

КОМИСИЈИ ЗА СТУДИЈЕ II СТЕПЕНА ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БЕОГРАДУ

Комисија за студије II степена, Електротехничког факултета у Београду, на својој седници одржаној 23.06.2026 године именовала нас је у Комисију за преглед и оцену мастер рада дипл. инж. Маша Максимовић под насловом „Zero-bit дигитални водени жиг за слике и видео-записе". Након прегледа материјала Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Биографски подаци кандидата

Маша Максимовић је рођена 15.05.2001. године у Бањој Луци. Завршила је основну школу „Иво Андрић" у Бањој Луци као ђак генерације. Уписала је Математичку гимназију у Београду коју је завршила са одличним успехом. Током школовања освојила је више награда на државним такмичењима из математике и физике. Електротехнички факултет уписала је 2020. године. Дипломирала је на одсеку за Сигнале и системе 2024. године са просечном оценом 9,75. Дипломски рад одбранила је у августу 2024. године са оценом 10. Дипломске академске – мастер студије на Електротехничком факултету у Београду, на Модулу за сигнале и системе уписала је у октобру 2024. године.

2. Извештај о студијском истраживачком раду

Кандидаткиња Маша Максимовић је, као припрему за израду мастер рада на тему „Zero-bit дигитални водени жиг за слике и видео-записе", спровела истраживање у области дигиталног воденог жига заснованог на неуралним мрежама. Истраживање је обухватило анализу традиционалних и савремених метода за уметање и детекцију воденог жига, са посебним освртом на zero-bit системе, визуелни квалитет означеног садржаја, робусност на трансформације и ефикасност извршавања. Размотрени су и поступци перцептивног прилагођавања помоћу JND модела, архитектуре MobileNetV2 и MobileNetV3, као и специфичности обраде видео-записа и утицај H.264 и H.265 компресије.

Истраживање се надовезује на два пројектна задатка реализована током мастер студија. У првом је развијен систем LumiMark, заснован на MobileNetV2 архитектури и JND мапи при уметању. У другом је уведена MobileNetV3 архитектура и поступно, адаптивно обучавање ради побољшања робусности. У оквиру мастер рада испитано је да ли се информација JND модела може користити само током обучавања, тако да додатни JND модул више није потребан при примени. Размотрене су четири конфигурације додатног обучавања, укључујући самодестилацију и JND ограничење, а изабрани модел је затим додатно обучен на видео-записима. Истраживачки рад обухватио је и развој функционалног стриминг тока за декодовање, директно уметање у канал луминансе, H.264 кодовање и детекцију на CPU-у, као и мерење квалитета, робусности, пропусности и потрошње меморије.

3. Опис мастер рада

Мастер рад обухвата 79 страна, 11 слика, 38 табела и 44 референце. Организован је у 11 поглавља и пет прилога.

У првом поглављу образложени су значај означавања дигиталног садржаја, циљеви и доприноси рада. Друго поглавље уводи основне појмове, математички модел, захтеве, трансформације и метрике. Треће поглавље даје преглед традиционалних и неуралних метода из литературе.

Четврто поглавље приказује развој полазног zero-bit система кроз два ранија пројектна задатка, архитектуре ембедера и детектора, употребу JND мапе и начин обраде видео-фрејмова. У петом поглављу описани су скупови података, функције губитка, конфигурације обучавања и протоколи евалуације модела за слике и видео-записе.

Шесто поглавље садржи резултате над сликама, анализу утицаја дискриминатора, избор коначне конфигурације и поређење са претходним системима. Седмо поглавље приказује квалитет и робусност видео-модела, уз одлуке на нивоу фрејма и целог клипа.

У осмом поглављу описана је реализација тока за обраду видео-записа, извоз мрежа у ONNX и директно уметање резидуала у канал луминансе. Девето поглавље приказује системска мерења квалитета, брзине, меморије и поузданости детекције. Десето поглавље разматра резултате и ограничења, а једанаесто садржи закључак.

У прилозима су дати репродукциони детаљи, потпуни резултати над сликама и видео-записима, мерења

реализованог видео-тока и поређење архитектонских конфигурација.

4. Анализа са кључним резултатима

Мастер рад дипл. инж. Маше Максимовић представља целовито истраживање zero-bit дигиталног воденог жига, од обуке модела до реализације и мерења функционалног видео-тока. Један од кључних доприноса рада је употреба JND мапе само током обучавања. На тај начин ембедер учи да прилагоди просторни распоред воденог жига садржају слике, док се додатни JND модул уклања из поступка примене.

Коначни модел за слике остварује PSNR од 48,14 dB, SSIM од 0,9977 и LPIPS од 0,000880. Задржана је висока робусност на JPEG компресију, замућење, ротацију и перспективну трансформацију, док је снажно исецање препознато као главно ограничење. Резултати пет упарених поређења показују да супарничко обучавање повећава PSNR за 3,48 до 4,53 dB, уз смањење робусности на исецање.

Модел је затим прилагођен видео-записима и оцењен на свих 155 клипова валидационе партиције скупа SA-V. Видео-модел остварује PSNR од 47,39 dB, SSIM од 0,9963 и LPIPS од 0,002249. У поређењу са моделом обученим само на сликама, постиже бољи AUC по фрејму у 31 од 33 испитана услова, са посебно израженим побољшањем након H.264 и H.265 компресије.

Реализован је и стриминг ток за декодовање, директно уметање у канал луминансе, H.264 кодовање и детекцију на CPU-у. На процесору Apple M4 Pro коначна путања обрађује 1080p садржај брзином од 127,42 фрејма у секунди, 4K садржај при поставци medium/CRF 18 брзином од 35,06 фрејмова у секунди, а при поставци veryfast/CRF 23 брзином од 104,11 фрејмова у секунди. Директно уметање у луминансу смањило је процесорско време за 46% на 1080p и 54% на 4K садржају. У системском испитивању правилно су раздвојене означене и неозначене верзије свих 11 видео-записа.

5. Закључак и предлог

Кандидаткиња Маша Максимовић је у мастер раду успешно развила и евалуирала zero-bit систем за уметање и детекцију дигиталног воденог жига у сликама и видео-записима. Предложеним поступком JND модел је уклоњен из примене, уз очуван висок визуелни квалитет и робусност. Рад обухвата и прилагођавање модела видео-садржају и реализацију функционалног стриминг тока за обраду видео-записа на CPU-у. Резултати су детаљно анализирани, а ограничења система јасно су наведена.

На основу изложеног, Комисија предлаже Комисији за студије II степена Електротехничког факултета у Београду да рад дипл. инж. Маше Максимовић прихвати као мастер рад и кандидаткињи одобри јавну усмену одбрану.

Београд, 09.09.2026. године

Чланови комисије:

др Горан Квапчев Редовни професор
сагласан, 09.09.2026.

др Марија Новичић Доцент
сагласан, 09.09.2026.