



ИНСТИТУТ ЗА МАТЕМАТИКУ И ИНФОРМАТИКУ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ
УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ

МАСТЕР РАД

Примена алгоритама препознавања облика у неутронској дозиметрији

Студент:
Никола Николић

Професор:
др Милош Ивановић

Септембар 2015.

Садржај

1 Увод у неутронску дозимертију	3
1.1 Атоми и зрачење	3
1.1.1 Типови зрачења	4
1.1.2 Извори, примена и ефекти зрачења	5
1.2 Неутронско зрачење	6
1.2.1 Примена неутронског зрачења	6
1.2.2 Дозиметрија	7
1.3 Дефиниција проблема	8
2 Обрада слика употребом <i>OpenCV</i> библиотеке	9
2.1 Сиво скалирана слика	10
2.2 Сегментација слике	11
2.2.1 Раздвајање трагова од позадине	12
2.2.2 Проналажење трагова	13
2.2.3 Сегментација трагова	15
2.3 Исправљање ротације слике у односу на претходну слику из секвенце .	16
2.3.1 Детекција интересних тачака	17
2.3.2 Рачунање описног вектора	17
2.3.3 Поређење описних вектора и одређивање трансформације	18
3 Развој корисничког интерфејса употребом <i>Qt</i> фрејмворка	21
3.1 Развојни алати	22
3.2 Модули	22
3.3 Сигнали и слотови	23
4 Софтвер за детекцију трагова неутронске дозиметрије	25
4.1 Структура пројекта	25
4.2 Начин употребе	25
4.2.1 Управљање пројектима	25
4.2.2 Управљање прегледом слике	25
4.2.3 Приказ и извоз резултата обраде	26
4.2.4 Корекција обраде	26
5 Анализа	27
5.1 Резултати	28
5.2 Најчешће грешке	29
5.3 Дискусија	32
6 Закључак	33

Сажетак

Дозиметрија се бави одређивањем апсорбоване дозе јонизујућег зрачења у разним материјалима, укључујући и људско ткиво. Карактеристике тренутно доступних личних неутронских дозиметара су далеко од идеалних, а траг детектори се данас сматрају једном од најперспективнијих техника. Међу њима је најпознатији *CR-39* детектор. При интеракцији упадних неутрона са детектором настају трагови који нагризањем материјала базом постају видљиви. На основу тих трагова врши се процена дозе зрачења.

Мерење густине трагова врши се визуелном проценом броја трагова по јединици површине помоћу микроскопа. Тај процес може да траје и по више сати. У овом раду ће се описати примена алгоритама обраде слика (*image processing*) која овај процес може делимично аутоматизовати и значајно убрзати.

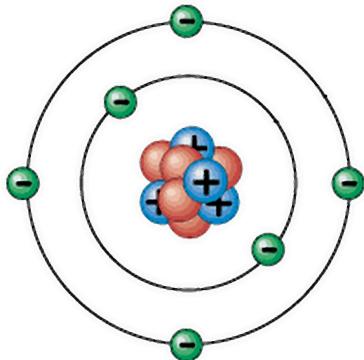
У првом поглављу дат је увод у неутронску дозиметрију, њену примену и дефинисан је проблем који ће решавати овај рад. Друго поглавље представља *OpenCV* библиотеку и описује коришћене алгоритме за обраду слика. Треће поглавље укратко представља *Qt* платформу за развој корисничког интерфејста и његове главне предности. У четвртом поглављу описан је софтвер за детекцију трагова неутронске дозиметрије. Дат је опис структуре пројекта као и начин употребе софтвера. Даље, у петом поглављу дата је анализа софтвера, процена тачности детекције трагова, као и анализа најчешћих грешака детекције. У последњем поглављу дат је предлог могућих унапређења.

Глава 1

Увод у неутронску дозимерију

1.1 Атоми и зрачење

Атом је основна јединица материје. Атоми су изграђени од позитивно наелектрисаног атомског језгра и одређеног броја електрона. Електрони носе негативно наелектрисање и крећу се у електронском омотачу око језгра. Атомско језгро садржи протоне, који имају позитивно наелектрисање, једнако негативном наелектрисању електрона и неутроне који немају наелектрисање.



Слика 1.1: Шематски приказ структуре атома

Хемијске особине атома одређују број протона у језгру. Сваки атом садржи једнак број протона и електрона и зато је електрично неутралан. Атом постаје наелектрисан тако што прими или отпусти један или више електрона и постаје јон. Такав процес назива се јонизација.

Како хемијске особине атома не зависе од броја неутрона, постоје атоми истог елемента са различитим бројем неутрона - изотопи. Атомска језгра са неповољним односом броја протона и броја неутрона су нестабилна и путем радиоактивног распада прелазе у стабилније стање.

Радиоактивност је спонтани процес у којем се атомско језгро, емитујући једну или више честица преображава у друго језгро. При трансформацији језгра, мења се састав или енергетско стање. Радиоактивно зрачење пролире кроз различите материјале, а такође може и да јонизује средину кроз коју пролази. На тај начин може да изазове општећење ћелија живих организама. Настали јони нарушују

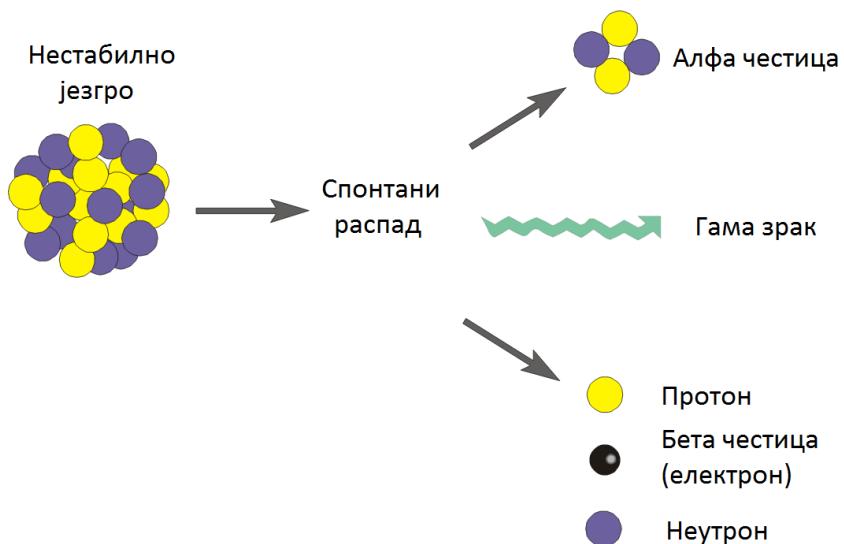
биохемијске процесе у ћелијама, што може довести до разних поремећаја у њиховом функционисању и дељењу, па и до настанка озбиљних болести.

1.1.1 Типови зрачења

Према ефектима које производи на материју, зрачење се може класификовати на јонизирајуће и нејонизирајуће зрачење.

Јонизирајуће зрачење укључује космичке зраке, X зраке и зрачење од радиоактивних материјала. Заједничко својство је велика енергија која омогућава јонизацију. Како долази до јонизације атома и молекула који су до тада били неутрални, настају оштећења материјала. Јонизирајуће зрачење спада у најопасније, оно је за око невидљиво, не осећа се код контаминације, тешко се детектује и постоји јако узак број терапија које могу помоћи. Три основна типа јонизирајућег зрачења су α , β и γ зрачење.

Нејонизирајуће зрачење укључује ултравибично светло, топлотно зрачење, радиоталасе и слично. Не поседује енергију као јонизирајуће зрачење и обично се сматра безопасним при малим снагама које не изазивају пораст температуре.



Слика 1.2: Могуће честице при распаду атомског језгра

- **Алфа зрачење (α)** је позитивно наелектрисано језгро хелијума (језгрa са два протона и два неутрона) емитовано од већ нестабилног језгра. Алфа честица је релативно масивна, али има кратак дomet у ваздуху, свега 3-5 ст. Алфа честице могу апсорбовати кожа или папир.
- **Бета зрачење (β)** Бета честице су вискоенергетски електрони или позитрони. Негативни електрони настају распадом језгра са вишком неутрона, а позитивни електрони настају при распаду језгра са вишком протона од оног потребног за стабилност језгра. Бета честице су много мање од α честица и могу продрети даље у материјал или ткиво. Бета зрачење се може апсорбовати материјалима од пластике, стакла или метала.

- **Гама зрачење (γ)** је врло високи енергетски фотон (форма електромагнетне радијације врло кратке дебљине таласа) емитован од нестабилног језгра и често у исто време еmitује и α и β честице. Гама зрачење узрокује јонизацију у атомима када пролази кроз материјал, првенствено због интеракције са електронима. У одсуству густих материјала, γ зрачење може оштетити материјал на који делује.
- **Неутранско зрачење (n)** је емитовање неутрона из нестабилног језгра. Ван језгра неутрони су нестабилни и имају време полураспада око 11.5 минута. Када су у реакцији са материјалом изазивају емисију β и γ зрачење. Неутранско зрачење захтева велику заштиту да би редуковала излагање.

1.1.2 Извори, примена и ефекти зрачења

Изворе зрачења делимо на **природне и вештачке**. Природном зрачењу изложени смо кроз зрачење Сунца и космоса, радиоактивних ствари у тлу, кућама којима живимо, преко хране и пића које уносимо. Количина овог неизбежног природног зрачења се разликује од места до места на Земљи.

Ефекти зрачења на људско здравље од природних извора нису изразито негативни јер се оно никад не сакупља у телу. Природно зрачење је стално и веома слабо. Биолошки механизам је прилагођен евултутивно на то зрачење.

Вештачки извори радијације на земљи премашују 5% укупног зрачења. Ови извори зрачења су они које је човек изградио:

- **Нуклеарне електране** имају за циљ да произведу електричну енергију. Највећу и сталну потенцијалну опасност у раду нуклеарних електрана чине евентуални инциденти при којима се еmitују велике количине радиоактивног материјала.
- **Медицински извори** зрачења настају при лечењу неких болести услед употребе апарат који еmitују радиоактивно зрачење. Такође, истрошени апарати и опрема остају као проблем у виду радиоактивног материјала.
- **Технички извори** зрачења се односе на разне апарате који функционишу на бази радионуклеида те представљају опасност за животну средину (радиоактивни громобрани, разни апарати у научно-истраживачким институцијама).

Јонизирајуће зрачење делује штетно на биолошке системе и може да доведе до појаве функционалних, морфолошких и генетских промена, а уколико су дозе којима је особа изложена високе може да дође и до смрти. Нису сви људи подједнако осетљиви на зрачење, као ни сва ткива и органи у организму.

Акутни ефекти се јављају непосредно после озрачивања особе код изложености високим дозама радијације. Јачина ефекта зависи од примљене дозе, врсте зрачења и осетљивости озраченог ткива. Код акутне озрачености јавља се радијациони болест.

Код хроничне изложености радиоактивном зрачењу, обично код професионално изложених особа, долази до оштећења ткива и то најчешће крви и хематопоетских органа. Уколико се реагује на време, најчешће долази до опоравка.

1.2 Неутронско зрачење

Неутрони су ненаелектрисани и не реагују са електронима, па могу да прођу знатно растојање у материји без интеракције. Понашање неутрона је слично γ зрачењу, и оно припада групи индиректно јонизирајућих зрачења. Неутрони не могу директно да јонизују материју, већ то чине искључиво преко секундарно произведених честица.

Електромагнетска интеракција неутрона са електронима је занемарљива. Пролазећи кроз материју неутрони се могу расејати еластично или нееластично на језгрима материје. Расејање је еластично ако се укупна кинетичка енергија очува у судару тј. када је енергија коју неутрон изгуби једнака кинетичкој енергији узмака језгра. Расејање је нееластично када језгро апсорбује извесну енергију и пређе у више енергетско стање. Такође, неутрон може бити захваћен или апсорбован од стране језгра што доводи до промене броја протона или неутрона захваћеног језгра, па самим тим и његових физичких и хемијских својстава.

За брзе неутроне је типично да највише губе енергију у материји преко еластичних расејања. Овај процес се назива модерација неутрона и један је од најважнијих процеса у нуклеарним реакторима. Како енергија неутрона опада расејање се наставља, али генерално, расте вероватноћа захвата на језгру. Дифузија термалних неутрона је такође узрокована низом еластичних расејања.

Еластично расејање неутрона се доста користи за регистровање брзих неутрона проучавајући узмакнута језгра (углавном узмакнуте протоне) различитим инструментима. Овај тип расејања се такође користи за регистровање узмакнутих језгара помоћу јонизационих метода.

1.2.1 Примена неутронског зрачења

Најважније примене неутронских извора су у индустрији, у науци и истраживању, као и у медицини.

- **Геофизичка мерења:** мапирање и анализа рудника минерала, нафтна истраживања, мапирање и анализа каменолома, истраживање урана.
- **Контрола индустријских процеса:** контрола цементног процеса, испитивање квалитета угља, испитивање дебљине зида.
- **Медицина:** мерење састава тела, терапија канцера, студије дијете и исхране.
- **Безбедност:** детекција и идентификација експлозива, детекција и идентификација хемијског оружја, детекција и идентификација специјалних нуклеарних материјала, детекција нагазних мина.
- **Општа истраживања:** референтни извор брзих неутрона за инструментацију, калибрациони извор за инструментацију за посматрање неутрина, проучавање осетљивости електронских компоненти на радијацију, испитивање нуклеарног реактора, неутронска радиографија.
- **Екологија:** испитивање нуклеарног отпада, испитивање отпада за очување ресурса и поступак опоравка, квантификација угљеника у земљишту.

1.2.2 Дозиметрија

Дозиметрија се бави одређивањем дозе јонизирајућег зрачења, првенствено у људском ткиву, али и у разним другим материјалима. Неутронска дозиметрија је од велике важности за заштиту од зрачења у близини акцелератора честица и нуклеарних реактора, за квантификацију ефеката излагања космичком зрачењу, као и код терапије брзим и спорим неутронима.

Иако је правој нуклеарне и физике елементарних честица унео у употребу много врста детектора, они се заснивају на истом принципу: предаја дела или целокупне енергије зрачења детекторској маси, где се она преводи у неку другу форму енергије која је погодна за људско опажање.

За детекцију, неутралне честице најпре морају проћи кроз неку врсту реакције у детектору чији ће производ бити наелектрисане честице које јонизују или ексцитирају атоме материјала детектора. Облик у коме се појављује енергија зависи од детектора и његове конструкције. На пример, гасни детектори директно прикупљају јонизационе електроне за формирање струјног сигнала, док у сцинтилаторима ексцитација и јонизација доприносе појави молекуларних прелаза чији је крајњи резултат емисија светlosti. У фотографским emulzijama јонизација изазива хемијске реакције које омогућују формирање латентне слике трага.

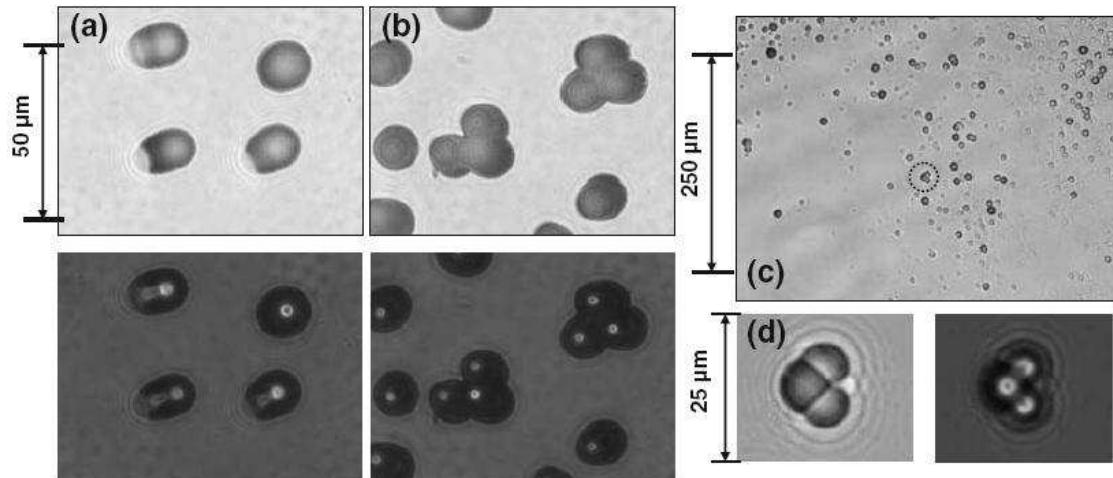
Савремени детектори су претежно електричне природе. У неком тренутку информација из детектора се претвара у електрични сигнал који је погодан за електронску обраду. Такви детектори користе активне методе за детекцију и дозиметрију неутрона.

Поред активних, користе се и пасивне методе, односно методе које не захтевају директно напајање енергијом у току излагања. Међу данас коришћеним пасивним личним неутронским дозиметрима, траг детектори се сматрају једном од најперспективнијих техника. Посебно место у свету траг детектора заузима *CR-39* детектор.

***CR-39* детектор**

Међу бројним предностима *CR-39* детектора у односу на друге мерне технике су велика осетљивост на протоне, нискоенергетски праг за неутроне, као и неосетљивост на гама зрачење. Због тога је *CR-39* најпогоднији кандидат за примену у личној неутронској дозиметрији.

При расејању неутрона на атомима *CR-39* детектора ($C_{12}H_{18}O_7$) производе се узмакнута језgra H, C и O, док се у нуклеарним реакцијама стварају секундарне наелектрисане честице (α честице, протони, деутeronи...). Секундарне наелектрисане честице и узмакнута језgra остављају оштећења при проласку кроз детекторски материјал, која се називају "латентни трагови". Попречне димензије латентних трагова су до 10 nm, тако да се могу видети само под електронским микроскопом. Траг се може визуелизирати (учинити видљивим) под оптичким микроскопом, ако се делује агресивним хемијским агенсом, као што је на пример, водени раствор $NaOH$ или KOH . Услед веће хемијске активности, раствор нагриза оштећени део више него неоштећени, тако да се латентни траг знатно увећава и може се посматрати обичним оптичким микроскопом. Примери нагриженih трагова су дати на слици.



Слика 1.3: Трагови настали озрачивањем *CR-39* детектора

1.3 Дефиниција проблема

Мерење густине трагова насталих траг детектором *CR-39* визуелном проценом броја трагова по јединици површине помоћу микроскопа траје пуно времена. Још један од изазова је и опис развоја трага, односно раст трагова. Ови процеси могу да трају и по више сати.

Основна хипотеза Мастер рада је да се овај посао може аутоматизовати и значајно убрзати применом алгоритама за обраду слика.

Као основни програмерски алати користе се решења отвореног кода: језик *C++* спретнут са библиотеком *OpenCV (Open Source Computer Vision Library)*, као и *Qt* платформа за кориснички интерфејс.

Глава 2

Обрада слика употребом *OpenCV* библиотеке

OpenCV (*Open Source Computer Vision Library*) је библиотека отвореног кода која садржи имплементације више стотина алгоритама рачунарског вида (*computer vision*). Библиотека је написана у *C++* програмском језику, али подржава и интерфејсе ка *C*, *Python* и *MATLAB* програмским језицима, а у разоју су и интерфејси за *CUDA* и *OpenCL* језике. Подржана је на свим водећим оперативним системима: *Windows*, *Linux*, *Android* и *Mac OS*. Библиотека је објављена под *BSD* лиценцом, те је стога погодна и за академску и за комерцијалну употребу.

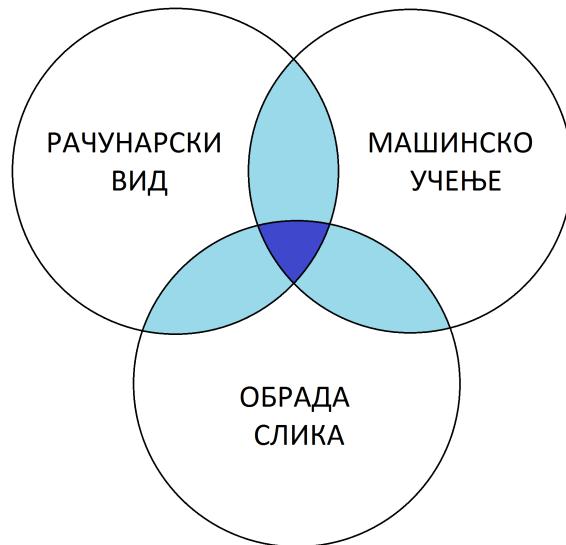
Имплементирани алгоритми се могу користити за препознавање облика, детекцију и препознавање лица, праћење покрета при видео снимку, спајање више слика у једну, препознавање маркера за проширену стварност и слично. Такви алгоритми су примењени у бројним програмима попут програма за видео надзор, навигацију и аутоматизацију рада робота, проверу призвода у фабрикама, асистенцију при вожњи аутомобила итд.

Рачунарски вид помаже у прикупљању релевантних информација са слика и доношењу одлука базираним на тим подацима. Циљ рачунарског вида је да омогући да рачунар посматра ствари на исти начин као и људи. Основни кораци система базираног на рачунарском виду су:

- прикупљање слика,
- манипулација slikama,
- извлачење релевантних информација и
- доношење одлука.

Као што се види из наведеног, за један такав систем јако су важни и алгоритми машинсог учења (*machine learning*) као и алгоритми обраде слика (*image processing*). *OpenCV* библиотека садржи такве алгоритме. Компонента која нас занима је управо обрада слика.

Обрада слика је процес манипулације подацима слике у сврху прикупљања релевантних информација.



Слика 2.1: Однос рачунарског вида са машинским учењем и обрадом слика

2.1 Сиво скалирана слика

Први корак за већину алгоритама обрада слика је рачунање сиво скалиране слике на основу оригиналне слике, слике која садржи црвену, зелену и плаву компоненту. У даљем процесу користи се само сиво скалирана слика. На тај начин постиже се значајна уштеда у меморији јер слика која се обрађује може бити копирана више пута, самим тим постижу се боље перформансе, а добија се и на једноставности алгоритама.

Изворни код 2.1: Рачунање сиво скалиране слике

```

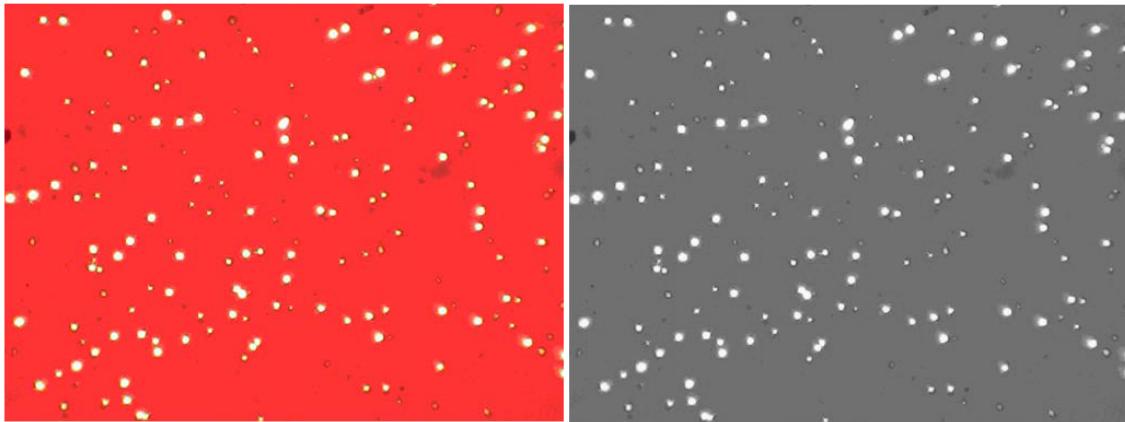
1 // Load BGR image.
2 Mat bgr = imread(path, CV_LOAD_IMAGE_COLOR);
3
4 // Convert image to grayscale.
5 Mat grayscale;
6 cvtColor(bgr, grayscale, CV_BGR2GRAY);

```

Сиво скалирана слика рачуна се као:

$$Y \leftarrow 0.299 \cdot R + 0.587 \cdot G + 0.114 \cdot B \quad (2.1)$$

где су Y - сиво скалирана слика, R - црвена компонента оригиналне слике, G - зелена компонента оригиналне слике и B - плава компонента оригиналне слике. Коефицијенти представљају измерену перцепцију интензитета код трохроматских људи. Конкретно, људски вид је најосетљивији на зелену, а најмање на плаву боју.



Слика 2.2: Оригинална (лево) и сиво скалирана (десно) слика

2.2 Сегментација слике

Један од основних циљева обраде слика је идентификација објеката који се појављују на дигиталној слици. Задатак сегментације слике је да произведе поједностављене информације за анализу. Сегментација пружа информације о позицији и изгледу објекта.

Постоје различите методе сегментације, а избор конкретне методе се врши на основу примене. Неке од најчешћих метода сегментације су:

- Сегментација прагом (*Thresholding*) подразумева раздвајање објеката на основу боје пиксела. У зависности од боје, пикел припада одређеној групи објеката. Уколико се врши сегментација са једним прагом, метода се назива бинаризација. Бинаризација се најчешће користи за раздвајање објеката од позадине. Ово је најједноставнији и најбржи метод сегментације. Сегментација прагом се примењује у алгоритмима препознавања текста за раздвајање текста од позадине.
- Сегментација кластерирањем (*Clustering*) подразумева груписање пиксела сличних карактеристика у групе/објекте. Поступак сегментације се састоји од рачунања вектора одлика за сваки пиксел, проналажења карактеристичних вектора пиксела - центара кластера који свакако припадају различитим објектима и придрживање сваког пиксела једном од кластера. Ова метода се примењује са великим успехом у обради сателитских и авионских снимака, а највећа мана је велика рачунска сложеност.
- Детекција ивица (*Edge detection*) - подразумева проналажење тачака слике око којих се значајно мења интензитет боје. На овај начин добијају се линије које представљају ивице објеката. Пошто добијене линије нису увек спојене додатно се користе алгоритми за реконструкцију недостајућих сегмената. Детекција ивица је моћнији, али и спорији метод сегментације.
- Слив (*Watershed*). Свака слика се може посматрати као топографска површина где низак интензитет боје означава брда и врхове, а висок интензитет означава долине. Идеја алгоритма је да се свака изолована долина (локални минимум интензитета боје) пуни различито обложеном водом. Са порастом нивоа, вода из различитих долина почиње да се спаја. Да би се избегло спајање, постављају

се баријере на месту спајања. Вода наставља да расте све док сви врхови не буду под водом. Постављене баријере представљају резултат сегментације.

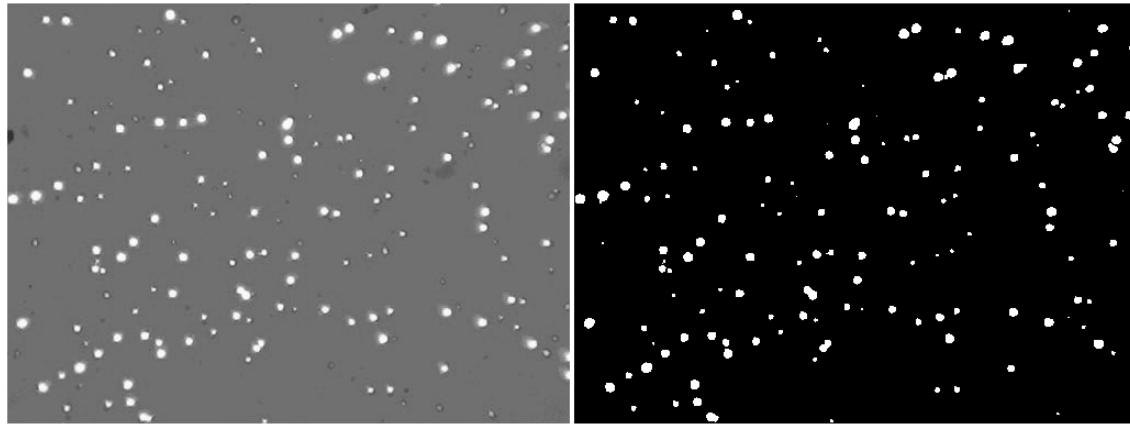
У случају детекције трагова неутронске дозиметрије трагови су јасно представљени и различитог интензитета у односуна позадину. Могу бити представљени светлом бојом на тамној позадини, или тамном бојом на светлој позадини. Усваком случају, издавање трагова од позадине је једноставан задатак. Компликованији случај је раздавање трагова који се преклапају без јасне границе између преклопљених трагова. За решавање овог проблема користи се модификована верзија *watershed* алгоритма. Основни кораци детекције трагова су:

- раздавање трагова од позадине,
- проналажење трагова и
- сегментација трагова.

У случају да су трагови превише преклопљени, сегметација трагова не може да их детектује као засебне трагове. Из тог разлога оставља се могућност корекције трагова у каснијем раду.

2.2.1 Раздавање трагова од позадине

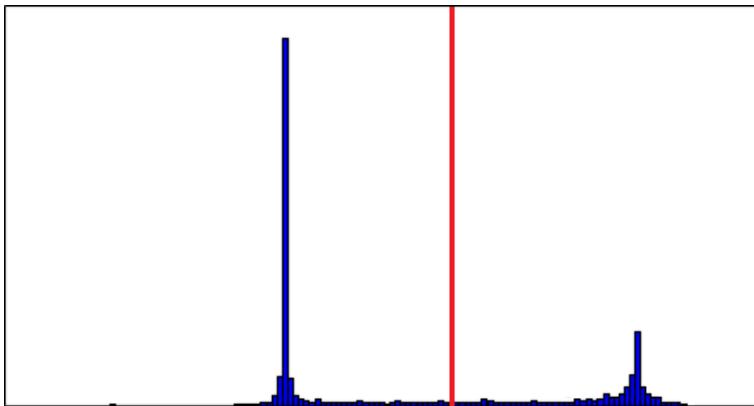
За раздавање трагова од позадине користи се сегментација са једним прагом, односно бинаризација. Бинаризација подразумева раздавање светлих и тамних делова слике, односно у представљеном случају идентификовање светлих објекта на тамној позадини.



Слика 2.3: Сиво скалирана (лево) и бинарна/црно-бела (десно) слика

Улазни параметар за бинаризацију је сиво скалирана слика. Резултат бинаризације је црно-бела слика истих димензија као и сиво скалирана слика. Црна боја представља позадину, а белом бојом се означавају пиксели који припадају објектма. Вредност сваког пиксела резултујуће слике рачуна се као:

$$binary(x, y) = \begin{cases} white, & grayscale(x, y) > thresh, \\ black, & \text{иначе.} \end{cases} \quad (2.2)$$



Слика 2.4: Хистограм интензитета боје на сиво скалираној слици и *Otsu* праг

где је *binary* - бинарна слика, *grayscale* - сиво скалирана слика, *thresh* - праг, *white* - вредност белог пиксела, *black* - вредност црног пиксела, а *x* и *y* одговарајући индекси пиксела слика.

Изворни код 2.2: Рачунање бинарне слике са унапред задатим прагом

```

1 // Calculate binary image.
2 threshold(
3     grayscale, // Grayscale image.
4     binary,    // Binary image.
5     thresh,    // Threshold value.
6     255,       // Max pixel value, i.e. white pixel value.
7     CV_THRESH_BINARY);

```

Праг према коме се врши класификација може бити и аутоматски одређена вредност помоћу *Otsu* метода. Употребом овог метода креира се хистограм вредности пиксела. Према очекивању постоје две класе вредности хистограма (једна за тамне пикселе и једна за светле пикселе), а као оптимална граница узима се средња вредност између те две класе.

Изворни код 2.3: Рачунање бинарне слике са *Otsu* прагом

```

1 // Calculate binary image.
2 threshold(
3     grayscale, // Grayscale image.
4     binary,    // Binary image.
5     0,         // Threshold, ignored value.
6     255,       // Max pixel value, i.e. white pixel value.
7     CV_THRESH_BINARY | CV_THRESH_OTSU);

```

2.2.2 Проналажење трагова

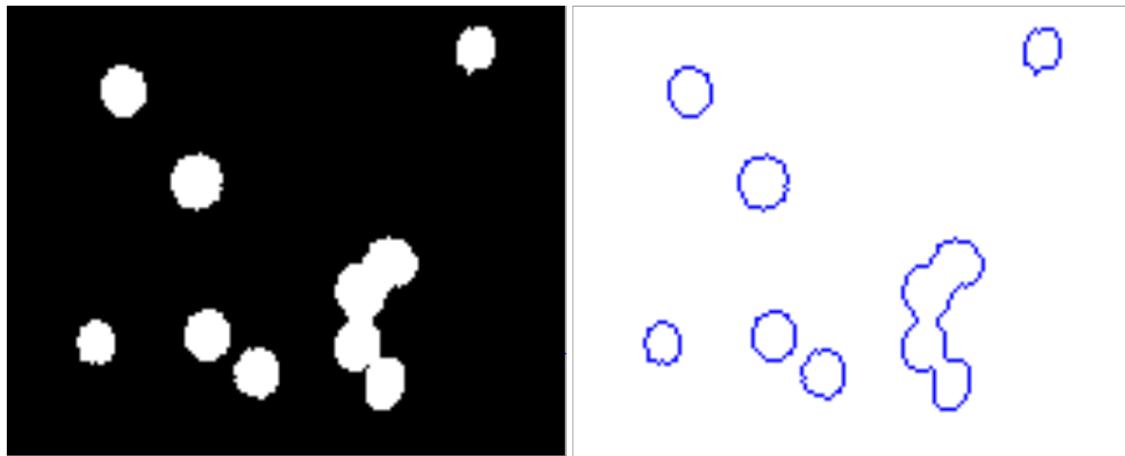
У овом тренутку имамо раздвојене трагове од позадине. На црно белој слици трагови су означени вредношћу 255 (бела боја), а позадина вредношћу 0 (црна боја). Са такве слике проналазимо контуре (контура - скуп тачака који описује објекат) како бисмо могли да испитамо сваку белу површину да ли се ради о појединачном трагу или два или више њих спојених.

Изворни код 2.4: Детекција контура трагова

```

1 // Get contours.
2 std::vector<Contour> initialContours;
3 cv::findContours(
4     binary,           // Black-white image
5     initialContours, // Detected contours.
6     CV_RETR_EXTERNAL, // Check only top contours.
7     CV_CHAIN_APPROX_NONE); // Find exact contour points.

```



Слика 2.5: Бинарна/црно-бела слика (лево) и означене контуре са слике (десно)

Како контуре трагова могу бити спојене потребно је да даље процесирамо такве контуре како бисмо их раздвојили на контуре појединачних трагова. Даље процесирање, односно сегментација трагова не врши се над свим контурима, већ само над оним чије карактеристике указују на то да би могле бити изграђене од више спојених трагова. Користе се карактеристике попут величине контуре, конвексности контуре, броју одступања од конвексности, највећем одступању од конвексности. Уколико наведене карактеристике контуре нису дале јасну назнаку да се ради о контури једног трага, испитују се тачке које су потенцијални центри спојених трагова.

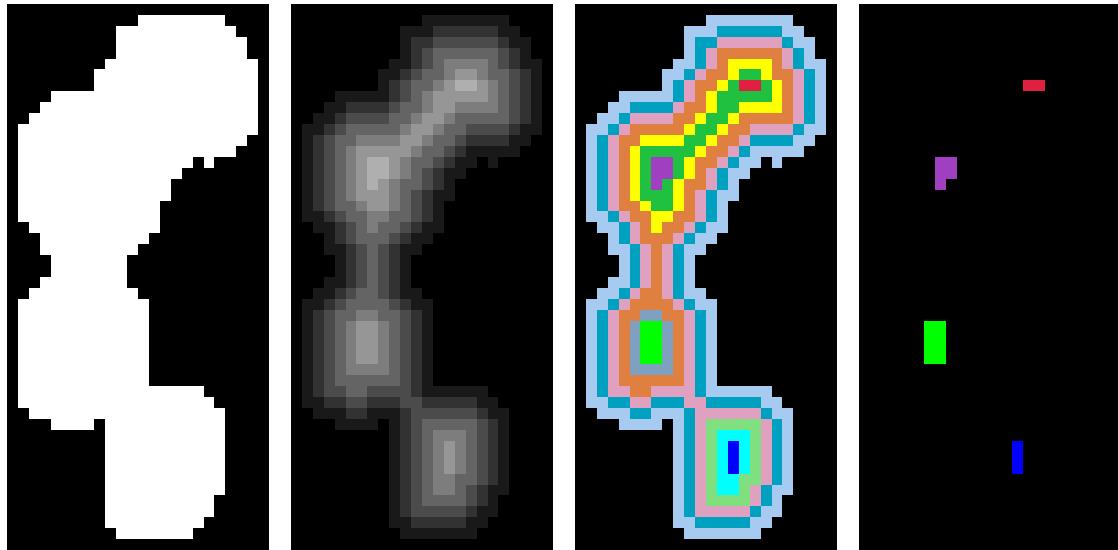
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1	0	
0	1	1	1	1	1	1	1	0	
0	1	1	1	1	1	1	1	0	
0	1	1	1	1	1	1	1	0	
0	1	1	1	1	1	1	1	0	
0	1	1	1	1	1	1	1	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	2	2	2	2	2	2	1	0
0	1	2	3	3	3	3	2	1	0
0	1	2	3	3	3	3	2	1	0
0	1	2	2	2	2	2	2	1	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Слика 2.6: Матрица удаљености од позадине

Потенцијалне центре спојених трагова тражимо на основу матрице удаљености од позадине. Матрица удаљености од позадине се обично рачуна само за бинарне слике, тако да најпре извлачимо маску са бинарне слике трага који испитујемо,

основно најмањи квадрат са слике који садржи траг, а чије су ивице паралелне са ивицама слике. Над маском трага рачунамо матрицу удаљености (*distance transform*). Резултат је сиво скалирана слика која личи на улазну слику, с тим да интензитети боја тачака унутар објекта показују удаљеност до најближе границе са позадином.



Слика 2.7: (i) Бинарна маска трага; (ii) Матрица удаљености; (iii) Означене компоненте са матрице удаљености; (iv) Компоненте са матрице удаљености које представљају локалне максимуме вредности на матрици удаљености;

Када израчунамо матрицу удаљености, користимо *connectedComponents* функцију *OpenCV*-ја да означимо засебне компоненте. Једна компонента представља све пикселе који се додирују, а притом имају исту вредност. Компоненте које представљају локалне максимуме користе се као потенцијални централни делови трагова.

Изворни код 2.5: Проналажење централних региона трагова

```

1 // Calculate distance matrix.
2 cv::Mat dist;
3 cv::distanceTransform(framedMask, dist, CV_DIST_L2, 5);
4
5 // Converts distance to integers.
6 cv::Mat dist_8u;
7 dist.convertTo(dist_8u, CV_8U);
8
9 // Mark local maximums and use it as hint for traces.
10 numberOfMarkers = MarkLocalMaximums(dist_8u, markers);

```

Уколико је детектован само један локални максимум, траг се ипак сматра засебним. У случају да је детектовано више локалних трагова, ради се сегментација, при чему се локални максимуми користе као полазни региони за *watershed* алгоритам.

2.2.3 Сегментација трагова

OpenCV садржи модификовани верзију *watershed* алгоритма. Имплементација не проналази аутоматски регионе из којих креће да означава сличну околину, већ те

регионе тражи као улазни параметар и ту се користе локални максимуми одређени на основу матрице удаљености.

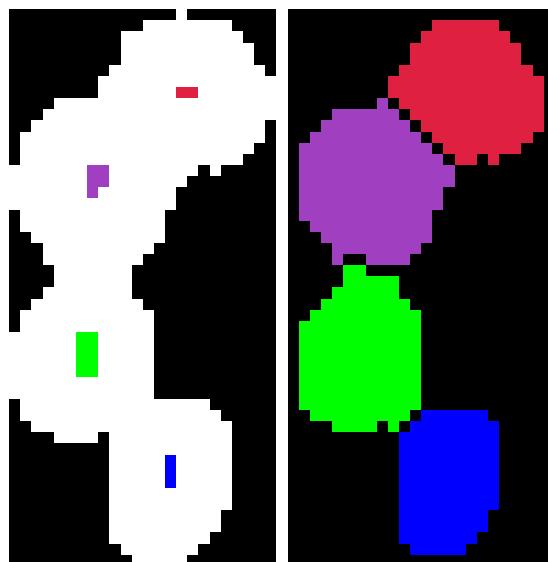
Изворни код 2.6: Сегментација трагова

```

1 // Markers are previously obtained local maximas.
2 // Mark background.
3 for (int r = 0; r < mask.rows; r++)
4 {
5     for (int c = 0; c < mask.cols; c++)
6     {
7         int index = (int) mask.at<char>(r, c);
8         if (index == 0)
9         {
10             markers.at<int>(r, c) = 255;
11         }
12     }
13 }
14
15 // Run watershed alghoritm to segment connected traces.
16 Mat result;
17 cvtColor(mask, result, CV_GRAY2BGR);
18 cv::watershed(result, markers);

```

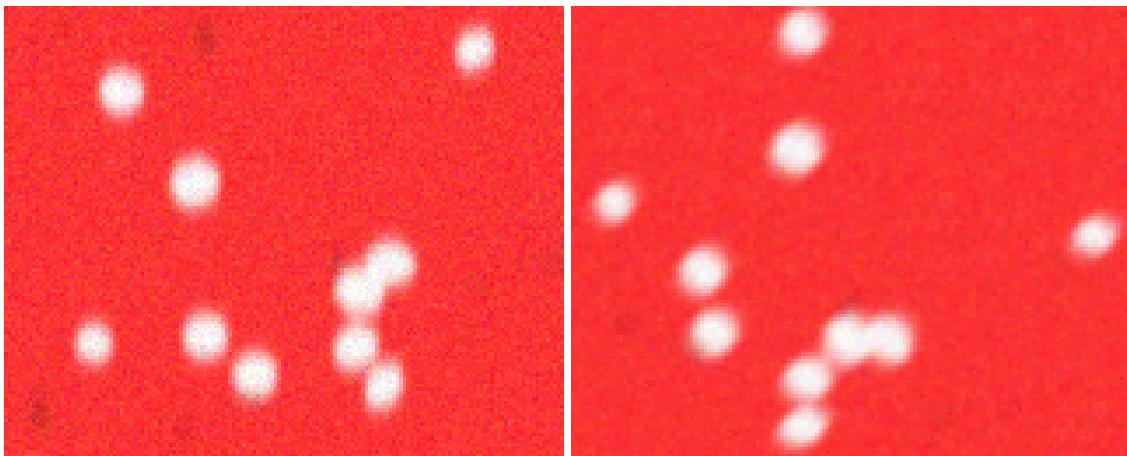
Добијене компоненте представљају детектоване трагове.



Слика 2.8: Полазна и крајња матрица за *watershed* алгоритам

2.3 Исправљање ротације слике у односу на претходну слику из секвенце

При прикупљању секвенце слика у различитим временским тренуцима дешава се да материјал детектора није усликан под истим углом. У том случају позиција



Слика 2.9: Претходна слика из секвенце (лево) и нова слика (десно)

истих трагова на различитим сликама није иста и није могуће пратити раст трагова. Зато приступамо отклалњању ротације (*deskew*) слике у односу на предходну слику из секвенце.

Пошто је могуће да се трагови не шире у истом правцу и на исти начин, може да се деси и да се контуре тргова разликују значајно. Поналажење сличности између две сличне сlike је део многих апликација рачунарског вида: калибрација камере, 3D реконструкција, препознавање објекта и тако даље.

Ови алгоритми се углавном сastoјe од три главна корака:

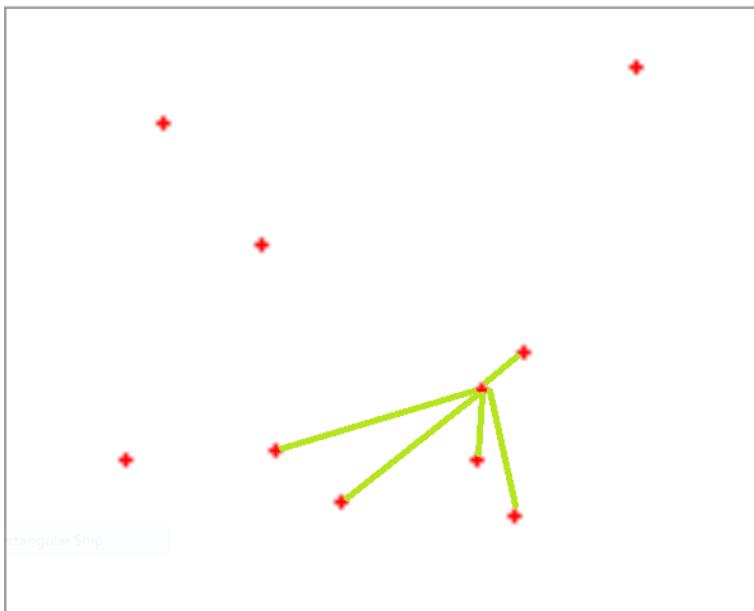
1. детекција интересних тачака,
2. рачунање описног вектора у интересним тачкама и
3. поређење описних вектора и одређивање трасформације.

2.3.1 Детекција интересних тачака

Интересне тачке су препознатљиве тачке објекта које се могу пронаћи при различитим погледима на објекат. Описивањем ових тачака на такав начин да су независне од величине сlike, ротације и осветљења постиже се циљ уочавања сличности између различитих сlike. Поређењем описних вектора може се донети закључак о трансформацији сlike. Ове тачке се бирају на карактеристичним местима, као што су оштре ивице, мрље, Т-спојеви. У датом случају, алгоритам се ослања на чињеницу да се исти узорак сlike у различитим тренуцима, односно да ће на сликама бити присутни исти трагови, те се стога за интересне тачке бирају центри детектованих трагова.

2.3.2 Рачунање описног вектора

Описни вектор представља вектор који описује околину интересне тачке . Овај вектор мора бити карактеристичан, отпоран на шум и дефекте који настају при сликању. Како се алгоритам ослања да у новој слици из секвенце нема превише нових



Слика 2.10: Вредности описног вектора једног трага

трагова и новонасталог шума, описни вектор за сваку тачку се гради од сортираних удаљености центра дате тачке од центара пет најближих трагова.

2.3.3 Поређење описних вектора и одређивање трансформације

На крају се врши упоређивање описних вектора, односно рачуна се еуклидско растојање између описног вектора интересне тачке са описним векторима свих интересних тачака друге слике. Када се добије списак парова са најмањим растојањем, бира се најмање три, а највише десет тачака на основу којих се тражи матрица хомографије. Хомографија је пројекцијска трансформација којом се описују пресликавања тачке из једне равни у другу.

$$x' = Hx \quad (2.3)$$

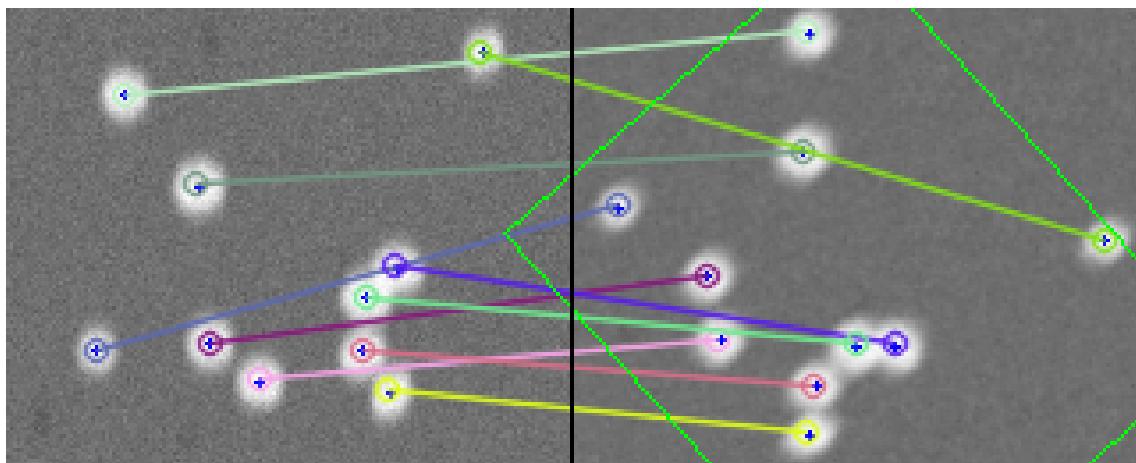
где су x' и x тачке у различитим равнима, а H матрица трансформације која описује транслацију, ротацију, скалирање и перспективу. У датом случају, очекује се афина хомографија, односно да нема перспективе.

Изворни код 2.7: Поређење описних вектора и одређивање ротације нове слике

```

1 Mat Document::CalcTransform(Document* prev, Document* curr)
2 {
3     // Get traces for previous and current image.
4     vector<Trace>& prevTraces = prev->GetTraces();
5     vector<Trace>& currTraces = curr->GetTraces();
6
7     // Get distance from 5 closest traces for both, previous and
8     // current image.
9     Mat prevN5 = GetDist(prevTraces);
10    Mat currN5 = GetDist(currTraces);

```



Слика 2.11: Препознате тачке са најмањим еуклидским растојањем описних вектора и детектована трансформација

```

10
11     // Match description vectors.
12     BFMatcher matcher;
13     std::vector<DMatch> matches;
14     matcher.match( prevN5, currN5, matches );
15
16     // Pack matches in vector and sort them by distance,
17     std::vector<DMatch*> refMatches = SortMatches(matches);
18
19     // Get matching points with least distance.
20     std::vector<Point2f> pPrev;
21     std::vector<Point2f> pCurr;
22     for(size_t i = 0; i < matches.size() && i < 10; i++)
23     {
24         DMatch* m = refMatches[i];
25
26         pPrev.push_back(getTraceCenter(prevTraces[m->queryIdx]));
27         pCurr.push_back(getTraceCenter(currTraces[m->trainIdx]));
28     }
29
30     Mat transform;
31     // Minimum 3 points to detect transformation.
32     if (pCurr.size() >= 3 && pPrev.size() >= 3)
33     {
34         Mat temp = findHomography(pCurr, pPrev, CV_RANSAC);
35
36         // Check is it affine homography.
37         // h_{31}=h_{32}=0, \; h_{33}=1.
38         double h31 = temp.at<double>(2,0);
39         double h32 = temp.at<double>(2,1);
40         double h33 = temp.at<double>(2,2);
41         if (abs(h31) < cAlmostZero && abs(h32) < cAlmostZero && abs(
42             h33 - 1) < cAlmostZero)
43         {
44             transform = temp;
45         }
46     }

```

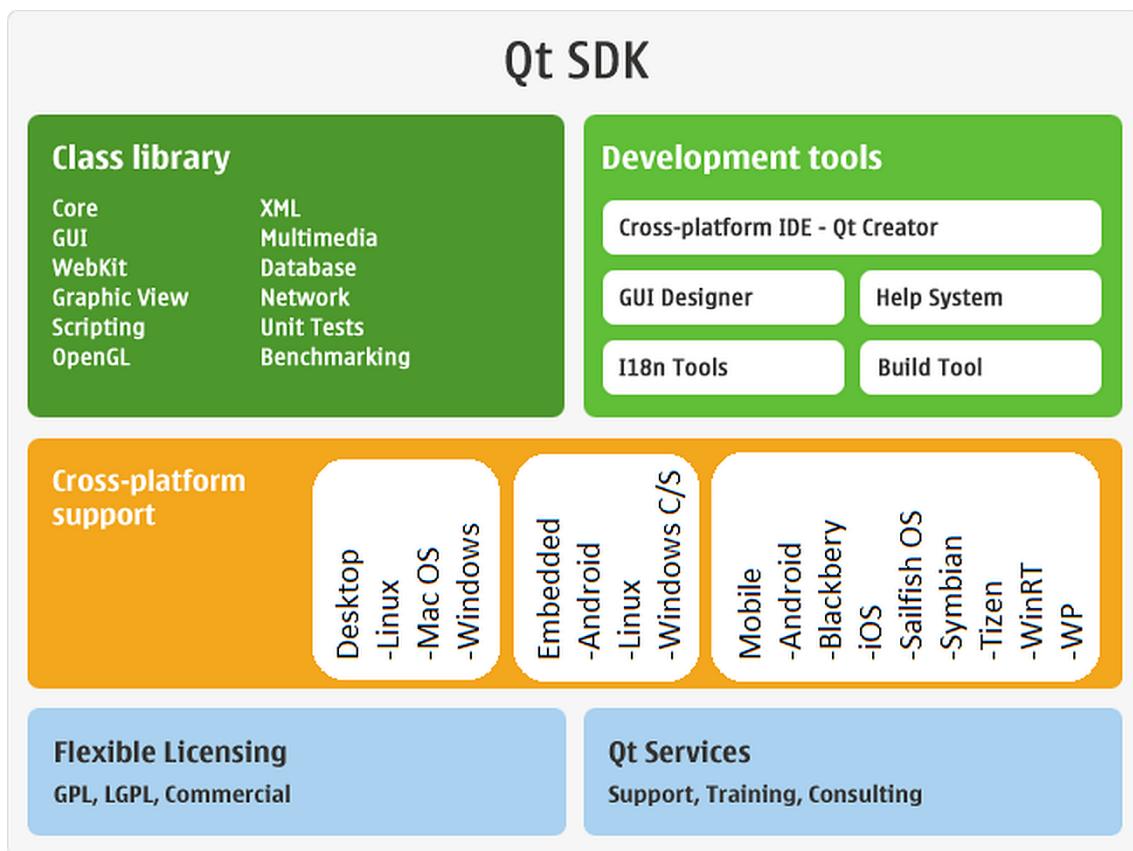
```
47     return transform;  
48 }
```

Дати алгоритам функционише готово без грешке над генерисаним примерима. Међутим, у случају да су трагови превише густи, односно детекција не разреши спојене трагове или у случају да на слици има јако мало трагова може се очекивати да трансформација не буде успешно детектована. Алгоритам се може побољшати увођењем нових вредности у описни вектор интересних тачака, као на пример, однос дужег и краћег дијаметра, углови који се формирају са најближим тачкама, а чије је теме у посматраној зачки и тако даље.

Глава 3

Развој корисничког интерфејса употребом *Qt* фрејмворка

Qt је фрејмворк за развој корисничког интерфејса. Омогућује развој апликација које се могу употребити и за десктоп рачунаре и за мобилне телефоне без потребе да се поново пише изворни код. *Qt* је надскуп стандардног *C++* програмског језика тако да програмери могу да користе или *Qt* или стандардне *C++* библиотеке, а могу да се користе и у комбинацији.



Слика 3.1: *Qt SDK (Software Development Kit)*

Qt већ користе стотине хиљада програмера. Значајани делови *Linux KDE* дистрибуције, *Google Earth* и *Skype* програма су написани у овом фрејмворку. Обухвата богат

скуп графичких контрола *Widgets* које пружају стандардне *GUI* функционалности као што су менији, контекстни мени, *drag and drop*, и слично. Уводи иновативну и безбеднију алтернативу за комуникацију између објеката названу *Signals and Slots*, али подржава и конвенционални модел за реаговање на клик миша, притисак дугмента, и друге улазне догађаје.

Од самог почетка *Qt* је био доступан за слободну комерцијалну употребу. То је омогућило развој апликација без икаквих ограничења лиценцирања. Постојало је више различитих лиценци. У почетку изворни код је био под лиценцом *FreeQT* која је дозвољавала преузимање и употребу кода, али је објављивање модификација било забрањено. Тренутно, код је доступан под *GNU Lesser General Public 2.1 (LGPL)*, која га чини доступним за употребу у пројектима и отвореног и затвоеног кода.

3.1 Развојни алати

Qt нуди широк скуп алата за развој софтвера.

- ***Qt Assistant*** је алат који графички представља *HTML* документацију пројекта. Садржи примере кода и пуно корисних информација о томе како се користите класе фрејмворка. Такође, пружа могућност једноставне претраге документације. Овај алат може да се прилагоди и да се објављује заједно са производом као додатак за грађевачки приказ документације конкретног производа.
- ***Qt Designer*** је алат за пројектовање и изградњу корисничког интерфејса. Кориснички интерфејс се развија на *what you see what you get (WYSWYG)* начин. Могуће је тестирање понашања интереса при различитим резолуцијама, што олакшава развој корисничког интерфејса на различитим платформама. Визуелне контроле креиране са овим дизајнером интегришу се са програмским кодом употребом модела сигнала и слотова што олакшава раздвајање функционалности од корисничког интерфејса. Све карактеристике визуелних контроле се могу мењати и у коду динамички. Информације о корисничком интерфејсу се чувају у фајловима са екstenзијом *.ui*. То су *XML* фајлови на основу којих се аутоматски генерише *C++* код који се даље компајлира.
- ***Qt Linguist*** је алат који омућава локализацију апликације.
- ***Qt Creator*** је развојно окружење (*IDE - Integrated Development Environment*) које интегрише претходно наведене алате. Такође, пружа алете за извршавање задатака током целог циклуса развоја апликације. Аутоматизује и убрзава задатке као што су креирање пројекта, додавање нових фајлова, нуди семантичко означавање, проверу синтаксе кода, комплетирање наредбе, рефакторисање, као и многе друге корисне функције.

3.2 Модули

Qt фрејмворк је подељен у неколико засебних модула. Да би се користиле функционалности одређеног модула потребно је додати одговарајућу променљиву у пројекти фајл. На пример, за употребу класа за рад са *XML* фајловима потребно је додати:

Изворни код 3.1: Укључивање модула за рад са XML фајловима

```
1 QT += xml;
```

Коришћени модули за приказ корисничког интерфејса у софтверу за детекцију трагова неутронске дозиметрије обухватају:

- **QtCore** садржи основне класе које користи свака *Qt* апликација, као и други модули. Овај модул омогућава рад са објектима (*QObject*), стринговима (*QString*), фајловима (*QFile*), фолдерима (*QDir*), локализацијом (*QLocale*) и тако даље. Овај модул је подразумеван, тако да га није потребно експлицитно укључивати.
- **QtGui** модул садржи компоненте графичког корисничког интерфејса (*GUI*). Садржи специјализоване контроле *Widgets* (*QCalendarWidget*, *QDockWidget*), контејнере (*QGroupBox*, *QStackedWidget*) и дијалоге (*QFileDialog*, *QPrintDialog*).
- **QtXml** садржи класе за рад са *Xml* фајловима. Омогућава читање, писање и форматирање *Xml* структура.

3.3 Сигнали и слотови

Сигнали и слотови (*Signals and Slots*) су основни механизам свих *Qt* програма. Омогућавају комуникацију између објеката, који не знају ништа једни о другима. Типичан пример је када желимо да промена у једној од контрола утиче на промене у другој контроли. Само наслеђене класе из *QtObject* могу применити механизам сигнала и слотова. *Widget* контроле имају пуно предефинисаних сигнала и слотова, али је могуће додефинисати нове по потреби.

Идеја је да један објекат може да пошаље сигнал о са информацијама насталој промени без знања да ли ће ту информацију неко прихватити. Други објекти се могу повезати на ту врсту сигнала, и при емитовању сигнала од стране првог објекта могу извести одређену акцију. Могуће је повезати само сигнале и слотове са истим параметрима. Слотови се коористе за пријем сигнала, али у суштини то су обичне *C++* функције тако да се могу извршити у било које време.

Изворни код 3.2: Дефиниција и емитовање сигнала

```
1 class Sender : public QObject
2 {
3     Q_OBJECT
4
5 public:
6     void sendSignal()
7     {
8         // Emit signal.
9         emit newMessage("Message text!");
10    }
11
12 signals:
13     void newMessage(QString message);
14 };
```

Изворни код 3.3: Дефиниција слота

```

1 class Receiver : public QObject
2 {
3     Q_OBJECT
4
5 public slots:
6     receiveMessage(QString message)
7     {
8         // Print received message to debug console.
9         qDebug() << message;
10    }
11 };

```

Сигнали и слотови се могу повезати на следећи начин:

Изворни код 3.4: Повезивање сигнала и слотова

```

1 QObject::connect(
2     sender,
3     SIGNAL(newMessage),
4     receiver,
5     SLOT(receiveMessage));

```

На један сигнал могуће је прикачити више слотова. Чекање на сигнал се може и укинути:

Изворни код 3.5: Укидање везе сигнала и слота

```

1 QObject::disconnect(
2     sender,
3     SIGNAL(newMessage),
4     receiver,
5     SLOT(receiveMessage));

```

Глава 4

Софтвер за детекцију трагова неутронске дозиметрије

Чему слижи софтвер.

Коме је намењен.

Портабилан.

Лак за коришћење.

4.1 Структура пројекта

Репозиторијум.

Организација пројекта.

Дијаграм класа.

Опис задужења сваке класе.

4.2 Начин употребе

Класично упутство за употребу. Слика алата са означеним основним деловима корисничког интерфејса. По реченица о сваком делу, касније опширенје.

4.2.1 Управљање пројектима

(у левом делу корисничког интерфејса)

Креирање пројекта.

Опције пројекта.

Добавање слике.

Опције слике.

4.2.2 Управљање прегледом слике

(Горњи, доњи и централни део корисничког интерфејса)

Одабир прегледа слике (оригинална, сиво скалирана, бинарна и тд.)

Манипулације slikom (зумирање).

Промена боја елемената на показаној слици.

4.2.3 Приказ и извоз резултата обраде

(десни део корисничког интерфејса + мени)

Приказ и објашњење контроле са резултатима.

Пример ЦСВ фајла који се експортује.

Извоз тренутног приказа.

4.2.4 Корекција обраде

Аутоматски резултати нису савршени, потребне су интервенције.

Подешавање параметара обраде слике

Подешавање прага бинаризације.

Примена филтера: блур и тд.

Корекција детектоване ротације слике

Како се врши корекција угла.

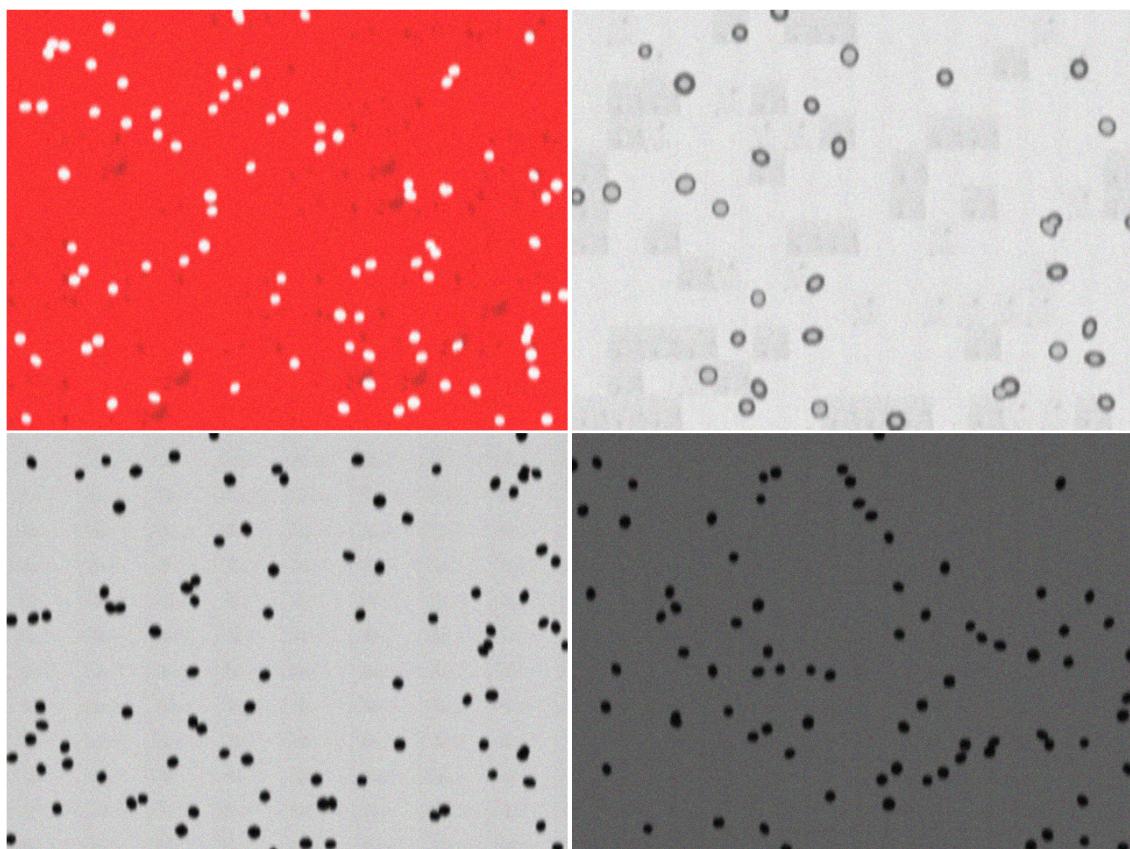
Корекција детектованих трагова

Корекција спојених трагова који нису раздвојени.

Глава 5

Анализа

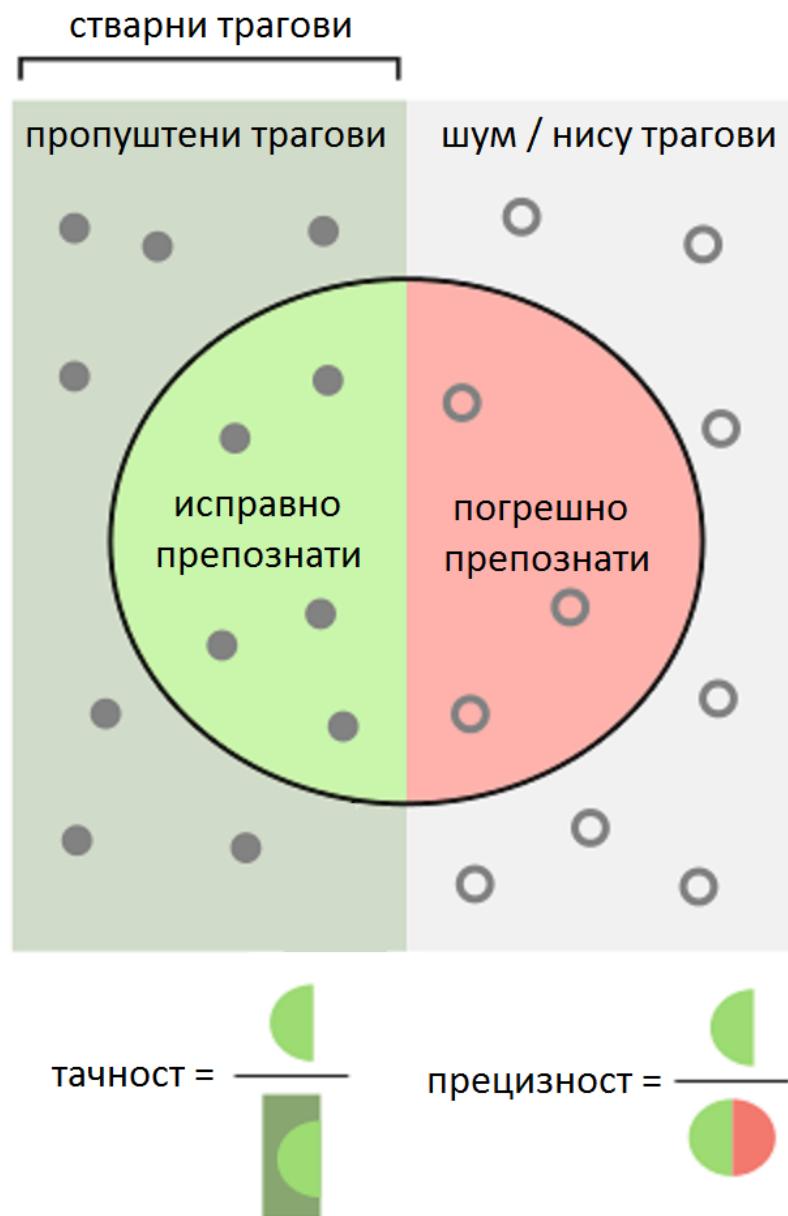
За мерење и вредновање детекције трагова неутронске дозиметрије генерисана су четри тест скупа по сто слика. Број трагова, њихова позиција и величина генерисани су насумице у задатом опсегу за сваку тест слику. Сваки тест скуп прављен је налик на репрезентативне примере пронађене на вебу. Први тест скуп слика садржи светле трагове на тамној подлози. Други тест скуп садржи слике са тамним траговима који имају сенку у средњем делу. Трећи и четврти скуп садрже тамне трагове на светлијој позадини, с тим да је контраст интензитета боје између трагова и позадине већи у трећем скупу слика.



Слика 5.1: Примери слика из тест скупова: (горе-лево) први тест скуп, (горе-десно) други тест скуп, (доле-лево) трећи тест скуп и (доле-десно) четврти тест скуп.

5.1 Резултати

Као метрике за вредноваље користе се *тачност* и *прецизност* система. *Тачност* представља однос исправно детектованих трагова према стварном броју трагова, док *прецизност* представља однос исправно детектованих трагова према укупном броју детектованих трагова.



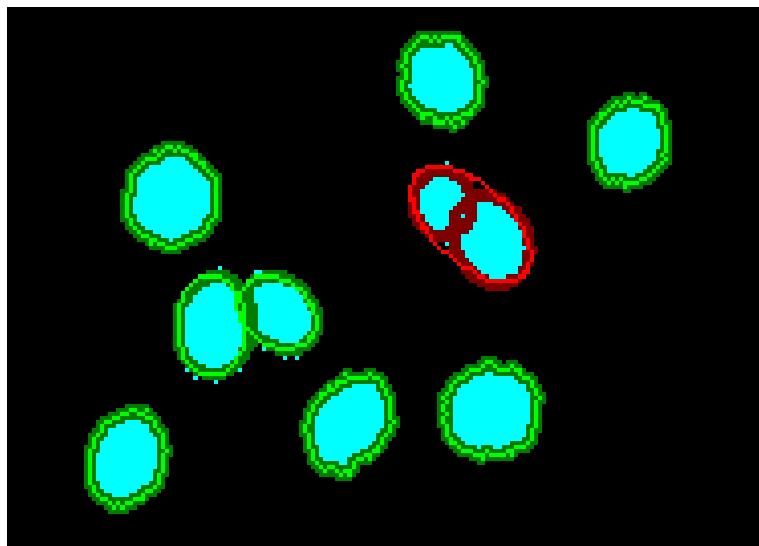
Слика 5.2: Тачност и прецизност

Написан је и програм који за сваку слику учитава податке о генерисаним траговима, извршава детекцију трагова и врши поређење. Резултат рада програма су *тачност* и *прецизност* на новоу целог тест скупа, а такође и на нивоу сваке појединачне тест слике уз генерисану слику са назначеним грешкама ради лакше анализе.

При мерењу тачности и прецизности одабран је *Otsu* аутоматски праг за бинаризацију, а остала подешавања попут изоштравања слике нису укључена.

Табела 5.1: Тачност и прецизност софтвера за детекцију неутронске дозиметрије

Тест скуп	Број слика	Број трагова	Без сегментације		Са сегментацијом	
			Тачност	Прецизност	Тачност	Прецизност
Први	100	6437	0.85	0.88	0.95	0.97
Други	100	4418	0.74	0.79	0.92	0.95
Трећи	100	6349	0.86	0.88	0.94	0.97
Четврти	100	6297	0.84	0.87	0.93	0.97

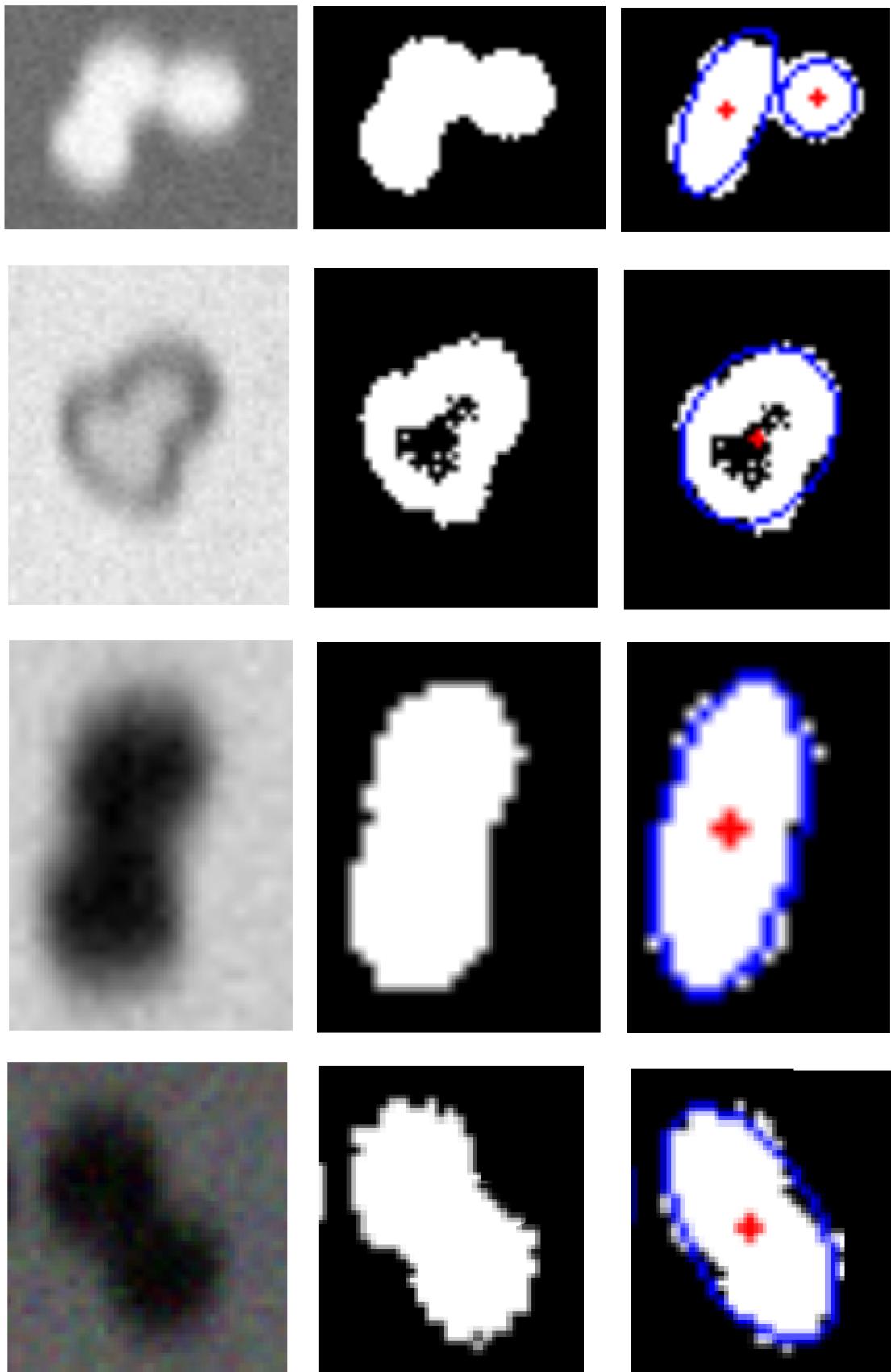


Слика 5.3: Анализа слике: зелено означени трагови су препознати исправно, црвено означени трагови су препознати погрешно (светло црвено означава шта је детектоване, а тамно црвено стварне трагове)

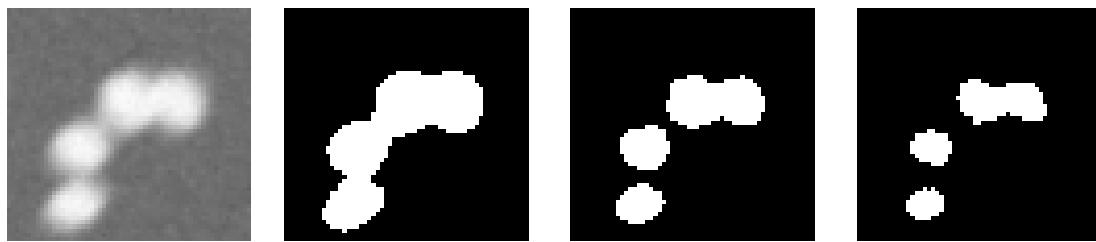
5.2 Најчешће грешке

Најчешће грешке у детекцији трагова неутронске дозиметрије приказане су на следећим slikama 5.4, 5.5, 5.6, 5.7 и 5.8 . Грешке углавном настају када се два или више трагова превише преклапају. У једном делу таквих случајева промена прага бинаризације може помоћи, међутим код других трагова то може довести до тога да детектовани траг буде значајно мањи од реалног трага. Код дела преклопљених трагова на којима детектор греши, границе трагова нису видљиве ни за људско око. Код преклопљених трагова проблем је и процена величине трага, део трага је сакривен иза једног или више других трагова и не врши се добра процена његове величине.

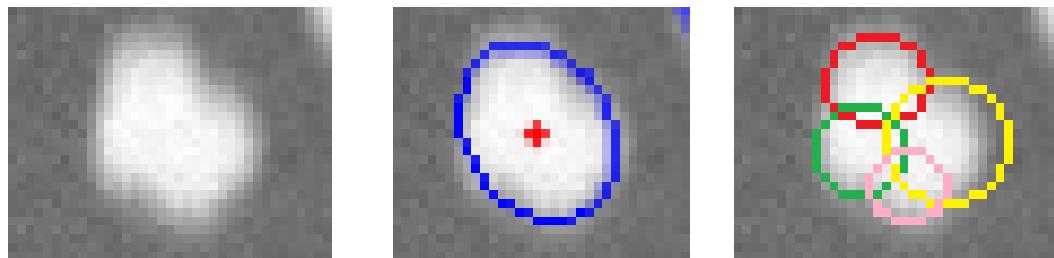
Додатно, код трагова са сенком у средишњем делу долази до тога да је траг, односно прстен трага сувише танак и да се сенка споји са позадином, чинећи да контура трага не буде затворена и за последицу препозната као више мањих трагова. Код преклапајући трагова који имају сенку у средишњем делу није искоришћено то својство. Тако да се код преклопљених трагова у неким случајевима граница, односно центри трагова могу наслутити преко сенке, али то није искоришћено.



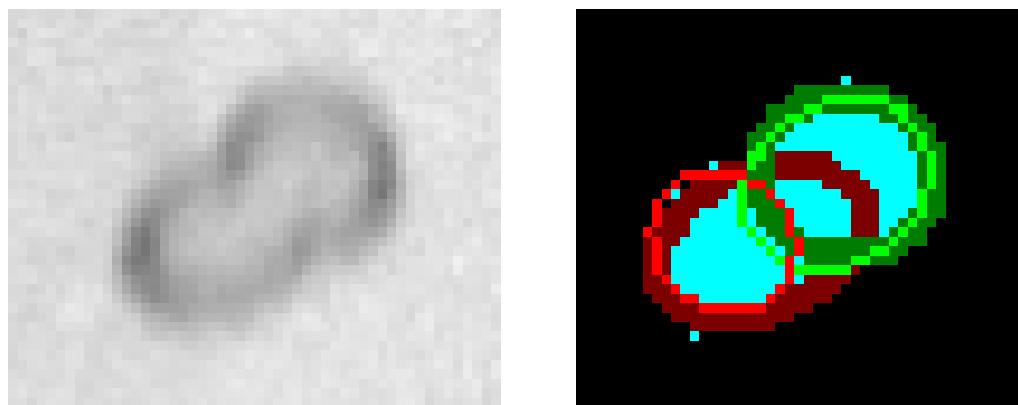
Слика 5.4: Честа грешка при детекцији преклопљених трагова: засебни трагови се могу разарнати људским око, али се на бинарној слици губе пиксели који ни на то указали



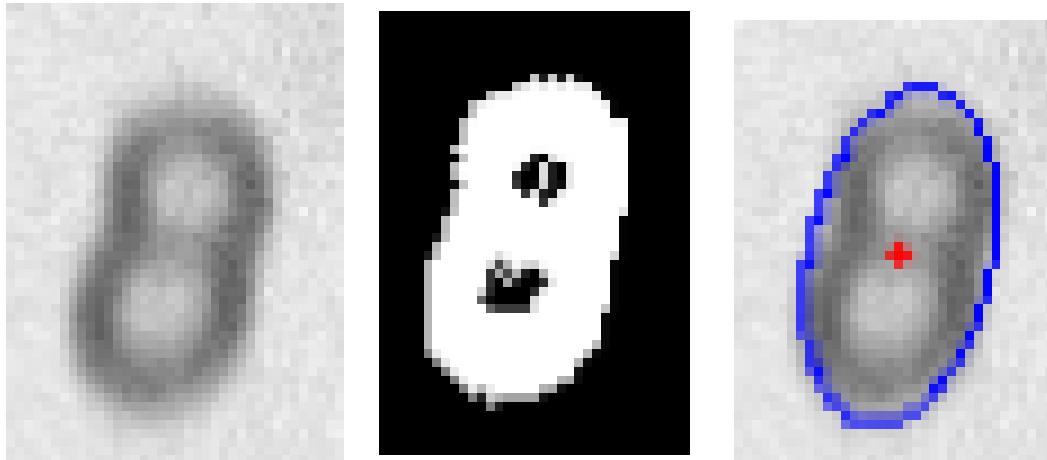
Слика 5.5: Код сегментације преклопљених трагова праг бинаризације битно утиче на исход. (i) Сиво скалирана слика. (ii) *Otsu* праг бинаризације (у датом случају 170) није увек одговарајући. (iii) У датом случају промена прага бинаризације на 190 даје боље резултате. (iv) Превише висок праг бинаризације (210) узрокује да детектовани трагови буду значајно мањи од реалних.



Слика 5.6: Грешка када се преклапа пуно трагова који формирају један велики траг. (i) Сиво скалирана слика. (ii) Детектовани траг. (iii) Генерисани трагови.



Слика 5.7: Код преклопљених трагова тешко се одређује права величина трага. (i) Сиво скалирана слика. (ii) Слика из анализе: Зелено означен траг је исправно препознат. Црвено означен траг се не рачуна као исправно детектован траг. Светло црвени је детектовани, а тамно црвени генерисани траг.



Слика 5.8: Грешка при сегментацији преклопљених трагова где би податак о сенци у средини трага могао да помогне при детекцији. (i) Сиво скалирана слика. (ii) Бинарна слика. (iii) Детектовани траг.

5.3 Дискусија

Сумирајући наведене резултате у табели 5.3 и посматрајући слике најчешћих грешака 5.4 - 5.8 можемо извести неколико закључака.

Детекција трагова неутронске дозиметрије има веома добру тачност ($\sim 93.5\%$) и високу прецизност ($\sim 97\%$). Успешност сегментације преклопљених трагова је добра (50-70%) поготово ако се узме у обриз да добар део ових проблема није решив ни за људско око.

Такође, важно је напоменути да није увек погодно користити подразумевана подешавања. На пример, *otsu* праг бинаризације не даје увек најбоље решење, те је стога потребно прилагодити праг бинаризације. Проблем са бинаризацијом може се решити или ублажити увођењем адаптивне бинаризације која би тражила најбољи праг бинаризације на мањем прозору уместо на целој слици. У том случају минимални и максимални дијаметар трага би морали строже да се задају, односно могла би и да се уведе процена величине трагова пре саме детекције.

Глава 6

Закључак

Циљ овог рада је био да понуди решење које ће автоматизовати и убрзати мерење густине трагова неутронске дозиметрије траг детектора *CR-39*. Тренутно тај процес се врши визуелном проценом броја трагова помоћу микроскопа.

Као резултат рада направљен је програм који обрађује слике неутранске дозиметрије и врши процену броја трагова, њихову позицију и величину. Такође, представљена је тачност и прецизност овог решења, као и најчешће ситуације у којима настају грешке. Програм омогућава промену подешавања обраде слика да би омогућио постизање бољих резултата.

Могу се навести могућности за даљи развој. Уколико би се рад наставио на сликама веће резолуције, систем би се могао унапредити да даје боље процене величине код преклопљених трагова. Може се додати детекција типа трага, односно детекција угла под којим је неутрон прошао кроз материјал и оставио траг. Затим, на основу угла, величине и интензитета трага може се извршити процена енергије неутрона који је оставио траг.

Библиографија

- [1] James Turner, *Atoms, Radiation, and Radiation protection*. Wiley-VCH, New York 2007.
- [2] <http://opencv.org>, *OpenCV* званична веб страна
- [3] <http://qt-project.org/>, *Qt* званична веб страна