

Išeminio insulto srities lokalizavimas kompiuterinėse tomogramose panaudojant apriorinę informaciją*

Aleksandras KRYLOVAS, Olga ŠTIKONIENĖ, Raimondas ČIEGIS,
Mečislavas MEILŪNAS (VGTU)

e-mail: { akr, osh, rc, mm @fm.vtu.lt }

1. Įvadas

Vaizdų apdorojimas ir atpažinimas yra greitai besiplėtojanti informatikos, matematikos bei technikos mokslų sandūroje esanti tyrimo sritis su labai didelėmis taikymų galimybėmis. Šiame straipsnyje nagrinėjami dvimačių atvaizdų analizės algoritmai gali būti taikomi įvairios prigimties objektų analizei, tačiau mes apsiribosime tik vienu medicinos uždaviniu – išeminio insulto srities bei jos kontūro nustatymu.

Insultas yra viena pagrindinių mirtingumo priežasčių. Kasmet pasaulyje nuo insulto miršta daugiau kaip 4 milijonai žmonių, ir tai yra antra po širdies ir kraujagyslių ligų mirtingumo priežastis. Trečdalis patyrusių insultą tampa visiškais invalidais. Išeminis insultas sudaro apie 80% visų insultų atvejų. Greita insulto srities lokalizacija bei tūrio įvertinimas gali padėti gydytojui pasirinkti geriausią gydymo taktiką. Tam reikalingas greitas paprastų kompiuterinių tomogramų (CT – computed tomography) apdorojimas, kadangi magnetinio rezonanso tomografija (MRI – magnetic resonance imaging) reikalauja labai brangių įtaisų. Pavyzdžiui, Lietuvoje šiuo metu yra tik trys MRI tomografai. Todėl aktualu turėti automatinio insulto srities nustatymo CT kompiuterinėse tomogramose programinę įrangą, orientuotą ne į superkompiuterius, o į paprastą personalinį kompiuterį. Tokias programas galėtų įsigyti vidutinio biudžeto ligoninės. Žinomi autoriaus programiniai produktai, pavyzdžiui, firmos *Siemens Medical Solutions* (Vokietija) arba *General Electric Medical Systems* (Jungtinė Karalystė) ne tik yra labai brangūs, bet ir patenkinamai nesprendžia insulto srities analizės CT atvaizduose problemos.

2. Uždavinio formuluotė

Aukščiau įvardintos problemos sprendimui turi būti sukurti algoritmai, kurie galėtų:

- 1) nustatyti insulto sritį kompiuterinėse tomogramose;
- 2) rekonstruoti insulto srities erdvinį vaizdą;
- 3) įvertinti insulto srities tūrį.

*Šis darbas atliekamas pagal EUREKA programą (projektas CTBSTROKE E!2981) ir yra remiamas Lietuvos Valstybinio Mokslo ir Studijų fondo (sutartis nr. V-04049).

Algoritmų efektyvumas turi būti pakankamas šių uždavinių automatizavimui. Algoritmų sudėtingumas neturi viršyti asmeninių kompiuterių galimybių. Pastebėjime, kad pirmasis uždavinys sprendžiamas nagrinėjant atskirus erdvinės srities pjūvius (sluoksnius). Todėl patenkinamai išsprendus pirmąjį uždavinį, standartiniais metodais gali būti išspręsti antrasis bei trečiasis uždaviniai. Suformuluoti tikslai gali būti realizuoti taikant žinomus algoritmus, kuriant naujus ir tiriant algoritmų taikymo sąlygas.

Šiame straipsnyje nagrinėjamas vienas pirmojo uždavinio sprendimo algoritmas, panaudojant žmogaus smegenų anatominių struktūrų automatinio nustatymo metodą [3].

3. Skaitmeninių atvaizdų analizė

Mūsų tikslams taikomos kompiuterinio tomografo sukurtos tomogramos, kurios užrašomos DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine) formatu. Šio formato atvaizdai sudaryti iš 512×512 elementų, kurių reikšmės sudaro 12 bitų, t. y. 4096 diskretieji lygiai. Tačiau praktiniams tikslams užtenka (žr. [1,2]) 100 reikšmių intervalo. Taigi monochrominių skaitmeninių atvaizdų kompiuterinėse tomogramose matematinis modelis yra diskrečioji šviesos intensyvumą atitinkanti funkcija $f(x, y)$:

$$x = 1, 2, \dots, 512, \quad y = 1, 2, \dots, 512, \quad f(x, y) \in \{1, 2, \dots, 100\}.$$

Išeminio insulto priežastis yra nepakankamas smegenų audiniams deguonies ir maisto medžiagų srautas, užsikimšus smegenų arterijai. Išeminio insulto sritį sudaro mirusios dėl kraujo apytakos sutrikimo smegenų ląstelės. Paprastai tomogramoje ši sritis turi tamsesnę spalvą (dėl mažesnio medžiagos tankio).

4. Neuroanatominių struktūrų atpažinimas

Mes naudojame pakankamai gerai aprašytą literatūroje [3] žmogaus smegenų neuroanatominių struktūrų atpažinimo metodą, kurio patikimumo lygmuo 1–2%. Šis metodas yra pagrįstas apriorinių žinių apie neuroanatomines struktūras taikymu. Tokia papildoma informacija leidžia išskirti iš amorfinių taškų aibių tam tikrus sutvarkytus kontūrus (1 pav.).

Pateiktas [3] straipsnyje smegenų anatominių struktūrų aprašymo būdas pirmiausiai buvo taikomas nedidelėms tų struktūrų anomalijoms aptikti. Tai buvo daroma siekiant nustatyti ryšį tarp tokių anomalijų ir tam tikrų ligų (pavyzdžiui, esant disleksijai). Šiame darbe mes norime pademonstruoti šio metodo galimybes nustatant netipinių struktūrų atsiradimą CT atvaizduose. Tokiomis netipinėmis struktūromis gali būti, pavyzdžiui, smegenų išeminio insulto sritis. Lygindami turimą išeminio insulto atveju CT atvaizdą su kontroliniu ir tinkamai pasirinkdami slenksčio funkciją galime gauti pradinę informaciją apie insulto srities lokalizaciją bei formą.

Toliau kiekviename tomogramos sluoksnyje turime taikyti tikslesnius insulto srities nustatymo ir jos kontūro aprašymo metodus (žr., pvz. [1]).

5. Siūlomo algoritmo idėja

Dėl insulto srities tamsesnės spalvos tomogramoje gali būti apsunkintas arba visai neišmanomas anatominių žmogaus smegenų struktūrų atpažinimas atvaizduose.

Mes siūlome pritaikyti *apriori* žinomų struktūrų automatinio atpažinimo algoritmą bei modifikuoti kai kurias jo sudėtinės dalis išeminio insulto sričiai lokalizuoti. Analizuojant atvaizdą turi būti atpažintos žinomos anatomicinės struktūros bei nustatytos vietos, kur toks atpažinimas buvo apsunkintas (žr. 1 pav.). Gali būti prasmingas palyginimas su analogiškų struktūrų kitame galvos pusrutulyje atpažinimo rezultatais. Kitaip tariant, panaudojamas žmogaus smegenų struktūrų kvazisimetriškumas. Taigi pirmame etape vykdoma pirminė insulto srities lokalizacija. Pastebėkime, kad jau po šio pirminio atvaizdo apdorojimo etapo gydytojas gauna vertingą informaciją apie tai, kurios smegenų dalys gali būti pažeistos.

Antrajame atvaizdo apdorojimo etape patikslinamas insulto srities kontūras. Mes taikome [3] algoritme naudojamą srities kontūro stiprumo funkciją. Šio metodo idėja – surinkti pakankamai daug statistinės informacijos, analizuojant atvaizdus su insulto sritimis, ir pasiūlyti empirinius kriterijus šios srities kontūrai patikslinti. Metodo realizavimas bei patikimumo vertinimas yra autorių tolesnių tyrimo objektas.

6. Srities kontūro stiprumas

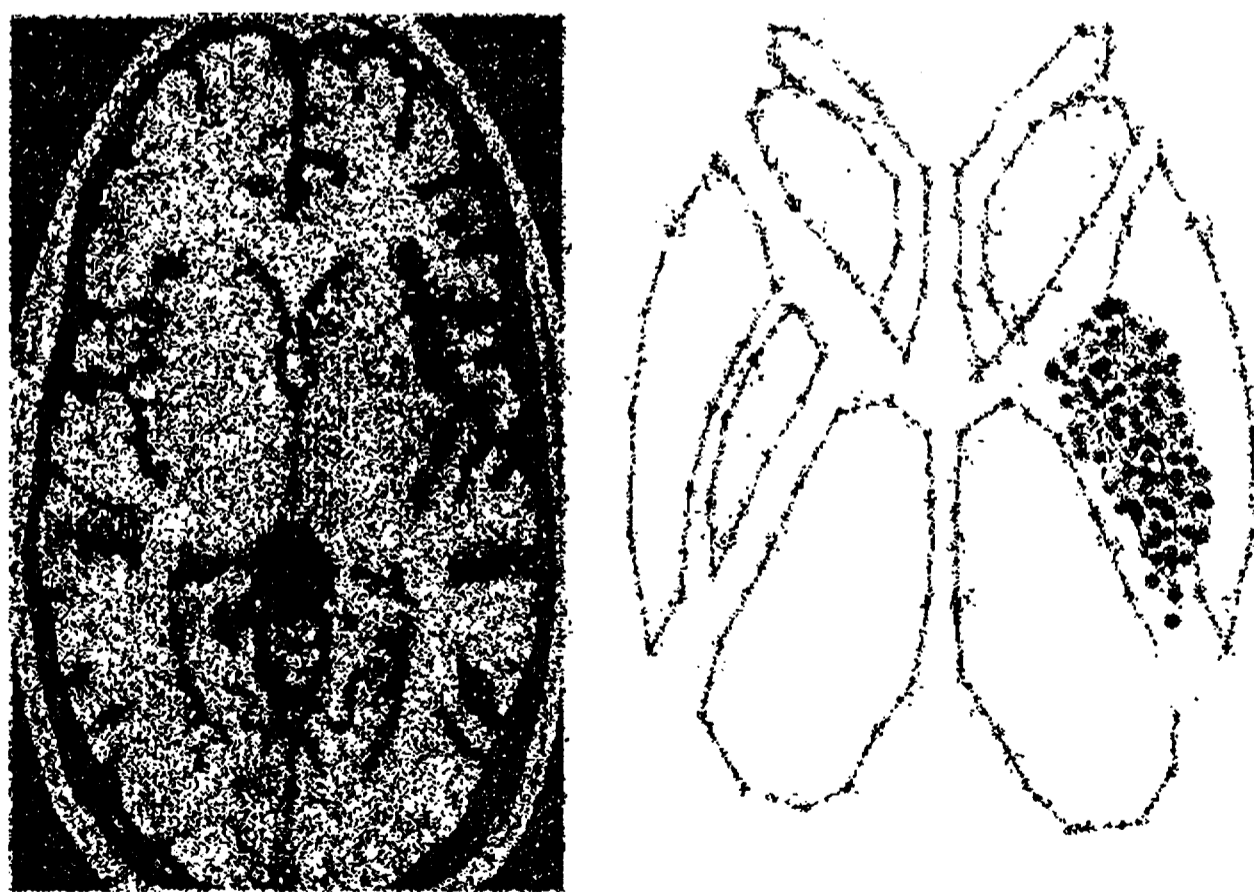
Bet kuri sritis Ω yra matoma kompiuterinėje tomogramoje tik todėl, kad šviesos funkcijos $f(x, y)$ reikšmių skirtumai

$$I_{\Omega, \overline{\Omega}}(x, y) = |f(a_x, a_y) - f(\beta_x, \beta_y)|, \quad I_{\overline{\Omega}, \Omega}(x, y) = |f(\alpha_x, \alpha_y) - f(b_x, b_y)|$$

(čia a, b – sričiai Ω priklausantys pikseliai (taškai), α, β – sričiai Ω nepriklausantys pikseliai) yra pakankamai dideli, palyginus su reikšmėmis

$$I_{\Omega, \Omega}(x, y) = |f(a_x, a_y) - f(b_x, b_y)|, \quad I_{\overline{\Omega}, \overline{\Omega}}(x, y) = |f(\alpha_x, \alpha_y) - f(\beta_x, \beta_y)|,$$

kai $a, b \in \Omega$, $\alpha, \beta \notin \Omega$. Srities kontūrai nustatyti apibrėškime šabloną $S_{a,b,\alpha,\beta}$: 2 pav. parodytą lygiagretainį su viršūnėmis a, b, α, β ; juoda spalva paryškintas



1 pav. Neuroanatominės struktūrų išskyrimas CT tomogramoje ir pažeidimo sritis.

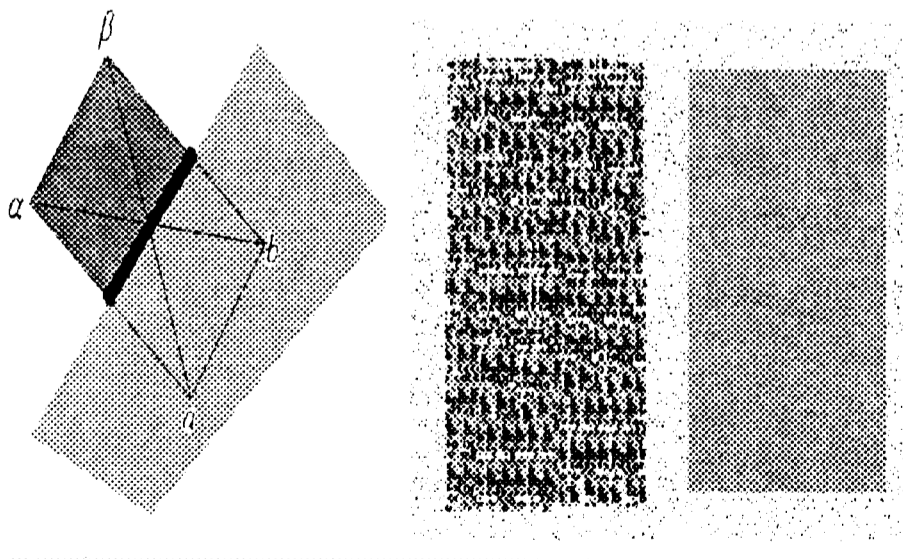
dviejų sričių sienos fragmentas. Pažymėkime šio lygiagretainio kraštinių ilgius $l = \sqrt{(a_x - \alpha_x)^2 + (a_y - \alpha_y)^2} = \sqrt{(b_x - \beta_x)^2 + (b_y - \beta_y)^2}$,
 $w = \sqrt{(a_x - b_x)^2 + (a_y - b_y)^2} = \sqrt{(\alpha_x - \beta_x)^2 + (\alpha_y - \beta_y)^2}$. Sudarome tokią, priklausančią nuo šablono $S_{a,b,\alpha,\beta}$, funkciją

$$c_S(x, y) = \begin{cases} 2, & \text{kai } \max\{I_{\Omega, \Omega}, I_{\overline{\Omega}, \overline{\Omega}}\} < \min\{I_{\Omega, \overline{\Omega}}, I_{\overline{\Omega}, \Omega}\} - \delta, \\ 1, & \text{kai } \min\{I_{\Omega, \Omega}, I_{\overline{\Omega}, \overline{\Omega}}\} < \min\{I_{\Omega, \overline{\Omega}}, I_{\overline{\Omega}, \Omega}\} - \delta, \\ 0, & \text{priešingu atveju.} \end{cases}$$

Čia empirinis parametras δ priklauso nuo pikselių šviesos intensyvumo. Taigi funkcija $c_S(x, y)$ priklauso nuo pasirinkamos parametro δ reikšmės, kuri yra tuo didesnė, kuo didesnę kontrastą turi nagrinėjama sritis. Darbe [3] rekomenduojama taip pasirinkti parametras δ , kad nenulinės funkcijos $c_S(x, y)$ reikšmės sudarytų 2/3 visų jos reikšmių. Šablono a, b, α, β parametrai (ilgis l ir plotis w) leidžia didinti srities kontūro nustatymo tikslumą. Homogeninei sričiai galima paimti gretimą kontūro taško pikselius, t.y. $l = w = 2$. Dėl srities nehomogeniškumo (ir dėl atsitiktinių pikselių atsiradimo) realios srities kontūras atstatomas tik su tam tikru tikslumu, t. y. turime tam tikrą stiprumą (neryškumą). Parametras l gali būti tuo mažesnis, kuo stipresnis yra kontūras. Parametras w priklauso dar nuo kontūro geometrinių charakteristikų ir rodo, kokio ilgio atkarpomis jis aproksimuojamas. 2 pav. parodytos sritys su silpnu ir stipriu kontūrais.

7. Srities kontūro nustatymas

Tarkime, kad $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)\}$ yra srities kontūro dalies taškai. Pažymėkime c_j funkcijos $c_S(x, y)$ reikšmę taške (x_j, y_j) ir apskaičiuokime dydį $F = \frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n c_j$. Pastebėkime, kad $\max F \leq 1$ ir ši maksimali reikšmė pasiekama tik stipraus kontūro ir tinkamai pasirinkto šablono a, b, α, β bei parametro δ atveju. Jei kontūras nėra stiprus, arba jei jis atstatytas nelabai tiksliai, gauname $F < 1$. Kaupiant statistinę informaciją apie išeminį insultą, galima sukonstruoti praktinį kriterijų $k = \frac{F}{F_{empir}}$, kuris leidžia nustatyti ar srities kontūras atstatytas pakankamai tiksliai.



2 pav. Šablonas srities kontūrai nustatyti; silpnasis bei stiprusis kontūrai.

Atkreipkime dėmesį, kad esant dideliems šablono a , b , α , β parametrus l ir w bei imant nedaug taškų kontūro atkarpoms konstruoti, galima gauti grubų kontūro artinį, naudojant, pavyzdžiui, tik fiksuoto ilgio ir pasuktas kartotiniu, pvz. $\pi/4$, kampu atkarpas. Mažinant šablono parametrus l ir w , kontūras gali būti tikslinamas. Pastebėkime dar, kad atskiroms kontūro dalims reikšmės F gali būti skaičiuojamos nepriklausomai, o tai sudaro viso algoritmo lygiagretinimo galimybes prielaidą.

8. Išvados

Pasiūlyta principinė insulto srities lokalizavimo algoritmo schema panaudoja smegenų neuroanatominių struktūrų atpažinimo metodus. Vienas šių metodų gali būti taikomas srities kontūro patikslinimui ir kontūro nustatymo tinkamumo kriterijui sudaryti. Algoritmo realizavimas ir efektyvumo tyrimas reikalauja empirinės informacijos apdorojimo bei kaupimo.

Kontūrai nustatyti galima naudoti ne tik išdėstytą metodą, bet ir kitus kontūro nustatymo metodus bei jų derinius. Pavyzdžiui, po pirminio insulto srities lokalizavimo, aptikus anatominių struktūrų pažeidimus, galima taikyti histogramų arba diferencialinių filtrų metodus, o po to taikyti išdėstytą algoritmą srities kontūrai patikslinti. Praktinė patirtis galėtų padėti suformuluoti įvairių metodų bei jų kombinacijų taikymo kriterijus. Esant reikalui, galima taikyti daugiau šablono taškų ir didinti funkcijų $c(a, b, \alpha, \beta)$ diskretizavimą, t. y. imti ne tris 2, 1, 0, o daugiau reikšmių. Tokių algoritmo modifikavimo efektyvumą gali patikrinti tik praktinė patirtis.

Literatūra

1. M. Meilūnas, A. Ušinskas, R. Kirvaitis, R.A. Dobrovolskis, Automatic contouring of segmented human brain ischemic stroke region on CT images, *Mathematical Modelling and Analysis*, **8**, 43–50 (2003).
2. A. Ušinskas, Investigation of stroke regions on CT scans by digital methods, *Summary of Doctoral Dissertation*, Vilnius, Technika (2003).
3. N. Duta, M. Sonka, Segmentation and interpretation of mr brain images: an improved active shape model, *IEEE Transactions on Medical Imaging*, **17**, 1049–1062 (1998).

SUMMARY

A. Krylovas, O. Štikonienė, R. Čiegis, M. Meilūnas. The localization of ischemic stroke region in CT-images using a-priori information

An algorithm for ischemic stroke region detection is proposed. It is based on analysis of differences between CT image of ischemic stroke patient and control image. An application of this method for region contour determination is also discussed.

Keywords: pattern recognition, images processing, CT tomography.