



KOVARIACIJOS METODO TAIKYMAS ANALIZUOJANT (PALYGINANT) SKAITMENINIUS VAIZDUS KARTOGRAFIJOJE

Jurgita Milieškaitė

Geodezijos ir kadastro katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva, el. paštas gkk@vgtu.lt

Įteikta 2009 11 30; priimta 2010 01 05

Santrauka. Straipsnyje pristatoma skaitmeninių vaizdų identifikavimo (palyginimo) taikant kovariacijų teoriją galimybių ir tikslumo analizė. Skaitmeniniai vaizdai, gauti nuotoliniais metodais, apdorojami pagal sudarytą kompiuterinę programą *Matlab 7* programinio paketo operatorių aplinkoje. Šia programa tarpusavyje palyginami du skaitmeniniai vaizdai, kurių tarpusavio priklausomybė įvertinama šia programa apskaičiuotomis koreliacijos koeficientų reikšmėmis. Esant didesnei koreliacijos koeficiento absoliučiajai reikšmei priklausomybė didesnė, ir atvirkščiai. Pagal tai galima įvertinti dviejų skaitmeninių vaizdų arba vieno vaizdo dviejų dalių (fragmentų) atitinkamų parametrų reikšmių tarpusavio nuokrypius.

Reikšminiai žodžiai: kovariacinė funkcija, palyginimas, pikseliai, skaitmeniniai vaizdai.

1. Įvadas

Iš kiekvienos valstybės neatkuriamųjų išteklių žemė tampa vis svarbesnė. Dėl miestų plėtros, kelių infrastruktūros augimo bei žemėnaudos pobūdžio kitimo ir visai aplinkai, ir žemės struktūrai iškyla vis daugiau grėsmių, kurias galima valdyti tik efektyviai stebint Žemės dangos pokyčius. Daugiausiai duomenų apie Žemės dangą (jos pokyčius) gaunama nuotoliniais metodais – iš aeronuotraukų ir palydovinių vaizdų, kurie apdorojami ir analizuojami taikant įvairias GIS technologijas.

Žemės dangos pokyčių, kurie atsiranda veikiant įvairiems veiksniams (žmogaus veiklai, erozijai ir kt.), nustatymas vietovėje užima daug laiko. Reikalingi papildomi prietaisai šioms žemės paviršiaus pokyčiams fiksuoti bei įvertinti. Straipsnyje pateikiama galimybė automatizuotai, turint du skaitmeninius vaizdus ir taikant *Pavkor.m* programą (Skeivalas, Kizlaitis 2009), nustatyti tų vaizdų panašumą (priklausomybę). Vaizdų tarpusavio priklausomybė įvertinama šia programa apskaičiuojamais koreliacijos koeficientais, kurių reikšmės gali būti nuo -1 iki 1 . Geriausias atitikmuo gaunamas, kai koreliacijos koeficientas apytikriai lygus vienetui (Ruzgienė 2008: 103–107; Linder 2003).

Šio darbo tikslas – skaitmeninių vaizdų identifikavimas (atitikimo nustatymas) taikant kovariacijų teoriją.

Tyrimo objektai – skaitmeninio spalvotojo ortofotografinio M1:10 000 žemėlapių vaizdų fragmentai.

Ortofotografinio žemėlapių detalumą apibūdina vaizdavimo elemento – pikselio matmenys (Sužiedelytė-Visockienė, Žalnierukas 2004). Skaitmeninių vaizdų

identifikavimą sprendžiant matematinėmis operacijomis, skaitmeninio vaizdo pikselių erdvinė padėtis, apibrėžiama eilučių ir stulpelių numeriais, konvertuojama į spalvų bangų dažnių erdvinę sritį. Šia prasme skaitmeninio vaizdo kiekvieno pikselio koordinatė yra nusakoma atitinkamo dažnio spalvos virpesių amplitudė bei fazė, ir atvirkščiai, pagal žinomo dažnio virpesių amplitudę bei fazę galima identifikuoti pikselio koordinatas (Skeivalas, Kizlaitis 2009). Vaizdų duomenims taikant įvairias matematinės operacijas atliekamos įvairios vaizdų transformacijos.

Straipsnyje nagrinėjamas skaitmeninių vaizdų identifikavimas taikant koreliacijos metodą. Įvertinama, ar vizualioji skaitmeninių vaizdų kokybė – ryškumas (kontrastas) turi įtakos šių vaizdų identifikavimo rezultatams.

2. Teoriniai apibendrinimai

Analizuodami skaitmeninių vaizdų identifikavimą remsimės kovariacijų teorija. Dviejų atsitiktinių dydžių (pikselių) – X ir Y koreliacijos koeficiento įvertis r_{xy} skaičiuojamas pagal žinomas matematinės statistikos formules. Viena iš jų – kai taikoma atitinkamo tūrio imtis (Skeivalas 1999, 2001):

$$r_{xy} = \frac{K_{xy}}{m_x m_y}, \quad (1)$$

čia K_{xy} – kovariacijos įvertis; m_x , m_y – standartinių nuokrypių įverčiai.

Kovariacijos įverčio skaičiavimo pagal turimus imčių narius formulė:

$$K_{xy} = \frac{1}{n} \sum_1^n x_i y_i - \bar{x} \bar{y}, \quad (2)$$

čia x_i, y_i – dviejų imčių atitinkami nariai; \bar{x}, \bar{y} – imčių vidurkiai, n – imčių tūris. Imčių nariai yra pikselių spalvų reikšmės.

Standartinių nuokrypių įverčiai apskaičiuojami taip:

$$m_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n x_i^2 - \bar{x}^2}, \quad (3)$$

$$m_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n y_i^2 - \bar{y}^2}. \quad (4)$$

Pagal turimus skaitmeninių vaizdų pikselių vektorinius duomenis skaičiuojamas kovariacijų matricos įvertis (Bručas, Skeivalas, Giniotis 2007):

$$K_{XY} = \frac{1}{(n-1)} \delta X^T \delta Y, \quad (5)$$

čia δX ir δY – dviejų skaitmeninių vaizdų pikselių centruotosios matricos:

$$\delta X = X - MX, \quad (6)$$

$$\delta Y = Y - MY, \quad (7)$$

čia X, Y – atitinkamo skaitmeninio vaizdo pikselių matrica (masivas); MX – matricos X vektorių vidurkių matrica, MY – matricos Y vektorių vidurkių matrica.

Kiekvieno skaitmeninių vaizdų taško mastelis yra šiek tiek skirtingas. Skaičiuojant kovariacijų įverčius mastelio įtaka nepasireiškia, nes pavienio pikselio nepriklausomai nuo jo mastelio spalvų bangų dažnis lieka tas pats, t. y. const. Skaitmeniniuose vaizduose pasirinkamų atkarpų (fragmentų) plotis pagal pikselių skaičių gali būti įvairus.

3. Eksperimentiniai skaičiavimai

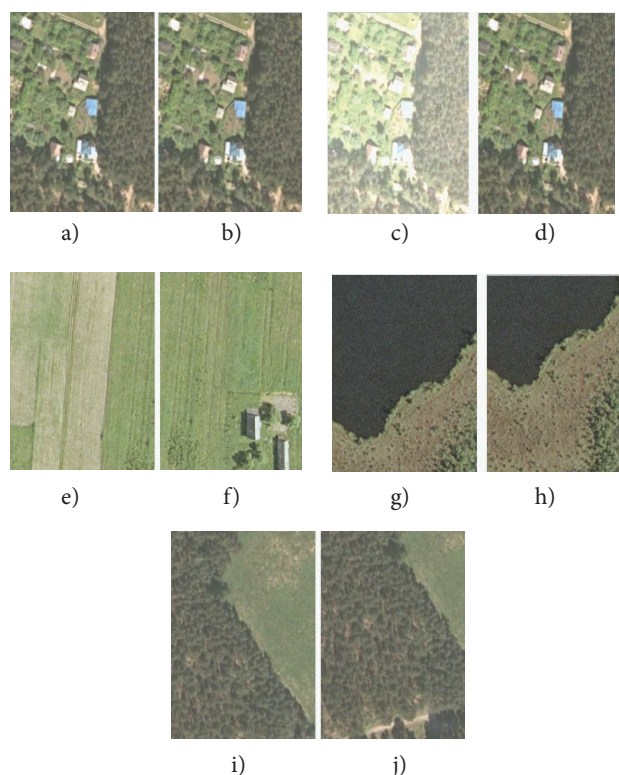
Dviejų vaizdų skaitinis apdorojimas atliktas programa *Pavkor.m*, sudaryta taikant *Matlab* programinio paketo operatorių (Skeivalas, Kizlaitis 2009). *Matlab* suteikia neribotų galimybių sukurti bei analizuoti nespaltuosius ir spaltuosius skaitmeninius vaizdus, taikant įvairias taikomųjų vaizdo apdorojimo programų funkcijas (Pupeikis 2008).

Šia *Pavkor.m* programa yra analizuojami (palyginami) du skaitmeniniai vaizdai arba vieno skaitmeninio vaizdo du fragmentai, nustatoma tarpusavio kovariacija bei koreliacijos koeficientų reikšmės. Šiuo atveju analizuojamos dviejų skaitmeninių vaizdų fragmentų (iškarpų) poros, pasirinktos iš spalvotojo ortofotografinio M1:10 000 žemėlapio (*TIFF* failu).

Pavkor.m programa šie skaitmeniniai vaizdų fragmentai analizuojami (tarpusavyje palyginami, ir apskaičiuojamos koreliacijos koeficiento reikšmės) pagal penkis variantus:

- palyginami du tos pačios užstatytos vietovės vaizdų fragmentai (1 pav., a su b).
- palyginami du tos pačios užstatytos vietovės, bet skirtingo kontrasto vaizdų fragmentai (1 pav., c su d);
- ariamos žemės vaizdo fragmentas palyginamas su kitu ariamos žemės vaizdo fragmentu (1 pav., e su f);
- ežero pakrantės vaizdo fragmentas palyginamas su kitu ežero pakrantės vaizdo fragmentu (1 pav., g su h);
- miško vietovės vaizdo fragmentas palyginamas su kitu miško vietovės vaizdo fragmentu (1 pav., i su j).

Analizei atlikti daroma stačiakampių masyvų pavildu ($X, Y, \Delta X, \Delta Y$) vaizdų atitinkamų dalių skaitinės iškarpos. Skaitmeninių vaizdų fragmentų (iškarpų) poros, kurios tarpusavyje palyginamos, ir skaičiuojamos jų koreliacijos koeficientų reikšmės, parodytos 1 paveiksle.



1 pav. Analizuotosios vaizdų fragmentų poros iš ortofotografinio žemėlapio

Fig. 1. Clip a couple of Orthoimagerymap used in the analysis (investigation)

Penkių variantų, analizuotų *Pavkor.m* programa trijų spalvų spektre (*RGB*), rezultatai parodyti 1 lentelėje ir 3–6 paveiksluose.

Programa *Pavkor.m* gaunama atitinkamų vaizdų pikselių vektorių koreliacijos koeficientų matrica. Analizuojant kiekvieną variantą pagal *RGB* visą spalvų spektrą buvo apskaičiuotos didžiausios (r_{max}), vidutinės (r_{vid}) ir vidutinės absoliučiosios koreliacijos koeficiento reikšmės ($|r_{vid}|$): r_{max} pagal kiekvieną variantą gautos lygios vienui, o r_{vid} ir $|r_{vid}|$ reikšmės pateiktos 1 lentelėje.

1 lentelė. Penkių variantų r_{vid} ir $|r|_{vid}$ reikšmės, apskaičiuotos pagal trijų spalvų spektrą

Table 1. Five versions of r_{vid} and $|r|_{vid}$ values calculated on a three-color spectrum

Variantas	r_{vid}	$ r _{vid}$
1	0,037 055	0,183 50
2	0,036 476	0,183 66
3	0,034 714	0,164 45
4	0,324 30	0,368 38
5	-0,004 157 1	0,177 23

Atlikus pirmojo ir antrojo varianto analizę buvo įvertinta skaitmeninių vaizdų vizualiojo ryškumo (kontrasto) įtaka vaizdų identifikavimo rezultatams. Pagal pirmąjį variantą *Pavkor.m* programa buvo palyginti du tos pačios užstatytos vietovės ir to paties kontrasto vaizdų fragmentai (1 pav., a su b). 1 lentelėje pateiktos apskaičiuotos r_{vid} ir $|r|_{vid}$ reikšmės.

Pagal antrąjį variantą *Pavkor.m* programa buvo palyginti du tos pačios užstatytos vietovės, bet skirtingo kontrasto vaizdų fragmentai (1 pav., c su d). Vieno fragmento (1 pav., c) ryškumas (kontrastas) buvo pakeistas *Picture Manager* programa ("Brightness" lauke pasirinkus skaičių +20, o "Contrast" lauke - +8). Atlikus šią analizę gautos r_{vid} ir $|r|_{vid}$ reikšmės pateiktos 1 lentelėje.

Palyginę gautas pirmojo ir antrojo varianto r_{vid} ir $|r|_{vid}$ reikšmes pastebėsime, kad jos skiriasi nedaug, t. y. koreliacijos koeficientų skaičiavimo tikslumas pakankamas. Vidutinis koreliacijos koeficiento nustatymo tikslumas (Skeivalas 2001) $m_r = \frac{(1-r^2)}{\sqrt{n}} = 0,002$.

Vadinasi, skaitmeninių vaizdų ryškumas (kontrastas) vaizdų identifikavimo rezultatams įtakos neturi.

Pavkor.m programa vienos vaizdų fragmentų poros (1 pav., a, b) koreliacijos koeficientų reikšmės (r_{max} , r_{vid} ir $|r|_{vid}$) buvo apskaičiuojamos ir pavieniuose spalvų spektruose (R, G ir B). Apskaičiuotos koreliacijos koeficientų reikšmės, pasirenkant raudoną (R), žalią (G), mėlyną (B) ar trijų spalvų (RGB) spektrą, pateiktos 2 lentelėje. Jų tarpusavio skirtumai pavaizduoti 2 paveiksle.

Įvertinus rezultatams matyti, kad koreliacijos koeficientų reikšmės, apskaičiuotos trijų spalvų (RGB) spektre, mažai skiriasi nuo koreliacijos koeficientų reikšmių, apskaičiuotų pasirinkus raudoną (R), žalią (G) ar mėlyną (B) spektrą. Koreliacijos koeficientų reikšmių skirtumai atitinka koreliacijos koeficientų skaičiavimo tikslumo ribas, t. y.

$$m_r = \frac{(1-r^2)}{\sqrt{n}} = 0,005.$$

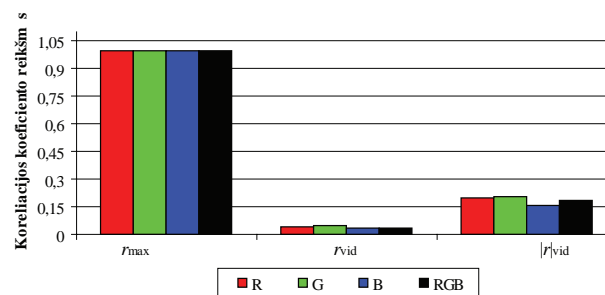
Vadinasi, *Pavkor.m* programa koreliacijos koeficientų reikšmės gali būti tinkamu tikslumu apskaičiuojamos pasirinkus tik vieną kurį nors spalvų spektrą (R, G ar B). Tai naudinga, kai šia programa tarpusavyje palyginami dideli (apimantys didelius plotus, didelės skiriamosios gebos ir užimantys daug kompiuterio atminties) skaitmeniniai vaizdai, nes jų koreliacijos koeficientų reikšmių skaičiavimams, pasirinkus trijų spalvų spektrą (RGB), tenka skirti daugiau laiko. Pasirinkus tik vieną kurios

nors spalvos spektrą (R, G ar B) šios koreliacijos koeficientų reikšmės bus apskaičiuojamos žymiai greičiau.

2 lentelė. Koreliacijos koeficiento reikšmės, apskaičiuotos R, G, B ir RGB spalvų spektruose

Table 2. The correlation coefficient values calculated in R, G, B, and the RGB color spectrum

Spalvų spektrai	Koreliacijos koeficientai	Rezultatai
1	2	3
R	r_{max}	1
	r_{vid}	0,041 219
	$ r _{vid}$	0,199 67
G	r_{max}	1
	r_{vid}	0,048 315
	$ r _{vid}$	0,205 24
B	r_{max}	1
	r_{vid}	0,032 216
	$ r _{vid}$	0,158 17
RGB	r_{max}	1
	r_{vid}	0,037 055
	$ r _{vid}$	0,183 5



2 pav. R, G, B ir RGB spektruose apskaičiuotų koreliacijos koeficientų reikšmių (r_{max} , r_{min} , $|r|_{vid}$) palyginimas (pagal pirmąjį variantą)

Fig. 2. Different color spectra calculated correlation coefficients Comparison

Penkių variantų vaizdų fragmentų porų tenzorinė tarpusavio priklausomybė, apibendrinta pagal RGB visą spalvų spektrą, įvertinama vaizdų koreliacijos koeficientų įverčių matricomis. Jos lygios:

$$K_{1variantas} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix},$$

$$K_{2variantas} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix},$$

$$K_{3variantas} = \begin{bmatrix} 1 & 0,462 72 \\ 0,462 72 & 1 \end{bmatrix},$$

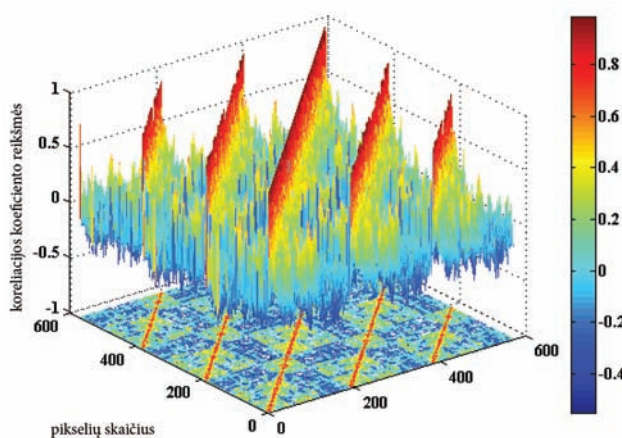
$$K_{4variantas} = \begin{bmatrix} 1 & 0,386 53 \\ 0,386 53 & 1 \end{bmatrix},$$

$$K_{5variantas} = \begin{bmatrix} 1 & 0,312 02 \\ 0,312 02 & 1 \end{bmatrix}.$$

Iš šių matricų matyti, kad mažiausioji koreliacija (priklausomybė silpna) yra penktojo varianto, t. y. tarp dviejų skirtingų miško vaizdų fragmentų (1 pav., i ir j). Rezultatai rodo, kad šių tarpusavyje lyginamų vaizdų fragmentų spalvų panašumas (sutapimas) yra mažiausias. Taigi teigtina, kad šiuose vaizdų fragmentuose yra ryškūs žemės dangos (situacijos) skirtumai. Didžiausioji (stipriausioji) priklausomybė yra pirmojo ir antrojo varianto (1 pav., a ir b, c ir d), nes tarpusavyje buvo palyginti vienodi (identiški) užstatytos vietovės vaizdų fragmentai.

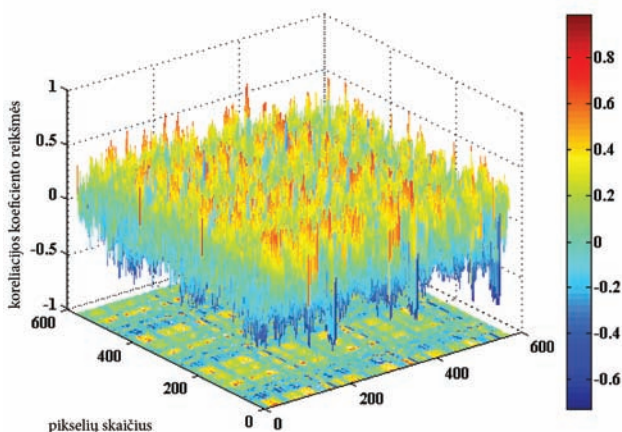
Analizuojant variantus gauti skaitmeninių vaizdų tarpusavio koreliacijos koeficientų matricos grafiniai vaizdai RGB spalvų spektre pateikti 3–6 paveiksluose.

Kadangi atlikus pirmojo ir antrojo varianto analizę gautos panašios koreliacijos koeficientų reikšmės, todėl ir šių variantų skaitmeninių vaizdų tarpusavio koreliacijos koeficientų matricos grafiniai vaizdai RGB spalvų spektre buvo identiški. Atsižvelgiant į tai, straipsnyje pateikiamas tik vieno (pirmojo) varianto grafinis vaizdas (3 pav.).



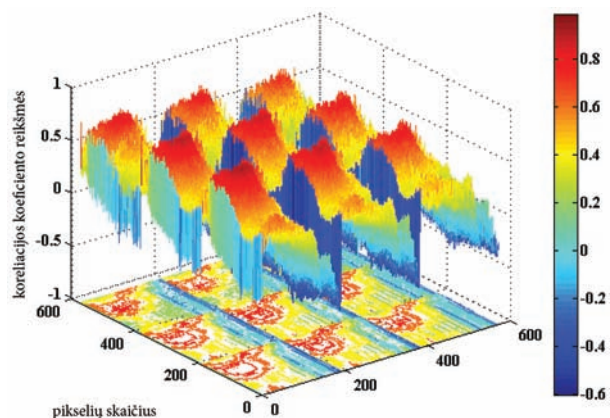
3 pav. Dviejų tos pačios užstatytos vietovės ir to paties kontrasto vaizdų (1 pav., a ir b) tarpusavio koreliacijos koeficientų matricos grafinis vaizdas RGB spalvų spektre

Fig. 3. Built in the same location and same-contrast images (Fig. 1. a and b) between the correlation coefficients matrix graphic image RGB color spectrum



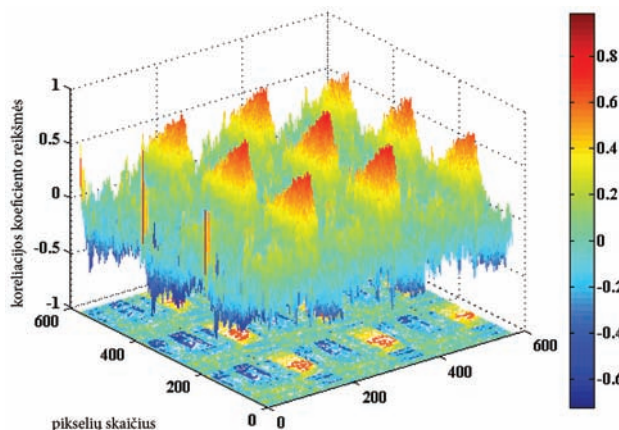
4 pav. Dviejų skirtingų ariamos žemės vaizdų (1 pav., e ir f) tarpusavio koreliacijos koeficientų matricos grafinis vaizdas RGB spalvų spektre

Fig. 4. Two different images of arable land (Fig. 1. e and f) between the correlation coefficients matrix graphic image RGB color spectrum



5 pav. Dviejų skirtingų ežero pakrančių vaizdų (1 pav., g ir h) tarpusavio koreliacijos koeficientų matricos grafinis vaizdas RGB spalvų spektre

Fig. 5. Two different views of the lake coast (Fig. 1. g and h) the correlation coefficients between the matrix graphic image RGB color spectrum



6 pav. Dviejų skirtingų miško vietovės vaizdų (1 pav., i ir j) tarpusavio koreliacijos koeficientų matricos grafinis vaizdas RGB spalvų spektre

Fig. 6. Two different images of forest area (Fig. 1. i and j) between the correlation coefficients matrix of a graphic RGB color spectrum

3–6 pav. grafiškai pavaizduota analizuojant kiekvieną variantą apskaičiuotoji koreliacijos koeficientų reikšmių visuma (pagal tai buvo gautos kiekvieno varianto r_{\max} , r_{vid} , $|r_{\text{vid}}|$ reikšmės; r_{vid} , $|r_{\text{vid}}|$ pateiktos 1 lentelėje). Iš grafikų matyti, kad apskaičiuotosios (RGB spalvų spektre) koreliacijos koeficientų reikšmės kinta nuo -1 iki $+1$ ir yra išsidėstę šių grafikų z ašies kryptimi. Kiekvienos iš šių reikšmių pasitaikymo dažnis parodytas xy ašyje. Vertikalioji spalvų skalė detaliau nurodo koreliacijos koeficiento reikšmes esant tam tikrai spalvai. Didžiausieji koreliacijos koeficientai (nustatyti pikselių spalvų sutapimai) grafike vaizduojami tamsiai raudona spalva.

Taigi turint skirtingu laikotarpiu gautus tos pačios vietovės skaitmeninius vaizdus ir taikant šią *Pavkor.m* programą galima automatizuotai nustatyti vaizdų tarpusavio priklausomybę (įvertinti tarpusavyje palyginamų vaizdų panašumą).

4. Išvados

1. Tyrimų rezultatai patvirtino galimybę automatizuotai pagal *Pavkor.m* programą atlikti dviejų skaitmeninių vaizdų tarpusavio identifikavimą, įvertinant jų tarpusavio priklausomybę pagal apskaičiuotas koreliacijos koeficientų reikšmes.
2. Vizuali skaitmeninių vaizdų kokybė – ryškumas (kontrastas) neturi įtakos vaizdų identifikavimo rezultatams.
3. Trijų spalvų (*RGB*) spektre apskaičiuotos koreliacijos koeficientų reikšmės nesiskiria nuo koreliacijos koeficientų reikšmių, apskaičiuotų pasirinkus vieną kurį nors spalvų spektrą (raudonąjį (*R*), žaliąjį (*G*) ar mėlynąjį (*B*)), todėl šiems koeficientams apskaičiuoti pakanka pasirinkti tik vieną kurį nors spalvos spektrą.

Literatūra

- Bručas, D.; Skeivalas, J.; Giniotis, V. 2007. Kampų matavimų koreliacinė analizė [The correlation analysis of the angle measurements], *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 33(4): 111–114.
- Linder, W. 2003. *Digital Photogrammetry. Theory and Application*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. 189 p.
- Pupeikis, R. 2008. *Vaizdų apdorojimo Matlab'o terpėje pagrindai* [Image processing Matlab's media law]. Vilnius: Technika.
- Ruzgienė, B. 2008. *Fotogrametrija* [Photogrammetry]. Vilnius: Technika.
- 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. 2001. *Metrologinių ir geodezinių matavimų apdorojimas* [Metrological and geodetic measurements processing]. Vilnius: Technika. 72 p.
- Skeivalas, J.; Kizlaitis, R. 2009. Fotogramerijos skaitiniai metodai analizuojant magnetinio rezonanso vaizdų identifikavimą [The application of photogrammetric numerical methods to the analysis of magnetic resonance images], *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 35(2): 50–54. doi:10.3846/1392-1541.2009.35.50-54
- Sužiedelytė-Visockienė, J.; Žalnierukas, A. 2004. Urbanizuotų teritorijų kartografavimo ypač stambiu masteliu ortofotogrametrinės technologijos ypatybės [Technologic peculiarities of large-scale orthophotogrammetric mapping in urbanised territories], *Geodezija ir kartografija* [Geodesy and Cartography] 30(2): 51–57.

Jurgita MILIEŠKAITĖ. Doctoral student at the Department of Geodesy and Cadastre, Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania. Ph +370 5 274 4703, Fax +370 5 274 4705, e-mail: gkk@ap.vgtu.lt.

A graduate from Vilnius Gediminas Technical University (Master of Science, 2008).

Research interests: the clusteric correlation analysis of land cover digital raster images.