

Detekcioni algoritam laserskih nadzornih sistema u brodskim prevodnicama

Saša Milić, Dejan Misović
Elektrotehnički institut Nikola Tesla
Beograd, Srbija
s-milic@ieent.org

Miša Kožicić
JP EPS ogranak HE Đerdap
Kladovo, Srbija
misa.kozicic@djerdap.rs

Željko Đurović
Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu
Beograd, Srbija
zdjurovic@etf.bg.ac.rs

Sažetak—U radu je prikazan novorazvijeni algoritam za detekciju brodova na bazi prepoznavanja oblika kontura dobijenih iz laserskih skenera. Algoritam je implementiran u laserskom nadzornom sistemu instaliranom u brodskoj prevodnici HE Đerdap 2. Algoritam, u osnovi, čine dve funkcionalne celine: deo za prepoznavanje smetnji (prljavšina na vodi, prelet ptica, atmosferske padavine i veliki talasi) i deo za detekciju plovnih objekata (brodovi, čamci, jedrilice...). Primena ovog detekcionog algoritma je značajno poboljšala karakteristike laserskog nadzornog sistema, kao i samog rečnog saobraćaja.

Ključne riječi—detekcioni algoritam; prepoznavanje oblika; laserski skeneri; brodska prevodnica.

I. UVOD

Brodске prevodnice su strateški objekti koji se nalaze na plovnim putevima reka i rečnih i morskih kanala kroz koje se odvija vodeni saobraćaj. Kao vitalni objekti, brodske prevodnice imaju na sebi ugrađene brojne nadzorne i sigurnosne sisteme. Pomenuti sistemi služe, kako za podizanje nivou sigurnosti, tako i za potrebe regulacije vodenog saobraćaja koji se odvija kroz njih [1], [2].

Istraživanje prikazano u ovom radu predstavlja napore autora da izvrše strogu detekciju pozicije plovila u brodskoj prevodnici, sa ciljem da se onemogući manipulacija vratima prevodnice dok se plovilo nalazi u zoni vrata.

Na hidroelektrani Đerdap 2 postoje dve brodske prevodnice, i to jedna na srpskoj strani hidroelektrane i jedna na rumunskoj strani. Njihova uloga je da obezbede nesmetan protok rečnog saobraćaja plovnim putem Dunava.

Daljinski nadzorni sistemi, koji rade u realnom vremenu, su već niz godina prisutni u svim granama saobraćaja. Sistem daljinskog nadzora brodske prevodnice služi za automatizovan, daljinski i besprekidni nadzor zauzetosti zone gornjih i donjih vrata brodske prevodnice. Konkretno, pomenuti sistem za detekciju brodova treba da obezbedi detekciju prisustva plovila u zoni gornjih i donjih vrata (sa obe strane vrata). Na ovaj način se podiže pouzdanost manipulacije vratima i izbegava moguća grešaka usled pokretanja vrata dok je plovilo u

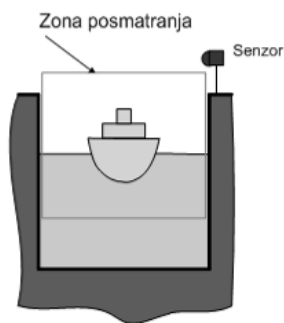
nebezbednoj zoni manipulacije (previše blizu vrata ili iznad njih) [3].

Postoji veliki broj detekcionih i mernih metoda i algoritama koji se danas koriste u pomenutim sistemima sa ciljem pouzdane detekcije vozila ili plovila, sa ciljem podizanja nivoa bezbednosti, pouzdanosti i ekonomske koristi [2], [3]. U ovom radu je opisan novorazvijeni detekcioni algoritam implementiran laserskom daljinskom nadzornom sistemu koji služi za besprekidno praćenje i detekciju prisustva plovila u zonama vrata brodske prevodnice [4]. Sistem je realizovan tako da besprekidno radi i detektuje plovila u realnom vremenu bez uticaja na rečni saobraćaj koji se odvija kroz prevodnicu. Nadzorni sistem je instaliran u prevodnici hidroelektrane Đerdap 2 na Dunavu koja je prikazana na Sl. 1. Brodska prevodnica na HE Đerdap 2 je jednokomornog tipa.



Slika 1. Brodska prevodnica na HE Đerdap 2

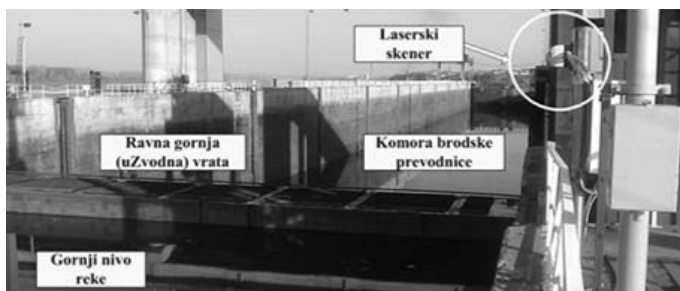
Kao detekcione/senzorske jedinice za nadzor gornjih i donjih vrata brodske prevodnice, upotrebljeni su laserski skeneri (LMS 511 - proizvođač SICK) [5]. Laserski skeneri su postavljeni ispred i iza gornjih i donjih vrata tako da su im detekcione ravni paralelne sa poprečnim presekom prevodnice Sl. 2.



Slika 2. Prikaz poprečnog preseka brodske prevodnice i zone posmatranja koja odgovara detekcionoj ravni laserskog skenera

II. TEHNIČKO REŠENJE UPRAVLJANJA VRATIMA BRODSKE PREVODNICE

Na slici br.3 je ilustrativno prikazana brodska prevodnica HE Đerdap 2 sa pozicijama laserskih senzora [5] radi nadzora gornjih i donjih vrata. Senzori su postavljeni sa obe strane vrata u cilju prikaza i alarmiranja prisustva broda definisanim sigurnosnim zonama. Predviđena su 4 senzora i to dva na gornjim i dva na donjim vratima.



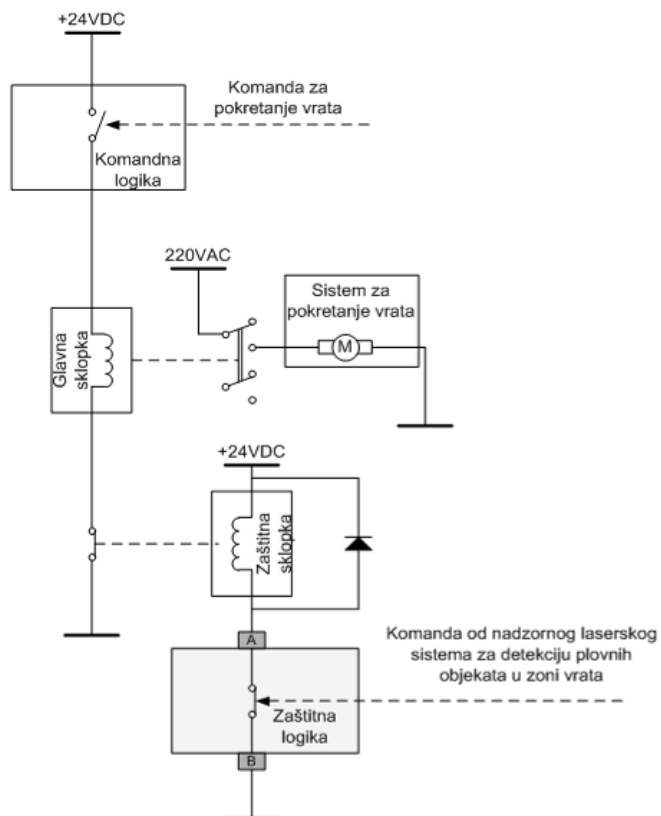
Slika 3. Prikaz pozicije laserskog skenera ispred gornjih vrata brodske prevodnice HE Đerdap 2

Na Sl. 4 je data logička šema upravljanja vratima brodske prevodnice. Logika upravljanja je slična za gornja i donja vrata. Razlika je u samoj konstrukciji vrata, gornja su iz jednog dela tzv. *ravna vrata*, dok se donja sastoje iz dva krila, tzv. *kosa dvokrilna vrata*.

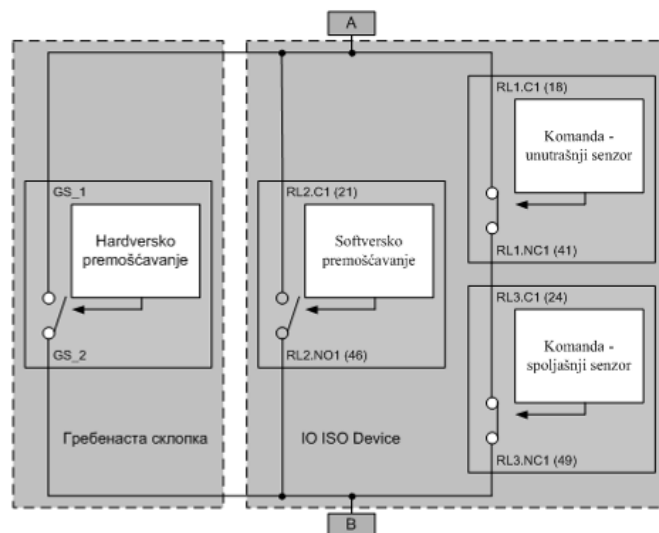
Deo na šemi (Sl. 4), pod naziv "zaštitna logika" je deo laserskog nadzornog sistema i on služi da onemogući manipulisanje vratima dok se plovilo nalazi u vidnom polju laserskih skenera. Struktura zaštitne logike je data na Sl. 5.

Ukoliko je plovni objekat u vidnom polju skenera, mikroprocesorska jedinica (Sl. 6 i Sl. 7) generiše signal koji aktivira zaštitnu sklopku koja prekida kolo glavne sklopke čime se onemogućava pokretanje hidrauličnog pogona, koji služi za pokretanje vrata prevodnice. Mikroprocesorsku jedinicu čine ethernet kontroler i ulazno/izlazni optički izolovan modul. Ona je povezana preko zasebnog komunikacionog interfejsa i optičkim kablom u lokalnu komunikacionu mrežu. Gornja i donja vrata prevodnice imaju ovakve odvojene nezavisne procesorske jedinice povezane u jedinstvenu lokalnu računarsko-komunikacionu mrežu zajedno sa centralnim

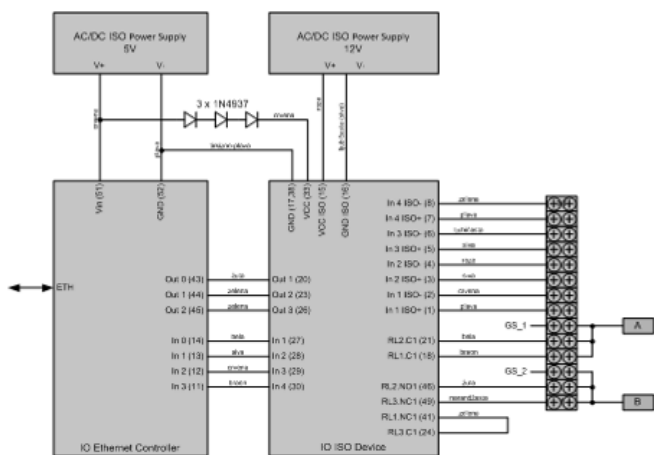
industrijskim računarom. Pomenuti računar je industrijskog tipa i smešten je u komandnom centru. Komandni centar se nalazi u tornju brodske prevodnice i njime rukovodi kapetan rečne plovidbe.



Slika 4. Logička šema upravljanja vratima brodske prevodnice



Slika 5. Struktura zaštitne logike



Slika 6. Mikroprocesorsku jedinicu čine ethernet kontroler i ulazno izlazni (I/O) modul sa optički izolovanim kanalima



Slika 7. Na slici je dat prikaz procesorske jedinice: ethernet kontroler, U/I galvanski izolovan modul, mrežni ruter, optički konvertor i dva modularna napajanja.

III. KONCEPCIJA ALGORITMA DETEKCIJE PLOVNIH OBJEKTATA U BRODSKOJ PREVODNICI

Prvi složeni laserski i vision sistemi, dinamički modeli i detekcioni algoritmi za detekciju prepreka i pokretnih objekata u saobraćaju su se pojavili pre više od 20 godina. Danas je razvijen veliki broj različitih daljinskih nadzornih sistema i detekcionih algoritama koji se koriste u svim vrstama saobraćaja [6 - 10]. Nova generacija laserskih skenera spada u grupu sofisticiranih tzv. pametnih (smart) senzora. Oni, pored detekcionog sklopa (laserski sklop sa rotacionim ogledalima i sensorima za detekciju povratnog, odnosno, reflektovanog zračenja) poseduju i snažne procesorske skopove za obradu merenih signala. Izlazne veličine ovih skenera su najčešće gotovi obrađeni podaci u nekom od standardnih formata. Međutim, bogato iskustvo u radu sa ovakvim uređajima govori da se standardna primena laserskih skenera, u različitim vremenskim uslovima, kao i u različitim scenarijima lokacije plovni objekata, pokazala neadekvatnom jer su skeneri detektovali veliki broj lažnih signala i na taj način blokirali

funkciju komandovanja vratima i u slučajevima kada nije bilo plovni objekata. Detaljnom analizom slučajeva lažne detekcije su se ustanovila ograničenja koja se postavljaju standardnom primenom skenera. Naime, u slučajevima prisustva velikih talasa, prisustva brodskog dima, atmosferskih padavina (poput snega i grada), naleta jata ptica i sl. ponašanje sistema (u slučaju standardne primene lasera) bilo je nemoguće, jer je u pomenutim prilikama detektovan veliki broj lažnih signala. Pored navedenog, u zonu posmatranja ulazi i površina vode u brodskoj prevodnici čiji nivo varira čak i do 8 m. U slučaju standardne primene senzora, pojava prljavštine na površini (što je čest slučaj) bi potpuno onemogućila funkciju komandovanja vratima bez obzira što nema prisustva plovni objekta. Usled toga smo pristupili razvoju detekcionog algoritma (opšti princip dat na Sl. 8) sa ciljem prevazilaženja (smanjenja) detekcije lažnih objekata. Pored ovoga je važno napomenuti da smo u novom algoritmu izbegli vremenska kašnjenja, koje su posledica višestruke obrade signala kojima laserski skener pribaveva sa ciljem podizanja pouzdanosti detekcije.



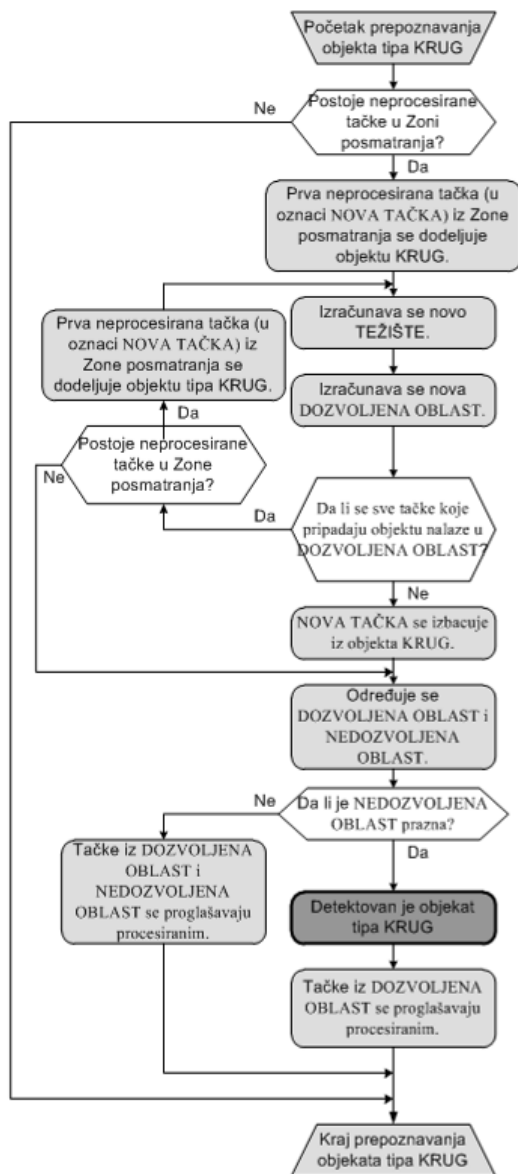
Slika 8. Detekcioni algoritam – opšta struktura.

Da bi se zadovoljili postavljeni kriterijumi, autori rada su razvili algoritam, inspirisan idejom tehnike za prepoznavanje oblika koja se naziva *rejection option* u testiranju hipoteza [11]. Analizom svih detektovanih oblika, algoritam izdvaja samo one koji su neželjeni, a sve ostale tretira kao plovne objekte. Svi neželjeni oblici su svrstani u dva tipa oblika "krug" i "horizontalna plutajuća linija" (HPL). Na ovaj način je izbegnuta komplikovana analiza veoma velikog broja oblika koji potiču od plovni objekata. Doprinos u razvoju detekcionog algoritma se ogleda upravo u detekciji neželjenih signala i objekata, jer je nađena njihova zavisnost u rasporedu i broju tačaka koje se mogu svrstati u jednu od kategorija oblika tipa „krug“ Sl. 9 ili tipa „horizontalna plutajuća linija“ Sl. 10. Svi ostali detektovani oblici, koji ne pripadaju ovima dvema

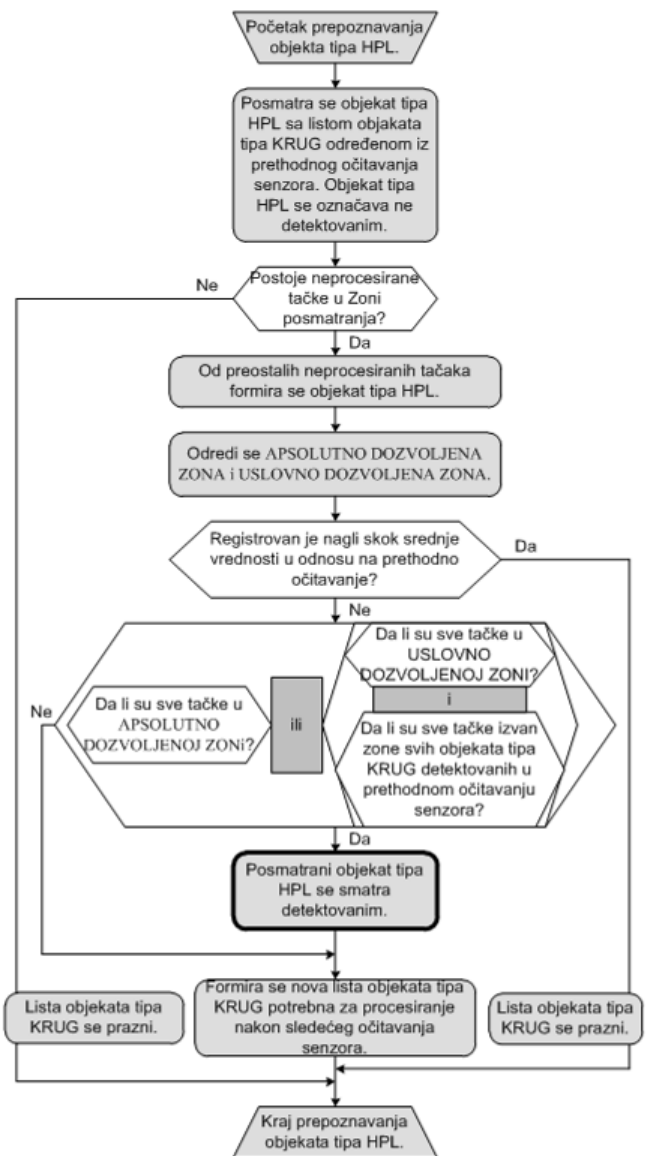
kategorijama predstavljaju plovne objekte, i u tom slučaju laserski nadzorni sistem blokira funkciju komandovanja vratima dokle god je objekat u vidnom polju njegovih laserskih skenera.

Primer metode prepoznavanja izlomljene prave linije je poznat u literaturi. U detekcionom algoritmu nije implementirana ni jedna od metoda prepoznavanja ravne linije jer se vrši prepoznavanje oblika za koji se unapred zna da je linija koja je posledica preseka dve ravni koje se nalaze pod pravim uglom, vertikalne skenirajuće ravni, koja je ujedno zona posmatranja (Sl. 2), i površina vode.

Prepoznavanje oblika tipa KRUG je u stvari prepoznavanje izolovane tačke ili grupe tačaka. Ukratko rečeno, oko tačke ili grupe tačaka opisuje se krug poluprečnika R_a i ukoliko u spoljašnjem prstenu, unutrašnjeg poluprečnika R_a i spoljašnjeg poluprečnika R_b , nema drugih tačaka onda se smatra da je KRUG detektovan.



Slika 9. Detekcioni algoritam (deo) – detekcija oblika tipa „krug“

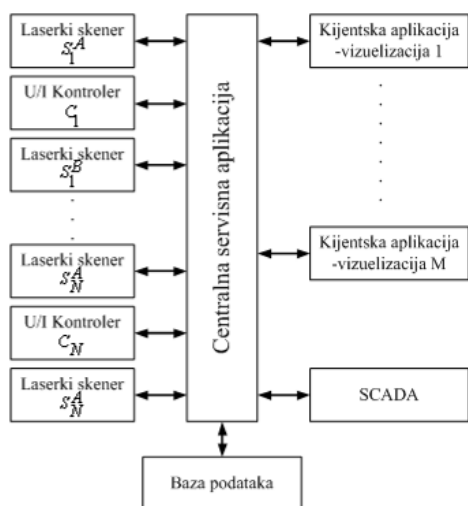


Slika 10. Detekcioni algoritam (deo) – detekcija oblika tipa „horizontalna plutajuća linija (HPL)“

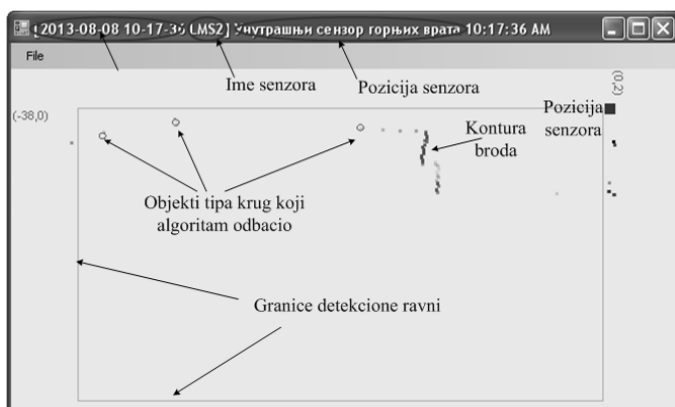
IV. SOFTVERSKA KONCEPCIJA I REZULTATI IZ REALNE EKSPLOATACIJE

U komandnom tornju bordske prevodnice se nalazi centralni računar (PPC-3712GXS, proizvođač IEI sa industrijskim touch panelom od 12") koji komunicira sa procesorskim jedinicama i na kome je instaliran korisnički program, baza podataka i koji ima relizovan interfejs za povezivanje na SCADA sistem. Na Sl. 11 je dat prikaz razvijene i realizovane programske koncepcije.

Korisnička maska je relizovana na principu grafičkih korisničkih interfejsa (GUI). Na jednom od ponuđenih grafičkih interfejsa je moguć grafički prikaz rezultata. Na Sl. 12 je dat prikaz grafičkog korisničkog interfejsa na kome su obeleženi delovi detektovane konture plovnog objekta sa prikazom osibine tačaka koje su dobijene primenom detekcionog algoritma.



Slika 11. Programska koncepcija



Slika 12. Grafički korisnički interfejs sa prikazom realnog rezultata detekcije konture plovila u zoni vrata brodske prevodnice

V. ZAKLJUČAK

Osnovni cilj ovog rada je prikaz novo razvijenog detekcionog algoritma implementiranog u laserski sistem daljniskog nadzora koji služi za praćenje procesa prevođenja plovila kroz brodske prevodnice. Sistem je praktično realizovan i instaliran na brodskoj prevodnici hidroelektrane HE Đerdap 2.

Korist od uvođenja ovakvog sistema je višestruka. Sa aspekta pouzdanosti i osavremenjavanja, opisani nadzorni sistem omogućava automatizaciju i daljniski nadzor procesa prevođenja brodova, onemogućava pogrešnu manipulaciju vratima prevodnice dok se brodovi i druga plovila nalaze u njihovoj zoni i obezbeđuje pamćenje izabranih parametara koji ukazuju na ciklus prevođenja. Sa ekonomskog aspekta dobit se ogleđa u tome da je onemogućena havarijska situacija usled pogrešne manipulacije vratima brodske prevodnice.

U cilju izbegavanja složene analize velikog broja različitih oblika plovila (od malih čamaca, kanua i jedrilica, pa do velikih turističkih brodova i transportnih barži), autori rada su

razvili algoritam, inspirisan idejom tehnike za prepoznavanje oblika, koja se naziva *rejection option* u testiranju hipoteza. Algoritam je detaljno prikazan u radu, a na kraju je dat i prikaz rezultata iz prakse koji potvrđuje njegovu funkcionalnost.

U radu je takođe prikazana koncepcija tehničkog rešenja i mesto i uloga prezentovanog laserskoga sistema daljniskog nadzora u strukturi upravljanja vratima brodske prevodnice.

Dalji razvoj laserskih nadzornih sistema i algoritama prema kojima oni rade bi mogao ići u pravcu njihovog povezivanja sa drugim nadzornim i komunikacionim sistemima koji su od značaja u rečnom saobraćaju, čime bi se dobila kompletna slika kako procesa prevođenja, tako i samog rečnog saobraćaja (vrsta i broj brodova, učestanost prevođenja i sl.)

ZAHVALNICA

Rad je nastao u okviru projekta TR 33024, „Povećanje energetske efikasnosti, pouzdanosti i raspoloživosti elektrana EPS-a utvrđivanjem pogonskih dijagrama generatora i primenom novih metoda ispitivanja i daljniskog nadzora”, koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] J. F. Campbell, L. D. Smith, D. C. Sweeney II, R. Mundy, "Decision Tools for Reducing Congestion at Locks on the Upper Mississippi River", *HICSS 2007. 40th Annual Hawaii International Conference on, System Sciences 2007*, ISSN: 1530-1605, E-ISSN: 0-7695-2755-8, DOI: 10.1109/HICSS.2007.164, Page 56, Jan. 2007, Waikoloa, Hawaii.
- [2] S. D. Milić, N. Karanović, Z. Kršenović, "Laser Monitoring System of Vessel Detection in the Lock of the Hydropower Plant", *Proceedings of Powerplants 2012, International Conference*, ISBN: 978-86-7877-021-0, Zlatibor, Serbia, Oktober 30 – November 2, 2012, Pages: 314-321.
- [3] Saša Milić, Dejan Misović, Miša Kožić, Radeta Marić, Dejan Cvetković: "Remote Monitoring and Detection of Vessels Movements in the Zone of Doors of Vessels Transit", *Conference on Energetika 2012, Zlatibor 27-30.03.2012*, Published in Scientific Journal: ENERGIJA, Vol. 1-2, March, 2012, Pages: 221-226, Zlatibor Serbia.
- [4] D. Misović, S. Milić, Ž. Đurović: "Vessel Detection Algorithm Used in a Laser Monitoring System of the Lock Gate Zone", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, DOI: 10.1109/TITS.2015.2477352, Manuscript Number: T-ITS-14-04-0266, Published to IEEE Xplore®: Oct 02, 2015.
- [5] Laser Measurement Sensors of the LMS5xx Product Family, Operating Instructions, SICK, AG – Germany
- [6] J. Li, X. Yuan, L. Z. Xia, "Ship detection algorithm used in a navigation lock monitored system", *SPIE Object Detection, Classification, and Tracking Technologies, Proceedings*, Vol. 4554, DOI:10.1117/12.441622, 24 September, 2001.
- [7] A. Mendes, L. C. Bento, U. Nunes, "Multi-target Detection and Tracking with a Laserscanner", *IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Proceedings*, Parma, Italy, 14-17 June 2004, Pages: 796-801.
- [8] S. Kamijo, Y. Matsushita, K. Ikeuchi, M. Sakauchi, "The Traffic Monitoring and Accident Detection at Intersections", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 1, No. 2, June 2000, Pages: 108-118.
- [9] E. J. Molenaar, M. Tsameny, "Satellite-based Vessel Monitoring Systems, International Legal Aspects & Developments in State Practise", *FAO Legal Papers*, online #7, April 2000.
- [10] P. A. Ioannou, C. C. Chien, "Autonomous Intelligent Cruise Control", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 42, No. 4, DOI: 10.1109/25.260745, November 1993, Pages: 657-672.
- [11] K. Fukunaga, *Introduction to Statistical Pattern Recognition*, 2nd Edition, Academic Press, ISBN 0-12-269851-7, 1990, Pages: 65-84.

ABSTRACT

This paper presents a newly developed algorithm for the ship detection based on pattern recognition of the contours obtained from the laser scanners. The algorithm is implemented in laser monitoring system installed in the lock of HE Djerdap 2. The algorithm basically consists of two functional partitions: partition for recognition of interference (floating debris, flock of birds, meteorological conditions and

high waves) and partition for the vessels detection (ships, boats, sailing ...). The application of this detection algorithm has significantly improved characteristics of laser monitoring system, as well as the river traffic.

DETECTION ALGORITHM OF LASER MONITORING SYSTEMS INSTALLED IN THE LOCKS

Saša Milić, Dejan Misović, Željko Đurović, Miša Kožicić