

FOTOGRAMETRIJOS SKAITINIAI METODAI ANALIZUOJANT
MAGNETINIO REZONANSO VAIZDŲ IDENTIFIKAVIMĄJonas Skeivalas¹, Romualdas Kizlaitis^{2,3}¹Geodezijos ir kadastro katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva

El. paštas Jonas.Skeivalas@ap.vgtu.lt

²Informatikos ir plėtros centras, Vilniaus universiteto ligoninės Santariškių klinikos,
Santariškių g. 2, LT-08661 Vilnius, Lietuva

El. paštas Romualdas.Kizlaitis@santa.lt

³Sistemų analizės skyrius, Matematikos ir informatikos institutas,
Akademijos g. 4, LT-08663 Vilnius, Lietuva

Įteikta 2009 01 19; priimta 2009 03 21

Santrauka. Straipsnyje pristatoma skaitmeninių vaizdų identifikavimo galimybių ir tikslumo analizė, taikant kovariacinių funkcijų teoriją. Skaitmeniniai vaizdai, gauti magnetinio rezonanso skenavimo prietaisu *Magnetom* 1,5T, apdorojami pagal sudarytą kompiuterinę programą *Matlab 7* programinio paketo operatorių aplinkoje. Magnetinio rezonanso skaitmeniniai vaizdai formuojami stacionariosios atsitiktinės funkcijos pavidalu. Šių funkcijų auto- ir tarpusavio kovariacinės funkcijos nagrinėjamos esant įvairiems vaizdo pikselių kvantavimo intervalams. Pagal tai galima įvertinti dviejų skaitmeninių vaizdų arba vieno vaizdo dviejų dalių (fragmentų) atitinkamų parametrų reikšmių tarpusavio nuokrypį. Magnetinio rezonanso skaitmeninių vaizdų koreliacinę analizę įmanoma atlikti 2–5 pikselių tikslumu.

Reikšminiai žodžiai: kovariacinė funkcija, identifikavimas, kvantavimas, pikseliai, skaitmeniniai vaizdai.

1. Įvadas

Skaitmeninių vaizdų identifikavimas yra specifinė mokslinė problema. Ją sprendžiant matematinėmis operacijomis, skaitmeninio vaizdo pikselių erdvinė padėtis, apibrėžiama eilučių ir stulpelių numeriais, yra 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 (*vice versa*), pagal žinomo dažnio virpesių amplitudę bei fazę galima identifikuoti pikselio koordinatę. Taigi pikselio padėtis apibrėžiama radiometriniu lygmeniu, ir abiejų rūšių informacijai sujungti pasirenkami atitinkami teoriniai modeliai. Spalvų virpesiams apdoroti bei interferencijos įtakai eliminuoti paprastai taikoma diskretusis Furjė (Fourier) transformavimas (Kardoulas *et al.* 1996; Ekstrom, McEwen. 1990). Viena iš naujausių teorijų, sukurtų skaitmeniniams vaizdams apdoroti yra Wavelet, arba mažųjų bangų funkcijų, teorija. Pagrindinis Wavelet teorijos privalumas yra tai, kad ja grindžiant galima nustatyti lokalinius signalų pokyčius per tam tikrą laiko tarpą (Horgan 1998; Hunt, *et al.* 1993; Новиков, *et al.* 2005; Antoine 2000; Dutkay, Jorgensen 2004; Ishikawa, Mochimaru 2002; Смоленцев 2008).

Straipsnyje nagrinėjamas skaitmeninių vaizdų identifikavimas taikant koreliacijos metodą ir atsitiktinių funkcijų teoriją. Remiamasi stacionariosios atsitiktinės funkcijos samprata, įvertinant tai, kad spalvų bangų dažnių klaidos yra atsitiktinės ir vienodo tikslumo, t. y. klaidų vidurkis $M\Delta = \text{const} = 0$, ir dispersija $D\Delta = \text{const}$. Dviejų skaitmeninių vaizdų autokovariacinės ir tarpusavio kovariacinės funkcijos nagrinėjamos taikant įvairius vaizdo pikselių kvantavimo intervalus. Apimant visą skaitmeninio vaizdo paviršių yra taikoma slenkamoji kovariacinė funkcija. Kaip identifikavimo rodiklis naudojamas koreliacijos koeficientas, taikant įvairias jo modifikacijas.

2. Teorinės išvados

Analizuodami skaitmeninių vaizdų identifikavimą remsimės stacionariųjų atsitiktinių funkcijų kovariacinių funkcijų teorija. Skaitmeninio vaizdo dviejų atkarpų arba dviejų vaizdų atkarpų – $h_1(u)$ ir $h_2(u + \tau)$, laikomų atsitiktinių funkcijų realizacijomis, kurių argumentai yra pikseliai, tolydžioji kovariacinė funkcija $K_h(\tau)$ rašoma taip (Skeivalas 1999, 2008):

$$K_h(\tau) = \frac{1}{T - \tau} \int_0^{T-\tau} \bar{h}_1(u) \bar{h}_2(u + \tau) du, \quad (1)$$

čia $\bar{h}_1(u)$, $\bar{h}_2(u + \tau)$ – centruotosios atkarpos, u – atkarpos pikselio koordinatė, T – atkarpos ilgis, $\tau = k \cdot \Delta$ – kintantis kvantavimo intervalas, Δ – pikselio matmuo, k – pikselių skaičius kvantavimo intervale.

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

$$K'_h(h) = \frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} \bar{h}_1(u_i) \bar{h}_2(u_{i+k}), \quad (2)$$

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 atkarpos.

Koreliacijos koeficientų funkcijos įvertis yra lygus

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

čia σ_h' – atsitiktinės funkcijos standartinio nuokrypio įvertis.

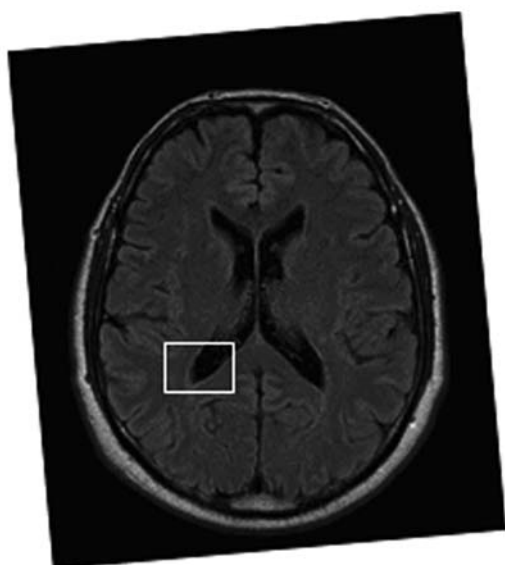
Kovariacinės funkcijos reikšmė $K_h(\tau)$ visada yra ne didesnė už atsitiktinės funkcijos dispersiją, t. y. $K_h(\tau) \leq K_h(0)$, čia $K_h(0) = D(h)$.

Kiekvieno skaitmeninių vaizdų taško mastelis yra šiek tiek skirtingas. Skaičiuojant kovariacinės funkcijos įverčius mastelis įtakos neturi, nes pavienio pikselio, nepriklausomai nuo jo mastelio, spalvų bangų dažnis lieka tas pats, t. y. const. Skaitmeniniuose vaizduose pasirenkamų atkarpų plotis pagal pikselių skaičių gali būti įvairus.

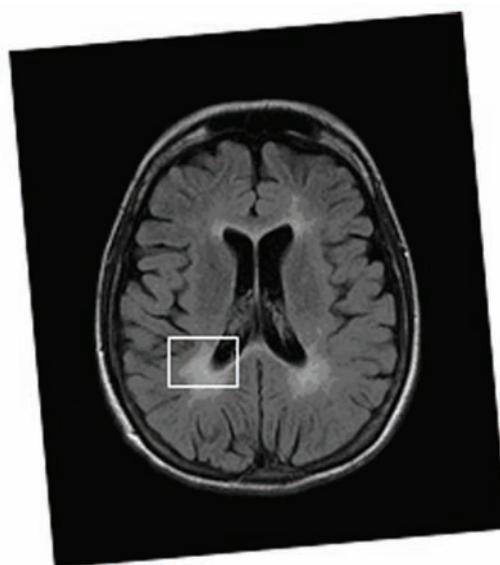
3. Eksperimentiniai skaičiavimai

Skaičiavimams atlikti buvo sudarytos dvi kompiuterinės programos – *Pavkor.m* ir *Pkor.m*, taikant *Matlab* programinio paketo operatorius. Skaičiavimų rezultatai parodyti lentelėse ir paveiksluose. Vaizdų skaitinio apdorojimo programa *Pavkor.m* yra analizuojama dviejų skaitmeninių vaizdų arba vieno vaizdo dviejų fragmentų tarpusavio kovariacija. Šiems skaičiavimams atlikti yra daroma stačiakampių masyvų pavidalu vaizdų atitinkamų dalių skaitinės iškarpos. Magnetinio rezonanso skaitmeniniai vaizdai parodyti 1 ir 2 pav. Skaitmeninių vaizdų koreliacijos koeficientų matricos grafikas pavaizduotas 3 pav. Magnetinio rezonanso skaitmeniniai vaizdai analizuojami dviem variantais programa *Pkor.m*. Pagal vieną variantą sveiko žmogaus ir patologinių smegenų vaizdų skaitinės iškarpos analizuojamos taikant kovariacinių funkcijų metodus. Pagal antrą variantą šių abiejų vaizdų dalių skaitinės iškarpos palyginamos tarpusavyje. Lentelėje parodyta nedidelė abiejų variantų analizės standartinių nuokrypių įverčių vektoriaus dalis. Vidutinis standartinio nuokrypio įvertis abiejuose variantuose yra apie – 5 pikseliai. Koreliacijos koeficiento didžiausios reikšmės $r_{\max} = 1,0$ (pirmojo varianto) ir $r_{\max} = 0,6$ (antrojo varianto). Esant didesnei koreliacijos koeficiento absoliučiajai reikšmei priklausomybė didesnė.

Kompiuterine programa *Pkor.m* atliekama išsami magnetinio rezonanso skaitmeninių vaizdų skaitinės koreliacijos analizė, grindžiant kovariacinių funkcijų teorija. Skaičiuojant taikomas kintamas kvantavimo intervalas k , kai jo reikšmė kinta nuo 1 pikselio iki $n/2$ pikselių, čia $n = 2500$ – bendras skaitmeninio vaizdo stačiakampės iškarpos pikselių skaičius. Skaičiavimų rezultatai grafiškai parodyti 4–6 pav. 4 pav. vaizduojama sveiko žmogaus smegenų rezonanso vaizdo iškarpos normuotoji autokovariacinė funkcija kintamu kvantavimo intervalu.



1 pav. Sveiko žmogaus smegenų magnetinio rezonanso skaitmeninis vaizdas



2 pav. Patologinių smegenų magnetinio rezonanso skaitmeninis vaizdas

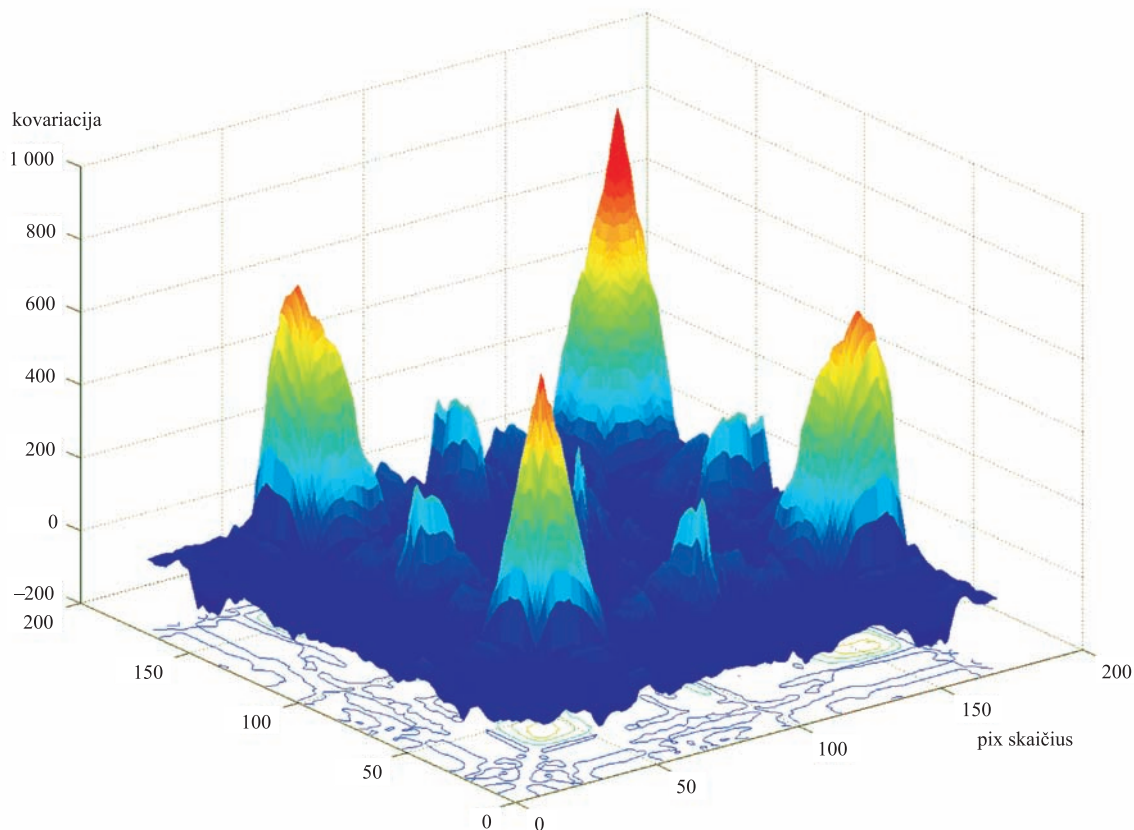
Fig. 1. Digital view of magnetic resonance of the health human brains

Fig. 2. Digital view of magnetic resonance of the damaged human brains

Lentelė. 2 variantų analizės standartinių nuokrypių įverčių (pikseliais) vektoriaus dalis

Table. Part of a vector of the standard deviations of the 2 analysis variants, pixels

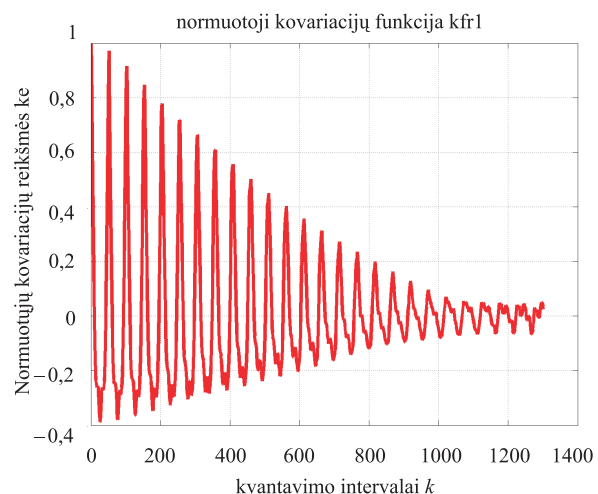
5,086	5,402 5	4,996 6	4,944 8	4,957 4	4,467	3,934 7	3,599 1	3,873 8	4,776 7
4,188 5	4,110 2	4,515 5	4,201 2	3,248 2	4,006 3	5,703 8	7,647 5	6,398 9	6,857 7



3 pav. Patologinių smegenų magnetinio rezonanso skaitmeninio vaizdo grafinis autokovariacijų matricos vaizdas

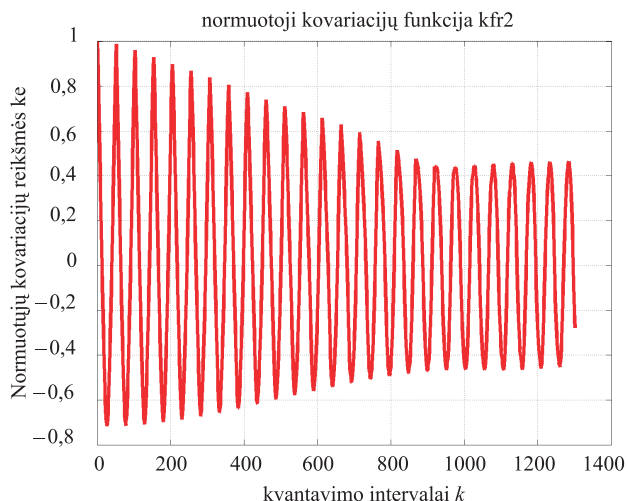
Fig. 3. Graphical view of the auto-covariance matrix of the digital view of the magnetic resonance of the damaged human brains

Normuotosios autokovariacinės funkcijos reikšmės, kintant kvantavimo intervalui k nuo 1 iki 1000 pikselių, mažėja nuo 1,0 iki 0. Kvantavimo intervalui keičiantis toliau iki 1300 pikselių, normuotosios autokovariacinės funkcijos reikšmės lygios 0. 5 pav. matyti patologinių smegenų magnetinio rezonanso vaizdo skaitinės iškarpos normuotosios autokovariacinės funkcijos reikšmių kaita kintant kvantavimo intervalui. Kai kvantavimo intervalas keičiasi nuo 1 iki 1300 pikselių, tai visame kaitos intervale normuotosios autokovariacinės funkcijos reikšmės mažėja nuo 1,0 iki 0,5. 6 pav. pateikiamas sveiko žmogaus ir patologinių smegenų magnetinio rezonanso vaizdų atitinkamų skaitinių iškarpų normuotosios tarpusavio kovariacinės funkcijos grafikas kintamu kvantavimo intervalu. Kintant kvantavimo intervalui nuo 1 iki 1300 pikselių, normuotosios tarpusavio kovariacinės funkcijos reikšmės kinta nuo 0,6 iki 0. Kai pradinis kvantavimo intervalas lygus 1 pikseliui, tarpusavio nenormuotosios kovariacinės funkcijos $kf_{12}(1)$ reikšmė rodo dviejų skaitmeninių vaizdų pradinių atskaitų tarpusavio kovariaciją, mato vienetai – pix^2 .



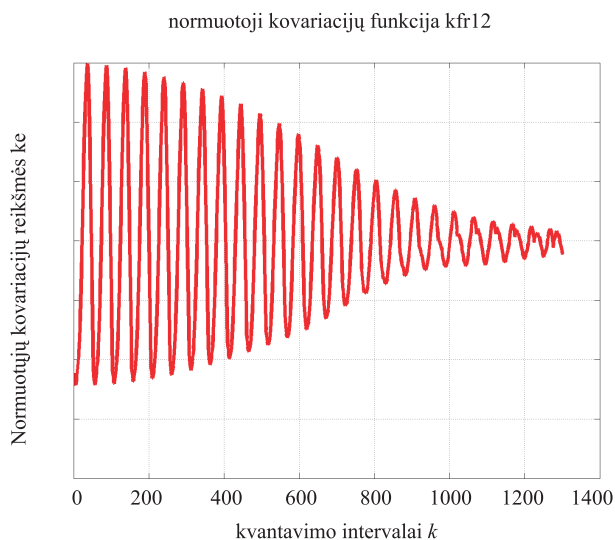
4 pav. Sveiko žmogaus smegenų magnetinio rezonanso vaizdo iškarpos normuotosios autokovariacinės funkcijos grafinis vaizdas kintamu kvantavimo intervalu

Fig. 4. Graphical view of the normalised auto-covariance function of the fragment of the magnetic resonance view of the healthy human brains by moving quantation interval



5 pav. Patologinių smegenų magnetinio rezonanso vaizdo iškarpos normuotosios autokovariacinės funkcijos grafinis vaizdas kintant kvantavimo intervalui

Fig. 5. Graphical view of the normalised auto-covariance function of the fragment of the magnetic resonance view of the damaged human brains by moving quantation interval

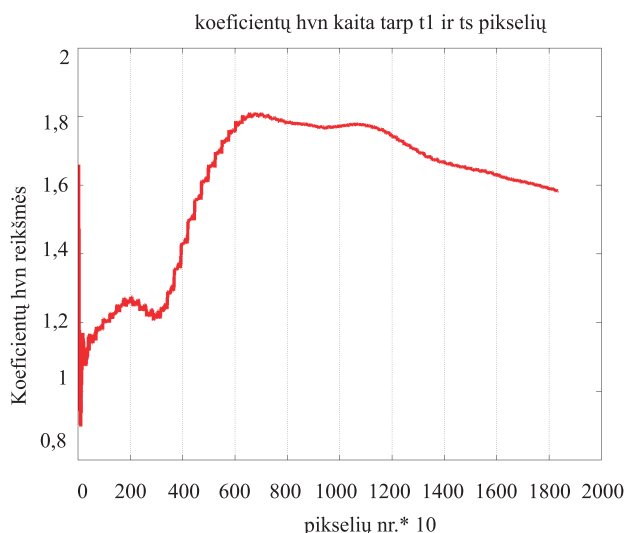


6 pav. Sveiko žmogaus ir patologinių smegenų magnetinio rezonanso vaizdų skaitinių iškarpų tarpusavio normuotosios kovariacinės funkcijos grafinis vaizdas kintant kvantavimo intervalui

Fig. 6. Graphical view of the interrelation normalised covariance function of the fragments of the magnetic resonance views of the healthy and damaged human brains by moving quantation interval

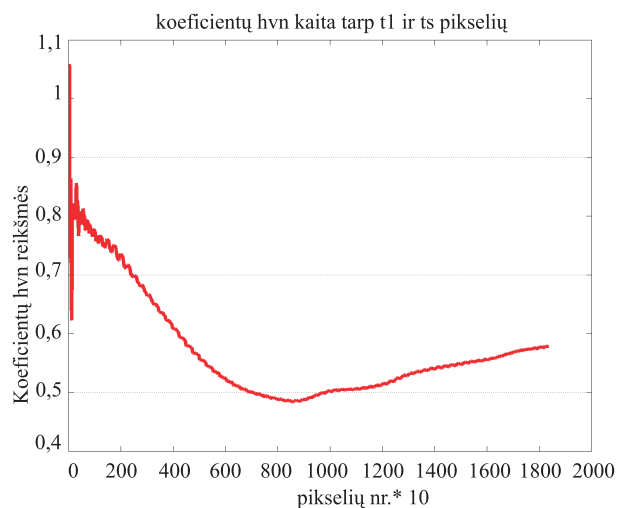
Iš 4 ir 5 pav. akivaizdu, kad sveiko žmogaus smegenų magnetinio rezonanso skaitmeninio vaizdo autokovariacinės funkcijos reikšmių kaitos diapazonas yra $-0,4; 1,0$, o patologinių smegenų skaitmeninio vaizdo autokovariacinės funkcijos reikšmių kaitos diapazonas $-0,7; 1,0$ pradiniam kvantavimo intervalui. Sveiko žmogaus ir patologinių smegenų skaitmeninių vaizdų tarpusavio normuotoji kovariacijų funkcija pradiniam kvantavimo intervalui įgauna mažesnes reikšmes $(-0,5; 0,6)$ nei pavienių skaitmeninių vaizdų ir toliau mažėja iki 0.

Skaitmeniniams vaizdams apdoroti taip pat buvo panaudotos šių vaizdų trimatės vektorinės išraiškos, taikant teoriją, išdėstytą straipsnyje (Skeivalas, Kizlaitis 2008) bei kompiuterinę programą *KorEkg.m*. Rezultatų grafinės išraiškos pateikiamos 7 ir 8 pav. Pagal šiuos paveikslus matyti, kad sveiko žmogaus smegenų vektorinė kovariacija tarp vaizdo pikselių yra žymiai didesnė nei esant smegenų patologijai. Sveiko žmogaus smegenų vektorinės kovariacijos koeficientas mažėja nuo 1,7 iki 0,9 (gretimuose vektoriniuose pikseliuose), tada didėja iki 1,8 ir toliau palaipsniui mažėja iki 1,6. Patologinių smegenų vektorinės kovariacijos koeficientas mažėja nuo 1,05 iki 0,6, tada padidėja iki 0,85 ir toliau palaipsniui mažėja iki 0,5–0,6.



7 pav. Sveiko žmogaus smegenų vektorinės kovariacijos koeficiento kaita kintant atstumui tarp vektorinių pikselių

Fig. 7. Change of the vector covariance coefficient of the healthy human brains from the changes of the distance between vector pixels



8 pav. Patologinių smegenų vektorinės kovariacijos koeficiento kaita kintant atstumui tarp vektorinių pikselių

Fig. 8. Change of the vector covariance coefficient of the damaged human brains from the changes of the distance between vector pixels

4. Išvados

1. Sukurtos dvi kompiuterinės programos – *Pavkor.m* ir *Pkor.m Matlab7* operatorių aplinkoje magnetinio rezonanso skaitmeniniams vaizdams identifikuoti ir jiems analizuoti, taikant kovariacinių funkcijų teoriją.
2. Taikant sudarytas kompiuterines programas buvo atlikti tyrimai, nustatyta kovariacinių funkcijų pokyčiai, keičiant kvantavimo intervalus.
3. Patologinių smegenų magnetinio rezonanso skaitmeninio vaizdo autokovariacinės funkcijos reikšmės, kintant kvantavimo intervalui, sumažėja nuo 1,0 iki 0,5, o sveiko žmogaus smegenų magnetinio rezonanso skaitmeninio vaizdo autokovariacinės funkcijos reikšmės mažėja nuo 1,0 iki 0.
4. Sveiko žmogaus ir patologinių smegenų skaitmeninių vaizdų normuoti tarpusavio kovariacijų funkcija pradiniam kvantavimo intervale įgauna mažesnę reikšmę už 1 (tai 0,6) nei pavienių skaitmeninių vaizdų.
5. Iš tyrimų rezultatų akivaizdi galimybė identifikuoti magnetinio rezonanso skaitmeninius vaizdus pagal jų tarpusavio kovariacinių funkcijų kaitą priklausomai nuo kvantavimo intervalo.
6. Sveiko žmogaus smegenų vektorinė kovariacija tarp vaizdo pikselių yra žymiai didesnė nei patologinių smegenų.

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.
- Ishikawa, Y.; Mochimaru, F. 2002. Wavelet theory-based analysis of high-frequency, highresolution electrocardiograms. A new concept for clinical uses, *Progress in Biomedical Research* 7(3): 179–184.
- 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], *Geodesy and Cartography* [Geodezija ir kartografija] 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 [The application of GPS numerical methods in the analysis of electrocardiograms], *Geodesy and Cartography* [Geodezija ir kartografija] 34(4): 127–133.
- Новиков, И. Я.; Протасов, В. Ю.; Скопина, М. А. 2005. *Теория всплесков*. Москва: Физматлит. 616 с.
- Смоленцев, Н. К. 2008. *Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в Matlab* [Fundamentals Wavelet theory]. Москва: ДМК Пресс. 448 с.

Jonas SKEIVALAS. Prof, Doctor Habil. Vilnius Gediminas Technical University. Dept of Geodesy and Cadastre, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania. Ph +370 5 2744 703, Fax +370 5 2744 705, e-mail: jonas.skeivalas@ap.vgtu.lt.

Author of three monographs and more than 150 scientific 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, global positioning system (GPS).

Romualdas KIZLAITIS. Director of Informatics and Development Centre, Vilnius University Hospital Santariskiu klinika, Santariškių g. 2, LT-08661 Vilnius, Lithuania. Ph +370 5 2365005, Fax +370 5 2365111, PhD at Institute of Mathematics and Informatics, Akademijos str., 4, LT-08663 Vilnius, e-mail: Romualdas.Kizlaitis@santa.lt.

He is a key person in several EU funded and International projects such as the Eastern Lithuania Cardiology project, Electronic Patient Appointment Reservation System and Baltic eHealth Project. Regular speaker at eHealth conferences all over the world, propagating Web based Electronic Patient Record systems, integration of patient data, use of mobile technologies in patient care.

Research interests: medical informatics, medical data security, Electronic Patient Records and their integration data like Electric signals.