

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Илије Попадића, дипломираног инжењера електротехнике.

Одлуком број 5037/09-3 од 24.2.2017. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Илије Попадића под насловом:

**„Примена технике формирања слика проширеног динамичког опсега у мониторингу лоше осветљене сцене“**

**„High dynamic range imaging implementation in scene monitoring under bad illumination“**

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

## РЕФЕРАТ

### 1. УВОД

#### 1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат је пријавио тему за израду докторске дисертације 23.06.2016. године.

Комисија за студије трећег степена је разматрала предлог теме за израду докторске дисертације и предлог Комисије о оцени подобности теме и кандидата, 28.06.2016. године. Одлука је упућена Наставно-научном већу на усвајање.

Наставно-научно веће на седници бр. 801 од 05.07.2016. године, донело је одлуку о именовању Комисије за оцену теме и кандидата (број одлуке 5037/09-1 од 11.07.2016. године.) у саставу:

1. др Александар Нешковић, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду
2. др Жељен Трповски, ванредни професор, Факултет техничких наука Универзитета у Новом Саду
3. др Марко Барјактаровић, доцент, Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

За ментора докторске дисертације предложена је др Ирини Рељин, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Усмена одбрана теме кандидата Илије Попадића је одржана 15.07.2016. године на Електротехничком факултету, уз присуство свих именованих чланова комисије и ментора. На основу одбране сачињен је Извештај.

30.08.2016. године одржана је седница Наставно-научног већа на којој је усвојен Извештај Комисије о подобности теме и кандидата и исти упућен Већу техничких наука на усвајање.

Веће техничких наука Универзитета у Београду је 19.09.2016. године дало сагласност на предлог теме докторске дисертације под насловом „Примена технике формирања слика проширеног динамичког опсега у мониторингу лоше осветљене сцене“ (број одлуке 61206-4508/2-16 од 19.09.2016. године.).

02.02.2017. кандидат је предао дисертацију и предлог Комисије за преглед дисертације.

14.02.2017. године Наставно-научно веће Факултета именовало је Комисију за преглед и оцену докторске дисертације Илије Попадића (број одлуке 5037/09-3 од 24.2.2017. године.) у саставу:

1. др Ирини Рељин, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду
2. др Александар Нешковић, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду
3. др Жељен Трповски, ванредни професор, Факултет техничких наука Универзитета у Новом Саду
4. др Марко Барјактаровић, доцент, Електротехнички факултет Универзитета у Београду.
5. др Вујо Дрндаревић, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

Студијски програм докторских студија студент је започео школске 2009/2010. године. По истеку законског рока за завршетак докторских академских студија, на захтев студента, одобрено је продужење рока за завршетак ових студија за још два семестра, сагласно Статуту Универзитета у Београду. Након што је Веће техничких наука Универзитета у Београду дало сагласност на предлог теме докторске дисертације, на захтев студента, одобрено је продужење рока за завршетак студија за још два семестра, на основу Одлуке бр. 24-06/24-2009/5037.

## 1.2. Научна област дисертације

Научна област у коју се сврстава докторска дисертација кандидата Илије Попадића, чији је наслов „Примена технике формирања слика проширеног динамичког опсега у мониторингу лоше осветљене сцене“, је Електротехника и рачунарство, а ужа научна област дигитална обрада сигнала/слике за коју је матичан Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

Студијски програм докторских студија студент је започео школске 2009/2010. године. По истеку законског рока за завршетак докторских академских студија, на захтев студента, одобрено је продужење рока за завршетак ових студија за још два семестра, сагласно Статуту Универзитета у Београду. Након што је Веће техничких наука Универзитета у Београду дало сагласност на предлог теме докторске дисертације, на захтев студента, одобрено је продужење рока за завршетак студија за још два семестра, на основу Одлуке бр. 24-06/24-2009/5037.

Дисертација је урађена под менторством др Ирини Рељин, редовног професора Електротехничког факултета Универзитета у Београду, која је квалификована за менторство овог доктората што је потврђено њеним релевантним радовима који су наведени приликом пријаве теме докторске дисертације кандидата.

### 1.3. Биографски подаци о кандидату

Илија Попадић је рођен 01.12.1982. године у Крагујевцу. Завршио је Прву крагујевачку гимназију 2001. године, у одељењу обдарених ученика математичке гимназије. Исте године уписао се на Електротехнички факултет у Београду. Дипломирао је у јануару 2008. године на одсеку за електронику, са темом „Дистрибуирани сензорски систем на бази Зиг-Би комуникације“, код ментора проф. др Лазара Сарановца. На докторске академске студије на Електротехничком факултету у Београду уписао се школске 2009/2010. године.

Након дипломирања, од фебруара 2008. године, запослен је у компанији Vlatacom, која од 2015. године послује као институт. У Институту Vlatacom је запослен на позицији инжењера за истраживање и развој, са фокусом на развој уређаја за специјалне намене. У децембру 2015. године. изабран је у звање вишег стручног сарадника од стране Научног већа Института Vlatacom. У оквиру деветогодишњег професионалног радног искуства руководио је или је као члан тима учествовао на већем броју пројеката који су реализовани у Институту Vlatacom. Тиме је стекао искуство на решавању разних индустријских проблема и остварио напредак у научно-истраживачком смислу. Био је носилац реализације два иновациона пројекта које је финансирало Министарство просвете, науке и технолошког развоја. Веома корисна активност за израду докторске дисертације било је водеће учешће у сарадњи Института Vlatacom и Florida Atlantic University у оквиру америчког програма сарадње индустрије са академским установама током 2015/2016. године.

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### 2.1. Садржај дисертације

Дисертација је написана на српском језику и обухвата 105 страна текста. Подељена је у шест поглавља, као што следи:

1. Увод,
2. Људско око,
3. Објашњење појмова HDR и HDR-like,
4. Опис предложеног метода,
5. Резултати и
6. Закључак.

После наведених поглавља следи списак коришћене литературе који укључује 113 референци. Дисертација садржи 49 слика и 5 табела.

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Прво поглавље представља увод, на чијем се почетку описују изазови у снимању сцена са широким динамичким опсегом (за њих се може рећи да су лоше, односно неједнако, осветљене) употребом стандардних сензора чији динамички опсег типично износи 50-60 dB. Тада долази до појаве да је динамички опсег сензора значајно ужи од динамичког опсега сцене која се снима. У оваквим ситуацијама није могуће истовремено снимити и јако осветљене и недовољно осветљене делове сцене, те значајан број детаља може остати неприказан на снимљеној слици. Описан је принцип избегавања поменуте ситуације применом начина снимања сцена широког динамичког опсега (*engl.* High Dynamic Range -

HDR). Тада се користе камере које или имају уграђене HDR сензоре, или користе фузију више различито експонираних слика са стандардних сензора. HDR решења се све више користе приликом снимања филмова, телевизијских садржаја и спортских догађаја, за прављење видео игара, као и у бројним другим применама. Постаје јасно да HDR технологија има веома перспективну будућност. Објашњено је да недостатак ове технологије представља уклапање у постојеће системе, пошто се захтева посебан формат за чување садржаја. Закључује се да је у описаној ситуацији погодно користити технологију која опонаша начин снимања сцена широког динамичког опсега, комбиновањем три слике различитих експозиција (подекспонирана, нормална и преекспонирана) у једну, због чега је ова метода названа HDR-like. У овом случају се садржај чува у стандардном формату, одакле произилази да се технологија може користити без икаквих инфраструктурних измена.

У другом поглављу, у циљу бољег разумевања будућних термина, величина и динамичког опсега, описано је људско око. Ово је такође битно јер принцип функционисања већине камера у значајној мери опонаша принцип функционисања људског ока. Представљена је грађа ока, принцип формирања слике у оку, као и могућности људског вида и његов динамички опсег. Описано је како светлост долази до мрежњаче у којој се налазе две врсте фоторецептора. Око 100 милиона фоторецептора осетљивих на светлост (чепићи су осетљиви на боје, док штапићи реагују на интензитет светла и учествују у стварању црно-беле слике) конвертују светлост у неуралну активност. Наведено је да је потпуна функционалност људског вида могућа у опсегу нивоа осветљаја од  $10^{-6}$  до  $10^8$  cd/m<sup>2</sup>, те је овај опсег упоређен са постојећим нивоима осветљаја који се налазе у нашем физичком окружењу. Представљена су два механизма адаптације које поседује људско око како би могло да детектује  $10^{14}$  нивоа осветљаја. Први механизам представља промена пречника дужице чиме се регулише количина светлости која улази у око. У другом механизму користе се две врсте фоторецептора за различите нивое осветљаја. Наглашено је да се коришћењем описаних механизма адаптације постиже динамички опсег ока од максималних 120dB, док се без употребе механизма адаптације динамички опсег своди на 40dB.

Треће поглавље детаљно описује појмове HDR и HDR-like. На почетку су представљене опште особине HDR-а, као и разлика у односу на стандардни динамички опсег (*engl.* Low Dynamic Range - LDR). Објашњено је да HDR слике обухватају велики и веома прецизан простор боја, тако да се њиховом употребом могу превазићи проблеми који се тичу различитих простора боја. Због ове чињенице је верност репродукције HDR слика много већа од верности репродукције конвенционалних LDR слика. Наравно, за приказ свих информација које HDR слике носе у себи неопходан је посебан тип дисплеја. Дисплеји са подршком за HDR технологију се у последње време све више појављују на тржишту по комерцијално прихватљивим ценама, иако је до пре неколико година било могуће купити једино референтне дисплеје по цени од неколико десетина хиљада долара. У овом поглављу описан је принцип интеграције HDR технологије у постојеће системе, било да се приказ слике врши на LDR или HDR дисплејима. Детаљно су анализирани постојећи формати за чување и представљени најпознатији начини генерисања HDR слике (који углавном користе одзивну функцију камере). У циљу детаљнијег упознавања HDR опреме, у трећем поглављу се говори и о сензорима, оптици, камерама, као и о дисплејима и телевизорима који су тренутно доступни на тржишту. Посебна пажња посвећена је операторима тонског мапирања који врше компресију HDR слике у LDR формат. На крају поглавља говори се о специфичностима HDR-like слике. Наглашено је да није увек неопходно имати сачувану HDR слику у пуном формату, већ да се техником фузије резултујућа слика „обогати“ са што више детаља који су присутни на само једној од изворних слика. Ово практично значи представљање сцене широког динамичког опсега LDR сликом. На самом крају представљени су и познати алгоритми за формирање HDR-like слике.

Четврто поглавље представља детаљан опис новог метода за генерисање HDR-like слике. На почетку је објашњено да у ситуацијама када је динамички опсег сцене знатно шири од

динамичког опсега сензора (због ограничења A/D конвертора), бројни детаљи са сцене неће бити адекватно приказани на слици. Главни циљ предложеног метода је да се побољшају постојеће функционалности примарно индустријских камера, уз што мање измене и што ниже трошкове имплементације. Предложена је архитектура у којој нема потребе за модификацијом постојећег софтвера камере, тако да се уз минималне модификације хардвера омогући рад у реалном времену, па је метод могуће имплементирати у FPGA или неком другом чипу специјалне намене. Објашњено је да у циљу постизања рада у реалном времену предложени метод манипулише са сликом на глобалном нивоу, за разлику од постојећих који имају локални карактер и врше израчунавања на нивоу сваког пиксела. Детаљно је описана организација и функционисање метода који је састављен од следећа три потпуно независна алгорита: алгорита за процену оптималности времена аутоматске експозиције, алгорита који одређује време експозиције додатних слика, као и алгорита за креирање HDR-like слике фузијом претходно добијених слика. Три наведена алгорита извршавају се секвенцијално, један за другим. Први алгоритам врши процену квалитета експозиције слике на основу вредности аутоекспозиције коју задаје алгоритам које је фабрички уграђен у камеру. Ова процена се обавља без коришћења референтне слике. На основу дефинисаних зона на крајевима хистограма и односа броја компонената хистограма у овим зонама дефинише се однос који представља меру квалитета експозиције слике. Према коефицијенту који представља меру квалитета експозиције слике одређују се вредности експозиција додатних слика које треба снимити, што је функционалност другог алгорита. Објашњено је да када је вредност аутоекспозиције добро израчуната, овај коефицијент има вредност која је приближна броју 1. У зависности од вредности овог коефицијента одређују се експозиције додатних слика на основу дефинисаних зона чији су прагови утврђени експерименталним путем. Рачунање конкретних експозиција врши се на основу предложених једначина. Коначно, трећи алгоритам бави се фузијом слика које су добијене на претходно описани начин. Приликом презентовања овог алгорита приказано је неколико могућих начина фузије слика и одабран најбољи од њих. Такође, утврђено је да се најбољи резултати добијају фузијом слика у YCbCr простору, јер резултујуће слике имају природне боје, што је веома битно, насупротив увреженом мишљењу да овако генерисане слике изгледају „испрано“.

Пето поглавље се односи на излагање и оцену резултата новог метода за генерисање HDR-like слика. Циљ је да се применом сва три алгорита од којих је метод састављен покажу његове перформансе и јасно уочи да резултујуће слике имају више приказаних детаља у односу на било коју од полазних слика. Наглашено је да је због поновљивости резултата одлучено да тестирање буде извршено коришћењем слика из јавно доступне базе која је доступна на сајту групе за мултимедијалну обраду сигнала са EPFL у Лозани. Поред поменутог извора слика за тестирање метода је коришћена и самостално креирана база слика, са описаним начином снимања сетова слика. У овом поглављу представљени су резултати примене метода у програмском пакету MATLAB. У оквиру дела за оцену резултата прво је објашњен принцип поређења. У обзир је узето осам познатих алгорита и одређени сет изворних слика. Упоредене су резултујуће слике, као и времена њиховог извршавања.

Шесто поглавље представља закључак, у коме се наводе перспективе будућег развоја HDR технологије. Очекивања су да ће постати широко распрострањена, чему иду у прилог чињенице да се мноштво филмова већ снима коришћењем ове технологије, а и да је дистрибутери видео садржаја користе у својој понуди. Слика која се направи коришћењем HDR технологије верније представља снимљену сцену. Наглашено је да је најбољи начин за снимање HDR садржаја управо коришћење сензора који за то имају уграђену подршку, иако се у многим примерима користе LDR сензори и врши спајање слика на адекватан начин. Међутим, и поред свих предности које се постижу употребом HDR технологије, њени значајни недостаци су „кабасти“ формат (који заузима четири пута више меморијског простора од стандардног формата), као и немогућност директног приказа на LDR дисплејима, без икаквих модификација. Наглашено је да је ово утицало на мотивацију за

унапређење постојећих слика генерисањем HDR-like слике, како би се премостио јаз који постоји између изузетно квалитетне (и меморијски захтевне) HDR слике и LDR слике која се може уклопити у већину постојећих инфраструктура. Додатни акценат је стављен на оптимизацију метода за рад у реалном времену, као и на реализацију самог метода. На крају је сумирано шта представља стварни допринос научног истраживања које је спроведено за време трајања израде дисертације, а такође и шта је проистекло као резултат тог истраживања.

### 3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Како би се потврдила савременост теме која је описана у дисертацији, довољно је анализирати тржиште уређаја потрошачке електронике који се појављују у скорије време и уочити колико њих има способност снимања слике и видео садржаја. Упоредо са повећањем броја уређаја, расте и конкуренција, па самим тим и жеља купаца за све бољим квалитетом. Када се говори о слици или видео садржају, поред повећања просторне резолуције, највећи напредак може се постићи повећањем динамичког опсега јер се на тај начин, између осталог, повећава и број детаља који су присутни на слици. Произвођачи уређаја свесни су значаја HDR технологије као и чињенице да њеном имплементацијом у нове уређаје могу остварити већи профит. Код неких уређаја није могуће потпуно имплементирати HDR технологије због ограничења појединих компонената (као што је нпр. дисплеј) јер би њихово уграђивање у производе било превише скупо. Решење за превазилажење описаног проблема је управо у примени HDR-like технологије, иако је многи произвођачи називају као HDR, што она заправо није. Мотивација у изради ове дисертације везана је за имплементацију HDR-like технологије у уређаје где она не постоји, циљано пре свега на камере које се користе у индустрији, уз минималне модификације. Ово оправдава савременост дисертације.

Оригиналност лежи у приступу да се извршавање коначне имплементације метода обавља потпуно аутоматски, без икакве потребе за присуством човека, а да притом нема никаквих модификација у постојећем софтверу камере. На јединствен начин врши се процена квалитета експозиције слике чије параметре задаје алгоритам уграђен у фабрички софтвер камере. Такође, на јединствен начин врши се и одређивање експозиција нових слика, као и њихова фузија у резултујућу слику. Оригиналност идеје потврђена је позитивном оценом рецензената приликом публиковања рада у врхунском међународном часопису.

#### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Сва коришћена литература у дисертацији обухвата 113 референци. Треба нагласити да су све референце примерено цитиране у деловима текста дисертације који се односи на њих. Током упознавања са облашћу истраживања акценат је био на оној литератури која се уобичајено користи у академској заједници, у шта спадају референтне књиге, одговарајући радови са конференција или из адекватних часописа, као и неке новије докторске дисертације. У наредним фазама истраживања и имплементације коришћене су референце које се односе на значајна решења чија би примена могла бити од користи. Поред извора са статистичким анализама, коришћени су и сајтови релевантног софтвера, произвођача одговарајуће опреме и специјализованих компонената, итд. Такође, наведени су и извори са материјалом који служи за поређење развијеног метода са онима који су актуелни. У литератури је референцирано и неколико личних радова кандидата који представљају резултат његовог истраживања приликом израде докторске дисертације.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Предложени метод је састављен од три алгорита и секвенцијалним извршавањем ових алгоритама долази се до жељених резултата. Током развоја и имплементације ови алгоритми су посматрани као независне изоловане целине јер је тако било лакше контролисати их и уочити евентуалне неправилности. Сходно наведеном, развој се одвијао према следећим корацима, при чему је у свим експериментима коришћена јавно доступна база слика:

- Основна функционалност првог алгорита је да се на основу слике одреди квалитет њене експозиције, без коришћења референтне слике, дајући као излаз одређену вредност. До решења се дошло применом метода итеративног поступка тако што је утврђена одређена правилност у дефинисаним зонама хистограма када је слика имала субјективно добру вредност експозиције. Ове вредности су се поклапале и са вредностима највеће ентропије.
- Задатак другог алгорита је да на основу излазне вредности првог алгорита одреди коефицијенте којима се множи почетна експозиција за снимање додатних слика које ће учествовати у фузији. Решење проблема предстаља дефинисање одређених зона које се везују за коефицијенте. Овде је такође примењен итеративни поступак.
- Трећи алгоритам врши фузију снимљених слика и веома је битно да се одабере адекватан начин на који ће ове слике бити спојене. Зато је примењен принцип поређења резултата четири врсте фузије како би на основу њих могла да се одабере она која даје најбоље резултате.

Адекватност развијеног метода потврђена је упоређивањем добијених резултата и времена извршавања са резултатима и временима извршавања постојећих решења. За поређење резултатујућих слика примењен је субјективни метод.

### 3.4. Применљивост остварених резултата

Главни циљ истраживања и развоја спроведеног током трајања израде докторске дисертације био је примена стеченог знања и искустава у индустрији. Све време трајања докторских студија кандидат је био запослен у Институту Vlatacom и радио на истраживачко-развојним пројектима. Током рада на развоју камера специфичних намена, уочен је ефекат да нису увек снимљени сви детаљи са сцене које може уочити човек и било је јасно да је проблем везан за динамички опсег сензора који је уграђен у камеру. Описани проблем утицао је на мотивацију кандидата за проналажење општег решења које би нашло своју примену. Ово решење може да се користи за побољшање перформанси разних камера које се употребљавају у индустрији, продају се као модули и немају механичка ограничења, тако да се на једноставан начин могу вршити измене у хардверу. Додатно треба истаћи циљ да нема измена у фабричком софтверу камере. Конкретна примена је у снимању неједнако осветљених сцена када се губи значајан број детаља који су у сенци или у мраку, а такође и они детаљи који се налазе у преосветљеним регионима. Примена HDR-like технологије, имплементиране у развијеном и предложеном методу, у оваквим ситуацијама се значајно побољшава квалитет снимљеног и репродукованог садржаја. Такође, сваки од развијених алгоритама се може применити и у некој другој ситуацији када је потребно, на пример, одредити квалитет експозиције неке слике без коришћења референтне слике, извршити фузију слика итд.

### 3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат Илија Попадић је активностима везаним за израду своје докторске дисертације, као и оствареним резултатима и достигнућима, потврдио способност за рад у научно-истраживачком домену. Паралелно са радом на изради тезе, кандидат је све време био запослен у Институту Vlatasom чије га је Научно веће изабрало у звање вишег стручног сарадника. У Институту Vlatasom бавио се истраживачко-развојним пројектима. Тиме је, поред академског, стицао и драгоцено професионално искуство развоја уређаја у разним областима индустрије. Неке од ових референци укључују развој уређаја за биометрију, специјализованих камера, специјалних уређаја за контролу саобраћаја, криптографских решења итд. Искуство из индустрије играло је кључну улогу приликом доношења одлука и идејних решења за реализацију развијеног метода. Остварени резултати представљају оригиналан допринос, чиме је кандидат уједно изразио своју креативност, упорност, доследност, самосталност и способност да искористи знања прикупљена током истраживања и примени их у конкретном решењу. У академском смислу кандидат је способан да осмишља и спроводи експерименте, обрађује и анализира податке, презентује резултате рада научној заједници објавом компетентних научних радова, и на крају да примени резултате истраживања у виду развоја нових метода, производа или комплетних решења. Све претходно наведене чињенице потврђују способност кандидата за самостални научни рад.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Основни допринос докторске дисертације представља развој потпуно новог метода чији је циљ имплементација HDR-like технологије у постојеће индустријске камере које ову технологију не подржавају. Тиме је остварен значајан научни напредак и допринос у области истраживања који се може представити и кроз следеће резултате:

- Детаљна анализа доступне литературе и преглед постојећих решења како би се направила добра полазна основа за будуће истраживачке активности које су везане за дисертацију. Ово омогућава да се квантификује допринос и изврши поређење развијеног решења са постојећим решењима.
- Јединствен приступ проблему манипулације сликом тако што се глобално множи цела слика истим коефицијентом. Једноставна манипулација сликом омогућавања коначну имплементацију методе у реалном времену, што је веома битно за све наменске системе за обраду слике. Нарочито треба нагласити да је у циљу једноставније имплементације нарочито вођено рачуна о смањењу комплексности, тако да метод и поред постизања високе тачности није рачунарски захтеван.
- Метод се реализује у модификованој архитектури тако да процесор који је раније комуницирао са сензором нема информацију да је дошло до било каквих промена. Сви синхронизациони и комуникациони сигнали које је процесор слао и примао треба да остану исти, али је добијена резултујућа слика побољшана. Веома је битно да нема потребе ни за каквим убрзањем нити оптимизацијама на главном процесору камере.
- Јединствена архитектура омогућава да нема промена у софтверу камере, што је од изузетне важности јер произвођачи камера углавном не дозвољавају кориснички приступ изворном коду нити вршење било каквих модификација унутар софтвера камере, те нуде оперативне системе без дозволе права уписа за оно што би корисник желео.
- Током анализе скупова слика које припадају јавно доступним базама утврђена је повезаност добре вредности експозиције слике са вредношћу ентропије. Што је



квалитетнија експозиција, на њој је присутно више детаља, па је самим тим и вредност ентропије већа.

- Значајан допринос је дефинисање коефицијента који је повезан са квалитетом експозиције слике. Коефицијент представља однос броја компонената које се налазе у одређеном броју највиших и најнижих компонената хистограма, тако да што је овај однос ближи броју 1, то је квалитет експозиције бољи. Креирани алгоритам за процену квалитета експозиције слике представља имплементацију рачунања дефинисаног коефицијента.
- Предложен је начин за рачунање вредности експозиција додатних слика које ће учествовати у финалној слици. Допринос се огледа у одабиру вредности експозиција на основу дефинисаних зона тако да се сниме одређени детаљи који ће бити уочљиви само на жељеној слици и ово је имплементирано у одвојеном алгоритму.
- Испитивана је фузија слика у различитим просторима боја, предложено је неколико могућности и одређен је најбољи начин на основу резултата експеримената. Треба истаћи да квалитетна фузија слика, уз одржање боје присутне на изворним сликама, представља изузетно осетљиво питање. Резултати описаних истраживања имплементирани су у алгоритму који је задужен за адекватну фузију изворних слика у унапређену финалну слику.
- У циљу остваривања поновљивости резултата извршено је тестирање комплетног метода укључујући сва три његова алгоритма над јавно доступном базом слика.
- Коначно, треба истаћи допринос који се остварује у мониторингу лоше осветљених сцена, кад адолазе до изражаја неједнаки осветљаји. Детаљи који су присутни на само једној од изворних слика уочљиви су на финалној слици и то је од огромне важности у многим ситуацијама.

#### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Веома важно у истраживачком смислу је извршити поређење постигнутог решења са постојећим стањем у технологији, тј. у компаративном смислу дефинисати шта су предности, а шта недостаци остварених достигнућа. Када се посматра развијени метод чији је циљ имплементирање HDR-like технологије, може се рећи да се предности реализације огледају у следећем:

- Цела слика се на једноставан начин множи истим коефицијентом, тако да не постоји матрица тежинских фактора, као што је уобичајено и може да буде рачунарски веома захтевно и у имплементационом смислу. Самим тим, значајно се скраћује време извршавања метода.
- Могућа је имплементација метода тако да ради са сликом у YUV формату, директно на ланцу обраде слике, чиме се избегавава конверзија формата YUV у RGB и обрнуто, јер се фузија обавља у YUV простору боја.
- Предложени метод представља комплетно решење за имплементацију и у оквиру блоковске реализације 3 одвојена алгоритма, на основу иницијално задатог параметра ауто-експозије камере, генерише HDR-like слику.

Што се тиче недостатака или идеја за будући развој, како би развијени метод био унапређен, може се издојити следеће:

- Уколико постоје брзи покрети на сцени, они неће бити адекватно процесирани, али то је заједнички недостатак скоро свих постојећих алгоритама. Ово може бити предмет будућих истраживачко-развојних активности.

- Развијени метод подразумева познавање протокола за комуникацију процесора са сенzorом, те би ово било добро направити да буде још уопштеније у будућим реализацијама.
- Било би добро тестирати развијени метод на додатним базама слика са још више узорака у циљу даљег унапређења остварених резултата. Такође, значајно би било осмислити објективну меру прецене квалитета резултата.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

Кандидат је за време трајања докторских студија публиковао значајан део свог истраживања. У наставку је категоријама приказан списак радова који су проистекли из доктората, користећи Правилник о поступку, начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије:

##### Категорија M21:

1. **Popadić I**, Todorović B, Reljin I; „Method for HDR-like Imaging using Industrial Digital Cameras“, *Multimedia Tools and Applications (Springer)*, ISSN 1380-7501, IF= 1.331 (2015), DOI: 10.1007/s11042-016-3692-8, accepted for publication, 2016.

##### Категорија M33:

1. Cvetković J, Vujić S, **Popadić I**, Makarov A; „Universal Battery Management System in a Handheld Device“, 16th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference (MELECON), Yasmine Hammamet, Tunis; 2012; pp. 975-978; ISBN 978-1-4673-0782-6.
2. Kocić J, **Popadić I**, Livada B; „IMAGE QUALITY PARAMETERS: A short review and applicability analysis“, Proceedings of the 7th International Scientific Conference on Defensive Technologies (OTEH 2016), Belgrade, Serbia; pp. 391-397; ISBN 978-86-81123-82-9.
3. **Popadić I**, Todorović B; „Image fusion based on the multi-exposed images“, Proceedings of the 24th Telfor; Belgrade, Serbia; pp. 739-742; 2016; ISBN 978-1-5090-4085-8.

##### Категорија M63:

1. **Popadić I**, Elazar J; „Kontroler LED displeja koji se koristi za regulaciju saobraćaja“, 54. ETRAN; Donji Milanovac, Srbija; Društvo za ETRAN; pp. EL4.7-1-4; 2010; ISBN 978-86-80509-65-5.
2. **Popadić I**, Todorović B, Kocić J; „Algoritam za proveru kvaliteta ekspozicije slike“, 60. ETRAN; Zlatibor, Srbija; Društvo za ETRAN; pp. TE 1.7.1-6; 2016; ISBN 978-86-7466-618-0.
3. Kocić J, Radisavljević M, Vujić S, **Popadić I**; „Komparativna analiza kvaliteta slike kamera visoke osetljivosti u uslovima slabog osvetljenja“, 60. ETRAN; Zlatibor, Srbija; Društvo za ETRAN; pp. EK2.1.1-6; 2016; ISBN 978-86-7466-618-0.

##### Категорија M82 (техничка решења):

1. Perić M, **Popadić I**, Latinović N, Perić D, Trifunović M, Vučetić M, Orlić V; „Generator potpuno slučajnih binarnih sekvenci velike brzine rada“, Institut Vlatacom, 2016.

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Резултат рада на докторској дисертацији кандидата Илије Попадића представља развој и евалуацију потпуно новог метода чији је циљ унапређење квалитета слике приликом њене аквизиције у смислу повећања броја присутних детаља спајањем информација са три слике различите експозиције у једну. Значајан научни допринос огледа се у начину одређивања квалитета експозиције слике без коришћења референтне слике, потом у одређивању вредности експозиција додатних слика са којих ће бити искоришћене информације, као и коначној фузији у резултујућу слику. Резултати спроведеног истраживања применљиви су за снимање сцена са неједнаким осветљајима стандардним индустријским камерама у које је имплементиран предложени метод. Кандидат је радом на дисертацији показао способност самосталног научног рада, што укључује истраживачке активности и коначну реализацију решења једног проблема. Анализирајући докторску дисертацију у целини Комисија сматра да дисертација испуњава све критеријуме који се примењују приликом вредновања једне докторске дисертације.

Узимајући у обзир претходно наведене чињенице, Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета да се докторска дисертација под називом „Примена технике формирања слика проширеног динамичког опсега у мониторингу лоше осветљене сцене“ кандидата Илије Попадића прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, као и да одобри кандидату усмену одбрану.

У Београду, 28.02.2017. године.

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



др Ирини Рељин, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Александар Нешковић, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Жељен Трповски, ванредни професор  
Универзитет у Новом Саду – Факултет техничких наука



др Марко Барјактаровић, доцент  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Вујо Дрндаревић, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет