

Šokac, M., Budak, I., Santoši, Ž., Spasić, A., Jakovljević, Ž.

ULOGA STATISTIČKIH EVALUATORA I NJIHOVA PRIMENA KOD ANALIZE TAČNOSTI SEGMENTIRANIH MEDICINSKIH SNIMAKA

Rezime: Neosporna je uloga i primena medicinskih snimaka u današnjoj oblasti medicine i stomatologije jer je na osnovu njih moguće izvršiti tačnu dijagnozu kod pacijenata. Međutim, primenom savremenih uređaja za akviziciju ovih snimaka, mogu se pojaviti određene anomalije u vidu artefakata na medicinskim snimcima. Uporedo sa ovim problemom, razvijale su se i metode za obradu medicinskih snimaka. Kako bi se verifikovala njihova primena i dokazala uspešnost njihove primene, tako su se razvijale i mnoge metode i evaluatori za analizu i statističku obradu ovih snimaka. U ovom radu biće prikazane neke od najčešće primenjivanih statističkih metoda i evaluatora koji se koriste kod analize medicinskih snimaka.

Cljučne reči: Statističke metode, obrada slike, segmentacija, MR

1. UVOD

Broj medicinskog osoblja koji koristi 3-dimenzionalne (3D) podatke (slike) tokom faze planiranja dijagnoze i tretmana kontinualno raste [1]. Moderni sistemi za akviziciju proizvode masivnu količinu podataka koji se mogu iskoristiti za dobijanje kritičnih 3D informacija o ciljanim mernim područjima. Statističke analize i eksperimentalni dizajn kvantitativnih eksperimenata slike su važni za razumevanje funkcionisanja ovih komponenata usled različitih značajnih faktora u složenom procesu funkcionisanja ljudskog tela [2].

Akvizicija snimaka kao razvijeno područje pruža različite uvide za dijagnozu za različite istraživače (kao što su lekari, stomatolozi i biolozi) primenom različitih alata. Modaliteti za akviziciju kao što su kompjuterska tomografija (CT), magnetna rezonanca (MR), ultrazvuk i mikroskopija se uveliko koriste u kliničkoj rutini za različite ciljeve i u različite svrhe [3].

Akvizicija medicinskih snimaka obično radi na principu ravnomerno uzorkovanih podataka u prostornom domenu sa x-y-z koordinatama (2D slike i zapreminski setovi snimaka). Na svakoj tački uzorka podaci su uobičajeno predstavljeni u integralnom obliku kao što su 16-bitni zapisi, iako zapisi u 8-bit-nom *char* ili čak i do 32-bitnog zapisa nisu neuobičajeni.

Posebno značenje podataka na tački uzorka zavisi od modaliteta: na primer, akvizicija podataka primenom CT uređaja sakuplja vrednosti sakuplja podatke o stepenu atenuacije x zraka u tkivima objekta snimanja, dok MR može sakupljati T1 ili T2 vrednosti ponderisane slike.

Uzdužne, vremenski promenljive akvizicije, mogu ili ne mogu dobiti slike sa redovnim vremenskim koracima. Modalitet kao što je ultrazvuk je takođe uobičajen i zahteva različite reprezentativne i algoritamske tehnike za obradu. Drugi oblici podataka obuhvataju slike s leve strane usled naginjanja glave prilikom akvizicije; i nestruktuirane mreže, kao što su heksaedrične i tetraedarne forme, koje se koriste u naprednoj biomehaničkoj analizi (npr., deformacija tkiva, vaskularni transport, implanti kostiju) [4]. Takođe, evaluacija difuznih i fokalnih patoloških promena predstavlja preliminarni korak u mnogim medicinskim procedurama.

Međutim, primena svih ovih modaliteta sa sobom povlači i određene probleme. Naime, primenom ovih modaliteta u određenim slučajevima (loš izbor parametara, slaba prodorna moć uređaja za akviziciju, i dr.) dolazi do pojave određenih nepravilnosti u vidu artefakata na generisanim snimcima koji, u manjoj ili većoj meri, utiču na rezultate analize i donošenja tačne dijagnoze. S razvojem i unapređenjem modaliteta snimanja, dolazi i do unapređenja softverske podrške u vidu raznih algoritama koji se koriste za obradu ovih snimaka [5,6]. Danas postoji veliki broj razvijenih algoritama koji se koriste za poboljšanje rezultata akvizicije. Međutim, kako bi se izvršila njihova valorizacija neophodno je njihovo testiranje i poređenje sa rezultatima eksperata kako bi se utvrdio njihov stepen podudaranja, a samim tim i tačnosti. Statističke metode, kao alati za analizu slike dolaze do značaja u ovim situacijama kada je neophodno numerički klasifikovati tačnost novih algoritama.

U ovom radu biće prikazane najčešće korišćene

statističke metode za analizu medicinskih snimaka, kao i njihova primena na jednom slučaju MR snimka.

2. STATISTIČKE METODE

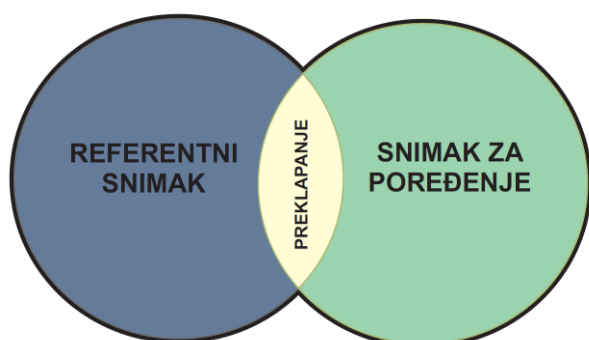
Brojne sofisticirane matematičke metode ulaze na velika vrata kada su u pitanju medicinski snimci, i već su implementirane u različitim softverskim paketima. Ovo uključuje pristupe zasnovane na parcijalnim diferencijalnim jednačinama (PDJ) za poboljšanje, segmentaciju i registraciju medicinskih snimaka.

Statističke metode kombinuju oblast medicinskog snimanja sa savremenim računarskim alatima, mašinskim učenjem i prepoznavanjem uzoraka. Tokom poslednje decenije, nekoliko velikih skupova podataka je javno dostupno (na primer [7]), delom zbog saradnje između različitih instituta i istraživačkih centara. Ovo povećanje količine podataka zahteva nove algoritme koji mogu da se menjaju i otkrivaju suptilne promene u slikama za rešavanje kliničkih problema. U nastavku će biti prikazani neki od najčešće primenjivanih evaluatora u literaturi koji su našli svoju primenu kada je u pitanju statistička analiza slike.

2.1 Binarni statistički evaluatori

Kao što sama reč kaže, u pitanju su evaluatori koji se koriste kod analize binarnih 2D slika, odnosno slika dobijenih kao rezultat segmentacije.

Ove metode se koriste pri komparaciji dva snimka, a to su referentni snimak (ručno segmentiran snimak od strane radiologa) i novogenerisani snimak koji se koristi za komparaciju (dobijen sa nekom od metoda za segmentaciju) - Slika 1.



Sl. 1. Preklapanje segmentiranog i referentnog snimka

Osnovna podela ovih statističkih metoda je na evaluatore:

- za analizu greške površine kod binarnih snimaka (engl. *area error metrics*),

- za analizu tačnosti granica kod binarnih snimaka (engl. *boundary error metrics*)

Osnovna razlika između ove dve podele ogleda se u tome što se kod analize greške površine na binarnim 2D snimcima u obzir uzima celokupna površina segmentiranih objekata na snimku. Kod analize tačnosti granica, u obzir se uzimaju samo odstupanja granica objekata.

Za analizu greške površine kod binarnih snimaka u literaturi se kao najčešće primenjivani statistički evaluatori koriste Žakarov indeks i Dajsov koeficijent [8].

Kod ovih evaluatora opseg preklapanja referentne i analizirane slike kreće se u rasponu od 0 do 1, gde 1 definiše potpuno preklapanje segmentirane slike sa referentnom slikom. Ovo odstupanje se takođe može izraziti u procentima. Ovi evaluatori su definisani na osnovu sledećih formula:

Žakarov indeks:

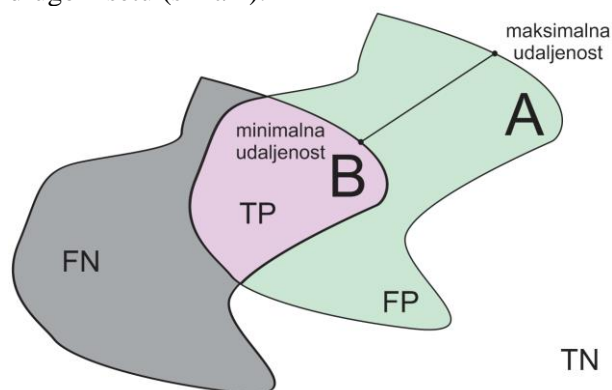
$$JI = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|} \quad (1)$$

Dajsov koeficijent:

$$DK = \frac{2(A \cap B)}{|A| + |B|} \quad (2)$$

gde je A binarna slika referentne slike, i B binarna slika koji se upoređuje sa njom.

Pored ovih evaluatora, takođe se koriste i evaluatori tačnosti granica. Kao najčešće primenjivan evaluator ovog tipa koristi se tzv. modifikovana Hausdorfova udaljenost (u literaturi se još spominje i kao Hausdorfova dimenzija ili distanca) [9]. Hausdorfova udaljenost obezbeđuje sredstva za utvrđivanje sličnosti u jednom setu (snimku) podataka u odnosu na drugi set (snimak), ispitivanjem jednog dela tačaka (odnosno piksela) u jednom setu koji leže u blizini tačaka (piksela) u drugom setu (slika 2).



Sl. 2. Definisavanje Hausdorfove udaljenosti između seta A (segmentiran region) i seta B (referentni region) i prikaz parametara TP, TN, FP i FN

Upotreba Hausdorfove udaljenosti za analizu binarnih slika i njenu primenu u oblasti kompjuterske vizije prvobitno je predložena od strane Huttenločera [10]. Ukoliko imamo dva seta podataka (odnosno dve slike) $A = \{a_1, \dots, a_p\}$ $B = \{b_1, \dots, b_p\}$ Hausdorfova udaljenost je definisana kao [11]:

$$HD(A, B) = \max(h(A, B), h(B, A)) \quad (3)$$

gde je:

$$h(A, B) = \max_{a \in A} \min_{b \in B} \|a - b\| \quad (4)$$

gde operator $\| \cdot \|$ predstavlja udaljenost između tačaka u setovima A i B (najčešće je to Euklidova udaljenost).

Pored ovih statističkih evaluatora, performanse predloženog pristupa se takođe evaluiraju primenom četiri pokazatelja uspešnosti klasifikacije, a to su osetljivost, specifičnost, tačnost i preciznost (slika 2). Osetljivost se definiše kao broj pravilno klasifikovanih piksela koji je podeljen sa brojem piksela na referentnoj slici dok se specifičnost definiše kao odnos broja piksela koji su ispravno klasifikovani kao pozadina i broja piksela definisanih kao pozadina na referentnoj slici. Tačnost klasifikacije se definiše kao odnos zbira pravilno i nepravilno klasifikovanih piksela, s jedne i ukupnog broja piksela na slici s druge strane, dok preciznost predstavlja odnos ispravno klasifikovanih piksela i ukupnog broja piksela klasifikovanih kao segmentirani objekat od interesa. Oni se definišu prema sledećim formulama:

$$Osetljivost = \frac{TP}{TP + FN} \quad (5)$$

$$Specifičnost = \frac{TN}{FP + TN} \quad (6)$$

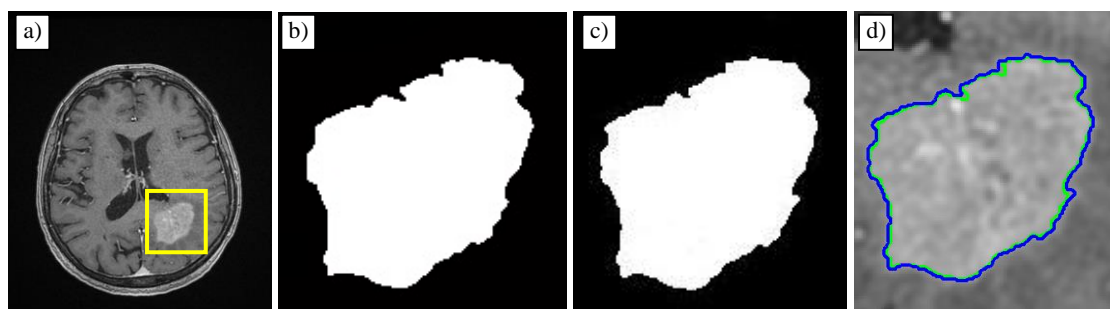
$$Tačnost = \frac{TP + TN}{TP + FN + TN + FP} \quad (7)$$

$$Preciznost = \frac{TP}{TP + FP} \quad (8)$$

gde TP (*true positive*) predstavlja broj piksela koji su ispravno klasifikovani kao segmentirani objekat i TN (*true negative*) predstavlja broj piksela koji predstavljaju pozadinu snimka. FN (*false negative*) označava broj piksela koji pripadaju segmentiranom regionu, ali su pogrešno klasifikovani kao pikseli koji pripadaju pozadini snimka, i FP (*false positive*) je broj piksela koji su pogrešno klasifikovani kao pikseli koji pripadaju segmentiranom regionu.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Kako bi se prikazala efektivnost upotrebe ovih statističkih evaluatora, oni su primenjeni na jednom snimku MR na kojem se nalazi tumor. Kako bi se dobili referentni snimci,iskusni radiolog je izvršio ručnu segmentaciju MR snimka. Kao metoda za komparaciju korišćena je metoda fazi isodata (još se zove i metoda fazi C klasterizacija). Kako bi se izvršila adekvatna analiza, izvršena je lokalizacija tumora na snimku. Snimak koji je korišćen za analizu prikazan je na slici 3 zajedno sa svojim referentnim i segmentiranim 2D snimkom. U tabeli 1. su prikazani rezultati statističkih evaluatora poređenjem MR snimka generisanog primenom fazi isodata metode sa referentnim snimkom.



Sl. 3. Prikaz a) Originalni MR snimak, b) ručno segmentiran tumor od strane radiologa, c) segmentiran tumor primenom fazi isodata metode i d) preklapanje granica ručno segmentiranog snimka (zelena boja) i snimka generisanog primenom fazi isodata metode (plava boja)

Tabela.1. Rezultati statističkih evaluatora

Snimak	Žakarov indeks [%]	Dajsov koeficijent [%]	Hausdorfova udaljenost [mm]	Osetljivost [%]	Specifičnost [%]	Tačnost [%]	Preciznost [%]
MR	95,98	97,95	0,1184	99,97	99,94	99,94	95,97

Sa slike 3d može se uočiti visok stepen preklapanja ručno segmentiranog snimka i snimka segmentiranog upotrebom fazi isodata metode, što ukazuje na to da fazi isodata daje dobre rezultate u segmentaciji tumora. Vrednosti statističkih evaluatora iz tabele 1 su u potpunoj saglasnosti sa ovom konstatacijom – Žakarov indeks i Dajsov koeficijent su bliski vrednosti 1, a Hausdorfova udaljenost je ispod 0,15 mm (piksel je dimenzije xx x xx mm). Četiri pokazatelja uspešnosti klasifikacije, a to su osetljivost, specifičnost, tačnost i preciznost su takođe pokazali visoke vrednosti preklapanja kada je u pitanju evaluacija metode za segmentaciju sa 99,97%, 99,94%, 99,94% i 95,97%, respektivno.

4. ZAKLJUČAK

Mnogi statistički alati i metode su našli svoju primenu u različitim oblastima. Svaki od ovih alata je drugačije definisan sa nekim sopstvenim osobinama. Neki koriste prostu brojčanu razliku, dok neki koriste komplikovanu korelaciju. U ovom istraživanju su prikazani neki od najčešće korišćenih statističkih alata za evaluaciju segmentacije medicinskih snimaka. Svi predstavljeni statistički pokazatelji su primenjeni na jednom MR snimku. Ovaj rad je imao za svrhu da predstavi primenu ovih evaluatora gde na osnovu njihovih osobina istraživači mogu izabrati odgovarajuće statističke metode za analizu snimaka, i to u različitim domenima.

5. ZAHVALNICA

U ovom radu su prikazani rezultati postignuti u okviru Projekta br. 114-451-2723/2016-03 finansiranog od strane Pokrajinskog sekretarijata za visoko obrazovanje, i u okviru projekta TR-35020, koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

6. REFERENCE

- [1] Grauer D., Cevidanes L., Proffit W.: *Working with DICOM craniofacial images*, American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, Vol. 136, pp. 460–470, 2009.
- [2] Nailon W.: *Texture Analysis Methods for Medical Image Characterisation*, Biomedical Imaging, pp. 75–100, 2012.
- [3] Ahmadvand A., Reza Daliri M.: *A Review on Texture Analysis Methods in Biomedical Image Processing*, OMICS Journal of Radiology, Vol. 5, pp. 2–3, 2016.
- [4] Budak I., Mirkovic S., Sokac M., Santosi Z., Puskar T., Vukelic Dj.: *An approach to*

modelling of personalized bone grafts based on advanced technologies, International Journal of Simulation Modelling, Vol. 15, pp. 637–348, 2016.

- [5] Bhadauria H, Singh A., Dewal M.: *An integrated method for hemorrhage segmentation from brain CT Imaging*, Computers and Electrical Engineering, Vol. 39, pp. 1527–1536, 2013.
- [6] Eklund A., Dufort P., Forsberg D., LaConte S.: *Medical image processing on the GPU - Past, present and future*, Medical Image Analysis, Vol. 17, pp. 1073–1094, 2013.
- [7] Petersen R., Aisen P., Beckett L., Donohue M., Gamst A., Harvey D.J., et al.: *Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative (ADNI): Clinical characterization*, Neurology, Vol. 74, pp. 201–209, 2009.
- [8] Seung-Seok C, Sung-Hyuk C., Tappert C.: *A Survey of Binary Similarity and Distance Measures*, Journal of Systemics, Cybernetics & Informatics, Vol. 8, pp. 43–48, 2010.
- [9] Dubuisson M., Jain A., Lansing E.: *A Modified Hausdor Distance for Object Matching*, Pattern Recognition, Vol. 27 pp. 566–568, 1994.
- [10] Huttenlocher D. Klanderman G., Rucklidge W.: *Comparing images using the Hausdorff distance*, IEEE transactions on pattern analysis and machine learning, Vol. 15 pp. 850–863, 1993.
- [11] Takács B.: *Comparing Face Images Using the Modified Hausdorff Distance*, Pattern Recognition, Vol. 31, pp. 1873–1881, 1998.

Autori: Mast.inž. Mario Šokac, Vanr. prof. dr Igor Budak, mast.inž. Željko Santoši, Univerzitet Novi Sad, Fakultet Tehničkih Nauka, Trg Dositeja Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia, Tel: +381 21 485 2332.

E-mail:

marios@uns.ac.rs

budaki@uns.ac.rs

zeljkos@uns.ac.rs

dr.med. Aleksandar Spasić, Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet, Hajduk Veljkova 3, Novi Sad, Tel.: 021 420 677.

E-mail: a_spasic@yahoo.com

Vanr. prof. dr Živana Jakovljević, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Kraljice Marije 16 11120 Beograd, Tel.: 011 3302 264

E-mail: zjakovljevic@mas.bg.ac.rs