

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ САОБРАЋАЈНОГ ФАКУЛТЕТА БЕОГРАД

Одлуком Наставно-научног већа Саобраћајног факултета у Београду, донетом 02.02.2011. године, одређени смо за чланове *Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације мр Зорана Миличевића*, под насловом „*Нови приступ за побољшање перформанси видео кодовања применом мултимедијалног H.264/AVC стандарда*“. Пошто смо прегледали одговарајући материјал, подносимо Већу следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

1.1. Наслов и обим дисертације

Наслов дисертације је „*Нови приступ за побољшање перформанси видео кодовања применом мултимедијалног H.264/AVC стандарда*“. Обим дисертације је 135 страна, са проредом 1,2.

1.2. Хронологија одобравања и израде дисертације

Тема, под насловом „*Нови приступ за побољшање перформанси видео кодовања применом мултимедијалног H.264/AVC стандарда*“, одобрена је на Наставно-научном већу Саобраћајног факултета 7. децембра 2005. године, Стручно веће за машинске, саобраћајне и организационе науке дало је на то сагласност 14. новембра 2005. године.

Кандидат је урађену дисертацију поднео на преглед и оцену 17. новембра 2010. године, а Наставно-научно веће Саобраћајног факултета је 24.11.2010. године донело одлуку о продужењу рока за израду и одбрану докторске дисертације. Наставно-научно веће Саобраћајног факултета је 02. фебруара 2011. године именовало комисију за оцену и одбрану докторске дисертације.

1.3. Место дисертације у одговарајућој научној области

Дисертација је из области *Експлоатација телекомуникационог саобраћаја и мрежа*, за коју је матичан Саобраћајни факултет Универзитета у Београду.

1.4. Биографски подаци о кандидату

Зоран Миличевић рођен је у Земуну 1973. године. Основну школу завршио је у Прогару 1988. године. Војну гимназију завршио је у Београду 1992. године. На Војној академији ВЈ на Одсеку Копнене Војске, смер везе, дипломирао је 1996. године са просечном оценом 8,63.

Последипломске студије на Саобраћајном факултету Универзитета у Београду, на Одсеку за Поштански и телекомуникациони саобраћај, уписао је 1998/1999, а завршио је јула 2003. године и одбранио магистарску тезу под називом „Контрола ТСР/ИР саобраћаја у широкопојасним дигиталним мрежама са асинхроним начином преноса“.

На почетку службовања је обављао дужност командира телефонско-телеграфског вода у чети везе за Команду РВ и ПВО. У Школски центар везе, информатике и ЕИ и ПЕД прешао је 1998. године и до марта месеца 2005. године обављао је дужност командира вода (уједно наставника) и начелника класе у Класи ученика једногодишње стручне школе за подофицире, Средње стручне војне школе – смер везе.

Од септембра 2003. године до фебруара 2004. године похађао је курс команданата батаљона везе и завршио га са одличним успехом.

Јуна 2004. године изабран је у звање *виши предавач* за предмет „Телефонско-телеграфски уређаји“ на Војној академији. Учествовао је у настави из предмета „Основи телефонске и телеграфске технике“ за студенте Војне академије, као и предмета „Телефонско-телеграфски уређаји“ за слушаоце Школе за резервне офицере.

Од марта 2005. године налази се на дужности референта у одсеку за фреквенцијски спектар, уређење територије и друге имаоце, одељења за телекомуникације, Управе за телекомуникације и информатику (Ј-6) Генералштаба Војске Србије.

Током своје досадашње каријере мр Зоран Миличевић био је аутор или коаутор пет радова у међународним часописима, од тога једног са импакт фактором, шест радова на међународним конференцијама, два рада у часописима националног значаја и шеснаест радова презентованих на националним конференцијама.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

Структура и садржај дисертације

Дисертација је подељена у девет поглавља, има насловну страну, резиме са кључним речима на српском и енглеском језику, садржај, списак скраћеница, попис слика, попис табела, увод, централни део и закључак. По својој форми и садржају, поднети рад задовољава стандарде за докторску дисертацију.

Кратак приказ појединачних поглавља

Прво поглавље је уводно, и између осталог, посебно наглашава мотивацију за истраживање, проблем и предмет истраживања, као и циљеве и задатке истраживања.

У другом поглављу разматрано је место, улога и значај видео компресије и представљена је еволуција стандарда за видео кодовање, у оквиру ITU-T (*Video Coding Expert Group*, VCEG) и ISO/IEC (*Moving Pictures Experts Group*, MPEG) организација за стандардизацију.

Треће поглавље детаљно представља перформансе H.264/AVC стандарда за видео кодовање кроз архитектуру стандарда, алгоритам за видео кодовање, алате, профиле, нивое, апликације, као и друга различита побољшања.

У четвртном поглављу извршено је поређење карактеристика H.264/AVC стандарда са карактеристикама претходних генерација MPEG стандарда.

У оквиру петог поглавља представљена је примена H.264/AVC стандарда, где се између осталог, разматра могућност, као и начин примене стандарда у мобилним видео комуникацијама и код IPTV (*Internet Protocol TV*) технологије.

У шестом поглављу извршена је анализа побољшања перформанси видео кодера код H.264/AVC стандарда и представљени су и описани резултати различитих тестирања до којих се дошло коришћењем једне од верзија симулационог софтвера JVT (JM 9.0) у коју је имплементиран *Fidelity Range Extensions* (FRExt) амандман (амандман за *Проширење подручја тачности (верности) детаља*). Између осталог, упоређене су перформансе две доминантне методе ентропијског кодовања CAVLC (*Context-Adaptive Variable Length Coding*) и CABAC (*Context Adaptive Binary Arithmetic Coding*) како би се код истих сагледале предности и извршило међусобно поређење. На крају је извршено поређење резултата добијених у процесу тестирања са резултатима код других сличних истраживања.

У седмом поглављу, као модел за смањење комплексности кодера, уведен је алгоритам за селективну интра предикцију и оптимизовану интер предикцију. Предложени алгоритам је детаљно описан, симулационо проверен и презентовани су добијени резултати.

Осмо поглавље описује методологију за субјективну процену видео квалитета мултимедијалних апликација на основу ITU-T препоруке P.910. Такође, представљени су и анализирани резултати субјективне процене видео квалитета код предложеног алгоритма за селективну интра и оптимизовану интер предикцију.

Девето поглавље је закључно, у њему су сумирани резултати истраживања и наводе се остварени доприноси у дисертацији.

На крају дисертације дат је прилог и списак литературе са референцама сређеним по редоследу навођења у тексту.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

Савременост, оригиналност и значај

Рад кандидата је произашао из његових активности у области мултимедијалних комуникација и стандарда за видео кодовање, првенствено кроз разматрање, унапређење и имплементацију алгоритама за видео компресију код H.264/AVC стандарда за видео кодовање.

Дисертација се бави актуелним проблемом побољшања перформанси видео кодовања применом мултимедијалног H.264/AVC стандарда. Актуелност теме дисертације потврђена је и кроз објављене радове.

H.264/AVC је стандард за видео кодовање који је заједнички развијен од стране експерата из JVT (*Joint Video Team*), односно ITU-T VCEG и ISO/IEC MPEG комитета за стандардизацију. H.264/AVC стандард у поређењу са претходним стандардима обезбеђује већу компресију, ефикасније кодовање видео садржаја, као и ниже битске протоке уз много прихватљивији перцептуални квалитет. Међутим, побољшање ефикасности компресије код H.264/AVC стандарда за видео кодовање може у значајној мери да има за цену и повећање комплексности самог кодера.

У складу са тим, важно је размотрити све аспекте H.264/AVC стандарда за видео кодовање и пронаћи методе за смањење комплексности кодера, првенствено кроз развој (или модификацију) и имплементацију различитих алгоритама за видео компресију, односно коришћење различитих метода и алата за редукцију комплексности, а да се при томе не наруше перформансе самог кодера у смислу времена потребног за процесирање видео секвенци, битског протока и односа сигнал/шум. Са друге стране, веома је важно размотрити време процесирања различитих функција у оквиру модула код H.264/AVC кодера, како би се уочили и размотрили они модули у кодеру који су временски захтевни и који на неки начин представљају уско грло у процесирању.

У дисертацији је спроведено истраживање у домену упрошћења архитектуре и комплексности кодера ради смањења рачунарског времена и битског протока код различитих тест секвенци. У ту сврху предложен је модел за изостављање предиктора код H.264/AVC стандарда. Предложени модел подразумева увођење алгоритма за селективну интра и оптимизовану интер предикцију.

Увођењем алгоритма за селективну интра предикцију и оптимизовану интер предикцију унапређено је једно од постојећих решења алгоритама за процесирање видео садржаја код H.264/AVC видео кодног стандарда. Предложени алгоритам је теоријски описан, симулационо проверен, након чега су његови резултати анализирани и презентовани. Такође, извршена је и субјективна процена квалитета процесираних видео садржаја како би се дошло до субјективних показатеља о квалитету кодованих/декодираних видео секвенци.

Такође, размотрена су побољшања која су код H.264/AVC стандарда добијена имплементацијом појединих специфичних видео кодних алата, као што су CABAC и CAVLC методе ентропијског кодовања, *Hadamard* трансформација итд., као и њихов утицај на перформансе алгоритма за видео кодовање.

Значај дисертације је вишеструк.

Прво, у делу који се односи на анализе побољшања перформанси видео кодера код H.264/AVC стандарда представљени су резултати различитих тестирања до којих се дошло коришћењем

симулационог софтвера JVT (верзије JM 9.0) у коју је имплементиран и *Fidelity Range Extensions* (FREx) амандман. Разматран је утицај *Hadamard* трансформације и *Rate-Distortion Optimizacije* (RDO) на перформансе кодера и извршено је упоређење две методе ентропијског кодовања: адаптивно кодовање са променљивом кодном речи (CAVLC) и бинарно аритметичко адаптивно кодовање (CABAC). Закључено је да CABAC метода даје боље резултате у смислу односа сигнал/шум и битских протока када се упоређи са CAVLC методом. За приказивање и визуелну анализу декодованих фрејмова, који су кодовани применом ових метода, развијен је и посебан програмски пакет “YUVview”. Такође, сви реализовани тестови су упоређени са сличним тестовима где су се користиле претходне верзије софтвера JVT.

Друго, у намери да ефикасније редукује временску и просторну редундансу, компензација покрета користи блокове променљиве величине, док интра предикција тестира све расположиве модове кодовања како би одредила најбољи мод. Када се користи техника *rate-distortion* оптимизације (RDO), кодер проналази мод за кодовање који има минималну *rate-distortion* вредност. Услед великог броја комбинација модова кодовања, процес доношења одлуке захтева веома велико време потребно за израчунавање. Да би се редуковала комплексност, предложен је алгоритам за селективну интра предикцију и оптимизовану интер предикцију за процесирање тест секвенци у стандардној и високој резолуцији, као и анализу Р и В слика. Резултати симулације показују да је рачунарско време потребно за кодовање смањено у просеку преко 15%, зависно од вредности параметра квантизације, кроз редуковање броја модова кандидата код интра и интер предикције. Међутим, треба напоменути да постоје незнатни губици у вредностима вршног односа сигнал/шум, док вредности битског протока варирају у зависности од вредности параметра квантизације.

На крају је реализована субјективна процена квалитета тест секвенци које су процесирале са алгоритмом за селективну интра предикцију и оптимизовану интер предикцију. За ову намену развијен је посебан софтверски програм за субјективну процену садржаја видео секвенци. Добијени резултати показују и потврђују да између декодоване оригиналне и декодоване модификоване видео секвенце код предложеног алгоритма за селективну интра предикцију и оптимизовану интер предикцију постоји мала разлика у квалитету слике (односу сигнал/шум).

Поред наведеног, у дисертацији је разматрана могућност, као и начин примене H.264/AVC стандарда код бежичних мултимедијалних системима за пренос кодованих видео садржаја, као и IPTV сигнала.

Осврт на референтну и коришћену литературу

У својој дисертацији кандидат је детаљно претражио отворену литературу и коректно навео референце на радове који су у вези са темом дисертације. Поред радова у часописима и реферисаних на конференцијама, кандидат је током израде дисертације консултовао уџбеничку и монографску литературу из области мултимедијалних комуникација и стандарда за видео кодовање. Осим тога, детаљно се упустио у упознавање са софтверским програмима и алатима на којима су засновани алгоритми које је употребио у свом раду.

Анализа примењених научних метода и њихова адекватност за спроведено истраживање

У обради теме докторске дисертације и извођењу закључака примењена је различита методологија и то превентивно индуктивно-дедуктивни метод, метода функционалне и квантитативне анализе сигнала, метода моделовања, метода статистичког кодовања, као и метода анализе степена оштећења информација.

Методологија истраживања у оквиру докторске дисертације састоји се у следећем:

- Представљене су и детаљно описане перформансе H.264/AVC стандарда за видео кодовање кроз архитектуру стандарда, алгоритам за видео кодовање, алате, профиле, нивое и апликације и упоређен је H.264/AVC стандард са претходним генерацијама стандарда.
- Истраживање је обухватило и разматрање могућности, као и начин примене H.264/AVC стандарда код бежичних мултимедијалних система и IPTV технологије.
- Извршено је међусобно поређење CABAC и CAVLC метода за ентропијско кодовање да би се стекао увид у то која од њих даје боље резултате у смислу односа сигнал/шум и битског протока, приликом кодовања видео садржаја. Такође, наведене су предности које се добијају коришћењем *Hadamard* трансформације, као и значај коришћења *rate-distortion* оптимизације.
- Предложен је, имплементиран и симулационо проверен алгоритам за селективну интра и оптимизовану интер предикцију, као модел за смањење комплексности кодера.
- Извршена је субјективна процена квалитета процесираних тест секвенци како би се од стране процењивача добила субјективна метрика квалитета и установила да ли је иста у корелацији са резултатима симулационе анализе.

Кораци које је кандидат предузео у свом раду водили су, са једне стране, непосредном решавању конкретних проблема. Са друге стране, међутим, водили су сагледавању проблема у ширем контексту, што дисертацији даје посебну тежину.

Оцена способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је у свом раду показао изузетну самосталност, проницљивост, систематичност, педантност и агилност. Тиме је испољио потпуну зрелост као научни радник.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

Приказ остварених научних доприноса

Главни доприноси у оквиру ове дисертације су следећи:

- Код анализе побољшања перформанси видео кодера са коришћењем симулационог софтвера JVT верзије JM 9.0:
 - Применом *Hadamard* трансформације добијају се бољи излазни резултати, тј. бољи однос сигнал/шум,
 - Применом RD оптимизације показано је да се битски проток смањило у распону од 2,8 до 4,5% при примени CABAC методе и од 4,5 до 5% при примени CAVLC методе, уз повећање односа сигнал/шум,
 - Зависно од примењеног начина кодовања, CABAC метода када се упоређи са CAVLC методом ентропијског кодовања даје боље резултате у смислу смањења битског протока и то до 8,7%, као и повећање односа сигнал/шум.
 - Применом *skip* мода евидентно је смањење битског протока од 13,2 до 28% у зависности од примењене методе ентропијског кодовања.
 - Поређењем резултата добијених у процесу анализе побољшања перформанси видео кодера код H.264/AVC стандарда уз примену софтвера верзије JM 9.0 и FREx амандмана са резултатима других истраживања, показане су и доказане предности које има тестирана и анализирана верзија видео кодера.
- Код предложеног алгоритма за селективну интра предикцију и оптимизовану интер предикцију:
 - Метод за селективну интра предикцију је редуковао број модова кандидата за око 90%, док метод за интер предикцију даје вредност редукције од 40%.

- Када се користи предложени алгоритам за селективну интра предикцију и оптимизовану интер предикцију и анализирају тест секвенце у SD (*Standard Definition*) резолуцији, уштеда у рачунарском времену је у просеку од 15% до 17% зависно од вредности параметра квантизације. Међутим, треба напоменути да постоје незнатни губици у вредностима $\Delta PSNR$ -а, док су се вредности битског протока смањиле.
- Када се анализирају тест секвенце у две различите HD (*High Definition*) резолуције, експериментални резултати показују да се са предложеним алгоритмом обезбеђује уштеда у рачунарском времену у просеку више од 15% за све вредности параметра квантизације. С друге стране, постоје незнатни губици у вредностима $PSNR$ -а, док вредности битског протока варирају.
- Субјективном анализом процесираних тест секвенци потврђено је да постоји мала разлика у односу сигнал/шум, тј. квалитету слике, између декодоване оригиналне и декодоване модификоване видео секвенце.

Критичка анализа резултата истраживања

У дисертацији је предложен, теоријски описан, симулационо проверен и субјективно анализиран алгоритам за селективну интра предикцију и оптимизовану интер предикцију. Такође, представљени су и резултати различитих тестирања до којих се дошло коришћењем симулационог софтвера JVT верзије JM 9.0.

Први део предложеног видео кодног алгоритма код H.264/AVC кодера представља метод за селективну интра предикцију.

У поступку интра предикције предложен је метод за селективну интра предикцију. Кључна ствар код ове методе произилази из чињенице да је доминантни правац предикције код већег блока сличан као код мањег блока, односно да најбољи мод предикције 4×4 луминентног блока унутар 16×16 блока има исти смер предикције као и 16×16 луминентни блок. Све ово подразумева да је у најбољем случају, са предложеном методом, број могућих комбинација модова за сваки макроблок само $1 \times (4 \times 16 + 4) = 68$, док тренутни прорачун RDO код H.264/AVC захтева $4 \times (9 \times 16 + 4) = 592$, што значајно редукује рачунарско време.

Други део предложеног алгоритма за видео кодовање код H.264/AVC кодера представља метод оптимизоване интер предикције и намењен је за редукацију комплексности.

Да би се извршила оптимизација процеса интер предикције, разматран је утицај различите величине партиције на перформансе компресије. Предложен је метод оптимизације великог броја могућих комбинација (модова) за макроблок и подмакроблок партиције унутар сваког макроблока. Одлучено је да се избегну партиције мале величине (од 8×8 до 4×4), зато што их већ садрже партиције веће величине. На овај начин могуће је смањити број могућих комбинација (модова) код интер предикције.

Управо претходно описаним методама интра и интер предикције значајно се редукује број модова кандидата у процесу предикције код H.264/AVC стандарда, а што као резултат има уштеду у рачунарском времену (преко 15%), смањење битског протока и прихватљив перцептуални квалитет (вршни однос сигнал/шум).

Субјективна процена квалитета видео садржаја је омогућила да се код предложеног алгоритма на субјективан начин процени однос сигнал/шум. За ову намену развијен је посебан софтверски програм за субјективну процену квалитета свих тестираних секвенци, а у складу са препоруком ITU-T P.910, која је погодна за тестирање различитих мултимедијалних апликација. Субјективном анализом процесираних тест секвенци потврђено је да постоји мала разлика у односу сигнал/шум, тј. квалитету слике, односно на субјективни начин су потврђени резултати добијени симулационом анализом.

Анализа побољшања перформанси видео кодера код H.264/AVC стандарда представља резултате различитих тестирања до којих се дошло коришћењем симулационог софтвера JVT верзије JM 9.0 у коју је имплементиран и *Fidelity Range Extensions* (FRExt) амандман. Реализована тестирања су омогућила да се сагледају перформансе H.264/AVC кодера у смислу стања битског протока и односа сигнал/шум када се разматра утицај *Hadamard* трансформације и *Rate-Distortion* оптимизације (RDO) на перформансе кодера и врши упоређење CAVLC и CABAC методе ентропијског кодовања. Коришћење *Hadamard* трансформације, *Rate-Distortion* оптимизације (RDO) и CABAC методе ентропијског кодовања утиче на смањење битског протока и обезбеђује прихватљив однос сигнал/шум.

Методи рада кандидата обухватају теоријски (аналитички приступ), нумеричку симулацију, субјективну анализу и експерименте. Кандидат је све те приступе вешто уклопио у логичну изbalансирану целину.

Резултати до којих је кандидат дошао имају теоријску и практичну вредност. Теоријска вредност подразумева побољшање алгоритама за видео компресију код H.264/AVC стандарда за видео кодовање.

Очекивана примена резултата у пракси

Практична вредност резултата дисертације подразумева могућности примене предложеног решења алгорита за селективну интра предикцију и оптимизовану интер предикцију за ефикаснију компресију видео садржаја код различитих мултимедијалних хардверских платформи.

Верификација научних доприноса

У директној вези са докторском дисертацијом је један рад у часопису са SCI листе, на коме је кандидат првопотписани коаутор:

- Zoran Miličević, Zoran Bojković, „H.264/AVC Standard: A Proposal for Selective Intra and Optimized Inter Prediction“, *Journal of Network and Computer Applications (JNCA)* (ISSN 1084-8045, IF = 1,111), vol. 34, issue 2, pp. 686-691, March 2011 (*doi*: 10.1016/j.jnca.2010.11.004).

Осим тога, у директној вези су два рада у часописима и три рада саопштена на међународним конференцијама:

- Zoran Miličević, Zoran Bojković, "An Approach to Selective Intra Coding and Early Inter Skip Prediction in H.264/AVC", *FACTA UNIVERSITATIS (NIŠ)*, Ser: Elec. Energ., vol. 21, no. 1, pp. 107-119, April 2008.
- Zoran M. Miličević, Zoran S. Bojković, "Intra/Inter Algorithm for B Frame Processing in H.264/AVC Encoder" (*extended version*), North Atlantic University Union - *International Journal of Communications*, issue 1, volume 1, pp.10-15, 2007.
- Zoran M. Miličević, Zoran S. Bojković, "B Frame Processing Modeling in H.264/AVC", *Proceedings of 8th Conference on Telecommunication in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services*, Telsiks 2007, pp. 48-51, Niš, Serbia, 26-28. September 2007.
- Zoran M. Miličević, Zoran S. Bojković, "RD Optimization and Skip Prediction for H.264/AVC Standard", *Conference EUROCON'05*, pp. 1328-1331, Belgrade, 22-24. November 2005.
- Zoran M. Miličević, Zoran S. Bojković, "Multimedia H.264/AVC Standard as Tool for Video Coding Performance Improvement", *Proceedings of 7th Conference on Telecommunication in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services*, Telsiks 2005, Volume 1, pp. 237-240, Niš, Serbia, 28-30. September 2005.

Доприноси објављени у поменутих радовима представљају део основних резултата истраживања представљених у докторској дисертацији кандидата.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

У својој дисертацији, кандидат мр Зоран Миличевић предложио је ново решење алгоритма за побољшање перформанси видео кодовања применом мултимедијалног H.264/AVC стандарда. Предложена решења су верификована теоријском анализом и експериментално. Кандидат је постављени проблем обрадио свестрано и савесно. Показао је потпуну зрелост за самосталан научни рад. Резултати до којих је кандидат дошао верификовани су објављивањем у водећем међународном часопису.

Комисија сматра да поднети рад кандидата, под насловом *„Нови приступ за побољшање перформанси видео кодовања применом мултимедијалног H.264/AVC стандарда“*, испуњава све формалне и суштинске услове да буде прихваћен као докторска дисертација.

Комисија предлаже да се поднети рад прихвати као докторска дисертација и кандидату одобри јавна усмена одбрана.

Београд, 11. 03. 2011. год.

Др Владанка Аћимовић-Распоповић, ред. проф.
Универзитет у Београд - Саобраћајни факултет

Др Андреја Самчовић, доцент
Универзитет у Београду - Саобраћајни факултет

Др Ирини Рељин, ванр. проф.
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет