

Skaitmeninių filtrų kūrimas jūros dugno vaizdų apdorojimui

Olegas Ramašauskas^{1,2}, Ilona Rupšienė^{1,2}, Mantas Kazlauskas¹

¹*Klaipėdos universitetas, Jūros technologijų ir gamtos mokslų fakultetas*

Manto 84, LT-92294 Klaipėda

²*Lietuvos verslo kolegija*

Turgaus 21, LT-91249, Klaipėda

E. paštas: olegas.ramasauskas@ku.lt, ilona.rupsiene@ltvk.lt

E. paštas: mantas.kazlauskas11@gmail.com

Santrauka. Atliekant jūrinius tyrimus neretai tenka kurti naujas ir tobulinti turimas skaitmeninių vaizdų filtravimo priemones, kurios naudojamos apskaičiuojant, įvertinant bei išryškinant vienus ar kitus vaizdo failuose sukauptų objektų parametrus ir jų spiečius, apdorojant autonominių povandeninių robotų gausiai tiekiamą foto ir video medžiagą. Svarbiausias šio darbo tikslas – pateikti naujus skaitmeninių filtrų kūrimo ir taikymo rezultatus jūrinių mokslų tyrimų erdvėje. Darbo rezultatai leistų tyrėjams operatyviau spręsti jūros dugno landšafotyros ir kitus taikomuosius uždavinius, kurie susiję su didele analitinio darbo, matematinių skaičiavimų apimtimi.

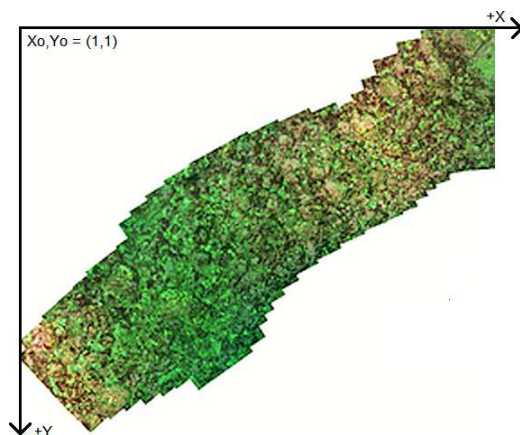
Raktiniai žodžiai: skaitmeninis vaizdas, videomozaika, histograma, skaitmeninis filtravimas.

Įvadas

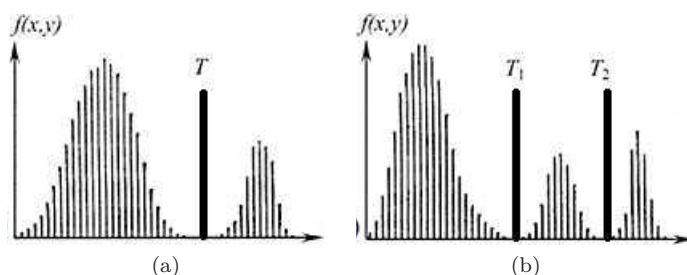
Vizuali informacija išgaunama naudojant įvairius fizikinius metodus ir ne visada lengvai suvokiama žmogaus akimi, teisingai atpažįstama bei klasifikuojama. Be to, įprastomis priemonėmis sunku, o kartais neįmanoma įvertinti didelius informacijos kiekius, kuriuos pateikia šiuolaikinė vaizdo priėmimo ir registravimo įranga. Galop, skirtingose terpėse stebimų objektų įvairovė apsunkina vaizdų analizės ir sintezės procesus. Problemos mastą įtikinamai parodo didelis skaičius mokslinių publikacijų, atskleidžiančių augantį skaitmeninių vaizdų tyrimų poreikį ir siūlomas įvairias sprendimų technikas [3, 6, 7, 10, 11, 12]. Analogiški tiriamieji darbai vykdomi ir Klaipėdoje, daugiausia dėmesio skiriant jūrinių tyrimų tematikai [5, 8, 9]. Straipsnyje modeliuojamos jūros dugno vaizdo mozaikų apdorojimo problemos, aprašomi scenarijai ir sprendimai *Matlab 8.5* sistemos priemonėmis. Tai galėtų būti įvardyta kaip pagrindinis šio darbo tikslas.

1 Vaizdų pirminio apdorojimo aspektai

Pastarąjį dešimtmetį Baltijos jūros dugno filmavimas nuotolinio valdymo povandeninėmis vaizdo kameromis ne tik prigijo specializuotose jūriniuose tyrimuose, bet ir dėl didelio efektyvumo pretenduoja tapti standartu jūrinės aplinkos kartografavimo darbuose bei stebėsenoje. Kita vertus, įvairios jūrinių tyrinėtojų mokyklos naudoja



1 pav. Jūros dugno nedidelis video mozaikos fragmentas.



2 pav. Intensyvumo histogramos su atskyrimu.

skirtingas surinktos vaizdo medžiagos apdorojimo strategijas, kurios metodologiniu požiūriu tobulintinos. Vienas iš perspektyvių metodų yra dugno video mozaikų sudarymas, paremtas persidengiančių video kadro išskleidimu viename paveiksle principu [10] (1 pav.). Atvirų erdvių vaizdams tokį sprendimą siūlo *Matlab* simulatorius, tačiau po vandeniu veikia prastai.

Kuriant povandenines jūros dugno video mozaikas (1 pav.) susiduriama su problemomis, kurias lemia aplinkos veiksniai: vandens cheminė ir biologinė sudėtis, vandens optinės savybės, povandeninių jūros srovių poveikis ir kt. Kai kurias minėtas problemas bandoma spręsti, tobulinant filmavimo techniką [5, 10], tačiau didžioji darbo dalis tenka tyrėjui, apdorojančiam sukauptą video medžiagą pavienių vaizdo kadro redaktorais: Photoshop, GIMP ir pan., o tai yra labai gausus ir varginantis procesas, ypač skaitmenizuoto vaizdo pirminio apdorojimo (angl. *preprocessing*) etapuose. Vaizdo intensyvumo ar spalvos slenksčių atskyrimas – greitas objektų filtravimo ir aptikimo metodas, taikomas pramoninėse techninės regos sistemose (TRS) [1], ypač kai reikia, kad sistema būtų labai pralaidi. Tegu 2(a) pav. pavaizduota vaizdo $f(x, y)$, sudaryto iš šviesių objektų tamsiame fone, intensyvumo histograma, atskirta viena slenksčio verte. Reikia parinkti slenksčio vertę T , kuri atskirtų intensyvumo grupes. Tada bet kuris taškas $J(x, y)$, kurio $f(x, y) > T$, priklausys objektui, priešingu atveju – fonui. Kitą histogramą 2(b) pav. sudaro trys skirtingos dalys, atskirtos dviem slenksčio vertėmis T_1 ir T_2 , atskiriančiomis du šviesius objektus tamsiame fone. Jeigu $T_1 < f(x, y) < T_2$ – taškas $J(x, y)$ priskiriamas pirmajam objektui, kai $f(x, y) > T_2$ – antrajam objektui, o kai $f(x, y) \leq T_1$ – fonui.

Nustatyti daugelio slenksčių vertes, kurios efektyviai atskirtų histogramos sritis – sudėtinga. Dėl to, daugelio slenksčių (lygmenų) atskyrimo variantas tampa ne toks patikimas kaip vieno lygmens variantas ir naudojamas retai. Sudėtingesnius slenksčių atskyrimo uždavinius geriau spręsti naudojant vieną besikeičiančią slenksčio vertę [1, 5]. Elementariu filtru laikant slenksčio atskyrimo operaciją, ją galima nagrinėti kaip veiksmus su T funkcija, išreiškiamus priklausomybe $T = T[x, y, p(x, y), f(x, y)]$; čia $f(x, y)$ – taško (x, y) intensyvumas, o savybė $p(x, y)$ žymi vidutinį intensyvumą aplinkos, kurios centras taške (x, y) . Vaizdas filtruojamas, apskaičiuojant slenksčio funkcijos $g(x, y)$ vertes

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{kai } f(x, y) > T \\ 0, & \text{kai } f(x, y) \leq T, \end{cases}$$

čia $g(x, y)$ vaizdo elementai, kurių vertė “1” priskiriami objektui, o “0” vertės vaizdo elementai – fonui.

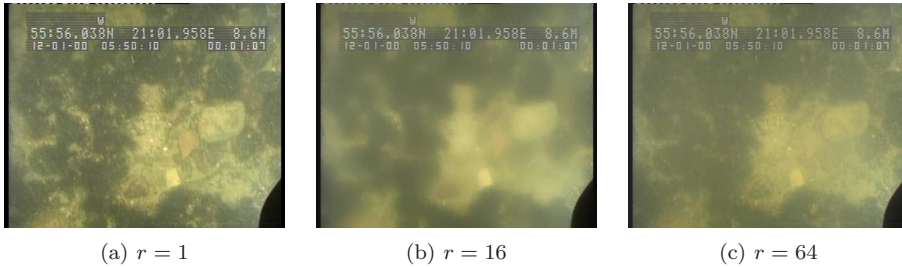
Daugelis išskyrimo ir filtravimo metodų grindžiami pagrindinėmis, susijusiomis su objekto aplinka, taškų savybėmis: vientisumu ir panašumu [2], todėl didesnės raiškos vaizduose bus tiksliau aptinkamos smulkios detalės, o didesni objektai geriau identifikuojami mažesnės raiškos vaizduose.

Tokiu būdu, dirbant su jūros dugno vaizdais, filtravimui galima sėkmingai naudoti daugelį morfologinių operacijų, kurias turi naujesnieji *Matlab* paketai, prijungiant įvairias histogramų apdorojimo procedūras, spalvų modelių konvertavimo, korekcijų ir palyginimo operacijas, pavyzdžiui, kontrasto stiprinimo, inversijos, intensyvumo lygio pjaustymo, slenkstinio binarizavimo, neryškaus vidurkinimo (angl. *FCM*), dalelių spiečiaus (angl. *Particles Swarm*) optimizavimo (angl. *PSO*) ir t. t. [12]. Spalvotiems vaizdams, kaip ir pilkumo skalėje, imami komponentų reikšmių vektoriai. Objektų spalvos ir intensyvumo reikšmės darbe panaudotos visuose ar tik pasirinktuose spalvinių modelių sluoksniuose.

2 Filtravimo technikos pirminiam apdorojimui

Daugelis tyrėjų [6, 7, 11, 12] sutaria, kad povandeninių vaizdų pirminio apdorojimo etape filtravimui tinka šios technikos: (a) vienalytis (homomorfinis) filtravimas; (b) anizotropinės difuzijos filtras; (c) vilnelių nutriukšminimas vidurkinimu.

Vienalytis filtravimas (a) naudotinas netolygiam apšvietimui pataisyti ir vaizdo kontrastingumui pagerinti. Iš esmės, tai dažnio komponentų (harmonikų) filtravimo metodas, skirtingai nuo kitų, ne tik išlyginantis apšvietumą, bet ir pagerinantis vaizdo ryškumą [6, 8]. Naudojant apšvietos-atspindžio modelį (difuzinis atspindys yra santykinai nepriklausomas nuo apšvietimo ir matavimo būdo) dugno vaizdo mozaika apibrėžiama kaip sandauga $J(x, y) = i(x, y) * r(x, y)$; čia $i(x, y)$ – apšvietimo intensyvumo, $r(x, y)$ – atspindžio funkcijos. Atspindys $r(x, y)$ apibrėžiamas kaip vaizdo aukštesniųjų dažnių taškų $J(x, y)$ komponentas. Funkcija $J(x, y)$ logaritmuojama natūriniu logaritmu ir skaičiuojama Furjė transformacija $G(wx, wy) = I(wx, wy) + R(wx, wy)$. Dabar žemesius dažnius gali pašalinti HP (angl. *High Pass*) filtras, tuo pačiu pašalindamas apšvietimo netolygumą bei iškeldamas aukštesnius dažnius, sustiprindamas atspindžius ir paryškindamas kraštus. Originalus vaizdas po filtravimo atstatomas naudojant atvirkštinę Furjė transformaciją $S(wx, wy) = H(wx, wy)I(wx, wy) +$



3 pav. Glotninančio filtro veikimo rezultatų pavyzdžiai.

$H(wx, wy) * R(wx, wy)$, čia $H(wx, wy) = 2(1 - \exp(-(w2x + w2y))) + 1/2$, didžiausia ir mažiausia apšviestumo reikšmė imta (2,5, 0,5).

Anizotropinis filtravimas (b) sušvelnina vaizdą ir nepablogina kraštų ryškumo. Tai leidžia pašalinti smulkius artefaktus. Vilnelių filtras (c) yra gana spartus ir efektyviai šalina Gauso triukšmą, tarus, kad vilnelių koeficientai yra nepriklausomos konstantos, o aukštesniųjų dažnių juostų koeficientai nuliniai arba mažesni už pasirinktus slenksčius.

Povandeninių vaizdų pirminio apdorojimo etape naudotina ir *RGB* korekcija. Naudojantis Matlab *stretchlim* ir *imadjust* funkcijomis, pikselių reikšmės pastumiamos taip, kad jos užpildytų visą intensyvumo reikšmių diapazoną, todėl vaizdas tampa labiau kontrastingas. Toliau atliekamas HSV histogramos gerinimas, kuris užtikrina pakankamą spalvos sotį ir kontrastą. Atspalvio kanalas (angl. *Hue*) nekeičiamas, nes gali atsirasti nepageidaujimų spalvos pokyčių.

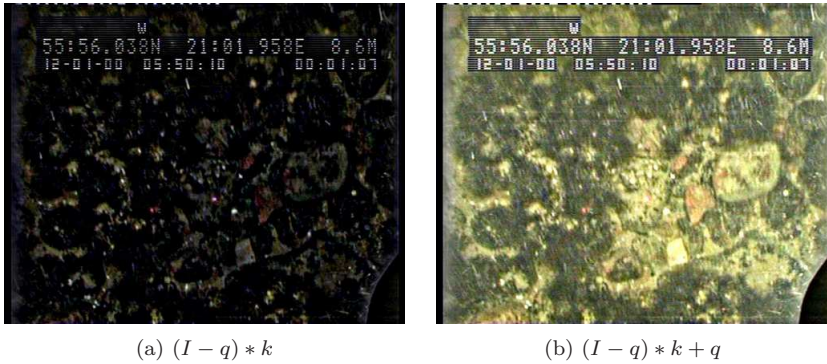
3 Filtravimo technikos pirminiam apdorojimui

Pritaikant filtrą vadovautasi tiesiniu slenkamojo filtravimo proceso variantu, kuris susideda iš valdančiojo vaizdo I , filtruojamo vaizdo p ir apdoroto vaizdo q (I ir p vaizdai gali būti identiški). Apdorotas vaizdo pikselis išreiškiamas svertiniu vidurkiu $q_i = \sum_j W_{i,j}(I)p_j$ čia i ir j yra pikselio koordinatės. Glotninančio ir kraštus išsaugančio valdomo filtro branduolys W_{ij} yra funkcija, priklausanti nuo valdančiojo vaizdo I

$$W_{ij} = \frac{1}{|\omega|^2} \sum_{k:(i,j) \in \omega_k} \left(1 + \frac{(I_i - \mu_k)(I_j - \mu_k)}{\sigma_k^2 + \epsilon} \right),$$

čia μ_k – vidurkis, σ_k^2 – dispersija, priklausantys I vaizdo sričiai ω_k ; ϵ – reguliarumo parametras, $|\omega|$ atitinka pikselių skaičių ω_k srityje. Jeigu skaičiuojamų išraiškų $(I_i - \mu_k)$ ir $(I_j - \mu_k)$ ženklai įgyja tą patį ženklą, tada I_i ir I_j taškai yra toje pačioje krašto pusėje, o kitu atveju – skirtingose pusėse. Kuomet taškai yra skirtingose pusėse, tada išraiška po sumos ženklu tampa artima nuliui ir vaizdo taškai beveik nevidurkinami. Reguliarumo parametras ϵ yra vaizdo srities kriterijus, nusakantis mažesnį ar didesnį variantiškumą. Sritis su žymiai mažesne dispersija už ϵ yra glotninamos, o sritis su žymiai didesne dispersija – išsaugomos. Reguliarumo parametras yra panašus į srities dispersiją σ_k^2 , naudojamą bilateriniame filtre [4]. Šie abu parametrai apibrėžia kraštą kaip didesnės dispersijos sritį, kuri turėtų išlikti apdorotame vaizde.

Mūsų atveju (3 pav.) filtras spalvotiems vaizdams pritaikomas kiekvienam *RGB* kanalui (keičiant r parametą): $q(:, :, 1) = \text{guidedfilter}(I(:, :, 1), p(:, :, 1), r, 0.01)$;



4 pav. Vaizdo paryškinimas valdomu filtru (čia parametras $k = 5$).

$q(:, :, 2) = \text{guidedfilter}(I(:, :, 2), p(:, :, 2), r, 0.01)$; $q(:, :, 3) = \text{guidedfilter}(I(:, :, 3), p(:, :, 3), r, 0.01)$.

Filtrą panaudosime povandeninio landšafto detalių paryškinimui. Pirmiausia, tarp valdančiojo vaizdo I ir filtru apdoroto vaizdo q išgauname skirtuminį $I - q$ vaizdą. Šio vaizdo pikselių intensyvumo reikšmės didinamos parametru k ir jungiamos su filtruotu vaizdu q (4 pav.).

Pirminio apdorojimo metu pagerinti vaizdai įrašomi ir panaudojami sekančiuose vaizdo apdorojimo etapuose, kuriuose svarbu išskirti vaizdo pikselių reikšmes, pavyzdžiui, segmentavimui, elementų klasifikavimui pagal spalvinį, tekstūrinį ar kitus požymius.

Išvados

1. Aprašytos povandeninių heterogeninės aplinkos vaizdų pirminio apdorojimo priemonės, leidžiančios pagerinti vaizdų segmentavimo ir klasifikavimo galimybes tolesnio apdorojimo etapuose filtruojant vaizdo elementus, glotninant ir paryškinant sritis pagal pikselių spalvą ir intensyvumą.
2. Siūlomi jūros dugno objektų identifikavimo ir padengimo skaičiavimo scenarijai Matlab terpėje leidžia efektyviau apdoroti didesnius jūros dugno vaizdo mozaikų masyvus, palengvinti jūros dugno objektų paiešką, stebėjimą bei atpažinimą.

Literatūra

- [1] B. Bakšys ir A. Fedaravičius. *Robotų technika*. Technologija, Kaunas, 2004.
- [2] H.D. Cheng, H.X. Jiang, Y. Sun and J.L. Wang. Color image segmentation: advances and prospects. *Pattern Recognition*, **34**(12):2259–2281, 2001.
- [3] A. Juozapavičius ir T. Meškauskas. *Vaizdų ir signalų analizė ir apdorojimas*. VU MIF, Vilnius, 2011.
- [4] H. Kaiming, J. Sun and X. Tang. Guided image filtering. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, **35**(6):1397–1409, 2013.
- [5] M. Lukas and O. Ramašauskas. Methods of color correction and object identification in seafloor video mosaic. In *54th Scientific Conference Oper Readings 2011, Vilnius, Lietuva, 2011*, pp. 80–81, Vilnius, 2011.

- [6] G. Padmavathi, P. Subashini, M.M. Kumar and S.K. Thakur. Comparison of filters used for underwater image pre-processing. *Int. J. Comput. Sci. Netw. Sec.*, **10**(1):58–65, 2010.
- [7] R.K. Rai, P. Gour and B. Singh. Underwater image segmentation using clahe enhancement and thresholding. *Int. J. Emerg. Techn. Adv. Eng.*, **2**(1):118–123, 2012.
- [8] O. Ramašauskas. Vaizdų filtravimo ir derinimo technikos plėtiniai. In *Virtualūs instrumentai biomedicinoje, Klaipėda, Lietuva, 2015*. Klaipėdos universitetas, Klaipėda, 2015.
- [9] O. Ramašauskas, V. Janulevičius, A. Vaitkus ir M. Kazlauskas. Jūros dugno mozaikose aptinkamų objektų atpažinimo modeliavimas. *Liet. matem. rink. LMD darbai, ser. B*, (55):125–130, 2014.
- [10] A. Šaškov ir Y. Ržanov. Video mozaikos panaudojimas povandeniniams tyrimams. In *Jūros ir krantų tyrimai, Palanga, Lietuva, 2011*, p. 238. Klaipėdos universitetas, Klaipėda, 2011.
- [11] V. Trygonis and M. Sini. Photoquad: a dedicated seabed image processing software and a comparative error analysis of four photoquadrat methods. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, (424):98–108, 2012.
- [12] S. Wang, Y. Xu and Y. Pang. A fast underwater optical image segmentation algorithm based on a histogram weighted fuzzy c-means improved by pso. *J. Mar. Sci. Appl.*, **10**(1):70–75, 2011.

SUMMARY

Digital filters creation of seabed image processing

O. Ramašauskas, I. Rupšienė, M. Kazlauskas

Nowadays visual information is extracted using a variety of physical methods and cannot always be easily perceived by the human eye, properly recognized and classified. Such large amounts of information provided by the modern image-making equipment is difficult and sometimes impossible objectively evaluate. Research of digital images carried out at the Klaipėda University with a focus on marine research topic. The combination of new underwater technology as remotely operating vehicles, high-resolution video imagery, and seafloor mosaics creating provides new opportunities for marine geological or biological studies. While these underwater techniques are now well-engineered, there is still a lack of methods for the automatic analysis of the acquired image data. In this paper, the video mosaic quality and processing problems discussed. Believes that the versatility of abstract techniques to tailor the fields of biomedical sciences, applied robotics and elsewhere. This could be listed as a main purpose of presented work.

Keywords: digital image, video mosaic, histogram, digital filtering.