

Analiza restauracije slike snimljene detekcijom neželjenog zračenja monitora računara jednostavnim alatima

Borko Đaković
Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu i
Centar za primenjenu matematiku i elektroniku
Beograd, Srbija
borko.djakovic@vs.rs, 0009-0000-4662-3981

Milena Grdović
Centar za primenjenu matematiku i elektroniku
Beograd, Srbija
milena.grdovic@gmail.com, 0000-0003-4310-7935

Nenad Stojanović
Vojna akademija, Univerzitet odbrane i
Centar za primenjenu matematiku i elektroniku
Beograd, Srbija
nivzvz@hotmail.com, 0000-0001-9328-5348

Branko Vujatović
Centar za primenjenu matematiku i elektroniku
Beograd, Srbija
branko.vujatovic@vs.rs, 0009-0008-9580-340X

Abstract—U radu je izvršena uporedna analiza jednostavnih i često korišćenih tehnika za restauraciju slike. Ukupno je korišćeno 13 tehnika za restauraciju slike, a njihova uporedna analiza izvršena je pomoću tri mere za objektivnu procenu kvaliteta slike. Za potrebe restauracije, korišćena je slika detektovana sa monitora računara putem neželjenog elektromagnetnog zračenja. Pokazano je da se jednostavnim metodama može dobiti dovoljno kvalitetna slika, sa koje se mogu preuzeti podaci potencijalno važni i poverljivi za korisnika računara, bez njegovog znanja o tome. Ukazano je na važnost primene zaštitnih mera u cilju smanjenja neželjenog zračenja sa računarske i elektronske opreme na kojoj se obrađuju podaci.

Ključne reči—restauracija slike, kvalitet slike, KEMZ, monitor

I. UVOD

U savremenom svetu prenos različitih vrsta informacija je od velikog značaja u različitim primenama. Podaci koji se prenose mogu biti važni za neku od strana i ne smeju biti kompromitovani, a sačuvati njihov integritet i bezbednost je od velikog značaja. Naročito su osetljivi lični podaci korisnika vezani za bankarske usluge kao lozinke za različite naloge. Način na koji se mogu otkriti poverljivi podaci je snimanjem, obradom i rekonstrukcijom neželjenog elektromagnetnog zračenja sa uređaja [1]. Kompromitujuće elektromagnetno zračenje (KEMZ) odlikuje nenamerna emisija koja nastaje kao nusprodukt rada elektronskih uređaja, što daje mogućnost da se na određenoj udaljenosti izvrši rekonstrukcija slike sa monitora [2, 3] i nadzornih kamera [4], presretne i dekodira signal tastature [5, 6] i prikupe informacije sa USB memorija [7], projektoru [8] ili štampača [9]. Karakteristično za ovaj vid napada na informacione strukture je u tome što uređaji nesmetano rade i korisnik ne može primetiti da se nad njim izvodi napad. Na ovaj način mogu se prikupiti osetljive informacije, a da pritom nije potrebno pristupiti informacionom sistemu ili dešifrovati podatke koji su zaštićeni algoritmima kriptozastite [10].

Prijemnici sa niskim pragom prijema, napredni antenski sistemi, računari i procesori koji mogu velikom brzinom da vrše složenu obradu signala samo su deo elemenata koji se mogu koristiti radi dolaska do informacija kroz bočne bežične kanale. Značaj primene mera zaštite od KEMZ je stoga jako veliki.

U dosadašnjim istraživanjima pokazano je da je najlakše izvršiti rekonstrukciju slike sa monitora, zbog intenziteta zračenja, što ovu komponentu čini najosetljivijom u domenu informacione bezbednosti. Rekonstruisane slike sadrže određeni nivo šuma, pa je za povećanje kvaliteta potrebno izvršiti restauraciju detektovane slike.

Restauracija slike predstavlja metodu obrade slike gde je potrebno izvršiti kompenzaciju degradacije koje su se pojavile na slici. Restauracija slike ima primenu u daljinskom osmatranju, astronomiji, sistemima koji prikupljaju vizuelne signale u pokretu i drugim sistemima gde se prilikom akvizicije dobija slika narušenog kvaliteta. Tehnike restauracije slike se mogu podeliti na direktne, iterativne i numeričke [11].

Kod direktnih tehnika, koje se primenjuju u ovom radu, vrši se filtriranje slike u cilju uklanjanja degradacije, odnosno poboljšanja njenog kvaliteta, uz prethodno neophodno procenjivanje parametara degradacije koje se nalaze na slici [11].

Cilj rada je da se utvrdi efikasnost najčešće primenjenih tehnika za restauraciju slike na slikama prikupljenih detekcijom neželjenog elektromagnetnog zračenja sa monitora računara i da se ukaže na opasnost od otkrivanja tajnih informacija kroz kompromitujuće elektromagnetno zračenje.

Rad je dalje organizovan na sledeći način. U drugom odeljku dat je kratak pregled korišćenih tehnika za restauraciju slike. Treći odeljak prikazuje način na koji je vršena analiza i procena parametara degradacije na slici. U četvrtom odeljku dati su ostvareni rezultati, dok su u petom odeljku dati najvažniji zaključci.

II. TEHNIKE RESTAURACIJE SLIKE

Restauracija slike se može vršiti u prostornom ili spektralnom domenu. U ovom radu su razmatrane najčešće korišćene metode restauracije u prostornom domenu. Takođe je korišćeno još nekoliko adaptivnih tehnika za restauraciju slike. Pored navedenih korišćena je i nešto složenija *Block-Matching and 3D filtering* (BM3D) [12] tehnika za uklanjanje šuma iz slike.

Kod prostornog filtriranja, postoji nekoliko tipova filtera koji se koriste u cilju restauracije slike. Ovi filteri vrše filtriranje

korišćenjem prozora (bloka) piksela u okviru kojih se obavljaju odgovarajući proračuni. Nakon izvršenih proračuna u okviru svakog od prozora slike koju je potrebno restaurirati, u njegovom centru se dobija nova vrednost piksela, sada već restaurirane slike [13].

Jedan tip prostornih filtera se zasniva na usrednjavanju (engl. *mean filters*). Ovde se mogu izdvojiti četiri takva filtra i to filtriranje aritmetičkim usrednjavanjem, filtriranje geometrijskim usrednjavanjem, harmonijski filter i kontraharmonijski filter. Filtriranje aritmetičkim usrednjavanjem se zasniva na izračunavanju srednje vrednosti u okviru prozora, nakon čega se dobijena vrednost dodeljuje pikselu u centru prozora restaurirane slike. Ovim filtrom se redukcija šuma postiže zamrljanjem/zamagljivanjem (engl. *blurring*) slike. Filtriranje geometrijskim usrednjavanjem vrši se množenjem i normalizacijom svih piksela u okviru razmatranog prozora. Ovaj filter postiže slične rezultate kao filter sa aritmetičkim usrednjavanjem u homogenim regionima uz bolje očuvanje detalja u regionima sa više tekture. Harmonijski i kontraharmonijski filteri najbolje rezultate postižu kod impulsnih šumova, ali se mogu koristiti i kod Gausovog šuma [13].

Drugi tip su filteri na bazi statističkog poretka (engl. *order-statistic filters*). Predstavnicima ovog tipa filtra su medijan filter, filter maksimalnih vrednosti, filter minimalnih vrednosti, midpoint filter i alfa-trimovani filter sa usrednjavanjem (engl. *alpha-trimmed mean*). U skladu sa nazivima, medijan, maksimum i minimum, filteri uzimaju odgovarajuće vrednosti iz jednog prozora slike koja se restaurira i dodeljuju tu vrednost pikselu u centru prozora restaurirane slike. Navedeni filteri su najefikasniji kod impulsnih tipova šuma. Filter midpoint predstavlja kombinaciju statističkog poretka i usrednjavanja, a najbolje rezultate pokazuje kod Gausovog i uniformnog šuma. Alfa-trimovani filter sa usrednjavanjem vrši odsecanje dela piksela sa najvišim i najnižim vrednostima u skladu sa definisanim pragom u okviru svakog prozora, nakon čega se vrši usrednjavanje preostalih vrednosti, čime se dobija konačna vrednost piksela restaurirane slike. Najčešće se koristi kod slika gde se pojavljuju višestruke degradacije, kao što su Gausov šum i impulzni šumovi [13].

Tri adaptivne tehnike za restauraciju slike, korišćene u ovom radu, su adaptivno lokalno usrednjavanje (ALU), adaptivni medijan filter (AMF) i Wiener filter. ALU filter se zasniva na usrednjavanju slike na lokalnom nivou na osnovu procenjenih vrednosti parametara šuma. Ukoliko je lokalna varijansa šuma veća u odnosu na varijansu šuma procenjenju za

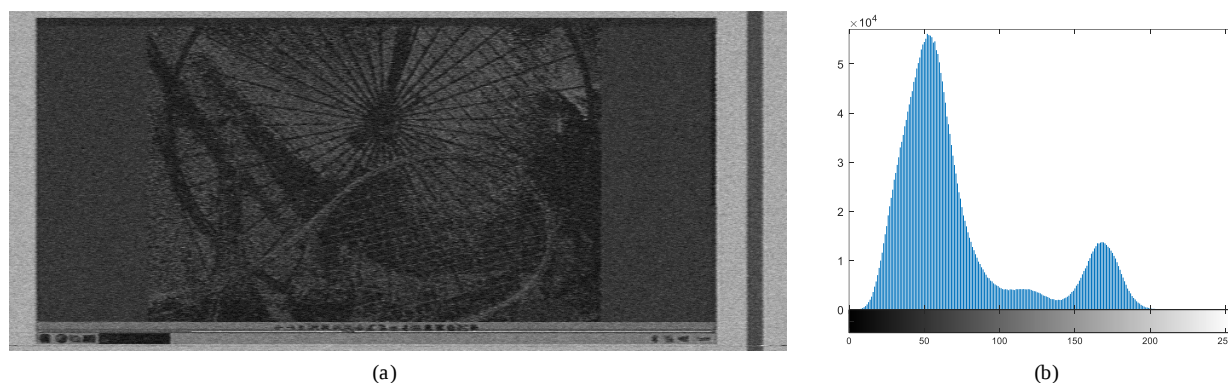
celu sliku, izlaz filtra ima za cilj očuvanje ivica, odnosno detalja. Za slučaj kada je lokalna varijansa šuma bliska sa globalnom, vrši se usrednjavanje u okviru prozora u cilju uklanjanja šuma. Kod AMF se filtriranje sprovodi u dve faze. U prvoj fazi se određuje veličina susedstva potrebna za filtriranje na osnovu definisane maksimalne veličine prozora, gde određivanje medijan vrednosti počinje od prozora 3×3 piksela. U drugoj fazi se vrši uklanjanje šuma, ukoliko se proceni da je šum prisutan. Wiener filter na osnovu procene parametara šuma vrši filtriranje korišćenjem filtra propusnika niskih frekvencija u okviru prozora na nivou piksela [14].

Pored navedenih tehnika koje su u širokoj upotrebi, nešto složeniji algoritam koji je takođe u širokoj primeni zbog svoje efikasnosti je BM3D. Upravo zbog svoje efikasnosti, došlo je do nastanka velikog broja različitih modifikacija za različite primene [15, 16]. BM3D se zasniva na grupisanju blokova sličnih karakteristika koji se određuju pomoću prozora koji „klizi” za po jedan piksel po slici. Nakon toga se vrši 3D transformacija sličnih grupisanih blokova uz procenu prisustva šuma na nivou bloka. Nakon dodatnog grupisanja i procena vrši se filtriranje i agregacija pri čemu se dobija restaurirana slika.

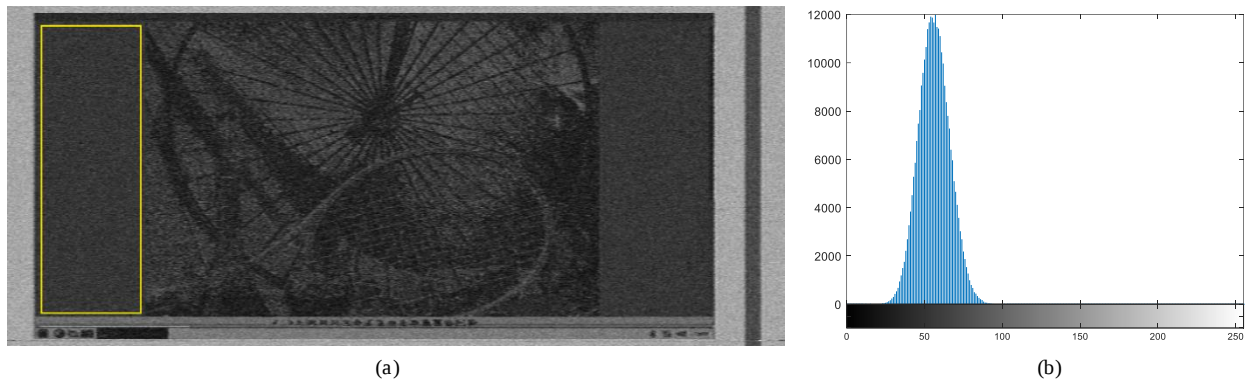
III. PROCENA PARAMETARA DEGRADACIJE NA SLICI

Za potrebe analize izabrana je slika snimljena detekcijom neželjenog elektromagnetnog zračenja monitora računara. Slika je snimljena u laboratorijskim uslovima. Upotrebom softverski definisanog radija (SDR) i usmerene log-periodične antene snimljeni su I/Q odbirci frekvencije odabiranja 25 MHz, što ujedno definiše i širinu opsega signala. I/Q odbirci signala su naknadno obrađeni u softverskom paketu MATLAB. Izvršeno je izdvajanje odbiraka koji odgovaraju jednom frejmu prikazane slike na ekranu. Nakon toga je izvršena interpolacija odbiraka kako bi se nadoknadili pikseli izgubljeni zbog nedovoljne frekvencije odabiranja signala, kao i reorganizacija odbiraka u dvodimenzionu matricu. Kao rezultat dobijaju se degradirane slike koje odgovaraju slici prikazanoj na ekranu monitora uz gubitak informacije o boji.

U [17] je pokazano da je moguće postići efikasne rezultate u akviziciji slike sa monitora računara putem kompromitujućeg elektromagnetnog zračenja i u realnom okruženju na velikim rastojanjima. Takođe se efikasni rezultati postižu i u slučaju prisustva više izvora zračenja [18]. Prikupljene slike su degradirane i evidentno je prisustvo šuma. Slika izabrana za potrebe analize prikazana je na slici 1(a). Pored slike, prikazan je i njen histogram (slika 1(b)). Evidentno je veće prisustvo tamnijih piksela.



Sl. 1 (a) Slika snimljena detekcijom neželjenog zračenja monitora i (b) njen histogram



Sl. 2 (a) Slika sa označenim izdvojenim regionom za procenu degradacije slike i (b) histogram izdvojenog regiona

Način procene degradacije na testnoj slici može se izvršiti na sledeći način. Najpre se vizuelno pregleda slika i u konkretnom primeru je utvrđeno da postoji značajna količina šuma. U sledećem koraku potrebno je utvrditi parametre tog šuma. Da bi se utvrdili parametri šuma, potrebno je izdvojiti jedan homogeni region slike sa što većom površinom. Za izdvojeni region izračuna se srednja vrednost i varijansa koja bi trebala da bude dobar pokazatelj o kakvom šumu u slici je reč.

Na slici 2(a) prikazana je slika sa naznačenim regionom koji je uzet za procenu parametara šuma. Na slici 2(b) prikazan je histogram izdvojenog regiona slike. Sa histograma se vidi da šum koji je dominantan na slici ima Gausovu raspodelu. Srednja vrednost intenziteta piksela u izdvojenom regionu slike iznosi 56.29, dok je vrednost varijanse 101.14. Srednja vrednost pokazuje procenjenju, najverovatniju vrednost svih piksela u homogenom regionu slike. Varijansa pokazuje snagu šuma u izdvojenom regionu i daljom pretpostavkom najverovatniju snagu i na čitavoj slici.

Izabrana (prikazana) slika je reprezentativna i na ostalim slikama ovakvog tipa izdvaja se visok nivo Gausovog šuma kao dominantne degradacije. Na osnovu procene parametara degradacije na slici i tipova šuma za koje su efikasne tehnike predstavljene u prethodnom odeljku, zaključeno je da se iste mogu primenjivati na slici snimljenoj detekcijom neželjenog zračenja monitora računara.

IV. ANALIZA REZULTATA

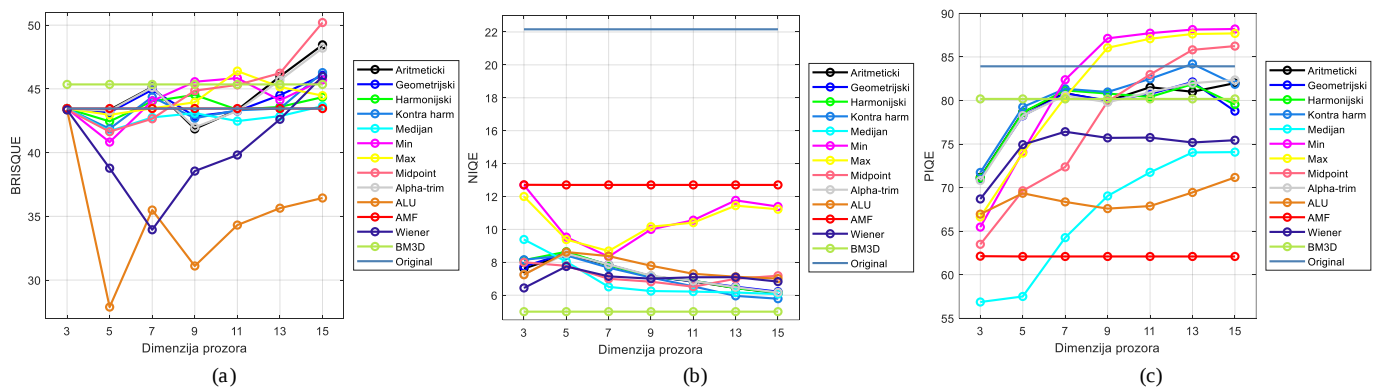
Primenom tehnika za restauraciju slike opisanih u drugom odeljku, izvršena je uporedna analiza njihove efikasnosti. Efikanost restauracije procenjena je određivanjem kvaliteta restauriranih slika. Kvalitet slike je određivan primenom tri mere za procenu kvaliteta slike bez referenciranja (engl. *no-reference*).

Kod mera bez referenciranja, kvalitet slike se određuje bez potrebe za poznavanjem originalne/referentne slike u odnosu na koju bi se kvalitet degradirane slike procenjivao. Razlog je taj što bi u scenariju detekcije neželjenog zračenja sa monitora računara takva slika bila nedostupna.

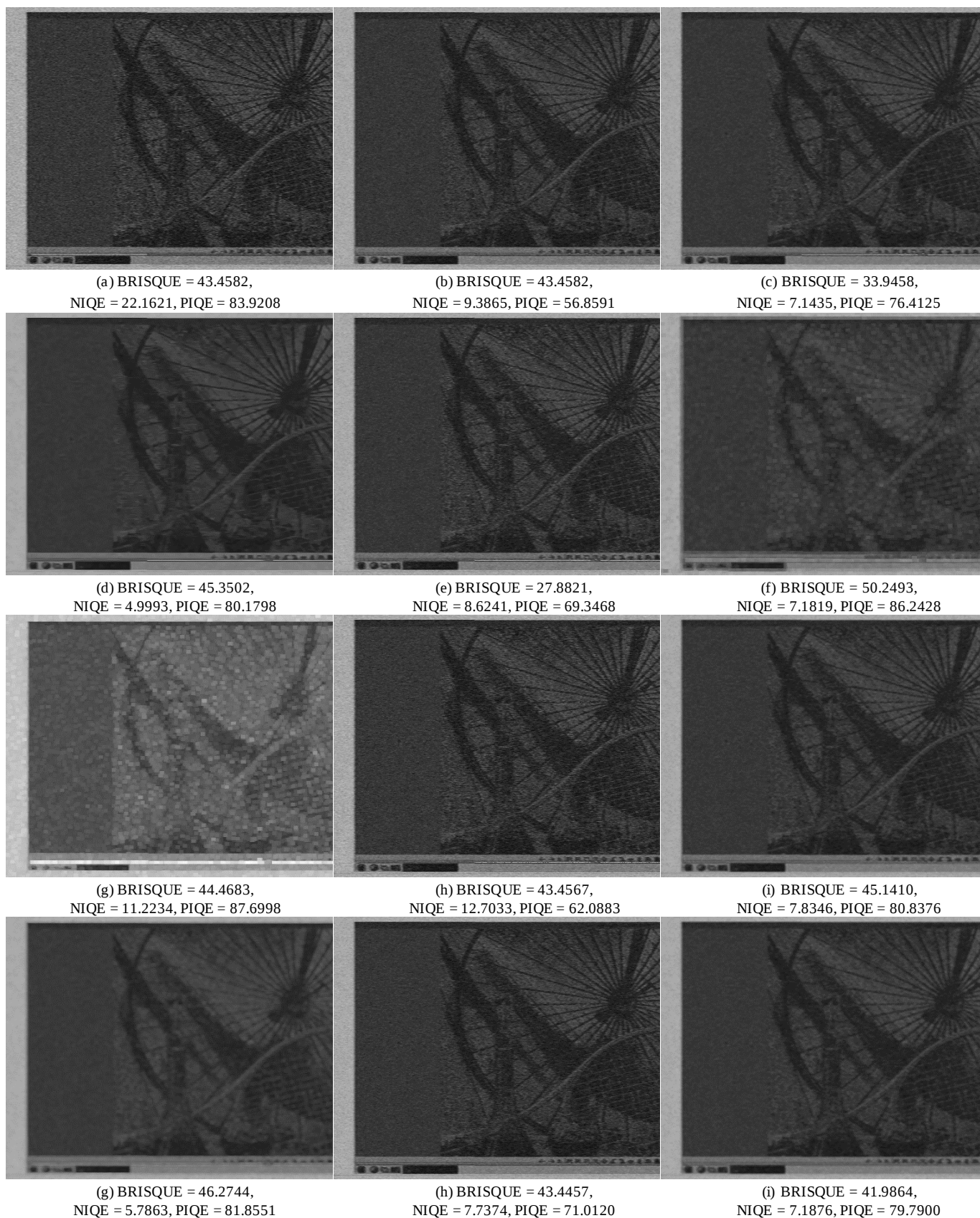
Korišćene mere za procenu kvaliteta slike su *Blind/Referenceless Image Spatial Quality Evaluator* (BRISQUE) [19], *Natural Image Quality Evaluator* (NIQE) [20] i *Perception-based Image Quality Evaluator* (PIQE) [21]. Kod sve tri mere, bolji kvalitet slike predstavljen je nižim vrednostima, dok je višim vrednostima prikazan lošiji kvalitet. Mere su korišćene sa predefinisanim vrednostima iz softverskog paketa MATLAB i nije vršeno njihovo dodatno obučavanje s obzirom da su mere bazirane na mašinskom učenju. Mere pokazuju visoke performanse prilikom procene kvaliteta slika degradiranih Gausovim šumom sa stepenom slaganja sa subjektivnim procenama od preko 96% na LIVE bazi slika [22] prema rezultatima predstavljenim u [19, 20, 21].

Rezultati dobijeni nakon testiranja prikazani su grafički na slici 3. Analiza je izvršena za 7 različitih dimenzija prozora (3×3, 5×5, 7×7, 9×9, 11×11, 13×13 i 15×15 piksela). Na svakom od grafika, prikazana je konstantna vrednost kvaliteta slike koja je korišćena za restauriranje.

Na slici 3(a) prikazane su vrednosti dobijene korišćenjem mere BRISQUE. Vrednost objektivnog kvaliteta slike koja se restaurira je 43.4582. Ono što se može odmah uočiti je da velikim brojem tehnika za restauraciju nije postignut željeni efekat poboljšanja kvaliteta slike, čak je nekim tehnikama kvalitet slike pogoršan. Dve tehnike se ipak mogu izdvojiti sa postignutim nešto boljim rezultatima u odnosu na ostale i to za manje dimenzije prozora, a to su ALU i Wiener.



Sl. 3 Vrednosti objektivnog kvaliteta slike restaurirane različitim metodama dobijene korišćenjem (a) BRISQUE, (b) NIQE i (c) PIQE



Sl. 4 Primeri restauriranih slika primenom (a) nerestaurirana slika, (b) medijan filtar 3x3, (c) Wiener filtar 5x5, (d) BM3D, (e) ALU 5x5, (f) midpoint 15x15, (g) maksimum 15x15, (h) AMF 9x9 (i) aritmetičko usrednjavanje 7x7, (j) kontraharmonijski filtar 15x15 (k) geometrijsko usrednjavanje 3x3 (l) alfa-trim 9x9

Na slici 3(b) su prikazane vrednosti kvaliteta restauriranih slika primenom mere NIQE. Za razliku od mere BRISQUE, mera NIQE pokazuje da je kvalitet slika poboljšan u značajnoj meri za sve razmatrane tehnike za restauraciju. Prema

dobijenim rezultatima, najbolji efekti se dobijaju primenom BM3D, a najlošiji primenom AMF. Slika koja se restaurira ima vrednost objektivnog kvaliteta 22.1621, a primenom BM3D tehnike se kvalitet popravlja i dostiže vrednost nižu od 5.

Rezultati dobijeni korišćenjem mere PIQE prikazani su na slici 3(c). Nekoliko tehnika za restauraciju pokazuju da je došlo do pogoršanja kvaliteta slike nakon njihove primene i to midpoint i filtri maksimalnih i minimalnih vrednosti za veće dimenzije prozora. Najbolje rezultate su pokazali medijan filter za manje dimenzije prozora i AMF. Zanimljivo je da su i kod najlošijih i kod najboljih tehnika u ovom slučaju u pitanju filtri zasnovani na statističkom poretku. Objektivna vrednost slike koja se restaurira je prema ovoj meri 83.9208.

Iz dobijenih rezultata se može uočiti da su u sva tri slučaja najlošije rezultate restauracije slike pokazali filtri minimalne i maksimalne vrednosti. Metoda koja se izdvaja, kao tehnika koja podiže kvalitet restauriranih slika je ALU.

Međutim, kroz rezultate prikazane na slici 3 mogu se uočiti i pojedini rezultati koji su suprotni jedni u odnosu na druge za različite mere za procenu kvaliteta slike. Tako na primer, BM3D prema meri NIQE daje odlične rezultate restauracije, dok prema BRISQUE i PIQE to nije slučaj. Slično je i za AMF, gde je prema meri NIQE ona postigla najlošije rezultate, a prema meri PIQE najbolje za većinu testiranih dimenzija prozora.

Isto tako, ne može se reći i da je samo mera NIQE dala drugačije rezultate za pojedine tehnike u odnosu na druge dve mere za objektivnu procenu kvaliteta slike. Korišćenjem medijan filtra, posmatranjem rezultata dobijenih merom PIQE, postignuti su dobri rezultati u restauraciji. Isto važi i za meru NIQE, ali kod BRISQUE to nije slučaj i poboljšanja u kvalitetu slike nakon restauracije su minimalna.

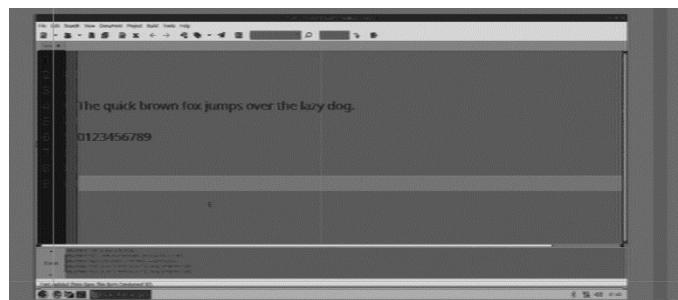
Takođe je karakteristično, a važi za mere NIQE i PIQE, da sa povećanjem dimenzije prozora, kvalitet slike raste, odnosno opada, respektivno. To važi za veliki broj korišćenih tehnika za restauraciju slike. Ovo se može povezati sa činjenicom da se prilikom filtriranja slike vrši uklanjanje prisutnog šuma uz zamagljivanje slike. Time se jedna degradacija menja drugom, što krajnjem korisniku u zavisnosti od primene može biti prihvatljivo, ali mera za objektivnu procenu kvaliteta pokazuje da je restaurirana slika lošijeg kvaliteta.

Mere objektivne procene kvaliteta slika bez referenciranja su se u početku razvijale samo za neku određenu degradaciju, dok su kasniji predlozi ovih mera postizali dobre rezultate nezavisno od tipa degradacije. Iako su pojedine mere postigle veoma visoke stepene slaganja sa subjektivnim procenama na pojedinim bazama slika, to nije slučaj na nekim drugim slikama sa istim tipovima degradacija, što je i slučaj sa korišćenim merama [23]. Pored toga i dalje je aktuelan problem procene kvaliteta slike sa višestrukim degradacijama, što je izuzetno značajan problem koji se javlja kod slika prikupljenih putem kompromitujućeg elektromagnetnog zračenja.

Na slici 4 dati su primeri restauriranih slika primenom opisanih tehnika za restauraciju slike. Uz primenjeni tip filtra data je i vrednost dimenzije prozora. Uz svaku sliku su date i vrednosti kvaliteta slike dobijene primenom mera BRISQUE, NIQE i PIQE. Na primeru je prikazana leva polovina slika zbog boljeg prikaza uticaja filtra na restauriranu sliku. Na slici su prikazani primeri gde su restaurirane slike značajno

popravljenog kvaliteta, a i slike koje su po merama BRISQUE i PIQE lošijeg kvaliteta u odnosu na sliku koju treba restaurirati. Sa primera se može uočiti da nijedna tehnika nije uspeła u potpunosti da ukloni šum, ali su sve uspele u manjoj ili većoj meri da ga potisnu. Subjektivnim pregledom restauriranih slika, može se zaključiti da BM3D tehnika daje najbolje rezultate, te i mera NIQE treba da se uzme kao najpogodnija za analizu ovakvog tipa slika.

Koja metoda restauracije slike bi trebala da se koristi ipak zavisi od toga kojoj primeni su namenjene slike koje se restauriraju. Kada je reč o slikama prikupljenim putem neželjene elektromagnetne emisije monitora računara, razlozi su prikupljanje tajnih, nepristupačnih podataka potrebni trećoj strani. Time se može doći do važnih informacija koje mogu biti zloupotrebene. S tim u vezi, na slici 5 je dat primer monitora računara na kojem se vrši obrada tekstualnih podataka. Nakon akvizicije slike bežičnim putem korišćenjem neželjenog zračenja monitora i primenom filtra sa geometrijskim usrednjavanjem za dimenzije prozora 3×3 piksela, dolazi se do potpunih podataka koji se trenutno nalaze na ekranu. Pritom, treba naglasiti da je filter sa geometrijskim usrednjavanjem dao prosečne rezultate u prethodnoj analizi.



Sl. 5 Slika monitora računara dobijena detekcijom neželjenog zračenja monitora računara tokom obrade teksta

Zbog opasnosti do koje može dovesti kompromitujuće elektromagnetno zračenje, izuzetno je važno primenjivati mere zaštite koje obuhvataju oklapanje uređaja i prostorije u kojoj se nalazi uređaj, korišćenje specijalnih fontova slova, umetanje filtera u kablove radi suzbijanja emisija ili korišćenje ometača koji će da prikrije kompromitujuće elektromagnetno zračenje, odnosno izazove efekat maskiranja [24, 25, 26]. U slučaju nemogućnosti oklapanja prostorija i objekata, što može biti komplikovano kada objekat nije pravljen namenski i svakako skupo, predlaže se zoniranje, i u skladu sa tim namenski razmeštaj prostorija u okviru objekta radi efikasnije zaštite od oticanja informacija putem neželjenog elektromagnetnog zračenja [26].

Kvalitet slike iz primera bi mogao dalje da se poboljša korišćenjem tehnika za uklanjanje zamrljanja (engl. *deblurring*) usled pojave ove degradacije nakon primene tehnika za uklanjanje Gausovog šuma.

U ovom radu su izvršena inicijalna istraživanja korišćenjem samo jedne reprezentativne slike te bi za dalja opsežnija istraživanja bila neophodna odgovarajuća baza slika.

V. ZAKLJUČAK

U radu je pokazano da je nakon izvršene detekcije kompromitujućeg elektromagnetnog zračenja i rekonstrukcije trenutne slike sa monitora računara, primenom jednostavnih alata za restauraciju slike, moguće doći do značajnih rezultata

uprkos velikoj količini šuma koji se pojavljuje. Izvršena je uporedna analiza metoda za restauraciju slike i korišćenjem tri mere za objektivnu procenu kvaliteta slike pokazana je njihova efikasnost.

U daljem radu planirano je kreiranje baze slika prikupljenih putem neželjenog zračenja sa monitora računara. Na osnovu baze slika planiran je razvoj metode za restauraciju ovakvog tipa slika, koje u sebi mogu sadržati višestruke degradacije. Takođe je planirano i kombinovanje tehnika za restauraciju slike u cilju postizanja veće efikasnosti.

LITERATURA

- [1] V. Antić, D. Protić, M. Stanković, R. Prodanović, M. Manić, G. Ostojić, S. Stankovski, D. Kučević, "Protecting data at risk of unintentional electromagnetic emanation: TEMPEST profiling," *Applied Sciences*, vol. 14, art.no. 4830, June, 2024, doi: [10.3390/app14114830](https://doi.org/10.3390/app14114830)
- [2] A. M. Vizitiu, M. A. Sandu, L. Dobrescu, A. Focsa, C. C. Molder, "Comparative approach to de-noising TEMPEST video frames," *Sensors*, vol. 24, art.no. 6292, September, 2024, doi: [10.3390/s24196292](https://doi.org/10.3390/s24196292)
- [3] M. Grdović, D. Protić, V. Antić, B. Jovanović, "Screen reading: electromagnetic information leakage from the computer monitor," *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, vol. 70, no. 4, pp. 836-855, 2022, doi: [10.5937/vojtehg70-38930](https://doi.org/10.5937/vojtehg70-38930)
- [4] Y. Long, Q. Jiang, C. Yan, T. Alam, X. Ji, W. Xu, K. Fu, "EM eye: Characterizing electromagnetic side-channel eavesdropping on embedded cameras," in *Proceedings of ACM the Network and Distributed System Security (NDSS)*, San Diego, CA, USA, February 26-March 01, 2024, doi: [10.14722/ndss.2024.24552](https://doi.org/10.14722/ndss.2024.24552)
- [5] Y. Peng, J. Zhang, J. Mao, M. Cui, "A signal-denoising method for electromagnetic leakage from USB keyboards," *Electronics*, vol. 12, art.no. 3647, August, 2023, doi: [10.3390/electronics12173647](https://doi.org/10.3390/electronics12173647)
- [6] S. Jovanović, D. Protić, V. Antić, M. Grdović, D. Bajić, "Security of wireless keyboards: threats, vulnerabilities and countermeasures," *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, vol. 71, no. 2, pp. 296-315, 2023, doi: [10.5937/vojtehg71-43239](https://doi.org/10.5937/vojtehg71-43239)
- [7] A. Boitan, S. Halunga, V. Bindar, O. Fratu, "Compromising electromagnetic emanations of usb mass storage devices," *Wireless Personal Communications*, vol. 126, no. 1, pp. 97-122, 2022, doi: [10.1007/s11277-020-07329-8](https://doi.org/10.1007/s11277-020-07329-8)
- [8] A. Boitan, I. Kubiak, S. Halunga, A. Prybysz, A. Stańczak, "Method of Colors and Secure fonts used for source shaping of valuable emissions from projector in electromagnetic eavesdropping process," *Symmetry*, vol. 12, art.no. 1908, November 2020, doi: [10.3390/sym12111908](https://doi.org/10.3390/sym12111908)
- [9] I. Kubiak, "Laser printer as a source of sensitive emissions," *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, vol. 26, no. 3, pp. 1354-1366, 2018, doi: [10.3906/elk-1704-9](https://doi.org/10.3906/elk-1704-9)
- [10] Y. Hayashi, "State-of-the-art research on electromagnetic information security," *Radio Science*, vol. 51, no. 7, pp. 1213-1219, 2016, doi: [10.1002/2016RS006034](https://doi.org/10.1002/2016RS006034)
- [11] M. Popović, *Digitalna obrada slike*, Akademski misao, Beograd, 2006, ISBN: 86-7466-272-2
- [12] K. Dabov, A. Foi, V. Katkovnik, K. Egiazarian, "Image denoising by sparse 3D transform-domain collaborative filtering," *IEEE Transaction on Image Processing*, vol. 16, no. 8, pp. 2080-2095, 2007, doi: [10.1109/TIP.2007.901238](https://doi.org/10.1109/TIP.2007.901238)
- [13] R. Gonzales, R. Woods, *Digital image processing*, 4th edition, London: Pearson Education, 2018, ISBN: 978-1-292-22304-9
- [14] R. Gonzales, R. Woods, S. Eddins, *Digital image processing using MATLAB*, 3th edition, Knoxville: Gatesmark Publishing, 2020, ISBN: 978-0-982-08541-7
- [15] K. Dabov, A. Foi, V. Katkovnik, K. Egiazarian, "Image restoration by sparse 3D transform-domain collaborative filtering," in *Proceedings of the Image Processing: Algorithms and Systems VI*, SPIE, vol. 6812, pp. 62-73, San Jose, CA, USA, March 01, 2008, doi: [10.1117/12.766355](https://doi.org/10.1117/12.766355)
- [16] K. Dabov, A. Foi, V. Katkovnik, K. Egiazarian, "Color image denoising via sparse 3D collaborative filtering with grouping constraint in luminance-chrominance space," in *IEEE International Conference on Image Processing*, San Antonio, TX, USA, September 16-October 19, 2007, doi: [10.1109/ICIP.2007.4378954](https://doi.org/10.1109/ICIP.2007.4378954)
- [17] P. De Meulemeester, B. Scheers, G. A. E. Vandenbosch, "Eavesdropping a (ultra-)high-definition video display from an 80 meter distance under realistic circumstances," in *Proceedings of IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility & Signal/Power Integrity (EMCSI)*, pp. 517-522, Reno, NV, USA, July 28-August 28, 2020, doi: [10.1109/EMCSI38923.2020.9191457](https://doi.org/10.1109/EMCSI38923.2020.9191457)
- [18] T. Kitazawa, K. Arai, Y. Kim, D. Fujimoto, Y. Hayashi, "A novel remote visualization of screen images against high-resolution display with divided screens focusing on the difference of transfer function of multiple emanations," *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 64, no. 6, pp. 1941-1948, 2022, doi: [10.1109/TEMC.2022.3204357](https://doi.org/10.1109/TEMC.2022.3204357)
- [19] A. Mittal, A. K. Moorthy, A. C. Bovik, "No-reference image quality assessment in the spatial domain," *IEEE Transaction on Image Processing*, vol. 21, no. 12, pp. 4695-708, December, 2012, doi: [10.1109/TIP.2012.2214050](https://doi.org/10.1109/TIP.2012.2214050)
- [20] A. Mittal, R. Soundararajan, A. C. Bovik, "Making a "completely blind" image quality analyzer," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 20, no. 3, pp. 209-212, 2013, doi: [10.1109/LSP.2012.2227726](https://doi.org/10.1109/LSP.2012.2227726)
- [21] N. Venkatanath, D. Praneeth, Bh. M. Chandrasekhar, S. S. Channappa, S. S. Medasani, "Blind image quality evaluation using perception based features," in *IEEE Proceedings of the 21st National Conference on Communications (NCC)*, Mumbai, India, February 27-March 01, 2015, doi: [10.1109/NCC.2015.7084843](https://doi.org/10.1109/NCC.2015.7084843)
- [22] H. R. Sheikh, Z. Wang, L. Cormack, A. C. Bovik, "LIVE Image Quality Assessment Database Release 2", <http://live.ece.utexas.edu/research/quality/subjective.htm>
- [23] A. Nouri, C. Charrier, A. Saadane, C. Fernandez-Maloigne, "A statistical comparison of no-reference images quality assessment algorithms," in *IEEE Proceedings of the Colour and Visual Computing Symposium (CVCS)*, Gjøvik, Norway, September 05-06, 2013, doi: [10.1109/CVCS.2013.6626281](https://doi.org/10.1109/CVCS.2013.6626281)
- [24] Y. Suzuki, M. Masugi, K. Tajima, H. Yamane, "Countermeasures to prevent eavesdropping on unintentional emanations from personal computers," *NTT Technical Review*, vol. 6, no. 10, pp. 6-12, 2008, doi: [10.53829/ntr200810sf2](https://doi.org/10.53829/ntr200810sf2)
- [25] M. Martin, F. Sunmola, D. Lauder, "Unintentional compromising electromagnetic emanations from IT equipment: A concept map of domain knowledge," *Procedia Computer Science*, vol. 200, pp. 1432-1441, 2022, doi: [10.1016/j.procs.2022.01.344](https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.344)
- [26] ITU Recommendation ITU-T K.115, *Mitigation methods against electromagnetic security threats*, Series K: Protection against interference, ITU-T Telecommunication Standardization Sector of ITU: Geneva, Switzerland, 2015.

ABSTRACT

The paper presents a comparative analysis of simple and frequently used image restoration techniques. A total of 13 image restoration techniques were used, and their comparative analysis was performed using three measures for objective image quality assessment. For the restoration, an image detected from a computer monitor through unintentional electromagnetic emanation was used. It was shown that simple methods can be used to obtain an image of sufficient quality, from which data potentially important and confidential to the computer user can be take over, without his knowledge. The importance of implementing protective measures in order to reduce unintentional radiation from computer and electronic equipment on which data is processed is emphasized.

ANALYSIS OF RESTORATION OF IMAGES CAPTURED BY DETECTING UNINTENTIONAL COMPUTER MONITOR EMANATION USING SIMPLE TOOLS

Borko Đaković, Nenad Stojanović, Milena Grdović, Branko Vujatović