

FOTOGRAMETRIJOS SKAITINIAI METODAI ATLIEKANT
CHROMOSOMŲ VAIZDŲ ANALIZĘJonas Skeivalas¹, Algirdas Utkus², Beata Aleksūnienė³¹Geodezijos ir kadastro katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva

El. paštas Jonas.Skeivalas@vgtu.lt

^{2,3}Žmogaus ir medicininės genetikos katedra, Vilniaus universitetas,
Santariškių g. 2, LT-08661 Vilnius, LietuvaEl. paštas: ²Algirdas.Utkus@santa.lt; ³Beata.Aleksuniene@santa.lt

Įteikta 2009 08 30; priimta 2009 09 23

Santrauka. Straipsnyje nagrinėjami chromosomų skaitmeninių vaizdų identifikavimo galimybių ir analizės, taikant fotogrametrijos skaitinius metodus ir kovariacinių funkcijų teoriją, tikslumo aspektai. Skaitmeniniai vaizdai, gauti šviesiniu mikroskopu, apdorojami pagal sudarytas kompiuterines programas *Matlab 7* programinio paketo operatorių aplinkoje. Chromosomų 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 nuokrypius. Chromosomų skaitmeninių vaizdų koreliacinę analizę įmanoma atlikti keleto pikselių tikslumu.

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

1. Įvadas

Skaitmeniniai vaizdai gali būti identifikuojami fotogrametrijos skaitiniais metodais. Juos taikant kaip matematinės operacijos, skaitmeninio vaizdo pikselių erdvinę padėtis, apibrėžiama eilučių ir stulpelių numeriais, yra konvertuojama į spalvų bangų dažnių erdvinę sritį. Šia prasme skaitmeninio vaizdo kiekvieno pikselio koordinatė yra nusakoma atitinkamos spalvos virpesių dažniu, amplitude bei faze, 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, MeEwen 1990). Viena iš naujausių sukurtų skaitmeninių vaizdų apdorojimo teorijų yra Wavelet, arba mažųjų bangų funkcijų teorija. Pagrindinis Wavelet teorijos privalumas yra tai, kad ja grindžiant galima nustatyti lokaliuosius 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 fotogrametrijos 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 $M\Delta = \text{const} = 0$, o jų 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 taikoma slenkamoji kovariacinė funkcija.

2. Teorinės prielaidos

Analizuodami skaitmeninių vaizdų identifikavimą, remsimės stacionariųjų atsitiktinių funkcijų kovariacinių funkcijų teorija. Vieno 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.

Normintosios kovariacinės 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 reikšmės modulis $|K_h(\tau_i)|$ visada yra ne didesnis 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 spalvos dažnis lieka tas pats, t. y. const. Skaitmeniniuose vaizduose pasirenkamų atkarpų plotis pagal pikselių skaičių gali būti įvairus.

Toliau pateiksime teorines chromosomų skaitmeninių vaizdų apdorojimo, taikant vaizdų tenzorių (Skeivalas, Kizlaitis 2008) atstojamųjų vektorių kovariacinę analizę, formules.

Chromosomų RGB trijų spalvų (raudonos, žalios ir mėlynos) spektro pikselių matricos sudaro erdvinį tenzorių. Taikant virtualiųjų koordinatinių sistemą buvo analizuota chromosomų atitinkamų sričių aibės pikselių atstojamųjų virtualiųjų vektorių RGB spalvų spektre tarpusavio kovariacijų kaita pagal pikselių erdvinę padėtį.

Išdėstysime bendrąją išraišką kovariacijai tarp chromosomos tenzoriaus virtualiojo vektoriaus $F(t)$ reikšmių, nustatytų pagal skirtingas pikselių padėtis t_i ir t_s , skaičiuoti:

$$K\{F(t_i), F(t_s)\} = M\{\delta F(t_i) \cdot \delta F(t_s)\} = M\{\delta F(t_i) \cdot h \delta F(t_i)\} = h \cdot M\{\delta F(t_i)\}^2 = h \sigma_{F(t_i)}^2, \quad (4)$$

čia K, M – atitinkamai kovariacijos ir vidurkio simboliai, $\delta F(t_i) = F(t_i) - MF(t_i)$ – virtualiojo vektoriaus atsitiktinė klaida dėl atsitiktinių faktorių įtakos, $\delta F(t_s) = h \delta F(t_i)$, h – koeficientas, rodantis vektoriaus $F(t)$ tarpusavio kovariacijų pokytį pagal pikselių padėtį t_i ir t_s , $\sigma_{F(t_i)}$ – standartinis nuokrypis.

Virtualiojo vektoriaus $F(t_i)$ standartinius nuokrypius $\sigma_{F(t_i)}$ galima išreikšti atitinkamų komponentių trimatėje koordinatinių sistemoje F_x, F_y, F_z standartiniais nuokrypiais. Galime parašyti

$$F(t) = \Phi\{F_x(t), F_y(t), F_z(t)\}.$$

Toliau, skleidami eilute, kaip galutinį pavidalą gauname

$$\delta F(t) = a_x \delta F_x(t) + a_y \delta F_y(t) + a_z \delta F_z(t), \quad (5)$$

čia $\delta F(t), \delta F_x(t), \delta F_y(t), \delta F_z(t)$ – atitinkamai vektoriaus ir jo dedamųjų pokyčiai; a_x, a_y, a_z – dalinių išvestinių reikšmės, apskaičiuotos pagal žinomas komponentių reikšmes.

Toliau galime rašyti:

$$\sigma_{F(t)}^2 = a_x^2 \sigma_{F_x(t)}^2 + a_y^2 \sigma_{F_y(t)}^2 + a_z^2 \sigma_{F_z(t)}^2. \quad (6)$$

Laikydami, kad $\sigma_{F_x} \approx \sigma_{F_y} \approx \sigma_{F_z} \approx \sigma_0$, gauname $\sigma_{F(t)} \approx \sigma_0$, nes $a_x^2 + a_y^2 + a_z^2 = 1$ (stačiakampėje koordinatinių sistemoje).

3. Kovariacijų koordinatinės išraiškos

Parašysime virtualiojo vektoriaus $F(t)$ kovariacijos formulę komponentine išraiška (Skeivalas, Kizlaitis 2008):

$$K\{F(t_i), F(t_s)\} = K\{\delta F(t_i), \delta F(t_s)\} = M\{(a_{x_i} \delta F_{x_i} + a_{y_i} \delta F_{y_i} + a_{z_i} \delta F_{z_i}) \times (a_{x_s} \delta F_{x_s} + a_{y_s} \delta F_{y_s} + a_{z_s} \delta F_{z_s})\} \leq M\{(\delta F_{x_i} + \delta F_{y_i} + \delta F_{z_i})(\delta F_{x_s} + \delta F_{y_s} + \delta F_{z_s})\}. \quad (7)$$

Koeficientų $a_{x_i}, a_{y_i}, a_{z_i}$ ($i=1, \dots, s$) reikšmės yra ne didesnės už vieneta, t. y. $a_{x_i} \leq 1, a_{y_i} \leq 1, a_{z_i} \leq 1$.

Toliau formulė (4) įgauna tokį pavidalą:

$$K\{F(t_i), F(t_s)\} \leq K(F_{x_i} F_{x_s}) + K(F_{y_i} F_{y_s}) + K(F_{z_i} F_{z_s}) + 2K(F_{x_i} F_{y_s}) + 2K(F_{x_i} F_{z_s}) + 2K(F_{y_i} F_{z_s}), \quad (8)$$

čia $K(F_{x_i} F_{y_s}) = K(F_{x_s} F_{y_i}), K(F_{x_i} F_{z_s}) = K(F_{x_s} F_{z_i}), K(F_{y_i} F_{z_s}) = K(F_{y_s} F_{z_i})$.

Tardami, kad kovariacija tarp $F(t)$ komponentių maždaug vienoda, rašome:

$$K\{F(t_i), F(t_s)\} \leq 9K(F_{\alpha_i}, F_{\alpha_s}), \quad (9)$$

čia $F_{\alpha_i} = (F_{x_i}, F_{y_i}, F_{z_i})^T, i=1, \dots, s$.

Vektoriaus $F(t)$ kovariacijų įverčiams skaičiuoti panaudojame jo komponentių matavimų rezultatų pagal pikselių padėtį t matricinę išraišką:

$$F_{\alpha} = (F_{\alpha_1}, F_{\alpha_2}, \dots, F_{\alpha_s}) = \{F_{\alpha}(t_1), F_{\alpha}(t_2), \dots, F_{\alpha}(t_s)\} \\ F_{\alpha} = \begin{pmatrix} F_{x_1} & F_{x_2} & \dots & F_{x_s} \\ F_{y_1} & F_{y_2} & \dots & F_{y_s} \\ F_{z_1} & F_{z_2} & \dots & F_{z_s} \end{pmatrix}. \quad (10)$$

$F(t)$ komponentų tenzoriaus F_α pagal pikselių koordinatų kovariacijų matricos įvertis \bar{K}'_{F_α} yra lygus

$$\bar{K}'_{F_\alpha} = \frac{1}{s} \delta F_\alpha \cdot \delta F_\alpha^T, \quad (11)$$

čia $\delta F_{\alpha_i} = (\delta F_{x_i}, \delta F_{y_i}, \delta F_{z_i})^T$,

$$\delta F_{x_i} = F_{x_i} - \frac{1}{s} \sum_1^s F_{x_i},$$

$$\delta F_{y_i} = F_{y_i} - \frac{1}{s} \sum_1^s F_{y_i},$$

$$\delta F_{z_i} = F_{z_i} - \frac{1}{s} \sum_1^s F_{z_i}, \quad i=1, \dots, s.$$

Išraiška (11) skleistiniu pavidalu:

$$\bar{K}'_{F_\alpha} = \begin{pmatrix} K_{xx} & K_{xy} & K_{xz} \\ K_{yx} & K_{yy} & K_{yz} \\ K_{zx} & K_{zy} & K_{zz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{pmatrix}, \quad (12)$$

čia $K_{xx} = \sigma_x'^2$, $K_{yy} = \sigma_y'^2$, $K_{zz} = \sigma_z'^2$, σ_x' , σ_y' , σ_z' – standartinių nuokrypių įverčiai.

$F(t)$ komponentų tenzoriaus F_α pagal pikselių padėtį kovariacijų matricos įvertis K'_{F_α} skaičiuojamas taip:

$$K'_{F_\alpha} = \frac{1}{3} \delta F_\alpha^T \cdot \delta F_\alpha. \quad (13)$$

Formulė (13) skleistiniu pavidalu rašoma:

$$K'_{F_\alpha} = \begin{pmatrix} K_{t_1 t_1} & K_{t_1 t_2} & \dots & K_{t_1 t_s} \\ K_{t_2 t_1} & K_{t_2 t_2} & \dots & K_{t_2 t_s} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_{t_s t_1} & K_{t_s t_2} & \dots & K_{t_s t_s} \end{pmatrix}, \quad (14)$$

čia $K_{t_i t_j} = K(F_{\alpha_i}, F_{\alpha_j}) = K\{\delta F_\alpha(t_i), \delta F_\alpha(t_j)\}$.

Vektorių $F(t_i)$ ir $F(t_s)$ kovariacijos įvertis, įvertinant išraišką (9) ir (11), yra ne didesnis už kovariacijų matricos \bar{K}'_{F_α} (12) narių sumą:

$$K'\{F(t_i), F(t_s)\} \leq \sum_{i,j=1}^3 \bar{K}'_{F_{\alpha,ij}}. \quad (15)$$

Taikydami formules (4), (6) ir (12), gauname

$$h\sigma_0^2 \leq \sum_{i,j}^3 \bar{K}'_{F_{\alpha,ij}} \quad (16)$$

ir toliau –

$$h \leq \frac{1}{\sigma_0^2} \sum_{i,j}^3 \bar{K}'_{F_{\alpha,ij}}, \quad (17)$$

čia σ_0' yra σ_0 įvertis.

Taigi koeficientas h rodo virtualiojo vektoriaus $F(t)$ tarpusavio kovariacijų kaitą pagal pikselių padėtį t_i ir t_s .

4. Eksperimento ir skaičiavimų rezultatai

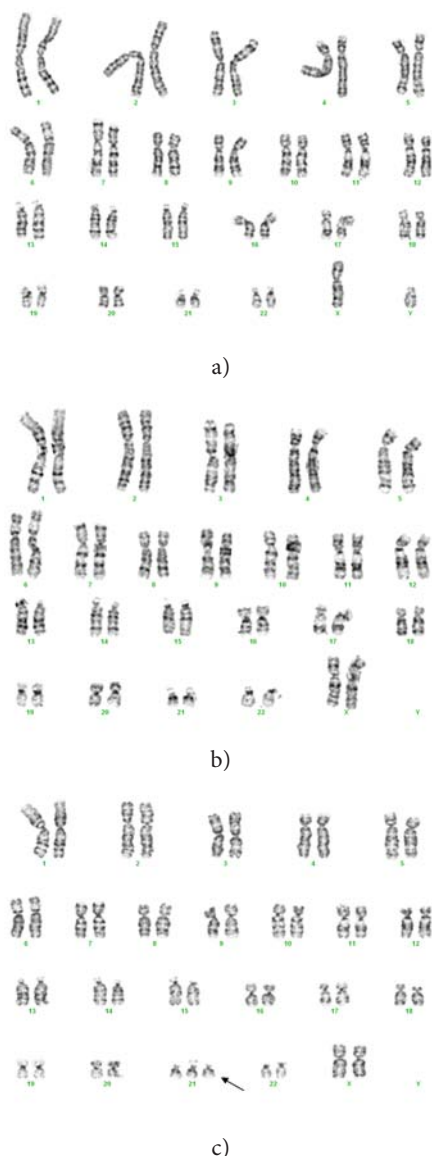
Eksperimentui buvo panaudoti trijų tipų chromosomų skaitmeniniai vaizdai – normalių vyriškųjų ir moteriškųjų ląstelių bei patologinių (Dauno liga sergančios ir turinčios priedinę (trečią) 21-ąją chromosomą moters) moteriškųjų ląstelių. Jie pavaizduoti 1 paveiksle, a, b, c. Eksperimentas buvo atliktas pagal du teorinius modelius:

1. taikant stacionariųjų atsitiktinių funkcijų kovariacinių funkcijų teoriją skirtingais kvantavimo intervalais;
2. taikant chromosomų skaitmeninių vaizdų tenzorių atstojamųjų vektorių kovariacinę analizę.

Skaičiavimams atlikti buvo sukurtos dvi kompiuterinės programos, taikant *Matlab* programinio paketo operatorius. Skaičiavimuose panaudoti minėtųjų trijų tipų ląstelių 21-ųjų chromosomų skaitmeniniai vaizdai.

Skaičiavimų rezultatai pateikti toliau paveiksluose. Pagal pirmąjį teorinį modelį atliekama išsami šviešiniu mikroskopu su 550 ruožų skiriamąja geba gautų chromosomų skaitmeninių vaizdų koreliacinė analizė, grindžiant kovariacinių funkcijų teorija. Skaičiuojant taikomas kintamas kvantavimo intervalas k , jo reikšmės kinta nuo 1 pikselio iki $n/2$ pikselių, čia $n \approx 3000$ – vidutinis chromosomos skaitmeninio vaizdo pikselių skaičius. Skaitmeninių vaizdų kompiuterinio apdorojimo rezultatai grafiškai parodyti 2–9 pav. 2–6 pav. vaizduojamos normalių vyriškųjų ir moteriškųjų ląstelių chromosomų normuotosios kovariacinės funkcijos kintamu kvantavimo intervalu. Visose chromosomų vaizdų kovariacijų funkcijose vyrauja teigiamos koreliacijos, kai kovariacinių funkcijų reikšmių kitimo intervalas – nuo +1,0 iki –0,8.

Normuotųjų kovariacinių funkcijų forma visais pavaizduotais atvejais yra panaši, turinti periodinį pavidalą, mažėjant koreliacijos koeficientų reikšmėms iki $\pm 0,2$. Moteriškųjų ląstelių chromosomų neigiamą koreliacijų absoliučiosios reikšmės pradžiuose kvantavimo intervaluose yra šiek tiek didesnės (–0,8) nei vyriškųjų ląstelių (–0,6). 4–5 pav. pavaizduotos vyriškųjų ir moteriškųjų ląstelių 21-ųjų chromosomų tarpusavio normuotosios kovariacinės funkcijos. Kreivių forma panaši, ir jų reikšmės įvairiuose kvantavimo intervaluose yra maždaug vienodos. 6 pav. parodyta koreliacinė priklausomybė tarp normalios ir patologinės moteriškosios ląstelės pirmosios 21-osios chromosomos ir priedinės 21-osios chromosomos. Pradžiuose kvantavimo intervaluose neigiama koreliacija absoliučiaja reikšme yra mažesnė (–0,3) nei 4–5 pav. atvejais, ir didėjant kvantavimo intervalui k , greitai artėja prie nulio. 7–9 pav. pateikiamos moteriškųjų patologinių ląstelių chromosomų normuotųjų kovariacinių funkcijų kreivės. 7–8 pav. parodyta pirmosios 21-osios chromosomos ir priedinės (trečiosios) 21-osios chromosomos kovariacinės funkcijos, kurių reikšmės, didėjant kvantavimo intervalui k , mažėja iki $\pm 0,1$. Priedinės 21-osios (trečiosios) chromosomos normuotoji kovariacinė funkcija pradžiuose kvantavimo intervaluose įgauna papildomų neigiamų kovariacijų zonų, o viduriniame kvantavimo intervale – papildomą



1 pav. Trijų tipų chromosomų skaitmeniniai vaizdai: a – normalus vyriškasis kariotipas (normos atveju ląstelėse yra dvi homologinės 21-osios chromosomos); b – normalus moteriškasis kariotipas (normos atveju ląstelėse yra dvi homologinės 21-osios chromosomos); c – patologinis moteriškasis kariotipas (Dauno ligos atveju ląstelėse aptinkama priedinė (trečia) 21-oji chromosoma)

Fig. 1. Normal male karyotype (There are two homologous chromosome 21 in cells) (a); normal female karyotype (There are two homologous chromosome 21 in cells) (b); abnormal female karyotype (In Down syndrome, there are three copies of chromosome 21) (c)

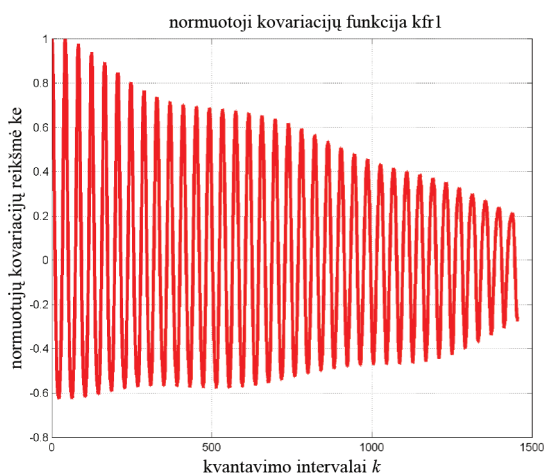
nedidelę teigiamą kovariacijų zoną. 9 pav. pavaizduotos patologinės ląstelės pirmosios 21-osios chromosomos ir priedinės 21-osios chromosomos tarpusavio kovariacinių funkcijų kreivės, kurių reikšmės, didėjant intervalui k , artėja į $\pm 0,1$.

Pagal antrąjį teorinį modelį ląstelių chromosomų skaitmeniniams vaizdams nagrinėti buvo taikoma jų tenzorių atstojamųjų vektorių kovariacinė analizė.

Skaičiavimų rezultatai pateikiami 10–15 pav. 10–12 pav. vaizduoja normalių vyriškųjų ir moteriškųjų ląstelių 21-ųjų chromosomų skaitmeninių vaizdų pikselių t_1 ir t_s tenzorių atstojamųjų vektorių vektorinės kovariacijos koeficientų kaitą. Normalių vyriškųjų ląstelių 21-ųjų chromosomų vektorinės kovariacijos koeficientas hvn, rodantis vektorinės kovariacijos tarp t_1 ir t_s pikselių pokytį pradinio vektoriaus dispersijos atžvilgiu, kinta didėdamas nuo 1,0 iki 1,3 ir toliau mažėja iki 1,1. Normalių moteriškųjų ląstelių 21-ųjų chromosomų vektorinės kovariacijos koeficientas hvn kinta nuo 1,0 iki 0,7. Patologinių moteriškųjų ląstelių 21-ųjų chromosomų vektorinės kovariacijos koeficientas hvn kinta nuo 1,0 iki 1,3 ir toliau mažėja iki 1,1. 13–15 pav. pateikta minėtųjų trijų tipų 21-ųjų kompleksinių chromosomų pirmųjų dalių vektorinės kovariacijos koeficientų hvn kaita. Normalių vyriškųjų ląstelių chromosomų koeficientas hvn didėja nuo 1,0 iki 3,5 ir toliau laiptuotai mažėja iki 1,1. Normalių moteriškųjų ląstelių chromosomų koeficientas hvn mažėja nuo 1,0 iki 0,2 ir toliau laiptuotai didėja iki 1,2. Patologinių moteriškųjų ląstelių chromosomų koeficientas hvn didėja nuo 1,0 iki 1,3, toliau laipsniškai mažėja iki 0,9 ir vėl didėja iki 1,1.

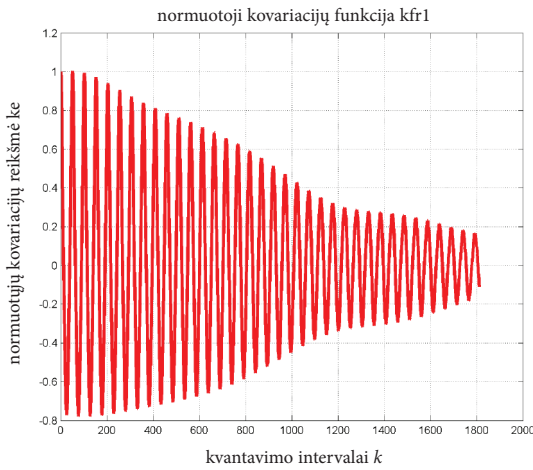
Iš pirmojo teorinio modelio taikymo rezultatus iliustruojančiu paveikslu akivaizdu, kad ryškaus skirtumo tarp normuotųjų kovariacinių funkcijų grafikų, sudarytų pagal normalių vyriškųjų ir moteriškųjų bei patologinių moteriškųjų ląstelių chromosomų skaitmeninius vaizdus, nėra, tačiau egzistuoja nedideli skirtumai tarp normuotųjų kovariacinių funkcijų reikšmių pavieniuose kvantavimo intervaluose.

Taikant antrąjį teorinį modelį išryškėja didesni skirtumai tarp grafikų, iliustruojančių trijų rūšių ląstelių chromosomų skaitmeninių vaizdų tenzorių atstojamųjų vektorių kovariacijos koeficientus hvn.

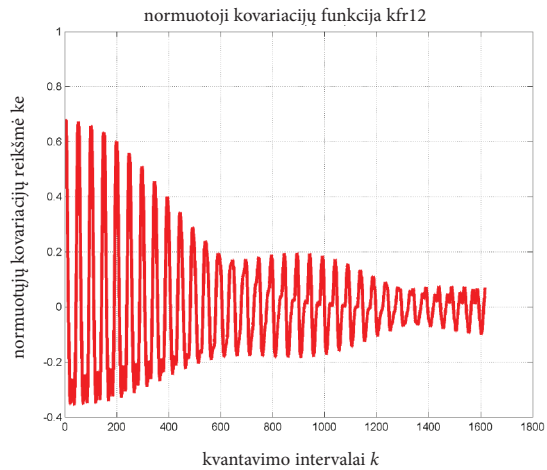


2 pav. Normalių vyriškųjų ląstelių pirmosios 21-osios chromosomos normuotoji kovariacijų funkcija

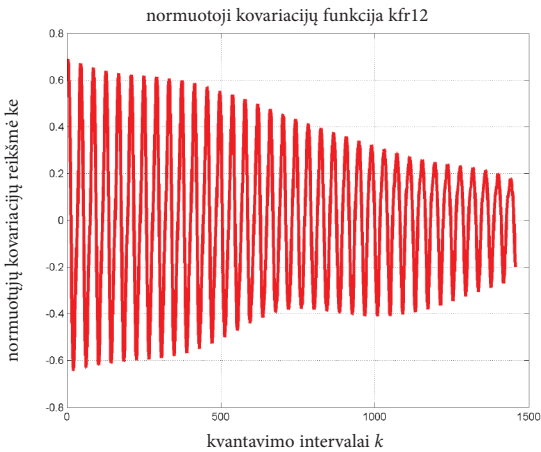
Fig. 2. Normalised covariance function of the normal male first chromosome 21 in cells



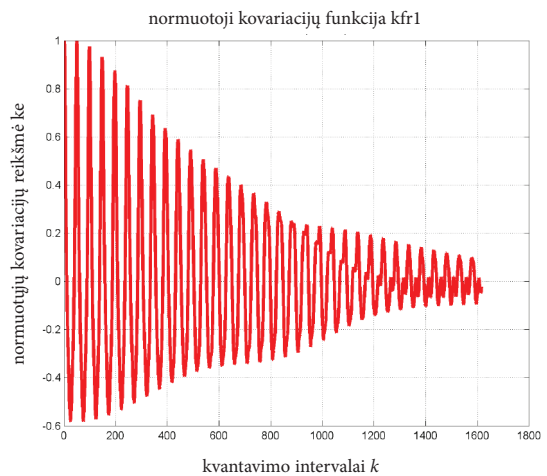
3 pav. Normalių moteriškųjų ląstelių pirmosios 21-osios chromosomos normuotoji kovariacijų funkcija
Fig. 3. Normalised covariance function of the normal female first chromosome 21 in cells



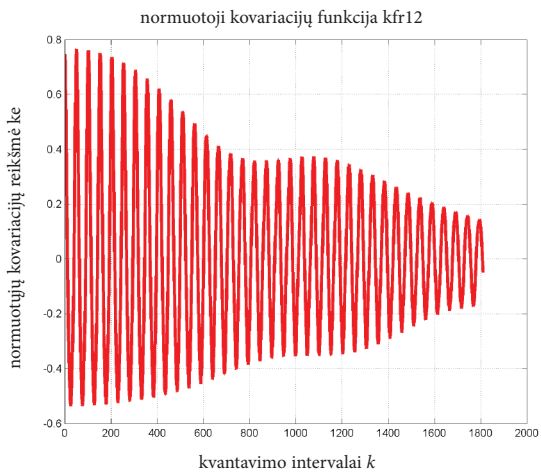
6 pav. Normalių ir pataloginių moteriškųjų ląstelių pirmosios 21-osios chromosomos ir priedinės (trečiosios) 21-osios chromosomos tarpusavio normuotoji kovariacijų funkcija
Fig. 6. Interrelation normalised covariance function of the normal and abnormal female first and extra (third) chromosome 21 in cells



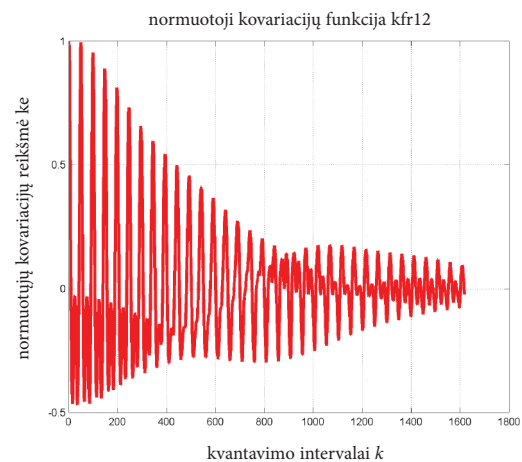
4 pav. Normalių vyriškųjų ląstelių abiejų 21-ųjų chromosomų tarpusavio normuotoji kovariacijų funkcija
Fig. 4. Interrelation normalised covariance function of both normal male chromosomes 21 in cells



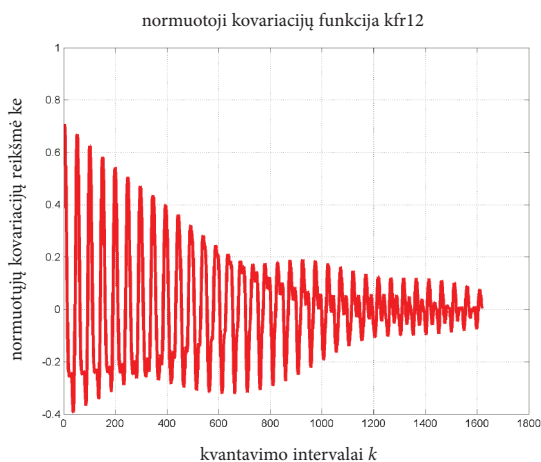
7 pav. Pataloginių moteriškųjų ląstelių pirmosios 21-osios chromosomos normuotoji kovariacijų funkcija
Fig. 7. Normalised covariance function of the abnormal female first chromosome 21 in cells



5 pav. Normalių moteriškųjų ląstelių abiejų 21-ųjų chromosomų tarpusavio normuotoji kovariacijų funkcija
Fig. 5. Interrelation normalised covariance function of both normal female chromosomes 21 in cells

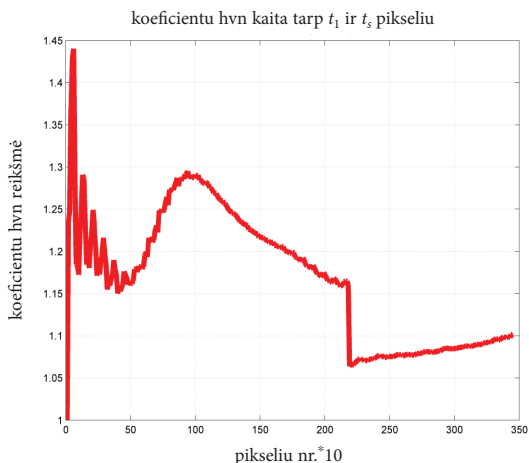


8 pav. Pataloginių moteriškųjų ląstelių priedinės (trečiosios) 21-osios chromosomos normuotoji kovariacijų funkcija
Fig. 8. Normalised covariance function of the abnormal female extra (third) chromosome 21 in cells



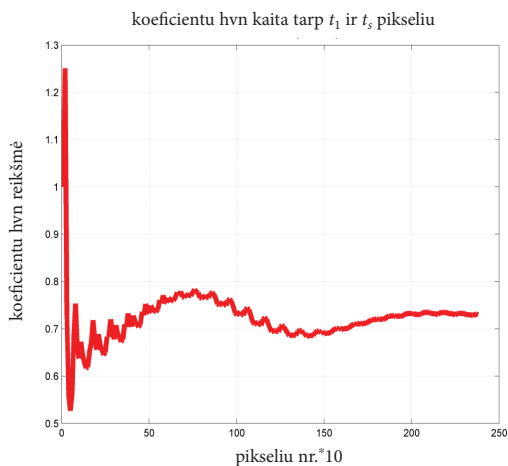
9 pav. Patologinių moteriškųjų ląstelių pirmosios 21-osios chromosomos ir trečiosios (priedinės) 21-osios chromosomos tarpusavio normuotoji kovariacijų funkcija

Fig. 9. Interrelation normalised covariance function of the abnormal female first and extra (third) chromosome 21 in cells



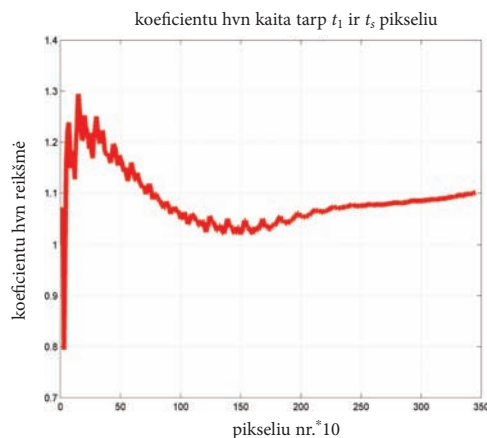
10 pav. Normalių vyriškųjų ląstelių 21-osios chromosomos skaitmeninio vaizdo tenzorius vektorinės kovariacijos koeficiento kaita

Fig. 10. Change of the vector covariance coefficient of digital image tensor of the normal male chromosome 21 in cells



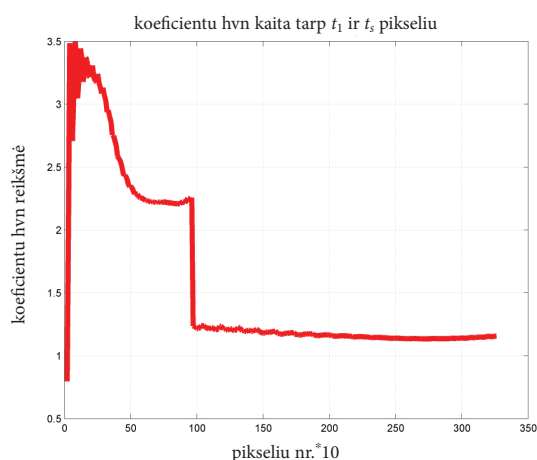
11 pav. Normalių moteriškųjų ląstelių 21-osios chromosomos skaitmeninio vaizdo tenzorius vektorinės kovariacijos koeficiento kaita

Fig. 11. Change of the vector covariance coefficient of digital image tensor of the normal female chromosome 21 in cells



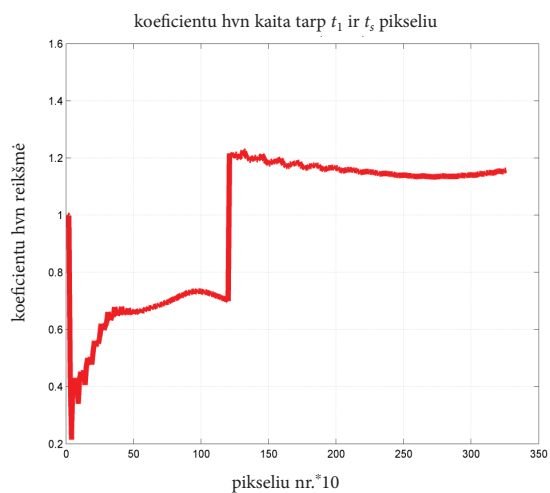
12 pav. Patologinių moteriškųjų ląstelių 21-osios chromosomos skaitmeninio vaizdo tenzorius vektorinės kovariacijos koeficiento kaita

Fig. 12. Change of the vector covariance coefficient of digital image tensor of the abnormal female chromosome 21 in cells



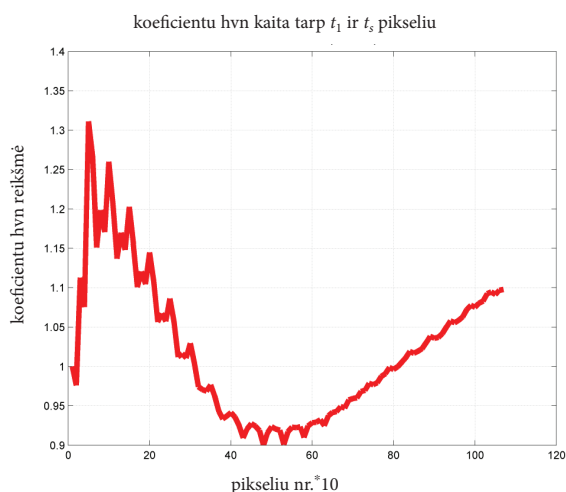
13 pav. Normalių vyriškųjų ląstelių pirmosios 21-osios chromosomos skaitmeninio vaizdo tenzorius vektorinės kovariacijos koeficiento kaita

Fig. 13. Change of the vector covariance coefficient of digital image tensor of the normal male first chromosome 21 in cells



14 pav. Normalių moteriškųjų ląstelių pirmosios 21-osios chromosomos skaitmeninio vaizdo tenzorius vektorinės kovariacijos koeficiento kaita

Fig. 14. Change of the vector covariance coefficient of digital image tensor of the normal female first chromosome 21 in cells



15 pav. Patologinių moteriškųjų ląstelių pirmosios 21-osios chromosomos skaitmeninio vaizdo tenzorius vektorinės kovariacijos koeficiento kaita

Fig. 15. Change of the vector covariance coefficient of digital image tensor of the abnormal female first chromosome 21 in cells

5. Išvados

1. Pagal sudarytas kompiuterines programas buvo atlikti tyrimai, nustatyta chromosomų normuotųjų kovariacinių funkcijų pokyčiai keičiant kvantavimo intervalus. Normuotųjų kovariacinių funkcijų forma visais atvejais turi periodinį pavidalą. Normalių moteriškųjų ląstelių chromosomų neigiamų koreliacijų absoliučiosios reikšmės pradinuose kvantavimo intervaluose yra šiek tiek didesnės ($-0,8$) nei normalių vyriškųjų ląstelių ($-0,6$). Patologinių moteriškųjų ląstelių priedinės (trečiosios) 21-osios chromosomos normuotoji kovariacinė funkcija pradinuose kvantavimo intervaluose įgauna papildomų neigiamų kovariacijų zonų, o viduriniame kvantavimo intervale – papildomą nedidelę teigiamą kovariacijų zoną.
2. Chromosomų skaitmeninių vaizdų tenzorių vektorinės kovariacijos koeficientas hvn rodo pikselių t_1 ir t_3 tenzorių vektorinės kovariacijos pokytį pradinio vektoriaus dispersijos atžvilgiu, ir pavienių chromosomų vektorinės kovariacijos kreivių pavidalas labai netolygus ir skirtingas.
3. Normalių vyriškųjų ląstelių 21-ųjų chromosomų vektorinės kovariacijos koeficientas kinta nuo 1,0 iki 1,1, o normalių moteriškųjų ląstelių – nuo 1,0 iki 0,7. Normalių moteriškųjų ląstelių pirmosios 21-osios chromosomos vektorinės kovariacijos koeficiento kaita (nuo 1,0 iki 1,2) ryškiai skiriasi nuo 21-ųjų kompleksinių chromosomų vektorinės kovariacijos koeficientų kaitos. Patologinių moteriškųjų ląstelių 21-ųjų chromosomų vektorinės kovariacijos koeficientas kinta nuo 1,0 iki 1,1.

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, high-resolution 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], *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 [The application of GPS numerical methods in the analysis of electrocardiograms], *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 [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
- 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* [Smolencev, N. K. Fundamentals of Wavelet theory]. Москва: ДМК Пресс. 448 с.

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

The author of three monographs and more than 150 scientific papers. Participated in a number of international 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).

Algirdas UTKUS. Assoc. Prof., M.D., PhD. at the Department of Human and Medical Genetics, Faculty of Medicine, Vilnius University, Santariškių g. 2, LT-08661 Vilnius, Lithuania. Ph +370 5 2365 198, Fax +370 5 2365 199, e-mail *algirdas.utkus@santa.lt*

The author of more than 30 scientific papers.

Research interests: fluctuating asymmetry, dysmorphology.

Beata ALEKSIŪNIENĖ. MS. at the Department of Human and Medical Genetics, Faculty of Medicine, Vilnius University, Santariškių g. 2, LT-08661 Vilnius, Lithuania. Ph +370 5 2365 197, Fax +370 5 2365 199, e-mail *beata.aleksiuniene@santa.lt*

A participant of local and international conferences and courses.

Research interests: chromosomal rearrangements in mental retardation.