

STENOKAMERA SKAITMENINTŲ VAIZDŲ ORTOSKOPIŠKUMO TYRIMAS

Radvilė Budrytė, Šarūnas Knabikas, Benas Bakevičius, Olegas Ramašauskas

Informatikos katedra, Klaipėdos universitetas, Herkaus Manto g. 84, LT-92294, Klaipėda
radvile.budryte@gmail.com, sarunas.knabikas@gmail.com, bbakevicius@gmail.com, olegas@ik.ku.lt

Anotacija. Techninėje fotografijoje pasitaiko atvejų, kai reikia užfiksuoti tiriamus objektus taip, kad būtų užtikrinamas visiškas fotografuojamo objekto ir jo fotografinio atvaizdo panašumas, tačiau vienareikšmiškai ir tiksliai pritaikyti projekcinės geometrijos taisyklės neleidžia naudojamų priemonių optinių sistemų aberacijos. Visuotinai paplitusioje skaitmeninėje fotografijoje su tradiciniais optikos prietaisais ši problema išlieka, o vaizdo programinis koregavimas yra keblus tiek dėl naudojamų vaizdo matricių nejautrumo, tiek dėl tinkamų koregavimo algoritmų nebuvimo. Šiame darbe analizuojamas ir siūlomas naujas skaitmeninio vaizdo išgavimo metodas, gautas sujungus klasikinį stenopą su internetinės skaitmeninio vaizdo kameros matrica.

Pagrindiniai žodžiai: vaizdų apdorojimas, skaitmeninė fotografija, aberacija, stenokamera, algoritmas.

Įvadas

Techninėje fotografijoje pasitaiko atvejų, kai reikia užfiksuoti tiriamus objektus taip, kad būtų užtikrinamas visiškas fotografuojamo objekto ir jo fotografinio atvaizdo panašumas (Ruzgienė, 2010), arba ortoskopiškumas. Tai būdinga situacija, kai reikia be iškraipymų perteikti architektūros, kraštovaizdžio elementus, žemėlapius, mašinų ir mechanizmų detales ir pan. Vienareikšmiškai ir tiksliai pritaikyti projekcinės geometrijos taisyklės (Farin, 1999) neleidžia naudojamų priemonių optinių sistemų aberacijos. Visuotinai paplitusioje skaitmeninėje fotografijoje su tradiciniais optikos prietaisais ši problema išlieka (Petrauskas, 2010), o vaizdo programinis koregavimas taip pat yra keblus tiek dėl naudojamų vaizdo matricių nejautrumo, tiek dėl tinkamų programinio koregavimo algoritmų nebuvimo. Todėl būtų prasminga formuojant skaitmeninį vaizdą, jo priėmimo ir pirminio apdorojimo etapuose (Bakšys and Fedaravičius, 2004), (Lukas and Ramašauskas, 2011) nenaudoti optinių įtaisų, galinčių sudaryti aberacijas ir pabloginti vaizdo ortoskopiškumą. Vaizdo priėmimui galėtų pasitarnauti stenokamera (Sténocaméra, 2011) (toliau tekste – stenopas) su pačia paprasčiausia optine sistema, teoriškai neturinčią aberacijų, tačiau turinčią labai mažą šviesos stiprumą (Sténocaméra, 2011). Tyrimo tikslas yra nustatyti optimalų stenopo geometrinių parametrų rinkinį, taikytiną darbui su standartine internetinės kameros šviesai jautria CCD matrica.

Sparčiai besivystančių skaitmeninių vaizdo priėmimo sistemų tyrimai yra labai aktualūs. Tiriamas CCD matricių tiesiškumas, vidurkinamos matricos pikselių ryškumo reikšmės, nustatinėjamas triukšmingumas (Hopkins, 2009), (TuKas, 2010) ir kiti parametrai, galintys nulemti fotografinio atvaizdo kokybinius rodiklius. Straipsnyje pristatomas tyrimas

yra atliktas naudojantis maža CCD matrica, PC ir klasikiniiais fotografinės optikos (stenopo) instrumentais.

Siekiant išgauti kuo tikslesnį objekto atvaizdą taikomos įvairios techninės ir programinės priemonės, pradedant nuo paprasto stenopo iki sudėtingos konstrukcijos objektyvo, nuo paprastų iki sudėtingų algoritmų, skirtų skaitmeniniam vaizdui priimti ir apdoroti. Tačiau vaizdų iškreipimai, netikslumai, nors ir nežymūs, bet išlieka (Bakšys and Fedaravičius, 2004), (Hopkins, 2009). Pavyzdžiui, nustatyta, kad visi optiniai prietaisai iškreipia vaizdą tiek fotografuojant žvaigždes, tiek arti esančius makro objektus. Architektūros nuotraukos "plika" akimi žiūrint niekuo nesiskiria nuo realaus vaizdo, tačiau, pasinaudojus specialia įranga, nesunkiai galima aptikti atvaizdo geometrijos netikslumus. Atvaizdo iškreipimų neturėtų būti naudojant stenopą, tačiau neaišku, kokią įtaką turės šviesos bangų dispersijos ir kiti reiškiniai mažinant stenopo angą ir naudojant nedideles CCD matricas (Petrauskas, 2010), (TuKas, 2010).

1. Tyrimo metodo aprašymas

Šviesos spindulys į šviesai jautrų paviršių (CCD matrica, fotojuosta) nukreipiamas per stenopo angą, nenaudojant jokių optinių lęšių, todėl vaizdas šviesai jautriame paviršiuje turėtų būti išgaunamas toks, koks yra fiziškai, jeigu angos skersmuo būtų taškinis. Tačiau realiame bandyme taškinė anga neįmanoma, tokiu atveju šviesai jautraus paviršiaus apšviestumas būtų lygus nuliui ir jokio atvaizdo nebūtų galima užfiksuoti. Vadinas, angą d reikėtų didinti, tačiau didėja ir stenopo angos aberacija. Nors objekto proporcijos yra teisingos, atvaizdo kontūrai tampa neryškūs, migloti (2 lentelė, 1 schema.). Angą mažinant, neryškumas z mažėja, tačiau ima stiprėti šviesos bangų dispersija, taip pat mažinanti atvaizdo ryškumą z ir čia suvokiama kaip stenopo triukšmas. Neryškumas ir triukšmas gali būti mažinami programinės įrangos pagalba. Optimalus vienalyčio šviesos srauto išlaikymas t skaičiuojamas naudojantis lygtimis (1–8) (Davidhazy et al., 2011), prieš tai nustatčius santykinio židinio f reikšmę:

$$f_i = \frac{l_{1,2}}{d_i}, \quad (1) \quad \log_2 \left(\frac{f^2 s}{t} \right) = \log_2 \left(\frac{f_0^2 s_0}{t_0} \right), \quad (5)$$

$$EV = \log_2 \left(\frac{f^2 s}{t} \right), \quad (2) \quad \log_2(t) = \log_2 \left(\frac{f^2 s t_0}{f_0^2 s_0} \right), \quad (6)$$

$$EV_0 = \log_2 \left(\frac{f_0^2 s_0}{t_0} \right), \quad (3) \quad t = 2^{\log_2 \left(\frac{f^2 s t_0}{f_0^2 s_0} \right)}, \quad (7)$$

$$EV = EV_0, \quad (4) \quad t_i = 2^{\log_2 \left(\frac{f_i^2 s_i t_0}{f_0^2 s_0} \right)}. \quad (8)$$

Visi parametrai imami iš 1 ir 2 lentelių, rezultatai pavaizduoti 1 paveiksle. Šiuolaikinės optinės sistemos turi nuo keleto iki keliolikos lęšių (Fischer et al., 2008), todėl nuotraukoje neturėtų atsirasti jokių akimi pastebimų iškreipimų. Tačiau kiekvienas optinis lęšis, per kurį sklinda skirtingo ilgio šviesos bangos, jas nukreipia į skirtingas vietas šviesai jautriame

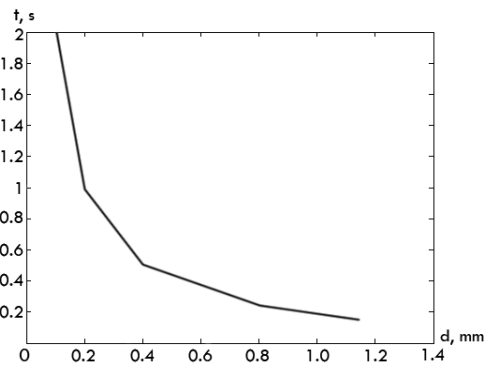
paviršiuje (2 lentelė, 2 sch.), susidaro vadinamosios chromatinės aberacijos, kurias visiškai pašalinti neįmanoma dėl reiškinio fizinės prigimties.

1 lentelė. Stenopo angos parametrai [d – skersmuo, s – plotas (skerspjūvis)].

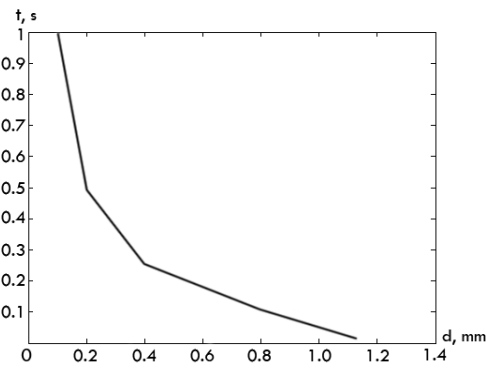
| | | | | | |
|------------------------|-------|------|------|------|------|
| d [mm] | 0,10 | 0,20 | 0,40 | 0,80 | 1,13 |
| s [mm ²] | 0,008 | 0,03 | 0,12 | 0,50 | 1,0 |

2 lentelė. Stenopo angos ir šviesos kiekio deriniai [d – stenopo angos diametras, l – atstumas nuo stenopo angos iki šviesai jautraus paviršiaus, f – santykinis židiny (focal ratio), t – išlaikymo laikas].

| d , mm | $l_{1,2}$, mm | f | t , s | Stenopo angos ir chromatinių aberacijų schemos |
|----------|----------------|-----|---------|--|
| 0,10 | 94 | 940 | 2 | |
| | 52 | 520 | 1 | |
| 0,20 | 94 | 470 | 1 | |
| | 52 | 260 | 1/2 | |
| 0,40 | 94 | 235 | 1/4 | |
| | 52 | 130 | 1/2 | |
| 0,80 | 94 | 118 | 1/4 | |
| | 52 | 65 | 1/8 | |
| 1,13 | 94 | 82 | 1/6 | |
| | 52 | 45 | 1/8 | |



a)



b)

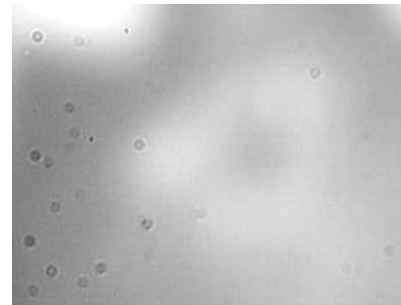
1 pav. Ekspozicijos priklausomybė nuo stenopo angos diametro, kai $l = 94\text{mm}$ (a), kai $l = 52\text{mm}$ (b).

Metodo sudarymui ir eksperimentiniam tyrimui fotografuotinu objektu pasirinkame vieną fasadą iš Klaipėdos universiteto senųjų pastatų ansamblio. Eksperimentui naudojame fotoaparatus Canon 400D (DSLR), Zenit TTL (juostinį), PK-5 Web kamerą (0,3 Mp) ir optinį matavimo mikroskopą MPB-2 (24^x). Pirmiausia nustatome optimalią stenopo angą, naudojant klasikinės fotografijos priemones su 200 ISO jautrumo fotojuosta, ir penkias skirtingo diametro stenopo angas iš 2 lentelės, nuosekliai keičiant skerspjūvį (nuo 0,008 mm² iki 1,0 mm²), t. y. daugiau kaip 100 kartų. Atstumas l nuo stenopo angos iki šviesai jautraus elemento paviršiaus diskretiškai reguliuojamas dvejose padėtyse, atitinkamai keičiant fotografinius žiedus (žr. 2 lentelę). Tiek su foto juoste, tiek su CCD matricomis eksperimento sąlygų nekeičiame, kiek tai leis natūralusis objektų apšvietimas dienos metu. Tolimesniam darbui su stenopu parenkame artimą vidutiniam lūžio tašką ties $d = 0,20$ mm

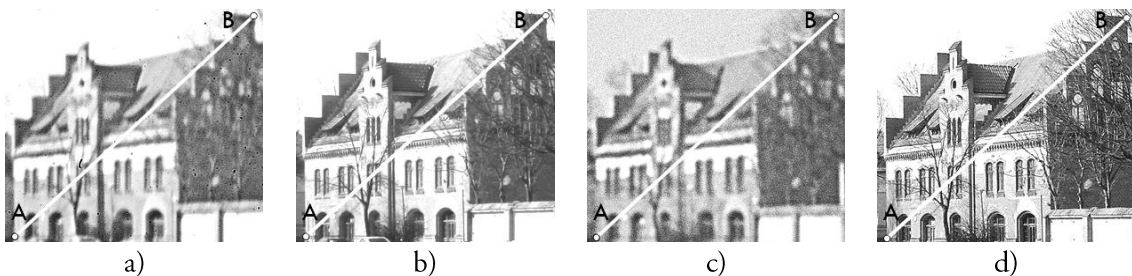
anga iš gautųjų 1 paveikslų grafikų, kadangi skirtingų tyrėjų (Fischer et al., 2008), (Davidhazy et al., 2011) pateikiami rezultatai labai skiriasi (0,32, 0,28, 0,12, 0,17). Toliau tyrimui parenkame artimiausią 0,20 mm reikšmę angai su $l = 52$ mm židinio nuotoliu, kurią toliau naudosime skaitmeninio vaizdo ortoskopiškumo tyrimui. Iškraipymų stebėjimui naudojame programinį tiesioginio ir invertuoto vaizdo sluoksnių sutapdinimo metodą, imant bent du taškus atvaizdo įstrižainėje ir matuojant pastebėtus būdingų nutolusių taškų geometrinius nukrypimus pasirinktoje normalėje bei juos perskaičiuojant santykinu pavidalu, t.y. procentais.

2. Rezultatai

Atlikus bandymus atrinktos nuotraukos pasižymintios geriausiais parametrais: ryškumu, apšvietimu, aiškiais linijomis. Bandymų metu paaiškėjo, kad Web kameros matricos jautrumas yra per mažas atliekamam tyrimui (2 pav.). Todėl buvo pasirinkta skaitmeninio fotoaparato *Canon 400D* matrica, kuri jautrumu ir jautrių taškų šviesai kiekiu visa eile (daugiau kaip 30 kartų) pranoksta Web kameros PK-5 matricą (3 pav.). Vaizdų analizė atlikta palyginant du sutapdintus vaizdus skirtinguose sluoksniuose programos *Adobe CS Photoshop* pagalba. Sutapdinimas atliktas nustačius du nutolusius taškus įstrižainėje, tarp kurių nubrėžta tiesės atkarpa (AB).

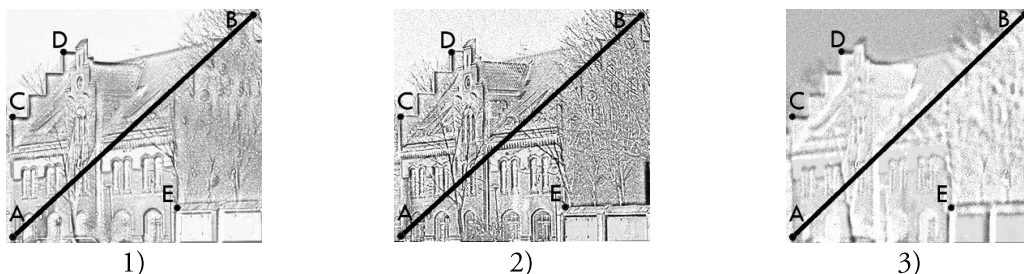


2 pav. Vaizdas su 0,3 Mp matrica.



3 pav. Atvaizdai: (a) matrica, stenopo anga, (b) matrica, objektyvas, (c) fotojuosta, stenopo anga, (d) fotojuosta, objektyvas.

Suvienodinus nuotraukų mastelius buvo sutapdintos atitinkamos nuotraukų kombinacijos (4 pav.). Taškai A ir B ir pati atkarpa AB panaudoti matavimams kaip atskaitos sistema. Leistina akimi nebeužfiksuojamo neryškumo reikšmė užsiduota $z = 0,03-0,05$ mm.



4 pav. Atvaizdai po sutapdinimo: (1) – (a) kartu su (b), (2) – (c) kartu su (d), (3) – (a) kartu su (c).

Iškraipymai nustatyti ir išmatuoti taškuose C, D ir E. Atliktų skaičiavimų rezultatai pateikiami procentais 3 lentelėje.

3 lentelė. Tiesinių ir kampinių iškraipymų rezultatai 3-juose atvaizdo taškuose.

| Tiesiniai iškraipymai | | | | Kampiniai iškraipymai | | | |
|-----------------------|-------|-------|--------|-----------------------|-------|--------|--------|
| Taškas/kombinacija | 1 | 2 | 3 | Taškas/kombinacija | 1 | 2 | 3 |
| C | 1,64% | 1,21% | -2,8% | C | 0,46% | 1,18% | 0,72% |
| D | 0,85% | 0,13% | -1,55% | D | 2,06% | 1,92% | 0,09% |
| E | 0,73% | 0,06% | 0,88% | E | 0,16% | -0,02% | -1,45% |

Iš gautų rezultatų galima aiškiai matyti vaizdų iškraipymus dėl optikos aberacijų ir, kaip galima prognozuoti, dėl matricos perskaičiavimo algoritmų, tai akivaizdžiai parodo 4 paveiksle matomi tamsūs kontūrai: kuo ryškesnė ir storesnė linija, tuo yra didesni nukrypimai. 3 lentelėje kairėje pateikti teigiami skaičiai rodo atkarpų linijinius pailgėjimus, neigiami – sutrumpėjimus A taško atžvilgiu, o dešinėje – kampinius nukrypimus AB atkarpos atžvilgiu: teigiami – link atkarpos, neigiami – nuo atkarpos. Palyginus matrica ir fotojuosta gautus vaizdus, trečios lentelės trečioje kombinacijoje pagal visus taškus matyti, kad vaizdas yra vertikaliai siauresnis ir pasuktas kairėn AB įstrižainės atžvilgiu.

Išvados

- Tyrimas parodė, kad geriausius rezultatus galima gauti naudojant stenopą ir šviesai jautrią fotografinę juostą, nes projektuojant vaizdą pro stenopo angą nepasireiškia lęšių aberacijos. Iš eksperimento duomenų matyti, kad geriausias vaizdas gautas naudojant 0,20 mm skersmens stenopo angą, kurios atstumas iki jautraus elemento yra 54 mm.
- Tyrimas rodo, kad dėl matricos perskaičiavimo netikslumų gautasis vaizdas gali būti $\pm 2-3\%$ iškraipytas. Kai kurių įverčių išgavimui atliktų matavimų tikslumas nėra didelis, todėl darbą vertėtų tęsti, naudojantis tikslesne įranga ir atliekant daugiau matavimų.

Literatūra

- Ruzgienė, B. (2010). Skaitmeninio reljefo modelio kūrimo metodai ir tikslumo tyrimas, taikant skaitmeninės fotogrametrijos technologiją // *Geodesy and Cartography*. DOI:10.3846/gc.2010.09. Vol. 36, Issue 2, 2010, p. 57 – 62.
www.informaworld.com/index/928098491.pdf
- Farin, E. G. (1999). NURBS from Projective Geometry to Practical Use. 2nd ed. – MA: Natick, A.K.Peters Ltd, 1999, p 270.
- Petrauskas, M. (2010). Skaitmeninių nivelių atskaitymo sistemos tikslumo tyrimai ir gautų rezultatų palyginimas // *Geriausi Kauno kolegijos studentų tiriamieji/kūrybiniai darbai*. Vol 2, No 1 (2010).
<http://ojs.kauko.lt/index.php/stmd/article/download/32/33>
- Bakšys, B., Fedaravičius, A. (2004). Robotų technika. – Kaunas, Technologija, 2004, 494 p.
- Sténocámara (2011). Matériel. Disques à sténopé, diamètres disponibles, 2011-03-22.
<http://s192257538.onlinehome.fr/stenocamera/Materiel%20disque%20a%20stenope.html>
- Hopkins Phoenix Observatory (2009). AAVSO Citizen Sky DSLR Photometry Workshop. 2011-03-23. <http://www.hposoft.com/EAur09/EAUR%20pdfs/DSLR.pdf>

- [TuKas] (2010). Canon 350D matricos tiesiškumo tyrimas // *Laboratorinis darbas*. 2011-03-23, <http://www.albireo.lt/forum/viewtopic.php?f=22&t=2986>
- Fischer, R. E., Tadic-Galeb, B., Yoder, P. R. (2008). *Optical system design*. McGraw Hill Professional, p 624.
- Davidhazy, A., Barrett, B., et al. (2011). Optimum Pinhole Diameter. Žiūr. 2011 m. balandžio 22 d. <http://www.brucebarrett.com/Pinhole/PinholeEverything.txt>
- Lukas, M., Ramašauskas, O. (2011). Methods of color correction and object identification in seafloor video mosaic // *Open Readings 2011; 54th Science Conference for Young Students of Physics and Natural Sciences*. Vilnius, VU, 2011-03-17/19, 80–81.

INVESTIGATION OF FULL SIMILARITY OF IMAGES DIGITIZED WITH STENOCAMERA

Radvilė Budrytė, Šarūnas Knabikas, Benas Bakevičius, Olegas Ramašauskas

Summary

In technical photography, there are cases with requirement to keep full similarity among the object and its reflection. Due to the aberration of optical systems used in photography tools, unambiguous and precise application of projecting geometry rules becomes impossible. The problem remains in digital photography with traditional optical devices and image processing with software tools is complicated due to the both insensitivity of image matrixes and the lack of suitable correction algorithms. The study has shown that the best results can be obtained by using stenocamera and sensitive photographic film. New digital image retrieval method, obtained by combining classical stenocamera tool with digital web camera matrix is described in this paper.

Key words: image processing, digital photography, aberration, stenocamera, algorithm.