ELEKTROTEHNIŠKI VESTNIK 90(5): 277-282, 2023
IZVIRNI ZNANSTVENI ČLANEK

Uporaba prostorskega frekvenčnega odziva za merjenje ostrine digitalnih fotografij

Bogdan Dugonik, Marjan Golob

Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Koroška cesta 46, 2000 Maribor, Slovenija
E-pošta: bogdan.dugonik@um.si

Povzetek. Ostrina digitalno zajete slike je odvisna od več dejavnikov, ki vključujejo optične, tehnološke in nastavitvene parametre digitalnega fotoaparata. Uporablja se lahko kot eno od meril za kakovostno in objektivno oceno sistema za zajem digitalnih slik. Merjenje prostorskega frekvenčnega odziva na ostrem robu je ena najpomembnejših metod za kvantitativno merjenje ostrine slike digitalnega fotoaparata. Ocenjuje sposobnost razlikovanja podrobnosti na sliki za določeno kombinacijo objektiva in senzorja. V članku so predstavljene teoretične osnove metode in programsko orodje za merjenja ostrine po standardu ISO12333. Prikazani so rezultati meritev ostrine na fotografijah testne tarče, ki smo jih dobili z digitalnim fotoaparatom, mobilnimi telefoni in sistemom telefona, povezanega z ročnim dermatoskopom.

Ključne besede: kakovost slike, prostorski frekvenčni odziv, ločljivost slike, ostrina slike

A Spatial Frequency Response Method to Measure Digital Image Sharpness

The sharpness of a digitally-captured image depends on several factors, including the optical, technological and settings parameters of the digital camera. It can be used as one of the criteria for a qualitative and objective assessment of a digital image capture system. The measurement of the spatial frequency response at a sharp edge is one of the most important methods for a quantitative assessment of the digital camera image sharpness. It evaluates the ability to resolve details in an image for a given combination of lens and sensors. The paper presents the theoretical background of the method and the measuring software tool used compliably with the ISO 12333 standard, and measurement results obtained with a digital camera, mobile phones, and a phone-handheld dermatoscope system.

Keywords: Image Quality, Spatial Frequency Response, Image Resolution, Image Sharpness

1 UVOD

V digitalni dobi, kjer vsakodnevno zajemamo in delimo nešteto digitalnih slik, postaja kakovost slike ključnega pomena. Digitalne kamere so od konca prejšnjega stoletja do danes skoraj v celoti nadomestile analogne. Razvoj elektronike je omogočil proizvodnjo visokoločljivih slikovnih senzorjev izredno majhnih dimenzij, ki jih vgrajujejo tudi v mobilne telefone. Kakovost slike, posnete z mobilnim telefonom, se že lahko primerja s slikami, posnetimi z večjimi digitalnimi kamerami. Vse boljša kakovost digitalnih kamer je njihovo rabo razširila tudi na dokumentiranje v medicini [1]. V povezavi s pandemijo covida-19 se je v letu 2020 povečalo tudi število smernic za tele-dermatologijo [2]. Primer takšne prakse so dermatološke ambulante, kjer za dokumentiranje bolezenskega stanja mobilni telefon uporabljajo tako, da kamero povežejo z lečo ročnega dermatoskopa [3]. Za večino ročnih dermatoskopov obstajajo vmesniki, ki omogočajo enostavno povezavo kamere telefona na ohišje mobilnega telefona. Dermatologi ugotavljajo odstopanja v kakovosti slik, posnetimi z različnimi kombinacijami naprav. Cilj te raziskave je s pomočjo objektivnih metod izmeriti ostrino in ločljivost kombinacije danega dermatoskopa in kamere.

Napredne senzorske tehnologije, boljše leče in vključeno procesiranje so izboljšali natančnost preslikave barv, visok dinamični razpon, ločljivost ter ostrino slike. Ostrina in ločljivost določata obseg podrobnosti, ki jih lahko slikovni sistem reproducira, in sta kritična dejavnika za kakovost digitalne kamere [4]. Zaznavanje ostrine na digitalni fotografiji je subjektiven proces in je odvisno od več dejavnikov, ki vključujejo tako tehnične kot tudi perceptivne vidike. Pomembno je, da za ostrino slike uporabljamo objektivne metode za ocenjevanje. S predpisanimi metodami standarda ISO12233 lahko ostrino in ločljivost merimo [5].

V članku je predstavljen pregled merilnih postopkov in orodij za merjenje ostrine in ločljivosti digitalnih kamer na osnovi modulacijske prenosne funkcije – MTF (angl. Modulation Transfer Function) [6]. Predstavimo teoretične osnove metode, opišemo izvedbo potrebnih meritev in analiziramo rezultate meritev ostrine in ločljivosti z digitalnimi kamerami zajetih fotografij standardizirane testne tarče. Prikažemo metode za

Prejet 20. november, 2023
Odobren 1. december, 2023

meritev ostrine tako za njihovo široko namembnost kot za ciljno rabo, kot so kamere za dokumentiranje v medicini. Za potrebe dermatologije postopek ponovimo s sistemom kamere, povezane z ročnim dermatoskopom in testno mikro tarčo.

2 OSTRINA IN LOČLJIVOST – KRITERIJA ZA KAKOVOST SLIKE

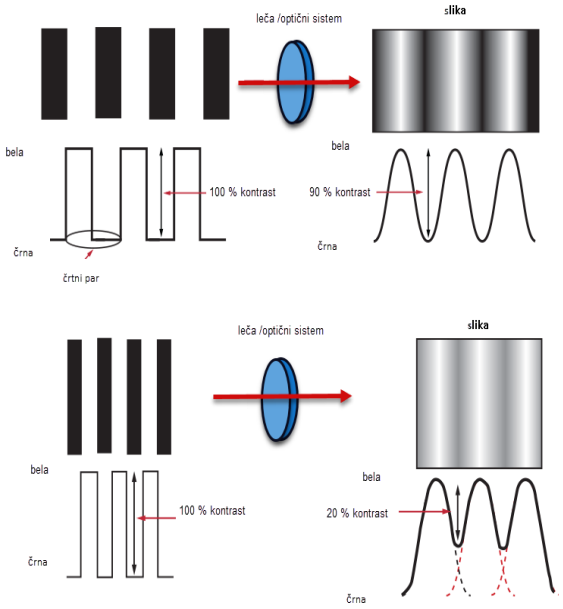
Resolucija ali ločljivost slike je pogosto odvisna od števila najmanjših elementov – slikovnih celic na senzorju. Ker s tehnološkim razvojem celice postajajo vse manjše, se glede na omejeno velikost senzorja njihovo število povečuje, kar posledično lahko prispeva k boljši ločljivosti slike. Višja ločljivost omogoča natančnejši prikaz podrobnosti in vpliva na ostrino zajete slike [3].

Majhne dimenzije svetlobnih celic pomenijo večjo izgubo kontrasta v sliki in s tem izgubo ostrine [4]. Število slikovnih točk na senzorju zato ni edini kriterij, s katerim lahko zagotovimo visoko ločljivost slike. Pomembno je, kako natančno se realni prostor prek leče objektiva preslika na samo površino senzorja, zato je kakovost objektiva še vedno eno od pomembnejših zagotovil za kakovostno preslikavo [5]. Idealna leča brez napake ne obstaja, realna pa generira vrsto napak. Optične napake, kot so nelinearnost, kromatična aberacija in šum na sliki, lahko odpravimo že v sami napravi s procesiranjem ali pozneje z digitalno obdelavo slike. Manjše pa so procesne možnosti pri preslikavi kontrasta. Dobro kontrastno razmerje je zato pomembna lastnost za ostro sliko [5]. Na upad kontrasta ostrine pa razen leč vplivajo tudi drugi elementi optičnega sistema, kot so nizko pasovno sito, RGB ali Bayerjev filter, mikro leče, objektiv in vsi dodatni elementi (filtri, leče za korekcijo ali povečevanje).

2.1 *Kontrast in modulacija*

Za razumevanje izgube kontrasta optičnega sistema za zajemanje slike uporabljamo mrežo črtnih parov črne in bele črte, ki se periodično ponavljajo. Preslikavo oziroma zajem črtnih parov skozi lečo na senzorju predstavimo s signalom sinusne krivulje, kot je prikazano na sliki 1. Nivo signala (kontrast) se zniža zaradi izgube svetlobe skozi lečo. Z višanjem prostorske frekvence črtnih parov kontrast signala pada in manj osvetli svetlobne celice senzorja [5]. Za optični sistem lahko kontrastno razmerje med originalno sliko in preslikavo pri projekciji slike skozi lečo na senzorju tudi izmerimo. Idealno bi se svetli deli slike preslikali le v svetle slikovne točke in temni deli v temne točke. V realnem sistemu se svetloba deloma preslika in porazdeli tudi v vmesne celice senzorja, posledično pa pride do manjšanja kontrasta slike.

Najprej so ločljivost optičnih sistemov ocenjevali subjektivno s standardizirano grafiko – testno tarčo 1951 USAF, kar danes velja za manj natančno metodo [5]. Danes poznamo številne druge metode in ustrezne testne tarče.



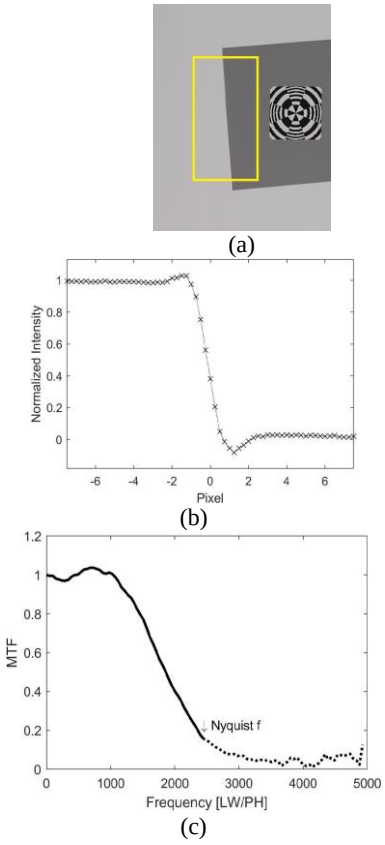
Slika 1: Zmanjšano kontrastno razmerje je posledica izgube svetlobe v leči in večje frekvence ponovitve črtnih parov originalne slike [6].

2.2 *Metoda prostorskega frekvenčnega odziva za meritev ostrine*

ISO 12233 je standard, ki se uporablja za meritev ostrine z metodo prostorskega frekvenčnega odziva (angl. Spatial Frequency Response – SFR). Metoda temelji na standardiziranih testnih grafikah z značilnimi poševnimi kontrastnimi robovi (angl. Edge SFR – eSFR charts).

SFR digitalnega slikovnega sistema opisuje zmožnost reprodukcije določenih prostorskih frekvenc. SFR 100 % pomeni, da ima reprodukcija prostorske frekvence črtnih parov na sliki enako modulacijo, kot je modulacija originalnega predmeta. Idealna SFR je enaka 100 % za vse prostorske frekvence črtnih parov, ki jih preizkušani sistem lahko reproducira v prostorskem frekvenčnem območju od 0 do tako imenovane Nyquistove frekvence, ki je teoretični maksimum, omejen s frekvenco vzorčenja slikovnega senzorja.

Podobno kot SFR je definirana modulacijska prenosna funkcija (angl.: Modulation Transfer Function – MTF) [6]. Medtem ko je SFR mogoče določiti na različne načine, se MTF izračuna s pomočjo harmoničnih prostorskih frekvenc in diskretne Fourierove transformacije. Meritev izvedemo na označenem delu testne tarče, torej na stranici kvadrata s 5° nagibom, kot je prikazano na sliki 2a. Do razpršenosti prehoda pride v smeri, ki je pravokotna na poševni rob. Nagib stranice v navpični smeri ocenimo z linearno regresijo in metodo najmanjših kvadratov, kar omogoča preslikavo nivojskih vrednosti svetlobnih celic poševnega roba na vodoravno os grafa, ki je pravokotna na poševni rob.



Slika 2: a) Metoda z nizkokontrastnim poševnim prehodom roba, b) funkcija prehoda roba ESF, c) modulacijska prenosna funkcija MTF.

Izračunamo porazdelitev intenzivnosti razpršitve roba in dobimo funkcijo prehoda roba (angl. Edge Spread Function – ESF), ki v skladu s teorijo sistemov ustreza odzivu sistema na skočno funkcijo. Prvi odvod ESF ustreza odzivu sistema na impulzno vzbujanje, ki ga poznamo pod imenom linijska funkcija prehoda (LSF) [4]. LSF lahko izračunamo z diskretno aproksimacijo odvoda funkcije, na primer z metodo končnih razlik. Uporabimo Hammingovo okno in MTF dobimo z diskretno Fourierovo transformacijo (DFT).

Slika 2b prikazuje ESF kot rezultat vzorčenja. ESF predstavlja porazdelitev intenzivnosti razpršitve roba in je enodimenzionalna funkcija. Prikazano je razširjeno območje robnega prehoda. Ob idealni preslikavi bi bila krivulja prehoda kontrastnega robu ESF pravokotna, v realnih sistemih pa je rezultat krivulja večje ali manjše strmine. Višja je strmina funkcije, boljši je merilni rezultat in obratno. Modulacijska prenosna funkcija MTF, prikazana na sliki 2c, je ocenjena kot normalizirana vrednost magnitude diskretne Fourierove transformacije (DFT).

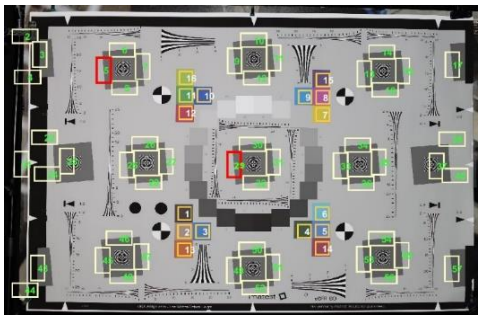
MTF vzorčenega slikovnega sistema je produkt sistemskih komponent posameznih MTF in je zanesljivo merilo za ločljivost in ostrino slike po prostorskem frekvenčnem spektru. Prostorska frekvenca se meri v ciklih ali parih linij na razdaljo in je meritev, ki se uporablja za določanje, koliko podrobnosti lahko reproducira kamera. Različni avtorji uporabljajo različne enote za prostorsko frekvenco, na primer cikle/točko, cikle/mm in širine črt/višino slike [LW/PH] [6–11]. Zadnja izbira je primerna, kadar se velikosti digitalnih senzorjev močno razlikujejo, od majhnih v telefonih s kamero do velikih v profesionalnih fotoaparatih polnega formata.

MTF 50 je prostorska frekvenca, kjer kontrast pade na polovico (50 %) svoje nizkofrekvenčne vrednosti [11]. Velja ocena, da je pri vrednosti MTF 50 kontrastni prehod še zaznaven kot oster rob [5]. Dodatno je definirana tudi prostorska frekvenca MTF 50P, kjer pa kontrast pade na polovico najvišje vrednosti. Za primerjavo ostrine se v praksi uporabljata oba parametra. Uporaba merila MTF 50P je smiselna predvsem za naprave z dodanim naknadnim programskim ostrenjem slike, ki se izvede s programsko opremo fotoaparata pri interni obdelavi slike.

3 MATERIALI IN METODE

Merilne metode ISO 12233: 17 predpisujejo meritve z uporabo standardiziranih testnih tarč, z napotki in navodili za izvedbo [10]. Na voljo imamo različna komercialna programska orodja za analizo izmerjenih podatkov, kot so Imatest [7], Image Engineering, Quick MTF in druge. Meritve smo izvedli s programskim orodjem, ki smo ga izdelali s funkcijami knjižnice Image Processing Toolbox programa Matlab.

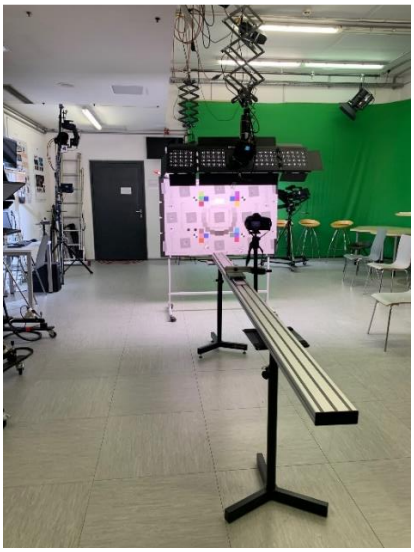
Testne tarče so dobavljive pri različnih ponudnikih optičnih merilnih pripomočkov, kot so Edmund Optics, Imatest, Applied Image in Image Engineering. Meritve smo izvedli s testno tarčo, prikazano na sliki 3. Tarčo smo pridobili v vektorski obliki od proizvajalca Imatest. Natisnjena je na tiskalniku v dimenziji 90 x 135 cm. Na sliki so z okvirjem rdeče barve označena področja, kjer nas zanima ostrina (angl. Regions of Interest – ROI); uporabili smo jih za meritev ostrine v sredini slike ROI 29 in na robu slike ROI 5.



Slika 3: Testna tarča s 57 območji (ROI) za meritev ostrine.

Elementi tarče na sliki 3 omogočajo meritve tudi drugih kvalitativnih parametrov, kot so kromatična aberacija, ravnovesje beline, dinamični razpon, barvno odstopanje, enakomernost in točnost osvetlitve ter šum [7].

Za testiranje smo izdelali testno merilno polje, prikazano na sliki 4. Sestavljeno je iz merilne letve s pomičnim vodilom, na katero pritrdimo testiranec. Sistem omogoča natančno nastavitev položaja kamere po globini in višini ter s tem tudi ponovljivost izvedbe merilnega postopka. Osnovno tarčo osvetlimo s kalibriranim svetlobnim panelom LED in 2.200 luxi osvetljenosti pri barvni temperaturi 3.200 K in 5.500 K. Širok svetlobni panel namestimo nad testirancem, kar omogoča enakomerno osvetlitev tarče po vsej njeni površini. Enakomernost osvetlitve in barvno temperaturo pred začetkom vsake meritve preverjamo tudi z merilnikom Gossen Digisky.

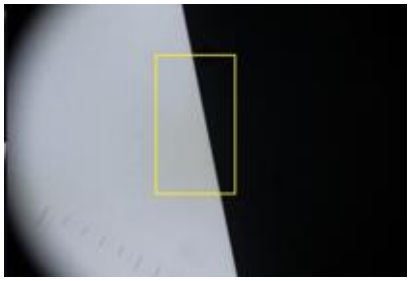


Slika 4: Merilno polje z enakomerno osvetljeno testno tarčo za zagotavljanje ponovljivosti meritev.

Za meritev ločljivosti in ostrine slike v sistemu s predlečo, ki jo predstavlja dermatoskop, smo potrebovali mikro merilno tarčo. Z litografskim postopkom izdelana tarča zagotavlja oster prehod roba tudi pri povečavi z dermatoskopom. Rezultat zajema je prikazan na sliki 5. Meritve izvajamo za kamere s senzorji do dimenzije senzorja 36 x 24 mm in kamere mobilnih telefonov. Predstavili bomo rezultate meritev z digitalnim zrcalnorefleksnim fotoaparatom Canon 5D ter kamerama mobilnih telefonov iPhone 7 in iPhone 10XS. Za testiranja ostrine sistema –kamera-dermatoskop smo prek vmesnika na kamero pritrdili tudi ročni digitalni dermatoskop Dermlite DL4, kot je prikazano na sliki 6. Mikro tarčo smo osvetlili s polarizirano svetlobo iz dermatoskopa.

4 REZULTATI MERITEV IN ANALIZA REZULTATOV

Rezultate meritev razdelimo na dva dela, na meritve kamer s testno tarčo eSFR in na meritve sistema kamera in dermatoskop na mikro testni tarči.



Slika 5: Mikro testna tarča z označenim merilnim območjem za meritev v kombinaciji kamere in dermatoskopa.

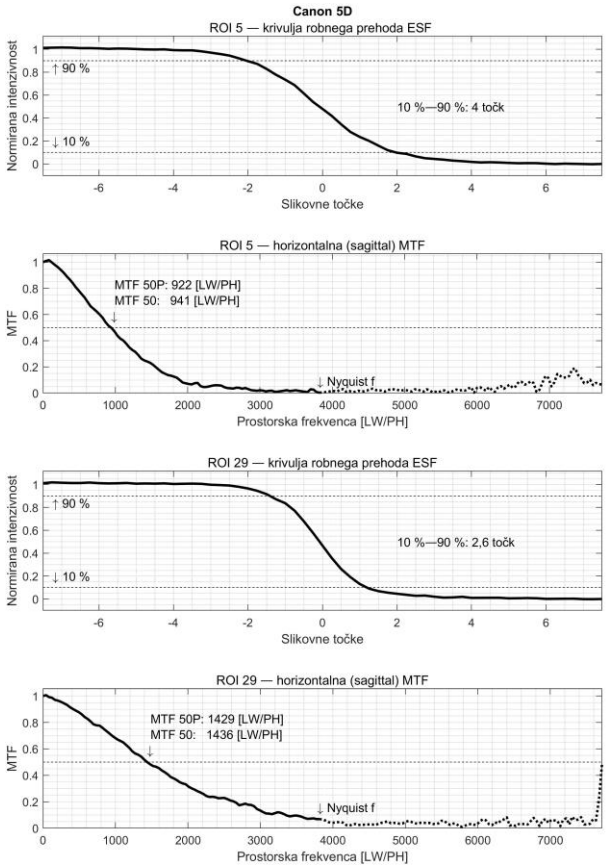
Slika 6: Prikaz uporabe dermatoskopa Dermlite DL4, povezanega z digitalno kamero.

4.1 Rezultati meritev s testno tarčo eSFR

Najprej smo s fotoaparatom Canon 5D fotografirali testno tarčo eSFR in sliko shranili v formatu JPG. Funkcije programskega ostrenja smo izključili. Na sliki 7 sta prikazani krivulji robnih prehodov ESF in pripadajoči krivulji MTF za področji ROI 5 na robu in ROI 29 na sredini tarče. Iz karakteristik ESF smo odčitali oceno ostrine. Ocena, ki je razvidna iz strmine signala (od 90 do 10 %), je podana s številom pri prehodu osvetljenih slikovnih celic. Manjše je to število, ostrejši je prehod kontrastnega roba, in obratno. Z grafa MTF pri 50 % kontrastu (MTF 50) smo odčitali prostorsko frekvenco 941 LW/PH za ROI 5 in 1.436 LW/PH za ROI 29. Višje vrednosti LW/PH ustrezajo ostrejši sliki. Če uporabimo programsko opremo procesorja fotoaparata za dodatno ostrenje, se MTF 50 in MTF 50P razlikujeta po vrednosti. V primeru izrazitega programskega ostrenja je razlika večja. Primerjava rezultatov merjenja ostrine v levem zgornjem kotu (ROI 5) in v območju iz sredinskega dela slike (ROI 29) kaže na pričakovano zmanjšanje ostrine na robovih slike.

Nato smo testirali kamere mobilnih telefonov. Na sliki 8 so rezultati testiranja, ki smo jih dobili s kamero telefona iPhone 10XS. Že iz poteka krivulje ESF je razviden visok kontrastni prehod s strmino prehoda 0,8 točke (ROI 5) oziroma 0,7 točke (ROI 29), kar pomeni dobro ločljivost in ostrino. Seveda je ostrina zajete slike posledica programskega ostrenja. Na obeh krivuljah ESF se programsko ostrenje izrazi v povečani intenzivnosti kontrasta v bližini prehoda ostrega roba. Ostrenje je še bolj poudarjeno na robu slike (ROI 5). Vpliv

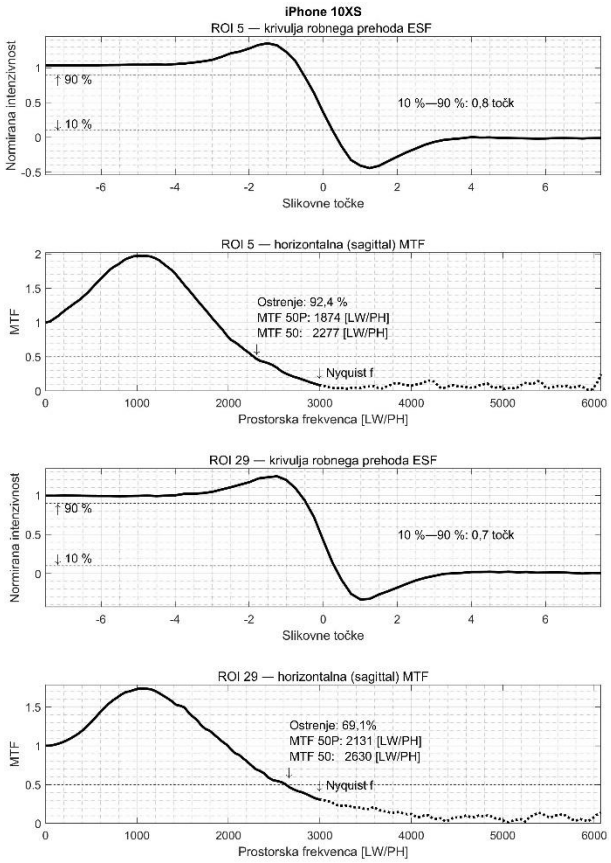
programskega ostrenja lahko zaznamo tudi na grafu MTF, kjer lahko odčitamo tudi prostorsko frekvenco, kjer je ostrenje največje, in sicer je to pri 1.050 LW/PH.



Slika 7. Grafi za analizo ostrine in ločljivosti kamere Canon 5D.

V primerjavi s centrom slike (ROI 29), kjer je ostrenje poudarjeno za 69,1 %, je na robovih slike učinek še večji (92,4 %). Poudarjeno ostrenje poveča kontrast in ločljivost pri višjih prostorskih frekvencah. Meja ločljivosti detajlov MTF 50 je na sredini slike dosegla vrednost 2.630 LW/PH, kar je že blizu teoretične Nyquistove prostorske frekvence senzorja.

Za primerjavo smo pregledali tudi rezultate analize kamere starejšega modela telefona iPhone7, ki so predstavljeni na sliki 9. V tem primeru je programska funkcija za ostrenje ostrih robov izrazitejša v sredini slike na prehodu ROI 29 in manj izrazita na robu slike na prehodu ROI 5. Iz karakteristik MTF za ROI 5 sklepamo, da je programsko ostrenje minimalno. Meja ločljivosti detajlov MTF 50 je na sredini slike dosegla vrednost 2.266 LW/PH, kar je za senzor te velikosti dober rezultat. Nekoliko manjše vrednosti MTF 50 dobimo na robu slike na prehodu ROI 29.



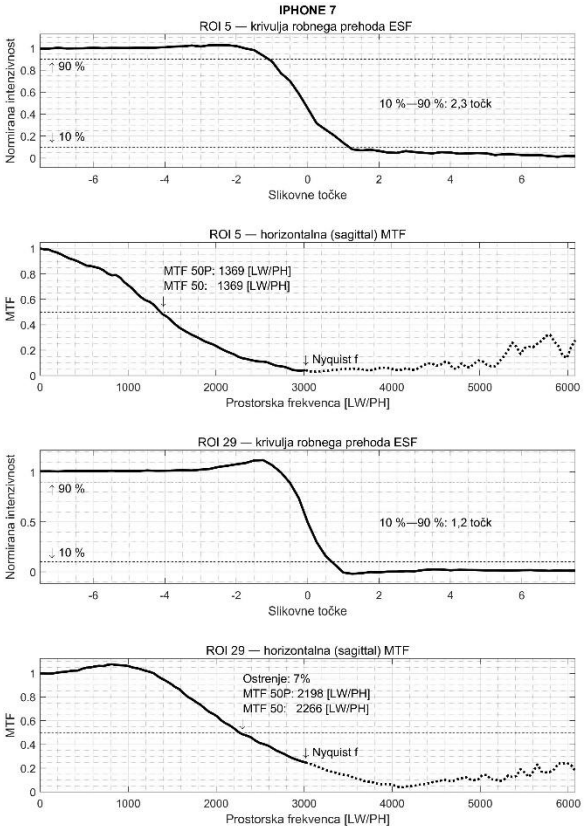
Slika 8. Graf za ostrino in ločljivost kamere iPhone 10XS.

4.2 Rezultati meritev sistema kamera in dermatoskop z mikro testno tarčo

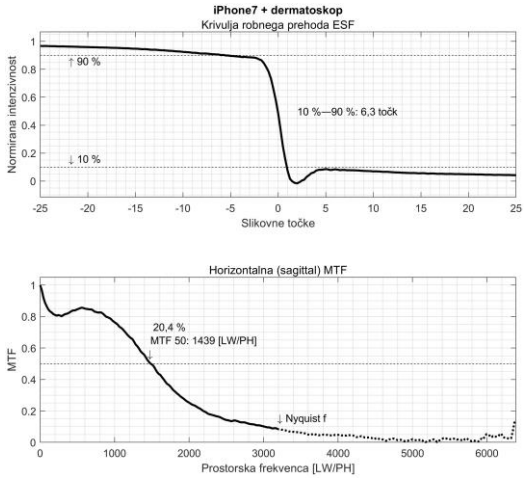
Na sliki 10 sta podana grafa za analizo ostrine mobilnega telefona v kombinaciji z ročnim dermatoskopom. Oblika krivulje MTF kaže na znatno izgubo ostrine. Kontrast MTF50 se je znižal na 1.439 LW/PH, dvig signala za prehod roba se je razširil na 6,3 slikovne celice. Z rezultati meritev različnih naprav lahko ocenimo, katera od kombinacij naprav doseže najboljše rezultate ter kako so posamezne komponente v verigi sistema med seboj usklajene.

5 ZAKLJUČEK

V prispevku smo predstavili uporabo metode prostorskega frekvenčnega odziva za ocenjevanje ostrine in ločljivosti digitalne kamere, kamer mobilnih telefonov in sistema, mobilnega telefona v kombinaciji z ročnim dermatoskopom. Predstavili smo rezultate meritev na osnovi zajema digitalnih fotografij standardiziranih grafik s testnimi tarčami SFR kot tudi rezultate meritev na osnovi mikro testne tarče. V primerjavi z drugimi metodami merjenja ostrine digitalnih slik, kot so metoda ocene ostrih mej, metoda Faucaultovega noža in metoda Siemensove zvezde, so prednosti metode izračuna MTF na poševnem robu naslednje:



Slika 9. Graf za analizo kamere telefona iPhone7.



Slika 10. Ostrina in ločljivost mobilnega telefona, povezanega z ročnim dermatoskopom.

- metoda omogoča kvantitativno oceno ostrine sistema pri nizkih in visokih prostorskih frekvencah;
- metoda je primerna za različne optične sisteme;
- metoda zagotavlja standardizirane postopke in testne tarče ter omogoča primerjavo med različnimi sistemi.

Z uporabljeno metodo lahko objektivno ocenimo kakovost sistema za digitalni zajem slike – z ocenjevanjem ostrine in ločljivosti.

Iz rezultatov je razvidno, koliko k ostrini prispeva kakovost leč in senzorja ter koliko pridobimo z dodatnim procesiranjem slike. Dodatno procesno ostrenje slik smo zaznali pri novejših modelih kamer mobilnih telefonov. Ocena ostrine je le eden od pomembnejših pri analizi dermatoloških slik. Rezultati so pokazali, da z merjenjem ostrine po metodi SFR lahko ocenimo, katere naprave oziroma katera kombinacija naprav je primerna za analizo slik v dermatologiji.

LITERATURA

[1] P. Pasquali, Photography in Clinical Medicine. Springer Nature Switzerland AG, 2020. doi: 10.1007/978-3-030-24544-3.

[2] M. R. Cummins, et al., "Consensus Guidelines for Teledermatology: Scoping Review", *JMIR Dermatol*, 2023, doi: 10.2196/46121.

[3] B. Dugonik, A. Dugonik, M. Marovt, M. Golob, "Image quality assessment of digital image capturing devices for melanoma detection", *Applied Sciences*, 10(8), 2020, doi: 10.3390/app10082876.

[4] U. Artmann, "Image quality assessment using the dead leaves target: experience with the latest approach and further investigations". Proceedings Volume 9404, Digital Photography XI; 94040J (2015), SPIE/IS&T Electronic Imaging, 2015, San Francisco, California, United States, doi: 10.1117/12.2079609.

[5] L. N. Koren, "Correcting misleading image quality measurements". Proc. IS&T Int'l. Symp. on Electronic Imaging: Image Quality and System Performance XVII, 2020, doi: 10.2352/ISSN.2470-1173.2020.9.IQSP-242.

[6] Edmund Optics, "Introduction to Modulation Transfer Function", Dostopno na spletu: https://www.edmundoptics.com/knowledge-center/application-notes/optics/introduction-to-modulation-transfer-function/ (16. 11. 2023).

[7] Imatest – ISO 122233:2017 TEST CHARTS, "Introduction to Modulation Transfer Function", Dostopno na spletu: http://www.imatest.com/solutions/iso-12233/ (16. 11. 2023).

[8] E. A. Quigley, et.all, "Technology and technique standards for camera-acquired digital dermatologic images: a systematic review". *JAMA Dermatology*, 151(8):883-90, 2015, doi: 10.1001/jamadermatol.2015.33.

[9] K. Masaoka, "Accuracy and precision of edge-based modulation transfer function measurement for sampled imaging systems". *IEEE Access*, 6: 41079–41086, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2856742.

[10] ISO 12233:2014 – Photography, "Electronic still picture imaging - Resolution and spatial frequency responses". Dostopno na spletu: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:12233:ed-4:v1:en, (16. 11. 2023).

[11] U. Artmann, "Linearization and normalization in spatial frequency response measurement". Proc. IS&T Int'l. Symp. on Electronic Imaging: Image Quality and System Performance XIII, 2016, doi: 10.2352/ISSN.2470-1173.2016.13.IQSP-011.

Bogdan Dugonik je leta 1987 diplomiral, leta 1995 magistriral in leta 2006 doktoriral na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko v Mariboru, kjer je zaposlen kot docent. Njegova raziskovalna zanimanja vključujejo integrirana vezja s testiranjem, sisteme za zajem in obdelavo slik v medicini ter avdio- in videotehnologije in akustiko.

Marjan Golob je leta 1987 diplomiral, leta 1991 magistriral in leta 2000 doktoriral na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko v Mariboru, kjer je zaposlen kot izredni profesor. Njegova raziskovalna zanimanja vključujejo teorijo mehkih sistemov, inteligentne sisteme vodenja, industrijsko avtomatizacijo in porazdeljene sisteme vodenja.