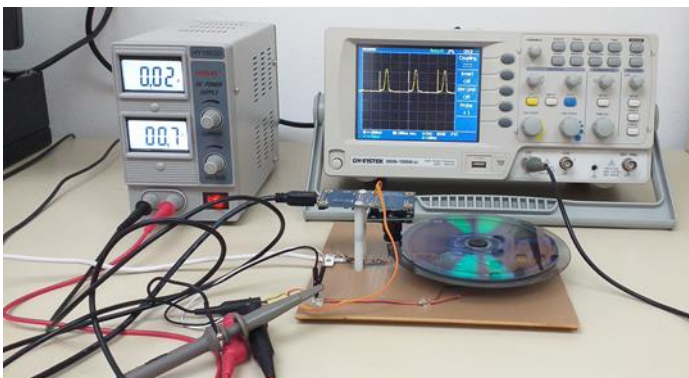


Sl.5. Optički modul montiran na matičnoj ploči [7]

III. EKSPERIMENTALNI SISTEM BAZIRAN NA PRIMENI LINEARNOG NIZA FOTODETEKTORA

U cilju analize rada i detaljnije praktične provere optičkog modula TSL 1401-DB realizovan je eksperimentalni sistem, pri čemu je na osovinu motora montiran disk inkrementalnog enkodera urađen na plastičnoj foliji, a za očitavanje koda sa inkrementalne trake sa jedne strane diska je smeštena infracrvena dioda, a sa druge strane optički modul TSL 1401-DB montiran na matičnoj ploči, Sl. 6. Disk inkrementalnog enkodera je izrađen na plastičnoj foliji pri čemu je prečnik diska 13,5 cm, a prečnik otvora u centru diska 15 mm. Na površinu diska enkodera štampom je nanešena inkrementalna traka u vidu preciznih markera, odnosno šara, sačinjenih od prozračnih i neprozračnih polja jednake širine. Rezolucija inkrementalne trake je 5 bita, odnosno, na inkrementalnoj traci je raspoređeno 32 markera. Marker na inkrementalnoj traci je širine 13 mm i visine 15 mm. Disk inkrementalnog enkodera je montiran na osovinu motora koji se pokreće primenom jednosmernog promenljivog izvora napajanja, pri čemu se promenom napona napajanja motora menja brzina rotacije diska inkrementalnog enkodera. Osvetljavanje inkrementalne trake 32 - bitnog enkodera vrši se primenom infracrvene diode koja ima talasnu dužinu emitovane svetlosti 850 nm. Napajanje matične ploče na koju je montiran optički modul se vrši usb kablom. USB interfejs služi i za prenos podataka iz modula u računar. Na računaru je instaliran odgovarajući softver koji omogućuje posmatranje očitanih podataka. Sve sastavne komponente eksperimentalnog sistema se mogu videti na Sl. 6.

Optički modul TSL 1401-DB, montiran na matičnu ploču MoBoStamp, je montiran što je bliže moguće inkrementalnoj traci i treba da očitava prozračne i neprozračne markere sa inkrementalne trake. Očitavanje optičkog modula sa inkrementalne trake se uporedo posmatra ne samo u odgovarajućem programu za monitoring, nego i na ekranu digitalnog dvokanalnog osciloskopa. Sa ekrana osciloskopa se posmatranjem signala može očitati da je nivo napona kada se očitava neprozračni marker negde do 2 V, a kada se očitava prozračni marker oko 5 V. Kada linearni niz fotodetektora očitava deo neprozračnog i deo prozračnog markera onda su nivoi napona fotodioda negde između 2 V i 5 V. Prednost očitavanja sa linearnim nizom fotodetektora je mogućnost očitavanja više bitova istovremeno.



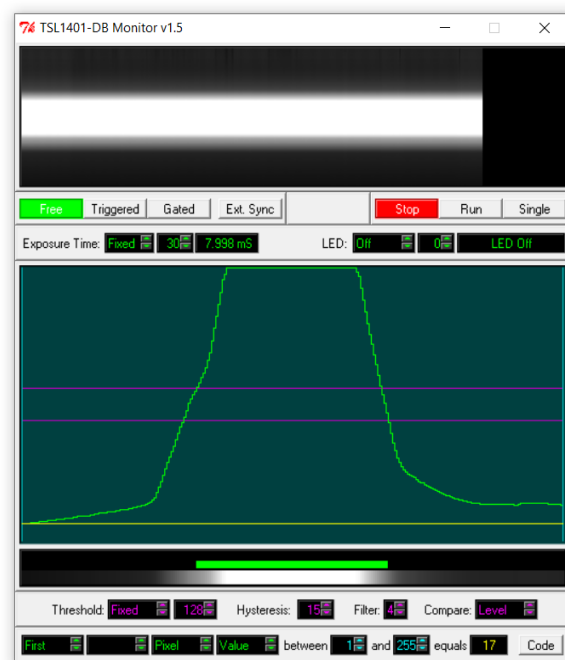
Sl. 6. Eksperimentalni sistem baziran na primeni linearnog niza fotodetektora na primeru inkrementalnog enkodera



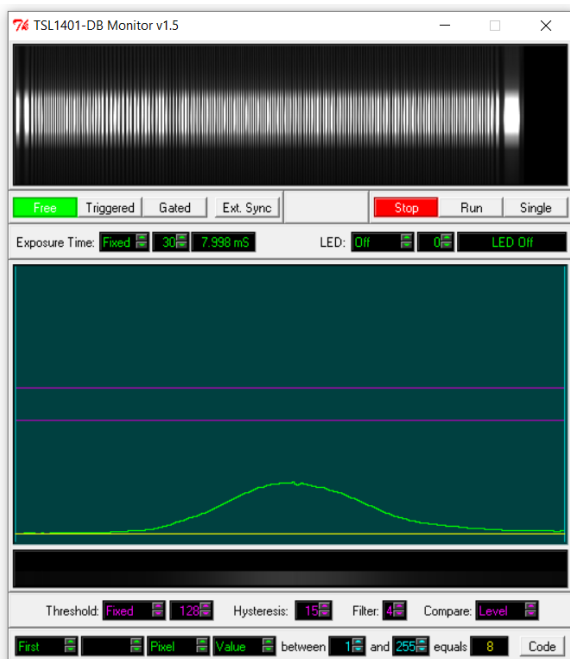
Sl. 7. Očitavanje signala neprozračnog polja sa inkrementalne trake u programu za monitoring

Sa povećanjem brzine rotacije diska enkodera preko 30 o/min sve teže se dobija informacija o poziciji iz signala. Na kvalitet signala utiče i preciznost štampe markera na disku enkodera, zatim greške ekscentriciteta usled nesavršenog montiranja diska na osovinu motora, uticaj ambijentalne svetlosti, zaprljanost inkrementalne trake, itd.

U korisničkom interfejsu programa za monitoring, svako očitavanje sa kodne trake se odvija u gornjem delu ekrana, s desna na levo, dok je u donjem delu ekrana prikazano očitavanje svih 128 fotodetektora u realnom vremenu, Sl. 7 i Sl.8.



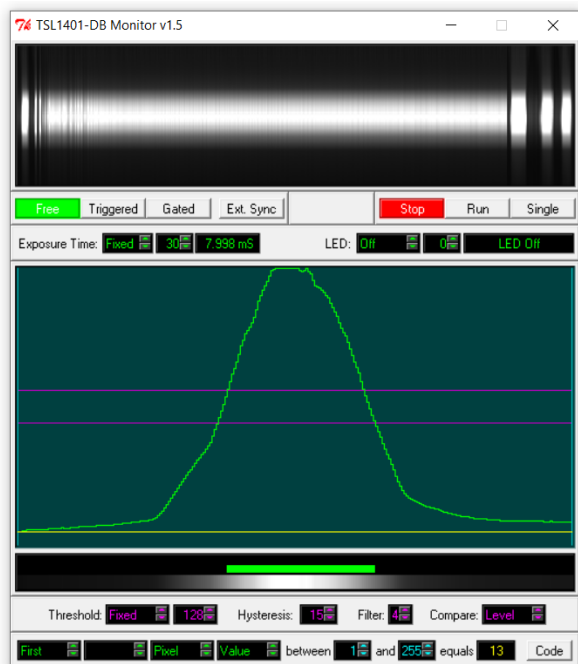
Sl. 8. Očitavanje signala prozračnog polja sa inkrementalne trake u programu za monitoring



Sl. 9. Očitavanje signala sa inkrementalne trake u programu za monitoring pri malim brzinama okretanja kodnog diska

Brzina očitavanja linearnog niza fotodetektora zavisi od frekvencije takta očitavanja i broja fotodetektora u nizu koji se očitava, u našem slučaju je broj fotodetektora 128.

Na Sl.9. prikazan je očitani signal pri brzinama rotacije diska enkodera do 30 o/min, kada se jasno vide signali očitani sa inkrementalne trake. Uočen je nedostatak primene linearnog niza fotodetektora TSL1401R-LF firme TAOS pri velikim brzinama rotacije kodnog diska, kada optički modul uđe u zasićenje i ne može lepo da detektuje prozirna i neprozirna polja na inkrementalnoj traci, Sl. 10.



Sl. 10. Očitavanje signala sa inkrementalne trake u programu za monitoring pri velikim brzinama okretanja kodnog diska

IV. ZAKLJUČAK

U radu su analizirani i testirane mogućnosti očitavanja diska enkodera pomoću optičkog modula sa linearnim nizom fotodetektora. Istaknute su prednosti i nedostaci ovakvog očitavanja. Dalji nastavak istraživanja sa ovim optičkim modulom bi bila njegova primena kod pseudoslučajnog apsolutnog enkodera, pri čemu bi linearni niz fotodetektora očitavao kompletnu kodnu reč u svakom trenutku. Zaključak je da bi se u tom slučaju čip sa linearnim nizom fotodetektora morao koristiti bez sočiva ispred njega, a osvetljavanje pseudoslučajne kodne trake bi možda trebalo da bude realizovano sa više infracrvenih dioda u nizu.

REFERENCE/LITERATURA

- [1] J.M.Raznor, P.Seitz, "A linear array of photodetectors with wide dynamic range and near photon quantum-noise limit", *Sensors and Actuators A: Physical*, vol 61, pp.327-330, June 1997.
- [2] D. Denić, I. Ranđelović, M. Rančić, "High-resolution pseudorandom encoder with parallel code reading", *ISSN 1392-1215 Electronics and electrical engineering*, Nr 7(56), pp. 9 - 14, Kaunas, Lithuania, 2004.
- [3] G. Miljković, I. Ranđelović, D. Denić, J.Jovanović, "Contribution to the development of a pseudorandom position encoder with parallel reading", *Proceedings of the XV International SAUM Conference on Systems, Automatic Control and Measurement*, pp. 37-40, September 2021.
- [4] M. Tresanchez, T. Pallejà, M. Teixidó, J. Palacín, "The optical mouse sensor as an incremental rotary encoder", *Sensors and Actuators A: Physical*, vol 155, pp.73-81, 2009.
- [5] D. Mioara Purcaru, E. Niculescu, I. Purcaru "Experimental measuring system with rotary incremental encoder", *Wseas Transactions on advances in engineering education*, issue 9, vol 4, pp.180-186, September 2007.
- [6] J. G. Webster, "The measurement, instrumentation and sensors handbook", CRC Press, 1999.
- [7] <https://www.parallax.com/product/tsl1401-linescan-sensor-daughterboard/>
- [8] <https://www.farnell.com/datasheets/315815.pdf>
- [9] <https://www.osioptoelectronics.com/products/photodetectors/linear-photodiode-arrays>

ABSTRACT

In the work, the operation of the optical module TSL 1401-DB is tested, which has an integrated chip with a linear array of 128 photodetectors. The working principle of the optical module and its connection to the motherboard have been thoroughly analyzed. Then, the operation of this module was tested in the example of reading an incremental track from a disk of a low-resolution incremental encoder. The reading signals from the incremental track during the rotation of the encoder disk are presented.

TESTING THE OPERATION OF A LINEAR ARRAY OF PHOTODETECTORS ON THE EXAMPLE OF AN OPTICAL INCREMENTAL ENCODER

Ivana Ranđelović, Goran Miljković, Jelena Jovanović,
Milan Dinčić, Dragan Denić