

Žmogaus galvos smegenų ischeminio insulto automatinės analizės metodų apžvalga

A. Ušinskas, R. Kirvaitis

Radioelektronikos katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aušros Vartų g. 7a, LT – 2600 Vilnius, Lietuva

Įvadas

Žmogaus galvos smegenų insultas yra viena iš pagrindinių sergamumo, mirtingumo bei ilgalaikio invalidumo priežasčių. Būdamas trečioje vietoje pagal mirtingumą, ši liga taip pat įeina į invalidumo priežasčių šešetuką. Insulto ištikti ligoniai sąlygiškai skirstomi į tris grupes: mirę per 3 savaites ligoniai (30 %), ligoniai kurių būklė pagerėjo per pirmąjį mėnesį (35 %), ir ligoniai, kurių funkcijos liko sutrikusios (35 %) [1, 2].

Šio straipsnio tikslas – apžvelgti ischeminio insulto, sudarančio 80 % visų insulto atvejų, analizės technologijas. Automatinė analizė atliekama apdorojant kompiuterinės tomografijos nuotraukas – atvaizdus. Dėl to pirmajame poskyryje apibrėžę kompiuterinio atvaizdo sąvoką, toliau nagrinėsime tų atvaizdų analizę ir atpažinimą.

Antrajame poskyryje apžvelgsime pastaraisiais metais aprašytus galvos smegenų segmentavimo būdus.

Trečiajame poskyryje aptarsime galvos smegenų analizei skirtą programinę įrangą.

Kituose straipsniuose aptarsime įvairius ischeminio insulto srities atpažinimo metodus ir pateiksime eksperimentinio tyrimo rezultatus.

Skaitmeninių atvaizdų analizė

Per pastaruosius tris dešimtmečius vis plačiau taikomi kompiuteriniai atvaizdai. Apibendrintai skiriamos trys sritys, kuriose naudojami skaitmeniniai atvaizdai (1 pav.): kompiuterinė grafika (atvaizdų kūrimas), atvaizdų apdorojimas (apdorojus pradinį atvaizdą, gaunamas kitas atvaizdas) ir kompiuterinė rega (angl. – *computer vision*) – atvaizdų turinio analizė, kai apdorojus pradinį atvaizdą gaunamas jo apibūdinimas [3].

75 % informacijos žmogus priima vaizdais – tuo, ką mato tiesiogiai. Visa kita priimame kaip atvaizdus, pavyzdžiui, atsispindinčius vandens paviršiuje ar įamžintus nuotraukose vaizdus.

Pasaulį matydami įvairiausiomis spalvomis, medicinoje gaunamus pirminius atvaizdus dažniausiai matome kaip juodai baltus. Iš tiesų šie atvaizdai yra

vienspalviai, arba monochromatiniai: juoda spalva juose reiškia baltos spalvos nebuvimą.

		Išėjimas	
		Atvaizdas	Aprašas
Įėjimas	Atvaizdas	Atvaizdų apdorojimas	Kompiuterinė rega
	Aprašas	Kompiuterinė grafika	

1 pav. Atvaizdų naudojimo sritys

Toliau nagrinėsime tik monochromatinius atvaizdus. Apibrėžę skaitmeninius atvaizdus, aptarsime pagrindinius atvaizdų apdorojimo metodus, automatinį objektų segmentavimą ir jų atpažinimą atvaizduose.

Skaitmeninio atvaizdo apibrėžimas.

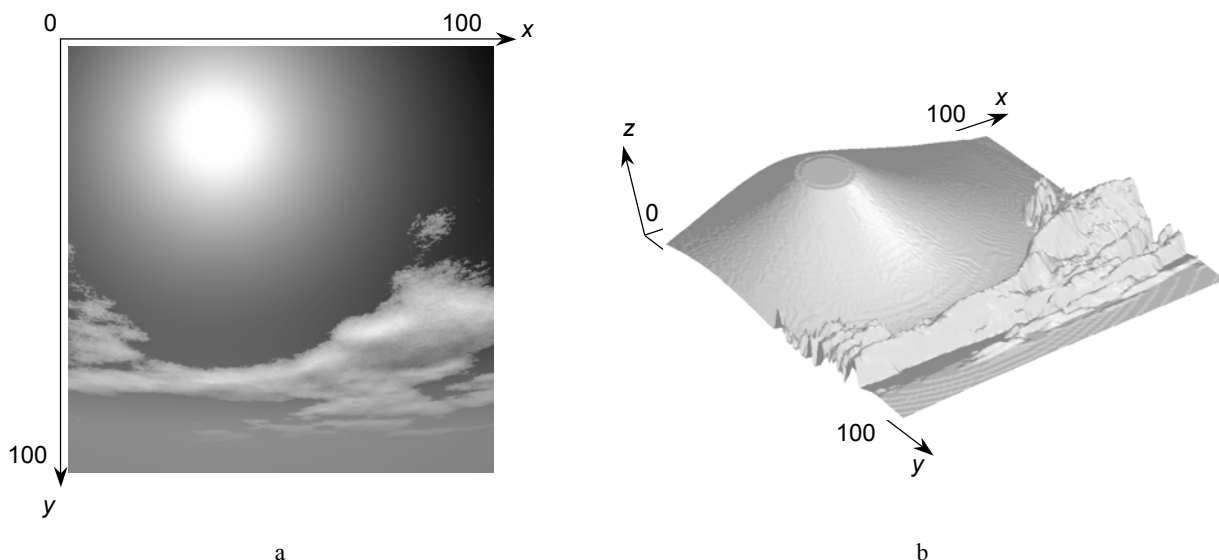
Monochromatiniu skaitmeniniu atvaizdu vadiname diskretizuotą dvimatę šviesos intensyvumo funkciją $f(x, y)$; čia x ir y yra diskrečios plokštumos koordinatės, o funkcijos f reikšmė bet kokiame taške (x, y) yra proporcinga atvaizdo skaisčiui tame taške [4]. Skaisčio funkcija $f(x, y)$ grafiškai atvaizduojama dviem būdais: dvimatėje plokštumoje (2 pav., a) arba trimatėje erdvėje (2 pav., b). Šiame paveiksle dangaus lopinėlio 100×100 atvaizdo baltos spalvos reikšmių sritis (skaisčio skalė) yra nuo 0 iki 255 (z ašis). Tad skaisčiui (2 pav., a) pavirsta kalnu (2 pav., b), šalia kurio atsiranda debesėlius simbolizuojančios kalvų viršūnės.

Priklausomai nuo atliekamų veiksmų, atvaizdą patogiau nagrinėti kaip matricą, vektorių ar atsitiktinį procesą [5]. Šiame straipsnyje atvaizdus nagrinėsime kaip matricas, nes tai yra paprasčiausias atvaizdų aprašymo būdas. Atvaizdą apibrėšime matrica

$$A = \{0 \leq a_{m,n} < D : m = 0, \dots, M-1; n = 0, \dots, N-1\}; \quad (1)$$

čia m ir n – matricos eilutės ir stulpelio numeris; M ir N – atvaizdo ilgis ir plotis; D – atvaizdo gylis.

Atvaizdų analizė. 3 paveiksle parodytos trys atvaizdų analizės pakopos: žemo, vidutinio ir aukšto lygio [4]. Pradinėje pakopoje atliekamas pirminis atvaizdo apdorojimas. Jo metu atliekamos įvairios atvaizdo korekcijos, mažinamas triukšmas. Antrojoje pakopoje atvaizdas segmentuojamas – išskiriamos jo prasmingos sritys ir nustatomos objektus apibūdinančios charakteristikos, sprendžiamas klasifikavimo arba srities didinimo uždavinys, kurio metu



2 pav. Atvaizdo grafinis pavaizdavimas dvimatėje plokštumoje (a) ir trimatėje erdvėje (b)

grupuojami atvaizdo elementai su vienodomis charakteristikomis. Trečioje pakopoje atpažįstami objektai, išskirti iš aplinkos pagal tik jiems būdingus požymius – charakteristikas. Atpažįstanti sistema žino tiriamųjų objektų charakteristikas ir, neturėdama visos būtinos informacijos, gali priimti sprendimą apie išskirto objekto prigimtį.

Atvaizdų segmentavimas. Segmentavimo metu atvaizdo elementai (angl. – *pixel*) grupuojami į aukštesnio lygio atvaizdo struktūras. Tai klasifikavimas iš anksto nežinant, ką norime rasti (angl. – *unsupervised classification*). Segmentavimo metu gali būti kuriamos naujos klasės, vėliau jungiamos tarpusavyje ir t.t. Klasių skaičius segmentavimo pradžioje nežinomas ir klasifikavimo metu gali keistis.

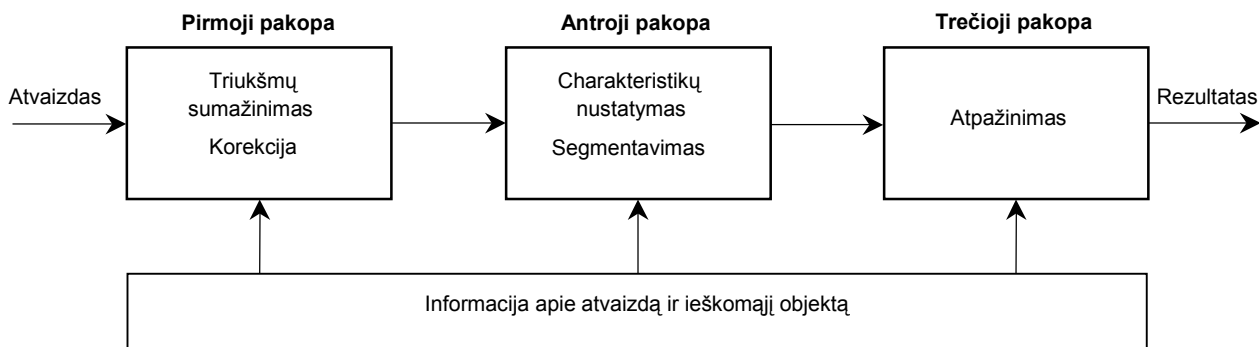
Skiriami du segmentavimo būdai: kontekstinis ir nekontekstinis [6]. Kontekstinio segmentavimo metu įvertinamos gretimų sričių charakteristikos. Akivaizdu, kad aplinkinę informaciją įvertinantys algoritmai, tokie kaip srities didinimo, hierarchinio klasterizavimo, dalinio klasterizavimo (angl. – *partitional clustering*) [7], skaidymo ir jungimo [8], kraštų nustatymo (angl. – *edge detection*) [9] ar slenkančio langelio [10], kokybės prasme yra daug efektyvesni.

Paprasčiausias nekontekstinio segmentavimo pavyzdys – slenksčio funkcijos panaudojimas (angl. –

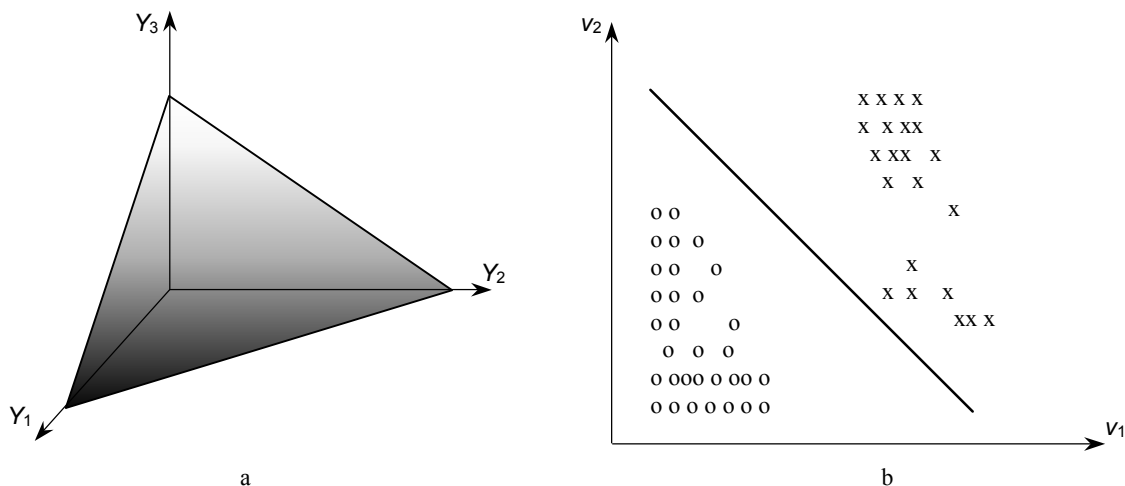
thresholding). Tai pats sparčiausias klasifikavimo metodas, gerai tinkantis pirminiam atvaizdų apdorojimui.

Segmentavimo kokybė taip pat priklauso nuo atvaizdo sritį apibūdinančių charakteristikų. Todėl įvertinus atvaizdo struktūrą svarbu parinkti tinkamą charakteristikų skaičiavimo metodą. Priklausomai nuo atvaizde esančių objektų, atvaizdą galime apibūdinti kaip lygų, rupų ar raštuotą. Tokiems paviršiams aprašyti naudojami statistiniai, struktūriniai ir spektriniai metodai. Statistiniai metodai taikomi grūdėtiems, glotniems, rupiems paviršiams. Struktūriniai metodai taikomi raštuotiems, pasikartojantį motyvą turintiems paviršiams. Spektriniai metodai taikomi globaliai pasikartojantiems atvaizdams [4]. Populiariausi statistiniai metodai yra šie: histogramos [11], autokoreliacijos [12], skaisčio matricos, atsitiktinių Gauso ir Markovo laukų ir koreliaciniai. Spektriniuose metoduose taikomos Furjė [13], vilnelių [14, 15] arba kosinuso [16] transformacijos. Primityviajam atpažinimui skirti struktūriniai metodai naudoja iešką pagal šablonus (angl. – *template matching*) arba geometrines figūras [17].

Atvaizdų atpažinimas. Atpažinimas yra radimas to, kas jau žinoma [18]. Tai yra klasifikavimas iš anksto apibrėžus klases, kurios atpažinimo metu išlieka pastovios (angl. – *supervised classification*). Klasėms nustatyti naudojami parinkti duomenys (angl. – *training set*),



3 pav. Atvaizdų analizės struktūra



4 pav. Iš tris klases ($K = 3$) atitinkančių laukiamų sprendinių y_k sudaryta prizmės tūriu apribota sprendinių erdvė \mathbf{D} (a) ir klasę „o“ nuo klasės „x“ skirianti sprendinių riba (b)

pagal kuriuos apmokomas klasifikatorius.

[19] teigiama, kad klasifikavimas yra stebėjimų \mathbf{v} įvardijimas klasėmis ω , kurių visuma sudaro klasių aibę

$$\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_K\}; \quad (2)$$

čia $K = \text{card}(\Omega)$ – klasių skaičius.

Stebėjimus \mathbf{v} vadinsime charakteristikų vektoriumi

$$\mathbf{v} = [v_1, v_2, \dots, v_N]^T; \quad (3)$$

čia $N = \text{dim}(\mathbf{v})$ – objektą aprašančių charakteristikų skaičius.

Klasifikavimo uždavinį galima laikyti atitiktens (angl. – *mapping*) tarp charakteristikų erdvės \mathbf{V} ir sprendinių erdvės \mathbf{D} radimu. Sprendinių erdvė \mathbf{D} sudaryta iš klases $\omega \in \Omega$ atitinkančių diskrečių K taškų y_k (4 pav., a). Tuomet klasifikavimą sudaro du etapai: charakteristikų vektorių \mathbf{v} atitinkančio sprendinio d_k gavimas ir jam artimiausio laukiamo sprendinio y_k , atitinkančio klasę ω_k , radimas.

Sprendinio vektoriaus \mathbf{d} ($\text{dim}(\mathbf{d}) = K$) nariams galioja taisyklė

$$d_i(\mathbf{v}) > d_j(\mathbf{v}); \quad (4)$$

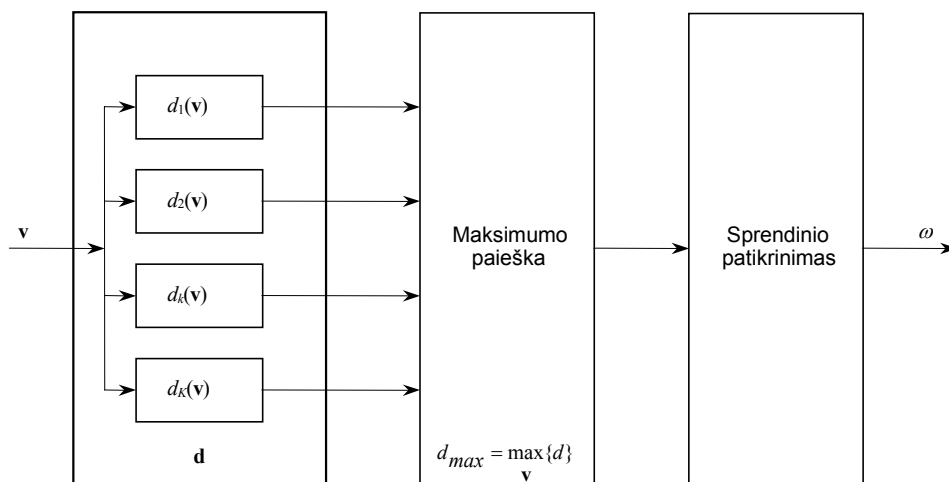
čia $j = 1, \dots, K; j \neq i$.

Pagal (4) lygtį neapibrėžtas vektorius \mathbf{v} priklauso i -ajai klasei, jei sprendinio vektoriaus \mathbf{d} komponentė $d_i(\mathbf{v})$ įgyja didžiausią reikšmę. Atvirkštinis teiginys taip pat yra teisingas [4].

4 paveiksle, b, parodyta klasę ω_1 (nuliukai) nuo klasės ω_2 (kryžiuikai) skirianti sprendinių riba, apskaičiuota pagal vektoriaus \mathbf{v} komponentes, galiojant lygybei

$$d_1(\mathbf{v}) - d_2(\mathbf{v}) = 0. \quad (5)$$

Bendra struktūrinė klasifikatoriaus schema parodyta 5 paveiksle. Pirma apskaičiuojamas sprendinių vektorius \mathbf{d} , paskui randama didžiausia jo komponentė d_{max} , ir, pritaikius tam tikrą slenksčio funkciją, gaunama atpažinta klasė ω_k . Ši slenksčio funkcija gali atmesti apskaičiuotą sprendinį dėl kelių priežasčių: kai vektorius \mathbf{v} atpažįstamas kaip kelių klasių narys, kai vektorius \mathbf{v} yra klasifikatoriui nežinomas, iš kažkur atsitiktinai atsiradęs (pavyzdžiui, trukdys).



5 pav. Bendra klasifikatoriaus struktūra

Aprašytą klasifikatoriaus algoritmą iliustruosime pavyzdžiu. Parduotuvės vaisių $\omega_{apelsinai}$, $\omega_{obuoliai}$ ir $\omega_{kriaušės}$ atpažinimo sistemą apmokysime pagal du vizualius stebėjimus v_{spalva} = „geltona“, „žalia“ ir v_{forma} = „apvali“, „pailga“. Sistema gali priimti sprendimą $d_{apelsinas}$, $d_{obuolys}$ ar $d_{kriaušė}$. Laukiami sprendiniai būtų $y_{apelsinas} = 1$, $y_{obuolys} = 1$ arba $y_{kriaušė} = 1$, čia $\dim(\mathbf{v}) = 2$, $\text{card}\{\Omega\} = 3$, $\dim(\mathbf{d}) = 3$ ir $\dim(\mathbf{y}) = 3$.

Vaizdo kamerasi užfiksavus vaisių, klasifikatorius ieško vektorių \mathbf{v} atitinkančio sprendinio:

$$d_{apelsinas}(\mathbf{v}) = 0; d_{obuolys}(\mathbf{v}) = 0,8; d_{kriaušė}(\mathbf{v}) = 0,1; \quad (6)$$

$$\max_{\mathbf{v}} \{d\} = d_{obuolys}. \quad (7)$$

Rastam sprendiniui pritaikę slenksčio funkciją

$$y = \begin{cases} 1, & d \geq 0,7; \\ 0, & \text{kitu atveju,} \end{cases} \quad (8)$$

gauname artimiausią laukiamą sprendinį $y_{obuolys}$.

Jei tai bananas:

$$d_{apelsinas}(\mathbf{v}) = 0,5; d_{obuolys}(\mathbf{v}) = 0; d_{kriaušė}(\mathbf{v}) = 0,5 \quad (9)$$

ir

$$\max_{\mathbf{v}} \{d\} = d_{apelsinas} = d_{kriaušė}. \quad (10)$$

Tuomet klasifikatorius atmestų gautus sprendimus dėl kelių priežasčių: stebėjimų vektorius \mathbf{v} atpažįstamas kaip kelių sprendimų narys ($d_{apelsinas} = d_{kriaušė}$) ir vektorius \mathbf{v} klasifikatoriui nėra žinomas $d_{max} < 0,7$.

Taigi iš pavyzdžio matyti, kad sprendinio vektoriaus radimas yra svarbiausia klasifikatoriaus sudarymo dalis. Tam taikomos įvairios technologijos: mažiausio atstumo klasifikatorius, Bajeso (angl. – *Bayes*) klasifikatorius, dirbtiniai neuronų tinklai [20].

Žmogaus galvos smegenų tomogramų segmentavimas

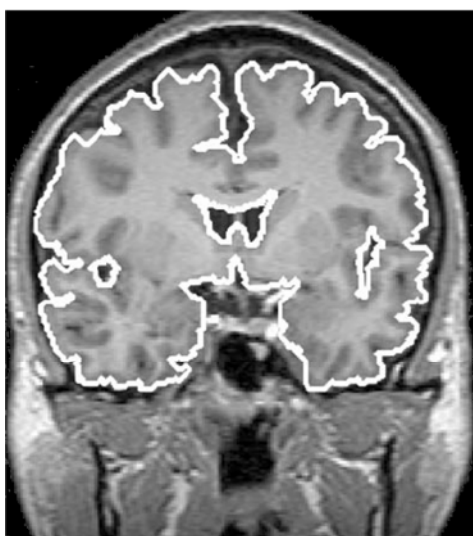
Atsiradęs 1969 metais medicinoje gaunamų atvaizdų kompiuterinis apdorojimas ir analizė labai plačiai taikomi [21]. Prasidėjusi išplauksusių atvaizdų ryškinimu, medicininė atvaizdų analizė tęsiama sprendžiant įvairių ligų automatinės diagnostikos, trimatės žmogaus organų vizualizacijos, duomenų glaudinimo, perdavimo bei saugojimo uždavinius.

Šiame poskyryje aptarsime sparčiai tobulėjančius žmogaus smegenų segmentavimo metodus. Visi jie skirti branduolinio magnetinio rezonanso introskopijos (MRI) atvaizdams apdoroti. Dėl aukštos atvaizdų kokybės MRI atvaizdų tyrimai šiuo metu yra daug populiareni už kompiuterinę tomografiją (CT) gautų tomogramų analizę.

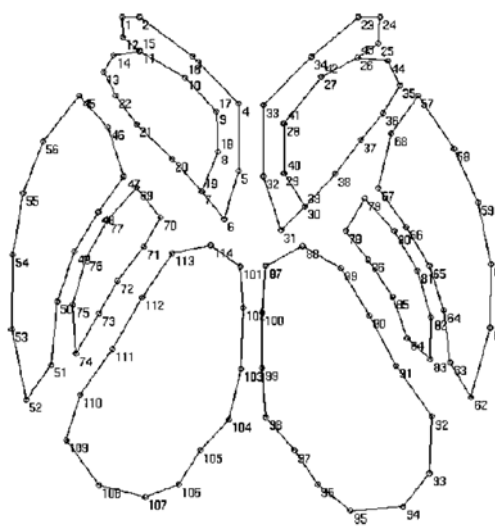
Vienas naujausių ir paprasčiausių smegenų segmentavimo metodų MRI atvaizduose pagrįstas histogramų metodu [22]. Šis metodas realizuojamas trimis žingsniais. Pirmiausia slenksčio funkcija nufiltruoja foną. Paskui smegenis atskiria nuo kaukolės ir pašalina supančius objektus – sinusus, smegenų skystį ir kietąjį dangalą (6 pav., a). Smegenų tūrį randa pagal smegenų atvaizdų taškus visose MRI tyrimo nuotraukose. Palyginus 20 tikrų atvaizdų su dirbtiniais (angl. – *simulated*) MRI atvaizdais, šiuo metodu buvo gauta ne didesnė kaip 1,38 % smegenų tūrio nustatymo paklaida.

Kiek senesnis, tačiau taip pat visiškai automatinis smegenų išskyrimo iš MRI nuotraukų algoritmas yra pagrįstas nustatytų klasių – baltos smegenų masės, pilkos masės, smegenų skysčio ir papildomos klasės – atpažinimu [23]. Papildoma klasė skirta MRI triukšmams modeliuoti. Klasifikavimo metodas pagrįstas matematinės vilties maksimizavimu ir Markovo atsitiktinių laukų panaudojimu. Apriorinė informacija apie smegenų audinių išsidėstymą buvo paimta iš skaitmeninio smegenų atlaso. Algoritmui patikrinti buvo naudojami dirbtiniai MRI atvaizdai.

Kitas smegenų segmentavimo algoritmas taip pat pagrįstas histogramos algoritmo panaudojimu [24]. Segmen-



a



b

6 pav. MRI segmentavimo, taikant histogramų metodą, rezultatas (a) ir smegenų segmentavimas, pagrįstas smegenų struktūrų formos aprašymu taškų pasiskirstymo modeliais (b)

tavimas atliekamas keturiais žingsniais. Pirmuoju žingsniu smegenų sritis atskiriama nuo kaulų ir minkštųjų audinių panaudojant slenksčio funkciją. Paskui kita slenksčio funkcija atskiria smegenų skystį. Sunkesniam uždaviniui – baltai ir pilkai masėms atskirti – naudojamas statistinis sričių aprašymas vidurkiu ir standartinė deviacija. Konkrečiai klasei priskiriama panaudojant slenksčio funkciją. Straipsnio autoriai pažymi, kad šį algoritmą galima naudoti ir normalioms smegenų sritims atpažinti. Metodui patikrinti naudota per šimtą MRI atvaizdų.

Panašus smegenų segmentavimo metodas aprašytas [25]. Jis įdomus tuo, kad segmentavimo metu sudaroma smegenų kaukė, kuri vėliau tikslinama iki tikrojo dydžio. Atsparus trukdžiams algoritmas taip pat naudoja histogramų metodą. Sunkiai atpažįstamų akių kontūrų analizei naudojama išankstinė informacija. Metodą vizualiai patikrino radiologas, panaudodamas septynių galvų MRI atvaizdus.

Alternatyvus smegenų segmentavimo metodas naudoja geometrines smegenų struktūrų savybes [26]. Visos galimos smegenų struktūrų formos aprašomos taškų pasiskirstymo modeliais kaip pradinė atpažinimui reikalinga informacija (6 pav., b). Pradinė informacija atpažinimui gauta iš aštuonių galvų MRI atvaizdų, gauti rezultatai buvo tikrinami pagal devyniolikos galvų MRI atvaizdus. Smegenys buvo atpažinti su ne didesne kaip 7% paklaida.

Smegenų pažeidimų (angl. – *lesions*) CT atvaizduose analizės metodas aprašytas [27]. Metodą sudaro trys žingsniai. Pirmuoju žingsniu nustatoma galvos simetrijos ašis. Paskui didinant sritis smegenys segmentuojamos į skirtingų skaičių lygių plotelius. Sričiai aprašyti naudojamas jos skaitis, ryšys tarp gretimų atvaizdo taškų bei padėtis simetrijos ašies atžvilgiu. Paskutiniu klasifikavimo žingsniu atpažįstama aplinkinė erdvė, kaukolė, baltos ir juodos medžiagų, smegenų skysčio bei insulto sritys.

Šiuolaikinė programinė įranga

Sparčiai tobulėjanti medicininė bei kompiuterinė įranga ir besiplečiantis internetas sukuria palankią terpę taikomosioms programoms kurti. Dažniausiai jos būna nesudėtingos, universitetuose parašytos ir skirtos *Unix* operacinei sistemai. Tačiau pastaruoju metu smarkiai išaugusi asmeninių kompiuterių galia leidžia kurti komercines programas, skirtas įvairių kompiuterių platformoms ir sprendžiančias kompleksinius uždavinius.

Šiame skyriuje apžvelgsime svarbiausią medicinoje taikomą programinę įrangą, skirtą žmogaus galvos smegenų analizei [28].

BrainVoyager 2000. Viena iš iškiliausių programų smegenims tirti pripažinta 17 000 Lt kainuojanti *Brain Voyager 2000* [29]. Nyderlanduose sukurta programa analizuoja ir atvaizduoja pagal MRI nuotraukas sudarytus trimačius smegenų modelius (7 pav.).

Iš pradžių atvaizdai taikoma paciento galvos padėties stabilizacija, glodinimas, tiesinio kryptingumo eliminavimas bei filtravimas dažnių ašyje. Atvaizdams toliau apdroti, pavyzdžiui, „click-and-fill“ režimui, naudojama koreliacinė analizė, *Talairach* transformacija, skaičiuojami pa-

rametriniai ir neparametriniai statistiniai žemėlapiai. Smegenims išskirti ir jų pilkajai bei baltajai masėms atpažinti taikomi atvaizdo elementų grupavimo, trimačių šablonų ir filtravimo metodai.

C++ kalba parašytą *BrainVoyager 2000* rekomenduojama naudoti dviejų procesorių kompiuteriuose. Programa tinka tiek *MS Windows*, tiek *Unix* operacinėms sistemoms.

FMRIB. Smegenų funkcinės introskopijos branduolinio magnetinio rezonanso centras Oxforde siūlo nemokamą programų paketą *FMRIB* (angl. – *Functional Magnetic Resonance Imaging of the Brain*) [30]. Be atvaizdo triukšmų filtravimo ir smegenų išskyrimo iš MRI nuotraukų, *FMRIB* atpažįsta skirtingas audinių rūšis: pilkąją masę, baltąją masę, galvos smegenų skystį.

Automatinė atvaizdų analizė pagrįsta paslėptu Markovo atsitiktinio lauko modelio bei asocijuotu matematinės vilties maksimizavimo (angl. – *associated Expectation-Maximization*) metodu.

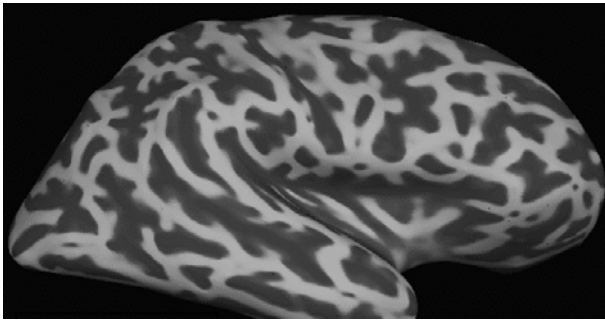
Programinis paketas skirtas *Unix* operacinei sistemai. *MEDx*. Jungtinių valstijų įmonės „Sensor Systems“ [31] siūlo komercinį smegenų analizės paketą *MEDx 3.4.2* [32], į kurią įeina anksčiau paminėta *FMRIB* biblioteka. Be jau aprašytų galimybių, *MEDx* atpažįsta smegenų pažeidimus ir apskaičiuoja jų tūrį tiek MRI, tiek CT atvaizduose. Tam naudojami statistiniai-koreliaciniai tiesinės regresijos ir tiesinio modeliavimo metodai.



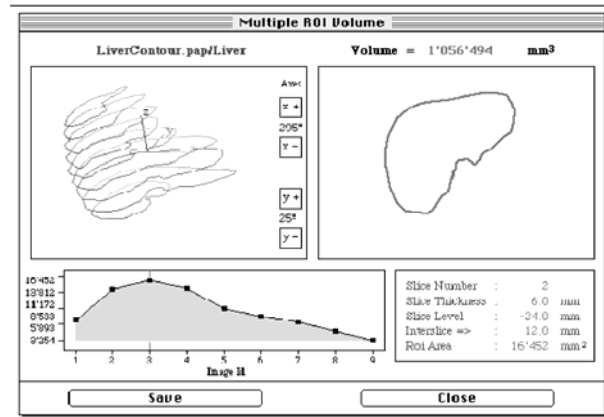
7 pav. Vienos iškiliausių programų smegenų analizei *BrainVoyager 2000* langas

Programų paketas skirtas *Unix* ir *IRIX* operacinėms sistemoms.

FreeSurfer. Jungtinių Valstijų įmonė „CorTechs“ [33] ir „MGH NMR“ centras [34] siūlo nemokamą programą „FreeSurfer“ [35], veikiančią *IRIX* ir *Unix* operacinėse sistemose. Ją sudaro pusiau automatinių įrankių rinkinys, skirtas smegenų žievės paviršiui



a



b

8 pav. Programa *FreeSurfer* segmentuota smegenų žievė; baltoji medžiaga pavaizduota tamsia spalva (a). Vienas svarbiausių *Osiris* bruožų – gebėjimas pusiau automatiškai apskaičiuoti įtariamų srities tūrį (b)

atvaizduoti, kartu išryškinant funkcinis duomenis (8 pav., a).

Osiris 2.5. Kita labai populiari programa yra Ženevos universitetinėje ligoninėje sukurtas *Osiris 2.5*. Nemokama programa skirta medicininių atvaizdų analizei ir apdorojimui. Be automatinio organų, kaulų ar auglių atpažinimo, *Osiris* apskaičiuoja tūrį rankiniu būdu pažymetuose sluoksniuose (8 pav., b).

Objektams atpažinti atvaizduose naudojami slenksčio, kraštų nustatymo ir atvaizdo elementų grupavimo metodai. Atpažinimo kriterijumi pasirinktas nagrinėjamos srities atvaizdo elementų skaištis.

Programa parašyta *Unix*, *Apple Macintosh* ir *MS Windows* operacinėms sistemoms.

Perfucion CT. Viena didžiausių MRI ir CT gamintojų pasaulyje įmonė „Siemens“ [37] suprojektavo programų paketą *Perfucion CT*, apdorojantį CT atvaizdus, gautus suleidus pacientui mažus kontrasto rutuliukus. Įvertinusi per smegenis perleistos kontrastinės medžiagos elgseną, programa sukuria kitą atvaizdą, kuriame spalvomis pažymėtos įtartinės ankstyvojo ischeminio insulto sritys (9 pav.).

Atpažinimui naudojami duomenys apie kraujo tekėjimą per smegenis, kraujo tūrį smegenyse ir laiką, per kurį kontrasto rutuliukai pasiekia lokalųjį maksimumą. Įvertinus šią informaciją, programos sukurtas atvaizdas parodo ankstyvąjį ischeminį insultą prieš įvykstant struktūriniams smegenų pakitimams [38, 39]. Patikrinus šiuo metodu du šimtus pacientų, gauta ne didesnė kaip 10 % paklaida.

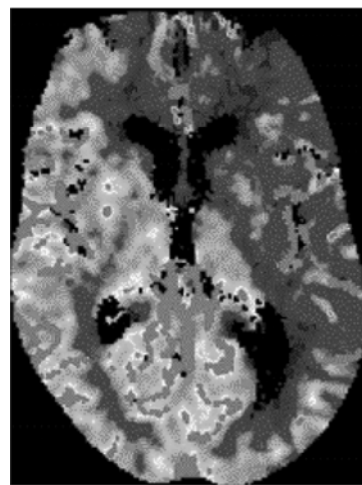
Dešimtis tūkstančių litų kainuojanti programa skirta *Unix* ir *MS Windows* operacinėms sistemoms.

Išvados

Apibrėžę atvaizdų analizėje taikomus terminus ir apžvelgę pastarųjų metų automatiniams smegenų atpažinimui skirtas publikacijas bei programinę įrangą, pirmiausia matome, kad ši mokslo šaka žengia tik pirmuosius žingsnius. Nors straipsniuose rašoma, jog sukurta atspari triukšmams galvos smegenų atpažinimo technologija, neaišku, kokios sukurtų algoritmų taikymo ribos, kokie smegenų pažeidimai gali būti atpažinti, ar septynių pacientų tyrimo pakanka metodo tikslumui nustatyti.



a



b

9 pav. Komerčinu paketu *Perfucion CT* atpažintos plika akimi nežiūrimos (a) įtartinės ankstyvojo ischeminio insulto sritys (b)

Tarp daugelio atpažinimo metodų nėra nė vieno universalaus. Kiekvienam realiam uždaviniui svarbu parinkti ir modifikuoti metodą iki reikiamo gaunamų rezultatų patikimumo. Iš atliktos apžvalgos matyti, kad automatinės galvos smegenų analizėje dažniausiai naudojami spartūs ir nesudėtingi histogramų bei slenksčio funkcijų metodai.

Atvaizdų analizės straipsnių apžvalga rodo, kad pagrindinis tyrimų objektas yra MRI atvaizdai. Moksliniu požiūriu CT atvaizdų atpažinimas nustumtas į šešėlį, nors CT tyrimai, kaip paprastesni ir pigesni, iki šiol yra populiariūs.

Vienos automatinės galvos smegenų analizės programos yra nemokamos, o kitų kaina siekia dešimtis tūkstančių litų. Profesionaliai realizuotos programinės įrangos kainos yra didelės. Dažniausiai jos skirtos specialios paskirties kompiuteriams, turintiems kelis 32 bitų arba vieną 64 bitų procesorius.

Todėl tolesni medicinoje gaunamų atvaizdų tyrimai yra aktualūs ir mokslinė, ir taikomąja prasme. Iki šiol nėra publikuota straipsnių, skirtų ischeminio insulto sričių atpažinimui ir jų tūrio nustatymui, nenagrinėtos automatinio insulto srities tūrio nustatymo paklaidos. Medikams praktiškai labai reikalinga tam skirta nebrangi programinė įranga, galinti veikti ne tik specializuotuose, bet ir standartinuose asmeniniuose kompiuteriuose. Tyrimai šioje srityje būtų siauros, bet labai svarbios teoriniu ir praktiniu požiūriu mokslo srities plėtros pradžia.

Literatūra

- Šopagienė D., Paulauskas L., Rastenytė D. Galvos smegenų insulto ankstyvosios baigtys // *Medicina*. – 2000. – Nr. 36. – P. 391-397.
- Kazlauskas H., Janušonis V. Sergamumas ir mirtingumas galvos smegenų insultu Klaipėdos mieste 1995-1997 metais // *Medicina*. – 1999. – Nr. 35. – P. 48-55.
- Morse B. S. Lectures in Image Processing and Computer Vision. – Tinklapis <http://iul.cs.byu.edu/550/>
- Gonzalez R. C., Woods R. E. Digital Image Processing. – Addison-Wesley Pub Co. – 1992. – 716 p.
- Hall E. L. Computer image processing and recognition. – Academic Press. – 1979. – 584 p.
- Schalkoff R. J. Digital Image Processing and Computer Vision. – John Wiley & Sons, Inc. – 1989. – 489 p.
- Jain A. K., Robert P. W., Duin R. P. W., Mao J. Statistical Pattern Recognition: A Review // *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. – 2000. – T. 22, No. 1. – P. 4-37.
- Levialdi S. Basic ideas for image segmentation. – Cambridge University Press. – 1983. – P. 239-324.
- Ritter G. X., Wilson J. N. Handbook of Computer Vision Algorithms in Image Algebra. – CRC Press, Inc, 1996. – 361 p.
- Indilas S. Medicininio vaizdo apdorojimo metodai ir algoritmai // *Elektronika ir elektrotechnika*. – Kaunas: Technologija. – 1996. – Nr. 4(8). – P. 45-48.
- Parker J. R. Algorithms for image processing and computer vision. – John Wiley & Sons, Inc., 1997. – 417 p.
- Haralick R. M. Image Textural Survey. – Cambridge University Press. – 1983. – P. 145-172.
- Smith S. W. The Scientist and Engineers's Guide to Digital Signal Processing. – California Technical Pub. – 1999. – 640 p.
- Unser M. Texture Classification and Segmentation Using Wavelet Frames // *IEEE Trans. on Image Processing*. – 1995. – T. 4, No. 11. – P. 1549-1560.
- Unser M., Aldroubi A. A Review of Wavelets in Biomedical Applications // *Proc. of the IEEE*. – 1996. – T. 84, No. 4. – P. 626-638.
- Image Processing Toolbox Users Guide. – The MathWorks, Inc., 2000. – 428 p.
- Sonka M., Hlavac V., Boyle R. Image Processing, Analysis, and Machine Vision. – PWS. – 1999. – 770 p.
- Thompson D., red. The Pocket Oxford Dictionary of Current English. Oxford University Press. – 1996. – 1093 p.
- Schürmann. J. Pattern classification: a unified view of statistical and neural approaches. – John Wiley & Sons, Inc. – 1996. – 374 p.
- Egmont-Petersen M., Ridder D., Handels H. Image processing with neural networks – a review // *Pattern Recognition*. – 2002. – No. 35. – P. 2279-2301.
- Duncan J. S., Ayache N. Medical Image Analysis: Progress over Two Decades and the Challenges Ahead // *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. – 2000. – T. 22, No. 1. – P. 85-105.
- Shan Z. Y., Yue G. H., Liu J. Z. Automated Histogram-Based Brain Segmentation in T1-Weighted Three Dimensional Magnetic Resonance Head Images // *NeuroImage*. – 2002. – No. 17. – P. 1587-1598.
- Leemput K. V., Maes F., Vandermeulen D., Suetens P. Automated Model-Based Tissue Classification of MRI Images of the Brain // *IEEE Trans. on Medical Imaging*. – 1999. – T. 18, No. 10. – P. 897-908.
- Tsai C., Manjunath B. S., Jagadeesan R. Automated Segmentation of Brain MR Images // *Pattern Recognition*. – 1995. – T. 28, No. 12. – P. 1825-1837.
- Atkins M. S. Mackiewicz B. T. Fully Automatic Segmentation of the Brain in MRI // *IEEE Trans. on Medical Imaging*. – 1998. – T. 17, No. 1. – P. 98-107.
- Duta N., Sonka M. Segmentation and Interpolation of MRI Brain Images: An Improved Active Shape Model // *IEEE Trans. on Medical Imaging*. – 1998. – T. 17, No. 6. – P. 1049-1062.
- Matešin M. and Lončarić S., Petravić D. A Rule-Based Approach to Stroke Lesion Analysis from CT Brain Images // *Proc. of 2nd International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis*. – 2001. – P. 219-223.
- National Institutes of Health. Clinical Image Processing Department. – Tinklapis <http://www.cc.nih.gov/cip>
- BrainVoyager - a product from Brain Innovation B.V. – Tinklapis <http://www.brainvoyager.de>
- The FMRIB Software Library. – Tinklapis <http://www.fmrib.ox.ac.uk/fsl>
- Sensor Systems. – Tinklapis <http://www.sensor.com>
- MEDx – Multimodality Image Processing and Analysis. – Tinklapis <http://medx.sensor.com>
- CorTechs. – Tinklapis <http://www.cortechs.net>
- MGH NMR Center. <http://www.nmr.mgh.harvard.edu>
- Home of FreeSurfer. – Tinklapis <http://surfer.nmr.mgh.harvard.edu>
- Dale A. M., Fischl B., Sereno M. I. Cortical Surface-Based Analysis I: Segmentation and Surface Reconstruction // *NeuroImage*. – 1999. – T. 2, No. 9. – P. 179-194.
- Siemens Medical. – Tinklapis <http://www.siemensmedical.com>
- König M., Klotz E., Heuser L. Perfusion CT in Acute Stroke: Characterization of Cerebral Ischemia using Parameter Images of Cerebral Blood Flow and their Therapeutic Relevance // *Electro Medica. A periodical for medicine and medical systems*. – 1998. – T. 66 No. 2, – P. 61-67.

39. **König M., Klotz E., Heuser L.** Diagnosis of Cerebral Infarction Using Perfusion CT: State of the Art. // *Electro Medica. A periodical for medicine and medical systems.* – 2000. – T. 68, No. 2. – P. 9-12.

Pateikta spaudai 2003 06 01

A. Ušinskas, R. Kirvaitis. Žmogaus galvos smegenų ischeminio insulto automatinės analizės metodų apžvalga // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2003. – Nr. 7(49). – P. 52-59.

Straipsnyje apžvelgiami žmogaus galvos smegenų ischeminio insulto automatinės analizės metodai ir jų taikymas. Apibrėžus skaitmeninio atvaizdo terminą, aptariami įvairūs skaitmeninių atvaizdų analizės, apdorojimo, segmentavimo ir tam tikrų sričių atpažinimo metodai. Aprašomi ir aptariami atvaizdų apdorojimo algoritmai žmogaus galvos smegenų analizei pagal magnetinio rezonanso introskopijos ir pagal kompiuterinės tomografijos atvaizdus. Parodyta, kad automatinei galvos smegenų analizei atlikti dažniausiai pasirenkami spartūs ir nesudėtingi histogramų bei slenksčio funkcijų metodai. Daroma išvada, kad kiekvienam konkrečiam uždaviniui spręsti reikia parinkti tinkamiausią metodą ir jį modifikuoti iki reikiamo gaunamų rezultatų tikslumo. Išnagrinėjus daug literatūros šaltinių, formuluojama išvada, kad medicininių atvaizdų analizės mokslo šaka žengia tik pirmuosius žingsnius. Il. 9, bibl. 39 (lietuvių kalba; santraukos lietuvių, anglų ir rusų k.).

A. Usinskas, R. Kirvaitis. Automatic Analysis of Human Head Ischemic Stroke: Review of Methods // Electronics and Electrical Engineering. Kaunas: Technologija, 2003. – No. 7(42). – P. 52-59.

There is a reviewed analysis of automatic recognition of human head ischemic stroke on computed tomography images, and its implementation in medical imaging software. The paper presents definition of digital image, investigation of methods for image analysis, segmentation and recognition of ischemic stroke area on magnetic resonance images and computed tomography images as well. It is important to select and modify general methods of image analysis according the every real task. By default, fast and simple histogram or thresholding algorithms are used for medical image processing and analysis. The review of publications on this topic leads to the conclusion that research field of medical image analysis is still new and requires more investigation. Ill. 9, bibl. 39 (in Lithuanian; summaries in Lithuanian, English and Russian).

A. Ушинскас, Р. Кирвайтис. Обзор методов автоматического анализа ишемического инсульта головного мозга // Электроника и электротехника. – Каунас: Технология, 2003. - № 7(42). – С. 52-59.

В данной статье рассматриваются автоматизированные методы определения областей ишемического инсульта головного мозга на изображениях, полученных компьютерной томографией, и реализация этих методов в программном обеспечении. Оговорив термин цифрового изображения, приводится обзор методов анализа изображений, их сегментирования и опознания. Предлагаются алгоритмы обработки цифрового изображения для определения областей ишемического инсульта головного мозга как при интроскопии ядерно-магнитным резонансом, так и при компьютерной томографии. Показано, что для каждой конкретной задачи необходимо подобрать определенный метод и модифицировать его до нужной точности. При автоматическом анализе инсульта чаще используются быстрые и простые алгоритмы, такие как гистограммы и порог. Рассмотрев много источников можно прийти к выводу, что область обработки цифровых медицинских изображений недостаточно развита и нуждается в дополнительных исследованиях. Ил. 9, библи. 39 (на литовском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).