

# 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. Ана Бојовић под насловом „Пројектовање и евалуација система заснованог на рачунарском виду за препознавање фацијалних гестова". Након прегледа материјала Комисија подноси следећи

## ИЗВЕШТАЈ

### 1. Биографски подаци кандидата

Ана Бојовић је рођена 2001. године у Чачку. Завршила је основну школу „Милица Павловић” у Чачку и Гимназију у Чачку, обе као носилац Вукове дипломе.

Електротехнички факултет Универзитета у Београду уписала је 2020. године. Дипломирала је 2024. године на студијском програму Софтверско инжењерство, са просечном оценом 8,28. Дипломски рад на тему "Развој веб система за изнајмљивање артикала" под менторством проф. др Дражена Драшковића одбранила је у септембру 2024. године са оценом 10.

Мастер академске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду уписала је у октобру 2024. године на модулу Софтверско инжењерство.

### 2. Извештај о студијском истраживачком раду

Кандидаткиња Ана Бојовић је у оквиру студијског истраживачког рада обухватила детаљну анализу области аутоматске анализе фацијалних експресија и рачунарског вида, са посебним освртом на детекцију покрета лица у реалном времену на корисничким уређајима без потребе за специјализованим хардвером или екстерним серверима. Истраживање је обухватило преглед историјског развоја ове области - од психолошких основа и FACS (Facial Action Coding System) система акционих јединица, преко раних каскадних детектора (Viola-Jones) и лабораторијских скупова података (СК+), до савремених дубоких неуронских мрежа и модуларних пајплајна попут MediaPipe оквира.

У истраживачком делу рада анализирани су кључни проблеми постојећих система, укључујући деградацију перформанси у неповољним амбијенталним условима (лоше осветљење, заклоњеност лица, велики углови ротације главе), варијабилност неутралних експресија међу различитим субјектима, демографску пристрасност скупова података, као и питања приватности биометријских података (GDPR, EU AI Act). Кандидаткиња је посебно разматрала проблематику поређења несинхронизованих видео-снимака различитог трајања и брзине извођења гестова, критички анализирајући постојеће приступе као што су линеарно ресемплирање, класификација по фрејму са агрегацијом, дубоки временски модели (C3D, 3D CNN) и Сијамске мреже.

Сprovedено је контролисано експериментално истраживање прикупљањем видео-материјала у два сценарија: помоћу инфрацрвене (IR) DMS камере под специфичним угловима (ради анализе граничних случајева и побољшања модела) и помоћу стандардне веб-камере за секуенцијално извођење мимичких акција. Истраживање је обухватило формулисање ланца обраде заснованог на TensorFlow Lite моделима (BlazeFace за детекцију лица, FaceMesh-V2 за екстракцију 478 3D оријентира и Blendshape за регресију 52 коефицијента покрета лица). Сprovedена су два комплементарна експеримента: (1) примена методе трансфера учења заснованог на обележјима (енг. Feature-Based Transfer Learning) помоћу алгоритма случајне шуме над оријентирима контуре очију ради бинарне класификације затворености очију, и (2) примена алгоритма динамичког временског савијања (енг. Dynamic Time Warping, скр. DTW) над 52-каналним blendshape векторима ради поређења сличности и временског поравнања секвенци фацијалних гестова.

### 3. Опис мастер рада

Мастер рад припада области софтверског инжењерства. Предмет рада представља пројектовање, имплементација и емпиријска евалуација комплетног софтверског пајплајна за детекцију, екстракцију и еластично временско поређење фацијалних гестова из видео-снимака коришћењем оптимизованих

неуронских модела и DTW алгоритма.

Рад има 42 стране (уз додатке А, Б и Ц са изворним кодом), са укупно 10 слика, 3 табеле и 27 референци у листи литературе. Мастер рад након насловне стране и садржаја садржи седам (7) поглавља, листу литературе, списак скраћеница, списак слика, списак табела и три програмска прилога.

Увод рада посвећен је значају невербалне комуникације и фацијалне мимике, као и практичним применама система за анализу лица у аутомобилској индустрији (DMS), медицини, маркетингу и интерфејсима адаптивне интеракције.

У другом поглављу дато је детаљно поље аутоматске анализе експресије, историјски развој, анализа тренутног стања индустрије, постојећи проблеми и преглед приступа поравнању секвенци.

У трећем поглављу описана је методологија прикупљања видео-материјала (IR DMS камера и веб-камера), примена геометријске апроксимације правца погледа, гранични случајеви и поступак анотације података.

У четвртном поглављу дато је детаљно упутство о коришћеним технологијама и библиотекама.

У петом поглављу приказана је реализација система, укључујући мануелну репродукцију мреже референтних оквира за SSD детектор, препроцесирање фрејмова, издвајање регије од интереса, корекцију ротације главе, екстракцију 478 оријентира и формирање 52 blendshape коефицијента.

У шестом поглављу приказани су и анализирани резултати евалуације DTW алгоритма над 19 видео-снимака, уз разматрање раздвајања стварних парова од неупарених и анализу неосетљивости на временски редослед.

У седмом поглављу дато је закључно разматрање постигнутих резултата, анализирана су ограничења решења и наведени су предлози за решавање прекида детекције помоћу линеарне и кубне сплајн интерполације.

#### **4. Анализа са кључним резултатима**

Мастер рад кандидаткиње Ане Бојовић бави се развојем и евалуацијом софтверског система за анализу фацијалних гестова у реалном времену, пројектованог за извршавање на стандардном корисничком хардверу без рекурисања на серверску инфраструктуру. У оквиру рада успешно је имплементиран комплетан инференциони ланац који сукцесивно комбинује BlazeFace, FaceMesh-V2 и Blendshape моделе. Емпиријска анализа спроведена над 19 видео-снимака кроз свих 171 могућих комбинација упаривања показала је да систем постиже савршено раздвајање (без преклапања дистрибуција) између стварних понављања истих гестова (просечна нормализована дистанца 0.3551) и свих неупарених комбинација (просек 1.0181). Међутим, детаљна критичка анализа разоткрила је да DTW алгоритам над blendshape дескрипторима функционише као верификатор садржаја израза лица, али не и њиховог хронолошког редоследа.

Главни доприноси рада су:

- Пројектовање и комплетна имплементација у програмски језик Python нативног ланца обраде видео-сигнала који врши детекцију лица, корекцију ротације у равни, пројекцију 478 3D оријентира и регресију 52 нормализована blendshape коефицијента у реалном времену.
- Тачна математичка и програмска реконструкција мреже референтних оквира (896 анкера на 4 конволуциона слоја) за BlazeFace SSD детектор и прилагођени алгоритам сузбијања не-максимума пондерисаним просеком.
- Емпиријска верификација методе трансфера учења заснованог на обележјима коришћењем алгоритма случајне шума над 32 тачке контуре очију ради поуздане бинарне класификације затворености очију.
- Свеобухватна квантитативна евалуација DTW алгоритма за еластично временско поравнање несинхронизованих снимака, уз прецизну математичку идентификацију методолошког ограничења неосетљивости система на временско инвертовање редоследа акција.
- Анализа индустријских метода за превазилажење микро-прекида и дужих губитака детекције лица применом линеарне и кубне сплајн интерполације у простору blendshape коефицијената.

## 5. Закључак и предлог

Кандидаткиња Ана Бојовић је у истраживању успешно демонстрирала методологију развоја и евалуације напредних система рачунарског вида за обраду биометријских и мимичких сигнала у реалном времену. При реализацији овог комплексног и математички захтевног пројекта, колегиница Бојовић је показала висок степен самосталности, инжењерске систематичности и дубоког разумевања области рачунарског вида и машинског учења, те је у потпуности одговорила свим постављеним задацима.

На основу свега изложеног, Комисија за преглед и оцену мастер рада предлаже Комисији за студије II степена Електротехничког факултета у Београду да рад под називом „Пројектовање и евалуација система заснованог на рачунарском виду за препознавање фацијалних гестова”, кандидаткиње Ане Бојовић, дипл. инж. софтвера, прихвати као мастер рад и кандидаткињи одобри јавну усмену одбрану.

Београд, 13.09.2026. године

Чланови комисије:

---

др Дражен Драшковић Ванредни професор  
сагласан, 13.09.2026.

---

Адриан Милаковић Асистент  
сагласан, 13.09.2026.