

КОМИСИЈИ ЗА СТУДИЈЕ II СТЕПЕНА ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БЕОГРАДУ

Комисија за студије II степена, Електротехничког факултета у Београду, на својој седници одржаној 07.10.2025 године именовала нас је у Комисију за преглед и оцену мастер рада дипл. инж. Милан Акик под насловом „Симулација и приказ облака у интерактивним 3Д окружењима“. Након прегледа материјала Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Биографски подаци кандидата

Милан Акик је рођен 17.8.1999. године у Нишу. Завршио је основну школу „Светислав Голубовић Митраљета“ у Београд. Уписао је Електротехничку школу Земун у Београду коју је завршио са одличним успехом. Током четири године средње школе похађао је курсеве у истраживачкој станици Петница. Електротехнички факултет у Београду уписао је 2018. године. Дипломирао је на одсеку за Софтверско инжењерство 2023. године са просечном оценом 8,07. Дипломски рад одбранио је у јулу 2023. године са оценом 10. Мастер академске студије на Електротехничком факултету у Београду, на Модулу за софтверско инжењерство уписао је у октобру 2023. године.

2. Извештај о студијском истраживачком раду

Кандидат Милан Акик је у свом студијском истраживачком раду обухватио анализу и категоризацију постојећих рачунарских метода за генерисање и визуелизацију облака у интерактивним 3Д окружењима у реалном времену. Истраживање је идентификовало три главне групе метода: методе засноване на 2Д текстурању небеске куполе (skydome), физичке симулације засноване на Навје-Стоксовим једначинама и волуметријске методе марширања зрака (ray marching) кроз 3Д матрице густине. Детаљно су анализирана три референтна постојећа решења: метод 2Д текстурање небеске куполе са Перезовим моделама луминенције неба и Перлиновим шумом, метода једноструког и вишеструког расејања светлости са кеширањем мапе фотона у OpenVDB формату, као и волуметријска метода праћења зрака над сферама уз коришћење NDT алгорита за елиминацију дуплих пролаза.

У истраживачком делу рада, кандидат је дефинисао и имплементирао нов приступ који комбинацијом процедурално генерисаних геометријских примитива (цилиндара) и 3Д матрица густине омогућава брзо и флексибилно волуметријско исцртавање облака. Истражено је шест различитих метода за генерисање геометрије цилиндара: метод базиран на псеудонасумичним бројевима (SRNG), метод специфичних математичких облика (коцка, сфера, кружница, спирала), метод са 2Д текстуром шума, метода заснована на Линденмајеровом систему (L-system) формалних граматика, као и метод апроксимације 2Д битмапа (мапа битова). За фазу визуелизације пројектован је и имплементиран двофазни алгоритам марширања зрака на графичком процесору. Прва фаза обухвата ефикасну детекцију пресека зрака са цилиндрима, док друга фаза врши корак по корак узорковање 3Д Перлиновог шума уз израчунавање апсорпције, оклузије позадине и Лоренц-Мие расејања светлости дуж примарног зрака и зрака сенке. Емпиријско истраживање обухватило је свеобухватно поређење перформанси (број кадрова у секунди, скр. FPS, и време извршавања генератора у милисекундама) развијених генератора са три референтна отворена пројекта са GitHub-а (SEBLAG, TODOVAL, KIRME). Тестирање је спроведено за различите позиције камере (изнад, под углом, дијагонално, као и унутар самог облака), чиме су дефинисана јасна ограничења и смернице за примену појединих генератора у системима у реалном времену.

3. Опис мастер рада

Мастер рад припада области рачунарске графике и софтверског инжењерства, са фокусом на процедурално генерисање садржаја и волуметријско исцртавање у реалном времену. Предмет рада представља истраживање, развој и евалуација нове методологије за симулацију и приказ тродимензионалних облака у интерактивним 3Д окружењима комбиновањем цилиндричне геометрије и волуметријског марширања зрака.

Рад има 45 страна, са укупно 14 слика, 9 табела, 5 листинга кода и 23 референце. Мастер рад након насловне стране и садржаја има шест (6) поглавља, листу коришћене литературе, списак скраћеница, списак

слика, списак табела и списак листинга.

Увод рада посвећен је значају облака у виртуелним окружењима (видео игре, симулатори летења, метеоролошки прикази) и балансирању између фотореалистичности и брзине исцртавања.

У другом поглављу дато је детаљно поређење и математички опис постојећих решења на тржишту и у литератури.

У трећем поглављу описана је методологија истраживања, укључујући математички апарат свих шест генератора геометрије цилиндара и алгорита за марширање зрака.

У четвртом поглављу детаљно је приказана практична реализација у Unity 3D окружењу, C# препроцесирање, HLSL програмирање за шејдере, као и Фонгово сенчење и приказ генерисаних облика.

У петом поглављу приказани су и дискутовани резултати мерења перформанси развијеног система у поређењу са референтним пројектима.

У шестом поглављу дато је закључно разматрање, анализирана су ограничења и наведени су правци за даљи развој.

4. Анализа са кључним резултатима

Мастер рад кандидата Милана Акика бави се развојем флексибилног и ефикасног система за процедурално генерисање и волуметријско исцртавање облака у реалном времену. Систем омогућава генерисање комплексних облика облака без потребе за ручним 3D моделовањем, коришћењем концепта апроксимације простора скупом цилиндара. Тестирања су показала да развијени генератори остварују перформансе преко 60 FPS у свим сценаријима, док поједини алгоритми (попут апроксимације битмапе) достижу брзине до 143 FPS у резолуцији 1024x1024.

Главни доприноси рада су:

- Развој и математичко формулисање шест различитих алгорита за процедурално генерисање геометријских примитива (цилиндара), укључујући примену L-система и алгорита за апроксимацију произвољних 2Д битмапа (нпр. силуете државних граница).
- Имплементација оптимизованог HLSL фрагментног шејдера за марширање зрака са брзом детекцијом пресека у XZ равни и вертикалним границама, уз симулацију Лоренц-Мие расејања и апсорпције светлости унутар 3Д Перлиновог шума.
- Архитектура система раздвојена на CPU препроцесирање у C# и паралелизовно извршавање у HLSL-у унутар Unity 3D окружења, уз обезбеђену пуну транспозицију матрица за шејдерски рад.
- Свеобухватна емпиријска анализа и поређење перформанси (FPS и ms) са три постојећа отворена решења у зависности од позиције камере и временског буџета кадра.

5. Закључак и предлог

Кандидат Милан Акик је у истраживању и практичној реализацији овог мастер рада успешно демонстрирао методологију интеграције процедуралног генерисања геометрије и волуметријског исцртавања у интерактивним 3Д окружењима у реалном времену. При реализацији овог пројекта, кандидат је показао висок степен самосталности, систематичности и стручности у домену рачунарске графике, развоја шејдера и софтверског инжењерства, те је у потпуности одговорио 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 „Симулација и приказ облака у интерактивним 3Д окружењима“, кандидата Милана Акика, прихвати као мастер рад и кандидату одобри јавну усмену одбрану.

Београд, 12.09.2026. године

Чланови комисије:

др Дражен Драшковић Ванредни професор
сагласан, 12.09.2026.

Јован Ђукић Асистент
сагласан, 12.09.2026.