

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Владимира Ковачевића.

Одлуком Наставно-научног већа бр. 5049/10-3 од 07.12.2015. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Владимира Ковачевића, мастер инжењера електротехнике и рачунарства, под насловом

### ЕСТИМАЦИЈА ПОКРЕТА У ВИДЕО СЕКВЕНЦАМА ПРИЛАГОЂЕНА АЛГОРИТМИМА ЗА ПОВЕЋАЊЕ БРОЈА СЛИКА У СЕКУНДИ

После прегледа достављене дисертације, као и других пратећих материјала и разговора са кандидатом, Комисија је сачинила следећи

## РЕФЕРАТ

### 1. УВОД

#### 1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Владимир Ковачевић, мастер инжењер електротехнике и рачунарства, је 12.06.2014. године пријавио тему докторске дисертације под насловом „Естимација покрета у видео секвенцама прилагођена алгоритмима за повећање броја слика у секунди“. Одлуком Наставно-научног већа бр. 5049/10-1 од 14.07.2014. године, именована је Комисија за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације и научне заснованости теме у саставу:

1. др Милан Бјелица, доцент, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет,
2. др Андреја Самчовић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет,
3. др Милан Прокин, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
4. др Лазар Сарановац, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

За ментора је именована др Ирени Рељин, редовни професор Електротехничког факултета у Београду.

Усмена одбрана теме одржана је на Електротехничком факултету, 03.09.2014. године. На усменој одбрани су били присутни сви чланови Комисије. Одбрана је почела тако што је кандидат изложио предмет, циљ и методологију свог истраживања, као и мотивацију за њега. Потом су чланови комисије кандидату поставили неколико питања из области истраживања. На сва ова питања, кандидат је одговорио, што је Комисија потврдила оценом "задовољно". На основу одбране, као и поднетог Образложења теме, Извештај о подобности теме и кандидата Владимира Ковачевића, за израду докторске дисертације под називом „Естимација покрета у видео секвенцама прилагођена алгоритмима за повећање броја слика у секунди“ је поднела комисија у саставу:

1. др Ирини Рељин, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
2. др Милан Бјелица, доцент, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет,
3. др Андреја Самчовић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет,
4. др Милан Прокин, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
5. др Лазар Сарановац, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

Наставно-научно веће Електротехничког факултета у Београду је прихватило горе наведени Извештај на својој седници од 18.11.2014. године.

Веће техничких наука Универзитета у Београду је 22.12.2014. године донело одлуку бр. 61206-5770/2-14 о прихватању теме.

Коначно, Наставно-научно веће Електротехничког факултета је одлуком бр. 5049/10-3 од 07.12.2014. године именовало Комисију за преглед и оцену докторске дисертације Владимира Ковачевића, у саставу:

1. др Ирини Рељин, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
2. др Милан Бјелица, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет,
3. др Андреја Самчовић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет,
4. др Милан Прокин, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
5. др Лазар Сарановац, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

## 1.2. Научна област дисертације

Научна област докторске дисертације под насловом „Естимација покрета у видео секвенцама прилагођена алгоритмима за повећање броја слика у секунди“ кандидата Владимира Ковачевића је Електротехника и рачунарство, а ужа научна област Телекомуникације, подобласти Телевизија и Мултимедија. За наведену област матичан је Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

Дисертација је урађена под менторством др Ирини Рељин, редовног професора Електротехничког факултета Универзитета у Београду. Ментор има научне радове из уже научне области која је предмет дисертације кандидата. Поред тога, ментор предаје више предмета на Катедри за телекомуникације и информационе технологије на

Електротехничком факултету, који су у вези са предметом дисертације. Релевантни радови ментора су наведени приликом пријаве теме докторске дисертације кандидата.

### 1.3. Биографски подаци о кандидату

Владимир Б. Ковачевић је рођен 01.11.1984. године у Вуковару. Школовање је започео у Ковину где се преселио 1991. године. По досељавању у Панчево и завршетку Основне школе “Васа Живковић” (где је био ђак генерације), уписао је Гимназију “Урош Предић”. У току школовања, све четири године је био учесник републичких такмичења из математике, што је непосредно утицало и на избор његове будуће професије. Гимназију је завршио 2003. године као добитник Вукове дипломе. Исте године је уписао Електротехнички факултет у Београду, на одсеку за Рачунарску технику. Основне студије је завршио октобра 2007. године са просечном оценом у току студија 8.34, одбранивши завршни рад са оценом 10 код професора Зорана Јовановића.

Мастер студије је завршио на Одсеку за електронику 2009. године просечном оценом у току студија 10. Мастер рад под називом „Дигитални филтри у систему за конверзију видео сигнала“ одбранио је код професора Лазара Сарановца. У новембру 2010. је уписан на докторске студије на Одсеку за телекомуникације.

Професионалну каријеру Владимир Ковачевић је започео у октобру 2007, у новооснованој компанији Омегатек. Од априла 2009. године до октобра 2010. године радио је у Институту Михајло Пупин – Телекомуникације, на развоју везаном за бежичне сензорске мреже. Новембра 2010. године запослио се у компанији *Silicon Hive*, коју је четири месеца касније купила Интел корпорација. Од аквизиције (припајања) фирми, Владимир Ковачевић је радио на развоју алгоритама за процесирање дигиталних слика и видео секвенци прилагођених извршавању на Интеловим мобилним платформама.

Као посебне целине на којима је В. Ковачевић радио могу се истаћи:

- *Frame Rate UpConversion (FRC)* за Интелову *Merrifield* платформу,
- Дизајн и имплементација комуникационог чвора за бежичне сензорске мреже,
- Контрола HDR алгорита за видео (*Video HDR for Intel Skylake*).

Кандидат је носилац три патента, од којих је на два први потписник.

### 1.4. Стечено научноистраживачко искуство

Мастер рад под називом „Дигитални филтри у систему за конверзију видео сигнала“ одбранио је код професора Лазара Сарановца. У новембру 2010. је уписан на докторске студије на Одсеку за телекомуникације.

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација је написана у осам поглавља, на 90 страна текста. Садржи спискове скраћеница, 44 слике, 5 табела, као и списак 38 коришћених референци.

Садржај рада:

1. Увод
2. Преглед постојећих алгоритама за естимацију покрета

3. Блокoвска корелациона метода естимације кретања
4. Резултати и тестирање
5. Закључак

Дисертација кандидата садржи и два додатка. У првом су дефинисане методе за поређење слика, а у другом су приложене патентне пријаве које се заснивају на резултатима предложене дисертације.

## 2.2. Кратак приказ појединих поглавља

У уводу докторске дисертације је објашњена естимација покрета у видео секвенцама и њен значај као једне од најзначајнијих области везаних за обраду и процесирање видео секвенци. Користи се у алгоритмима за видео компресију, видео стабилизацију, поравнање слика (*alignment*) и повећање броја слика (фрејмова) у секунди (у даљем тексту *frame-rate upconversion* конверзију). *Frame-rate upconversion* подразумева повећање броја фрејмова у видео секвенци креирањем нових уз коришћење претходно естимираног кретања и пиксела оригиналних фрејмова. На тај начин временско трајање видео секвенце остаје непромењено, али се повећава број фрејмова који се приказује на дисплеј уређају у јединици времена. Предмет истраживања је везан за естимацију покрета прилагођену употреби у *frame-rate upconversion* алгоритмима са фокусом на постизање што мање сложености.

У другом поглављу предложене дисертације, описана су постојећа решења и алгоритми за естимацију кретања. Описани су типови естимације који се користе у израчунавању вектора помераја, као што су: блокoвске, корелационе, блокoвско-корелационе, методе са оптичким током, методе са додатним процесирањем.

У трећем делу описан је нови алгоритам који врши естимацију кретања на методи заснованој на блокoвској корелацији. Метода се заснива на блок мечинг корелационом (*Block Matching Correlation*, БМК) приступу. Она комбинује снагу специјално прилагођене фазне планарне корелације (*Customized Phase plane correlation*), ПФПК и блок мечинг (*Block matching*, БМ) приступа. ПФПК има два нивоа хијерархије:

1. Глобална фазна планарна корелација (*Global Phase Plane Correlation*) дели фрејм на 4 региона једнаке величине који заједно покривају највећи могући део фрејма. Сваки од региона се смањује (*downscaling*) са фактором који је степен броја 2 (ради лакше имплементације) до величине стандардног ФПК региона. Фактор смањења зависи од резолуције фрејма. Потом се на смањеном региону врши ПФПК.
2. Локална фазна планарна корелација (*Local Phase Plane Correlation*) дели фрејм на једнаке регионе чија је величина једнака величини стандардног ФПК региона или 2 пута већег од њега по хоризонтали или вертикали, у зависности од резолуције фрејма. ПФПК се врши над сваким од добијених региона.

Четврти део описује резултате описаног алгоритма, као и његово поређење са постојећим решењима. Предложена блокoвска корелациона естимација се може користити у више различитих апликација а њена евалуација је вршена на примеру алгоритма за повећање броја фрејмова у секунди у видео секвенцама. Вршено је поређење са поменутиим *Full search* и *3DRS*. *Full search* је изабран као скалабилно, конвенционално решење које се користи у многим хардверским системима, а *3DRS* такође због своје широке употребе и доброг односа између комплексности и квалитета естимације. Изабрана метода компензације покрета динамички медијан коришћена је код сваке методе за естимацију. Као критеријум поређења

коришћене су субјективне и објективне методе. Евалуација је вршена над сетом 1080п видео секвенци оригинално снимљеним са 60 фрејмова у секунди.

Објективна евалуација је извршена користећи следећу процедуру:

- Оригиналне тест секвенце су децимиране два пута, са 60 на 30 фрејмова у секунди (парни фрејмови су избачени);
- Над децимираним видео секвенцама је извршено повећање броја слика у секунди 2 пута користећи *FS*, *3DRSi* БМК као методе за естимацију кретања (на тај начин су произведене излазне секвенце на 60 фрејмова у секунди);
- Креирани интерполирани фрејмови, на парним позицијама у излазној секвенци, се пореде са одговарајућим парним фрејмовима оригиналних видео секвенци користећи стандардне методе за мерење сличности фрејмова: *Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)* и *Universal Image Quality Index (UIQI)*, који су детаљније описани у Додатку дисертације.

Закључно поглавље описује значај предложеног решења и кораке за даљи рад.

### 3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Свакако треба истаћи да је у време када се у продукцији и дистрибуцији видео формата различитих резолуција, намењених различитим дигиталним платформама и приказима, један од најважнијих задатака обезбедити алгоритме за повећање броја фрејмова у реконструисаном видеу, штедећи расположиве меморијске и енергетске ресурсе.

Ова докторска дисертација прати и повезује резултате истраживања везаних за алгоритме за компензовано повећање броја фрејмова у секунди, који су, до сада били рачунарски веома комплексни, најчешће реда величине хиљаду гига-операција у секунди. Стога су били лимитирани на телевизоре, где буџет дисипиране снаге није од пресудног значаја. Креирање алгоритама који би омогућили визуелно добар утисак гледаоца, без непријатног *judder*-а, а у буџету снаге мобилног уређаја, представљало је посебан изазов. У том смислу, истраживања Владимира Ковачевића представљају изузетно вредан и интересантан допринос, применљив у савременим мобилним системима.

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

У раду је коришћено 38 релевантних референци из ремираних часописа, студија и извештаја експертских група из области обраде видео сигнала. С обзиром да је тема дисертације везана за најсавременије токове у дигиталној видео технологији, публикације су новијег датума. Коришћене референце укључују и рад у часопису са импакт фактором, као и три прихваћена патента у САД, које садрже и оригиналне научне резултате до којих је кандидат дошао у току припрема ове докторске дисертације, а које покривају све сегменте рада у којима се даје стручни и научни допринос.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Кандидат је извршио критичку анализу постојећих метода за естимацију покрета.

Примарно коришћена метода истраживања и развоја алгоритма је итеративни циклус. Он подразумева пролазак кроз скуп од неколико фаза, од којих се неке понављају. Фазе итеративног поступка су:

- Формирање иницијалне верзије алгоритма.
- Формирање сета тест видео секвенци који покрива све најзначајније сценарије коришћења.
- Евалуација тренутне верзије алгоритма над сетом видео секвенци, уочавање и образложење евентуалних недостатака алгоритма.
- Унапређење алгоритма које делимично или потпуно коригује уочене недостатке или оптимизује алгоритам смањујући му комплексност или меморијске захтеве.

Последње две фазе се понављају до постизања дефинисаног нивоа квалитета и уклапања у буџет доступних процесорских циклуса и величине меморије. Због саме специфичности проблема који се решава (естимација покрета), иако постоје методе за објективну евалуацију квалитета, у спроведеном истраживању акценат је стављен на субјективне методе и на визуелну евалуацију која се показала значајно поузданијом.

Целокупно истраживање и рад на теми обављени су у компанији Интел. То је уједно и први пут да се алгоритам за *frame-rate* конверзију извршава на мобилној платформи (Интел Мерифилд) и као такав, биће уврштен у скуп производа доступних на комерцијалном тржишту.

### 3.4. Применљивост остварених резултата

У дисертацији је представљен део истраживачког рада реализован у компанији Интел у периоду од 2010. до 2015. године. Компанија Интел је обезбедила све потребне хардверске ресурсе, симулаторе, као и мобилну платформу на којој се извршава описани алгоритам у реалном времену. Идеје и доприноси описани у докторској тези су непосредно везани за патенте кандидата, што свакако представља једну од потврда применљивости резултата.

Дакле, може се констатовати да је постављени циљ истраживања у потпуности остварен и да је недвосмислено довео до развоја алгоритма за естимацију покрета који подржава данашње стандарде везане за резолуцију и учестаност фрејмова у видео секвенцама, а који се може извршавати у реалном времену на мобилној платформи.

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

Кандидат Владимир Ковачевић је, у припремама истраживања и израде своје докторске дисертације, стекао искуство у обради сигнала и програмирању чипова за обраду сигнала, користећи актуелну литературу и развијајући сопствене симулационе моделе везане за обраду слика. У анализи естимације покрета критички се осврнуо на постојеће моделе и искористио комбинацију која се показала успешном у *frame-rate upconversion* процесу као једном од најзначајних обрада сигнала у периоду када се развијају бројни различити формати видеа, намењени високој резолуцији, како за велике, тако и за мале димензије екрана. Кандидат је показао врло висок ниво упорности и самосталности при научном раду.

## 4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Истраживања која је кандидат обавио у припреми своје докторске дисертације, вршена су уз две међусобно супротстављене хипотезе:

- да је могуће развити алгоритам високе тачности и прецизности за естимацију покрета у видео секвенцама,
- да је могуће прилагодити алгоритам за естимацију покрета у видео секвенцама извршавању у реалном времену, на мобилној платформи лимитираних меморијских капацитета, оптимизовањем броја потребних процесорских циклуса и меморијских трансфера.

Додатно, у развоју алгоритма, кандидат је пошао од блоковских модела. Треба напоменути да су, упркос чињеници да компримовани видео садржаји засновани на блоковским методама показују непријатна *arte facta* блок типа, опште прихваћени стандарди у телевизији управо тако конципирани. Стога се много улаже у истраживање и развој метода које би ублажиле последице грешака блок типа у реконструисаном видео садржају. Доприноси дисертације би се могли исказати као:

- Кандидат је применио блоковски приступ допуњен естимацијом покрета базираној на корелацији у фреквенцијском домену.
- Значај извршавања естимације покрета у реалном времену је редуковање потребе за огромним додатним меморијским простором који би био потребан за смештање свих новокреираних фрејмова уколико би се цела секвенца испроцесирала пре саме репродукције. На пример, за конверзију видео секвенце пуне HD резолуције (*High Definition*, 1920п, телевизија високе резолуције) трајања 10 секунди са 30 на 60 фрејмова у секунди потребно би било сместити целу видео секвенцу која би заузимала меморијски простор од 900 мегабајта.
- Значај постојања већег броја фрејмова у секунди у видео секвенцама (на пример 60 фрејмова у секунди) огледа се у томе да она побољшава утисак гледаоца о квалитету репродукованог видео материјала. Тако се уклањања неугодно сецкање (*judder*) које у садржајима високе резолуције и контраста, а при релативно малом броју фрејмова, тј при малом *frame-rate*-у постаје уочљиво. Висок проценат постојећег видео материјала садржи нижи *frame-rate* (на пример 24 или 30 фрејмова у секунди). Естимација покрета описана у предложеној теми омогућава репродукцију тих секвенци у високим учестаностима фрејмова (на пример 60 фрејмова у секунди). Тиме се субјективно побољшава утисак о квалитету видеа.
- Предложена блоковска корелациона естимација се може користити у више различитих апликација. Њена евалуација је вршена на примеру алгоритма за повећање броја фрејмова у секунди у видео секвенцама. Вршено је поређење са поменутиим *Full search* и *3DRS*. *Full search* је изабран као скалабилно, конвенционално решење које се користи у многим хардверским системима, а *3DRS* такође због своје широке употребе и доброг односа између комплексности и квалитета естимације. Као критеријум поређења коришћене су субјективне и објективне методе.
- Иновативност предложене блоковске корелације се огледа у јединственом начину њиховог повезивања и постизању сличног или бољег квалитета естимације од

постојећих решења. Оно што највише издваја предложено решење од осталих алгоритама за естимацију кретања у видео секвенцама су модификације и оптимизације којима је значајно смањен број потребних операција и које нису смањиле квалитет саме естимације. Међу њима, најзначајније су:

- Коришћење само два суседна фрејма и бидирекције естимације која захтева мање меморијских ресурса од унидирекционе;
- Мали број кандидата вектора помераја (само осам по блоку);
- Могућност целобројне имплементације;
- Регуларни патерни за приступ меморији настали из коришћења блоковског приступа код блок мечинга и униформног стандардног региона;
- Редукован број потребних операција потврђен помоћу измерених процесорских циклуса.

#### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Научни доприноси дисертације представљају значајан допринос у области естимације покрета посебно у случају повећања броја фрејмова за репродукцију висококвалитетног видео садржаја, уз једновремено коришћење једноставног модела који ангажује што мање меморијских ресурса. Резултати дисертације потврђују могућност и предлажу начине да се боље искористе ресурси додељени системима за приказ видеа, посебно у врло актуелним мобилним системима.

Детаљни резултати симулација и прорачуна верификовани су објављивањем резултата дисертације у реномираном часопису међународног значаја, као и у прихваћеним патентима.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

У току исцрпних истраживања којима је кандидат приступио радећи на докторској дисертацији, објављено је више радова, као што следи у списку. Треба истаћи да се радови кандидата могу сврстати у неколико категорија: један број се бави обрадом сигнала и програмирањем FPGA, други анализира слике високог динамичког опсега. Потврда доприноса дисертације је рад објављен у часопису *Journal of Signal Processing Systems* (издавач *Springer*), као и у прихваћеним патентима.

Рад у часопису међународног значаја категорије (M23):

- 23-1. **Vladimir Kovacevic**, Zdravko Pantic, Aleksandar Beric, Radomir Jakovljevic (2015). „Block-matching correlation motion estimation for frame-rate up-conversion”, *Journal of Signal Processing Systems*, pp 1-10, ISSN: 1939-8018, DOI: 10.1007/s11265-015-1063-8

Рад у међународном часопису (M24):

- 24-1. A. Gavrovska, M. Paskaš, V. **Kovačević**, I. Reljin, "Renal DMSA Scan Morphology Analysis using Undecimated Wavelet Transform and Isocontours", *International Journal of Reasoning-based Intelligent Systems (IJRIS)*, ISSN online: 1755-0564, ISSN print: 1755-0556, DOI: 10.1504/IJRIS.2013.055123, 2013, Vol. 5, No. 1, pp. 12-21 (*Extended version of conference paper 2*).



Rad na međunarodnom skupu (M33):

- 24-1. A. Gavrovska, M. Paskaš, V. Kovačević, I. Reljin, "Renal DMSA Scan Morphology Analysis using Undecimated Wavelet Transform and Isocontours", *Telecommunication in Modern Satellite Cable and Broadcasting Services (TELSIKS)*, 2011 10th International Conference on, , Print ISBN: 978-1-4577-2018-5, DOI: 10.1109/TELSIKS.2011.6112064, 2011, Volume 1, IP.4, pp. 333-336.
- 24-2. V. Kovačević, A. Gavrovska, Milorad P. Paskaš, "High-speed implementation of Hamming neural network", *10th Symposium on Neural Network Applications in Electrical Engineering, NEUREL*, Beograd, 23-25. Septembar, 2010, ISBN: 8781-4673, DOI: 10.1109/NEUREL.2010.5644080, pp.167-170.
- 24-3. V. Kovačević, D. Živanović, M. Nikolić, Ž. Stojković, "Architecture and implementation of modular wireless sensor network node", *5th European Conference on Circuits and Systems for Communications, Beograd*, 23–25. Novembar, 2010.
- 24-4. V. Kovačević, M. Stojilović, "Project Requirements Management According to CMMI Practices ", *INFOTEH-JAHORINA* Vol. 9, Ref. E-I-12, p. 469-472, ISSN : 99938-624-2-8, Mart 2010.
- 24-5. M. Nikolić, M. Oklobdžija, V. Kovačević, "Driver Architecture Proposal for Contiki Operating System", *BioSense 2009*, Novi Sad, Srbija, Octobar 2009.

Rad na skupu nacionalnog značaja štampan u celini (M63):

- 63-1. D. Živanović, V. Kovačević, M. Nikolić, "MOTE1 – Realization of wireless sensor network node", *54. konferencija ETRAN*, Donji Milanovac, jun 2010. ISBN 978-86-80509-65-5, TE2.5.
- 63-2. V. Kovačević, A. Čejkov, S. Tadić, "3Gb/s HDTV signal generator", *52. konferencija ETRAN*, Palić, ISSN : 978-86-80509-63-1, jun 2008.
- 63-3. M. Nikolić, M. Oklobdžija, V. Kovačević, "Serial Port Device Driver for Contiki Operating System", *17. telekomunikacioni forum TELFOR*, Beograd, ISSN: 978-86-7466-375-2, novembar, 2009.
- 63-4. V. Kovačević, M. Trajković, P. Ćirković, "DSP system in a high speed FPGA", *53. konferencija ETRAN*, Vrnjačka Banja , ISSN: 978-86-80509-64-8, jun 2009.
- 63-5. P. Ćirković, M. Trajković, V. Kovačević, "Software Controlled Digital FM Modulator for 100 Standard Stations", *17. telekomunikacioni forum TELFOR*, Beograd, ISSN : 978-86-7466-375-2, novembar, 2009.
- 63-6. V. Kovačević, Ž. Perić, "USB komunikacija između FPGA i personalnog računara", *16. telekomunikacioni forum TELFOR*, Beograd, ISSN : 978-86-7466-337-0, novembar, 2008.

Патенти:

- 91-1. Vladimir Kovacevic, Zdravko Pantic, Aleksandar Beric, Milos Markovic, Vladimir Ilic (2015). *Smart fallback detection for motion estimation algorithms*, 25. July 2013, US Patent Application Number: US2014/252994.
- 91-2. Vladimir Kovacevic, Zdravko Pantic, Aleksandar Beric (2015). *Static region detection in video sequences*, 27. May 2014, US Patent Application Number: US2014/287967.
- 91-3. Aleksandar Beric, Zdravko Pantic, Vladimir Kovacevic (2014). *Motion estimation using hierarchical Phase Plane Correlation and Block Matching*, US Patent Application Number: 2014/0254678 A1, September 2014.

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу изложеног, Комисија је закључила да докторска дисертација Владимира Ковачевића, под насловом: „Естимација покрета у видео секвенцама прилагођена алгоритмима за повећање броја слика у секунди“ испуњава све формалне и суштинске услове предвиђене Законом о високом образовању, као и прописима Универзитета у Београду и Електротехничког факултета.

Предложена докторска дисертација верификована је објављивањем рада у часопису са импакт фактором, као и у три патента. Резултати естимације покрета у конверзији броја фрејмова су показали и у објективним и у субјективним проценама високи квалитет. Развијени алгоритам који је испунио све почетне циљеве, се очекује да буде имплементиран у мобилним уређајима, што је потврда успешно завршених истраживања.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета да се докторска дисертација под насловом „Естимација покрета у видео секвенцама прилагођена алгоритмима за повећање броја слика у секунди“ кандидата Владимира Ковачевића, прихвати, а затим упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду и давање одобрења кандидату да приступи усменој одбрани.

Београд, 05.02.2016.

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

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

Др Милан Бјелица, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

Др Андреја Самчовић, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет

Др Милан Прокин, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

Др Лазар Сарановац, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет