

Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu

Predmet: Izveštaj Komisije o urađenoj doktorskoj disertaciji mr Marka Barjaktarovića

Na 752. Sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu održanoj 04.09.2012. godine, određeni smo za članove *Komisije za pregled i ocenu doktorske disertacije* mr Marka Barjaktarovića pod naslovom “*Metod za detekciju ivica defekata u procesu proizvodnje kartona primenom wavelet transformacije*”. Mentor doktorske disertacije je dr Jovan Radunović, redovni profesor Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu. Nakon pregleda dostavljenog materijala podnosimo Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu sledeći

IZVEŠTAJ

1. UVOD

1.1. Naslov i obim disertacije

Naslov doktorske disertacije je “*Metod za detekciju ivica defekata u procesu proizvodnje kartona primenom wavelet transformacije*”. Disertacije je napisana na 157 strana, sadrži 6 poglavlja sa 85 slika i 9 tabela i spisak korišćenje literature (108 bibliografskih referenci).

1.2. Hronologija odobravanja i izrade disertacije

Kandidat je temu pod naslovom “*Metod za detekciju ivica defekata u procesu proizvodnje kartona primenom wavelet transformacije*” prijavio 12.10.2010. Nastavno-naučno veće Elektrotehničkog fakulteta u Beograd je 02.11.2010. godine imenovalo Komisiju za ocenu uslova i prihvatanje teme doktorske disertacije u sastavu: prof. dr Jovan Radunović, prof. dr Predrag Osmokrović, prof. dr Branimir Reljin i prof. dr Miodrag Popović. Izveštaj Komisije je usvojen na Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu 21.12.2010. godine, a Veće oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu dalo je na to saglasnost 07.03.2011. godine

Kandidat je urađenu disertaciju podneo na pregled i ocenu 27.08.2012. godine, a Nastavno-naučno veće Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu je 04.09.2012. godine imenovalo komisije za pregled i ocenu doktorske disertacije u sastavu: prof. dr Jovan Radunović, prof. dr Predrag Osmokrović, vanr. prof. dr Desanka Radunović, prof. dr Miodrag Popović, vanr. prof. dr Irini Reljin i doc. dr Milan Bebić.

1.3. Mesto disertacije u odgovarajućoj naučnoj oblasti

Disertacija pripada naučnoj oblasti optoelektronika, a u užem domenu naučno je aktuelna u oblasti optoelektronski sistemi.

1.4. Biografski podaci o kandidatu

Marko Barjaktarović je rođen 16. maja 1978. godine u Beogradu. Osnovnu školu i gimnaziju je završio je 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: prof. Dr Jovan Radunović). Unapređen u zvanje asistenta u maju 2007. godine.

U toku rada na Elektrotehničkom fakultetu bio je angažovan na predmetima Fizika 1, Fizika 2, SI Fizika, Praktikum iz softverskog paketa LabVIEW, Fizičko tehnička merenja, Optoelektronika, Optičke mreže, Optoelektronski laserski i merni sistemi i Pouzdanost sistema.

Tokom svoje dosadašnje karijere Marko Barjaktarović je bio autor ili koautor četiri rada u međunarodnim časopisima (sa *impact* faktorom) i to jedan rad u kategoriji M21 (IF: 3.148) i 3 rada u kategoriji M23 (IF: 0.821, 0.588 i 0.321). Takođe autor je ili koautor jednog rad u domaćem časopisu, 2 rada na međunarodnim konferencijama i 9 radova na domaćim konferencijama. Većina radova je usko poveza sa temom doktorske disertacije.

2. OPIS DISERTACIJE

2.1. Struktura i sadržaj disertacije

Disertacija sadrži naslovnu stranu i kratak rezime rada na srpskom i engleskom jeziku, sadržaj, 6 poglavlja, spisak korišćene literature i kratku biografiju autora. Poglavlja su naslovljena: 1. Uvod, 2. Postojeći *vision* sistemi, 3. Detekcija ivica, 4. Metod detekcije ivica defekata na kartonu primenom Wavelet transformacije, 5. Poređenje predloženog algoritma za detekciji ivica defekata na kartonu sa standardnim detektorima ivica i 6. Zaključak.

2.2. Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

U okviru uvoda istaknut je značaj upotrebe *vision* sistema (sistema koji koriste kompjutersku viziju - eng. *vision*) u kontroli kvaliteta proizvodnje i odbacivanju defektnih artikala, a posebno je naglašen značaj automatske inspekcije u proizvodnji kartona. Obrazložen je očekivan doprinos unapređenja postojećeg optoelektronskog sistema koji je realizovan za potrebe fabrike kartona naslovom "Umka". Predstavljene su osnovne prednosti

realizacije novog detektora ivica defekata na kartonu, a koju ova disertacija razmatra. Istaknuta je mogućnost primene algoritma i *vision* sistema za inspekciju drugih pločastih proizvoda. Ukratko su izložene najvažnije prednosti *wavelet* transformacije i mogućnost njene primene u detekciji ivica. Navedena je potreba objektivnog poređenja predloženog algoritma detekcije ivica sa najčešće korišćenim klasičnim detektorima ivica, kao i detektorima zasnovanim na *wavelet* transformaciji.

Drugo poglavlje opisuje postojeći optoelektronski sisteme za inspekciju kartona u toku njegove proizvodnje kao i slične sisteme namenjene izbacivanju defektnih tabaka sa linija za sečenje i pakovanje kartona. Ukratko je predstavljen proces proizvodnje kartona i lokacije ugradnje postojećih *vision* sistema. Prikazane su osnovne komponente sistema, kao i potrebne modifikacije izvršene u cilju realizacije adekvatnog akvizicionog sistema.

Treće poglavlje razmatra problem detekcije ivica objekata u slikama. Opisan je postupak detekcije ivica baziran na diferenciranju. Predstavljeni su klasični detektori ivica, a detaljno su opisana dva najznačajniji detektori ivica *Marr-Hildreth* i *Canny*. Oba detektora su imala veliki uticaj na dalji razvoj detektora ivica i najvećem broju slučajeva njihove ideje služe kao osnov u razvoju novih detektora ivica. Posebno mesto u oblasti detekcije ivica zauzima *Canny* detektor ivica, jer predstavlja referentnu metodu i industrijski standard. Pored metoda baziranih na diferenciranju i upotrebi Gausovog filtra, prikazane su multirezolucijske i nelinearne metode zasnovane na upotrebi Gausovog filtra. Iscrpno su razmatrani detektori ivica bazirani na *wavelet* transformaciji i prikazan je veliki broj ideja. Opisane su i savremeni algoritmi zasnovani na transformacijama nastalim na osnovu *wavelet* transformacije: *ridgelet*, *curvelet*, *shearlet* i druge. Detaljno je opisan algoritam baziran na množenju koeficijenata *wavelet* transformacije, koji je poslužio kao osnov za realizaciju metode opisane u ovoj disertaciji. Pored prikaza postojećih detektora ivica razmatrane su i metode kojima su njihovi autori izvršili poređenje sa klasičnim detektorima ivica. Ustanovljeno je većina autora vrši subjektivnu komparaciju na osnovu jedne ili svega par slika, a u veoma retkim slučajevima autori su prikazali i objektivno poređenje zasnovano na jednoj sintetičkoj slici. Međutim, postoji ubeđenje da se tako dobijeni rezultati ne mogu generalizovati na realne slike, jer ivice u realnim slikama potpuno drugačije strukture od ivica prisutnih u sintetičkim slikama. Ilustrovani su nedostaci klasičnih detektora ivica kada se primene na slike defekata, jer je za detekciju svih oblika ivica defekata na kartonu potrebno koristiti veći skup parametara detektora.

U četvrtom poglavlju uklatko su predstavljene najznačajnije karakteristike *wavelet* transformacije i data je teorijska osnova detekcije singulariteta u signalu primenom *wavelet* transformacije. Realizovan je jedinstven model ivice defekata na kartonu. Upotrebom ovog modela ustanovljeno je da je pri množenju koeficijenata *wavelet* transformacije potrebno koristi tri, a ne kako je originalno predloženo dve sukcesivne skale. Upotrebom tri skale značajno se smanjuje uticaj šuma. Takođe, na osnovu predloženog modela zaključeno je da se pravac gradijenta, neophodan u koraku potiskivanja nemaksimuma, tačnije određuje na osnovu vrednosti koeficijenta sa najmanje skale *wavelet* transformacije koja učestvuje u proizvode, a ne na osnovu samog proizvoda, kako je originalno predloženo. Dodatno, pokazano je da se predloženi algoritam može primeniti na proizvoljan skup slika, pri čemu se

na osnovu karakteristika slika može utvrditi početna skala za formiranje proizvoda koeficijentata *wavelet* transformacije.

Peto poglavlje razmatra problem poređenja detektora ivica. Analizirane su dostupne metode komparacije detektora. Ustanovljeno je da iako postoji ogroman broj detektora ivica, za veoma mali broj je izvršena ocena performansi. Takođe, nema ni opšte prihvaćene metode poređenja detektora ivica. Ipak, na osnovu obavljene analize, zaključeno je da se mora primeniti objektivna metoda zasnovana na korišćenju istinite mape ivica. Kao potpuno kompletna metodologija, sa jasnom metrikom, izabran je postupak evaluacije detektora pomoću ROC (eng. *Receiver Operation Characteristic*) krive. Osim što predstavlja jednu od najcitiranijih metodologija, rezultati se dobijaju direktno na osnovu mape ivica koja je rezultat primene detektora, a ne kao izlaz iz kompleksnog algoritma obrade slika. Iako su istinite mape ivica dobijene ručno, rezultati poređenja ne zavise od samih mapa ivica, što ne mora biti slučaj sa mapama ivica dobijenim automatizovanim postupkom, jer izbor detektora može uticati na rezultat. Kako je predloženi detektor namenjen slikama defekata na kartonu, da bi se ostvarilo adekvatno poređenje, realizovana je baza od 50 slika defekata na kartonu sa odgovarajućim istinitim mapama ivica. Osim komparacije dobijene na osnovu slika defekata na kartonu, poređenje detektora je izvršeno i na osnovu postojeće baze svakodnevnih slika i slika iz vazduha (slike iz ptičije perspektivne snimljene iz letelice), kao i odgovarajućih mapa ivica. Za poređenje su izabrani klasični i najčešće korišćeni detektori ivica: *Sobel*, *Canny* i *Marr-Hildreth*, zatim dva detektora bazirana na *wavelet* transformaciji i noviji, često korišćen detektor ivica – SUSAN (eng. *Smallest Univaluse Segment Assimilating Nucleus*) detektor. Da bi se poređenje detektora ivica izvršilo u razumnom vremenskom roku, realizovana je biblioteka funkcija koje se mogu pozivati iz programskog paketa *MATLAB*. Poređenje detektora pokazalo je da je predložena metoda detekcije ivica na kartonu superiornija u odnosu na navedene detektore ivica. Predloženi detektor daje nešto bolje rezultate i pri poređenju pomoću skupa svakodnevnih slika, kao i skupom slika iz vazduha. Metoda komparacije detektora ivica je proširena sa još dva poređenja. Dodat je šum svakodnevnim slikama kao i slikama iz vazduha i ustanovljeno je da predložena metoda ispoljava evidentno bolje rezultate kod slika sa prisutnim šumom, pri čemu razlika u performansama između predloženog i prvog sledećeg detektora raste kako opada odnos signal-šum. To jasno pokazuje da predložena metoda detekcije ivica odlično potiskuje uticaj šuma.

Šesto poglavlje je zaključak. Nabrojani su i jasno istaknuti rezultati i doprinosi disertacije dobije realizacijom detektora ivica defekata na slikama kartona primenom *wavelet* transformacije. Predočeno je da su performanse predloženog algoritma odlične što je potvrđeno poređenjem objektivnom metodologijom, dopunjenom skupom slika defekata na kartonu i odgovarajućim istinitim mapama ivica. Dodatno, naglašeno je da opisana metoda daje odlične rezultate i pri primeni na proizvoljan skup slika, posebno pri smanjenju odnosa signal-šum.

3. OCENA DISERTACIJE

3.1. Savremenost, originalnost i značaj

Doktorska disertacija pripada i danas atraktivnoj oblasti optoelektronskih sistema za inspekciju proizvoda u toku procesa proizvodnje baziranih na kompjuterskoj viziji (*vision* sistemi), odnosno na rezultatu obrade slika proizvoda u realnom vremenu. Sistemi za inspekciju proizvodnje neprekidno povećavaju kvaliteta isporučene robe i omogućavaju uštedu repromaterijala smanjenjem procenta neispravnih proizvoda, jer se pravovremeno mogu uočiti, a potom i otkloniti uzroci pojave defektnih proizvoda. Obe prednosti smanjuju troškove proizvodnje, a time povećavaju konkurentnost proizvođača, koja danas predstavlja osnovu opstanka na globalnom tržištu.

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.

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. 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. 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.

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. Teme doktorske disertacije “*Metod za detekciju ivica defekata u procesu proizvodnje kartona primenom wavelet transformacije*” upravo razmatra mogućnost primene *wavelet* transformacije i u oblasti detekcije ivica što odgovara navedenim savremenim potrebama i zahtevima.

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. Navedeno povećava značaj istraživanja doktorske disertacije proširujući primenu rezultata disertacije u mnogim industrijskim aplikacijama.

U okviru disertacije dat je sumiran i sistematizovan pregled rezultata dosadašnjih istraživanja, koji je neophodna za sticanje punog uvida u trenutno stanje u oblasti detekcije ivica primenom *wavelet* transformacije i pravilno tumačenje rezultata budućih istraživanja. Kao takav, on predstavlja izrazito značajan i originalan doprinos disertacije.

U cilju poređenja performansi predložene metode detekcije ivica sa postojećim algoritmima, razmatran su dostupne metodologije, i izabrana je, po mišljenju ne samo kandidata, najkompletnija metodologija, sa jasnom metrikom, dopunjena skupom ciljnih slika defekata na kartonu i realizovana je biblioteka funkcija koje se mogu pozivati iz programskog paketa *MATLAB*, što predstavlja još jedan, važan i originalan doprinos.

3.2. Osvrt na referentu i korišćenu literaturu

U svojoj disertaciji, kandidat je detaljno pretražio postojeću literaturu i korektno naveo reference na radove koji su u vezi sa temom disertacije. Navedeno je 108 bibliografskih referenci. Literatura sadrži najnovije radove relevantne za problematiku, kao i radove čiji je autor ili koautor Marko Barjaktarović.

3.3. Analiza primenjenih naučnih metoda i njihova adekvatnost za sprovedeno istraživanje

Metodologija istraživanja u okviru doktorske disertacije pod naslovnom “*Metod za detekciju ivica defekata u procesu proizvodnje kartona primenom wavelet transformacije*” sastojala se u sledećem:

- detaljno je proučena literatura koja se razmatra postojeće detektore ivica bazirane na diferenciranju – predstavljeni su klasični detektori ivica, metode zasnovane na upotrebi Gausovog filtra sa multirezolucijskim primenama, osnovne nelinearne metode i veoma iscrpno su opisani postupci koji koriste *wavelet* transformaciju,
- rezultati objavljeni u dostupnoj literaturi su sumirani i sistematizovani,

- detaljno je analizirana literatura vezana za detekciju ivice primenom *wavelet* transformacije,
- razmatrane su i metode koje su autori koristili prilikom poređenje predloženog sa drugim detektorima ivica,
- analiziran nedostatak standardnih detektora ivica kada se primene na slike kartona,
- prikazane su osnovne karakteristike *wavelet* transformacije i data je teorijska osnova detekcije singulariteta u signalu upotrebom *wavelet* transformacije,
- realizovan je matematički model ivice defekata na kartonu,
- analizirana je mogućnost primene *wavelet* transformacije u cilju detekcije ivica defekata na kartona, odnosno objekata u slici uz prisustvo šuma,
- razvijen je algoritam za detekciju ivica defekata u slikama kartona značajnim unapređenjem postojećeg algoritma baziranog na množenju koeficijenata *wavelet* transformacije,
- ispitivana je mogućnost primene predloženog algoritma i na druge skupove slika,
- dat je pregled metodologija za poređenje detektora ivica i izvršen je izbor adekvatne,
- izabran je skup slika kartona sa defektima i realizovane su istinite mape ivica kako bi se obezbedio skup podataka za poređenje predloženog detektora na bazi *wavelet* transformacije i drugih detektora ivica,
- eksperimentalno su proverene performanse predloženog detektora ivica poređenjem sa drugim detektorima ivica ne samo testiranjem na skupu slika defekata na kartonu, već i sa drugim skupovima slikama bez i sa dodatim šumom,
- uočene su prednosti predloženog algoritma za detekciju ivica i izvedeni su zaključci korisni za njegovu primenu na različitim skupovima slika.

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. Na osnovu realizovanog matematičkog modela ivice defekata na kartonu ispitana je primenu navedenog 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 je modifikovan, značajno unapređen i prilagođen slikama defekata na kartonu. Dodatno, istražena je mogućnost njegove primene na proizvoljan skup slika i dobijeni su veoma ohrabrujući rezultati. Takođe, predloženi algoritam za detekciju ivica defekata na kartonu je upoređen je sa standardnim detektorima ivica. Postojeća metodologija je dopunjena slikama defekata na kartonu i njihovim istinitim 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. Poređenje detektora je izvršeno realizacijom biblioteke funkcija i upotrebom programskog paketa *MATLAB*.

3.4. Ocena primenljivosti i verifikacija ostvarenih rezultata

Model ivica defekata na kartonu korišćen je za realizaciju detektora ivica baziranog na *wavelet* transformaciji. Na osnovu modela, izvučeni su važni zaključci koji su iskorišćeni za modifikaciju postojećeg algoritma detekcije ivica i značajno unapređenje njegovi performansi. Dopunom postojeće metodologije poređenja ivica ciljnim skupom slika za koje je razvijen, verifikovani su prethodno izvedeni zaključci na osnovu razvijenog matematičkog modela. Unapređenjem postojeće metodologije poređenja detektora pokazano je da se ona može primeniti pri razvoju detektora ivica za specifični skup slika.

3.5. Ocena sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad

Kandidat je u svojoj disertaciji pokazao sistematičnost, sveobuhvatnost i zrelost. Posebno treba istaći da je naučna oblast optoelektronski sistemi, naročito tema optoelektronski sistema baziranih na kompjuterskoj viziji kojom se kandidat bavi veoma aktuelna, a da svi dobijeni rezultati značajno unapređuju postojeća rešenja, tako da su doprinosi disertacije u ovoj oblasti originalni i potvrđuju sposobnost kandidata za samostalni istraživački rad.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

U disertaciji pod naslovom “*Metod za detekciju ivica defekata u procesu proizvodnje kartona primenom wavelet transformacije*” ostvareni su sledeći naučni doprinosi:

- na osnovu opsežnog i detaljnog pregleda literature formiran je sveobuhvatni prikaz detektora ivica baziranih na diferenciranju slike,
- sumirani su i sistematizovani rezultati iz oblasti detektora ivica baziranih na *wavelet* transformaciji,
- formiran je i pregled metoda koje su autori koristili prilikom poređenje predloženog sa drugim detektorima ivica,
- prikazan je nedostatak standardnih detektora ivica kada se primene na slike kartona,
- predložen je matematički model ivice defekata na kartonu,
- pomoću matematičkog modela ivica defekata na kartonu analizirana je mogućnost primene *wavelet* transformacije i razvijen je algoritma za detekciju ivica defekata,
- analizom literature dobijen je pregled metodologija za poređenje detektora ivica i izabrana je najkompetentnija,
- formiran je skup slika kartona sa defektima i realizovane su istinite mape ivica kako bi se obezbedio skup podataka za poređenje predloženog detektora,
- eksperimentalno je verifikovano da je predloženi detektor ivica superiorniji u odnosu na klasične detektore, standardan detektor baziran na *wavelet* transformaciji, polazni detektor i jedan od novijih, često korišćenih detektora ivica,

- ispitivana je mogućnost primene predloženog algoritma i na druge skupove slika i pokazano je da se njegova primena može generalizovati.

4.2. Kritička analiza rezultata istraživanja

Sagledavanjem ciljeva istraživanja, postavljenih hipoteza i ostvarenih rezultata konstatujemo da je kandidat uspešno odgovorio na sva bitna pitanja i dileme koje suštinski proizilazi iz obrađivane problematike. Sveobuhvatan šematski prikaz detektora ivica u oblasti istraživanja, razvijen model ivica defekata, realizovan detektor ivica baziran na *wavelet* transformaciji, pregled i analiza metodologija poređenja detektora ivica, formiran skup slika defekata i odgovarajućih istinitih mapa ivica predstavljaju značajan naučni doprinos u oblasti optoelektronskih sistema baziranih na kompjuterskoj viziji.

4.3. Očekivana primena rezultata u praksi

Sveobuhvatni i sistematizovani pregled rezultata dosadašnjih istraživanja, koji je neophodan za sticanje punog uvida u trenutno stanje u oblasti detekcije ivica primenom *wavelet* transformacije, može biti korišćen za dalja istraživanja u ovoj oblasti. Kako svaki predloženi algoritam detekcije ivica zahteva njegovu verifikaciju u konkretnoj primeni analiza i prikaz postojećih metodologija poređenja detektora ivica omogućava pravilno tumačenje rezultata budućih istraživanja u oblasti detekcije ivica bez obzira na matematički alat koji detektor koristi. Predloženi algoritam detekcije ivica defekata na kartonu može na primenu ne zavisno od karakteristika slika, a kako mnogi materijali koji se proizvode u sličnom formatu kao i karton ispoljavaju slične osobine, industrijska primena rezultata disertacije je neiscrpna.

4.4. Verifikacija naučnih doprinosa

U toku svog istraživačkog rada, u užoj oblasti teme doktorske disertacije Marko Barjaktarović je objavio tri rada u međunarodnim časopisima sa SCI liste i to jedan rad u vrhunskom časopisu kategorije M21 i dva rada u časopisima kategorije M23. Takođe, temi doktorske disertacije pripadaju i jedan rad objavljen u domaćem časopisu, jedan rad predstavljen na međunarodnim konferencijama i 4 rada na domaćim konferencijama.

Radovi objavljeni u međunarodnim časopisima

[1] M. Barjaktarović, S. Petričević, J. Radunović, "High Performance Coated Board Inspection System Based on Commercial Components", *Journal of Instrumentation*, vol. 2 (2007). (ISSN: 1748-0221), [IF 0.821, M23]

[2] M. Barjaktarović, S. Petričević, "Wavelet based edge detection algorithm for web surface inspection of coated board web", *Journal of Instrumentation*, vol. 5, (2010). (ISSN: 1748-0221), [IF 3.148, M21]

[3] M. Barjaktarovic, S. Petricevic, J. Radunovic, "A timely detection of a coated board streak defect in subsampling conditions using monochrome vision system", *AEU* -

International Journal of Electronics and Communications, vol. 66, pp. 313–321 (2012). (ISSN: 1434-8411) [IF 0.588, M23]

Radovi objavljeni u domaćim časopisima

[4] M. Barjaktarović, “Performanse detektora ivica baziranog na množenju wavelet koeficijenata”, *Telekomunikacije*, broj 8, str. 54–62 (2011). (ISSN: 1820-7782)

Radovi predstavljeni na međunarodnim konferencijama

[5] N.Bebacev, M. Barjaktarovic, Desanka Radunović, “Detection of cardboard faults during the production proces”, *Recent Progress in Wavelet Analysis and Frame Theory*, Bremen, Germany, 2006.

Radovi objavljeni na domaćim konferencijama

[6] M. Barjaktarović, S. Petričević, B. Rašeta, J. Radunović, "Optoelektronski sistem za procenu kvaliteta kartona u toku proizvodnog procesa", *Zbornik radova 49. konferencije ETRAN-a*, tom 3, str. 473-476 (2005). (ISBN: 86-80509-55-8)

[7] M. Barjaktarović, S. Petričević, B. Rašeta, J. Radunović, M. Krgović, “Optoelektronski sistem za detekciju defekata na kartonu u toku proizvodnog procesa”, *Zbornik radova XII Međunarodnog simpozijuma iz oblasti celuloze, papira, ambalaže i grafike*, str. 96–101 (2006). (ISBN: 86-7401-231-0)

[8] M. Barjaktarović, S. Petričević, J. Radunović, “Algoritam za detekciju defekata na kartonu obradom slika kartona”, *Zbornik radova 51. konferencije ETRAN*, (2007). (ISBN: 978-86-80509-62-4)

[9] M. Barjaktarović, M. Tomić, S. Petričević, P. Mihailović, “Merenje horizontalnog i vertikalnog pošetaja vagona beskontaktnom optičkom metodom”, *Zbornik radova 56. konferencije ETRAN*, (2012). (ISBN: 978-86-80509-67-9)

5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

5.1. Kratak osvrt na disertaciju u celini

Disertacija kandidata Marka Barjaktarovića, pod naslovom “*Metod za detekciju ivica defekata u procesu proizvodnje kartona primenom wavelet transformacije*” predstavlja savremen, originala i značajan naučni doprinos. Sprovedena je detaljna analiza postojećih detektora ivica, posebno detektora baziranih na *wavelet* transformaciji. Polazeći od razvijenog modela ivica defekata na kartonu realizovan je detektor ivica baziran na *wavelet* transformaciji značajnim unapređenjem postojećeg algoritma, što je adekvatnom ocenom performansi i potvrđeno. Pokazano je da se predloženi metod može uspešno primeniti na proizvoljan skup slika. Dobijeni rezultati su verifikovani i objavljeni u više relevantnih časopisa sa SCI liste.

5.2. Predlog Komisije nastavno-naučnom veću

Na osnovu prethodnog, Komisija konstatuje da je Marko Barjaktarović ispunio sve uslove predviđene Zakonom o visokom obrazovanju, Statutom i Pravilnikom o doktorskim studijama Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, te, sa zadovoljstvom, predlaže Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta da ovaj izveštaj prihvati i, u skladu sa zakonskom procedurom, uputi Veću oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu na konačno usvajanje i davanje odobrenja kandidatu da pristupi usmenoj odbrani.

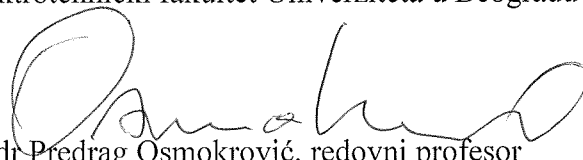
U Beogradu, 18.09.2012. godine

Članovi komisije:



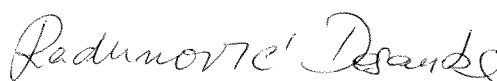
dr Jovan Radunović, redovni profesor

Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu



dr Predrag Osmokrović, redovni profesor

Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu



dr Desanka Radunović, vanredni profesor

Matematički fakultet Univerziteta u Beogradu



dr Miodrag Popović, redovni profesor

Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu



dr Irini Reljin, vanredni profesor

Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu



dr Milan Bebić, docent

Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu