

14<sup>th</sup> International Conference on  
Printing, Design and Graphic Communications

# BLAŽ BAROMIĆ 2010

14. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE  
TISKARSTVA, DIZAJNA I GRAFIČKIH KOMUNIKACIJA

## ZBORNİK RADOVA PROCEEDINGS

Senj, 6. - 9. listopad 2010., Hrvatska  
Senj, 6<sup>th</sup> - 9<sup>th</sup> October 2010, Croatia

14. međunarodno savjetovanje tiskarstva, dizajna i grafičkih komunikacija Blaž Baromić  
14<sup>th</sup> international conference on printing, design and graphic communications Blaž Baromić

IZDAVAČI / PUBLISHERS

Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet / University of Zagreb, Faculty of graphic arts

Ogranak Matice hrvatske Senj

Inštitut za celulozo in papir, Ljubljana, Slovenija / Pulp and paper institute, Ljubljana, Slovenia

Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Slovenija / University of Ljubljana, Faculty of natural sciences and engineering, Ljubljana, Slovenia

UREDNIK / EDITOR

v. pred. dr. sc. Miroslav Mikota

GRAFIČKI UREDNICI / GRAPHIC ART DIRECTORS

Kristijan Golubović, dipl. graf. ing; Ivana Pavlović, dipl. graf. ing.

DIZAJN KORICA / COVER DESIGN

Jelena Kajganović, Ivana Pavlović

CIP zapis dostupan u računalnom katalogu Nacionalne  
i sveučilišne knjižnice u Zagrebu pod brojem 744948

ISBN 978-953-7644-06-2

Niti jedan dio ovog Zbornika ne smije se umnožavati, fotokopirati, prenositi niti na bilo koji način reproducirati bez pismenog odobrenja izdavača.

14<sup>th</sup> International Conference on  
Printing, Design and Graphic Communications

# BLAŽ BAROMIĆ 2010

14. MEĐUNARODNO SAVJETOVANJE  
TISKARSTVA, DIZAJNA I GRAFIČKIH KOMUNIKACIJA

## ZBORNİK RADOVA PROCEEDINGS

UREDNIK / EDITOR: Miroslav Mikota

Senj, 6. - 9. listopad 2010., Hrvatska  
Senj, 6<sup>th</sup> - 9<sup>th</sup> October 2010, Croatia

#### ORGANIZATORI / ORGANIZERS

Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet  
University of Zagreb, Faculty of Graphic Arts, Croatia

Ogranak Matice hrvatske Senj, Hrvatska

Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Ljubljana, Slovenija  
University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Slovenia

Inštitut za celulozo in papir, Ljubljana, Slovenija  
Pulp and paper Institute, Ljubljana, Slovenia

#### SUORGANIZATOR / CO-ORGANIZER

University of Technology, Faculty of Chemistry, Brno, Czech Republic

#### ORGANIZACIJSKI ODBOR / ORGANIZING COMMITTEE

M. Mikota (predsjednik organizacijskog odbora / Head of Conference organization), M. Bilović, I. Bolanča-Mirković, K. Golubović, T. Goršić, D. Jakšić, R. Krajačić, M. Milković, N. Mrvac, R. Naprta, D. Nekić, Đ. Osterman Parac, I. Pavlović (tajnica / secretary), V. Rutar, V. Salamon, A. Tomaš, I. Zjakić

#### PROGRAMSKI I RECENZIJSKI ODBOR / PROGRAMME AND REVIEW COMMITTEE

W. Bauer (Aus), S. Bračko (Slo), M. Brozović (Cro), M. Cheppan (Sl), P. Dzik (Ch), N. Endlund (Swe), D. Gregor-Sveteč (Slo), J. Gyorkos (Slo), A. Hladnik (Slo), C. Horvath (Hu), M. Jurković (Cro), H. Kipphan (Ger), M. Mikota (Cro), M. Milković (Cro), N. Mrvac (Cro), A. Nazor (Cro), B. Neff Dostal (SAD), K. Možina (Slo), Z. Paszek (Pol.), Đ. Osterman Parac (Cro), M. Plenković (Cro), A. Politis (Gre), M. Vesely (Ch), G. Vlachos (Gre), E. Vljajki (Ca), W. Walat (Pol), M. Zlateva (Bug), I. Zjakić (Cro).

# Sadržaj / Contents

PRIMJENA BOJENE METRIKE U DIZAJNU APPLYING OF COLOUR METRIC IN DESIGN Đurđica Parac-Osterman	11
UTJECAJ BOJE TEKSTILNE PODLOGE KOD TISKA TEKSTILA CMY SUSTAVOM BOJA INFLUENCE OF PRINTING SUBSTRATE OF COLOURATION IN TEXTILE PRINTING WITH PROCESS COLOURS Martina Ira Glogar, Đurđica Parac-Osterman	20
OPTICAL DENSITIES VS. GAMUT VOLUMES FOR IMAGE LIGHTFASTNESS EVALUATION. AN EXPERIMENTAL STUDY. Michal Veselý, Petr Dzik, Silvia Káčerová	27
FINER PIGMENT FOR BETTER PRINT Rok Rutar, Vera Rutar, Klemen Možina	36
DETERMINATION OF WHITENESS INDEX OF WHITE BASE PRIMER WITH DIFFERENT MEASURING DEVICES IN CORRELATION WITH THE REPRODUCTION OF PROCESS COLOURS IN OFFSET PRINTING Sandra Dedijer, Igor Karlović, Dragoljub Novaković	46
FREE AND OPEN SOURCE SOFTWARE IN PREPRESS Ákos Borbély	55
UPOTREBA HP LATEX TEHNOLOGIJE U IZRADI SLUŽBENIH POMORSKIH KARATA USE OF HP LATEX PRINTING TECHNOLOGY IN OFFICIAL NAUTICAL CHARTS PRODUCTION Tonći Jeličić, Josip Kasum, Igor Zjakić	61
HARMONIJA IZMEĐU TIPOGRAFSKOG PISMA I MATEMATIČKIH KRIVULJA HARMONY BETWEEN TYPEFACE AND MATHEMATICAL CURVES Klementina Možina, Žiga Vukčević	71
HRVATSKI POLITIČKI PLAKAT: PREDSJEDNIČKI IZBORI 2009. I UTJECAJ PERSONALIZACIJE NA IDEJNA RJEŠENJA CROATIAN POLITICAL POSTERS: PRESIDENTIAL ELECTIONS 2009 AND INFLUENCE OF PERSONALIZATION TO CREATIVE SOLUTIONS Darijo Čerepinko, Maja Brozović	78
COMPARATIVE STUDY ON THE LIGHTFASTNESS OF TRADITIONAL AND MODERN INKJET PHOTOGRAPHIC OUTPUT MEDIA Petr Dzik, Michal Veselý, Eva Štěpánková	88
LOMOGRAFIJA LOMOGRAPHY Miroslav Mikota, Ivana Pavlović, Marina Paulenka	98
KOLORIMETRIJA U NOVINSKOM TISKU COLORIMETRY IN NEWSPAPER PRINTING Ivana Bak, Mario Barišić	107

READABILITY OF DIFFERENT UHF RFID TAGS Urška Bogataj, Tadeja Muck, Marijan Maček	115
OBJEKTIVNOST DOŽIVLJAJA REPRODUKCIJE AKROMATSKIH BOJA EXPERIENCE OBJECTIVITY OF REPRODUCTION WITH ACROMATIC COLOURS Siniša Bogdanović, Igor Zjakić, Irena Bates	123
ANALYSIS OF THE COLOUR PRINTS IN NEWSPAPERS Klemen Možina, Majda Koritnik, Sabina Bračko	133
THE EVALUATION OF PAPER AND BOARD PROPERTIES FOR PRINTING OF GRAPHIC PRODUCT Marjeta Černič	142
COMPARISON OF FLOP INDEX OF EFFECT PIGMENTS MEASURED AT VARIOUS ILLUMINATIONS Mirica Debeljak, Diana Gregor-Svetec	151
SVJETLOSTALNOST NOVINSKOG TISKA NAČINJENOG S MODERNIM REPROMATERIJALIMA THE LIGHT FASTNESS OF NEWSPAPER PRINTS ON MODERN USEABLES Eugen Dobrić, Dejan Kumpar, Kristijan Golubović, Igor Zjakić	158
ISTRAŽIVANJE KOROZIJE U SUSTAVIMA OFSETNOG TISKA INVESTIGATION OF CORROSION IN OFFSET PRINTING Krešimir Dragčević, Mladen Lovreček	166
REALIZACIJA KOLOR FOTOGRAFSKE ILUSTRACIJE SPOTNIM BOJAMA REALIZATION OF COLOR PHOTO ILLUSTRATION WITH SPOT COLORS Katarina Draženović Metelko, Iva Kristanić Budimlić	176
GOING GREEN: EFFECTIVE SOLUTIONS TO MITIGATE ENVIRONMENTAL IMPACTS IN TRADITIONAL PRINTING TECHNOLOGIES Csaba Horvath	184
EXPLORING THE EFFECTIVENESS OF A PUBLIC USER INTERFACE: THE CASE OF THE ATHENS TRAM TICKET ISSUING MASHINES Chrysoula Gatsou, Iliana Apostolidou, Anastasios Politis, Dimitrios Zevgolis	190
POKUSI S RAČUNALOM U NASTAVI FIZIKE NA GRAFIČKOM FAKULTETOM COMPUTER SUPPORTED EXPERIMENTS IN PHYSICS EDUCATION AT FACULTY OF GRAPHIC ARTS Katarina Itrić, Vesna Džimbeg-Malčić	203
PRIJEDLOG MODELA ODREĐIVANJA NAKLADE SLUŽBENIH POMORSKIH KARATA PROPOSING A MODEL FOR DETERMINING THE PRINT RUN OF OFFICIAL NAUTICAL CHARTS Tonći Jeličić, Josip Kasum, Kristina Vladislavić	211
PRIMJENA GUGGENHEIM–ANDERSON–DE BOER (GAB) MODELA U ANALIZI REOLOŠKIH SVOJSTAVA VALOVITOG KARTONA APPLICATIN OF GUGGENHEIM–ANDERSON–DE BOER (GAB) MODEL IN ANALYSIS OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF CORRUGATED CARDBOARD Denis Jurečić, Tigran Jokić, Petar Miljković, Jelena Kajganović	220

NOVI MEDIJI U MARKETINŠKOJ I TRŽIŠNOJ KOMUNIKACIJI NEW MEDIA IN THE MARKETING AND MARKET COMMUNICATION Igor Klopotan, Snježana Ivančić, Dean Valdec .....	229
EVALUACIJA PERCEPCIJE STIMULUSNOG KONTRASTA ZELENE BOJE ADITIVNE SINTEZE PRIMJENJENE NA EFEKTU KOFFKINOG PRSTENA EVALUATION OF STIMULUS CONTRAST PERCEPTION OF GREEN COLOR ADDITIVE SYNTHESIS APPLIED ON EFFECT KOFFKA RING Mile Matijević, Nikola Mrvac, Marin Milković, Ante Tomaš .....	237
USKLAĐENOST TISKANE KOMERCIJALNE KUTIJE S MJERILIMA ZA KORIŠTENJE ZNAKA „PRIJATELJ OKOLIŠA“ COMPATIBILITY OF PRINTING COMMERCIAL BOX FOR USING LOGO „ENVIRONMENTALLY FRIENDLY“ Goran Medek, Ivan Čuljak .....	243
UTJECAJ KONVERZIJE RGB DIGITALNOG ZAPISA U GRAYSCALE MOD NA TONOVE KOŽE CRNO-BIJELE PORTRETNE FOTOGRAFIJE EFFECT OF RGB DIGITAL RECORDS CONVERSION IN GRAYSCALE MODE ON THE SKIN TONES OF BLACK AND WHITE PORTRAIT PHOTOGRAPHS Miroslav Mikota, Ivana Pavlović .....	250
EFFECTS OF DISPLAY GAMMA AND THE VIEWING CONDITIONS ON THE APPEARANCE OF COLOURS VIEWED ON LCD MONITORS Neda Milić, Ivana Tomić, Dragoljub Novaković .....	259
DIZAJNIRANJE INFORMACIJSKOG SUSTAVA GRAFIČKE INDUSTRIJE U PROCESU NJENOG UMREŽENJA INFORMATION SYSTEM OF GRAPHIC ARTS INDUSTRY DESIGN IN PROCESS OF NETWORKING Petar Miljković, Vesna Kropar Vančina, Denis Jurečić .....	267
ANALYSIS OF COLOUR PRINTS IN NEWSPAPERS Klemen Možina, Majda Koritnik, Sabina Bračko .....	274
INK KEY PRESETTING BASED ON DIGITAL IMAGES OF THE PLATES – COST FREE SOLUTION FOR SMALL AND MEDIUM SIZED PRINT ENTERPRISES Jove Pargovski .....	283
MOGUĆNOST PRIMJENE VOLFRAMOVE I NITRAPHOT RASVJETE U SUSTAVU DIGITALNE PORTRETNE FOTOGRAFIJE POSSIBILITY OF APPLICATION TUNGSTEN AND NITRAPHOT LIGHTING IN DIGITAL PORTRAIT PHOTOGRAPHY SYSTEM Ivana Pavlović, Miroslav Mikota .....	292
ANALIZA METODIKE PREZENTACIJE INFORMACIJA U HRVATSKIM TISKANIM MEDIJIMA PRIMJENOM TEORIJSKIH PRAVILA GESTALTA GESTALT THEORY RULES BASED ANALYSIS OF INFORMATION PRESENTATION METHODS IN CROATIAN PRINT MEDIA Mario Periša, Darijo Čerepinko, Marin Milković .....	300
SINTEZA I RAVNOTEŽA INTERAKCIJA FOTOGRAFSKIH PROCESA I GESTI. FOTOGRAFIJA KAO SINERGIJSKI GESTIV SYNTHESIS AND BALANCE OF INTERACTION BETWEEN PHOTOGRAPHIC PROCESSES AND GESTURES Mario Periša, Tihomir Engler, Goran Kozina .....	310

VEZA DOMINANTNOG OKA I SKLONOSTI GLEDANJA KROZ TRAŽILO SLR FOTOAPARATA RELATION BETWEEN DOMINANT EYE AND VIEWING THROUGH SLR CAMERA VIEWER Mario Periša, Kristina Jurešić, Marino Plećaš .....	320
ANALITIČKI OPIS RUBA RASTERSKOG ELEMENTA ANALYTICAL DESCRIPTION OF SCREEN ELEMENT EDGE Katja Petric Maretić, Igor Majnarić, Damir Modrić .....	330
WOFF – WEB OPEN FONT FORMAT Blaž Rat, Klementina Možina .....	344
DEVELOPMENT OF THE “DEPTH OF FIELD” OPTICAL METHOD FOR THE TOPOGRAPHIC ANALYSIS OF PAPER ROUGHNESS Leopold Scheicher .....	354
DEFINIRANJE POSTAVKI OBRADJE 3D GRAFIČKE SCENE U SVRHU OPTIMIZACIJE VREMENA DEFINING RENDER SETTINGS FOR 3D GRAPHICS SCENES IN ORDER TO OPTIMIZE THE PROCESSING TIME Tibor Skala, Robert Muža .....	362
UPOTREBA HIJERARHIJSKIH KINEMATIČKIH LANACA U SVRHU POKRETA U 3D RAČUNALNOJ ANIMACIJI USE OF HIERARCHIAL KINEMATIC CHAINS IN PURPOSE OF MOVEMENT IN 3D COMPUTER ANIMATION Tibor Skala, Antonija Jelić .....	371
THE INFLUENCE OF UCR AND GCR COLOUR SEPARATION TECHNIQUES ON REPRODUCIBLE COLOURS IN INK-JET PRINTING Ivana Tomić, Igor Karlović, Dragoljub Novaković .....	380
SIGURNOST WEB APLIKACIJA WEB APPLICATION SECURITY Mario Tomiša, Nikola Mrvac, Goran Kozina .....	389
DETERMINATION OF THE MINIMUM DOT AND ANILOX LINE SCREEN USED FOR FLEXOGRAPHY Dean Valdec, Irena Bates, Kristijan Golubović .....	399
<b>STUDENSKI RADOVI</b> <b>STUDENT PAPERS</b>	
THE ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF AM AND FM SCREENING METHODS IN REPRODUCTION PHOTOGRAPHY Ana Agić, Marijana Novaković .....	412
RAČUNALNO GENERIRANA HOLOGRAFIJA COMPUTER GENERATED HOLOGRAPHY Alan Divjak, Marko Maričević, Mauro Jurinčić .....	420
PRIMJENA HEKSAKROM TEHNIKE ZA POVEĆANJE KVALITETE GRAFIČKIH PROIZVODA APPLICATION OF HEXACHROM TECHNIQUE FOR GRAPHIC PRODUCT QUALITY INCREASE Ines Gašljević .....	429



VAŽNOST PRIMJENE PRINCIPA KORISNIČKI ORIJENTIRANOG DIZAJNA U RAZVOJNOM PROCESU RAČUNALNIH SUSTAVA IMPORTANCE OF USER-CENTERED DESIGN PRINCIPLES IN DEVELOPMENT CYCLE OF ELECTRONIC SYSTEMS Bojan Kanižaj	437
USPOREDBA PRIRASTA RTV NA RAZLIČITIM NOVINSKIM ROTACIJAMA COMPARISON OF DOT GAIN ON DIFFERENT PRINTING NEWSPAPER ROTO MACHINES Žarko Keić	447
KVALITETA TISKA AMBALAŽE KROZ NAKLADU PRINT QUALITY OF PACKAGING THROUGH CIRCULATION Marina Klanjac Gubić, Neda Knežević	454
INTEGRACIJA POSTUPAKA KOD 3D RAČUNALNOG MODELIRANJA - METODA STOLNOG KIPARSTVA PROCESS INTEGRATION IN 3D COMPUTER MODELING - DESKTOP SCULPTURING METHOD Lana Madračević, Ana Materni	463
ANALIZA UTJECAJA 3 X 3 KONVOLUCIJSKE JEZGRE NA KONAČNU SLIKU ANALYSIS OF 3 X 3 CONVOLUTION KERNEL IMPACT ON A FINAL IMAGE Mara Modrić, Sandra Mustač	474
ISTRAŽIVANJE MAŠTOVITOSTI PREDŠKOLSKE VRTIČKE DJECE S OBZIROM NA DIZAJNERE U MARKETINŠKOJ AGENCIJI IMAGINATION RESEARCH OF PRESCHOOL CHILDREN, COMPARED TO DESIGNERS WORKING IN ADVERTISING AGENCY Marina Lovrek, Maša Lovrin	482
KAKO PRILAGODITI TISAK I DIZAJN ZA EKOLOŠKI OSVIJEŠTEN PROIZVOD HOW TO ADJUST PRINTING AND DESIGN FOR ECOLOGICALLY CONSCIOUS PRODUCT Ivana Lukić, Boris Radulović, Goran Tomičić	493
ISTODOBNA SINTEZA ORGANOBENTONITA I SORPCIJA ANIONSKOG BOJILA NA ORGANOBENTONIT Suzana Zadravec	502
UTJECAJ REZOLUCIJE ISPISA UV INKJET TEHNOLOGIJOM NA KVALITETU KOLORNE REPRODUKCIJE INFLUENCE OF UV INKJET PRINTING RESOLUTION ON THE QUALITY OF COLOR REPRODUCTION Paula Yadranka Žitinski Elias, Matija Bukal Hetrich, Aleta Radin	510

## **ANALITIČKI OPIS RUBA RASTERSKOG ELEMENTA**

## **ANALYTICAL DESCRIPTION OF SCREEN ELEMENT EDGE**

Katja Petric Maretić, Igor Majnarić, Damir Modrić

Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Getaldićeva 2, Zagreb, Hrvatska

Faculty of Graphic Arts, University of Zagreb, Getaldićeva 2, Zagreb, Croatia

### **SAŽETAK**

U dizajnu i analizi sustava za obradu slike često se zahtijeva matematički opis slike koju želimo obraditi. Ovaj rad daje pregled funkcija koje se najčešće koriste prilikom obrade slike i pokazuje da je aproksimacija koja opisuje definiciju ruba na otisnutim rasterskim elementima bazirana na Lorentzovoj funkciji. Dobivenu raspodjelu u okviru Monte Carlo opisa raspršenja svjetlosti u papiru prepoznali smo kao funkciju razmazivanja točke (PSF) koja ima Lorentzov analitički oblik. Pokazano je da takva funkcija bolje opisuje problem definicije ruba od dosadašnjeg pristupa opisom Gaussovom funkcijom.

**Ključne riječi: funkcija razmazivanja točke, konvolucija, slikovna analiza**

### **ABSTRACT**

Design and analysis of system for image processing often require mathematical description of the image we want to process. This paper summarizes the functions that are commonly used in image processing and shows that the approximation that describes the definition of the edge of the printed screen elements is based on the Lorentz function. We have recognized the resulting distribution within the Monte Carlo approach of the light scattering in the paper as the point spread function (PSF) with the Lorentz analytical form. It has been shown that such a function describes the problem of definition of the edge better than the current approach to the description with Gaussian function.

**Key words: Point spread function, convolution, imaging**

## 1 UVOD

Slike se koriste kao zapis ili prikaz korisne informacije. Zbog nepravilnosti u procesu akvizicije, snimljena slika uvijek predstavlja degradiranu verziju originalne scene. Uklanjanje tih nepravilnosti ključno je za mnoge zadatke naknadne obrade slike. Postoji širok raspon različitih degradacija koje treba uzeti u obzir, kao što su šum, geometrijske degradacije (razne distorzije), nepravilnosti osvjetljenja i boje (nekorektna ekspozicija, zasićenje), i zamućenje. U ovom radu koncentrirali smo se na osnovne metode za opis funkcija koje opisuju zamućenja snimljenih uzoraka (prostorno diskretnih) slika<sup>5,6,7</sup>.

Uz efekte zamućivanja prisutan je i šum koji uvijek kvari sve snimljene slike. Šum može biti generiran samim medijem u kojem se slika stvara (nasumična apsorpcija ili efekti raspršenja), senzorom šuma, pogreškama mjerenja zbog ograničene preciznosti sustava za snimanje, te kvantizacijom podataka za digitalne pohrane.

Digitalna obrada slike ima mnoge prednosti nad analognom obradom slike. To omogućuje mnogo širi spektar algoritama koji se primjenjuju na ulazne podatke, te se izbjegavaju problemi, kao što su generiranje šuma i izobličenja signala za vrijeme obrade. Budući da su slike definirane u dvije dimenzije (možda i više) digitalna obrada slike može se modelirati u formi višedimenzionalnih sustava.

Dvodimenzionalne konvolucija je jedna od najčešćih metoda filtriranja digitalne slike. Jedan od najtežih problema prilikom analize optičkog dot gaina<sup>8</sup> je dobivanje pogodne PSF. Neki

- 
1. Banham M. R. & Katsaggelos A. K.. Digital image restoration. *IEEE Signal Process. Mag.*, 14(2): 24–41, 1997.
  2. Katsaggelos A. K., editor. *Digital Image Restoration*. Springer Verlag, New York, 1991.
  3. Kundur D. & Hatzinakos D.. Blind image deconvolution: an algorithmic approach to practical image restoration. *IEEE Signal Process. Mag.*, 13(3):43–64, 1996
  4. Yang L. & Kruse B., "Scattering and Absorption of Light in Turbid Media", *IARIGAI'99* (IARIGAI, Munich, Germany, 1999).

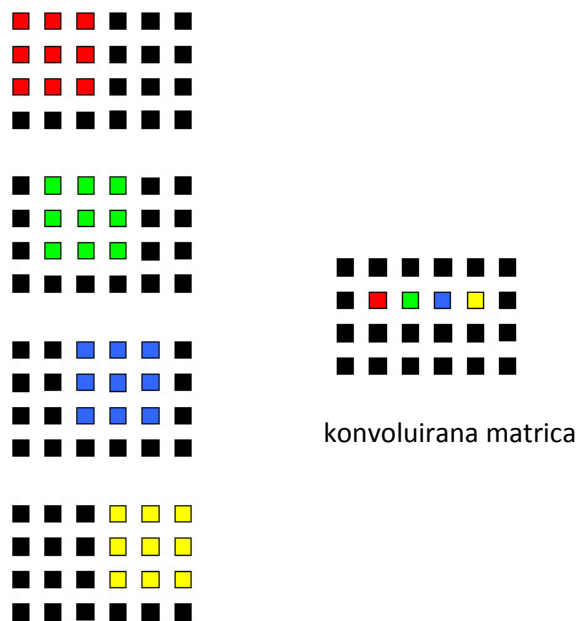
autori nazivaju analizu slike koja nije bazirana na poznavanju točne PSF *sljepim dekonvolucijskim algoritmima*<sup>9</sup>.

## 2 TEORIJA

Konvolucija, matematička operacija na pikselu, proces je klizanja matrice filtra (koju zovemo jezgra - kernel) preko matrice slike, množenjem svakog elementa u području preklapanja, zbrajanjem rezultata, te ugradnjom dobivenog iznosa kao elementa matrice rezultata. Ne ulazeći u detalje matričnog računa to je ilustrirano na slici s desne strane. To je težinska suma sivih vrijednosti okolnih piksela. Susjedstvo uključuje i piksel koji razmatramo i simetrično je distribuirano oko tog piksela. Jasno, ako je susjedstvo centrirano oko piksela, onda mora imati neparnu dimenziju, npr., 3 x 3, 5 x 5, itd. Susjedstvo ne mora biti definirano kao kvadrat, što je obično slučaj, budući da se rijetko iz nekog razloga preferira X ili Y smjer. Konvolucija odgovara množenju u domeni prostornih frekvencija, što je ekvivalent za filtriranje nekih komponenti frekvencije slike. Točan tip filtriranja ovisi o tome koja se jezgra koristi. Neke jezgre će filtrirati komponente visoke frekvencije, a neke će filtrirati niskofrekventne komponente. Primjeri različitih jezgri dani su ovdje u sljedećih nekoliko odjeljaka. U ovom primjeru se koristi 3×3 jezgra. Kvadrati u boji konvolucijske matrice odgovaraju množenju i zbrajanju u odgovarajućim obojenim područjima.

---

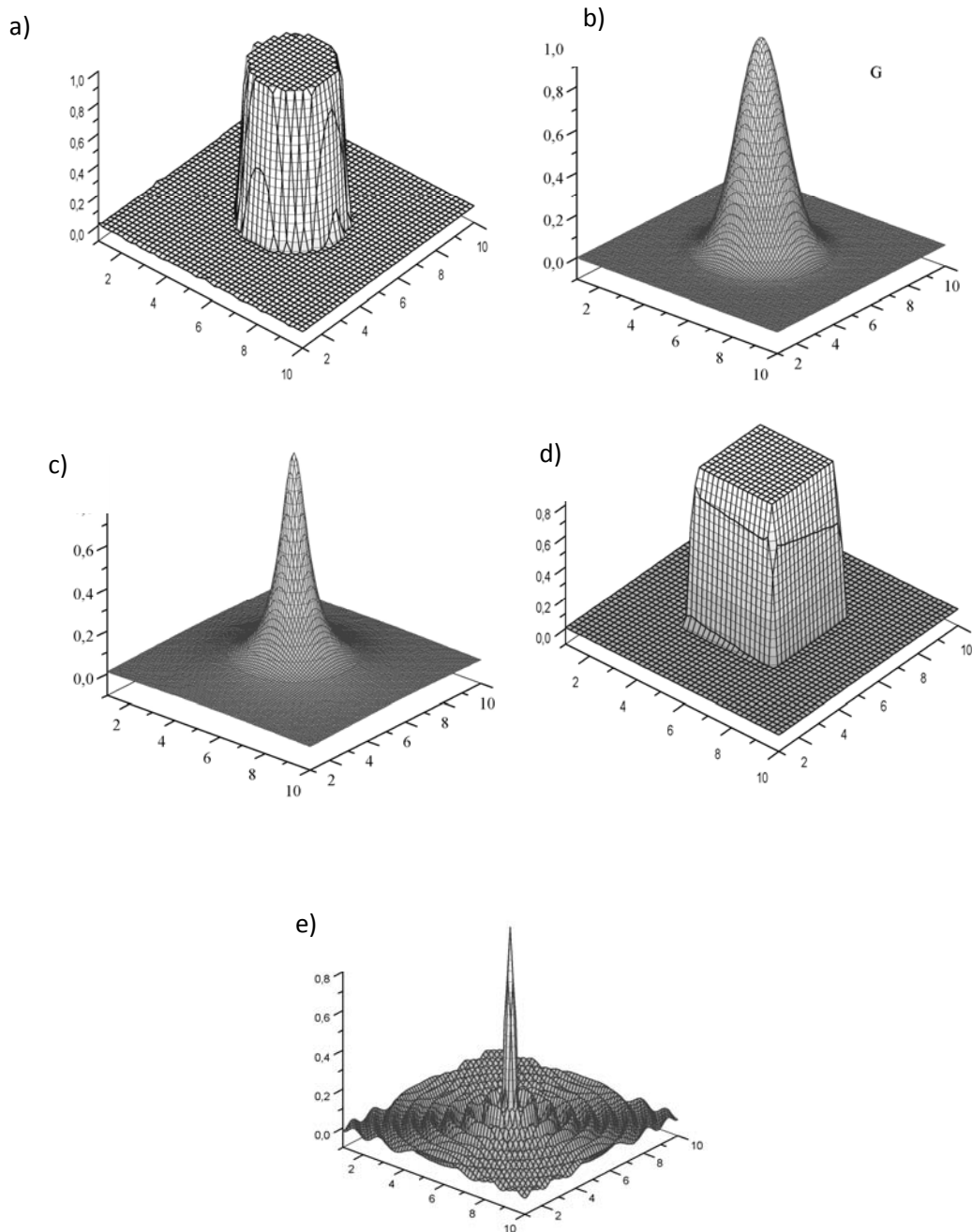
5. Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods & Steven L. Eddins, Digital Image Processing Using MATLAB, (2004) Pearson Prentice-Hall, ISBN 0-13-008519-7



**Slika 1: Ilustracija konvolucije 3 x 3 jezgrom. (Preuzeto iz MathCad 11 računalnog programa)**

Kao i kod jednodimenzionalnih signala, konvolucija slike može se promatrati na dva načina: sa strane ulaza, i sa strane izlaza. Slika promatrana s ulazne strane, svaki piksel ulazne slike doprinosi skaliranoj i pomaknutoj verziji funkcije razmazivanja točke (PSF) izlazne slike. Odnosno gledamo li sa strane izlaza, svaki piksel u izlaznoj slici je pod utjecajem grupe piksela ulaznog signala.

Za jednodimenzionalni signal, ovo područje utjecaja je impulsni odziv zrcaljen u jednoj dimenziji (npr. lijevo-desno). Za dvodimenzionalnu sliku, to je PSF zrcaljena lijevo-desno i gore-dolje. Budući da je većina PSFa koji se koriste u digitalnoj obradi slike simetrične oko vertikalne i horizontalne osi, ova zrcaljenja ništa ne doprinose te ih se može ignorirati. Naravno postoje i nesimetrične PSF kod kojih se zrcaljenje mora uzeti u obzir.



**Slika 2: Uobičajene funkcije razmazivanja točke. Cirkularna (a), Gaussova (b), Lorentzova (c) i kvadratična (d) uobičajene su funkcije (filteri) za izgladivanje (low-pass filter). Sinc funkcija, (e).**

Slika 2 pokazuje nekoliko uobičajenih PSF. Na slici (a) prikazana je cirkularna PSF (pillbox) koja ima kružni vrh i ravne bočne strane. Na primjer, ako objektiv fotoaparata nije pravilno

fokusiran, svaka će točka na slici biti projicirana na kružno mjesto na senzoru. Drugim riječima, cirkularna PSF opisuje ponašanje leće izvan fokusa.

Gaussova PSF, prikazana na (b) je PSF slikovnih sustava ograničenih slučajnim nesavršenostima. Na primjer, slika dobivena teleskopom je zamućena zbog atmosferskih turbulencija, što uzrokuje da svaka točka svjetlosti postaje Gaussian u konačnoj slici. Senzori, kao što su CCD i/ili mrežnica, često su ograničeni raspršenjem svjetlosti i/ili elektrona. Prema centralnom graničnom teoremu<sup>10</sup> Gaussovo je razmazivanje rezultat tih vrsta slučajnih procesa. Lorentzova funkcija (d) je dobivena proučavanjem ruba tiskanih rasterskih elemenata temeljeno na Monte Carlo<sup>11</sup> pristupu određivanja raspršenja svjetlosti u papiru.

Slika konvoluirana s cirkularnom i Gaussovom PSF<sup>12</sup> biti će zamućena i imati loše definirane rubove, ali će imati niži nivo slučajnog šuma. Te funkcije se nazivaju filteri za izgladivanje (smoothing), kad promatramo njihovo djelovanje u vremenskoj domeni, ili low-pass filteri, kad trebamo informaciju o tome kako tretiraju frekvencijsku domenu. Kvadratična PSF, prikazana u (d), također može se koristiti kao filter za izgladivanje, ali nije kružno simetrična.

**To rezultira da je u zamućenje različito u dijagonalnim smjerovima u odnosu na vertikalno i horizontalno. Ovisno o primjeni ovo svojstvo može ili ne mora biti važno. Sinc funkcija, (e), vrlo se malo koristi u obradi slike, jer slike obično imaju podatke kodirane u prostornoj domeni, a ne u frekvencijskom području**

**Suprotno od filtera za izgladivanje je filter za pooštrenje ruba (slike) ili high-pass filter. Jezgra (kernel) filtera za pooštrenje ruba formira se uzimanjem negativna filtera za izgladivanje i**

---

<sup>10</sup> U teoriji vjerojatnosti, centralni granični teorem (CLT) navodi uvjete pod kojima će srednja vrijednost dovoljno velikog broja nezavisnih slučajnih varijabli, svaka s konačnom srednjom vrijednosti i standardnom devijacijom, slijediti normalnu raspodjelu. Centralni granični teorem također zahtijeva da slučajne varijable budu identično distribuirane, osim ako se ispune određeni uvjeti. Budući da su u stvarnom svijetu veličine obično uravnotežene sume mnogih nezapaženih slučajnih događaja, ovaj teorem daje djelomično objašnjenje za nadmoćnost normalne raspodjele vjerojatnosti. CLT tako opravdava aproksimiranje statistike velikog broja uzorka s normalnom raspodjelom u kontroliranim pokusima.

6. Modrić D., Beuc R. & Bolanča S.: Monte Carlo Modeling of Light Scattering in Paper, *J. Imag Sci Tech*, **53**(2): 020201–020201-8, (2009).

7. Gunn S. R.. On the discrete representation of the Laplacian of Gaussian. *Pattern Recognit.*, **32**: 1463–1472, 1999.

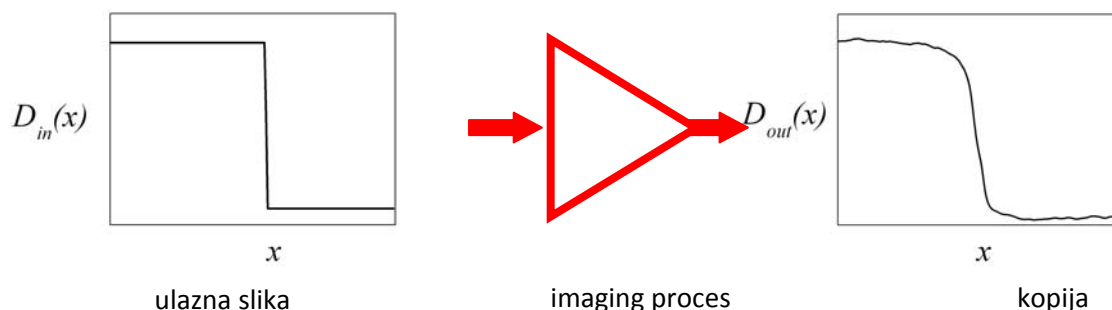
dodajući delta funkciju u centru. Obrada slike koja se događa na mrežnici je primjer ove vrste filtera.

Slika (e) pokazuje dvodimenzionalnu sinc funkciju. Jednodimenzionalna obrada signala koristi takvim funkcijama za odvajanje frekvencija.

Obzirom da slike nemaju podatke kodirane u frekvencijskoj domeni, sinc funkcije ponekad se koriste kao jezgra filtera obrada slike, iako se koristi u nekim teorijskim problemima. Sinc funkcija teško se može koristiti jer opada vrlo sporo s amplitudom ( $1/x$ ), što znači da ju se mora tretirati kao beskrajno široku.

## ○ FUNKCIJA RAZMAZIVANJA

Funkcija koja je prikladna za opis neke rezolucijske karakteristike slikovnih sustava i fizike gubitka rezolucije slikovnih sustava naziva se "funkcija razmazivanja točke", PSF, i ona opisuje kako je savršena točka razmazana fizikom slikovnih sustava. Usrednjena u jednom smjeru daje "funkciju razmazivanja linije", LSF, koju je lakše vizualizirati u dvije dimenzije.



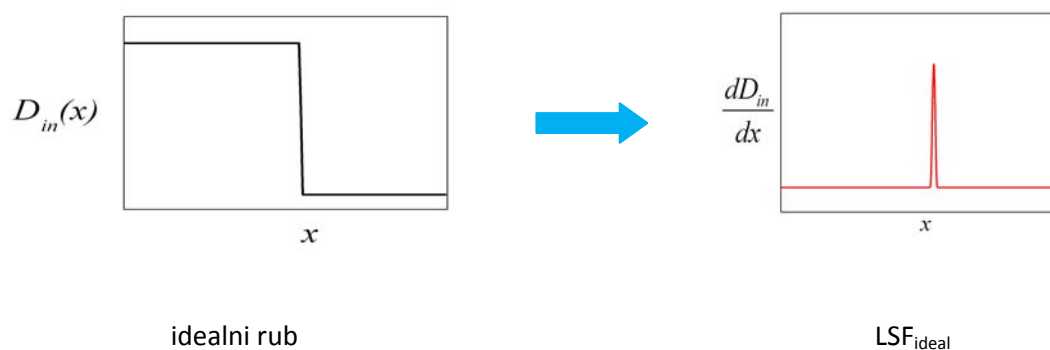
**Slika 3: Utjecaj sustava na konačnu sliku.**

Intuitivno znamo da je bilo koji proces realnog imaginga sklon "zamućivanju (blur)" slike. Savršena reprodukcija nije moguća. Realni imaging sustavi uvijek imaju neke gubitke te stoga mora postojati neka vrsta procesa razmazivanja u imaging mehanizmu koji uzrokuje da kopija oštrog ruba bude razmazana (neoštra). Mi karakteriziramo fenomen fizičkog razmazivanja kao PSF, ili LSF.

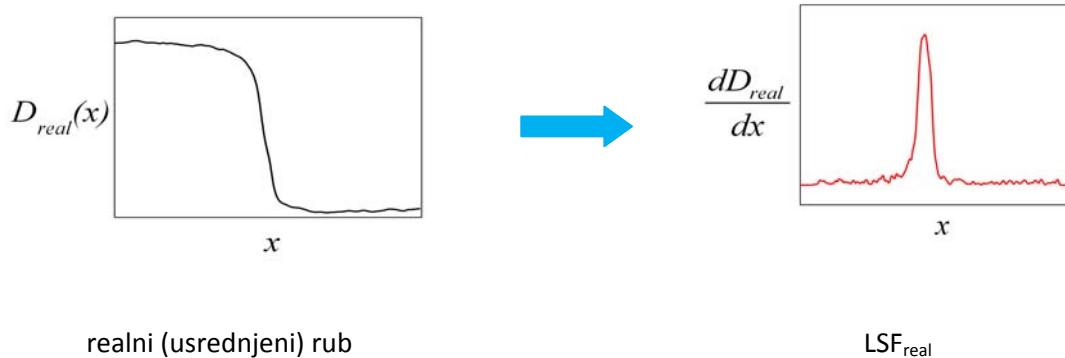


### 3 EKSPERIMENT

Funkcija razmazivanja sustava može se mjeriti neovisno (npr. može se mjeriti difuziona karakteristika bojila u papiru). Funkcija razmazivanja je često uzrokovana s više procesa koji rezultiraju razmazivanjem (optički i mehanički dot gain). U takvom slučaju, lakše je mjeriti ukupnu funkciju razmazivanja sustava što činimo usporedbom izlaza i ulaza. Na primjer, ako je ulaz savršen rub, kao na slici dolje, onda izlaz nije savršeno gladak zbog funkcija razmazivanja sustava te možemo izračunati funkciju razmazivanja sustava iz zamagljena ruba. Bez dokaza, LSF je derivacija funkcije ruba izlazne slike kada je ulazna slika savršen rub. Primjena prve derivacije na takvoj slici, u smjeru izražene varijacije, nam daje mogućnost da analiziramo i ostale detalje. Naravno, kontinuirana derivacija ne može se izvršiti za slike s digitaliziranim konačnim brojem piksela. Umjesto toga, razlika između vrijednosti susjednih piksela može se izračunati kao konačna derivacija. Ova razlika ima nešto šuma, ali usrednjavanje u smjeru okomitom na derivaciju može izgladiti rezultat. Do sada se LSF modelirala s Gaussovom funkcijom<sup>13</sup>, međutim



- 
8. Fischer G., Rodriguez-Giles J. & Scheuter K.R.: Ein physikalisches Modell für die Beschreibung von Lichtstreuprozessen. *Die Farbe*, **30**(1/6):199–220, 1982.



**Slika 4: Ilustracija koncepta definiranja LSF pomoću derivacije ruba**

naša istraživanja<sup>11</sup> pokazuju da, u slučaju otisnutih rastertonskih elemenata, bolji opis daje Lorentzova funkcija oblika:

$$PSF(r) = \frac{1}{\mathfrak{R}} \left( \frac{1}{\pi} \frac{\frac{w}{2}}{(r-r_c)^2 + \left(\frac{w}{2}\right)^2} \right)$$

Gdje je  $r_c$  položaj centra raspodjele, a  $w$  je parametar koji definira širinu Lorentzovog profila. Da bi gornji izraz bio funkcija razmazivanja točke potrebno je izraz u zagradama koji je Lorentzova funkcija pomnožiti konstantom  $\mathfrak{R}$  koja dolazi zbog uvjeta normiranja pomoću izraza:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \left( \frac{1}{\pi} \frac{\frac{w}{2}}{(r-r_c)^2 + \left(\frac{w}{2}\right)^2} \right) dr = \mathfrak{R}$$

Veza između LSF i PSF dana je izrazom

$$LSF(x) = \int_{-\infty}^{\infty} PSF(x,y)dy$$

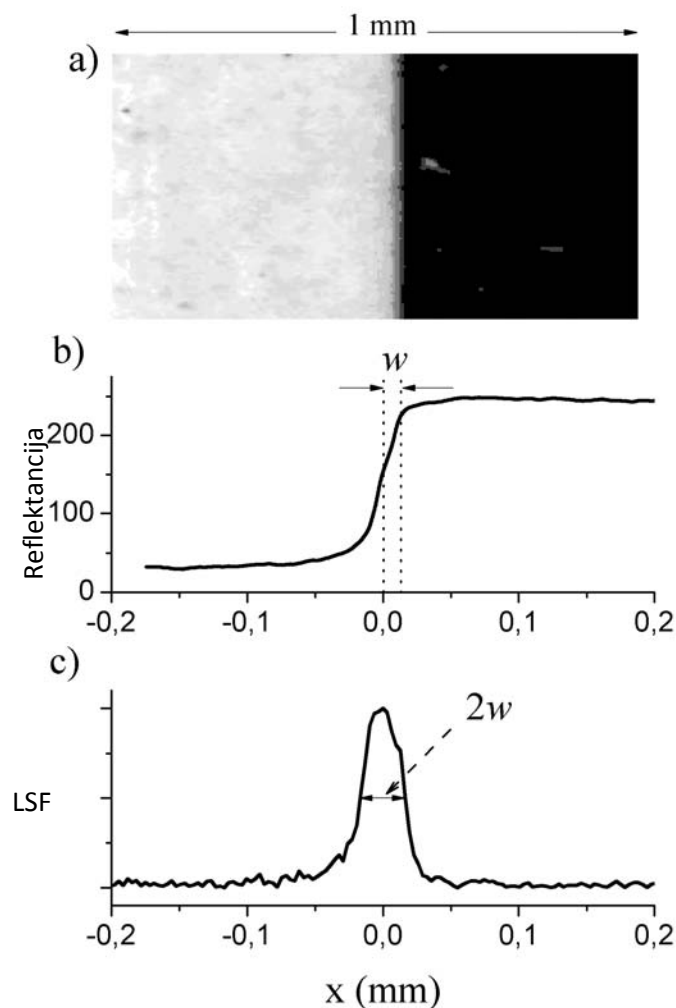
Da bi ukratko ilustrirali eksperimentalno kako se radi MTF analiza određivanjem LSF koristit ćemo se slikom ruba linije otisnute na premazanom papiru.

Iz prethodno skeniranog ruba definiramo funkciju koju nazivamo "funkcija razmazivanja ruba" (3b). Nakon toga izračunamo i nacrtamo nagib funkcije u svakoj točki na krivulji (derivacija), rezultat se naziva funkcija razmazivanja linije. Praktična mjera LSF je  $w$ . Ovo je (približno) poluširina krivulje izmjerena na pola visine (Slika 5c.)

Nakon što smo odredili izraz za funkciju razmazivanja, možemo numerički izračunati utjecaj funkcije razmazivanja na kopiju slike pomoću "konvolucijske" integracije<sup>14</sup>, kako slijedi.

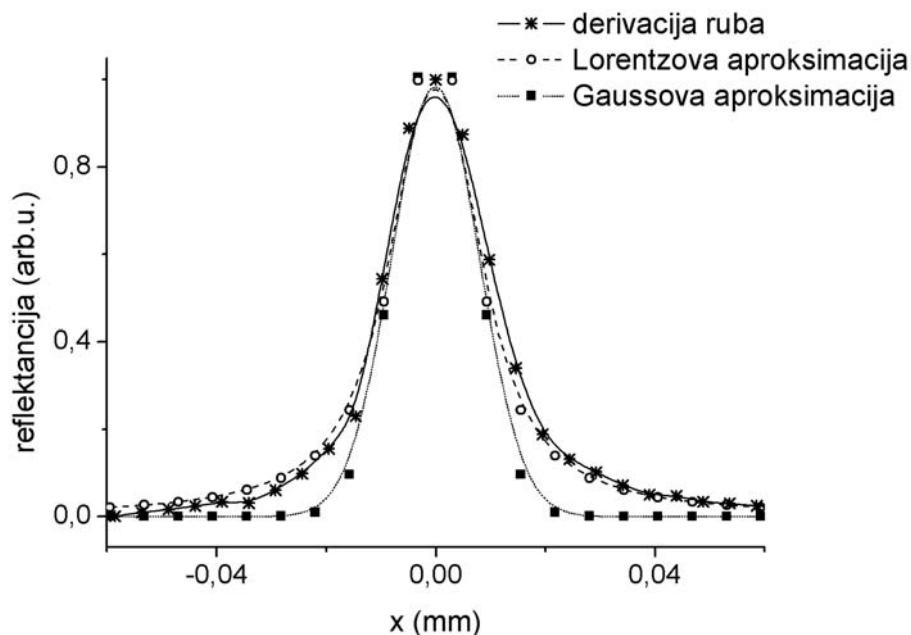
$$D_{out}(x) = \int_{\alpha=-\infty}^{\alpha=\infty} D_{in}(x - \alpha)LSF(\alpha)d\alpha$$

- 
9. Arney J.S., Arney C.D. & Katsube M.: An MTF analysis of papers, J Imag Sci Tech, **40**, 19 –25. (1996)



**Slika 5: Ilustracija eksperimentalnog određivanja LSF pomoću derivacije profila ruba**

Usporedba tako dobivene LSF i Lorentzovog profila jasno pokazuje dobro slaganje iz čega možemo zaključiti da je opis podpovršinskog raspršenja svjetlosti u papiru Lorentzovim profilom superiorniji od prethodnih pristupa koji su uključivali Gaussovu funkciju, što se jasno vidi na slici 6. Naravno, treba ponovno naglasiti da se ovo razmatranje odnosi samo na studij srodnih medija kao što su papir i tinta. Problem s konvolucijom slike je da konzumira mnogo računalne snage i vremena jer je uključen veliki broj izračuna. Na primjer, kada slika od 512 sa 512 piksela konvoluiru sa PSF od 64 puta 64 piksela, imamo više od milijardu operacija množenja (tj.  $64 \times 64 \times 512 \times 512$ ) i potrebne su neke modifikacije.



**Slika 6 : Usporedba LSF dobivenih derivacijom ruba i Lorentzov profil**

Ipak, neke studije usmjerene na pronalaženje jednostavne funkcije koja predstavlja konvolucijske jezgre odgovorne za “penumbra” oblik poprečnih profila doze uskih fotonskih snopova u radioterapiji pokazuju da konvolucijska jezgra ima također oblik Lorentzove funkcije<sup>15</sup>.

## 4 ZAKLJUČAK

Čvrsto utemeljeni u teoriji linearnih sustava, linearni filteri su osnova za obradu signala proizvoljnih dimenzija. Pojavom brzih Fourierovih transformacija (FFT) i povećanjem računalne snage, linearni filteri postaju privlačno sredstvo u obradi slike iako imaju ograničene performanse za aplikacije poboljšanja slike.

S druge strane može se primijetiti da je nemoguće uklanjanje širokopojasnog šuma iz većine

10. Djouguela A. *et al*, *Phys. Med. Biol.* **54**, 2807 (2009)

slika putem linearnog filtriranja bez neke degradacije (zamućenja) informacijskog sadržaja slike. Dosadašnji pristupi nisu u sebi sadržavali kompleksnost koja je potrebna za realniji opis sistema te su njihovi autori pribjegavali aproksimacijama koje nisu uvijek imale najkorektnije fizikalne osnove. Tako su Yule i Nielsen krajem sedamdesetih godina prošlog stoljeća sugerirali<sup>16</sup> da se LSF opiše Gaussovom krivuljom.

U to vrijeme je pristup s Gaussovom raspodjelom, koja ima svoje uporište u nekim prirodnim raspodjelama, bilo opravdano zbog skromnih računalnih mogućnosti. Naime za potrebe njihovog modela bilo je zgodnije jedno drugo svojstvo, a to je da je Fourierov transform Gaussove funkcije opet Gaussova funkcija te je s njom lako računati.

Naš model, baziran na stohastičkom pristupu, koji je u doba kad Yule i Nielsen daju svoju sugestiju bio nedohvatljiv u smislu računalnih mogućnosti, pokazuje da je za dani set parametara potpuniji opis dat Lorentzovom krivuljom kao što se vidi na slici 6. Dobiveni rezultati su temeljeni na fizikalnim osnovama i mogu poslužiti za dalje razumijevanje nastanka ne samo optičkog, nego i mehaničkog dot gaina.

## 5 LITERATURA

1. Banham M. R. & Katsaggelos A. K.. Digital image restoration. *IEEE Signal Process. Mag.*, 14(2): 24–41, 1997.
2. Katsaggelos A. K., editor. *Digital Image Restoration*. Springer Verlag, New York, 1991.
3. Kundur D. & Hatzinakos D.. Blind image deconvolution: an algorithmic approach to practical image restoration. *IEEE Signal Process. Mag.*, 13(3):43–64, 1996
4. Yang L. & Kruse B., "Scattering and Absorption of Light in Turbid Media", *IARIGAI'99* (IARIGAI, Munich, Germany, 1999).

5. Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods & Steven L. Eddins, Digital Image Processing Using MATLAB, (2004) Pearson Prentice-Hall, ISBN 0-13-008519-7
6. Modrić D., Beuc R. & Bolanča S.: Monte Carlo Modeling of Light Scattering in Paper, *J. Imag Sci Tech*, 53(2): 020201–020201-8, (2009).
7. Gunn S. R.. On the discrete representation of the Laplacian of Gaussian. *Pattern Recognit.*, 32: 1463–1472, 1999.
8. Fischer G., Rodriguez-Giles J. & Scheuter K.R.: Ein physikalisches Modell für die Beschreibung von Lichtstreuprozessen. *Die Farbe*, 30(1/6):199–220, 1982.
9. Arney J.S., Arney C.D. & Katsube M.: An MTF analysis of papers, *J Imag Sci Tech*, 40, 19 –25. (1996)
10. Djouguela A. *et al*, *Phys. Med. Biol.* 54, 2807 (2009)
11. Yule J.A.C., Howe D.J. & Altman J.H., *TAPPI*, p.337 (1967)