

ERDVINĖS INFORMACIJOS PANAUDOJIMAS VAIZDŲ ANALIZĖJE

Doktorantūros laikotarpis 2014-2018 m.

Doktorantas: Giedrius Stabingis

Darbo vadovas: Prof. Habil. Dr. Gintautas Dzemyda

Konsultantas: Prof. Dr. Kęstutis Dučinskas

Įvadas

- Tyrimo objektas
 - Disertacijoje tiriama kontekstinė erdvinė informacija ir šios informacijos panaudojimo vaizdų analizėje galimybės.
- Tikslas
 - Praplėsti erdvinės informacijos panaudojimą vaizdų analizės metoduose, numatyti taikymo galimybes, bei pritaikyti realiose vaizdų analizės taikymo situacijose.

Uždaviniai

- Išanalizuoti erdvinės koreliacijos įtaką klasifikavimo su mokymu metodams.
- Įvesti erdvinės koreliacijos įtaką į apriorinių klasės žymių tikimybių vertinimą Bajeso diskriminantinėse funkcijose.
- Iširti kaimynystės schemų įtaką klasifikavimui, parinkti tinkamiausią kaimynystės schemą nuo mokymo imties nutolusių vaizdo vietų klasifikavimui.
- Išanalizuoti akių dugno vaizdų analizės metodus ir algoritmus naudojamus akies dugno kraujagyslių tyrimams.
- Nustatyti erdvinės informacijos panaudojimo būdus akies dugno kraujagyslių matavimams.
- Panaudoti erdvinę informaciją akies dugno kraujagyslių klasifikavimo problemų sprendimui.

Mokslinis naujumas

- Sukurtas erdviniu atstumu paremtas klasifikavimo metodas, kuriame klasių apriorinės tikimybės priklauso nuo mokymo imties atsižvelgiant į erdvinę koreliaciją.
- Išanalizuota kaimynystės schemų įtaka klasifikavimo su mokymu tikslumui ir nustatyta tinkamiausia kaimynystės schema padedanti atrinkti mokymo imties duomenis tikslesniam klasifikavimui.
- Erdviniu atstumu ir koreliacija paremtas klasifikavimo metodas pritaikytas duomenims su trimatėmis erdvinėmis koordinatėmis.
- Sukurta metodika leidžianti lengviau kurti adaptyvius akies dugno vaizdų analizės metodus.
- Erdvinio atstumo funkcija pritaikyta vaizdo profilio informacijos išgavimui, kuris naudojamas kraujagyslių matavimams akies dugno vaizduose.
- Sukurtas automatinis akies dugno kraujagyslių, skirtų arterijos – venos santykio skaičiavimams, klasifikavimo metodas paremtas požymių erdviniu normalizavimu.

Ginamieji teiginiai

- Apriorinės klasių žymių tikimybės priklauso nuo klasifikuojamo taško aplinkoje esančios mokymo imties elementų erdvinės koreliacijos.
- Kaimynystės schemų parinkimas padeda tiksliau klasifikuoti vaizdų vietas, kurių aplinkoje trūksta vienos klasės mokymo imties elementų.
- Erdvinių funkcijų taikymas vaizdo profilio informacijos išgavimui įgalina taikyti bendrą matavimo algoritmą skirtingų dydžių akies dugno vaizdams.
- Erdvinis atstumas naudojamas klasifikavimui naudojamų požymių normalizavimui, padeda sumažinti netolygaus vaizdo apšvietimo sukeltus netikslumus klasifikavime.

Darbo rezultatų apibavimas, periodiniai leidiniai

Clarivate Analytics (WoS)

- 1. Giedrius Stabingis, Kęstutis Dučinskas, Lijana Stabingienė,** Comparison of spatial classification rules with different conditional distributions of class label, *Nonlinear Analysis: Modeling and Control*, 2014, Volume 19, No 1, p. 109-117, MII, Vilnius. ISSN 1392-5113.
- 2. Giedrius Stabingis, Jolita Bernatavičienė, Gintautas Dzemyda, Alvydas Paunksnis, Povilas Treigys, Ramutė Vaičaitienė, Lijana Stabingienė,** Automatization of eye fundus vessel width measurements, *VipIMAGE 2017, Lecture Notes in Computational Vision and Biomechanics*, Volume 27, pp. 787-796, 2017. Springer.
- 3. Giedrius Stabingis, Jolita Bernatavičienė, Gintautas Dzemyda, Alvydas Paunksnis, Lijana Stabingienė, Povilas Treigys, Ramutė Vaičaitienė,** Eye fundus vessel classification for automatic artery and vein diameter ratio evaluation, *Proceedings of the Romanian academy, Series A*. [Įteiktas]

Darbo rezultatų apibavimas, periodiniai leidiniai, konferencijų medžiaga

- 4. Giedrius Stabingis**, Spatial classification rule with distance in three dimensional space, *Lietuvos matematikos rinkinys. Proc. LMS, Ser. A*, 2016, Vol. 57. p. 81-85, ISSN 0132-2818.
- 5. Giedrius Stabingis**, Jolita Bernatavičienė, Gintautas Dzemyda, Daiva Imbrasienė, Alvydas Paunksnis, Automated Classification of Arteries and Veins in the Retinal Blood Vasculature, *Computer data analysis and modeling. Theoretical & Applied Stochastics. Proceedings 11th International Conference*, 2016, p. 64-67. Minsk, Belarus.
- 6. Giedrius Stabingis**, Lijana Stabingienė, Neighborhood scheme selection for classification with SCRD method, *Lietuvos matematikos rinkinys. Proc. LMS, Ser. A*, 2015, Vol. 56, p. 101–106. ISSN 0132-2818.
- 7. Giedrius Stabingis**, Lijana Stabingienė, Application of spatial classification rules for remotely sensed images, *Lietuvos matematikos rinkinys. Proc. of the Lithuanian Mathematical Society, Ser. B*, 2014, Vol. 55, p. 63–67. ISSN 0132-2818.

Darbo rezultatų apibavimas, tarptautinės konferencijos

1. **Giedrius Stabingis**, Jolita Bernatavičienė, Gintautas Dzemyda, Alvydas Paunksnis, Povilas Treigys, Ramutė Vaičaitienė, Lijana Stabingienė, Automatization of Eye Fundus Vessel Width Measurements. *VI ECCOMAS Thematic Conference on Computational Vision and Medical Image Processing Porto, Portugalija*. 2017.
2. **Giedrius Stabingis**, Jolita Bernatavičienė, Gintautas Dzemyda, Daiva Imbrasienė, Alvydas Paunksnis. Automated Classification of Arteries and Veins in the Retinal Blood Vasculature. *11th International Conference computer data analysis & modeling 2016 Theoretical & Applied Stochastics*. Minskas, Baltarusija. 2016.
3. Jolita Bernatavičienė, Gintautas Dzemyda, Alvydas Paunksnis, **Giedrius Stabingis**, Povilas Treigys. Automated Blood Vessel Detection and Pathological Changes Identification in Eye Fundus Images. *EURO 2016 - 28th European Conference on Operational Research*. Poznanė, Lenkija. 2016.
4. Lijana Stabingienė, **Giedrius Stabingis**. The influence of noise level to the accuracy of supervised classification methods. *1st international conference on high performance computing and mathematical modelling*. Liepoja.

Darbo rezultatų apibavimas, tarptautinės konferencijos (2)

- 5. Giedrius Stabingis**, Jolita Bernatavičienė, Gintautas Dzemyda, Alvydas Paunksnis, Povilas Treigys, Ramutė Vaičaitienė, Lijana Stabingienė. Automatic Artery Vein Ratio Measurements in Eye Fundus Images. *Data Analysis Methods for Software Systems. 9th International Workshop*. Druskininkai, Lietuva. 2017.
- 6. Giedrius Stabingis**, Jolita Bernatavičienė, Povilas Treigys, Alvydas Paunksnis, Ramutė Vaičaitienė, Viktor Medvedev. Automated Blood Vessels Diameter Measurement in Eye Fundus Images. *Data Analysis Methods for Software Systems. 8th International Workshop*. Druskininkai, Lietuva. 2016.
- 7. Giedrius Stabingis**, Jolita Bernatavičienė, Gintautas Dzemyda, Daiva Imbrasienė, Alvydas Paunksnis, Viktorija Slavinskytė, Povilas Treigys. Automated Blood Vessel Detection and Characteristic Evaluation in Eye Fundus Images. *Data Analysis Methods for Software Systems. 7th International Workshop*. Druskininkai, Lietuva. 2015.
- 8. Giedrius Stabingis**, Lijana Stabingienė. The influence of noise level to the accuracy of supervised classification methods. *Data Analysis Methods for Software Systems. 6th International Workshop*. Druskininkai, Lietuva. 2014.

Darbo rezultatų aprobavimas, respublikinės konferencijos

9. **Giedrius Stabingis**, Spatial classification rule with distance in three dimensional space, *Lietuvos matematikų draugijos 57-oji konferencija*. Vilnius, Lietuva. 2016.
10. **Giedrius Stabingis**, Lijana Stabingienė, Neighborhood scheme selection for classification with SCRD method, *Lietuvos matematikų draugijos 56-oji konferencija*. Kaunas, Lietuva. 2015.
11. **Giedrius Stabingis**, Lijana Stabingienė, Application of spatial classification rules for remotely sensed images, *Lietuvos matematikų draugijos 55-oji konferencija*. Vilnius, Lietuva. 2014.

SCRD metodas

$$\{Z(s) : s \in D \subset \mathbb{R}^2\}$$

Atsitiktinio Gauso lauko (GRF) stebėjimai

$$Z(s) = \mu_l + \varepsilon(s)$$

Z(s) stebėjimų modelis

$$\mu_l$$

Pastovus vidurkis

$$\varepsilon(s)$$

Stacionarus Gauso atsitiktinis laukas (GRF) su nuliniu vidurkiu

$$\text{cov}\{\varepsilon(s), \varepsilon(u)\} = \sigma^2 r(s-u)$$

GRF kovariacijos funkcija

$$\sigma^2$$

GRF dispersija

$$r(s-u) = r(h)$$

GRF erdvinės koreliacijos funkcija

$$r(h) = \exp\left\{-|h|^2 / \alpha\right\}$$

Ekspontentinė erdvinės koreliacijos funkcija,
 α – koreliacijos pločio parametras

SCRD metodos

Įterptoji Bajeso diskriminantinė funkcija – **PBDF** (*angl.* plug-in Bayes discriminant function)

$$W_{tk}(Z_0; \hat{\mu}; \hat{\sigma}^2) = \left(Z_0 - \frac{1}{2}(\hat{\mu}_{1t}^0 + \hat{\mu}_{2t}^0) \right) (\hat{\mu}_{1t}^0 - \hat{\mu}_{2t}^0) / \hat{\sigma}_{0t}^2 + \gamma(k)$$

Parametrų įvertiniai:

$$\hat{\mu}_{1t}^0 = E(Z_0 | T = t; Y(s_0) = 1) = \hat{\mu}_1 + \alpha'_0 \left(z_n - X_y \begin{pmatrix} \hat{\mu}_1 \\ \hat{\mu}_2 \end{pmatrix} \right)$$

$$\hat{\mu}_{2t}^0 = E(Z_0 | T = t; Y(s_0) = 2) = \hat{\mu}_2 + \alpha'_0 \left(z_n - X_y \begin{pmatrix} \hat{\mu}_1 \\ \hat{\mu}_2 \end{pmatrix} \right)$$

$$\hat{\sigma}_{0t}^2 = V(Z_0 | T = t; Y(s_0) = l) = \hat{\sigma}^2 R_{0n}$$

SCRD metodus

$$\hat{\mu} = (X'_y R^{-1} X_y)^{-1} X'_y R^{-1} Z = \begin{pmatrix} \hat{\mu}_1 \\ \hat{\mu}_2 \end{pmatrix}$$

$$\alpha'_0 = r'_0 R^{-1}$$

$$\hat{\sigma}^2 = (Z - X_y \hat{\mu}) R^{-1} (Z - X_y \hat{\mu}) / (n - 2)$$

$$R_{0n} = 1 - r'_0 R^{-1} r_0$$

$$\gamma(k) = \ln(\pi_1(y) / \pi_2(y))$$

Klasių žymių apriorinių tikimybių santykio logaritmas

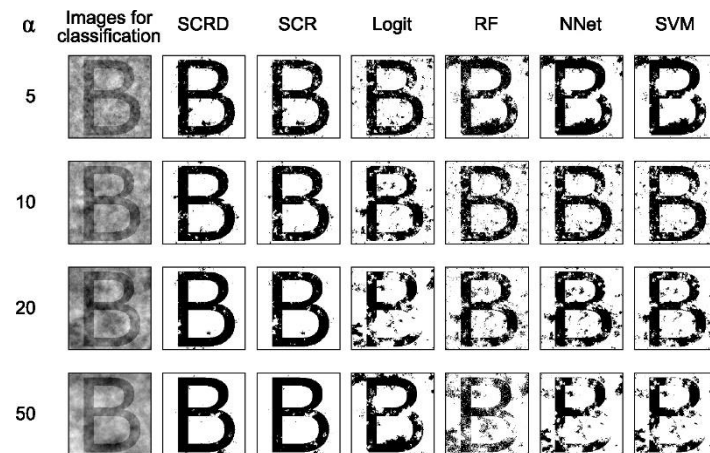
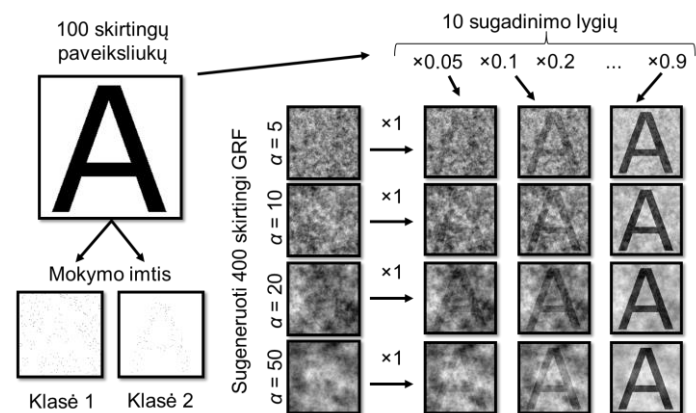
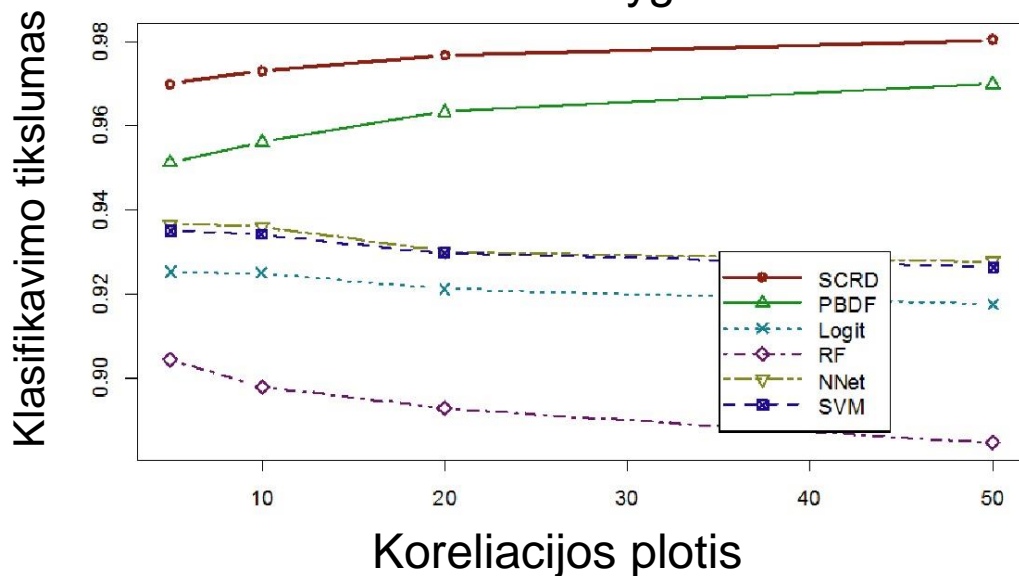
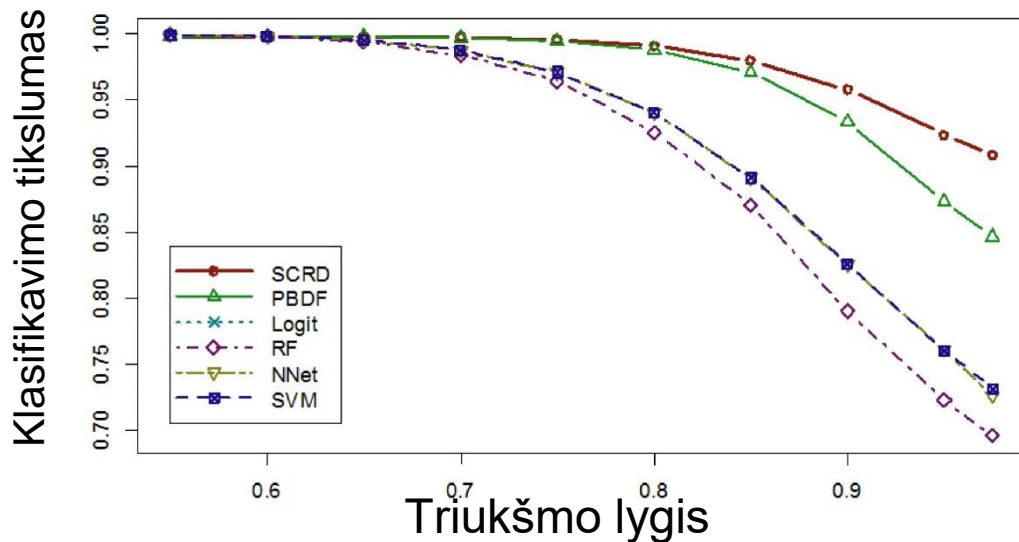
SCRD apriorinės tikimybės:

$$\pi_1(y) = \frac{\sum_{i \in I_0} \delta(y_i = 1) / d(s_i, s_0)}{\sum_{i \in I_0} 1 / d(s_i, s_0)}$$

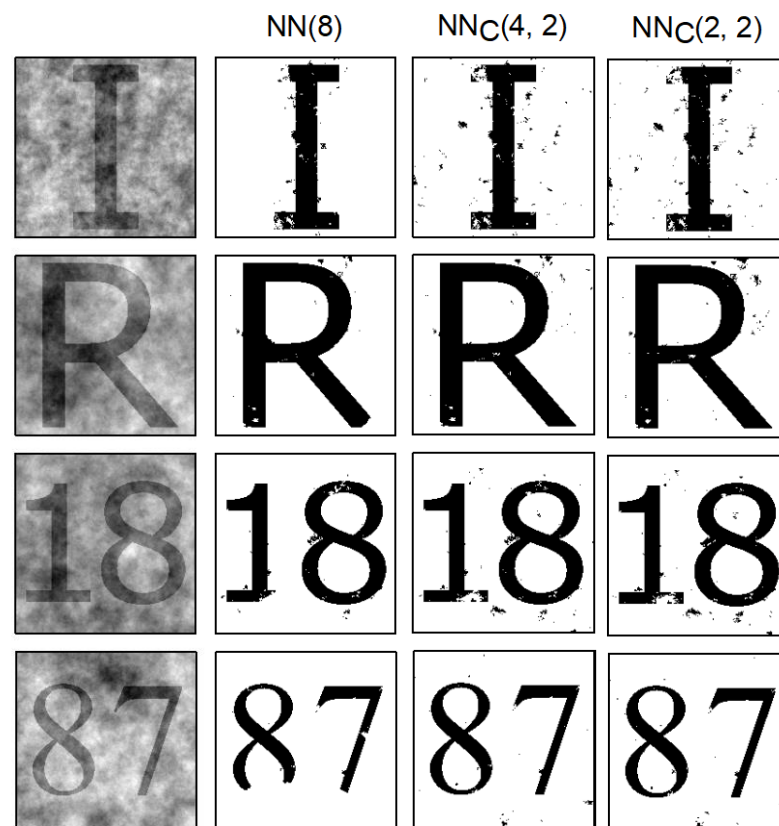
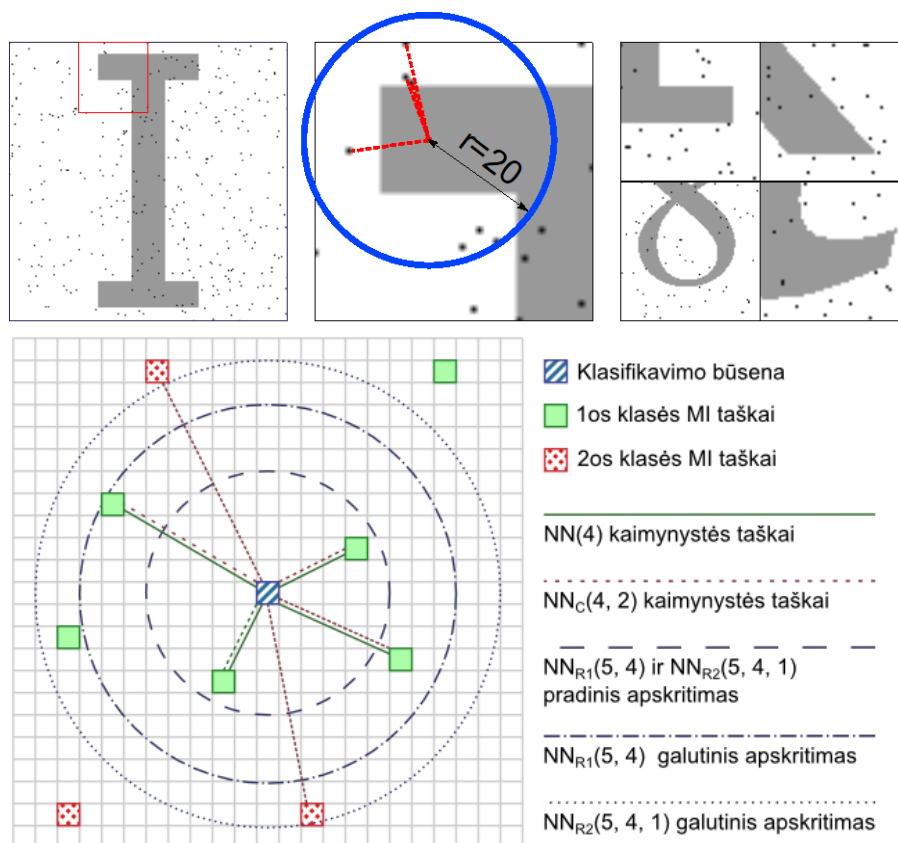
$\delta(\cdot)$ yra 0 – 1 indikatoriaus funkcija
 $d(\cdot, \cdot)$ yra Euklidinio atstumo funkcija tarp būsenų.

Dviejų klasių atveju: $\pi_2(y) = 1 - \pi_1(y)$

SCRD metodas, triukšmo lygio tyrimas

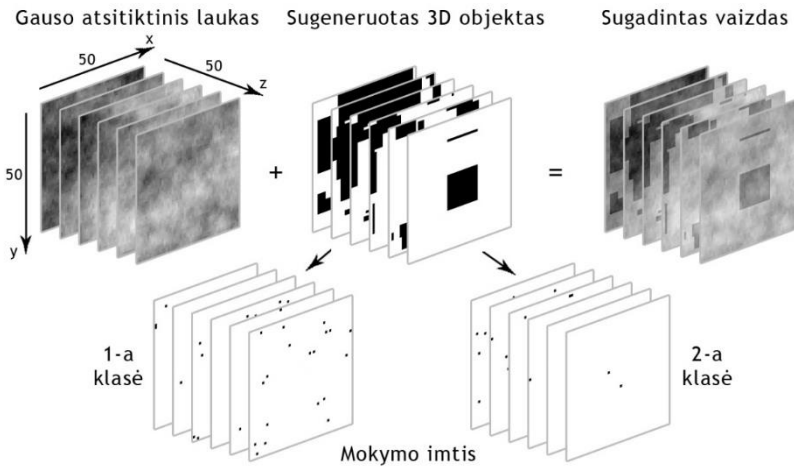


SCRD metodas, kaimynystės schemų įtaka

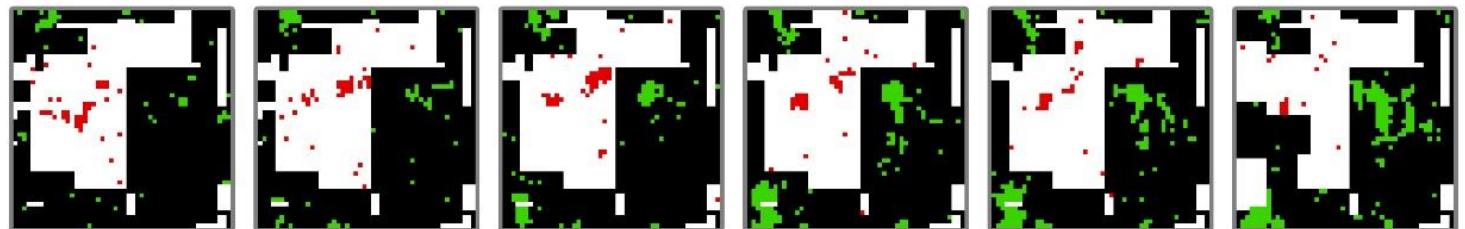
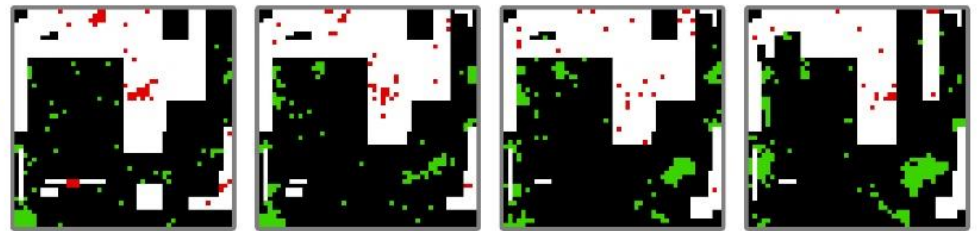


Metodas	NN(4)	NN(8)	NN _C (2, 2)	NN _C (4, 2)
Tikslumas (%)	98.36	98.96	98.36	98.60

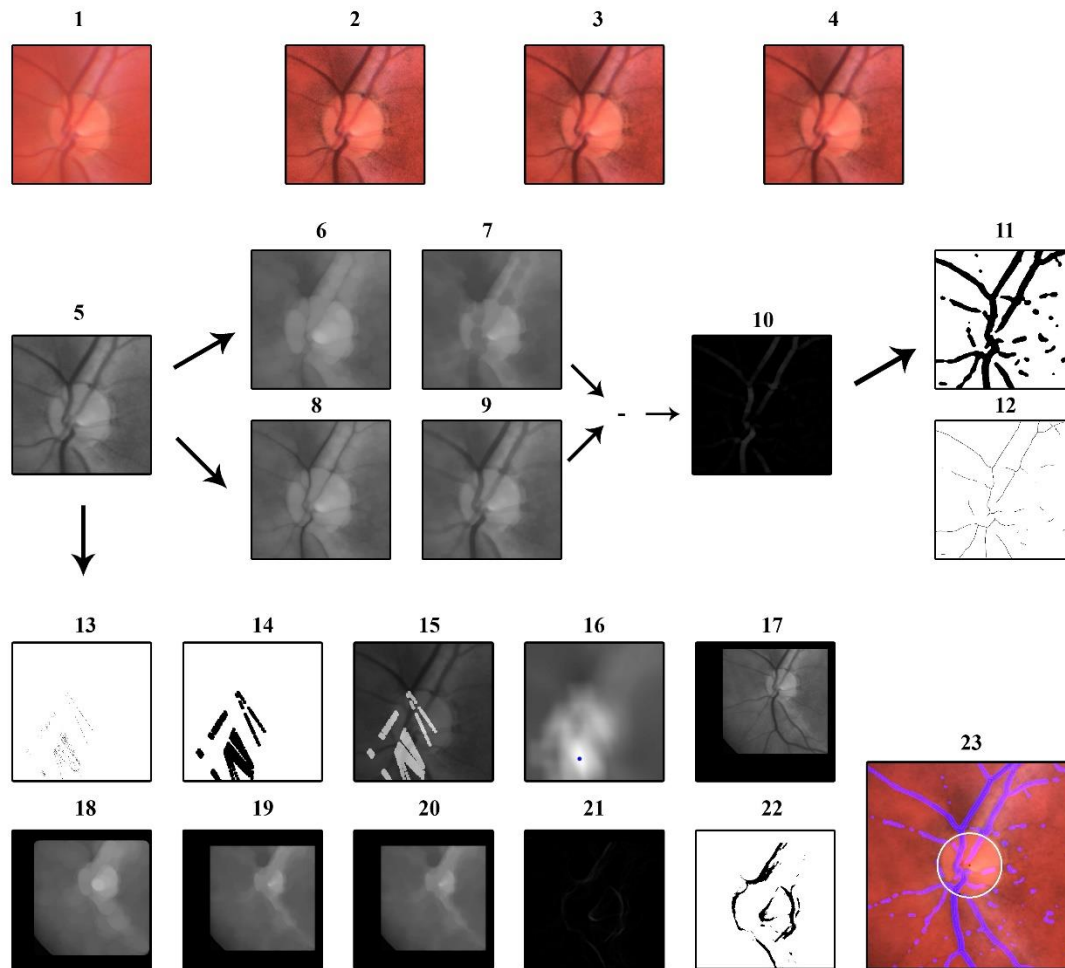
SCRD metodas, daugiamatės koordinatės



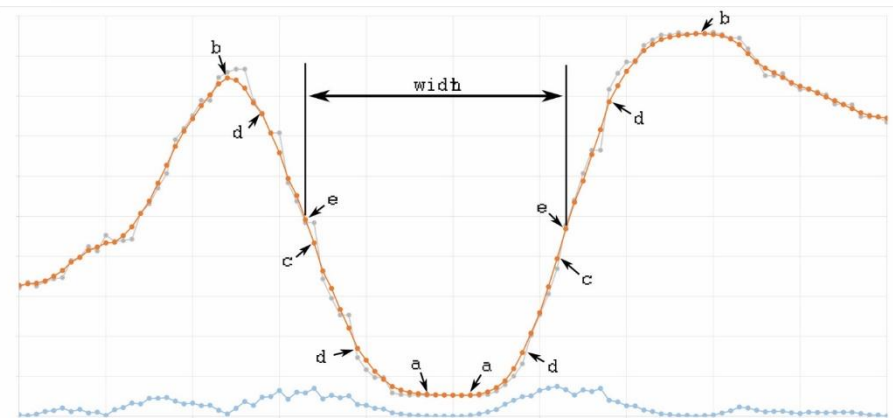
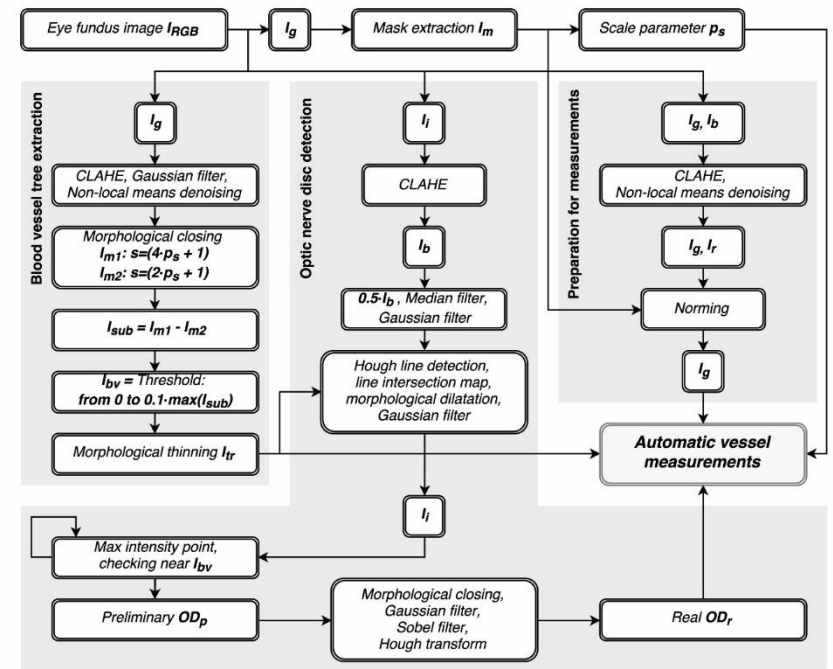
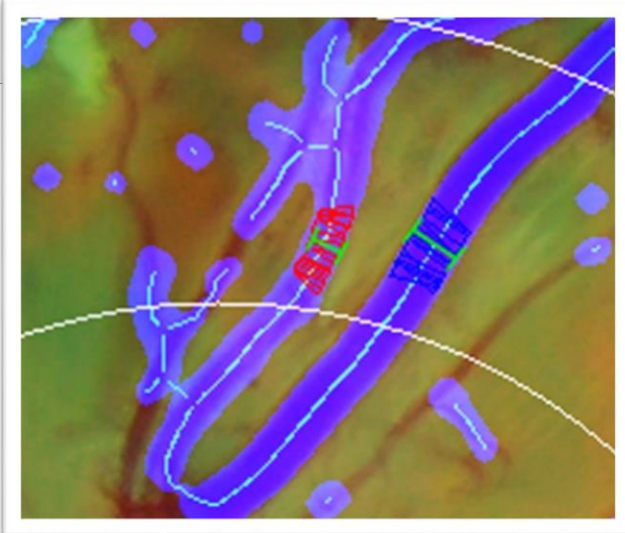
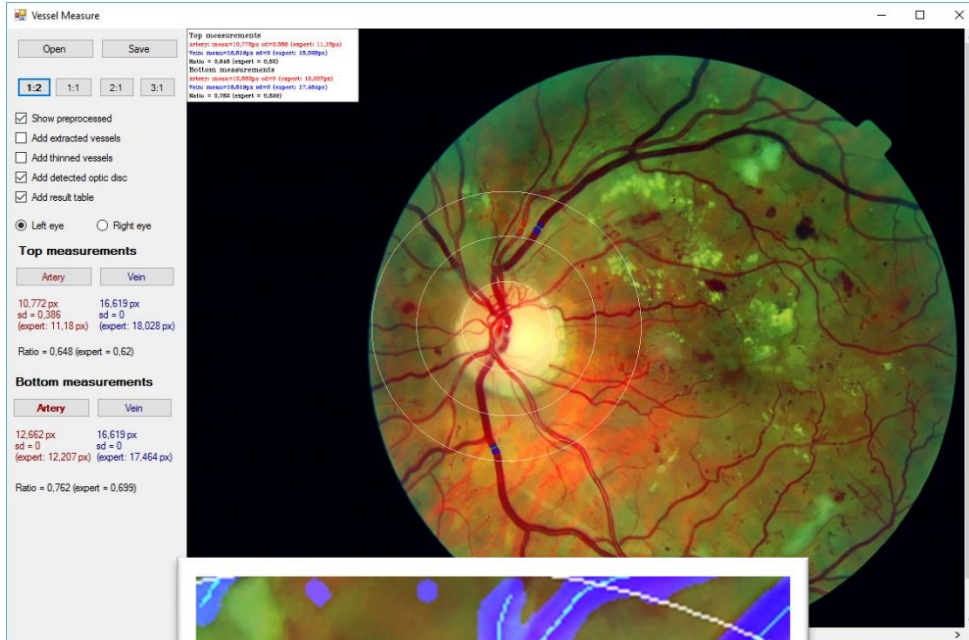
Vidutinis klasifikavimo tikslumas: 91,5%



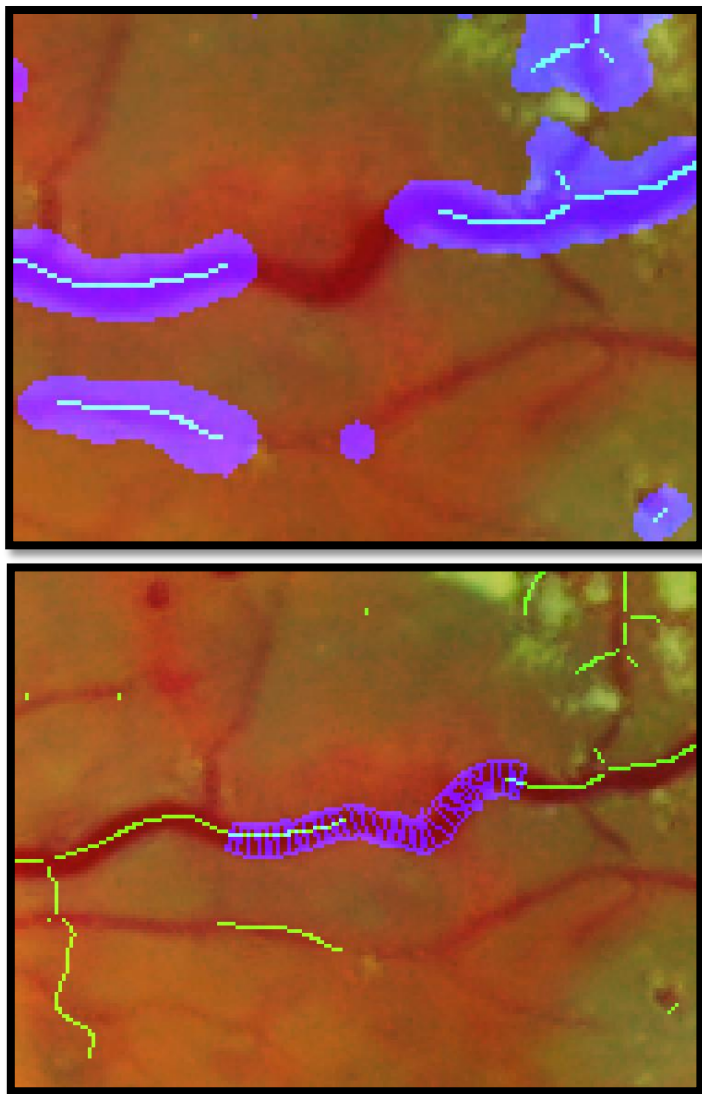
Akies dugno vaizdų analizė



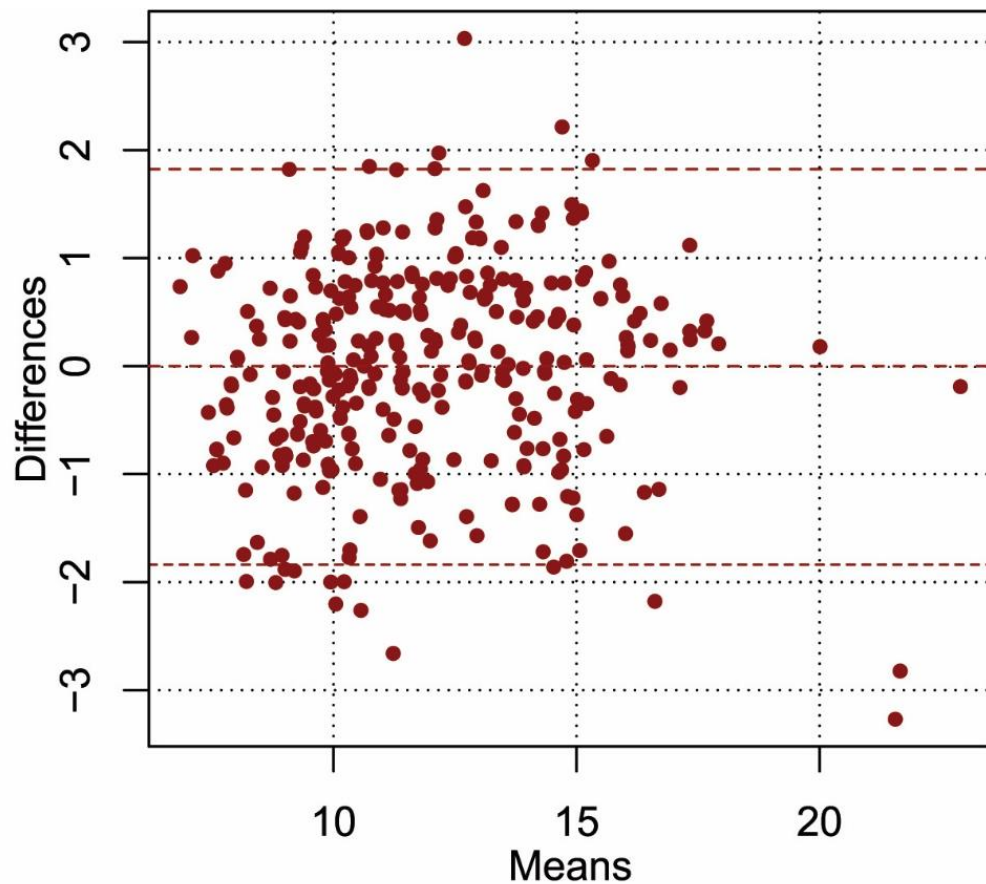
Kraujagyslių pločių matavimo algoritmas



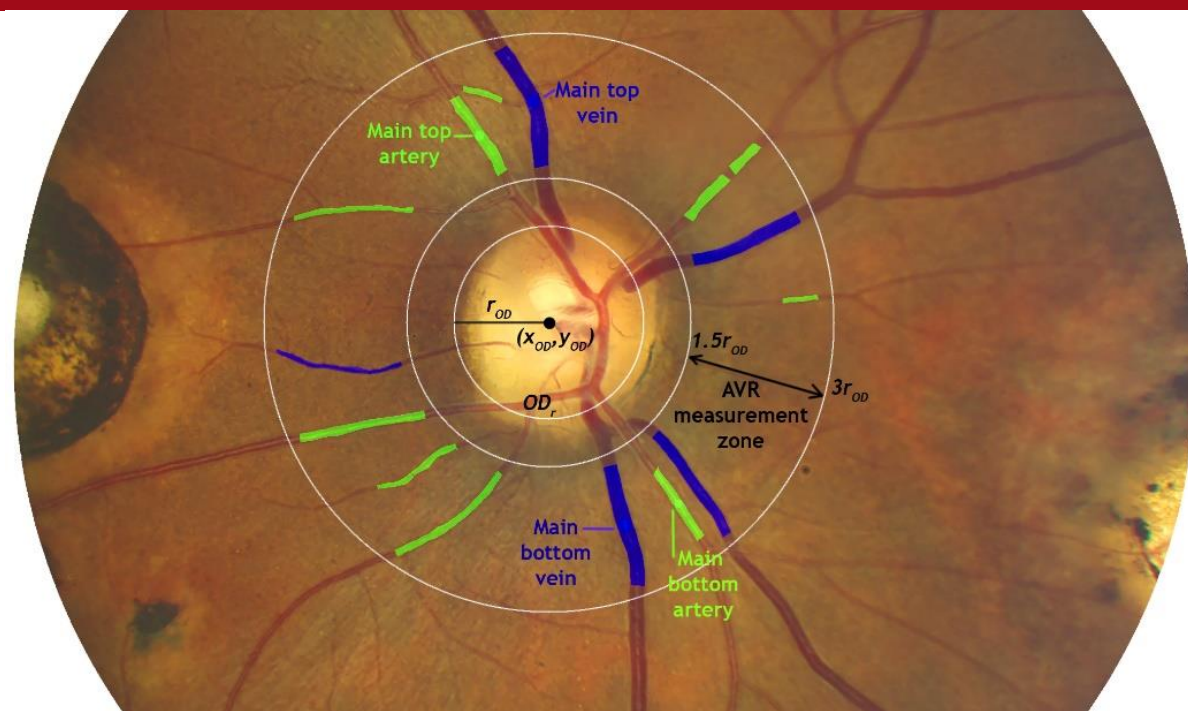
Kraujagyslių pločių matavimo algoritmas



Bland – Altman grafikas



Kraujagyslių klasifikavimas AVR apskaičiavimui



$$z'_i = \frac{z_i - \hat{\mu}_d}{\hat{\sigma}_d}$$

$$\hat{\mu}_d = \frac{\sum_{i \in \omega} \frac{z_i}{d_i}}{\sum_{i \in \omega} \frac{1}{d_i}}$$

$$\hat{\sigma}_d^2 = \frac{\sum_{i \in \omega} \left(\frac{z_i}{d_i} - \bar{z}_d \right)^2}{\sum_{i \in \omega} \frac{1}{d_i}}$$

Kraujagyslių klasifikavimo statistikos

Duomenų bazė	Kraujagyslių klasifikavimo statistikos			
	Tikslumas	Specifiškumas	Jautrumas	AUC
DRIVE	0.854	0.9353	0.822	0.879
INSPIRE-AVR	0.859	0.8539	0.862	0.858
OPTO-AVR	0.835	0.8344	0.836	0.835

Išvados ir rekomendacijos

- Disertacijoje pateiktas klasifikavimo su mokymu metodas, kuris įgyja pranašumą prieš kitus panašius metodus, kai duomenyse yra erdvėje koreliuotas triukšmas, dėl jame panaudotos erdvinės informacijos.
- Metodas paremtas įterptąja Bajeso diskriminantine funkcija, jame panaudojamas erdvinis atstumas iki mokymo imties objektų.
- Triukšmo lygio tyrimais nustatyta, jog metodas pradeda įgyti pranašumą nuo tada, kai triukšmo lygis yra 75% vaizdo informacijos. Nuo 85% triukšmo lygio, pateiktas metodas įgyja apie 10% didesnį klasifikavimo tikslumą, o triukšmo lygiui pasiekus 95%, kai kiti metodai klasifikuoja tik apie 70% tikslumu, šis metodas išlaiko 92% tikslumą.

Išvados ir rekomendacijos

- Eksperimentų metu nustatyta, jog erdvinės koreliacijos pločio didėjimas, įtakoja tikslesnį klasifikavimą, naudojant pasiūlytas įterptąsias Bajeso diskriminantines funkcijas su erdvine priklausomybe nuo mokymo imties.
- Klasifikuojant su kitai, dažnai naudojamais, klasifikavimo metodais, erdvinės koreliacijos pločio didėjimas blogina klasifikavimo tikslumą.
- Remiantis kaimynystės schemų įtakos klasifikavimui tyrimu nustatyta, jog kaimynystės schemas, kurios paima po keletą mokymo imties taškų iš kiekvienos klasės geriau susidoroja su sudėtingesnėmis situacijomis, kai tam tikroje aplinkoje nėra mokymo imties taškų.
- Tai aktualu turint mažą arba netolygiai paskirstytą mokymo imtį.

Išvados ir rekomendacijos

- SCRD metodo praplėtimas sudaro galimybes naudoti metodą, trimačių vaizdų klasifikavimui.
- Klasifikavimo tikslumas trimatėje koordinačių sistemoje, esant sudėtingoms klasifikavimo sąlygoms, siekia 91,5%. Rezultatai artimi dvimatės koordinačių sistemos atvejui.
- Šis metodo praplėtimas sudaro galimybes taikyti metodą medicininių MRT ir KT vaizdų atskirų taškų klasifikavimui dviejų klasių atveju.
- Kintanti medicininių vaizdų raiška, kelia papildomus adaptyvumo reikalavimus automatinės analizės metodams.
- Darbe pasiūlytas skalės parametro apskaičiavimo ir įvedimo į algoritmus būdas, kuris palengvina raiškai adaptyvių metodų kūrimą.

Išvados ir rekomendacijos

- Pasiūlytas vaizdo profilio informacijos išskyrimo metodas, panaudojantis erdvinę informaciją, kuris leidžia kurti adaptyvius ir į lokaliam triukšmui atsparesnius profilio analizės metodus.
- Metodika pritaikyta akies dugno kraujagyslių matavimo algoritmo sukūrimui, kuriuo atlikti matavimai statistiškai reikšmingai sutampa su eksperto atliktais matavimais.
- Erdvinė informacija panaudota naujų požymių, skirtų akies dugno kraujagyslių klasifikavimui, suformavimui.
- Klasifikavimas naudojamas arterijos-venos santykio apskaičiavimui.
- Suformuoti požymiai naudoja profilio analizės metu gautą informaciją - kraujagyslių vidinę dalį.

Išvados ir rekomendacijos

- Erdvinis atstumas tarp klasifikuojamų kraujagyslių dalių centrų panaudotas kraujagyslių požymių erdviniam normalizavimui. Tai sumažina netolygaus apšvietimo, kuris mažina skirtingų klasių atskiriamumą, įtaką.
- Sukurta AVR matavimams skirtų kraujagyslių klasifikavimo metodika testuota su trimis akies dugno vaizdų bazėmis, kuriose vaizdai gauti skirtinga technine įranga ir yra skirtingos raiškos.
- Algoritmas pritaikytas su visomis bazėmis be papildomos adaptacijos kiekvienai iš jų ir nekeičiant raiškos.
- Gauti klasifikavimo tikslumo įverčiai 0,854, 0,859 ir 0,835, kurie yra panašūs į kitų tokios paskirties metodų tikslumo įverčius.

ERDVINĖS INFORMACIJOS PANAUDOJIMAS VAIZDŲ ANALIZĖJE

Dėkoju už dėmesį