



УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ • ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ

Булевар краља Александра 73 • 11000 Београд • Србија •

Тел. 011/324-8464 • Факс: 011/324-8681

ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

БР. 163/4

ДАТУМ 31. 1. 2011.

БЕОГРАД

Универзитет у Београду
Већу научних области техничких наука

З А Х Т Е В

За давање сагласности на предлог теме докторске дисертације

Молимо да, сходно чл.46 ст.5.тач.4 Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“ бр.131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације:
„Метод за детекцију ивица дефеката у процесу производње картона применом Wavelet трансформације“ коју је пријавио кандидат **мр Марко Барјактаровић**.
Научна област: **електротехника**

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

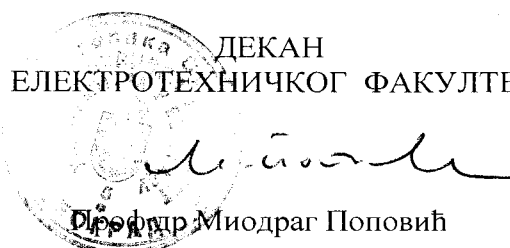
- Име, име једног од родитеља и презиме кандидата
Мр МАРКО (ЧЕДОМИР) БАРЈАКТАРОВИЋ
- Назив и седиште факултета на коме је стекао високо образовање
Електротехнички факултет у Београду
- Година дипломирања: **2002.године**
- Назив магистарске тезе кандидата
„Оптоелектронски мерни системи за детекцију дефеката на картону у току процеса производње“
- Назив факултета на коме је магистарска теза одбрањена
Електротехнички факултет Универзитета у Београду
- Година одбране магистарске тезе: **2007.год.**
- Назив факултета на коме је кандидат завршио докторске студије: /
- Одсек, смер или група: /
- Година завршетка докторских студија: /

Обавештавамо вас да је Наставно-научно веће Електротехничког факултета на седници Одржаној 21.12.2010.године размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

Прилог:

- Предлог теме докторске дисертације са образложењем
- Акт надлежног тела Факултета о подобности теме за израду докторске дисертације

ДЕКАН
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА


Проф. др Миодраг Поповић



ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

БР.

847

ДАТУМ

20. 12. 2011

БЕОГРАД

На основу чл.128 Закона о високом образовању и чл.66 и чл.68 Статута Електротехничког факултета у Београду, Наставно-научно веће на седници од 21.12.2010.године, донело је

ОДЛУКУ

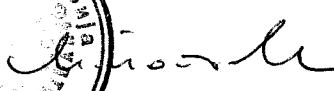
О ПРИХВАТАЊУ ТЕМЕ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Прихвата се тема докторске дисертације под насловом:

„Метод за детекцију ивица дефеката у процесу производње картона применом Wavelet трансформације“ коју је пријавио мр Марко Барјактаровић.

За ментора је именован др Јован Радуновић, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

ДЕКАН
Електротехничког факултета



Проф. др Миодраг Поповић

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

Име и презиме: Јован Радуновић

Звање: редовни професор

Списак радова објављених у научним часописима са Science Citation Index (SCI) листе који квалификују ментора за вођење докторске дисертације.

1.

Article: A Miniature Pockels Cell with Novel Electrode Geometry

Author: Slobodan J. Petricevic, Pedja Mihailovic and Jovan Radunovic

Affiliations: Faculty of Electrical Engineering, Bulevar Revolucije 73, 11000 Belgrade, Serbia

Journal: Sensors

Issue: Volume 9, Issue 7, July 2009

doi: doi:10.3390/s90705298

IF for 2008: 1.821

ISSN: 1424-8220

web address for this article:

<http://www.mdpi.com/1424-8220/9/7/5298/>

2.

Article: Distributed Dijkstra sparse placement routing algorithm for translucent optical networks

Author: Vladica Tintor and Jovan Radunović

Affiliations: Faculty of Electrical Engineering, Bulevar Kralja Aleksandra 73, 11000 Belgrade, Serbia

Journal: Photonic Network Communications

Issue: Volume 18, Number 1, August 2009

doi: 10.1007/s11107-008-0170-x

IF for 2009: 0.765

ISSN: 1387-974X

web address for this article:

<http://www.springerlink.com/content/12244163xn306806/>

3.

Article: Development of a Fibre Optic Impulse Current Sensor for high voltage equipment tests

Author: Petričević, Slobodan; Stojković, Zlatan; Mihailović, Pedja; Radunović, Jovan

Journal: International Journal of Electrical Engineering Education

Issue: Volume 45, Number 1, January 2008

IF for 2008: 0.118

ISSN: 0020-7209

web address for this article:

<http://www.ingentaconnect.com/content/manup/ijeee/2008/00000045/00000001/art00001>

4.

Article: Temperature dependence of the Bi₁₂GeO₂₀ optical activity

Author: Pedja Mihailovic, Slobodan Petricevic, Stevan Stankovic and Jovan Radunovic

Affiliations: Faculty of Electrical Engineering, Bulevar Kralja Aleksandra 73, 11000 Belgrade, Serbia

Journal: Optical Materials

Issue: Volume 30, Issue 7, March 2008

doi: 10.1016/j.optmat.2007.05.014

IF for 2008: 1.714

ISSN: 0925-3467

web address for this article:

http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TXP-4P2S260-4&_user=10&_coverDate=03/31/2008&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_origin=search&_sort=d&_docanchor=&view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=3211699e21787d05e76ae337ba5137d8&searchtype=a

5.

Article: Analysis of blocking probability in optical burst switched networks

Author: Vladica Tintor, Petar Matavulj and Jovan Radunović

Affiliations: Faculty of Electrical Engineering, Bulevar Kralja Aleksandra 73, 11000 Belgrade, Serbia

Journal: Photonic Network Communications

Issue: Volume 15, Number 3, June 2008

doi: 10.1007/s11107-007-0101-2

IF for 2008: 0.427

ISSN: 1387-974X

web address for this article:

<http://www.springerlink.com/content/h00321307566086g/>

6.

Article: The few SPICE models of ultra fast P-i-N photodiode

Author: Lazovic Miomira; Matavulj Petar; Radunovic Jovan;

Affiliations: Faculty of Electrical Engineering, Bulevar Kralja Aleksandra 73, 11000 Belgrade, Serbia

Journal: Journal of Optoelectronics and Advanced Materials

Issue: Volume 9, Issue 8, August 2007

IF for 2007: 0.827

ISSN: 1454-4164

web address for this article:

<http://joam.inoe.ro/index.php?option=magazine&op=view&idu=842&catid=16>

7.

Article: High performance coated board inspection system based on commercial components

Author: M. Barjaktarovic, S. Petricevic and J. Radunovic

Affiliations: Faculty of Electrical Engineering, Bulevar Revolucije 73, 11000 Belgrade, Serbia

Journal: Journal of Instrumentation

Issue: Volume 2, July 2007

doi: 10.1088/1748-0221/2/07/T07001

IF for 2008: 0.821

ISSN: 1748-0221

web address for this article:

<http://iopscience.iop.org/1748-0221/2/07/T07001>

8.

Article: Practical application of fiber-optic current sensor in power system harmonic measurement

Author: Petricevic, S.J.; Stojkovic, Z.; Radunovic, J.B.;

Affiliations: Faculty of Electrical Engineering, Bulevar Revolucije 73, 11000 Belgrade, Serbia

Journal: IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement

Issue: Volume 55, Issue 3, June 2006

doi: 10.1109/TIM.2006.873793

IF for 2006: 0.572

ISSN: 0018-9456

web address for this article:

http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=1634886

9.

Article: Improvements in difference-over-sum normalization method for Faraday effect magnetic field waveforms measurement

Author: P Mihailovic, S Petricevic and J Radunovic

Affiliations: Faculty of Electrical Engineering, Bulevar Revolucije 73, 11000 Belgrade, Serbia

Journal: Journal of Instrumentation

Issue: Volume 1, December 2006

doi: 10.1088/1748-0221/1/12/P12002

IF for 2008: 0.821

ISSN: 1748-0221

web address for this article:

<http://iopscience.iop.org/1748-0221/1/12/P12002>

10.

Article: Development of a portable fiber-optic current sensor for power systems monitoring

Author: Mihailovic, P.; Petricevic, S.; Stojkovic, Z.; Radunovic, J.B.;

Affiliations: Faculty of Electrical Engineering, Bulevar Revolucije 73, 11000 Belgrade, Serbia

Journal: IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement

Issue: Volume 53, Issue 1, February 2004

doi: 10.1109/TIM.2003.821500

IF for 2004: 0.446

ISSN: 0018-9456

web address for this article:

http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=1259521

11.

Article: Equivalent electric circuit of the P-i-N photodiode for the pulse incident excitation

Author: Miomira V. Lazović, Petar S. Matavulj, Jovan B. Radunović

Affiliations: Faculty of Electrical Engineering, Bulevar Revolucije 73, 11000 Belgrade, Serbia

Journal: Microwave and Optical Technology Letters

Issue: Volume 41, Issue 6, June 2004

doi: 10.1002/mop.20174

IF for 2004: 0.446

ISSN: 0895-2477

web address for this article:

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/mop.20174/abstract>

12.

Article: Real single quantum well laser frequency response

Author: P. S. Matavulj and J. B. Radunović

Affiliations: Faculty of Electrical Engineering, Bulevar Revolucije 73, 11000 Belgrade, Serbia

Journal: International Journal of Infrared and Millimeter Waves

Issue: Volume 22, Number 6, June 2001

doi: 10.1023/A:1014962213884

IF for 2001: 0.299

ISSN: 0195-9271

web address for this article:

<http://www.springerlink.com/content/b4fbt38077256br3/>

13.

Article: Comparison of nonlinear and nonstationary response of conventional and resonant cavity enhanced p-i-n photodiode

Author: Petar S. Matavulj, Dušan S. Golubović, and Jovan B. Radunović

Affiliations: Faculty of Electrical Engineering, Bulevar Revolucije 73, 11000 Belgrade, Serbia

Journal: Journal of Applied Physics

Issue: Volume 87, Issue 6, 15 March 2000

doi: 10.1063/1.372304

IF for 2000: 2.180

ISSN: 0021-8979

web address for this article:

http://jap.aip.org/resource/1/japiau/v87/i6/p3086_s1?isAuthorized=no

14.

Article: Optimization of a resonant cavity enhanced MSM photodetector

Author: Dejan M Gvozdic¹, Predrag L Nikolic² and Jovan B Radunovic¹

Affiliations: ¹Faculty of Electrical Engineering, University of Belgrade, Bulevar revolucije 73, 11120 Belgrade, Yugoslavia

²Massachusetts Institute of Technology, 77 Massachusetts Avenue, Cambridge, MA 02139, USA

Journal: Semiconductor Science and Technology

Issue: Volume 15, Issue 6, June 2000

doi: 10.1088/0268-1242/15/6/326

IF for 2000: 1.169

ISSN: 0268-1242

web address for this article:

<http://iopscience.iop.org/0268-1242/15/6/326>

15.

Article: Resonant cavity-enhanced Schottky photodiode-modelling and analysis

Author: D S Golubovic, P S Matavulj and J B Radunovic

Affiliations: Faculty of Electrical Engineering, University of Belgrade, Bulevar revolucije 73, 11120 Belgrade, Yugoslavia

Journal: Semiconductor Science and Technology

Issue: Volume 15, Issue 10, October 2000

doi: 10.1088/0268-1242/15/10/303

IF for 2000: 1.169

ISSN: 0268-1242

web address for this article:

<http://iopscience.iop.org/0268-1242/15/10/303>



Проф. др. Миодраг Поповић

Ag. 10.4.

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA U BEOGRADU

Na 723. sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu održanoj 02.11.2010. godine, određeni smo za članove Komisije za ocenu uslova i prihvatanje teme doktorske disertacije mr Marka Barjaktarovića pod naslovom "Metod za detekciju ivica defekata u procesu proizvodnje kartona primenom *wavelet* transformacije". Nakon pregleda dobijenog materijala, Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta podnosimo sledeći

I Z V E Š T A J

PODACI O KANDIDATU

Marko Barjaktarović je rođen 16.05.1978. godine u Beogradu. Osnovnu školu i gimnaziju je završio u Beogradu. Elektrotehnički fakultet u Beogradu upisao je 1997. godine. Diplomirao je novembra 2002. godine, na smeru za Optoelektroniku i lasersku tehniku, ostvarivši prosečnu ocenu tokom studija 9.18. Janura 2003. godine izabran je u zvanje asistenta-pripravnika na Katedri za mikroelektroniku i tehničku fiziku Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu. U januaru 2007. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu odbranio je magistarski rad pod naslovom "Optoelektronski merni sistem za detekciju defekata na kartonu u toku procesa proizvodnje" (Mentor profesor Dr. Jovan Radunović). Unapređen je u zvanje asistenta u maju 2007. godine. Do sada je objavio dva rada u međunarodnim časopisima, dva rada na međunarodnim konferencijama i sedam radova na domaćim konferencijama.

U sklopu nastavne delatnosti izvodio je računske vežbe iz predmeta: Fizika, Fizika 1, Fizika 2, Fizika za Softversko inženjerstvo, Optičke mreže, kao i laboratorijske vežbe iz predmeta: Fizika, Fizika za Softversko inženjerstvo, Optoelektronika, Elektrooptika, Fizičko-tehnička merenja, Elementi elektronskih uređaja. Pored nastavne delatnosti učestvovao je u izradi četiri projekta koje realizuje Elektrotehnički fakultet. Njegov magistarski rad rezultat je realizacije projekta "Razvoj optoelektronskog uređaja za detekciju defekata na kartonu u procesu proizvodnje i njihovo elektronsko markiranje" (Elektrotehnički fakultet u Beogradu i Fabrika kartona A.D. "Umka"). Pomenuti projekat predstavlja osnov doktorske disertacije.

Pojedini rezultati dosadašnjih istraživanja su publikovani u više radova od kojih su dva sa IF. U toku dosadašnjeg rada, Marko Barjaktarović je objavio sledeće naučne radove:

1. Marko Barjaktarović, Slobodan Petričević, "Wavelet based edge detection algorithm for web surface inspection of coated board web", *Journal of Instrumentation*, Volume 5, July 2010, P0700. (ISSN 1748-0221, IF (za 2009. godinu) 2.102, M21, rang 7/56 (oblast *instruments & instrumentation*), <http://iopscience.iop.org/1748-0221/5/07/P07001>).
2. Marko Barjaktarović, Miomir Mijić, "Mogućnosti modelovanja propagacije akustičkih signala za potrebe zvukometrije", *Zbornik radova III Naučno-stručnog skupa iz odbrambenih tehnologija*, Beograd, 2009. (ISBN 978-86-81123-40-9 <http://www.vti.mod.gov.rs/oteh/elementi/rad/189.htm>)
3. Marko Barjaktarović, Slobodan Petričević, Jovan Radunović, "High Performance Coated Board Inspection System Based on Commercial Components", *Journal of Instrumentation*, Volume 2, July 2007, T07001. (ISSN 1748-0221, IF (za 2008. godinu) 0.821, M23, rang 37/56 (oblast *instruments & instrumentation*), <http://iopscience.iop.org/1748-0221/2/07/T07001>).

4. Slobodan Petričević, Zlatan Stojković, Peđa Mihailović, Jovan Radunović, Marko Barjaktarović, "Fiber optički senzor impulsnih strujnih oblika na bazi Faradejevog efekta", *Zbornik radova LI konferencije ETRAN*, Herceg Novi, 2007. (ISBN 978-86-80509-62-4)
5. Marko Barjaktarović, Slobodan Petričević, Jovan Radunović, "Algoritam za detekciju defekata na kartonu obradom slika kartona", *Zbornik radova LI konferencije ETRAN*, Herceg Novi, 2007. (ISBN 978-86-80509-62-4)
6. Marko Barjaktarović, Slobodan Petričević, Branko Rašeta, Jovan Radunović, Milorad Krgović, "Optoelektronski sistem za detekciju defekata na kartonu u toku proizvodnog procesa", *Zbornik radova XII Međunarodnog simpozijuma iz oblasti celuloze, papira, ambalaže i grafike*, pp. 96-101, Zlatibor, 2006. (ISBN 86-7401-218-3)
7. Nataša Bebačev, Marko Barjaktarović, Desanka Radunović, "Detection of cardboard faults during the production process", *Conf. Recent Progress in Wavelet Analysis and Frame Theory*, Bremen, Germany, 2006.
8. Marko Barjaktarović, Slobodan Petričević, Branko Rašeta, Jovan Radunović, "Optoelektronski sistem za procenu kvaliteta kartona u toku proizvodnog procesa", *XLIX Konferencija ETRAN*, vol 3., pp. 473-476, Budva, 2005. (ISBN 86-80509-55-8)
9. J.Radunović, Z.Stojković, S.Petričević, P.Mihailović, S.Stanković, M.Barjaktarović, "Optoelectronic system for current and voltage measurement in high-voltage systems", *Conf. JUKO CIRED*, pp. 1-7, Herceg Novi, 2004.
10. J. Radunović, S. Petričević, P. Mihailović, G. Mašanović, S. Stanković, M. Barjaktarović "Optoelektronski merni sistemi u energetici", uvodno predavanje po pozivu, *Zbornik XLVII Konferencije ETRAN-a*, vol. 3, pp. 363-368, Herceg Novi, 2003. (ISBN 86-80509-47-4)
11. Stevan Stanković, Marko Barjaktarović, "Procena temperature zlatne membrane pomocu infracrvene kamere Wöhler IK-21", *Zbornik XLVII Konferencije ETRAN-a*, vol. 3, pp. 383-386, Herceg Novi, 2003. (ISBN: 86-80509-47-4)

Na osnovu dosadašnjeg stručnog rada i publikovanih naučnih rezultata može se uočiti da je kandidat Marko Barjaktarović kvalifikovan za rad na izradi algoritma za detekciju ivica defekata na kartonu u procesu proizvodnje analizom slika kartona primenom *wavelet* transformacije i izradi doktorske disertacije na predloženu temu.

PREDMET I CILJ ISTRAŽIVANJA

U poslednjoj deceniji realizovan je veliki broj sistema za inspekciju proizvoda u toku procesa proizvodnje usled čega nivo kvaliteta isporučene robe neprekidno raste. Većina tih sistema zasnovana je na kompjuterskoj viziji (eng. *vision*), odnosno na rezultatu obrade slika proizvoda u realnom vremenu. Osim porasta nivoa kvaliteta isporučene robe, *vision* sistemi omogućavaju uštedu repromaterijala smanjenjem procenta neispravnih proizvoda, jer se pravovremeno mogu uočiti, a potom i otkloniti uzroci pojave defektnih proizvoda.

Vision sistemi se uveliko koriste pri inspekciji manjih proizvoda u strogo kontrolisanim uslovima. Međutim, za inspekciju proizvoda koji se realizuju u obliku beskonačnih traka, kao što su karton, papir, razne folije, čelični i aluminijumski limovi, njihova upotreba još uvek nije postala standardna. Najveći problem predstavlja visoka cena *vision* sistema koji se koriste za inspekciju većih ravnih površina usled nepovoljnih uslova akvizicije, kao i potreba da se algoritam prilagođava svakom instaliranom *vision* sistemu. Pored toga, neophodno je obezbediti i obradu slika velikih dimenzija (par MB) u realnom vremenu, što zahteva da algoritam za detekciju defekata istovremeno

mora biti jednostavan radi brzog izvršavanja, a dovoljno pouzdan kako bi se sprečilo propuštanje većeg procenta defekata.

Osnovni korak pri detekciji defekata u slikama ravnih površina predstavlja izdvajanje dela slike koji odgovara defektu iz uniformne oblasti, odnosno segmentacija slike. U tu svrhu neophodno je pronaći ivice (konture) objekta u slici. Klasični algoritmi za detekciju ivica daju dobre rezultate pri većim odnosima signal/šum. Međutim, pri nepovoljnim uslovima akvizicije kao što su kratko vreme ekspozicije, visoka ambijentalna temperatura kamere, nemogućnost potpune kontrole osvetljenja i drugo, značajno se degradira odnos signal/šum što nepovoljno utiče na rad celog *vision* sistema. Zbog svojih odličnih performansi, najčešće savremene metode za smanjenje prisustva šuma u slici zasnovane su na *wavelet* transformaciji, a činjenica da se pomoću *wavelet* transformacije mogu lokalizovati diskontinuiteti u signalu (ivice) daje mogućnost primeni *wavelet* transformacije u detekciji ivica objekta.

Sistemi koji se u ovom trenutku koriste za kontrolu procesa proizvodnje kartona, značajno su smanjili udeo neispravnih proizvoda i samim tim broj reklamacija. Međutim, klasifikacija defekata koju oni vrše nije dovoljna za praćenje uslova proizvodnje pre pojave određenog tipa defekta. Trenutna klasifikacija je zasnovana na aproksimativnom određivanju oblika i površine defekta. Postojanje veze između pojave posmatranog tipa defekta i vrednosti parametara procesa proizvodnje neposredno pre pojave tog tipa defekta dodatno bi redukovala procenat neispravnih proizvoda. Takođe, detaljnija klasifikacija bi omogućila i sortiranje defektnog kartona u odgovarajuće klase kvaliteta, što bi dozvolilo da se i proizvodi sa izvesnim tipom defekta isporuče kupcu, u zavisnosti od kvaliteta kartona koji on zahteva.

Realizacija naprednijeg algoritma za detekciju ivica defekata na kartonu omogućila bi klasifikaciju defekata ne samo na osnovu najjednostavnijih geometrijskih karakteristika aproksimativnog oblika defekta, već i na osnovu drugih osobina defekta kao što su kontrast, homogenost, tekstura itd, usled mogućnosti da se što tačnije izdvoji defekt od pozadine slike.

Karakteristike kartona odgovaraju osobinama drugih materijala koji se proizvode u sličnom obliku, kao što su papir, razne folije, čelični i aluminijumski limovi, što omogućava da se slični *vision* sistemi upotrebe u inspekciji proizvodnje ovih materijala, a bili bi zasnovani na realizovanom algoritmu za detekciju ivica.

Osvrt na relevantne bibliografske izvore

Proizvodnja kartona predstavlja kompleksan proces koji zahteva neprekidnu kontrolu kvaliteta, što je i prepoznato u [1]-[4], posebno što proces proizvodnje sadrži veliki broj tačaka u kojima mogu nastati defekti različitih geometrijskih oblika i površinskih karakteristika. Uobičajeno je da se defekti klasifikuju samo na osnovu najjednostavnijih geometrijskih osobina. Najveći broj sistema zasnovan je na upotrebi crno-belih kamera. Međutim, unapređenjem postojećih sistema razvojem novih algoritama za obradu slika, moguće je značajno unaprediti klasifikaciju defekata, uzimajući u obzir i druge karakteristike defekata pored najjednostavnijih geometrijskih osobina [3]. Dodatne karakteristike obezbedile bi informacije o potencijalnim problemima u proizvodnom procesu, kako bi se pravovremeno reagovalo i značajno redukovala količina neispravnih proizvoda.

Postojeći *vision* sistemi za kontrolu kvaliteta kartona u toku procesa proizvodnje zasnovani su na klasičnom detektoru ivica, *Sobel*-ovom operatoru [5]. Nažalost, klasični detektori ivica su veoma

osetljivi na šum u signalu i kao rezultat javlja se lažna detekcija ivičnih piksela usled izražene lokalne varijacije signala zbog prisustva šuma [6]. Za precizniju klasifikaciju defekata neophodno je što tačnije odrediti sam oblik defekta [7]. Takođe, za optimalnu obradu slika i detekciju ivica neophodno je koristiti reprezentaciju slika na različitim skalama, odnosno rezolucijama [8]. Naime, dimenzija objekta određuje skalu na kojoj će se on biti najuočljiviji [9], odnosno potrebno je izvršiti dekompoziciju slike na različitim rezolucijama, što predstavlja osnov *wavelet* transformacije [10]. Najčešće primene *wavelet* transformacije u oblasti obrade slika su kompresija i uklanjanje šuma, zbog činjenice da se signal može predstaviti malim brojem *wavelet* koeficijenata [9]-[11]. *Wavelet* transformacijom moguće je identifikovati i nagle promene u signalu, što omogućava njenu primenu u detekciji ivica objekata [12].

Detekcija ivica objekata primenom *wavelet* transformacije najčešće je zasnovana na posebnom obliku *wavelet* transformacije poznatom kao "*algorithmes a trous*" [13]. Ovaj oblik transformacije sreće se i pod drugim nazivima: redudantna, stacionarna, bez decimacije [12]. Za razliku od brze *wavelet* transformacije, kod redudantne *wavelet* transformacije isključena je decimacija signala nakon filtriranja. Decimacija dovodi to translacije signala nakon transformacije što je nepoželjno pri detekciji ivica [14], [15]. Rezultat primene redudantne *wavelet* transformacije na standardne modele ivica analiziran je u [6]. U [15] predstavljen je algoritam za uklanjanje šuma u medicinskim slikama koji koristi činjenicu da postoji korelacija između koeficijenata *wavelet* transformacije koje potiču od signala, dok se ta korelacija ne ispoljava za koeficijente koji su rezultat šuma. Pokazano je da je predložena metoda filtriranja efikasnija i brža u implementaciji od *Wiener*-vog filtra. Jednostavniji algoritam, koji koristi pomenutu korelaciju između *wavelet* koeficijenata na različitim skalama, iskorišćen je za realizaciju detektora ivica, prikazanog u referenci [16]. Takođe, pokazano je da izbor skala *wavelet* transformacije koji se koriste u algoritmu zavise od sadržaja slika, a algoritam je testiran samo na nekoliko uobičajenih svakodnevnih slika, pri čemu i izbor *wavelet* filtra utiče na performanse detektora ivica [14].

Pri realizaciji detektora ivica potrebno je uporediti njegove performanse sa drugim detektorima. U literaturi je predloženo nekoliko metodologija. Najjednostavnije poređenje prikazano je u referenci [17] i zasnovano je na jednostavnom skupu slika. Poređenje detektora bazirano na skupu slika automobila sličnog oblika karoserije prikazano je u [18], međutim u tom slučaju se koristi samo jedan tip slika. U referenci [19] pokazano je da je detekcija ivica problem koji zavisi od oblika signala i da performanse detektora zavise od ciljnog tipa slika u kojima je i potrebno izvršiti detekciju. Metodologija zasnovana na ROC (*receiver operating characteristic*) krivi [20] predstavlja najcitiraniju metodu poređenja ivica. Performanse detektora zavise od izbora parametara koji detektor koristi pri izvršavanju [19], pa metodologija prikazana u [20] prvo vrši treniranje detektora ivica (kako bi se isključio uticaj korisnika), a potom i njihovo poređenje na osnovu skupa slika (slike različitih objekata iz svakodnevnog života) i odgovarajućih mapa ivica.

- [1] S.H. Hajimowlana, R. Muscedere, G.A. Jullien, and J. W. Roberts, "An In-Camera Data Stream Processing System for Defect Detection in Web Inspection Tasks", *Real-Time Imaging*, vol. 5, no. 1, pp. 23-34, February 1999.
- [2] RKB Optoelectronics and the Institute of Paper Science and Technology, "Comparative Evaluation Study of On-Line Camera-Based Web Inspection Systems", a report, February 2002.
- [3] J. Livarinen, J. Pakkanen and J. Rauhamäki, "A SOM-based system for web surface inspection", *Proc. SPIE*, vol. 5303, pp. 178-187, *Conf. Machine Vision Applications in Industrial Inspection XII*, San Jose CA, USA, January 2004.

- [4] R. Stojanovic, P. Mitropulos, C. Koulamas, Y. Karayiannis, S. Koubias and G. Papadopoulos, "Real-Time Vision-Based System for Textile Fabric Inspection", *Real-Time Imaging*, vol. 7, no. 6, pp. 507-518, February 2001.
- [5] M. Barjaktarovic, J. Radunovic and S. Petricevic, "High Performance Coated Board Inspection System Based on Commercial Components", *Journal of Instrumentation*, vol. 2, June 2007, T07001.
- [6] Y.Y. Tang, L.H. Yang, J. Lui and H. Ma, "Wavelet Theory and its Application to Pattern Recognition", *World Scientific Publishing Company*, 2000.
- [7] I. Kunttu, L. and Lepistö, "Shape-based retrieval of industrial surface defects using angular radius Fourier descriptor", *IET Image Proc.*, vol. 1, no. 2, pp 231-236, June 2007.
- [8] B. Jähne, "Digital Image Processing", 5th, *Springer*, 2002.
- [9] R. C. Gonzales and R. E. Woods, "Digital Image Processing", 3rd, *Pearson Prentice Hall*, 2008.
- [10] J. S. Walker, "A Primer on Wavelets and Their Scientific Applications", 2nd, *Taylor & Francis Group*, 2008.
- [11] J. C. Russ, "The Image Processing Handbook", 5th, *CRC Press*, 2007.
- [12] P.S. Addison, "The Illustrated Wavelet Transform Handbook", *IOP Publishing Ltd*, 2002.
- [13] S. Mallat, "A Wavelet Tour of Signal Processing", 3rd, *Academic Press*, 1999.
- [14] X. Yang, G. Pang and N. Yung, "Robust fabric defect detection and classification using multiple adaptive wavelets", *IEE Proc. - Vision, Image & Signal Processing*, vol. 152, no. 6, pp. 715-723, December 2005.
- [15] Y. Xu, J.B. Weaver, D.M. Healy and J. Lu, "Wavelet transform domain filters: a spatially selective noise filtration technique", *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 3, no. 6, pp. 747-758, November 1994.
- [16] L. Zhang and P. Bao, "Edge detection by scale multiplication in wavelet domain", *Pattern Recognition Letters*, vol. 23, no. 14, pp. 1771-1784, December 2002.
- [17] W.K. Pratt, "Digital Image Processing: PIKS Scientific inside", 4th, *A John Wiley & Sons, Inc. Publication*, 2007.
- [18] M.C. Shin, D.B. Goldgof and K.W. Bowyer, "Comparison of Edge Detector Performance through Use in an Object Recognition Task", *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 84, no. 1, pp. 160-178, October 2001.
- [19] M. Heath, S. Sarkar, T. Sanocki and K.W. Bowyer, "Comparison of Edge Detectors – A Methodology and Initial Study", *Computer Vision and Image Understanding*, vol 69, no. 1, pp. 38-54, January 1998.
- [20] K.W. Bowyer, C. Kranenburg and S. Dougherty, "Edge Detector Evaluation Using Empirical ROC curves", *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 84, no. 1, pp. 77-103, October 2001.

POLAZNE HIPOTEZE

U radu se polazi od hipoteze da je za potpunu i ispravnu detekciju ivica objekata u slikama potrebno analizirati sliku na različitim rezolucijama. Naime, za detekciju ivica defekata u slikama kartona u prisustvu šuma nije moguće koristiti klasične detektore ivice objekata, zbog njihove loše selektivnosti signala usled uticaja šuma. Analiza slika pomoću *wavelet* transformacije omogućava reprezentaciju slika na različitim skalama (rezolucijama), dok odlična lokalizacija diskontinuiteta u signalu predstavlja polazni osnov za detekciju ivica objekata.

Druga hipoteza je da se diskontinuiteti u signalu koji predstavljaju ivice mogu razlikovati od singulariteta koji potiču od šuma, jer postoji korelacija između koeficijenata *wavelet* transformacije koji potiču od signala na različitim skalama transformacije. Sa druge strane koeficijenti koji potiču od šuma ne ispoljavaju sličnu korelaciju. Na osnovu tih osobina *wavelet* transformacije, cilj je realizovati algoritam za detekciju ivica defekata u slikama kartona i pokazati njegovu superiornost u odnosu na klasične detektore ivica kada se primene na skup slika kartona.

NAUČNE METODE ISTRAŽIVANJA

Metodologija istraživanja u okviru predložene doktorske disertacije sastojće se u sledećem:

- analiza nedostataka standardnih detektora ivica kada se primene na slike kartona,
- analiza mogućnosti primene *wavelet* transformacije u cilju detekcije ivica objekata u slici uz prisustvo šuma,
- razvoj algoritma za detekciju ivica defekata u slikama kartona,
- pregled metodologija za poređenje detektora ivica i izbor adekvatne,
- izbor skupa slika kartona sa defektima i realizacija mapa ivica kako bi se obezbedio skup podataka za poređenje predloženog detektora na bazi *wavelet* transformacije i klasičnih detektora ivica,
- eksperimentalna provera performansi predloženog detektora ivica u odnosu na klasične detektore ivica.

Osnovne karakteristike predloženog rešenja detekcije ivica defekata u slikama kartona:

- detektor je baziran na rezultatima redundantne *wavelet* transformacije slika kartona,
- ispituje se korelacija između prostorno povezanih koeficijenata *wavelet* transformacije na različitim skalama,
- ukoliko korelacija postoji, proverava se da li je ispitivani piksel ivični kako bi se ili zadržao ili odbacio.

OČEKIVANI NAUČNI DOPRINOS

Cilj istraživanja ove disertacije je razvoj algoritma za detekciju ivica defekata u procesu proizvodnje kartona, analizom slika kartona zasnovanog na *wavelet* transformaciji. Algoritam se može primeniti i za inspekciju proizvodnje drugih proizvoda sličnih karakteristika.

Detekcija ivica objekata u slikama sa značajnim prisustvom šuma bazirana na *wavelet* transformaciji koristi vezu između koeficijenata *wavelet* transformacije na različitim skalama koji odgovaraju ivicama objekta i koja se ogleda u visokom stepenu korelacije. Sa druge strane, korelacija se ne ispoljava između koeficijenata koji potiču od šuma. Istraživanje će ispitati primenu sličnog

principa u cilju detekcije ivica defekata u slikama kartona, uz potrebne modifikacije koje su specifične slikama kartona. Postojeći algoritam za detekciju ivica baziran na *wavelet* transformaciji će biti modifikovan i prilagođen slikama defekata na kartonu. Takođe, predloženi algoritam za detekciju ivica defekata na kartonu je potrebno uporediti sa standardnim detektorima ivica koji se najčešće sreću u literaturi. Istraživanje će u tu svrhu koristiti metodologiju za poređenje detektora ivica zasnovanu na ROC krivi. Postojeća metodologija će biti dopunjena slikama defekata na kartonu i njihovim mapama ivica, zbog činjenice da je predloženi algoritam za detekciju ivica objekata namenjen slikama defekata na kartonu, pa je od najvećeg interesa i poređenje nad ciljnim skupom slika.

Naučni doprinosi obuhvataju istraživanja koja će omogućiti realizaciju detektora ivica defekata u slikama kartona i poređenje tog detektora sa standardnim detektorima ivica objekata pomoću postojeće metodologije, unapređene novim skupom ciljnih slika defekata na kartonu i odgovarajućim mapama ivica.

PLAN ISTRAŽIVANJA I STRUKTURA RADA

Plan istraživanja obuhvatiće analizu problema detekcije ivica defekata u slikama kartona. Istraživanje obuhvata pregled standardnih metoda za detekciju ivica objekata i ukazivanje na njihove nedostatke u primeni na slike kartona i nemogućnosti adekvatne detekcije ivica defekata. Rezultati ovog istraživanja predstaviće potvrdu za neophodnost korišćenja nestandardnih detektora ivica.

U drugom delu istraživanja, ispitivaće se mogućnost primene novijeg alata, *wavelet* transformacije, u cilju detekcije ivica objekata u slici u prisustvu šuma. *Wavelet* transformacija omogućava analizu slika na različitim skalama, odnosno na različitim rezolucijama, slično načinu na koji funkcioniše ljudski vid, prilagođavajući se dimenzijama objekata u sceni. Analiziraće se rezultati primene *wavelet* transformacije na osnovne modele ivica u signalu. Izvršiće se i izbor najpogodnije *wavelet* funkcije za detekciju ivica na osnovu modela ivica. Analiziraće se veza između koeficijenata *wavelet* transformacije na različitim skalama koji odgovaraju ivicama objekata u slici i između koeficijenata koji odgovaraju šumu. Naime, ivice objekata u slici predstavljaju diskontinuitet signala i postoji visok stepen korelacije između odgovarajućih koeficijenata *wavelet* transformacije posmatrane slike na različitim skalama. Sa druge strane, šum predstavlja slučajan signal, pa se pomenuta veza između odgovarajućih koeficijenata transformacije na različitim skalama ne ispoljava. Na osnovu ovih osobina biće predstavljen detektor ivica koji koristi pomenutu korelaciju.

U trećem delu istraživanja biće izvršeno poređenje detektora ivica. Potrebno je dati pregled postojećih metodologija poređenja detektora ivica. Izabrana je metodologija sa najvećom citiranošću, zasnovana na ROC (*receiver operating characteristic*) krivi i pomoću nje će biti utvrđeno da li predloženi algoritam za detekciju ivica defekata na kartonu pokazuje bolje performanse u odnosu na standardne algoritme za detekciju ivica objekata u slici. Zbog činjenice da se opisani algoritam za detekciju ivica primenjuje na slike kartona, baza slika koju koristi izabrana metoda za poređenje detektora ivica biće proširena dodatnim skupom slika kartona sa defektima i odgovarajućim mapama ivica. Zatim će biti izvršeno poređenje na osnovu skupa svakodnevnih, uobičajenih slika i slika defekata na kartonu. Poređenje će biti izvršeno sa standardnim detektorima ivica koji se najčešće sreću u literaturi (*Sobel*, *Marr-Hildreth*, *Canny* – referentni detektor ivica u svakom poređenju detektora ivica) kao i nešto novijim detektorom ivica (*SUSAN* – *Smallest Univalve Segment Assimilating Nucleus*) koji je izabran zbog male brzine izvršavanja i dobrih performansi. Na osnovu rezultata testiranja utvrdiće se odnos performansi detektora ivica zasnovanog na *wavelet*

transformaciji sa pomenutim standardnim detektorima ivica, pri čemu su od najvećeg značaja rezultati dobijeni pri testiranju sa slikama defekata na kartonu. Poređenje će biti izvršeno simulacijom u programskom jeziku MATLAB, razvojem odgovarajućeg alata.

ZAKLJUČAK I PREDLOG

Na osnovu izloženog, Komisija konstatuje da kandidat mr Marko Barjaktarović ispunjava sve formalne i suštinske uslove za pristupanje izradi doktorske disertacije, kao i da je predložena tema "Metod za detekciju ivica defekata u procesu proizvodnje kartona primenom *wavelet* transformacije" naučno aktuelna u domenu optoelektronskih mernih sistema i digitalne obrade signala. Zato Komisija predlaže Naučno-nastavnom veću Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu da kandidatu mr Marku Barjaktaroviću odobri izradu doktorske disertacije pod gore navedenim naslovom.

U Beogradu, 30.11.2010. godine

Komisija:

Dr. Jovan Radunović, redovni profesor

Dr. Predrag Osmokrović, redovni profesor

Dr. Branimir Reljin, redovni profesor

Dr. Miodrag Popović, redovni profesor