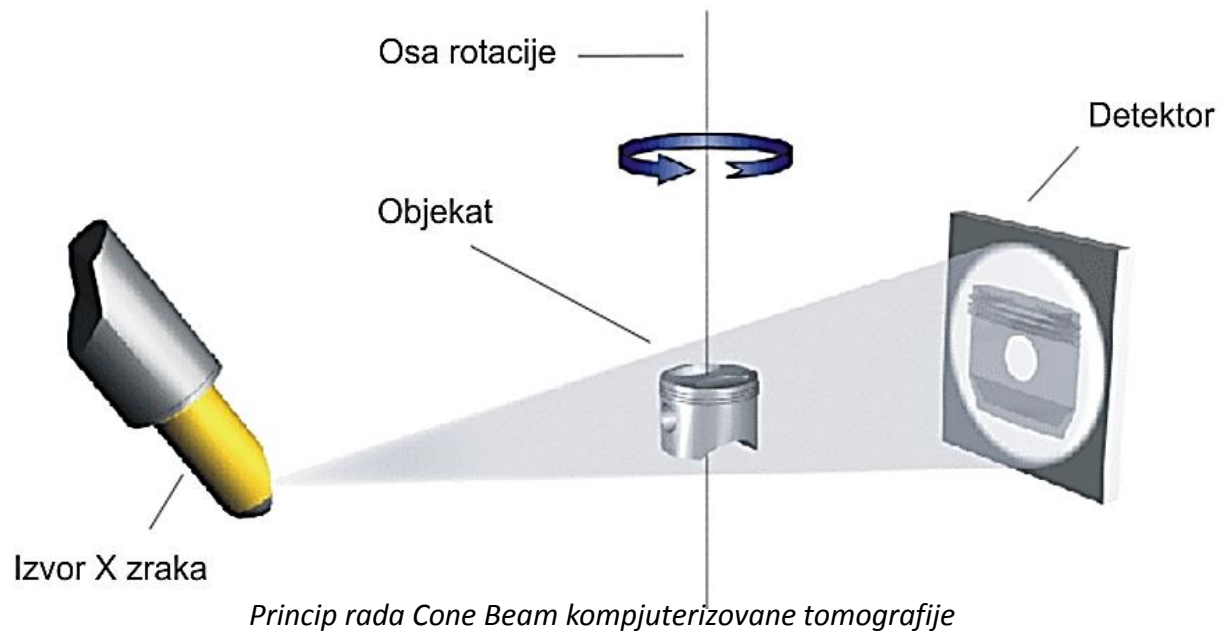


SEGMENTACIJA SLIKE I PRISUTNOST ARTEFAKATA KOD SISTEMA KOMPJUTERIZOVANE TOMOGRFIJE (CT)



PREDAVANJE

Doc. Dr Mario Šokac

Princip rada CT sistema



Prednosti i mane CT sistema

	
• Ne-destruktivna metoda;	• Kompleksni i brojni parametri uticaja;
• Definisane unutrašnje i spoljašnje geometrije;	• Nema međunarodnih standarda (međutim, postoje smernice u okviru VDI/VDE standarda);
• Informacije o materijalu koji se skenira;	• Smanjena mogućnost merenja zbog nastanka grešaka merenja (artefakti);
• Mogućnost skeniranja objekata različitih veličina, gustina i debljina materijala;	• Merna nesigurnost je često nepoznata;
	• Problem kod skeniranja više-materijalnih komponenti (MMC);

Podela CT sistema

Postoje različiti tipovi CT sistema koji se danas primenjuju, a klasifikuju se u sledeće kategorije [17]:

Medicinski CT – kod ovih sistema rendgen jedinica (koja nosi izvor i detektor X-zraka) kontinualno rotiraju oko objekta ili pacijenta (koji ostaje nepokretan) kako bi se generisali tomografski snimci koji predstavljaju 2D snimke/slajsove/kriške skeniranog tela. U više od četiri decenije medicinskih aplikacija, razvijeno je nekoliko generacija medicinskih CT skenera koji obezbeđuju kontinualno povećanje njihovih karakteristika i performansi.

Industrijski CT za analizu materijala – ovi sistemi se fundamentalno razlikuju od medicinskih CT sistema. Kod ovih sistema objekat rotira u pravcu X-zraka, a izvor X-zraka i detektor ostaju stacionarni. Pored toga, pošto ovde doza zračenja nije kritična po objekat, primenjuje se veći nivo zračenja nego kod medicinskih CT skenera.

CT za primenu u dimenzionalnoj metrologiji – kod ovih sistema se dimenzionalna merenja izvode na digitalizovanom 3D modelu, akvizicija podataka (2D CT snimci) i njihova naknadna evaluacija može da se izvrši bilo gde i bilo kada. Kod dimenzionalne metrologije posebna pažnja se posvećuje tačnosti i ponovljivosti rezultata merenja.

Segmentacija – uvodni pojmovi

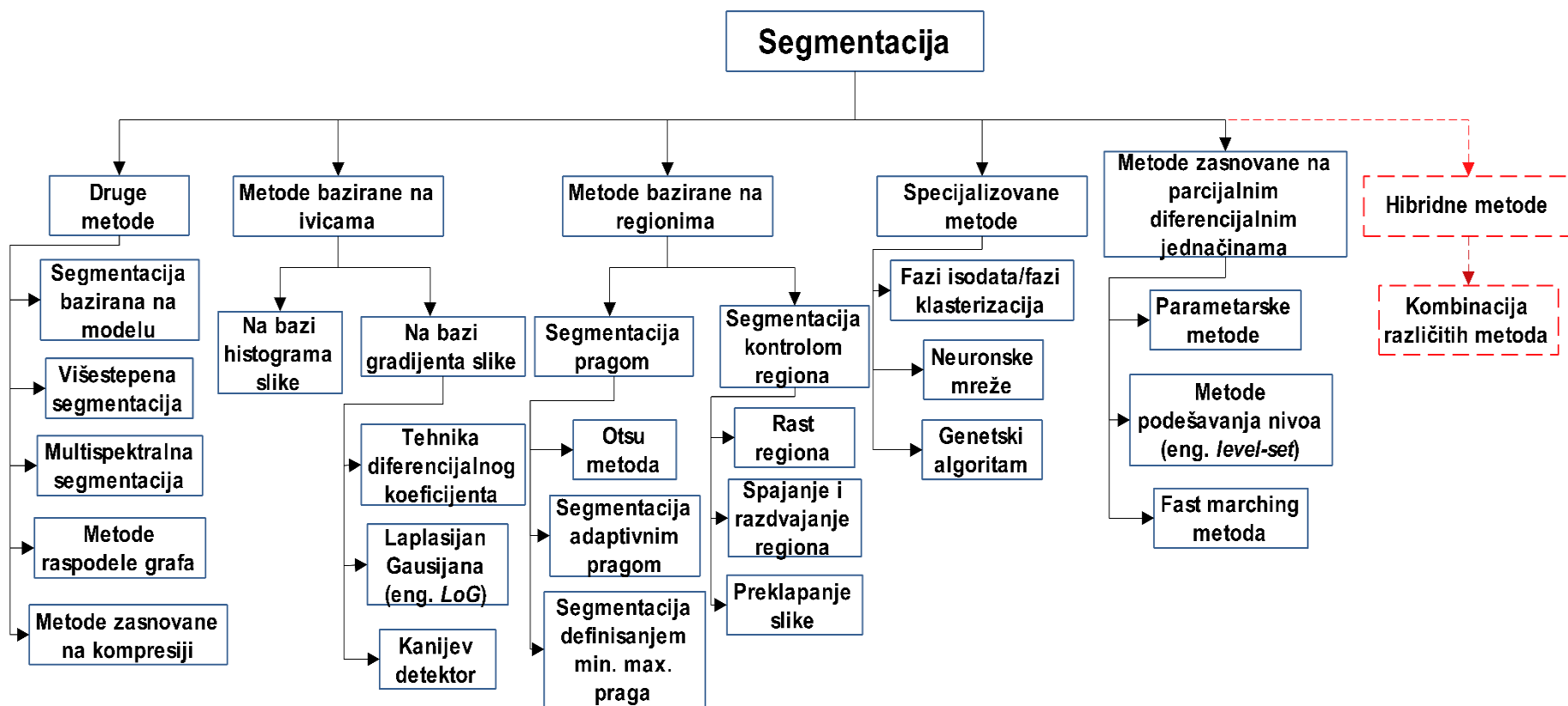
- Segmentacija - se često definiše kao proces koji deli sliku na njene sastavne delove i ekstrahuje delove (objekte) od interesa.
- To je jedan od najkritičnijih zadataka u automatskoj analizi slike, jer će rezultati segmentacije uticati na sve naredne procese analize slike, kao što su:
 - vizuelizacija i opis objekta,
 - merenje određenih karakteristika,
 - klasifikacije objekta,
 - itd.

Segmentacija – uvodni pojmovi

- **Kritičan parametar** kod segmentacije predstavlja pažljivo definisanje granične vrednosti intenziteta piksela prisutnih na CT snimcima (engl. *threshold*).



Segmentacija – podela



Metode bazirane na ivicama

Metode bazirane na ivicama (engl. *Edge Based*) se zasnivaju na ekstrakciji ivica objekta prisutnog na slici. **Ivica predstavlja** skup povezanih piksela koji leže na granici između različitih regiona, gde postoje intenzivni diskontinuiteti, kao što su promena intenziteta piksela, različite nijanse boje, različita tekstura itd.

Detekcija ivice može predstavljati veliki izazov kod obrade slike, pogotovo danas kada se nameću sve kompleksniji slučajevi segmentacije slike.

Postoji mnogo izazova kod primene metode detekcije ivica, a neki od njih su:

- promena osvetljenja na slici;
- dinamična pozadina slike;
- šum ima veliki uticaj na oblikovanje ivice;
- lažna detekcija ivice (detektovanje ivice gde ona ne postoji);
- dislocirana ivica (otkrivena ivica koja se pomera sa svoje tačne lokacije).

Metode bazirane na regionima

Metode bazirane na regionima (engl. *Region Based*) zasnivaju se na kontinuitetu određenog parametra slike.

Ove metode dele celu sliku u pod-regione na osnovu definisanih pravila. Npr. jedno od takvih pravila je da svi pikseli u jednom regionu moraju imati isti intenzitet.

Metode bazirane na regionima se oslanjaju na vrednosti intenziteta piksela unutar klastera. Klaster se naziva region, a cilj algoritma segmentacije jeste grupisanje regiona prema njihovim funkcionalnim ulogama.

U poređenju sa metodama detekcije ivice, algoritmi segmentacije bazirani na regionima su relativno jednostavniji i manje osetljivi na šum.

Metode bazirane na detekciji ivica segmentiraju sliku zasnovanu na velikim promenama intenziteta piksela u blizini ivica, dok metode bazirane na regionima vrše particiju slike u regione.

Specijalizovane metode

U ovu grupu spadaju metode za segmentaciju veće složenosti u odnosu na prethodne dve.

Ova grupa metoda se može kategorizirati na sledeći način:

- Segmentacija zasnovana na genetskom algoritmu;
- Segmentacija zasnovana na neuronskoj mreži;
- Segmentacija slike zasnovana na klasterizaciji;
- Segmentacija bazirana na Vejvletu (engl. Wavelet segmentation).

Metode zasnovane na parcijalnim diferencijalnim jednačinama

Koristeći metodu parcijalne diferencijalne jednačine (PDJ) i rešavanje PDJ jednačine numeričkim metodama, može se segmentirati slika.

Propagacija krivine je popularna tehnika u ovoj kategoriji, sa brojnim aplikacijama za uklanjanje predmeta, praćenje objekata, stereo rekonstrukciju i sl.

Glavna ideja je da se razvije početna kriva prema najnižem potencijalu funkcije cilja, gde se njegova definicija odražava na zadatak koji treba rešiti.

Minimizacija funkcionalnosti troškova nije trivijalan zadatak, i nameće određena ograničenja na rešenje, što se u ovom slučaju može izraziti kao geometrijska ograničenja na evoluirajućoj krivoj.

Hibridne metode

Sa povećanjem kompleksnosti segmentacije slike, nameće se potreba za razvojem novih algoritama i metoda.

Kombinovanjem prehodno pomenutih metoda moguće je razviti hibridne metode i postići bolje rezultate segmentacije.

Po pravilu, hibridne metode su robusnije, tj. manje osetljive na promene parametara i kod njih se sa istim parametrima moгу dobiti dobri rezultati segmentacije za relativno širok spektar različitih slika.

Ostale metode

Postoji još mnogo drugih metoda segmentacije kao što su:

- višestepena segmentacija,
- metoda raspodele grafa,
- multispektralna segmentacija,
- metode zasnovane na kompresiji,
- itd.

Najčešće primenjivane metode za segmentaciju CT snimaka

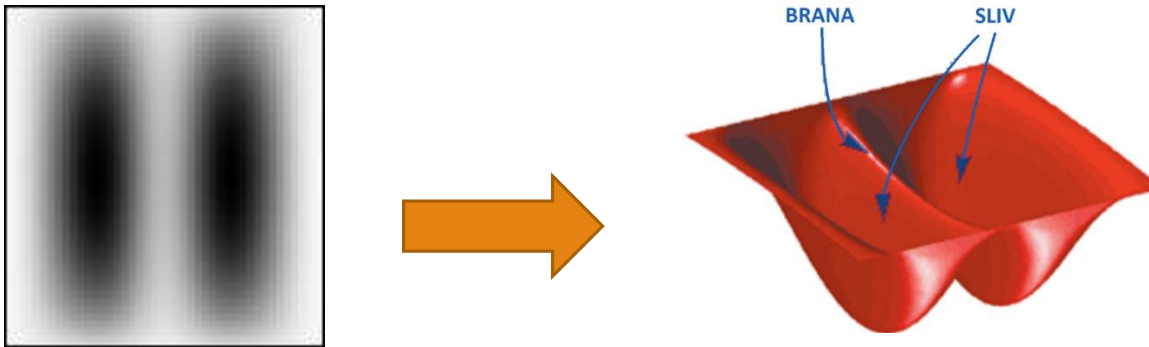
Neke od najčešće primenjivanih metoda su:

- Metoda sliva (engl. Watershed);
- Fazi isodata/fazi klasterizacija metodom C-srednjih vrednosti (engl. skraćeno FCM);
- Rast regiona (engl. Region Growing);
- Segmentacija adaptivnim pragom (engl. Adaptive thresholding);
- Otsu metoda;
- Neuronske mreže (engl. Neural Network);
- Genetski algoritam (engl. Genetic algorithm).

Metoda sliva

Metoda sliva je metoda za identifikaciju granica u kojoj su slike intenziteta sivog nivoa modelirane kao topografski reljefi, gde je intenzitet piksela analogan elevaciji u toj tački.

Koncept ove metode se može razumeti tako što se pretpostavlja da se rupa definiše počevši od svakog lokalnog minimuma u reljefu. Pošto je reljef „uronjen“, voda kreće iz rupa u lokalnim minimumima. U svakoj tački gde voda prelazi iz jednog sliva u drugi, formira se tzv. „brana“. Kada je celokupni reljef uronjen u vodu, brana je formirana između svakog sliva prisutnog na slici.



Kod primene ove metode postoji tendencija preterane segmentacije slike.

Fazi isodata/fazi klasterizacija metodom C-srednjih vrednosti

Ova metoda se koristi za klasterizaciju, odnosno grupisanje podataka (piksela), gde svaki piksel može da pripada dva ili više klastera sa određenim stepenom pripadnosti.

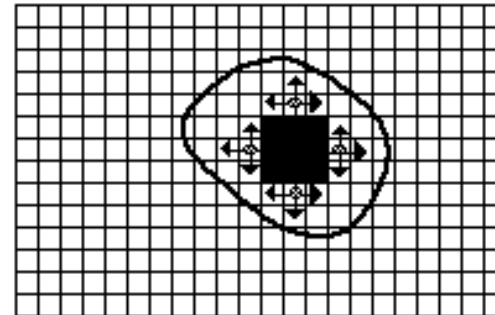
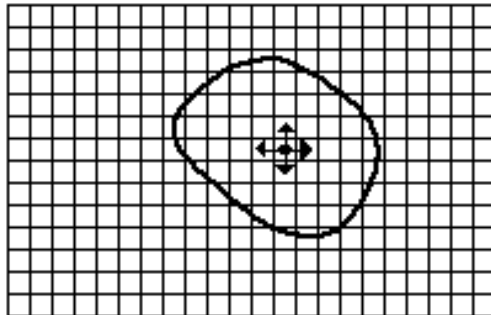
FCM algoritam generiše fazi (odnosno, rasplinite) particije za svaki skup numeričkih podataka (piksela), i na taj način dozvoljava da jedan piksel istovremeno pripada dva ili više klastera.

Kod postupka klasterizacije slike, najčešći parametar koji se uzima u obzir jeste intenzitet piksela prikazan u nijansama sive boje.

Rast regiona

Predstavlja jednostavan algoritam za segmentaciju, gde svaki region počinje kao jedno seme (piksel). U svakoj iteraciji, okolni pikseli su uzeti u obzir kako bi se utvrdilo da li region treba proširiti i da li ih treba uključiti u dati region ili ne, a to kontroliše parametar tolerancije.

Ovaj pristup se vodi činjenicom da susedni pikseli, koji se nalaze u blizini regiona imaju slične karakteristike u vidu vrednosti intenziteta piksela, boje, ili nekih drugih parametara.



Izbor početnog semena za segmentaciju ima veliki uticaj na konačni rezultat segmentacije, odnosno generisanje 2D binarne slike.

Segmentacija adaptivnim pragom

Metode segmentacije adaptivnim pragom predstavljaju metode koje ne koriste isti prag intenziteta piksela prilikom segmentacije cele slike.

Za svaki piksel na slici mora se izračunati prag intenziteta. Ako je vrednost piksela ispod praga, ona se smatra kao pozadina, u suprotnom, ako ima vrednost piksela iznad praga, uzima se u obzir.

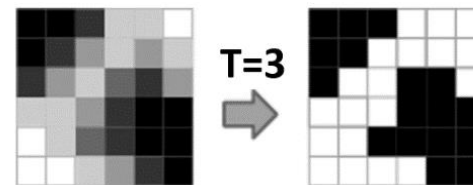
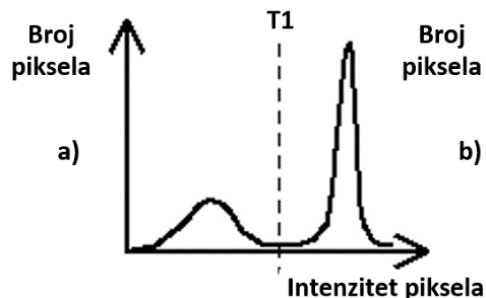
Nedostatak ove metode jeste to što je izračunavanje vremenski zahtevno i, stoga, **nije prikladno za aplikacije u realnom vremenu.**

Otsu metoda

Primenom Otsu metode koristi se algoritam koji pretpostavlja da slika sadrži dve klase piksela (objekat i pozadinski pikseli), zatim se izračunava optimalni prag koji odvaja dve klase tako da je njihov kombinovani raspon minimalan ili ekvivalentan.

Ulaz za operaciju praga tipično je slika u nijansama sive (ili RGB slika u boji). Crni pikseli odgovaraju pozadini, a beli pikseli odgovaraju objektu od interesa (ili obratno).

U jednostavnim implementacijama **segmentacija se određuje samo jednim parametrom poznatim kao prag intenziteta piksela.**



Veštačke neuronske mreže

Danas se ova metoda često koristi za segmentaciju medicinskih slika.

Koristi se za odvajanje objekta od interesa od pozadine. Neuronska mreža se sastoji od velikog broja povezanih čvorova i svaka veza ima određenu težinu. U tom slučaju problem se pretvara u više manjih problema koji se rešavaju primenom neuronske mreže.

Ova metoda ima dva osnovna koraka: ekstrakciju funkcija i segmentaciju pomoću neuronske mreže.

Veštačke neuronske mreže su korišćene u segmentaciji medicinskih slika, obično za potrebe obimnih identifikacija, ali i kod identifikacije 2D granica.

Mreža mora prvo da bude obučena pomoću odgovarajućih podataka o slici, nakon čega se može koristiti za segmentiranje drugih slika.

Genetski algoritam

Metoda genetskog algoritma (GA) je metoda optimizacije koja koristi Darwinov kriterijum evolucije populacije jedinki za rešavanje problema optimizacije zasnovanih na prirodnoj selekciji.

GA se zasniva na principu "preživljavanje najспособnijih".

Svaki pojedinac predstavlja jedno rešenje za proces.

Nakon završenog definisanog broja iteracija (generacija) algoritam se zaustavlja.

Pojedinac, odnosno jedinka sa najnižom vrednošću funkcije troškova proglašen je za rešenje zadatka GA.

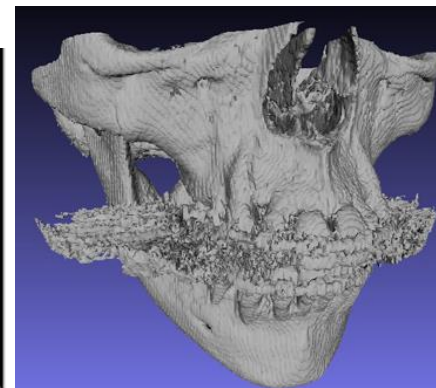
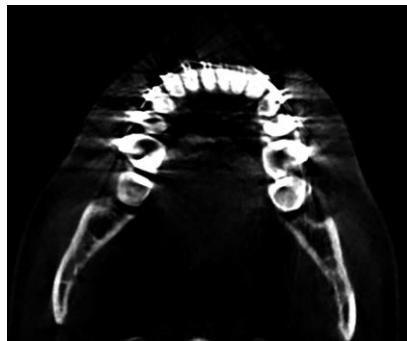
ARTEFAKTI

-osnovni pojmovi i definicije-

Jedan od većih problema sa kojim se medicina danas suočava prilikom primene CT sistema jeste prisutnost artefakata na rezultatima CT snimaka.

Artefakti predstavljaju veštačke strukture koje se nalaze u rezultatima skeniranja, a koji ne odgovaraju realnom stanju.

Artefakti se mogu opisati kao neslaganja između stvarne vrednosti nekog fizičkog svojstva objekta i mapiranja tog fizičkog svojstva generisanog primenom CT sistema.



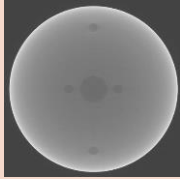
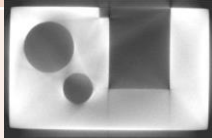
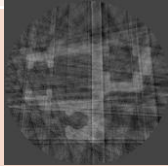
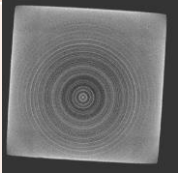
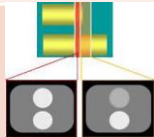
Artefakti – poreklo

Artefakti predstavljaju rezultat različitog porekla, a mogu se klasifikovati na sledeći način:

- Artefakti koji proizlaze iz samog procesa merenja ili karakteristike opreme (artefakti nastali usled širine snopa X-zraka, rasipanja zračenja, nestabilnosti i detekcije osobina)
- artefakte inherentne u odnosu na metodu akvizicije (npr. očvršćavanje zraka)
- Artefakti nastale usled akvizicije CT snimaka (npr. rasipanje radijacije zračenja, artefakte u vidu prstenova)
- artefakte rekonstrukcije (npr. artefakte konusnog snopa). Dok se neki artefakti mogu eliminisati primenom odgovarajuće merne opreme sa odgovarajućim parametrima, kao i primenom različitih razvijenih metoda, drugi tipovi artefakata se mogu samo redukovati. Artefakti mogu biti veoma detrimentalni (štetni) za specifične zadatke dimenzionalnih merenja ili analiza.

Artefakti – podela

- Artefakti uzrokuju različite vrednosti intenziteta sive duž ivica objekta koji se snima, a koji mogu dovesti do nepravilne detekcije ivica.
- CT sistemi koji se zasnivaju na geometriji CBCT (Cone Beam Computed Tomography) i matičnim detektorima, su skloni nastanku artefakata .

TIP ARTEFAKTA	GRAFIČKI PRIKAZ	OPIS
Očvršćavanje X-zraka (Beam hardening)		- Radni predmeti većeg poprečnog preseka smanjuju prodor zračenja u odnosu na tanje predmete, što dovodi do lažnog smanjenja vrednosti nijanse sive boje kod rekonstruisanih podataka prema unutrašnjim regionima predmeta.
Rasutost radijacije (Scattered radiation)		- Nijanse sive boje su unutar materijala, kao i na njegovim ivicama povećane. Ivce su zamučene i loš je kontrast.
Artefakti u vidu pruga (Streaking artefacts)		- Kod predmeta velike gustine nije došlo do potpune penetracije X-zraka. Prenizak dinamički opseg detektora i nedovoljan broj projekcija tokom skeniranja.
Artefakti u vidu prstenova (Ring artefacts)		- Nastaju kod kontinualnog okretanja tokom snimanja. Nehomogenost susjednih piksela kod detektora. Rotacija uzorka koji se skenira stvara kružne artefakte.
Efekat delimičnog prikaza zapremine predmeta (Partial volume effect)		- Preniska rezolucija menja vrednosti nijanse sive boje.

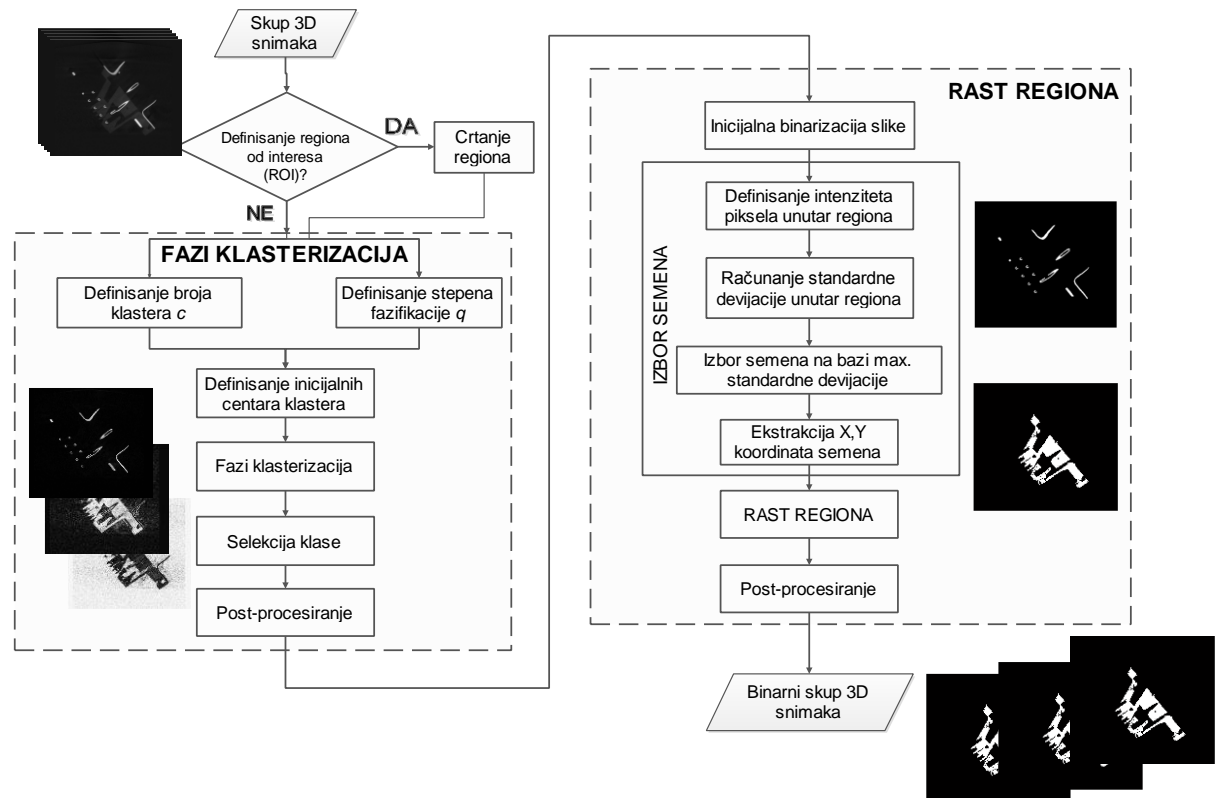
Pravci unapređenja CT sistema

Unapređenje CT sistema se odvija u nekoliko ključnih pravaca:

- Povećanje tačnosti;
- Razvoj efikasnijih detektora X-zraka
- Razvoj cevi X-zraka sa većom energijom (veća jačina struje) i sa manjim fokalnim tačkama koja će doprineti merenju većih objekata i/ili tačnijim rezultatima.
- Razvoj poboljšanih algoritama za rekonstrukciju snimaka;
- Podešavanje sistema za merenje specifičnih grupa materijala i predmeta;
- Asistencija operateru kod podešavanja sistema;
- Itd.

Primena metoda za redukciju/uklanjanje artefakata - primer

- Postoji mnogo metoda za redukciju/uklanjanje artefakata iz medicinskih CT snimaka.
- Manje-više uspešne.



Primena metoda za redukciju/uklanjanje artefakata

FAZI KLASERIZACIJA

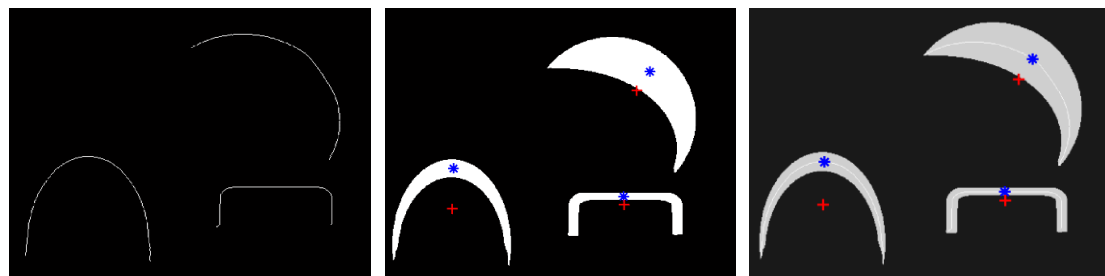
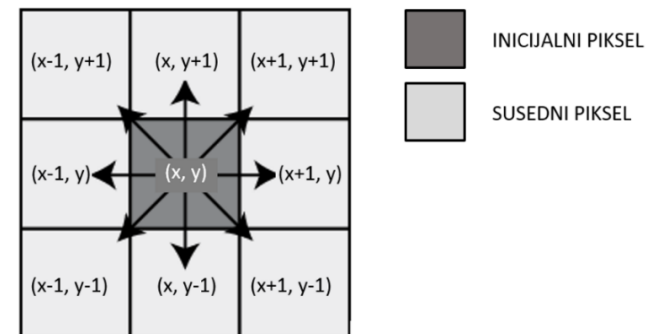
- Broj klastera (c);
- Težinski eksponent (q) ($q \geq 1,1$);
- Veća efikasnost i smanjenje vremena potrebnog za segmentaciju (koristi se histogram intenziteta slike);
- Primena na velikim skupovima CT snimaka.

Primena metoda za redukciju/uklanjanje artefakata

RAST REGIONA

- Segmentacija slike;
- Inovativni pristup u izboru semena;
- Standardna devijacija je definisana kao:

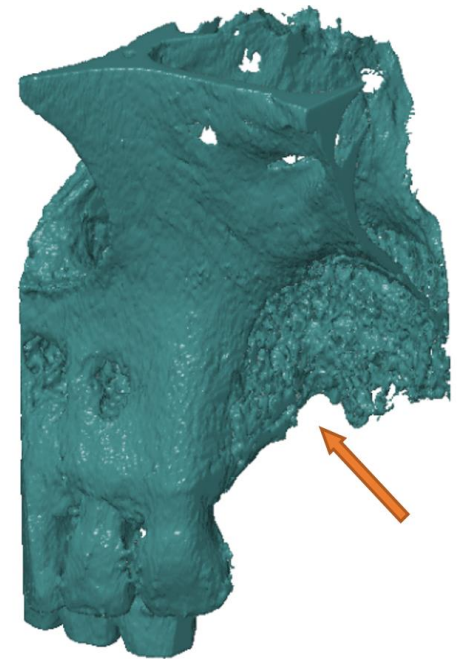
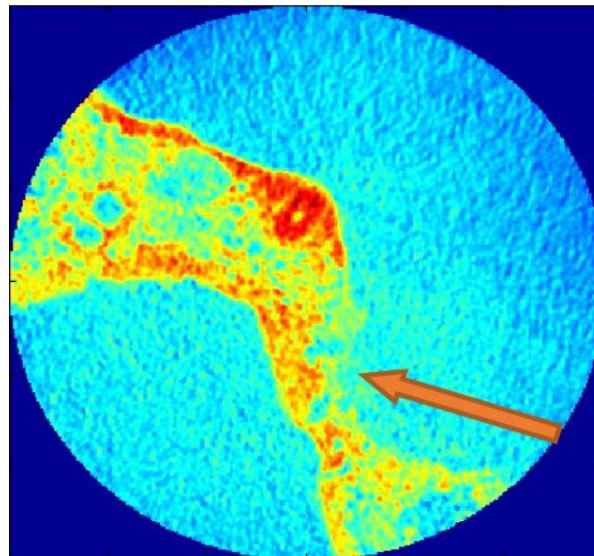
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (A_i - \mu)^2}$$



* - inovativni pristup

Hibridna metoda za redukciju/uklanjanje artefakata

Obrada i segmentaciju medicinskih CBCT snimaka gornje vilice, na kojima poroznost kosti implicira problem adekvatne segmentacije i ekstrakcije informacija koje treba da služe kao osnova za dizajniranje personalizovanih implanata.



a) 2D CT snimak br. 13, b) prikaz u pseudo koloru i c) 3D model

CBCT sistem

CBCT snimci su prikupljeni na CBCT uređaju SOREDEX SCANORA 3D, a parametri skeniranja su prikazani ispod.



	Energija X-zraka (kV):	Jačina struje (mA):	Veličina vokseli X,Y,Z osa (mm)	Rezolucija slike X x Y (piksel)	Broj slika
CBCT	89	8	0,133	300 x 300	451

Analiza CBCT snimaka i generisanje referentnih snimaka

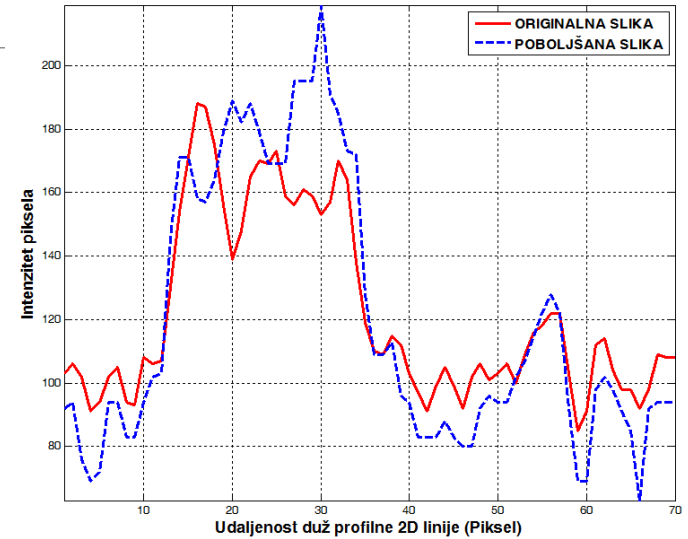
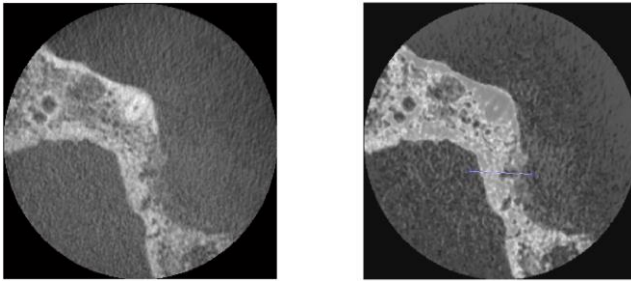
Za potrebe analize i verifikacije hibridnog modela korišćeni su samo CBCT snimci zahvaćeni šumom na skupu CBCT snimaka.

Radiolog je izvršio manuelnu segmentaciju selektovane grupe CBCT snimaka, a rezultati ove segmentacije pružili su binarne segmentirane 2D snimke koje će se koristiti kao referentne slike za evaluaciju i proveru hibridnog modela.

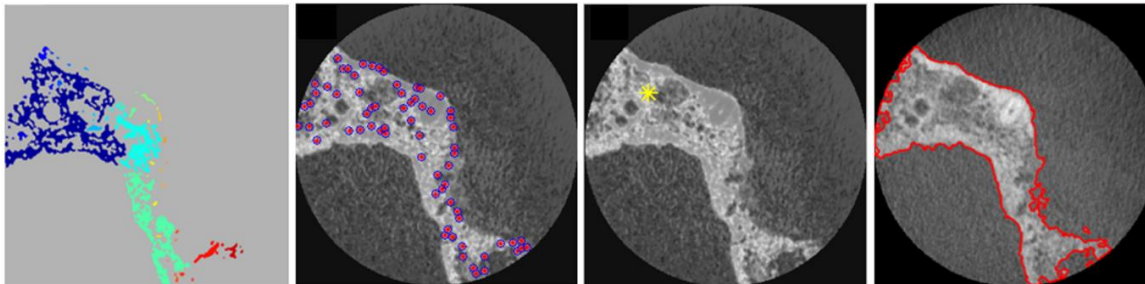
Komparacija hibridnog modela sa tri druge metode.

Primena hibridnog modela

- Fazi klasterizacija;



- Rast regiona;



Primena hibridnog modela

- Analiziran postotak uspešnosti pravilno klasifikovanih i definisanih X,Y koordinata;

Analiza učinka za selekciju inicijalnog semena kod RG metode

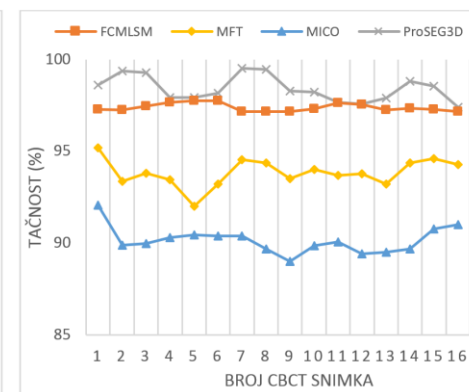
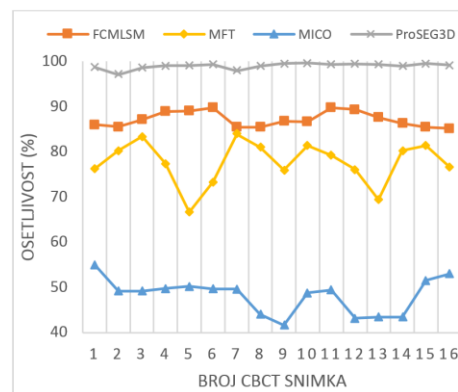
	Ukupan broj snimaka	Broj snimaka uzet za analizu	ISD*	Tačnost (%)
CBCT	451	16	16	100

*ISD - broj snimaka na kojima je inicijalno seme pravilno definisano

- Analiza metrica osetljivosti i tačnosti.

Srednja vrednost merenja performansi klasifikacije koristeći FCMLSM, MFT, MICO i razvijeni ProSEG3D programski sistem

	FCMLSM(%)		MFT (%)		MICO (%)		ProSEG3D (%)	
	Osetljivost	Tačnost	Osetljivost	Tačnost	Osetljivost	Tačnost	Osetljivost	Tačnost
CBCT	87,14	97,39	93,84	77,66	48,20	90,15	98,98	98,42



Primena hibridnog modela

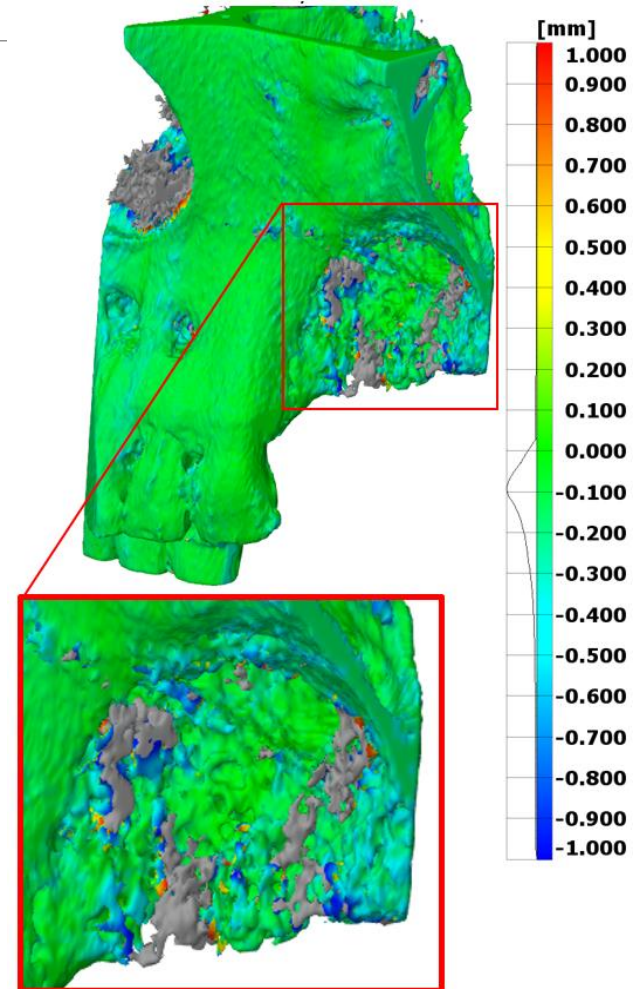
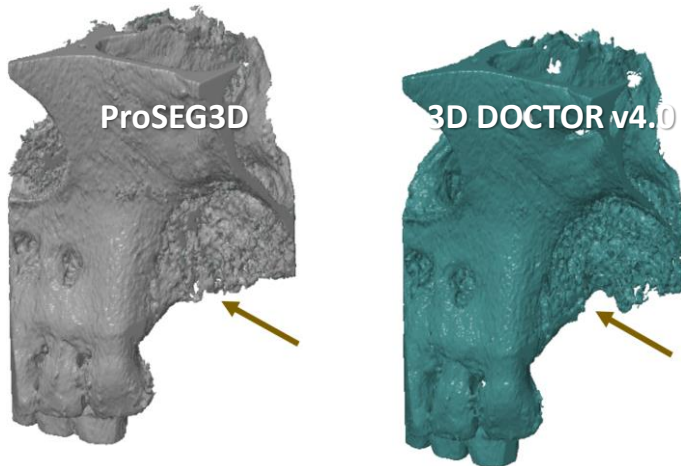
- **Pokazatelji tačnosti - Dajsov koeficijent i Žakarov indeks;**
Accuracy indicators - Dice's coefficient and Jacar's index;
- **ProSEG3D programski sistem ostvaruje bolje rezultate;**
ProSEG3D software achieves better results;
- **Predložena hibridna metoda značajno poboljšava detekciju koštanog tkiva.**
The proposed hybrid method significantly improves bone tissue detection.

Srednja vrednost merenja performansi segmentacije (Dajsov koeficijent i Žakarov indeks) primenom metoda FCMLSM, MFT, MICO i ProSEG3D programskog sistema

	FCMLSM		MFT		MICO		ProSEG3D	
	Dajsov koeficijent	Žakarov indeks	Dajsov koeficijent	Žakarov indeks	Dajsov koeficijent	Žakarov indeks	Dajsov koeficijent	Žakarov indeks
CBCT	0,9189	0,8501	0,8443	0,7313	0,6237	0,4542	0,9553	0,9152

Primena hibridnog modela

- Površinski 3D model (softver 3D DOCTOR v4.0)
(zelena boja)
- Površinski 3D model (ProSEG3D)
(siva boja)



Pregled predavanja

- Segmentacija – osnovni pojmovi;
- Podela metoda segmentacije;
- Najčešće primenivane metode za segmentaciju slike;
- Artefakti - osnovni pojmovi;
- Vrste artefakata;
- Metoda za redukciju/uklanjanje artefakata sa medicinskih CBCT snimaka.

HVALA NA PAŽNJI!

