



## ŽEMĖS DANGOS SKAITMENINIŲ VAIZDŲ IDENTIFIKAVIMO ANALIZĖ

Jonas Skeivalas<sup>1</sup>, Edita Aleknienė<sup>2</sup>, Silvija Gečytė<sup>3</sup>*Geodezijos ir kadastro katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,**Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva**El. paštas: <sup>1</sup>Jonas.Skeivalas@vgtu.lt; <sup>2</sup>Edita.Alekniene@vgtu.lt; <sup>3</sup>Silvija.Gecyte@vgtu.lt**Įteikta 2010 08 30; priimta 2010 09 24*

**Santrauka.** Straipsnyje nagrinėjamas žemės dangos skaitmeninių vaizdų identifikavimas taikant kovariacinių funkcijų ir Wavelet (bangų) teoriją. Dviejų skaitmeninių vaizdų arba pavienių vaizdų autokovariacinių funkcijų įverčiai skaičiuojami pagal atsitiktines funkcijas, sudarytas iš skaitmeninių vaizdų pikselių vektorių pavidalu. Pikselių vektorių įverčiai gaunami skleidžiant skaitmeninių vaizdų pikselių masyvus viena eilute. Tyrimams panaudoti HJ-DEM Ikonos palydoviniai vaizdai, kai kartografinė projekcija nėra ortografinė, ir skaitmeninio vaizdo taškų masteliai skirtingi. Keičiant skaitmeninio vaizdo mastelį pavienių pikselių spalvų bangų dažniai lieka nekintantys, t. y. const, ir kovariacinių funkcijų skaičiavimo procedūrose mastelio kaitos įtaka nepasireiškia. Vaizdams identifikuoti taikytas RGB formato spalvų spektras. Analizuota RGB spektro dedamųjų bei spalvų tenzorius įtaka skaitmeninių vaizdų kovariacinių funkcijų įverčiams. Skaitmeninių vaizdų tapatumas įvertinamas pagal koreliacijos koeficientų reikšmių kaitą atitinkamų reikšmių diapazone, taikant sudarytą kompiuterinę programą.

**Reikšminiai žodžiai:** skaitmeniniai vaizdai, identifikavimas, kovariacinė funkcija.

## 1. Įvadas

Straipsnyje nagrinėjamas skaitmeninių vaizdų identifikavimas taikant skaitinius fotogrametrijos metodus ir atsitiktinių funkcijų teoriją. Skaitmeninio vaizdo pikselių erdvinė padėtis apibrėžiama spalvų bangų dažnių erdvinė sritimi, t. y. radiometriniu lygmeniu pagal RGB formato spalvų spektrą. Teorinis modelis grindžiamas stacionarios atsitiktinės funkcijos samprata, įvertinant tai, kad spalvų bangų dažnių klaidos yra atsitiktinės ir vienodo tikslumo, t. y. klaidų vidurkis  $M\Delta = \text{const} = 0$ , jų dispersija  $DA = \text{const}$ , o skaitmeninių vaizdų kovariacinė funkcija priklauso tik nuo argumentų skirtumo, t. y. nuo pikselių kvantavimo intervalo. Dviejų skaitmeninių vaizdų kovariacinės funkcijos arba pavienio vaizdo autokovariacinės funkcijos įverčiai skaičiuojami pagal atsitiktines funkcijas, sudarytas skleidžiant skaitmeninių vaizdų pikselių masyvus pavienėmis eilutėmis.

Skaitmeniniams signalams apdoroti paprastai taikoma diskrečioji Furjė (Fourier) transformacija (Kardoulas *et al.* 1996; Ekstrom, McEwen 1990). Viena iš naujausių sukurtų skaitmeninių vaizdų apdorojimo teorijų yra Wavelet, funkcijų, teorija (Horgan 1998; Hunt *et al.* 1993; Antoine 2000; Dutkay, Jorgensen 2004). Tyrimams naudoti Ikonos palydoviniai vaizdai, kai taikomos atitinkamos kartografinės projekcijos, kurios nėra ortografinės. Perspektyvinėse projekcijose skaitmeninių vaizdų taškai skirtingų mastelių. Keičiant skaitmeninio vaizdo pavienio

pikslio mastelį, pikselio spalvos bangų dažnis lieka tas pats, todėl kovariacinių funkcijų skaičiavimo procedūrose mastelio kaitos įtaka nepasireiškia.

## 2. Teorinės išraiškos

Teoriniam modeliui taikysime prielaidą, kad skaitmeninių vaizdų pikselių parametrų klaidos yra atsitiktinės. Atsitiktinė funkcija sudaroma skleidžiant skaitmeninio vaizdo pikselių masyvą pagal stulpelius į vienmatę erdvę vienoje koordinatų ašyje. Kiekviename pikselių masyvo stulpelyje eliminuojamas to stulpelio parametrų trendas. Kaip parametrai panaudojami pikselių spalvų intensyvumo RGB formato spalvų spektre rodikliai. Tokiu būdu sudarytą atsitiktinę funkciją laikysime stacionariąja (plačiąja prasme), t. y. jos vidurkis  $M\{\varphi(t)\} \rightarrow \text{const}$ , o kovariacinė funkcija priklauso tik nuo argumentų skirtumo –  $K_{\varphi}(\tau)$ . Vieno skaitmeninio vaizdo dviejų atkarpų arba dviejų vaizdų atkarpų pikselių masyvų –  $h_1(u)$  ir  $h_2(u + \tau)$ , laikomų atsitiktinių funkcijų realizacijomis, tolydžioji kovariacinė funkcija  $K_h(\tau)$  rašoma taip (Skeivalas, Kizlaitis 2008, 2009):

$$K_h(\tau) = \frac{1}{T - \tau} \int_0^{T-\tau} \delta h_1(u) \delta h_2(u + \tau) du, \quad (1)$$

čia  $\delta h_1(u)$ ,  $\delta h_2(u + \tau)$  – centruotosios pikselių parametrų atkarpos,  $u$  – atkarpos pikselio parametras,  $T$  – atkarpos

ilgis santykiniais vienetais,  $\tau = k \cdot \Delta$  – kintantis kvantavimo intervalas,  $\Delta$  – pikselio parametro reikšmė,  $k$  – pikselių skaičius kvantavimo intervale.

Kovariacinės funkcijos įvertis  $K'_h(\tau)$  pagal turimus matavimų duomenis skaičiuojamas:

$$K'_h(\tau) = K'_h(k) = \frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} \delta h_1(u_i) \delta h_2(u_{i+k}), \quad (2)$$

čia  $n$  – bendras diskrečiųjų intervalų skaičius.

Formulę (2) galima taikyti autokovariacinės arba tarpusavio kovariacinės funkcijos pavidalu. Kai funkcija autokovariacinė, atkarpos  $h_1(u)$  ir  $h_2(u + \tau)$  yra pavienio skaitmeninio vaizdo atkarpos, o kai kovariacinė – šios atkarpos yra dviejų skirtingų vaizdų.

Normuotosios kovariacinės funkcijos įvertis:

$$R'_h(k) = \frac{K'_h(k)}{K'_h(0)} = \frac{K'_h(k)}{\sigma_h^2}, \quad (3)$$

čia  $\sigma'_h$  – atsitiktinės funkcijos standartinio nuokrypio įvertis.

Skaitmeninio  $i$ -ojo vaizdo pikselių masyvo stulpelių trendui eliminuoti taikoma formulė

$$\delta H_i = H_i - e \cdot \bar{h}_i^T = (\delta h_{i1}, \delta h_{i2}, \dots, \delta h_{im}), \quad (4)$$

čia  $\delta H_i$  –  $i$ -ojo skaitmeninio vaizdo redukuotųjų pikselių masyvas, iš kurio eliminuotas stulpelių trendas;  $H_i$  –  $i$ -ojo vaizdo pikselių masyvas,  $e$  – vienetinis vektorius, kurio matmenys  $(n \times 1)$ ;  $n$  –  $i$ -ojo masyvo eilučių skaičius,  $\bar{h}_i$  –  $i$ -ojo pikselių masyvo stulpelių vidurkių vektorius,  $\delta h_{ij}$  –  $i$ -ojo masyvo redukuotų pikselių  $j$ -asis stulpelis (vektorius).

Pikselių  $i$ -ojo masyvo stulpelių vidurkių vektorius skaičiuojamas pagal formulę

$$\bar{h}_i^T = \frac{1}{n} e^T \cdot H_i, \quad (5)$$

arba

$$\bar{h}_i = \frac{1}{n} H_i^T \cdot e. \quad (6)$$

Skaitmeninio vaizdo  $i$ -ojo pikselių masyvo atsitiktinės funkcijos realizacija vektoriniu pavidalu turi išraišką

$$\delta h_i = \begin{pmatrix} \delta h_{i1} \\ \delta h_{i2} \\ \dots \\ \delta h_{im} \end{pmatrix} = (\delta h_{i1}^T \delta h_{i2}^T \dots \delta h_{im}^T)^T, \quad (7)$$

arba

$$\delta h_i^T = (\delta h_{i1}^T \delta h_{i2}^T \dots \delta h_{im}^T). \quad (8)$$

Skaitmeninio vaizdo  $i$ -ojo pikselių masyvo kovariacinės matricos įvertis:

$$K'(\delta H_i) = \frac{1}{n-1} \delta H_i^T \delta H_i. \quad (9)$$

Skaitmeninio vaizdo dviejų pikselių masyvų arba dviejų skaitmeninių vaizdų pikselių masyvų kovariacinės matricos įvertis rašomas

$$K'(\delta H_i, \delta H_j) = \frac{1}{n-1} \delta H_i^T \delta H_j, \quad (10)$$

čia  $\delta H_i, \delta H_j$  masyvų matmenys turi būti vienodi.

Taikant kovariacinių funkcijų teoriją nagrinėta RGB formato spalvų spektro dedamųjų įtaka skaitmeninių vaizdų kovariacinių funkcijų išraiškoms, taip pat įvertintos skaitmeninių vaizdų kovariacinių funkcijų išraiškos pagal RGB spalvų ištininį spektrą spalvų tenzorius prasme. Koreliacijos koeficientų reikšmių kaita koreliacijos koeficientų matricose parodoma santykinio grafiko pavidalu.

Kovariacinių matricų įverčiai  $K'(\delta H_i)$  ir  $K'(\delta H_i, \delta H_j)$  redukuojami į koreliacijos koeficientų matricų įverčius  $R'(\delta H_i)$  ir  $R'(\delta H_i, \delta H_j)$  (Skeivalas 1999, 2008):

$$R'(\delta H_i) = D_i^{-1/2} K'(\delta H_i) D_i^{-1/2}, \quad (11)$$

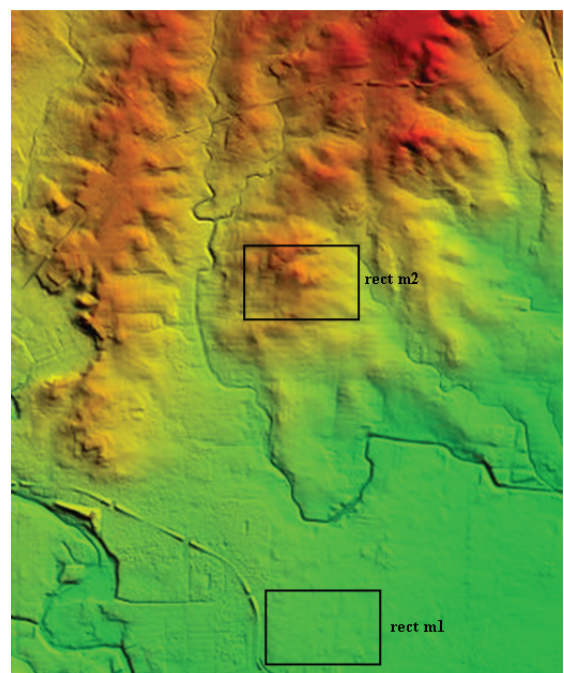
$$R'(\delta H_i, \delta H_j) = D_{ij}^{-1/2} K'(\delta H_i, \delta H_j) D_{ij}^{-1/2}, \quad (12)$$

čia  $D_i, D_{ij}$  – kovariacinių matricų įverčių  $K'(\delta H_i)$  ir  $K'(\delta H_i, \delta H_j)$  pagrindinių diagonalinių narių diagonaliosios matricos.

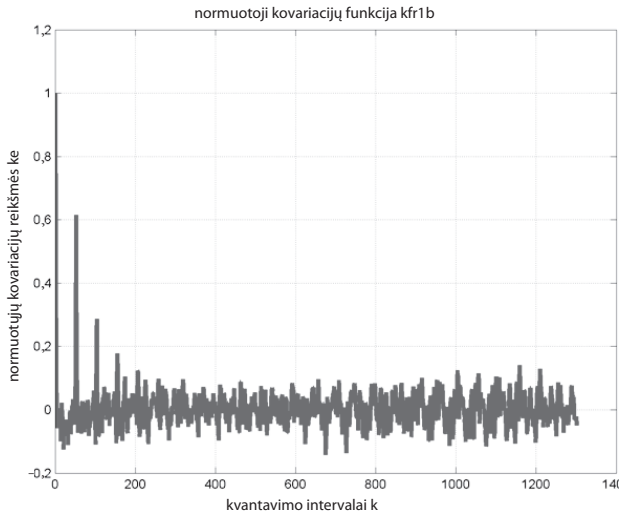
### 3. Eksperimento ir skaičiavimų rezultatai

Skaitmeninių vaizdų apdorojimo procedūrose naudoti Ikonos palydoviniai vaizdai atitinkamoje perspektyvinėje projekcijoje. Skaičiavimams sukurtos dvi kompiuterinės programos – *Pavkor.m* ir *Pkor.m*, taikant *Matlab 7* programinio paketo operatorius. Naudotos dvi palydovinio vaizdo iškarpos – kalno vietovės viršutinė dalis beveik be augalijos ir kalno vietovės apatinė dalis su augalija. Jų skaitmeniniai vaizdai parodyti 1 paveiksle.

Skaičiavimų rezultatai pateikti 2–9 paveiksluose.

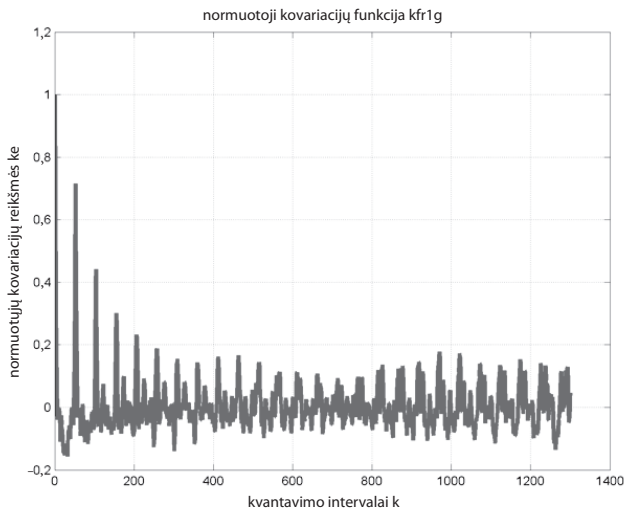


1 pav. HI-DEM Ikonos palydovinis skaitmeninis vaizdas  
Fig. 1. Satellite Digital image HI-DEM of the Ikonos



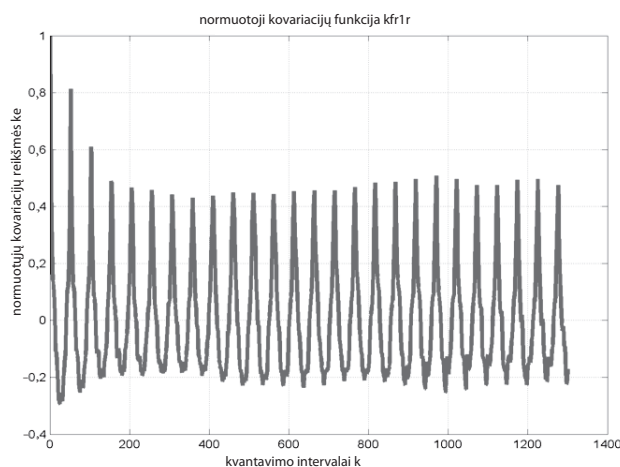
2 pav. Skaitmeninio vaizdo 1-osios iškarpos normuotoji kovariacinė funkcija, taikant RGB mėlyną spalvą

Fig. 2. Normalised covariance function of the Digital image 1st fragment, applying RGB blue colour



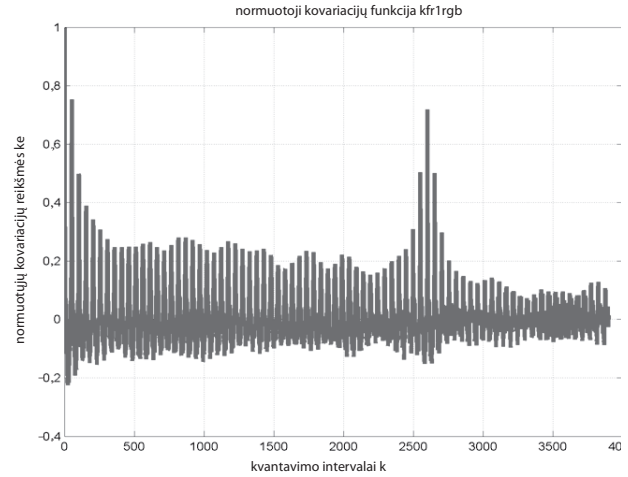
3 pav. Skaitmeninio vaizdo 1-osios iškarpos normuotoji kovariacinė funkcija, taikant RGB žalią spalvą

Fig. 3. Normalised covariance function of the Digital image 1st fragment, applying RGB green colour



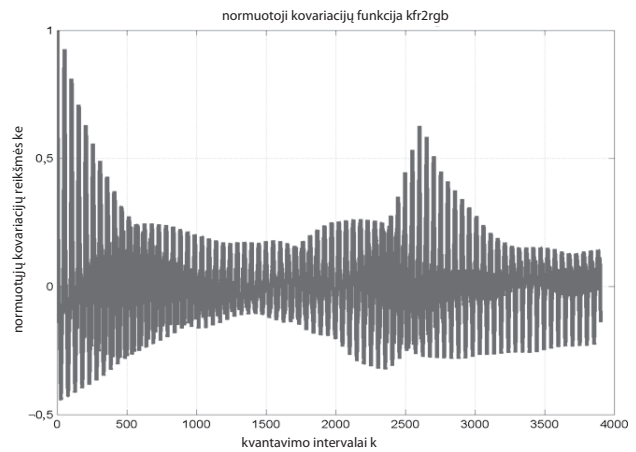
4 pav. Skaitmeninio vaizdo 1-osios iškarpos normuotoji kovariacinė funkcija, taikant RGB raudoną spalvą

Fig. 4. Normalised covariance function of the Digital image 1st fragment, applying RGB red colour



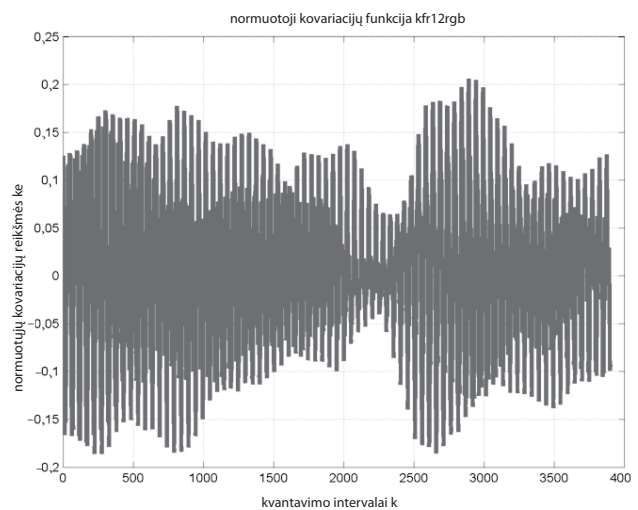
5 pav. Skaitmeninio vaizdo 1-osios iškarpos normuotoji kovariacinė funkcija, taikant RGB visų spalvų tenzorių

Fig. 5. Normalised covariance function of the Digital image 1st fragment, applying RGB tensor of all colours



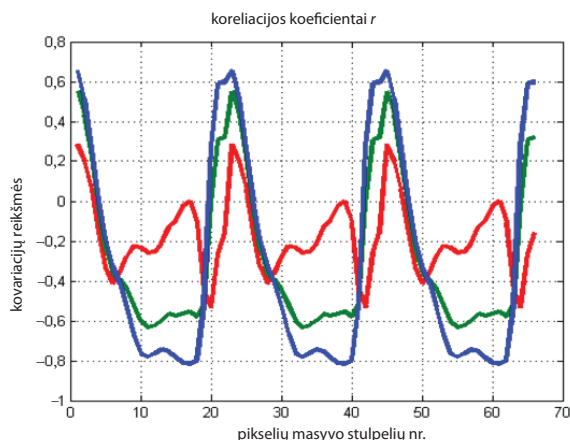
6 pav. Skaitmeninio vaizdo 2-osios iškarpos normuotoji kovariacinė funkcija, taikant RGB visų spalvų tenzorių

Fig. 6. Normalised covariance function of the Digital image 1st fragment, applying RGB tensor of all colours



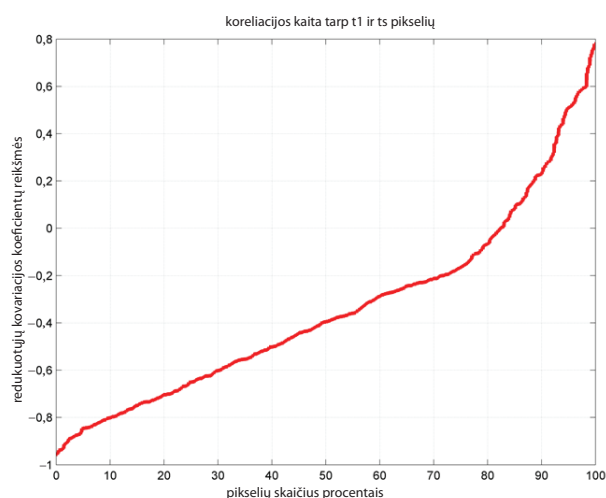
7 pav. Skaitmeninio vaizdo dvejų iškarpų normuotoji tarpusavio kovariacijų funkcija, taikant RGB visų spalvų tenzorių

Fig. 7. Interrelation normalised covariance function of the Digital image of two fragments, applying RGB tensor of all colours



**8 pav.** Skaitmeninio vaizdo dviejų iškarpų pikselių stulpelių tarpusavio koreliacijos koeficientų kaita:  
 — 1-os iškarpos 1-ojo pikselių stulpelio su 2-os iškarpos kitais stulpeliais  
 — 1-os iškarpos 2-ojo pikselių stulpelio su 2-os iškarpos kitais stulpeliais  
 — 1-os iškarpos 3-ojo pikselių stulpelio su 2-os iškarpos kitais stulpeliais

**Fig. 8.** Change of the interrelation covariance coefficient of pixels column of two fragments of Digital image



**9 pav.** Skaitmeninio vaizdo dviejų iškarpų tarpusavio koreliacijos koeficientų matricos reikšmių sklaida, %

**Fig. 9.** Change in percents of the interrelation covariance coefficient of matrix meaning (significance) of two fragments of Digital image

Kovariacinių funkcijų skaičiavimuose kintamojo kvantavimo intervalo reikšmės kinta nuo 1 pikselio iki  $n/2$  pikselių, čia  $n=2500$  – vidutinis skaitmeninio vaizdo iškarpos pikselių skaičius. Analizė atliekama RGB spalvų spektre, naudojant pavienes jo dedamąsias – raudoną, žalią ir mėlyną spalvas bei ištisinį RGB spektrą jo tenzoriaus prasme, kai pikselių skaičius jame yra lygus  $n=7500$ .

8 paveiksle parodytas skaitmeninio vaizdo abiejų iškarpų pikselių stulpelių tarpusavio koreliacijos koeficientų kaitos grafikas. Abiejų iškarpų pikselių masyvų tarpusavio koreliacijos koeficientų matrica pagal jų reikšmių sklaidą procentais pavaizduota 9 paveiksle.

Apibendrintasis dviejų iškarpų pikselių masyvų koreliacijos koeficientų matricos įvertis yra lygus

$$R'_{H_i, H_j} = \begin{pmatrix} 1,0 & -0,31 \\ -0,31 & 1,0 \end{pmatrix}.$$

Normuotųjų kovariacinių funkcijų skaičiavimo rezultatai, taikant pavienes RGB spalvų spektro dedamąsias, šiek tiek skiriasi. Tai akivaizdu iš 2–4 paveikslų. Normuotųjų kovariacinių funkcijų grafikai pagal mėlyną ir žalią RGB spalvas yra labai artimi, ir grafikų reikšmės kinta nuo 1,0 (kai pradinis kvantavimo intervalas  $k=1$ ) iki artimos nuliui reikšmės (kai baigtinis  $k=n/2=1250$ ). Tai reiškia, kad šių pikselių spalvų atsitiktinės funkcijos, pagal kurias skaičiuojamos kovariacinės funkcijos, yra stacionariosios. Raudonos RGB spalvos normuotoji kovariacinė funkcija kinta nuo 1,0 (kai  $k=1$ ) iki 0,5 (kai  $k=1250$ ), taigi matyti, kad RGB spalvų dedamųjų įtaka skaičiavimų rezultatams skirtinga.

Normuotųjų kovariacinių funkcijų skaičiavimo duomenys, taikant visą RGB spalvų tenzorių, pateikiami 5–7 paveiksluose. Pirmosios ir antrosios palydovinio skaitmeninio vaizdo iškarpų normuotųjų kovariacinių funkcijų grafikai (5 ir 6 pav.) yra labai artimi, ir grafikų išraiškos byloja apie jų kilmę iš stacionariųjų atsitiktinių funkcijų. Dviejų vaizdo iškarpų normuotoji tarpusavio kovariacinė funkcija kinta nuo 0,12 iki -0,17 pradinėse kvantavimo intervalo reikšmėse ir, didėjant kvantavimo intervalui, mažėja iki nuliui artimos reikšmės. Taigi tarp abiejų palydovinio skaitmeninio vaizdo iškarpų koreliacija labai silpna, ir tai rodo, kad jose Žemės paviršiaus dangos yra skirtingos.

#### 4. Išvados

1. Skaitmeninių vaizdų normuotosios kovariacinės funkcijos leidžia nustatyti vaizdų koreliacijos kaitą pagal vaizdų pikselių kvantavimo intervalą. Taikant skirtingas RGB spektro dedamąsias gaunami skirtingi normuotųjų kovariacinių funkcijų įverčiai, ypač skiriasi raudonos spalvos dedamosios kovariacinės funkcijos įvertis. Taigi nustatant skaitmeninių vaizdų koreliaciją tikslinga taikyti visą RGB spalvų spektro tenzorių.
2. Sudaryta programa skaitmeninių vaizdų koreliacijos matricos reikšmių sklaidai vaizduoti procentais grafiniu pavidalu. Pateikti skaičiavimai įvertinant skaitmeninių vaizdų pikselių masyvų apibendrintąjį koreliacijos koeficientų matricos įvertį.

#### Literatūra

Antoine, J. P. 2000. Wavelet analysis of signals and images. A grand tour, *Revista Ciencias Matematicas* (La Habana) 18: 113–143.

Dutkay, D. E.; Jorgensen, P. E. T. 2004. Wavelets on fractals, *Rev. Mat. Iberoamericana* 22: 131–180.

Ekstrom, M.; McEwen, A. 1990. Adaptive box filters for removal of random noise from digital images, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 56(4): 453.



- Horgan, G. 1998. Wavelets for SAR image smoothing, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 64(12): 1171.
- Hunt, B.; Ryan, T. W.; Gifford, F. A. 1993. Hough transform extraction of cartographic calibration marks from aerial photography, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 59(7): 1161.
- Kardoulas, N.; Bird, A. C.; Lawan, A. I. 1996. Geometric correction of SPOT and landsat imagery: a comparison of map and GPS derived control points, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 62(10): 1173.
- Skeivalas, J. 1999. Atsitiktinių dydžių kovariacijos nustatymo tikslumas [An accuracy of determination of the covariation of random values], *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 25(4): 156–158.
- Skeivalas, J. 2008. *GPS tinklų teorija ir praktika* [Theory and practice of GPS networks]. Vilnius: Technika. 288 p.
- Skeivalas, J.; Kizlaitis, R. 2008. GPS skaitinių metodų taikymas elektrokardiogramų analizei, *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 34(4): 127–133.  
doi:10.3846/1392-1541.2008.34.127-133
- Skeivalas, J.; Kizlaitis, R. 2009. Fotogrametrijos skaitiniai metodai analizuojant magnetinio rezonanso vaizdų identifikavimą, *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 35(2): 50–54. doi:10.3846/1392-1541.2009.35.50-54
- 
- Jonas SKEIVALAS.** Prof., Doctor Habil. Vilnius Gediminas Technical University. Dept of Geodesy and Cadastre, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania. Ph+370 5 274 4703, Fax +370 5 274 4705. E-mail: [jonas.skeivalas@vgtu.lt](mailto:jonas.skeivalas@vgtu.lt).  
Author of 3 monographs and more than 150 research papers. Participated in many intern conferences and research visits to the Finish Geodetic Institute.  
Research interests: processing of measurements with respect to tolerances, adjustment of geodetic networks.
- 
- Edita ALEKNIENĖ.** Master of Science. Vilnius Gediminas Technical University. Dept of Geodesy and Cadastre, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania. Ph+370 5 274 4703, Fax +370 5 274 4705. E-mail: [edita.alekniene@vgtu.lt](mailto:edita.alekniene@vgtu.lt)  
A graduate of Vilnius Gediminas Technical University (Master of Science 1998). Co-author of one study guide and 3 research papers.  
Research interests: investigation of geodynamic processes, GIS, investigations of deformations.
- 
- Silvija GEČYTĖ.** Master of Science. Vilnius Gediminas Technical University. Dept of Geodesy and Cadastre, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania. Ph+370 5 274 4703, Fax +370 5 274 4705. E-mail: [silvija.gecyte@vgtu.lt](mailto:silvija.gecyte@vgtu.lt).  
A graduate of Vilnius Gediminas Technical University (Master of Science 2002). Co-author of one research paper.  
Research interests: digital maps, GPS satellite surveyings.