

## Proteomikoje taikytinų vaizdo segmentavimo metodų tyrimas

**D. Matuzevičius, D. Navakauskas**

*Elektroninių sistemų katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,*

*Naugarduko g. 41, LT-03227 Vilnius-6, Lietuva, tel. +370 5 2744756, el. p. dalius.matuzevicius@el.vtu.lt*

### Ivadas

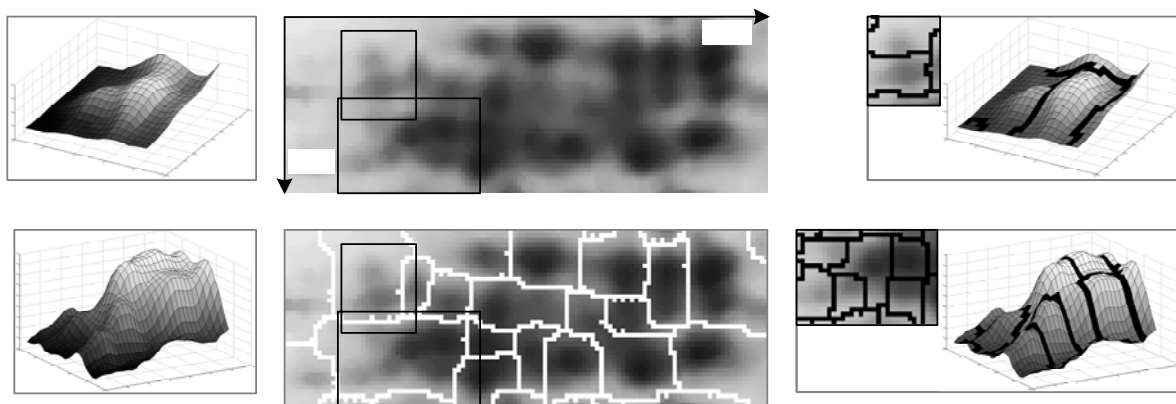
Proteomika [1] yra mokslo sritis, tirianti proteomą – visus baltymus, esančius ląstelėje arba organizme tam tikru metu, įskaitant ne tik tuos, kurie yra susintetinti organizme pagal jo genetinę informaciją, bet ir daugybę modifikuotų, atsiradusių po potransliacinių procesų, dėl išorinio arba vidinio ląstelės signalo perdavimo, kas pakeičia baltymo funkciją ar aktyvumą. Baltymai labai svarbūs tuo, kad jie yra organizmo „statybinė medžiaga“, pernešanti organizme informaciją ir reguliuojanti gyvybines funkcijas. Iš visų baltymų rinkinio sprendžiama apie ląstelės ar viso organizmo būseną, pvz., gali būti nustatomos vėžinės ligos [2]. Vienintelio baltymo iš tūkstančių rūšių nebuvimas ar atsiradimas (pakitimai) gali nulemti didelius organizmo funkcijų sutrikimus arba ypatingus pagerėjimus. Taigi reikalingi tyrimo metodai, kuriais būtų galima aptikti ir apibūdinti visus baltymus.

Yra keletas baltymų analizės būdų, tačiau populiariausias šiuo metu – dvimatė elektroforezė (2ME). Tai palyginti pigus, efektyvus bei informatyvus biocheminis tyrimas. Pirmieji šį metodą 1975 m. nepriklausomai vienas nuo kito aprašė P. H. O'Farrell [3] ir J. Klose [4]. Nuo to momento jis plačiai taikomas, sparčiai tobulinamos tyrimų priemonės. Taikant 2ME, kelių tūkstančių baltymų mišinys plokštumoje specialiaame gelyje išskaidomas į tos pačios rūšies baltymų sankaupas. Baltymai išrūšiuojami pagal dvi nepriklausomas savybes –

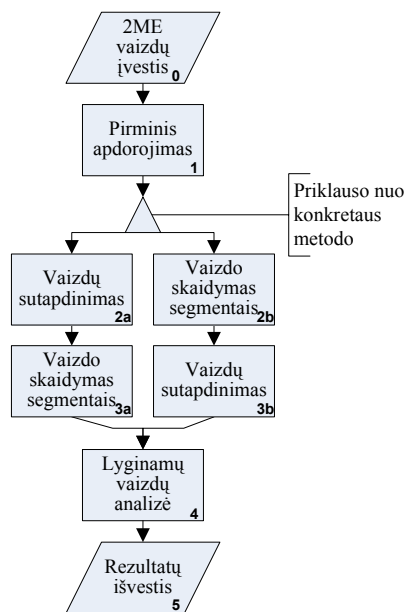
izoelektrinį tašką (pI) ir molekulinę masę (MM). Tyrimo pabaigoje gaunamas dvimatis vaizdas (žr. 1 pav., b), kuriame kiekviena dėmė atitinka vieną tam tikrą baltymą arba jų grupę. Šitaip tuo pačiu metu gali būti išskirti tūkstančiai skirtingų baltymų [5] ir gauta informacija apie jų pI, MM bei kiekį.

Naudojant 2ME molekulinėje biologijoje, biochemijoje, genetikoje, klinikiniuose tyrimuose ir kitur, sukuriama daug gelių, kuriuos reikia tarpusavyje palyginti. Atliekant sudėtingus tyrimus lyginamųjų gelių skaičius padidėja, todėl palyginimas tampa gaisliu ir varginančiu tyrimo etapu. Atsiranda poreikis automatizuoti tyrimų lyginimą. Automatizuoti gelių analizės procesą trukdo sudėtingi gelių vaizdai – didelis gelyje esančių dėmių skaičius, nepastovi atitinkamų dėmių vieta, nepastovus dėmių intensyvumas, susidariusios sudėtingos dėmių struktūros (žr. 1 pav., a, d). Šiuo metu jau yra sukurtos pusiau automatinės programos: Melanie, PDquest, Kepler, Phoretix, Gellab, kuriose dėl daugelio lyginimo metu kylančių problemų būtina nuolat įsikišti žmogui. Visiškai automatinių 2ME gelių analizės programų nėra.

Šiame darbe siekiama išanalizuoti taikytinus 2ME vaizdų segmentavimo metodus ir pasiūlyti alternatyvų sprendimą. Tuo tikslu aptarsime gelių vaizdų segmentavimą ir jo reikšmę automatinei gelių analizei. Toliau nagrinėsime dažniausiai taikomus gelių vaizdų segmentavimo metodus, jų teigiamybes ir trūkumus. Pagaliau pasiūlysiu alternatyvų segmentavimo algoritmą bei pateiksime jo praktinio taikymo rezultatus.



1 pav. 2ME gelių vaizdų segmentavimas



2 pav. 2ME gelių vaizdų automatinė analizė

## 2ME gelių skaitmeninių vaizdų automatinė analizė ir segmentavimo vieta jame

Automatinės gelių analizės metu (žr. 2 pav.), nuskaičius 2ME gelių vaizdus, vaizdas pirmiausia filtruojamas siekiant pašalinti įvairių rūšių triukšmus.

Tolesnių dviejų žingsnių nuoseklumas priklauso nuo konkrečios automatinės sistemos. Bet kuriuo atveju vienu iš žingsnių (2b ar 3a) vaizdai segmentuojami, o kitu (3b ar 2a) – sutapdinami. Sutapdinimo procesas, kai skirtinguose geluose randama dėmių, atitinkančių tuos pačius baltymus, yra sudėtingas dėl neišvengiamų didelių gelio vaizdų geometrijos iškreipimų. Pasirinkus pirma atlikti segmentavimą, o tik po to sutapdinimą (2b ir 3b), išvengiama palyginimo tų sričių, kurios segmentavimo metu laikomos nereikšmingomis. Tai gali paspartinti sutapdinimo procesą, tačiau netinkamo segmentavimo atveju atsiras sutapdinimo klaidų. Sutapdinant prieš segmentavimą (2a ir 3a), išvengiama segmentavimo klaidų įtakos sutapdinimo procesui, tačiau darosi sudėtingesnis ir ilgiau trunka pats palyginimas [6–8].

Ketvirtuoju žingsniu analizuojami sutapdinti vaizdai – rasti duomenys pateikiami vartotojui. Kokybinės analizės metu nustatomos atsiradusios bei dingusios dėmės, o kiekybinės analizės metu – dėmių dydžių, t. y. baltymo kiekio, pokyčiai [9].

Nepriklausomai nuo pasirinktos automatinės analizės būdo segmentavimas yra labai svarbus procesas. Segmentavimo metu skaitmeninių gelio vaizdų elementai suskirstomi į dvi grupes – elementus, priklausančius konkrečioms dėmėms, bei elementus, sudarančius nereikšmingą foną [10]. Gelių vaizdų segmentavimo metu nustatomi mažiausiai trys parametrai, apibūdinantys kiekvieną dėmę – dėmės centro koordinatės (baltymų pI ir MM įverčiai) bei tūris. Tūris – tai santykinis parametras, apibūdinantis dėmės dydį ir skaištį (baltymo kiekio įvertis). Papildomai gali būti nustatoma: dėmės forma,

kontūro ilgis, maksimalus dėmės skaištis (optinis tankis), santykinis tūris ir pan.

Segmentavimas yra labai svarbus 2ME gelių vaizdų automatinės analizės procesas. Nuo šio proceso metu randamų dėmių bei jų parametų tikslumo priklauso automatinės vaizdų analizės teisingumas.

## Taikomi segmentavimo metodai ir jų aptarimas

Nemažai sukurtų segmentavimo metodų skiriasi pagrindiniais veikimo principais, todėl sunku palyginti ir įvertinti, kuris jų yra efektyvesnis [11, 12]. Labiausiai segmentavimo kokybę atsiskleidžia viso tyrimo pabaigoje, kai lyginami gelių vaizdai ir tai geriausiai gali padaryti šios srities specialistas.

Esminiai reikalavimai 2ME vaizdų segmentavimo metodui yra šie: atsparumas įvairaus tipo triukšmams, gebėjimas atpažinti ir įvertinti baltymą atitinkančios dėmės formos bei skaisčio savybes, kuo tikslesnis dėmės parametru nustatymas, tikslus sudėtingų susilieusių dėmių suskaidymas. Vienas iš būdų išryškinti baltymus yra gelio dažymas, o nuo naudojamų dažų priklauso tam tikri dėmių parametrai [13], todėl tai neturi trukdyti aptikti dėmę.

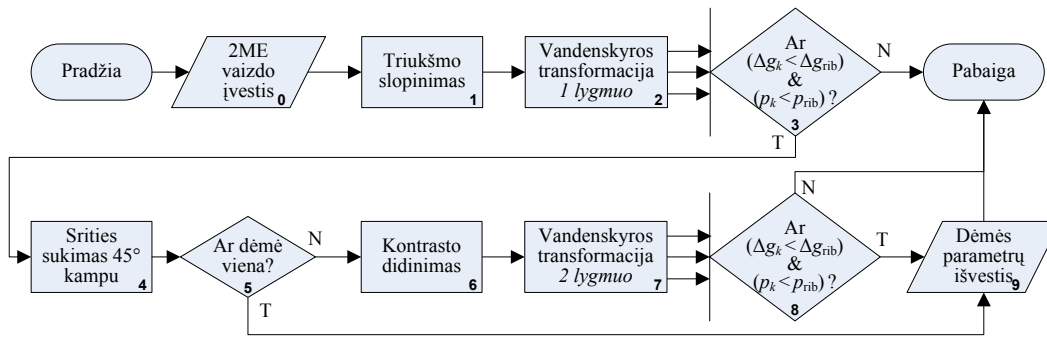
Akivaizdu, jog gelių vaizdai yra sudėtingi ir jiems segmentuoti neužtenka vienos operacijos. Čia dažnai taikoma kelių operacijų seka.

Pirmasis etapas yra aukštojo ir žemojo dažnio triukšmų, kurie kyla elektroforezės metu ar perkeliant gelių vaizdus į kompiuterį, šalinimas [14, 15]. Pats paprasčiausias būdas – naudoti slenksčio funkciją, tačiau jo rezultatai yra labai prasti – prarandama daug informacijos apie dėmes ir nevisiškai pašalinamas triukšmas. Rezultatai pagerėja naudojant lokalią arba dvigubą slenksčio funkciją. Kitas paprastas būdas triukšmams šalinti – naudoti žemojo ir aukštojo dažnio filtrus. Bet visas triukšmas taip pat nepašalinamas arba kartu su triukšmu pašalinamos dėmės, kadangi kai kurių dėmių ir triukšmo spektrai sutampa.

Kitas būdas šalinti triukšmus yra vidurkinimas. Vidurkinant mažame plote, šalinamas aukštojo dažnio triukšmas, tačiau kartu iškraipoma dėmių forma bei mažėja kontrastas. Vidurkinant dideliame plote gali būti išskirtas fonas. Vis dėlto geresnis filtras yra medianos. Jis gerai šalina impulsinį triukšmą ir mažiau keičia dėmių formą. Taikomi ir sudėtingesni, selektyvūs medianos filtrai, aptinkantys triukšmą ir pakeičiantys tik klaidingų taškų vertes mediana. Tokie modifikuoti medianos filtrai neblogai atskiria triukšmą ir išsaugo nepakeistą naudingą informaciją.

Fonui atskirti ir dėmių „pėdsakams“ pašalinti naudojamas morfologinės operacijos. Dažniausiai naudojamas struktūrinis elementas yra diskas. Norint neprarasti dėmių, jis turi būti ne mažesnis už didžiausią dėmę, tačiau tokiu atveju prastai šalinamas fonas mažų dėmių vietose. Jei visos dėmės būtų vienodo dydžio, morfologinių operacijų rezultatas būtų labai geras. Šalinant foną gali kilti ir kitokių problemų – gali atsirasti struktūrų, panašių į dėmes.

Foną šalinti būtina, nes to reikalauja kai kurie taikomi dėmių išskyrimo metodai – vietinį maksimumą nustatantys žiedo arba elipsiniai operatoriai bei kontūro išskyrimo operatoriai, naudojantys pirmosios ar antrosios eilės



3 pav. 2ME gelių vaizdų segmentavimo algoritmas

išvestines. Vietinis maksimumas laikomas dėmės centru, t. y. jų koordinatės dėl paprastumo sutapdinamos. Kontūras nustatomas taip pat kaip dėmę aprašantis parametras. Operatorių trūkumai: išskiria tik kontrastingas dėmes, negali atskirti susiliejusių dėmių.

Kontūras ir dėmės centro koordinatės naudojami dėmei statistškai įvertinti – ar konkreti dėmė yra baltymas. Taikomi keli statistiniai būdai – dėmės lyginimas su dvimačiu Gauso skirstinio modeliu [16], tiksliau dėmę nusakančiu difuziniu modeliu [17] ir pan. Modeliuojant dėmes galima suskaidyti net susiliejusias dėmes, tačiau lyginimo metu problemų atsiranda dėl „pėdsakų“. Alternatyvus būdas dėmėms skaidyti – lyginti su iš dalies sutampančiomis elipsėmis [18], tačiau šiuo atveju modeliuojama tik vaizdo plokštumoje, todėl informacija apie skaisčių nėra iki galo įvertinama.

Dėmės aptikti siūloma lyginant jas su iš anksto sudarytu galimų dėmių rinkiniu. Tačiau neįmanoma sudaryti visų įmanomų dėmių dėl jų formų įvairumo ir sudėtingumo (žr. 1 pav., b). Šiuo atveju sunkiau nustatomos susiliejusios (žr. 1 pav., e apibrėžtus fragmentus) ar su „pėdsakais“ dėmės (žr. 4 pav., c).

Problemos, kylančios dėl blogai šalinimo fono, gali būti išspręstos taikant dėmių nustatymo metodus, kuriems fonas neturi įtakos. Vienas iš tokių būdų yra vandenskyros (angl. k. *Watershed*) transformacija [19]. Transformacijos rezultatas yra nubrėžti kontūrai, atskiriantys vietinius minimumus, todėl viename išskirtame segmente yra vienas ekstremumas – dėmės centras. Transformacijos esmė suprantama analizuojant erdvinį dėmių vaizdą (žr. 1 pav., a, d). Šiuo metodu gaunami geri rezultatai (palyginimui žr. 1 pav., c, f), suskaidoma nemažai susiliejusių dėmių, tačiau dėmės suskaidomos per daug smulkiai. Be reikalo suskaidytoms dėmėms sujungti taikomas papildomas apdorojimas. Vienas iš būdų persegmentavimo problemai spręsti yra transformacijos modifikavimas, kai naudojamos papildomos žymės, reguliuojančios transformavimą [16]. Vandenskyros transformacija, kaip ir dalis minėtų metodų, besiremiančių pirmosios eilės išvestinės skaičiavimu, yra jautri triukšmams.

2ME gelių vaizdams segmentuoti taikoma kelių operacijų seka. Pirmoji operacija, dažnai sukelianti savus iškraipymus, yra fono šalinimas. Vandenskyros transformacija leidžia sumažinti fono iškraipymo įtaką segmentavimo tikslumui. Iš aptarimo matyti, jog

segmentavimo kokybę lemia ne tik metodas, bet ir tinkamas jo taikymas.

### Segmentavimo algoritmas

Kuriant segmentavimo algoritmą (žr. 3 pav.) esminiai reikalavimai buvo visiškai automatinė algoritmo eiga bei jo atsparumas triukšmams. Detaliau išnagrinėkime siūlomą segmentavimo eigą.

Pirmasis žingsnis, įvedus 2ME gelio vaizdus, yra triukšmo slopinimas vaizdą filtruojant mažo lango ( $K = 3$ ) medianos filtru:

$$g_{ij}^{\text{med}} = \text{median} \left[ \text{sort} \left( g_{i+\Delta^i, j+\Delta^j} \right) \right], \text{ kai} \quad (1)$$

$$\Delta^i \in (-k, -k+1, \dots, k), \Delta^j \in (-k, -k+1, \dots, k);$$

čia  $g_{ij}$  – taško skaisčio vertė;  $k = (K-1)/2$ . Toks filtravimas yra spartus, gerai šalina impulsinius triukšmus, kurie trukdytų vandenskyros transformacijai, ir per daug nenugludina vaizdo.

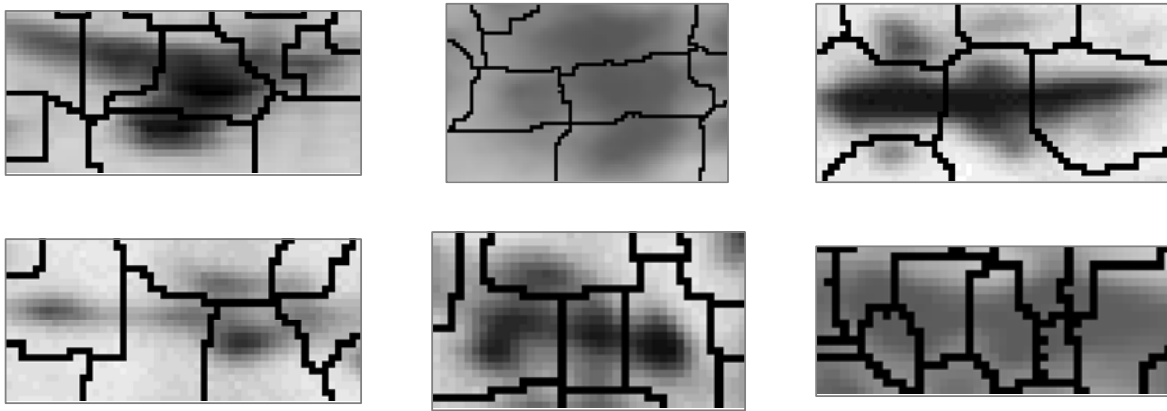
Antrojo žingsniu taikoma pirmojo lygmens vandenskyros transformacija – nustatomi kontūrai per iškiliausius vaizdo taškus, todėl dėmės viena nuo kitos yra atskiriamos.

Kiekvienoje išskirtoje srityje dažniausiai yra po vieną dėmę, tačiau yra ir tokių, kuriose dėmių nėra arba yra daugiau nei viena. Srityse, kurios yra labai mažos, t. y. srities plotas  $p_k$  yra mažesnis už ribinį plotą  $p_{\text{rib}}$ , ir kuriose maksimalios ir minimalios taškų skaisčių verčių skirtumas  $\Delta g_k$  yra mažesnis nei parinktas  $\Delta g_{\text{rib}}$ , dėmių nėra, todėl jos trečiuoju žingsniu yra pašalinamos.

Ketvirtuoju ir penktuoju žingsniais atrenkamos sritys, kuriose galėtų būti kelios susiliejusios dėmės. Analizuojamos sričių projekcijos 45° kampu. Jei projekcijoje yra daugiau nei vienas minimumas, tada ta sritis paimama tolesnei analizei.

Atrinkose srityse šeštoju žingsniu padidinamas kontrastas – tai leidžia dėmes tiksliau išskirti. Kontrastas nedidintas pirmuose apdorojimo etapuose, kadangi kartu išryškėdavo ir triukšmingo vaizdo dalys. Detaliau aptarkime morfologines operacijas, taikomas kontrastui didinti [5].

Naudojant disko formos 7 taškų skersmens struktūrinį elementą  $H_{ij}$  bei atitinkamo dydžio vaizdo fragmentą  $G_{ij}$ , remiamasi išplėtimo  $g_{ij}^{\text{max}} = G_{ij} \oplus H_{ij}$  ir erozijos



4 pav. 2ME gelių vaizdų segmentavimo algoritmo taikymo rezultatai

$g_{ij}^{\min} = G_{ij} \ominus H_{ij}$  morfologinėmis operacijomis. Šios operacijos naudojamos morfologinėms operacijoms „opening“ ir „closing“ atlikti:

$$g_{ij}^{\text{open}} = G_{ij} \circ H_{ij} \equiv (G_{ij} \ominus H_{ij}) \oplus H_{ij}; \quad (2)$$

$$g_{ij}^{\text{close}} = G_{ij} \bullet H_{ij} \equiv (G_{ij} \oplus H_{ij}) \ominus H_{ij}. \quad (3)$$

Kontrastas didinamas naudojant šią išraišką:

$$\hat{g}_{ij} = G_{ij} + [G_{ij} - (G_{ij} \circ H_{ij})] - [G_{ij} - (G_{ij} \bullet H_{ij})]. \quad (4)$$

Septintuoju žingsniu atliekama atrinktų ir kontrastingų sričių antrojo lygmens vandenskyros transformacija.

Aštuntuoju žingsniu, remiantis tais pačiais kriterijais kaip ir 3 žingsnyje, t. y.  $p_{\text{rib}}$  ir  $\Delta g_{\text{rib}}$ , vėl atrenkamos sritys, kuriose yra dėmių. Paskutiniame – devintajame algoritmo žingsnyje vartotojui pateikiami parametrai dėmių, kurios buvo rastos 5 bei 8 žingsniuose.

2ME gelių vaizdų segmentavimo eksperimentų rezultatai, taikant siūlomą algoritmą, yra pateikti 4 paveiksle.

Atrinkti būdingi pavyzdžiai patvirtina, jog siūlomas segmentavimo algoritmas sugeba atskirti sudėtingus dėmių derinius: susiliejusius (žr. 4 pav., d, e), neryškius (žr. 4 pav., b, d), su „pėdsakais“ (žr. 4 pav., a, c). Tik 4 pav., f, pateiktame vaizde algoritmas suklydo – segmentavimas yra per smulkus.

## Išvados

1. Segmentavimas yra labai svarbus 2ME gelių vaizdų automatinės analizės procesas. Nuo šio proceso metu randamų dėmių bei jų parametrų tikslumo priklauso automatinės vaizdų analizės teisingumas.

2. Dvimatės elektroforezės gelių vaizdams segmentuoti taikoma kelių operacijų seka. Pirmoji operacija, dažnai sukianti savus iškraipymus, yra fono šalinimas. Vandenskyros transformacijos taikymas leidžia sumažinti fono iškraipymo įtaką segmentavimo tikslumui.

3. Pasiūlytas 2ME gelių vaizdų segmentavimo algoritmas susideda iš triukšmo slopinimo, naudojant medianos filtrą, kontrasto didinimo, naudojant morfologines operacijas, bei dviejų lygių skaidymo į segmentus, naudojant vandenskyros transformaciją. Siūlomo segmentavimo algoritmo gebą atskirti sudėtingus dėmių derinius patvirtina pateikti būdingi segmentavimo eksperimentų pavyzdžiai.

## Literatūra

1. Sanchez J. C. Biomedical Application of Proteomics.– Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 2004.
2. Wulfschle J. D., Liotta L. A., Petricoin E. F. Proteomic Applications for the Early Detection of Cancer // Nature Reviews Cancer.– 2003.– Vol. 3.– P. 267–275.
3. O'Farrell P. H. High resolution two-dimensional electrophoresis of proteins // J. Biol. Chem.– 1975.– Vol. 50(10).– P. 4007–4021.
4. Klose J. Protein mapping by combined isoelectric focusing and electrophoresis of mouse tissues. A novel approach to testing for induced point mutations in mammals // Humangenetik.– 1975.– Vol. 26, No. 3.– P. 231–243.
5. Pratt W. K. Digital Image Processing: PIKS Inside. – John Wiley & Sons, 2001.
6. Takahashi K., Nakazawa M., Watanabe Y., Konagaya A. Fully-Automated Spot Recognition and Matching Algorithms for 2-D Gel Electrophoretogram of Genomic DNA // The 9th Workshop on Genome Informatics.– 1998.
7. Perlibakas V. Kompiuterizuotas veido detektavimas ir atpažinimas: Daktaro disertacija.– KTU, 2004.
8. Jonaitis Ž., Kanapeckas P. Videoinformacijos suspaudimas įvertinant žmogaus regos psichofiziologines savybes // Informacinės technologijos'97: Konf. praneš. medž.– Kaunas: Technologija, 1997.– P. 275–281.
9. Anderson N. L., Taylor J., Sandora A. E., Coulter B. P., Anderson N. G. The TYCHO System for Computer Analysis of Two-dimensional Gel Electrophoresis Patterns // Clinical Chemistry.– 1981.– Vol. 27.– P. 1807–1820.
10. Venteris R., Pauža D. H. Ląstelinių organoidų atpažinimas TEM vaizduose // Informacinės technologijos'98: konferencijos pranešimų medžiaga.– Kaunas: Technologija, 1998.– P. 165–168.
11. Ušinskas A. Medicinoje gaunamų atvaizdų analizė ir klasifikavimas: Daktaro disertacija.– VGTU, 2003.

12. **Ušinskas A., Navakauskas D.** Segmentation of Ischemic Stroke in CT Images of Human Brain // Information Technology and Control.– Kaunas: Technologija, 2003.– Vol. 3(28)– P. 47–53.
13. **Patton W. F.** A thousand points of light: the application of fluorescence detection technologies to two-dimensional gel electrophoresis and proteomics // Electrophoresis.– 2000.– Vol. 21.– P 1123–1144.
14. **Mikuckas A., Mikuckienė I.** Slenksčio skaičiavimas vilnelių transformacija pagrįstuose triukšmų sumažinimo metoduose // Informacinės technologijos 2001: konferencijos pranešimų medžiaga.– Kaunas: Technologija, 2001.– P. 409–414.
15. **Valantinas J., Morkevičius N.** Smoothness Analysis of Two-Dimensional Gray-Level Images // Information Technology and Control.– Kaunas: Technologija, 2000.– Vol. 1(14)– P. 15–24.
16. **Čekanavičius V., Murauskas G.** Statistika ir jos taikymai. I knyga.– TEV, 2000.
17. **Bettens E., Scheunders P., Sijbers J., Van Dyck D., Moens L.** Automatic segmentation and modelling of two-dimensional electrophoresis gels // In International Conference on Image Processing.– 1996.– Vol. 2.– P. 665–668.
18. **Efrat A., Hoffmann F., Kriegel K., Schultz C., Wenk C.** Geometric Algorithms for the Analysis of 2D-Electrophoresis Gels // Journal of Computational Biology.– 2002.– Vol. 9(2)– P. 299–316.
19. **Beucher S.** Watersheds of functions and Picture Segmentation // Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech and Signal Processing.– 1982.– P. 1928–1931.

Pateikta spaudai 2005 03 30

**D. Matuzevičius, D. Navakauskas. Proteomikoje taikytinų vaizdo segmentavimo metodų tyrimas // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2005. – Nr. 7(63). – P. 74–78.**

Dvimatė elektroforezė yra vienas iš dažniausiai atliekamų biocheminių tyrimų. Jis taikomas tiriant proteomą – visus baltymus, esančius ląstelėje arba organizme tam tikru metu. Šio tyrimo rezultatai įgauna prasmę tada, kai lyginama keletas dvimatės elektroforezės gelio vaizdų. Dėl didelio gelio vaizduose esančių dėmių skaičiaus bei lyginamų vaizdų netiesinio atitikmens, kuriamos automatinės gelio vaizdų lyginimo ir įvertinimo sistemos. Segmentavimas yra svarbiausias gelio vaizdų skaitmeninio apdorojimo etapas. Nuo šio etapo kokybės visiškai priklauso viso tyrimo rezultatai. Šiame darbe aptartas dvimatės elektroforezės gelių skaitmeninių vaizdų segmentavimas ir jo reikšmė automatinei gelių analizei; išnagrinėti dažniausiai taikomi dvimatės elektroforezės gelių vaizdų segmentavimo metodai, jų teigiamybės ir trūkumai; pasiūlytas segmentavimo algoritmas bei pateikti jo taikymo eksperimentų rezultatai. Pasiūlytas dvimatės elektroforezės gelių vaizdų segmentavimo algoritmas susideda iš triukšmo slopinimo, naudojant medianos filtrą, kontrasto didinimo, naudojant morfologines operacijas, bei dviejų lygių skaidymo į segmentus, naudojant vandenskyros transformaciją. Il. 4, bibl. 19 (lietuvių kalba; santraukos lietuvių, anglų ir rusų k.).

**D. Matuzevičius, D. Navakauskas. Investigation of Segmentation Methods for Proteomics // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2005. – No. 7(63). – P. 74–78.**

Two-dimensional electrophoresis is the most common method in the biochemistry. It is used to investigate proteom – all proteins existing in the cell or an organism at a particular time instance. The investigation results get sense when several images of two-dimensional electrophoresis gels are compared. Due to huge amount of spots in the images of gels and big variability in the images under the comparison, various automatic comparison and analysis systems are built. Image segmentation is the one of the processes used during automatic two-dimensional electrophoresis gel image analysis. Quality of the segmentation is crucial for the comparison results. In this work: segmentation process and its place in the automatic gel analysis are discussed, common methods for the segmentation of images taken from two-dimensional electrophoresis gels are analyzed, alternative segmentation algorithm and results of its application are presented. Proposed segmentation algorithm consists of noise reduction based on the median filtering, contrast enhancement based on the morphological operators, and two level segmentation employing Watershed transform. Il. 4, bibl. 19 (in Lithuanian; summaries in Lithuanian, English, Russian).

**Д. Матузевичюс, Д. Навакаускас. Анализ методов сегментации, применимых в протеомике // Электроника и электротехника. – Каунас: Технология, 2005. – №. 7(63). – С. 74–78.**

Двумерный электрофорез (2МЭ) является самым распространенным методом исследования в биохимии. Он используется для исследования протеома – всех белков, находящихся в определенное время в одной клетке или во всем организме. Результаты исследования имеют смысл только тогда, когда сравниваются несколько изображений 2МЭ геля. Из-за огромного количества пятен в изображениях геля и нелинейной зависимости в сравниваемых изображениях, создаются различные автоматические системы анализа и сравнения. Сегментация изображения является важнейшим процессом автоматической обработки 2МЭ изображения геля. Качество сегментации является критическим для результатов исследований. В данной работе обсужден процесс сегментации 2МЭ изображений гелей и его место в автоматическом анализе гелей, проанализированы общие методы сегментации 2МЭ изображений гелей, показаны преимущества и недостатки этих методов, предложен альтернативный алгоритм сегментации и представлены результаты его использования. Предложенный алгоритм сегментации состоит из уменьшения шума с использованием медианного фильтра, повышения контрастности, основанном на морфологических операторах, двухуровневой сегментации, использующей преобразование водораздела. Ил. 4, библи. 19 (на литовском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).

DOI: 10.5755/j02.eie.10493