



Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet

Katedra za signale i sisteme



PROJEKAT

Lokalizacija *scleral spur*-a na *OCT* slikama prednjeg očnog segmenta

Predmet: Analiza biomedicinske slike

Studenti:

Uroš Petković, br. indeksa 2016/0186

Katarina Arandžević, br. indeksa 2016/0180

Mentor

dr Milica Janković, docent

Beograd, *jun* 2020. godine

PREDGOVOR

Ovaj rad predstavlja projektni zadatak u okviru predmeta četvrte godine osnovnih akademskih studija osmog semestra sa nazivom Analiza biomedicinske slike, pod šifrom 13E054ABS. Predmet vodi prof. dr Milica Janković, a projekat nosi naziv Lokalizacija *scleral spur*-a na OCT slikama prednjeg očnog segmenta u čijoj izradi su učestvovali studenti Uroš Petković i Katarina Arandžević. Ovaj projekat predstavlja jedan deo u celokupnom istraživanju pojave glaukoma zatvorenog i otvorenog ugla, odnosno sama lokalizacija karakterističnih tačaka je od velike važnosti za nastavak istraživanja.

Izrada projekta omogućena je uz pomoć *Angle closure Glaucoma Evaluation Challenge* na *Grand Challenge* sajtu, jednom od najvećih baza dostupnih setova podataka za izradu projekata, u saradnji sa *MICCAI Workshop on Ophthalmic Medical Image Analysis (OMIA)*, jednim od najvažnijih događaja *MICCAI* konferencije 2019. godine održane u Šenzenu, Kini. Praktični deo projekta i implementacija samog rešenja rađena je samostalno od strane angažovanih studenata.

REZIME RADA

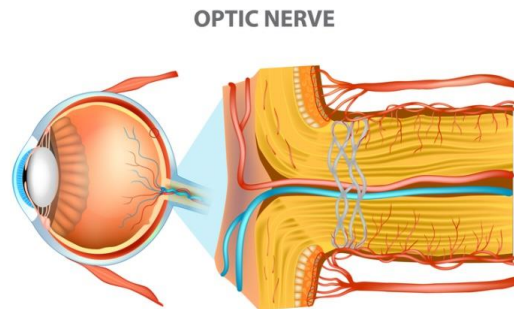
U ovom projektu zadatak je bio odrediti karakteristične tačke na *OCT* slikama prednjeg očnog segmenta, odnosno odrediti položaje *scleral spur*-a sa leve i desne strane očne komore. Za rešenje ovog problema korišćeni su razni metodi segmentacije i detekcije tačaka od interesa koji će biti opisani detaljno u nastavku (poređenje sa pragom, izdvajanje segmenata od interesa,...) kao i neki od algoritama obrade slike koji prethode samoj segmentaciji (filtriranje slike i otklanjanje šuma, odsecanje određenog segmenta slike,...). Ovaj algoritam predstavlja važnu ulogu u daljem lokalizovanju glaukoma zatvorenog i otvorenog ugla jer se zapravo ove tačke nalaze na trabekularno-irisnom kontaktu odakle se određivanjem ugla između rožnjače i dužice može otkriti postojanje ili odsustvo glaukoma zatvorenog i otvorenog ugla.

SADRŽAJ

PREDGOVOR	2
REZIME RADA	3
SADRŽAJ	4
1 UVOD	5
2 METODOLOGIJA RADA	10
3 REZULTATI	14
4 DISKUSIJA.....	19
5 ZAKLJUČAK.....	20
6 LITERATURA.....	21
PRILOG A.....	22

1 UVOD

Glaukom je hronično oboljenje oka, kod kojeg se slepilo javlja kao posledica oštećenja optičkog nerva i astrocita usled visoke vrednosti intraokularnog pritiska.

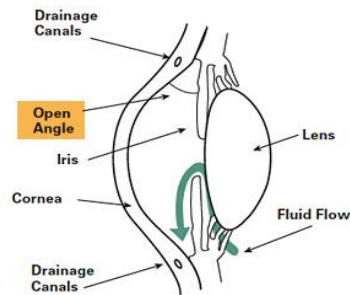


Slika 1 - Prikaz optičkog nerva; Slika preuzeta iz [1]

To je drugi glavni uzročnik pogoršanja vida i slepila u svetu sa 60.5 miliona obolelih do 2010. godine, a do 2020. godine procenjuje se da ovaj broj može doći do 80 miliona slučajeva. Rano dijagnostikovanje slučajeva može usporiti progresiju bolesti koja bi mogla dovesti i do potpunog gubitka vida. Zbog raznovrsne i kompleksne patologije glaukoma, njegova dijagnostika se u ogromnoj meri oslanja na znanja eksperata iz oblasti oftalmologije. Od ogromnog je značaja otkriti glaukom u njegovim ranim fazama kako bi se očuvao vid pacijenata. Detekcija glaukoma je dugotrajan proces i zahteva specijalne sposobnosti i uređaje. Skorašnji napredak u oblasti obrade medicinske slike omogućio je razvoj kompjuterski podržanih sistema detekcije glaukoma koristeći različita obeležja i tehnike klasifikacije.

Glaukom može biti klasifikovan u tri glavne klase:

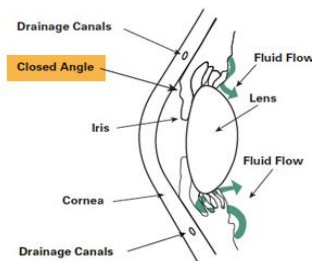
1) **Glaukom otvorenog ugla** (*Open-Angle Glaucoma* - *OAG*) je najčešći tip glaukoma koji obuhvata 90% ukupnih slučajeva pojave glaukoma, a može biti uzrokovan postepenim zapušavanjem drenažnih kanala, rezultujući povećanjem očnog pritiska. Kod njega se javlja širi ugao između rožnjače (*cornea*) i dužice (*iris*) i manje se progresivno razvija u odnosu na glaukom zatvorenog ugla. Prikaz glaukoma otvorenog ugla nalazi se na Slici 2.



Slika 2 - Prikaz glaukoma otvorenog ugla; Slika preuzeta iz [1]

2) Glaukom zatvorenog ugla (*Angle-Closure Glaucoma-ACG*)

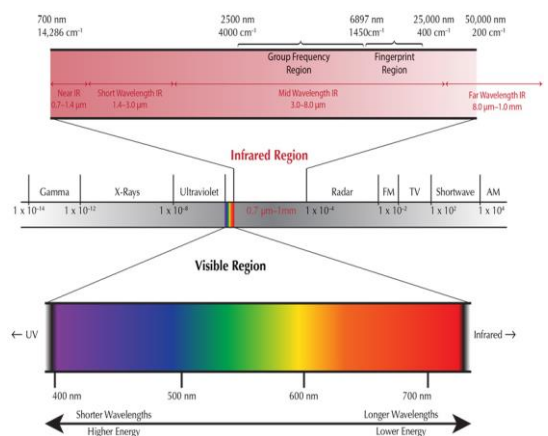
Dosta je ređi od glaukoma otvorenog ugla, ali izaziva dosta veća oštećenja i progresivniji je. Prouzrokovan je blokadom drenažnih kanala rezultujući povećanju intraokularnog pritiska. Kod njega se javlja zatvoreni, odnosno mali ugao između dužice i rožnjače koji je dosta progresivniji i izaziva značajna oštećenja i najčešće iziskuje medicinsku intervenciju.



Slika 3 - Prikaz glaukoma zatvorenog ugla; Slika preuzeta iz [1]

3) **Kongenitalni glaukom** (*Urođeni ili razvojni glaukom*) formira se u ranim godinama kod dece ili je urođen, gde se sistem oka ne razvija na pravilan način i ne dozvoljava pravilno cirkulisanje očne vodice koja dovodi do porasta očnog pritiska.

Kako bi se upustili ka dobroj dijagnostici glaukoma, neophodno je posedovati podatke koji će što vernije prikazivati područje od interesa, a to je u našem slučaju prednji očni segment, dok je metoda kojom su prikupljeni podaci upravo OCT metoda, u punom nazivu optička koherentna tomografija (*Optical coherence tomography-OCT*) koja se pokazala dobrom u dijagnostikovanju glaukoma. Ona koristi talasne dužine iz infracrvenog opsega da bi merila rastojanja unutar oka i njenih struktura i stoga je pogodna zbog svoje bezkontaktne prirode.

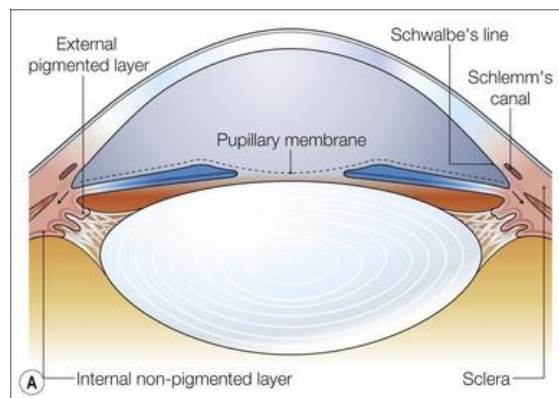


Slika 3 - Prikaz opsega talasnih dužina; Slika preuzeta iz [2]

Određivanje ugla prednje komore (*Anterior chamber angle-ACA*) je najčešće korišćena tehnika u otkrivanju glaukoma zatvorenog ugla. On može da bude vizuelizovan i meren tehnikom snimanja prednjeg segmenta oka optičkom koherentnom tomografijom (*Anterior segment optical coherence tomography - AS-OCT*). *AS-OCT* pokazuje dobru ponovljivost i tačnost u merenju debljine rožnjače (*cornea*), ugla prednje komore (*ACA*) i dubine očnog dna. Pokazano je da glaukom zatvorenog ugla može biti posledica jedne ili više promena u prednjem segmentu oka i da pacijenti sa različitim tipovima nastanka *ACG* imaju različita merenja u prednjem segmentu oka. Analiza merenja i obeležja dobijenih optičkom tomografijom prednjeg segmenta (*AS-OCT*) i njihova ispravna klasifikacija koristeći izdvojena obeležja i tehnike mašinskog učenja mogla bi da ima koristi u medicinskoj dijagnostici glaukoma zatvorenog ugla (*Angle Closure Glaucoma*). U poslednjih par godina došlo je do razvitka više metode koje se baziraju na predikciji glaukoma.

Zhongsan Angle Assesment program [3] omogućavao je poluautomatski algoritam za računanje različitih parametara prednjeg očnog segmenta, ali ovaj poluautomatski metod zahtevao je da se već unapred lokalizuju pozicije *scleral spur*-a, što ovaj metod čini neprikladnim za automatsku analizu velikih skupova podataka.

Tian [4] je predložio *Schwalbe*-ov metod detekcije linije na *HD-OCT*(eng. *High-Definition Optical Coherence Tomography*) za merenja u prednjoj očnoj komori. Ovaj metod nije pogodan za *AS-OCT* snimke koji podrazumevaju lošiju rezoluciju, već je jedino validan za *HD-OCT* koje koriste spektralni domen kako bi postigle veće rezolucije u kojima je *Schwalbe*-ova linija dobro određena. To što je ovaj metod ograničen na užu spektar *HD-OCT* snimaka, čini ga ograničavajućim u širim primenama.

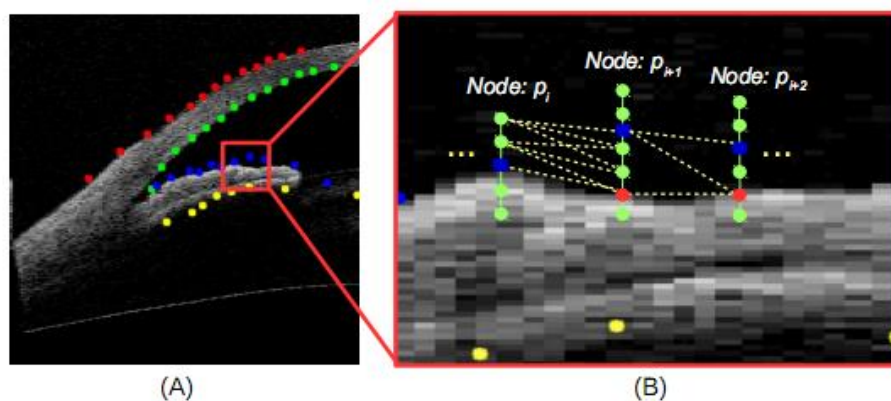


Slika 4 - Prikaz prednjeg očnog segmenta i Schwalbe-ove linije; Slika preuzeta iz [4]

Williams [5] metoda upotrebljava *level-set* algoritam kako bi segmentisala i lokalizovala granice prednjeg i zadnjeg dela rožnjače. Ipak, ovaj metod vrši samo lokalizaciju rožnih struktura, bez naznaka o drugim strukturama prednjeg očnog segmenta.

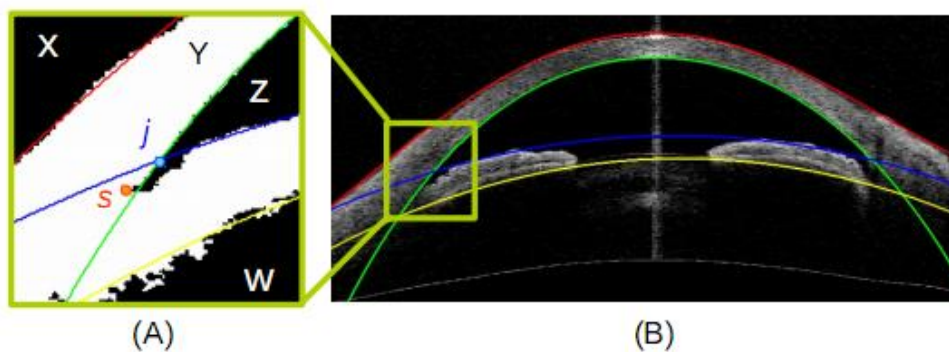
Xu [6][7] je lokalizovao region ACA i izdvojio obeleţja kojima se direktno vrši klasifikacija u tipove glaukoma, ali se ne omogućavaju dalja klinićka merenja na pojedinim modalitetima koja bi bila potrebna doktorima za upušćanje u drugim smerovima analize i dijagnostike.

Predloţena metoda od strane *Huazhzu*-a [8] zasniva se na formiranju interpolacionih krivih koje bi predstavljale granice glavnih oćnih struktura kao što su unutrašnjost i spoljašnjost roţnjaće, kao i unutrašnja i spoljašnja granica irisa. Tehnika prvo estimira inicijalne markere na osnovu rućno labelovanog seta podataka prikupljenog za različite pacijente i AS-OCT (eng. *Anterior Segment Optical Coherence Tomography*) modalitete. Postavljanje inicijalnih markera prikazano je na Slici 5.



Slika 5 - Postavljanje inicijalnih markera; Slika preuzeta iz [8]

Ovi inicijalni markeri su zatim poboljšani grafovski zasnovanom metodom glaćanja voćenom strukturnim informacijama sa AS-OCT snimaka. Na osnovu markera se odrećuju krive koje opisuju granice roţnjaće i duţice, tako što se krive interpoliraju polinomima preteţno ćetvrtog stepena i na osnovu njih se dobijaju znaćajni preseći sa kojih se mogu izvesti zakljućci o znaćajnim anatomskim strukturama u prednjem oćnom segment. Prikaz krivih nalazi se na Slici 6.



Slika 6 - Preseći krivih nastalih polinomijanom predstavom skupa markera; Slika preuzeta iz [8]

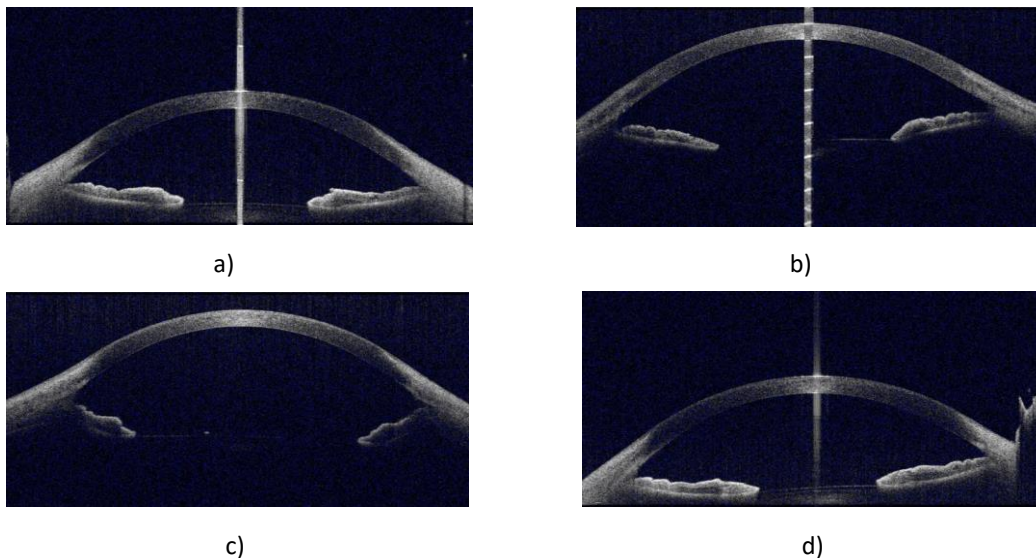
Ovi markeri olakšavaju segmentaciju glavnih struktura uz pomoć kojih se dobijaju parametri koji su od značaja za uspešnu dijagnozu. Ovi parametri ne moraju služiti samo kao smernice ka dobrim kliničkim pretpostavkama, već se mogu fomirati skupovi obeležja koji bi mogli biti ključni pri dobroj klasifikaciji glaukoma.

Cilj projekta

Kako bi se u što većoj meri omogućilo dobro dijagnostikovanje glaukoma, neophodna je dobra detekcija anatomskih struktura u prednjem očnom segmentu koja podrazumeva automatsku segmentaciju koja vodi ka dobrom odabiru obeležja i ka kasnijoj uspešnoj klasifikaciji. Zato ćemo se u ovom radu upravo baviti lokalizacijom jedne od značajnih tačaka od koje kreće većina najvažnijih merenja za mnogobrojna obeležja koja se koriste pri klasifikaciji glaukoma. Naime, želimo da lokalizujemo poziciju *scleral spur*-a. *Scleral spur* predstavlja mesto gde se spajaju rožnjača i dužica što se drugim imenom naziva traberukalno-irisni kontakt. Vrlo je važno razumeti ozbiljnost dobrog detektovanja ovih tačaka i shvatiti da su one jedna od polaznih stvari kada su u pitanju algoritmi za predikciju glaukoma. Cilj projekta je što bolje prepoznati ovu regiju, implementirati takav algoritam koji sa velikom tačnošću prepoznaje dati segment i da se takav algoritam može iskoristiti u nastavku istraživanja i usavršavanja metoda za detekciju glaukoma kod pacijenata. Nakon detektovanja ovih tačaka, moguće je u nastavku napraviti algoritam za klasifikaciju glaukoma koji jako dobro prediktuje da li pacijent boluje od glaukoma ili ne i to od kog tipa, u zavisnosti od veličine ugla koji zaklapaju rožnjača i dužica, stoga je tačna detekcija *scleral spur*-a jedna od jako bitnih svojstava algoritama koji se bave ovim problemom. Postavlja se pitanje kako je najbolje detektovati ove tačke, koje metode treba upotrebiti i kako obraditi ulazne slike pri kojima se javlja mnoštvo problema, loše osvetljenje, kontrast, distorzije prilikom snimanja, pojava šuma i slično. Pokušaćemo da odgovorimo na sva ova pitanja što je bolje moguće.

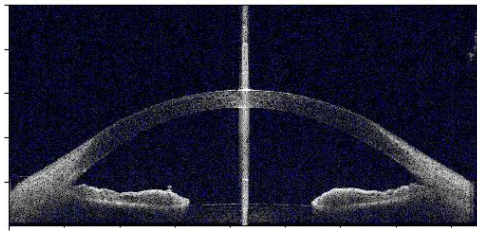
2 METODOLOGIJA RADA

Kao što je već poznato, cilj ovog projekta je izdvajanje karakterističnih tačaka u prednjoj komori oka, odnosno lokalizacija *scleral spur*-a sa leve i desne strane očne komore koji predstavljaju trabekularno-irisni kontakt, mesto gde se spajaju rožnjača i dužica, a koji se koristi u daljoj predikciji glaukoma zatvorenog ili otvorenog ugla. Na raspolaganju nam je set podataka od 320 slika optičke koherentne tomografije 20 ispitanika, pri čemu je na svakom ispitaniku izvršeno 16 slikanja. Radi očuvanja identiteta pacijenata i izbegavanja kršenja propisanih normi, date slike nalaze se pod nazivom "T00XX-XX" gde prvi deo označava broj ispitanika počevši od 01, pa sve do 20, a drugi deo predstavlja redni broj slike od 01 do 16. Rešavanju problema pristupljeno je u programskom jeziku Python (*Python 3.7*) u okruženju *Spyder* uz pomoć prethodno potrebno instaliranih biblioteka (*imageio*, *matplotlib*, *numpy*, *scipy*). Na samom početku izvršena je vizuelizacija ulaznih slika uz korišćenje adekvatnih biblioteka kako bi se dobio uvid u postavku problema. Samom vizuelizacijom uočavamo 4 različita tipa slika koje se javljaju u našem setu podataka. Tipovi slika prikazani u Slici 7.

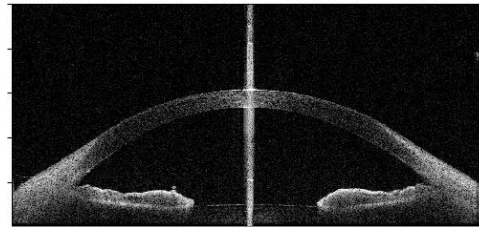


Slika 7 - Prikaz tipova ulaznih slika: a) Slika sa dužicom u donjem delu; b) Slika sa centriranom dužicom i vertikalnom linijom; c) Slika sa centriranom dužicom bez vertikalne linije sa lošim osvetljenjem; d) Slika sa dodatnim distorzijama na obodu i lošim kontrastom

Na datim slikama se vidi da postoji više tipova koji stvaraju različite probleme prilikom obrade. Dužica može biti uslikana u krajnjem donjem segmentu slike, a može biti i centrirana uz pojavu velikog crnog segmenta na slici koji stvara dodatne probleme, a, takođe, može doći i do pojave nekih dodatnih distorzija na slici usled lošeg snimanja. Na sledećoj stranici dat je flowchart algoritam rešavanja uz detaljna objašnjenja svakog pojedinačnog bloka sa potrebnim teorijskim osnovama za njegovo uspešno implementiranje.



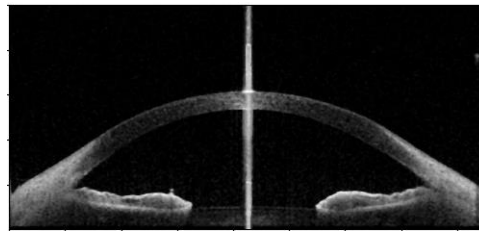
Prikaz ulazne OCT slike



Usled pojave plavog šuma na slici kao najpogodniji plejn *RGB* slike uzima se *R* plejn koji se koristi u daljoj obradi



Slika se poredi sa binarnim pragom nakon čega se obavljaju dodatne morfološke operacije



Tako izdvojena slika se filtrira uz pomoć *mean* i *median* filtra radi uklanjanja distorzija i šuma koji dodatno otežavaju segmentaciju

Nakon toga vrši se potrebno odsecanje slike sa donje strane radi uklanjanja crne regije

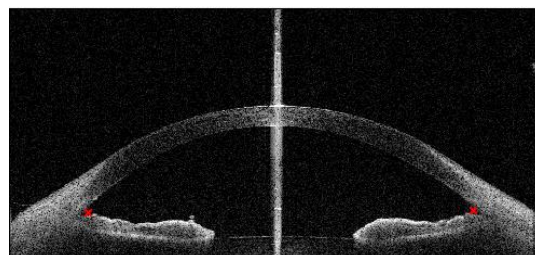


Pronalazi se levi segment od interesa u rastućem poretku po x-osi



Pronalazi se desni segment od interesa u rastućem poretku po x-osi

**Flowchart
algoritam**



Nalaženjem minimuma i maksimuma po x-osi na prethodnim slikama dolazi se do traženih tačaka i odgovarajućih y komponenti i vrši se krajnji prikaz detektovanih karakterističnih tačaka

Na samom početku algoritma vrši se vizuelizacija slika, odnosno prikaz ulaznih podataka. Čitanje je omogućeno uz pomoć biblioteke *imageio* uz korišćenje funkcije *imread()* iz istoimene biblioteke dok je za konačni prikaz upotrebljena biblioteka *matplotlib* sa odgovarajućim funkcijama. Na samom početku se vidi da su ulazne slike date u boji. Najčešći format slika u boji jeste *RGB* format slika, pri čemu je svaka slika data u 3D dimenziji gde treća dimenzija predstavlja odgovarajući plejn. Uvidom u izgled slika i uočavanjem plavih tačaka koje potiču od šuma i lošijeg kvaliteta slikanja izveden je zaključak da se za dalju obradu koristi R plejn slike koji se iz tog razloga i izdvaja, čime se dobija slika u 2D formatu. Iako je ovim postupkom izbegnut uticaj plavog šuma, slika i dalje nije spremna za dalju obradu. Potrebno je dodatno otkloniti preostali šum i pripremiti sliku za dalji proces segmentacije. Postoji više načina za otklanjanje šuma i to u zavisnosti od toga odakle šum potiče. Najčešći filtri koji se koriste su *mean* filtar, koji služi za otklanjanje Gausovog šuma, i *median* filtar, koji služi za otklanjanje impulsnog šuma (biber, so ili so i biber šum). Ovaj proces omogućen je uz pomoć biblioteke *scipy* i to pozivom funkcija *scipy.ndimage.convolve()* za *mean* filtar i *scipy.ndimage.median_filter()* za *median* filtar. Svaka od funkcija zahteva kao parametre ulaznu sliku i definisanje maski po kojima će se filtriranje vršiti. Što se tiče *mean* filtra, potrebna maska mora biti kvadratna matrica čiji je zbir svih članova jednak jedinici, pri čemu se mogu koristiti neke od podrazumevanih maski, a mogu se napraviti i matrice po sopstvenom nahođenju tako što će se nekim elementima matrice bliskim oko centralnog elementa dati veći značaj nego okolnim elementima, što će u mnogome odlučiti rezultat filtriranja. U našem slučaju koristi se 3x3 matrica sa jednako raspoređenim elementima. Što se tiče *median* filtra, takođe, potrebno je zadati dimenzije matrice koje će predstavljati masku. Podrazumevana je kvadratna matrica, međutim, mogu se koristiti i drugačije maske. Razlika između *mean* i *median* filtra je u tome što *median* filtar ne vrši usrednjavanje na datoj maski, već od elemenata od interesa traži medijanu. Ovaj postupak je dobar kada su u pitanju segmenti sa velikim odstupanjima kako uzimanje srednje vrednosti ne bi dovelo do lošijih rezultata, što i odgovara impulsnom šumu koji treba potisnuti.

Nakon prethodne obrade slike ulazi se u proces segmentacije. Segmentacija predstavlja jednu od bitnih metoda u digitalnoj obradi i analizi slike. Uz pomoć segmentacije vrši se izdvajanje regija od interesa na slikama u zavisnosti od potreba i potražnje u datom trenutku. Jedan od najosnovnijih metoda segmentacije jeste poređenje sa pragom. Poznato je da svaki element matrice ima svoju vrednost koja odgovara intenzitetu piksela, samim tim, poređenje matrice sa datim pragom intenziteta dovešće do rezultujuće binarne slike gde će sve vrednosti veće od praga dobiti izlaznu vrednost 1, a sve vrednosti manje od praga vrednost 0. Time je dobijena crno-bela slika sa kojom je lakše baratati kada je u pitanju dalja obrada. Međutim, usled raznih distorzija na slikama i jednostavnosti date metode, često dobijene slike nemaju jasne ivice, imaju dodatne rupe u segmentisanim delovima i slično. Zato se nakon poređenja sa pragom vrše dodatne morfološke operacije koje će uobličiti i popuniti

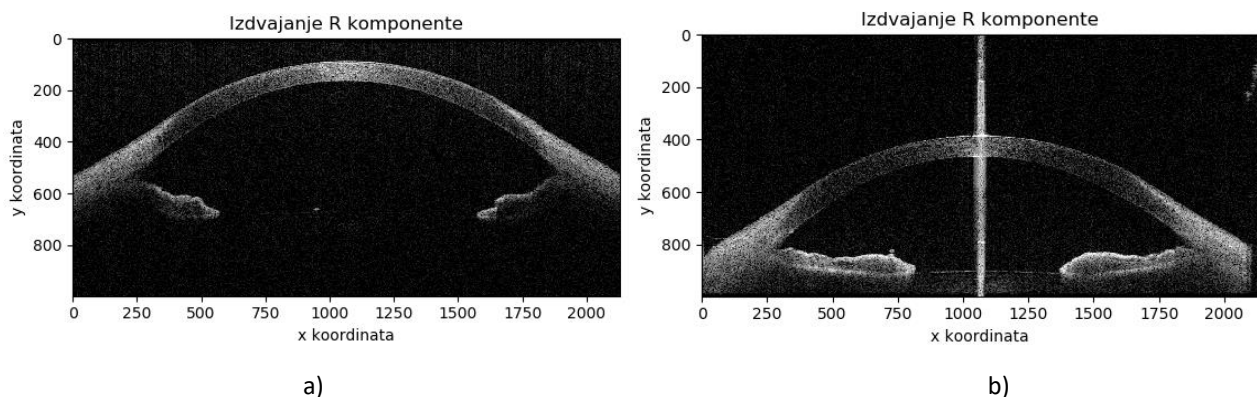
eventualne greške binarizacije. Morfološka operacija koja je upotrebljena u našem radu je dilatacija i to pozivanjem funkcije *binary_dilation()* iz biblioteke *scipy.ndimage*. Moguće je funkciji proslediti ulaznu sliku, kao i broj iteracija u kojima će se dilatacija dogoditi, čime je slika spremna za dalji proces rešavanja problema.

Pri vizuelizaciji slika uočeno je 4 tipa slika, od kojih su neke centrirane, a neke blago ili totalno spuštene u donji deo slike. Kako je ideja segmentisati region koji oivičavaju dužica i rožnjača i pronaći krajnju levu i krajnju desnu tačku koje predstavljaju trabekularno-irisni kontakt, potrebno je izbeći dodatno segmentisanje nepotrebnog regiona crne boje koji se nalazi ispod dužice. Kako svaka od ovih slika može usled slikanja biti blago rotirana u levu ili u desnu stranu, odsecanje slike odozdo ne može se vršiti na celoj slici, već se odsecanje vrši odvojeno za levi i za desni deo slike tako što se zbir svih komponenti na datom segmentu, izuzimajući centralni segment koji ne obuhvata dužicu koji usled svetla može dovesti do dodatnih piksela koji mogu pokvariti poređenje sa pragom, poredi sa pragom i sa odsecanjem slike se staje onda kada zbir piksela bude veći od praga. Ovo se radi odvojeno iz razloga što slika može biti rotirana npr. ulevo, sama granica levog dela slike, odnosno prelazak zbira piksela preko praga naslediće mnogo ranije nego prelazak desne slike, što će ostaviti nepotrebnu crnu površinu na desnom delu slike i onemogućiti uspešno segmentisanje. Ovim postupkom dobijene su vrednosti za granice leve i desne strane slike.

Sledeći deo algoritma predstavlja izdvajanje odvojenih regija, pri čemu se izdvajanje vrši na prethodno odsečenim slikama. Izdvajanje regija, takođe, vrši se odvojeno za levi i za desni deo slike. Izdvajanje se odvija uz pomoć funkcije *label()* iz biblioteke *scipy.ndimage* prosleđivanjem slike, čime se kao izlaz dobijaju svi izdvojeni segmenti na slici. Kako je poznato da se segment od interesa za levu stranu nalazi u prvoj trećini slike, a segment od interesa za desnu stranu u trećoj trećini slike, možemo pronaći željene segmente i izdvojiti ih iz svih segmenata izjednačavanjem sa vrednošću koju taj segment nosi. Ovaj postupak izjednačavanja se ne vrši tipičnim izjednačavanjem sa vrednošću pri čemu se dobija binarni rezultat 0 ili 1 u zavisnosti od pripadanja datom segmentu ili ne, već se za svaku vrednost y komponente koja pripada datom segmentu dodeljuje vrednost koordinate x na kojoj se taj deo segmenta nalazi. Ovim se za levi segment dobija region traženog segmenta u rastućem poretku sa leva na desno, po x koordinati, dok je ostatak slike postavljen na neku veliku vrednost, suprotno tome, za desni segment se dobija traženi region u rastućem poretku po x koordinati, pri čemu se ostatak slike postavlja na 0. Konačno, tražena x koordinata leve karakteristične tačke dobija se tako što se iz levog segmenta nalazi minimum slike, čija vrednost odgovara baš x koordinati, dok se y koordinata dobija kao ona y koordinata na kojoj se nalazi data vrednost x koordinate, odnosno kada se sa leve na desnu stranu prvi put dođe do komponente koja nije jednaka nekoj predefinisanoj velikoj vrednosti. Slično tome, isto se dobija i za desnu tačku, razlika je u tome što se sada nalazi maksimum slike koji odgovara desnoj x koordinati jer se ona nalazi skroz desno, dok se y komponenta nalazi sa desna na levo sa prvom pojavom nenulte vrednosti. Na samom kraju, vrši se prikaz dobjenih rezultata.

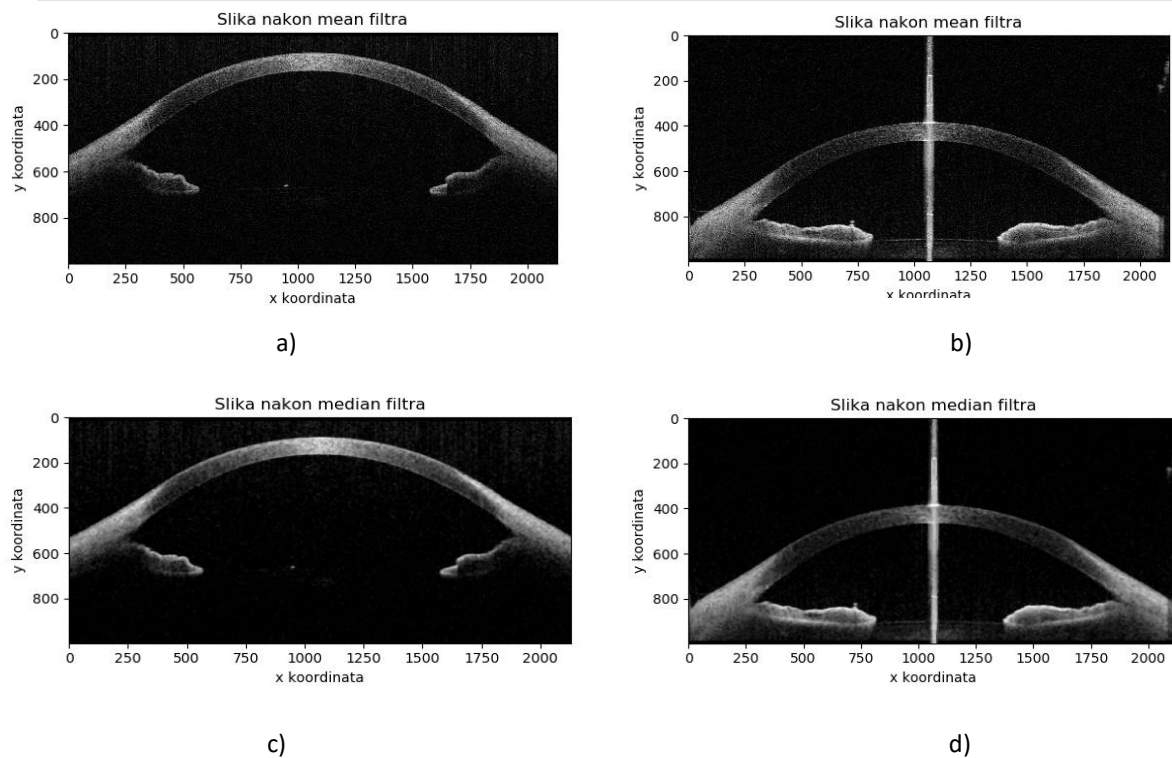
3 REZULTATI

Na raspolaganju je set od 320 slika pacijenata, za svakog od 20 pacijenata po 16 slika. Pomenuto je već da postoji više tipova slika koje se razmatraju, stoga se povratkom na Sliku 7 može ponovo steći uvid u to kakvi sve tipovi slika postoje i kakve dodatne probleme svaki od tipova stvara prilikom rešavanja ovog problema. Kao što je već rečeno, gorepomenuti tipovi na Slici 7 zahtevaju dosta kompleksniji algoritam segmentacije kako bi konačno rešenje radilo za svaki primer ulaznih slika. Sa Slike 7 možemo uočiti da postoje slike koje su centrirane, odnosno dužica se nalazi na sredini slike, postoje slike gde je dužica u donjem delu slike, slike koje imaju vertikalnu liniju na sredini nastalu usled snimanja, kao i slike na kojima ima nekih smetnji i loših segmenata na levim ili desnim krajevima usled neuspešnog rotiranja aparata za snimanje datih slika. Takođe, jedan od bitnih faktora jesu osvetljenje i kontrast, neke slike su tamnije, neke svetlije, što samim tim dodatno otežava podešavanje parametara koji su odgovorni za uspešno realizovanje ove metode. Kako bi se izbegli ovi problemi, potrebno je dovesti sve tipove slika u što sličnije stanje, kako bi sama implementacija i rešavanje ovog problema bila lakša. Kao što je već pomenuto, usled pojave plavog šuma, izveden je zaključak da je najbolje koristiti R plejn ulazne slike. U nastavku objašnjenja biće prikazani rezultati za dva tipa slika, dok za preostala dva tipa važe isti uslovi. Nakon izdvajanja R plejna dobijene su izlazne slike kao na Slici 8.



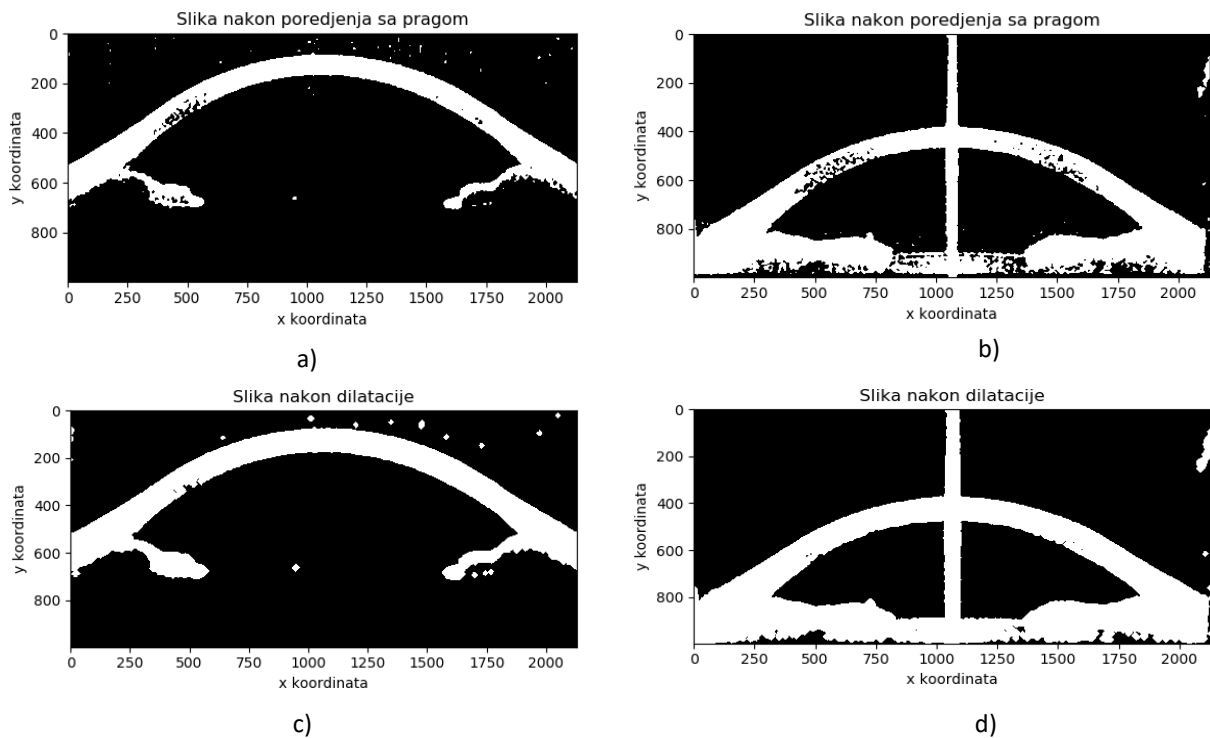
Slika 8 - Prikaz slike nakon izdvajanja R komponente: a) Prikaz međukoraka za treći tip slike; b) Prikaz međukoraka za prvi tip slike

Nakon izdvajanja R komponente na slikama, dolazi se do zaključka da je potrebno dodatno isfiltrirati sliku kako bi se preostali šum potisnuo, gde se ovako izdvojene slike propuštaju kroz *mean* i *median* filtar radi uklanjanja Gausovog i impulsnog šuma. Prvo je slika filtrirana uz pomoć *mean* filtra, pa je usled subjektivne potrebe za dodatnim filtriranjem provučena kroz *median* filtar. Nuspojava *median* filtra, pogotovu kada su u pitanju veći prozori je blago zamućenje slike, što se može primetiti na rezultatima prikazanim na Slici 9. Međutim, pošto su nama od interesa grube ivice, ovo blago zamućenje neće praviti veliki problem.



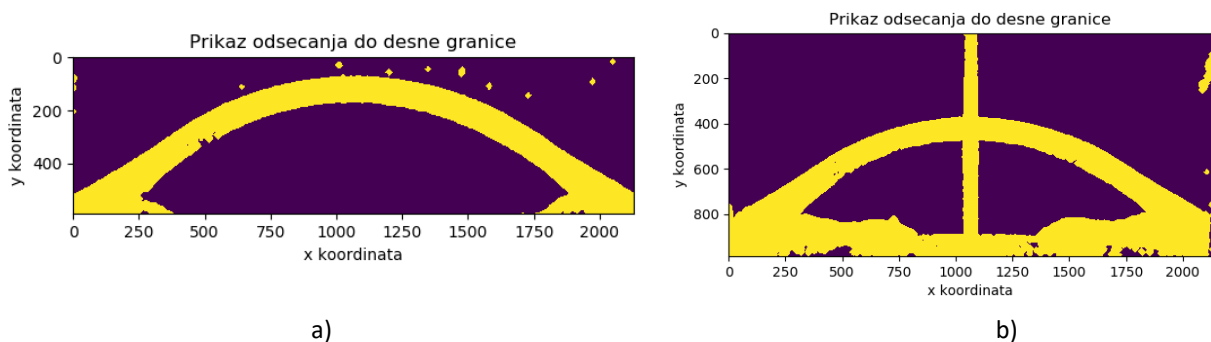
Slika 9 - Prikaz slike nakon propuštanja kroz *mean* i *median* filtar: a) Prikaz slike trećeg tipa nakon prolaska kroz *mean* filtar; b) Prikaz slike prvog tipa nakon prolaska kroz *mean* filtar; c) Prikaz slike trećeg tipa nakon prolaska kroz *median* filtar; d) Prikaz slike prvog tipa nakon prolaska kroz *median* filtar

Ovako dobijene slike se potom porede sa pragom kako bi se dobile binarne segmentisane slike. Poređenje sa pragom predstavlja jedan od osnovnih tipova segmentacije gde se kao rezultat dobijaju binarne crno-bele slike, gde je oblast od interesa oznaćena belom bojom, a oblast van interesa crnom bojom. Ispostavlja se da se nakon poređenja sa pragom dobijaju slike koje nisu baš najuspešnije segmentisane, imaju rupe usled nekonzistentnosti sa zadatim pragom usled lošeg kontrasta slike i osvetljenja, pa se na tako segmentisanim slikama dodatno primenjuju morfološke operacije. Postoji više morfoloških operacija: dilatacija, otvaranje, zatvaranje, ali u našem radu smo se zadržali samo na dilataciji. Dilatacija je pokrenuta u više iteracija ako bi popunila eventualne loše delove segmentacije. Još jedna od pojava koja se događa je prisustvo snežnih pahuljica po segmentisanim slikama, odnosno belih taćaka, takođe iz razloga što je veoma teško postaviti vrednost praga za porede tako da se za sve slike dobiju jako dobri rezultati segmentacije, već je prag trebalo uopštiti tako da on dobro radi za svaku sliku. Međutim, ova pojava i nije od velikog znaćaja sudeći da je nama region od interesa unutrašnjost oka, a ova pojava se pretežno javlja u spoljašnjosti, tako da je po tom pitanju bezbedna, već samo daje malo drugaćiji vizuelni utisak o segmentaciji. Rezultati su prikazani na Slici 10.



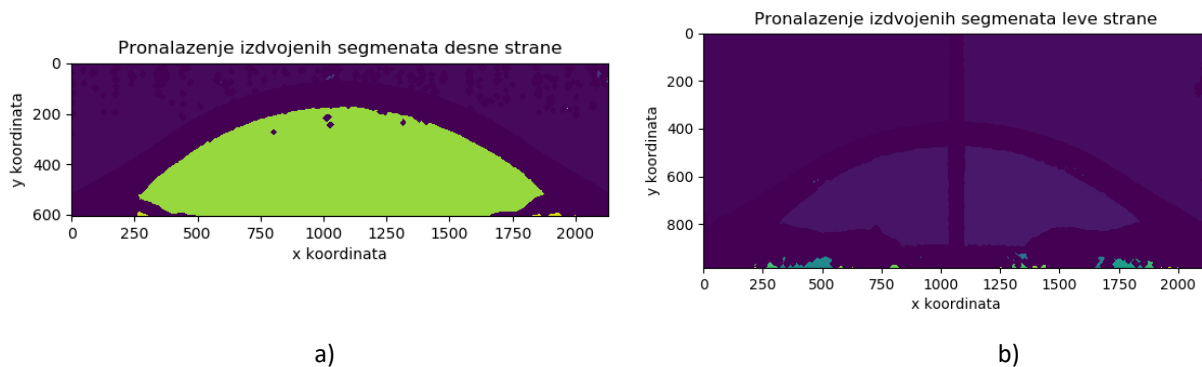
Slika 10 - Prikaz slika nakon poredjenja sa pragom i binarne dilatacije: a) Prikaz slike trećeg tipa nakon poredjenja sa pragom; b) Prikaz slike prvog tipa nakon poredjenja sa pragom; c) Prikaz slike trećeg tipa nakon binarne dilatacije; d) Prikaz slike prvog tipa nakon binarne dilatacije

Nakon dilatacije slika bilo je potrebno naći donje granice odsecanja za levi i za desni segment. Kao što smo već videli, ovaj postupak se radi iz razloga što možemo imati rotirane slike, pa granica za levi i desni segment neće biti ista. Ako imamo sliku koja je blago rotirana u desnu stranu, logično je da će granica levog segmenta biti viša, ako se gleda odozdo, nego granica za desni segment, pa bi samim tim levi segment od interesa obuhvatio i crnu oblast i samim tim detektovao pogrešnu tačku minimuma. Ovo odsecanje se vrši na segmentu prve trećine i treće trećine po x-osi, izuzimajući središnji deo koji ne obuhvata dužicu i može imati dodatne smetnje. Dati posmatrani segmenti se porede sa pragom i dobijaju se rezultati prikazani na Slici 11. Na Slici 11 je za levi primer prikazana samo jedna slika odsecanja pošto je posmatrani primer prilično ravan, pa su date granice skoro iste, kao što je i slučaj u desnom primeru, koji je i jedan od najlakših, u kojima ova obrada i nije preko potrebna.



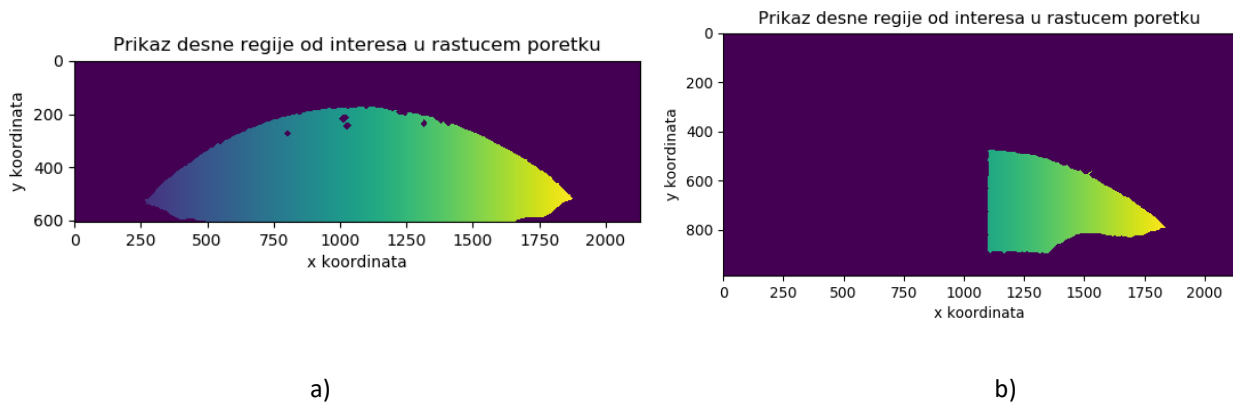
Slika 11 - Prikaz slika nakon odsecanja: a) Prikaz slike trećeg tipa nakon odsecanja, pri čemu se odsecanje znatno primećuje; b) Prikaz slike prvog tipa nakon odsecanja gde je granica skoro identična početnoj

Kao što se može primetiti na datim slikama, primer sa leve strane koji je imao nepotreban crni segment je odsečen, dok je primer sa desne strane ostao skoro nepromenjen. Kada su u pitanju slike levog tipa kod kojih se javlja vertikalna linija, takođe, došlo bi do pojave dva segmenta kao na desnoj slici, zato takav primer nije posmatran posebno. Sledeći korak predstavlja detektovanje segmenata na ovako odsečenim slikama. Gledajući slike, unapred se može pretpostaviti da se na levoj slici nalaze 3 regije, dok je na desnoj slici broj regija veći. Rezultati detektovanja nalaze se na Slici 12.



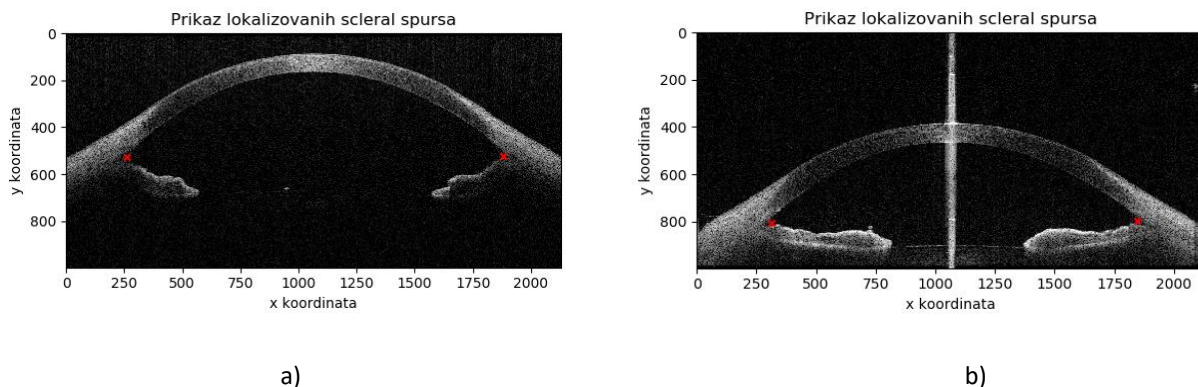
Slika 12 - Prikaz slike nakon izdvajanja segmenata: a) Prikaz slike trećeg tipa nakon izdvajanja segmenata, pri čemu se jasno vide 3 segmenta; b) Prikaz slike prvog tipa nakon izdvajanja segmenata, pri čemu se vidi više segmenata

Može se primetiti da su regije uspešno detektovane, iako je zbog unapred definisanih boja teže raspoznati regione. Međutim, regije od našeg interesa su sigurno dobro detektovane. Regija od interesa na levoj slici predstavlja zeleni segment. Ovde se može primetiti da je zbog nedostatka vertikalne linije pronađen samo jedan veliki segment. No, ovaj slučaj uopšte ne predstavlja problem, zato što se u nastavku za levi segment traži minimum, a za desni segment maksimum, što svakako odgovara datom segmentu u rastućem poretku sa leva na desno. Na desnoj slici se može videti da su detektovana dva segmenta, levi i desni segment. Sledeći korak predstavlja izdvajanje regiona od interesa. Može se primetiti da je centar regiona od interesa za levi deo slike otprilike pozicioniran na jednoj trećini ukupne x-ose, dok je za desni segment pozicioniran na otprilike drugoj trećini x-ose. Ovim saznanjem može se lako doći do intenziteta koji nose naši regioni od interesa i izdvojiti željene regione izjednačavanjem cele slike sa tom vrednošću. Međutim, kao što je rečeno, ne uzimamo u obzir sliku sa tom vrednošću, već u vrednost našeg regiona idući sa leva na desno upisujemo onu vrednost x-ose na kojoj se trenutno nalazimo, dok sve van segmenta postavljamo na neku veliku vrednost, kada je u pitanju levi segment, a sve na nulu kada je u pitanju desni segment. Na taj način dobijamo naše regije od interesa u rastućem poretku sa leva na desno. Rezultati dobijeni nakon ove metode prikazani su na Slici 13.



Slika 13 - Prikaz regija u rastućem poretku: a) Prikaz slike trećeg tipa u rastućem poretku po x-osi sa leva na desno; b) Prikaz slike prvog tipa u rastućem poretku po x-osi sa leva na desno

Na datim slikama prikazane su izdvojene regije u rastućem poretku sa leva na desno. Za levu sliku prikazan je rezultat samo za desni segment iz razloga što je rezultat isti, samo su u pitanju drugaćije vrednosti unutar posmatranog segmenta i okolna vrednost je veća, dok je za desni segment okolna vrednost jednaka 0. Za desnu sliku, takođe, prikazan je samo rezultat za desni segment, analogno ovom rešenju, tako izgleda i rešenje za levi segment, samo su, ponovo, vrednosti malo drugaćije, dok je okolna vrednost, takođe, jednaka nekoj velikoj vrednosti, a ovde jednaka nuli. Ono što je krajnji zadatak bio je detektovati krajnje leve i krajnje desne taćke segmenata od interesa. Pošto su segmenti definisani u rastućem poretku, potrebno je naći minimalnu vrednost segmenta za levi deo i maksimalni deo segmenta za desni deo. Pošto vrednosti minimuma i maksimuma predstavljaju x koordinatu, dolazi se do zakljućka da je to vrednost traćene x koordinate *scleral spur*-a, dok se y koordinate nalaze po već pomenutom algoritmu pretrage sa leva na desno za levi segment, pri ćemu se pretraga završava sa prim elementom manjim od predefinisane velike vrednosti, i sa desna na levo za desni segment, gde se algoritam zaustavlja pri prvom nailasku na nenulti element. Konaćni dobijeni rezultati na ovim primerima prikazani su na Slici 14. Celokupan algoritam pokazao se pozitivno za svaki od 320 primera podataka na raspolaganju, stoga se moće zakljućiti da je njegova uspešnost 100%.



Slika 14 - Prikaz konaćnih rezultata: a) Prikaz dobijenih karakteristićnih taćaka na slici trećeg tipa; b) Prikaz dobijenih karakteristićnih taćaka na slici prvog tipa

4 DISKUSIJA

Kao što se moglo uočiti iz prikazanih rezultata i metodologije, jeste da realizovani algoritam daje veoma dobre rezultate čak iako je skup modaliteta na kojima je primenjen dosta raznolik. U ulaznom skupu podataka na kojima je vršena obrada postojali su modaliteti na kojima je uočen glaukom zatvorenog, kao i glaukom otvorenog ugla, javljali su se razni nagibi dužice u odnosu na rožnjaču, a neke od slika su čak bile i blago rotirane na levu ili na desnu stranu usled loše centralizacije u odnosu na centralnu osu koja prolazi kroz zenicu. Takođe, postojale su smetnje usled šuma i distorzija kao i smanjene vidljivosti prouzrokovane lošim osvetljenjem u pojedinim delovima slika koje su, takođe, uspešno rešene. Naime, prilagodljivost algoritma je u tome što se metodama popravke kvaliteta slike na početku uklanjaju smetnje u vidu impulsnog i Gausovog šuma prisutnog na ulaznim slikama. Ta popravka kvaliteta vodila je ka boljoj segmentaciji i podrazumevala je korišćenje *median* filtra i filtra za usrednjavanje. Promene osvetljenosti u oblastima koje nisu od interesa, rešavane su odsecanjem tih oblasti kako informacije koje nisu od interesa ne bi uticale na formiranje pragova i kako bi omogućile da se sam algoritam adaptira na širi opseg ulaznih podataka. Kako bi rešili problem rotiranosti same slike, odnosno to što je jedan *scleral spur* na nižoj vertikalnoj koordinati od drugog i kako pri odsecanju slike koje je objašnjeno u metodologiji ne bi bili odsečeni delovi od interesa na drugoj strani i time ugrozili ispravnu lokalizaciju oba *scleral spur*-a, odlučeno je da se delovi slike posmatraju posebno tako što će se na početku posmatrati levi deo slike i lokalizovati levi, a zatim istim postupkom lokalizovati i desni *scleral spur*. Jedan od pojednostavljenja samog algoritma detekcije može biti to što bi umesto implementacije algoritma na levi i desni deo slike, izvršili implementaciju lokalizacije levog *scleral spur*-a, a zatim sliku rotirali oko centralne ose koja je vertikalna i time dobili sliku na kojoj bi mogli vršiti u stvari lokalizaciju desnog umesto levog *scleral spur*-a. Ovim bi se smanjila dužina koda, ali bi krajnji izlazni rezultati bili potpuno identični ovima koji su sada dobijeni. Kao što se iz radova drugih autora moglo zaključiti, veliki je značaj dobre lokalizacije anatomskih očnih struktura, a tako i *scleral spur*-a, jer upravo njegova dobra lokalizacija vodi ka tačnom određivanju ostalih obeležja u prednjem očnom segmentu kao što su, rastojanje otvorenosti ugla (*AOD*), trabekularno-irisni prostor (*TISA*), ugaono udubljenje (*ARA*) i ostali parametri na osnovu kojih bi se dalje mogla vršiti ispravna klasifikacija tipova glaukoma. Može se uočiti da neki od algoritama koje navode autori iako imaju mogućnost dobre lokalizacije pojedinih delova u prednjem očnom segmentu (*Tian* [4] gde se dobro lokalizuje *Schwalbe*-ova linija) ima ograničenja po pitanju primene jer je validan samo na *HD-OCT* (eng. *High-Definition Optical Coherence Tomography*) slikama i ne može biti direktno primenjen na *AS-OCT* slike lošije rezolucije što znatno smanjuje njegovu primenljivost. Takođe, neki od algoritama su poluautomatski i zahtevaju velike skupove prethodno labelovanih podataka i velike baze na osnovu kojih se vrši

obučavanje. Labelovani podaci zahtevaju vreme, jer je neophodna ručna lokalizacija značajnih tačaka od strane oftalmologa, što često predstavlja zamoran posao i velike skupove podataka za obučavanje. Kao jedan od problema koje navodi skupa autora u svom radu [8], pored velikog skupa labelovanih podataka koji će se koristiti za transfer markera na nove ulazne podatke, predstavlja i loš kontrast. Usled lošeg kontrasta i male osvetljenosti, moguće je doći do lokalizacije graničnih markera na pozicije na kojima se ne javljaju anatomske strukture, a samim tim i da uzrokuju lošu interpolaciju između tačaka markera što bi prouzrokovalo dalje loše određivanje granice rožnjače, dužice ili samog *scleral spur*-a.

5 ZAKLJUČAK

Kao što se iz izlaznih rezultata može videti, tačnost algoritma je veoma dobra iako je on primenjen na širok skup različitih tipova modaliteta prikupljenih na velikom broju pacijenata. Neki od ulaznih podataka čak imaju i pogoršan kvalitet same slike u vidu blage rotiranosti i lošijeg kontrasta, ali podešavajući prag adekvatno, algoritam daje i više nego zadovoljavajuće rezultate. Takođe, nema skupa labelovanih podataka koji bi sadržao lokalizovane anatomske strukture za čiju bi lokalizaciju bila potrebna prethodna pomoć eksperata iz oblasti oftalmologije, a, takođe, i ne zahteva preterano veliki stepen rezolucije (ne zahteva *HD-OCT*, već se može primeniti i na *AS-OCT* slikama lošije rezolucije na kojima je i vršena analiza u ovom radu). Dalja analiza bi mogla da se nastavi u smeru određivanja obeležja na osnovu kojih bi se vršila klasifikacija različitih tipova glaukoma, kao i i razna merenja koja bi mogla omogućiti što tačniju dijagnostiku ove složene pojave.

6 LITERATURA

- [1] "Angle Closure Glaucoma and Goniosynechiolysis", Christopher Rodarte, MD; Shan C. Lin, MD; Eric H. Leung, MD, MS; Anjali S. Maheshwary, MD; and Robert N. Weinreb, MD
- [2] "Segmentation and Quantification for Angle-Closure Glaucoma Assessment in Anterior Segment OCT", Huazhu Fu, Yanwu Xu, Stephen Lin, Xiaoqin Zhang, Damon Wing Kee Wong, Jiang Liu, Alejandro F. Frangi, Mani Baskaran, and Tin Aung
- [3] J. Console, L. Sakata, T. Aung, D. Friedman, and M. He, "Quantitative analysis of anterior segment optical coherence tomography images: the zhongshan angle assessment program," Br. J. Ophthalmol., vol. 92, no. 12, pp. 1612–1616, 2008.
- [4] J. Tian, P. Marziliano, M. Baskaran, H. Wong, and T. Aung, "Automatic anterior chamber angle assessment for HD-OCT images," IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol. 58, no. 11, pp. 3242–3249, 2011.
- [5] D. Williams, Y. Zheng, F. Bao, and A. Elsheikh, "Automatic segmentation of anterior segment optical coherence tomography images," Journal of Biomedical Optics, vol. 18, no. 5, pp. 1–7, 2013.
- [6] Y. Xu, J. Liu, J. Cheng, B. Lee, D. Wong, M. Baskaran, S. Perera, and T. Aung, "Automated anterior chamber angle localization and glaucoma type classification in OCT images," in EMBC, 2013, pp. 7380–7383.
- [7] S. Ni Ni, J. Tian, P. Marziliano, and H. Wong, "Anterior Chamber Angle Shape Analysis and Classification of Glaucoma in SS-OCT Images," Journal of Ophthalmology, pp. 1–12, 2014.
- [8] "Segmentation and Quantification for Angle-Closure Glaucoma Assessment in Anterior Segment OCT", Huazhu Fu, Yanwu Xu, Stephen Lin, Xiaoqin Zhang, Damon Wing Kee Wong, Jiang Liu, Alejandro F. Frangi, Mani Baskaran, and Tin Aung
- [9] "Digital Image Processing" using Matlab, Rafael C. Gonzales, Richard E. Woods, Steven L. EddinsB. Klaus and P. Horn, Robot Vision. Cambridge, MA: MIT Press, 1986.
- [10] dr Milica Janković, Autorizovane beleške sa predavanja na predmetu Analiza biomedicinske slike 13E054ABS, Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet, 2020. godine

PRILOG A

Prilozi koji su potrebni za izvršavanje ovog projekta i uspešnu odbranu dati su na sledećem spisku:

1. programski kod,
2. slike korišćene u izradi projekta
3. prezentacija projekta.