

ŠUM I TTF REPRODUKCIJSKIH SUSTAVA

IMAGE NOISE AND TONE TRANSFER FUNCTION OF IMAGING SYSTEMS

Ivana Čirjak, Damir Modrić, Dean Valdec

Izvorni znanstveni rad

Sažetak: Prilikom reprodukcije i stvaranja slike dolazi do očekivane pogreške prilikom prenošenja informacije s jednog reprodukcijjskog sustava na drugi. Ta pogreška naziva se šum u reprodukciji, a posljedica je samih reprodukcijjskih sustava. U ovom je radu obrađena pojava šuma u reprodukciji na otisnutim materijalima te korelacija između tonskih vrijednosti piksela originala i gustoće zacrnjenja reprodukcije za više osobnih pisača. U radu je korišten uzorak tonske skale (KODAK Gray Scale) te je reproduciran na tri različita pisača. Ono što je u originalnoj datoteci bila tonska vrijednost pojedinog piksela, u reprodukciji se pojavljuje kao gustoća zacrnjenja, odnosno refleksija. Skeniranjem uzorci su prevedeni u digitalni oblik, te uz pomoć mnogih softverskih alata analizirani. Uočeno je da postoji razlika između ulaznih vrijednosti originala i izlaznih vrijednosti na reprodukciji te obzirom na te vrijednosti zaključeno je da je moguće rekonstruirati TTF (Tone Transfer Function, prijenosna funkcija tonova) svakog pojedinog korištenog uređaja. Upravo je TTF nužna za razumijevanje načina reprodukcije, šuma koji se u njoj javlja kao očekivana greška, te optimizacije reprodukcijjskih sustava.

Ključne riječi: šum, TTF, histogram, siva skala, reprodukcijjski sustav

Original scientific paper

Abstract: During reproduction and creation of an image comes to the expected error when transferring information from one reproduction system to another. This error is called reproduction noise, resulting in a very reproductive system. This paper examines the phenomenon of noise in the reproduction of the printed materials and the correlation between the tonal values of the original pixel density and opacity playing for several personal printers. In this paper is used a sample tone scale (Kodak Gray Scale) and is reproduced on three different printers. Tonal value of each pixel in the original file in the reproduction appears as density opacity or reflection. Scanning patterns are translated into digital form, and analyze them with a variety of software tools. It was noted that there is a difference between the input original values and the output reproduction values. It was noted that there is a difference between the input and output values of the original values in the reproduction, which indicates that it is possible to reconstruct the TTF (Tone Transfer Function, transfer function tones) of each used device. It is TTF that is necessary to understand the noise modes, that appears as expected error and to optimize reproductive system.

Key words: noise, TTF, histogram, gray scale, the reproductive system

1. UVOD

Niti jedan reprodukcijjski sustav nije idealan i svaki će uzrokovati neku određenu smetnju na reprodukciji koja će kopiju razlikovati od originala. To se događa jer različiti reprodukcijjski sustavi imaju različite funkcije prijenosa tonova (TTF) i različiti uzorak, te se gubi određena količina informacija. Ta količina može biti tolika da se golim okom ne primjećuje promjena u kvaliteti, a može biti i izrazito primjetna što znači da taj reprodukcijjski sustav ima veći "šum". Šum je svaka smetnja ili gubitak kvalitete na kopiji u odnosu na original ^[1]. Na slici 1 se vidi razlika u šumu na originalnoj slici i na njenoj kopiji koja je ispisana na uredskom pisaču, te skenirana kako bi ponovno poprimila digitalni oblik.

Osim što sam reprodukcijjski sustav, u ovom slučaju pisač, daje šum u reprodukciji originala, postoje još neki čimbenici koji ga pospješuju. Prije svega, karakteristika medija na kojem je ispisana slika, odnosno papir. Papir zbog svojeg sastava i tehnološkog procesa kojim se izrađuje nije savršeno bijel niti savršeno gladak. Samim time ni slika koja je reproducirana na njemu ne može biti idealna čak ni u slučaju kada sam reprodukcijjski sustav ne bi uzrokovao nikakav šum. Također, različite tinte i toneri različito interagiraju sa različitim vrstama papira tj. tiskovne podloge. Neke će podloge brže upijati tintu, dok je neke uopće neće prihvaćati. Upravo tom interakcijom bojila i podloge dolazi do još jedne neizbježne pojave u tisku koja se naziva "mottling", a posljedica je upravo nejednolikog prihvaćanja bojila na tiskovnu podlogu.

Jedan od ciljeva ovog eksperimenta je okarakterizirati, odnosno opisati šum pisača te pokazati kako se funkcija šuma ponaša u nekoliko različitih reprodukcijskih sustava.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Šum u reprodukciji

Šum je slučajna (nije prisutan u slici objekta) varijacija svjetline ili informacije o boji u slikama, a obično je rezultat elektronskog šuma, koji može potjecati od strane senzora i strujnih krugova skenera ili digitalne kamere. Šum slike također može biti posljedica zrnatosti filma ili nezaobilaznog tzv. shot šuma idealnog detektora fotona. Šum je nepoželjni nusproizvod akvizicije slike koji dodaje lažne i opterećujuće informacije. Šum se obično mjeri pomoću RMS (root mean square) devijacije refleksije, σ . Signal sa kopirnog uređaja je faktor refleksije, R_C , pa je šum zapravo RMS devijacija njegove refleksije, σ_R . Često se uočava kako magnituda šuma varira u odnosu na početnu vrijednost. U ovom istraživanju, mjerit će se σ_R na svakom koraku duž čitavog klina i promatrati promjene σ_R duž klina.

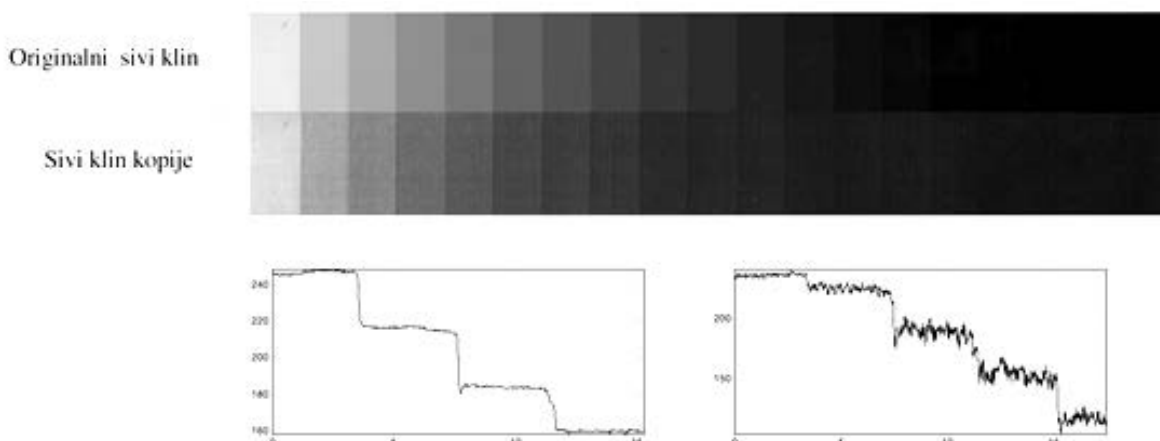
Nakon što se uzorak skale ispiše na tri različita pisača, otisci se skeniraju na maksimalnoj rezoluciji i obrade pomoću programa ImageJ [2]. U ImageJ-u za svaku stepenicu sive skale dobije se srednja vrijednost sivog tona i njegova standardna devijacija. Izmjeri se srednja vrijednost piksela, \bar{P} , i standardnu devijaciju vrijednosti piksela, σ_p . Koristeći jednadžbe (1) i (2) izračunate su vrijednosti refleksije, R , i pripadne standardne devijacije refleksije σ_R , za svaki korak na kopiranoj slici.

$$R = \frac{\bar{P}}{P_{ref}} \cdot R_{ref} \tag{1}$$

$$\sigma_r = \frac{\sigma_p}{P_{ref}} \cdot R_{ref} \tag{2}$$

gdje su:

P_{ref} i R_{ref} – odgovarajuće referentne vrijednosti glatkog bijelog referentnog uzorka.



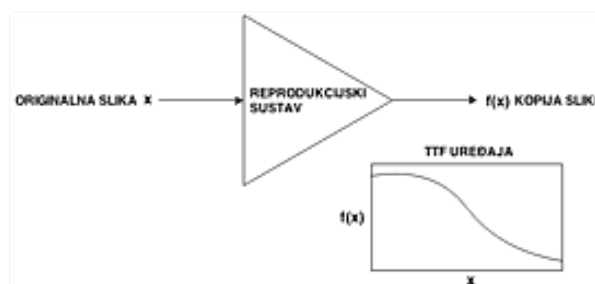
Slika 1. Vrijednosti sivih tonova na originalnoj slici i kopiji

2.2. Prijenosna funkcija tona (TTF)

Svaki uređaj za stvaranje slike može biti opisan pomoću *tone transfer function*, TTF, tj. prijenosne funkcije tona. Cjelokupni sustav shematski je prikazan na slici 2. TTF je izlazna funkcija uređaja, $f(x)$, u ovisnosti o ulaznom parametru uređaja, x . Svi uređaji za kreiranje slike mogu biti opisani pomoću TTF, ali često se tim funkcijama daju različita imena. Termini poput "karakteristična krivulja", "I/O funkcija", "pregledna tablica", "DLogH krivulja", itd. koriste se ovisno o tehnologiji koja se koristi.

TTF ne opisuje sva svojstva uređaja za stvaranje slike. Opisuje samo prosjek ulazno/izlaznog ponašanja uređaja. TTF ne sadrži informacije o položaju ili obliku objekata na slici niti način na koji položaj i oblik mogu biti iskrivljeni zbog utjecaja uređaja. Svojstva takve vrste nazivaju se "prostorna" svojstva uređaja za stvaranje slike. Prostorna svojstva uređaja su značajno pod

utjecajem TTF, stoga je razumijevanje TTF važan preduvjet za razumijevanje prostornih svojstava uređaja.



Slika 2. Shematski prikaz uređaja za stvaranje slike i njegova Tone Transfer Funkcija (TTF)

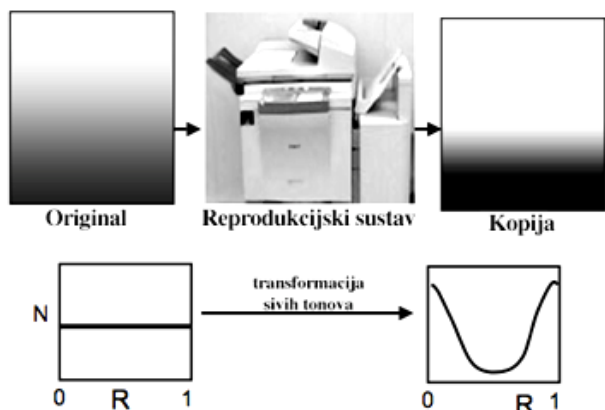
TTF se može prikazati grafički, kao što je to prikazano na slici 1, ili pomoću jednadžbe, $f(x) = y$. Grafički prikaz koristan je za vizualizaciju/predočavanje

ponašanja sustava, ali jednadžba je važna za izvođenje kvantitativne analize ili kontrole uređaja.

Postoje tri pristupa modeliranju TTF: mehanicističko modeliranje, heurističko modeliranje i parametarsko modeliranje. U ovom istraživanju se koristi heuristički pristup. Naime više nego često, fizikalni mehanizmi uređaja za akviziciju slike nisu dovoljno dobro poznati da bi jednostavno generalizirali TTF. Postoje mnoge heurističke tehnike koje se mogu primijeniti na modeliranje skupa eksperimentalnih podataka, kao što su: linearna interpolacija^[3] i polinomska regresija^[4]. Linearna interpolacija je metoda generiranja krivulja korištenjem linearnog polinoma (pravca) između dvije poznate točke. Odnosno, linearna interpolacija na skupu točaka $(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ definira se kao ulančavanje linearnih interpolanata između svakog para točaka, što općenito rezultira kontinuiranom krivuljom s diskontinuiranom derivacijom.

Polinomska regresija je oblik linearne regresije u kojoj je odnos između nezavisne varijable x i zavisne varijable y je modeliran kao polinom n -tog reda. Polinomska regresija uklapa nelinearni odnos između vrijednosti x i odgovarajuće uvjetne srednje vrijednosti y i koristi se za opis nelinearnih fenomena kao što su na primjer stope rasta tkiva, raspodjelu izotopa ugljika u sedimentu, napredovanje epidemije bolesti, itd..

Kako bi se opisala svojstva reproduksijskog sustava vezano uz svjetlinu i kontrast, originalna slika sa dobro poznatim svojstvima je kopirana kako bi se mogla točno definirati promjena koja se dogodila. Najčešće se za to koristi slika koja prikazuje tonski prijelaz od crne do bijele (sivi klin), sa jednakom zastupljenošću svih sivih tonova, i čiji histogram je poznat i izgleda poput vodoravne linije. Kao što je prikazano na slici 3, histogram kopirane slika koja u sebi sadrži utjecaj reproduksijskog sustava, u ovom slučaju fotokopirnog uređaja, se uvelike razlikuje od onog koji opisuje originalnu sliku. Izlazna slika i njezin histogram postaju alat kojim će se opisati ponašanje određenog uređaja i kreirati prijenosna funkcija tona.

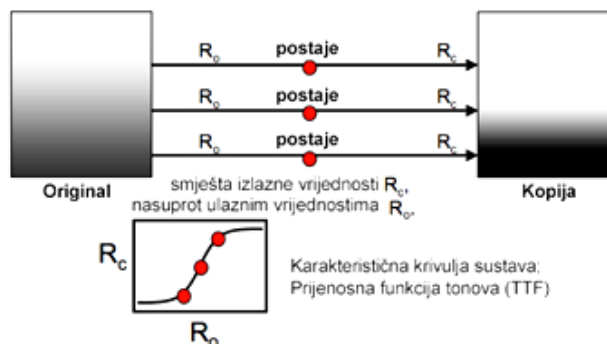


Slika 3. Utjecaj reproduksijskog sustava na prijenos sivih tonova

Na slici 4 je prikazano kako se pomoću originala, kojemu su poznata svojstva i histogram i pomoću kopije dobivene reproduksijskim sustavom, može konstruirati krivulja koji karakterizira taj sustav. Vrijednosti sive na originalu suprotstavljene su vrijednostima sive na kopiji

kako bi se konstruirala krivulja koja se naziva karakteristična krivulja sustava, ili prijenosna funkcija tona (TTF; Tone Transfer Function). Ova krivulja je najučestaliji način prikaza svojstava svjetline i kontrasta uređaja za reprodukciju slike.

TTF prikazana na slici 4 koristi reflektanciju kao mjerilo za vrijednost sive. Često se koriste i druge jedinice, ovisno o obliku originalne i izlazne slike.



Slika 4. Kreiranje prijenosne funkcije tonova pomoću ulaznih i izlaznih vrijednosti reproduksijskog sustava, gdje je R_o – reflektancija originala i R_c – reflektancija kopije

Na primjer, TTF za desktop skener može biti prikazan krivuljom izlazne vrijednosti piksela, P , u odnosu na reflektanciju originala, R_o . Ultrazvučni detektor koji se koristi u medicinskim slikovnim sustavima može proizvesti izlaznu sliku u jedinicama napona, V , za ulazni original izražen gustoćom mase, m , u g/m^2 . Bez obzira na jedinice, TTF se prikazuje krivuljom izlaza u odnosu na ulaz. Sljedeća rasprava će koristiti za primjer stroj za kopiranje, ali pojmovi vrijede jednako dobro na druge vrste slikovnih sustava.

Karakteristike kontrasta slikovnog uređaja mogu se opisati s niskim, normalnim i visokim kontrastom. Kontrast uređaja određen je oblikom TTF krivulje. Kako bi se usporedili različiti uređaji, korisno je definirati indeks kontrasta, kao i indeks osjetljivosti. Indeks kontrasta uređaja se često naziva gama i simboliziran je grčkim slovom γ . Definicija γ ovisi o vrsti uređaja, baš kao što i definicija osjetljivosti, S , ovisi o tipu uređaja. U općoj upotrebi za definiranje γ postoje dvije različite konvencije, no kao što će biti prikazano, one su zapravo blisko povezane.

3. EKSPERIMENTALNI DIO

Kao uzorak za mjerenje korištena je skala sivih tonova, KODAK Gray Scale, koja je ispisana na tri različita pisača. Pisači koji su dio ovog istraživanja su navedeni u tablici 1, a izgled mjerne skale prikazan je na slici 5.

Tablica 1. Uredski pisači korišteni u istraživanju

Redni broj pisača	Naziv i model pisača
1	HP LaserJet 1300 PCL6
2	HP LaserJet 2200 dn
3	HP Laserjet 2300 dn



Slika 5. Uzorak za mjerenje skale sivih tonova (KODAK Gray Scale)

Otisci su napravljeni na različitim klasičnim uredskim papirima za ispis, gramature 80 g/m^2 (npr. Navigator kao jednom od papira koji se najčešće koristi, IQ, Discovery,...). Svi papiri su pokazivali praktično iste rezultate neovisno o porijeklu. Utjecaj tiskovne podloge, primjenom navedenih papira, na pojavu šuma u reprodukciji je zanemariv u odnosu na utjecaj uredskih pisaca tako da je istraživanje fokusirano na pisace.

Originalni sivi klin približno je bez šuma ($\sigma_R \approx 0$). Uspoređujući ga sa ispisanim klinom na pisacima može se vidjeti da ispisan klin ima značajan šum. Taj šum na kopiji je znak postojanja šuma na pisacu, obzirom da se na originalu ne zamjećuje. Također se primjećuje kako se količina šuma na kopiji mijenja s obzirom na stupanj sivoće sivog klina.

3.1. TTF skenera

Skener u ovom istraživanju služi kao uređaj za mjerenje refleksije. Kako bi se prevele vrijednosti piksela skenera u vrijednosti refleksije, R , potrebno je izmjeriti i opisati krivulju TTF^{-1} skenera. Pomoću ImageJ softvera izmjeren je svaki pojedini korak na sivom klinu originalne reprodukcije.

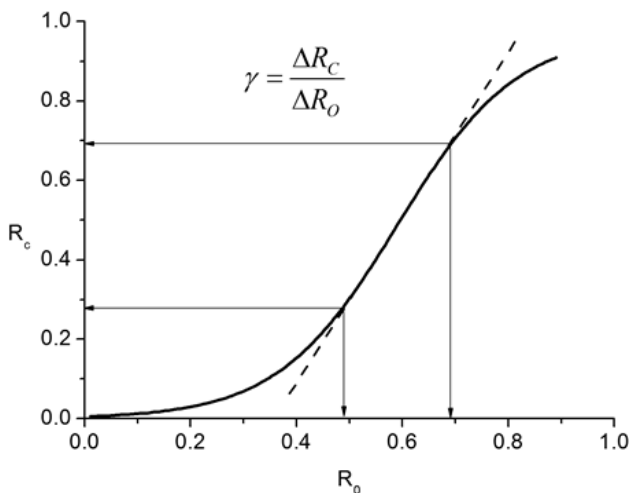
3.2. Šum i TTF skenera

Modeliranje je često korištena tehnika za određivanje parametara koje je teško ili nemoguće izravno izmjeriti. Analiza eksperimentalnih podataka koristiti se tehnikom modeliranja za izdvajanje svojstva šuma uređaja za kopiranje. Koristeći softverski alat ImageJ-a izračunata je srednja vrijednost i standardna devijacija (P i σ_P) vrijednosti piksela duž kopiranog sivog klina. Pomoću TTF^{-1} skenera konvertira se P u R , te σ_P u σ_R . Zatim se nacrti i oblikuje TTF krivulja kopirnog uređaja kao R_C vs R_O gdje su R_C i R_O vrijednosti refleksije na kopiranom i na originalnom sivom klinu. Drugom krivuljom se oblikuje σ_R vs R_O . Jednostavan pristup koji sasvim dobro služi za većinu praktičnih primjena je odrediti RMS zrnatosti slike. Pri tome je važan izbor odgovarajućeg niza eksperimentalnih uvjeta za ovu metriku. To se može ilustrirati primjerom u kojem se pretpostavlja da je mjerenje napravljeno i da je rezultat RMS devijacija refleksije $\sigma = 0,0034$. Ukoliko je slikovni proces sposoban reproducirati minimalnu refleksiju $R_{min} = 0,010$ (tipično za ink jet tinte) i maksimalnu refleksiju $R_{max} = 0,850$ (tipičan uredski papir), tada je ukupni broj prepoznatljivih tonova sive razine koji se mogu reproducirati $(R_{max}-R_{min} / \sigma) = 247$.

3.3. Gamma

Definira se γ kao nagib TTF krivulje kopirnog uređaja, $\gamma = (\partial y / \partial x)$. Koristi se vlastiti model TTF kako bi se procijenila γ , te skicirala krivulja γ vs R_O . Gamma kao nagib krivulje je konvencija koja se često koristi za filmske kamere i uredske strojeve za kopiranje. Prosječni nagib je definiran duž korisnog raspona TTF krivulje uređaja. Korisno područje i prosječni nagib se ponekad određuju proizvoljno prema namjeni uređaja. Slika 5 prikazuje primjer u kojem je korisni raspon linearni središnji dio TTF. Nagib TTF se definira kao nagib pravca (crtkana linija na slici 5.) između početka i kraja korisnog raspona.

Gamma funkcija je modelirana na temelju definicije gamma funkcije kao derivacije TTF, kao što je prikazano u jednadžbi (6) ili na slici 5. To se može modelirati uzimanjem diskretnih razlika duž TTF ili numerički odrediti derivaciju na modelu TTF. Ovo je mjesto gdje eksperimentalni šum može biti problem. Ako su podatkovne točke previše blizu jedna drugoj, procjena γ točku po točku može biti slučajna i generirati vrlo visoke vrijednosti.



Slika 5. Primjer γ definirane kao nagib

3.4. Parametarsko oblikovanje šuma

Postoje mnogi načini da se definira parametarski model. Ključ leži u tome da se identificira korisna funkcija koja može aproksimirati opis najbliži eksperimentalnim podacima. Ovo zahtijeva neka iskustva s matematičkim funkcijama različitih tipova, te znanje o načinu kako parametri kontroliraju oblik funkcije.

U ovom slikovnom procesu postoje tri izvora šuma. Prvi je sam papir. Treba napomenuti da i neotisnuti papir ima standardnu devijaciju reflektancije različitu od nule. Ta devijacija se naziva zrnatost σ_p (p - papir) te pridonosi najvećoj zrnatosti slike kod R_{max} . Međutim, pri R_{min} , na najtamnijem dijelu kopirane slike, toner potpuno prekriva papir, i zrnatost je prvenstveno posljedica varijabilnosti u strukturi tonera. Ova zrnatost se naziva σ_i (i - ink). Kako se papiri sve više i više premazuju na različite načine, važnost σ_p bi se trebala smanjiti, a važnost σ_i bi se trebala povećati.

Ovaj efekt se može modelirati definiranjem dijelova slike F_p i F_i kao što je prikazano jednadžbama (3) i (4).

F_p i F_i su izraženi u postotcima i pokazuju postotak nepokrivenosti F_p , odnosno postotak pokrivenosti tintom F_i .

$$F_p = \frac{(R_{x,y} - R_{min})}{(R_{max} - R_{min})} \quad (3)$$

$$F_i = 1 - F_p \quad (4)$$

gdje je:

$R_{x,y}$ – reflektancija slike u točki (x,y) koja nije prekrivena tintom.

Osim varijabilnosti papira i tonera, također i kopirni uređaj ima neku svoju intrinzičnu varijabilnost. Ovdje je predstavljen šum slikovnog sustava kao standardna devijacija i označen je kao σ_c . Oboje, iskustvo i teorija upućuju na to da je varijabilnost sustava općenito pojačana nagibom, γ , TTF sustava. Dodavanje ove varijabilnosti sustava, ukupnom šumu, kreirana je jednadžba (5) za ukupnu varijancu sustava.

Kopirni uređaj omogućuje dobar prikaz ponašanja šuma u većini uređaja koji oblikuju sliku. Šum doseže svoj maksimum aproksimativno na istom mjestu na TTF kao i γ . Ovakvo ponašanje šuma je toliko uobičajeno da se parametarsko oblikovanje jednadžbe (5) često koristi za oblikovanje šuma u uređajima koji oblikuju sliku.

$$\sigma^2 = F(R_o) \cdot \sigma_p^2 + (1 - F(R_o)) \cdot \sigma_i^2 + \gamma(R_o)^2 \cdot \sigma_c^2 \quad (5)$$

gdje je $F(R_o) = \frac{R_o - R_{min}}{R_{max} - R_{min}}$ (6)

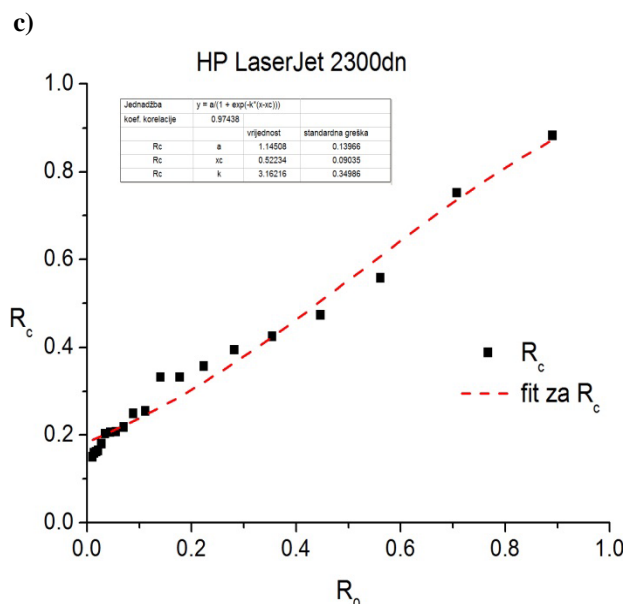
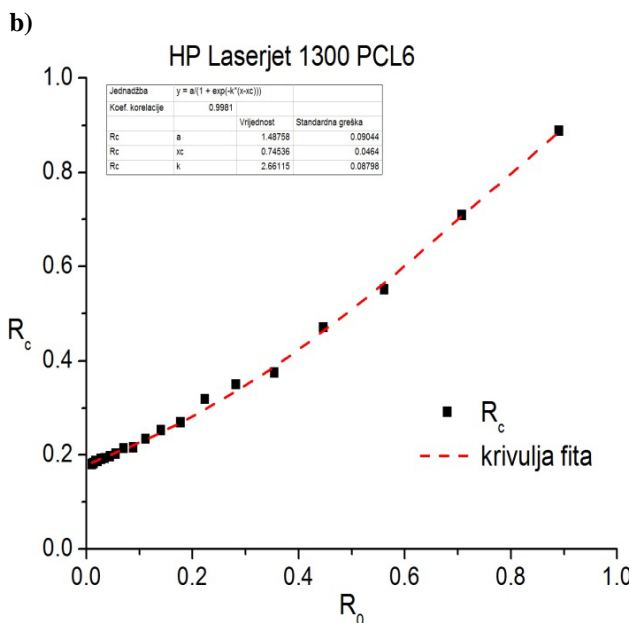
σ – šum izlazne slike,

F – parcijalna udaljenost duž TTF između R_{min} i R_{max} ,

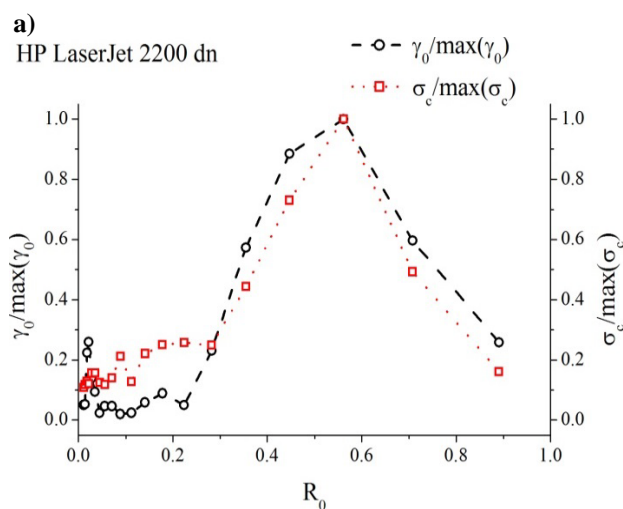
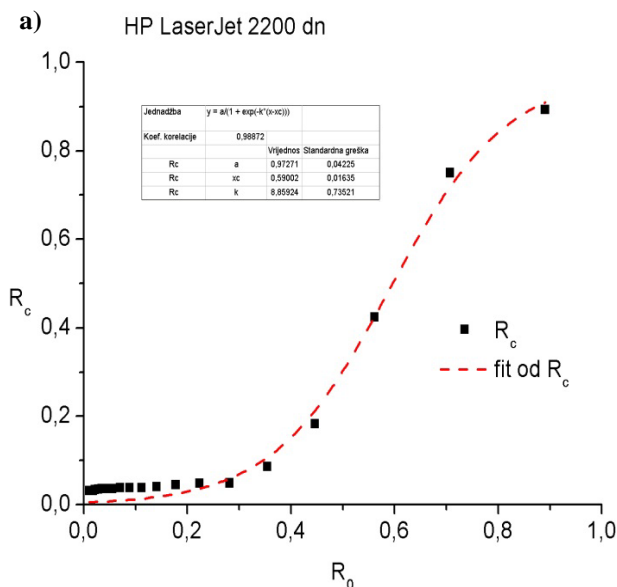
σ_p – šum pozadinskog papira,

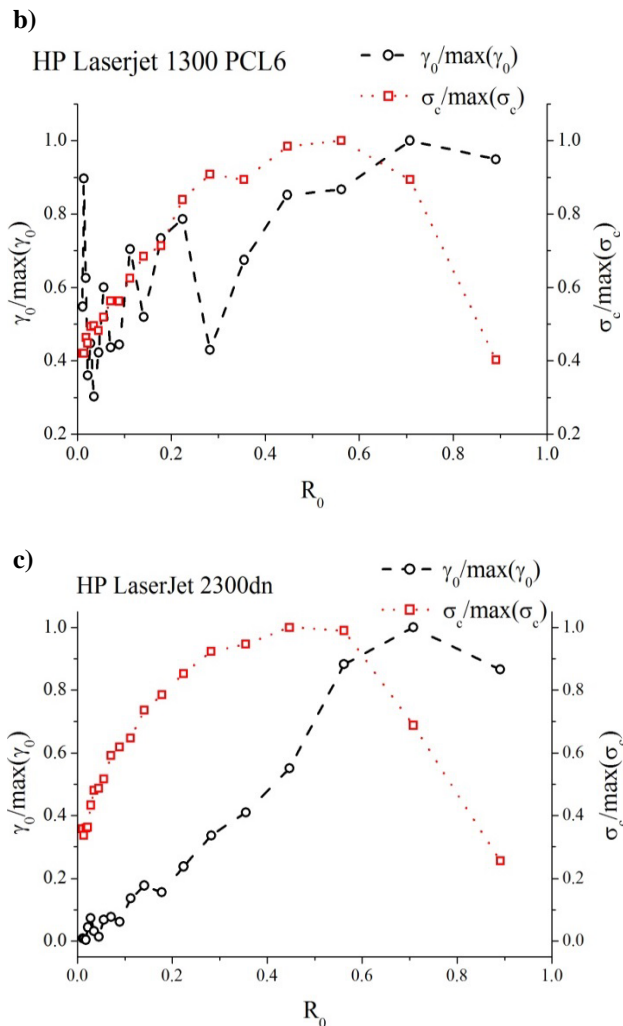
σ_i – šum čvrstog/práškastog tonera,

σ_c – vrijedost šuma koja karakterizira pravi šum kopirnog uređaja.



Slika 6. Dobivene TTF krivulje za sva tri mjerena uređaja. U tablicama su date vrijednosti parametara sigmoidalnog fita





Slika 7. Dobivene vrijednosti γ i šuma σ_c za sva tri mjerena uređaja

Dobivene mjerene vrijednosti računalo su obrađena programom MathCad 11 [5]. Sva tri mjerena uređaja pokazuju da indeks kontrasta uređaja gamma raste prema srednjim vrijednostima reflektancije R_0 , međutim tek usporedba sa šumom koji se javlja pri određenim vrijednostima sive skale pokazuje da porastom kontrasta raste i šum uređaja. To se najbolje vidi kod HP LaserJet 2200 dn pisača, dok ostali pisači pokazuju izrazito loše karakteristike transfera kontrasta i šuma koji je evidentno intrističan samim uređajima. Nadalje, taj uređaj također pokazuje da je tipična vrijednost za zrnatost (šum) $\sigma = 0,02645$ u jedinicama refleksije, a tipičan raspon refleksija je od $R_{min} = 0,14589$ do $R_{maks} = 0,97155$.

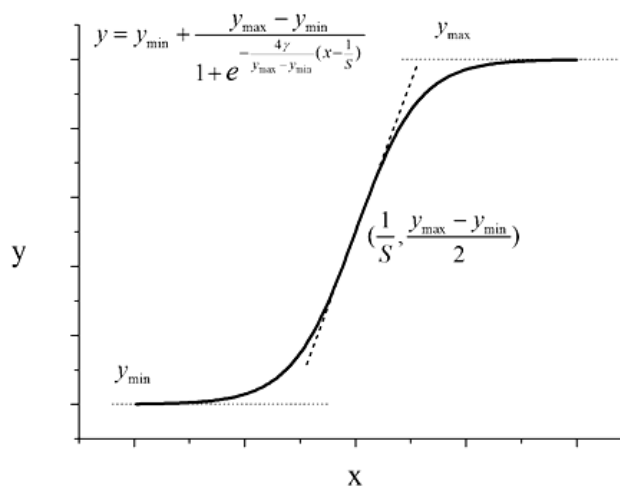
To znači da uređaj može reproducirati $(0.97155 - 0.14589) / 0,02645 = 31$ sivi ton koji se može razlikovati. Ostali uređaji pokazuju lošije rezultate.

3.5. Jednadžba funkcije kojom je aproksimirana TTF funkcija pojedinog pisača (Sigmoidna funkcija)

Mnogi prirodni procesi, kao što je na primjer rast neke populacije, pokazuju progresiju od malih početaka koji ubrzavaju i približavaju se vrhuncu tijekom vremena. Kada nedostaje detaljan opis, često se koristi sigmoidna funkcija [6].

Jednadžba (7) daje vrlo korisnu funkciju za modeliranje eksperimentalnih podataka koji prikazuje sigmoidalno ponašanje. U početku, često se sigmoidna funkcija odnosi na poseban slučaj logističke funkcije koja je prikazana na slici 8, a definirana je jednadžbom:

$$y = y_{min} + \frac{y_{max} - y_{min}}{1 + e^{-\frac{4\gamma}{y_{max} - y_{min}}(x - \frac{1}{S})}} \quad (7)$$



Slika 8. Prikaz funkcije i parametra koji se pojavljuju u tablici

Inicijalno, ova funkcija izgleda kompleksno, međutim, ona sadrži samo četiri parametra, y_{min} , y_{max} , γ i S . Svaki od tih parametara lako se vežu na dijelove eksperimentalnog skupa podataka. Na primjer, y_{min} , y_{max} su minimalne i maksimalne vrijednosti od izlaza iz procesa snimanja, a parametar S je identičan osjetljivosti. Osim toga, može se pokazati da je vrijednost γ identična nagibu funkcije pola puta između y_{max} i y_{min} , odnosno:

$$\gamma = \frac{dy}{dx} \text{ u točki } y = y_{min} + \frac{y_{max} - y_{min}}{2} \quad (8)$$

Logistička funkcija pronalazi aplikacije u širokom rasponu područja, uključujući i umjetne neuronske mreže, biologiju, biomatematiku, demografiju, ekonomiju, kemiju, matematičku psihologiju, vjerojatnost, sociologiju, politologiju i statistiku.

4. ZAKLJUČAK

Svjetlina i kontrast su svojstva slike, dok su osjetljivost i gama svojstva slikovnih sustava koji kontroliraju svjetlinu i kontrast slike. Često se, međutim, pojmovi svjetline i kontrasta također primjenjuju i na slikovne sustave. Nedosljednost u nomenklaturi je manifestacija brzog rasta u elektronske i digitalne akvizicije slike u posljednjih nekoliko desetljeća i stapanja tradicionalne nomenklature vezane uglavnom za filmske kamere, elektronske senzore i digitalne tehnologije. Unatoč tim razlikama u nazivlju, osnovne ideje su iste. Raspodjela sive skale slike, predstavljena histogramom slike, je potpuna metrika slikovnog

kontrasta i svjetline, a TTF je potpuna metrika kontrasta i svjetline (osjetljivost i gama) karakteristika slikovnih sustava. Ova metoda može pomoći pri određivanju kvalitete reprodukcije obzirom da može dati podatke o broju različitih vrijednosti sive skale koju slikovni sustav može pružiti. Ovo se posebno pokazuje značajnim ako reproduciramo slike s mnoštvom sivih tonova. Razumijevanje TTF je osnova za razumijevanje prostornih svojstava (lokacija objekta, način izobličenja lokacije uređajem za snimanje) slike.

5. LITERATURA

- [1] Dainty, J.C.; Shaw, R.: "Image Science", Academic Press, NY, 1974.
- [2] Imagej user-guide, rsbweb.nih.gov/ij/docs/user-guide.pdf
- [3] Hazewinkel, M.: "Linear interpolation", Encyclopedia of Mathematics, Springer, 2001. ISBN 978-1-55608-010-4
- [4] Gergonne, J. D.: "The application of the method of least squares to the interpolation of sequences". *Historia Mathematica* 1 (4), (1974) 439–447, doi:10.1016/0315-0860(74)90034-2.
- [5] Hoffman, J. M.: A Mathcad Instruction Manual, <http://antoine.frostburg.edu/phys/hoffman/Mathcad%20Manual/Cover%20Sheet.htm>
- [6] Gibbs, M. N.: "Variational Gaussian process classifiers". *IEEE Transactions on Neural Networks* 11 (6), (2000) 1458–1464.

Kontakt autora:

Dr. sc. Damir Modrić

Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet

Getaldićeva 2, Zagreb

e-mail: damir.modric@grf.hr

Dr. sc. Dean Valdec, v. pred.

Sveučilište Sjever, Sveučilišni centar Varaždin

104. brigade 3, Varaždin

e-mail: dean.valdec@unin.hr