

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. Никола Ивковић под насловом „Оптимизација роботског бацања објеката методама учења подстицајем“. Након прегледа материјала Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Биографски подаци кандидата

Никола (Горан) Ивковић је рођен 13.12.2000. године у Београду. Завршио је основну школу „Алекса Шантић“ у Београду као вуковац. Уписао је средњу електротехничку школу „Никола Тесла“ у Београду, коју је завршио као вуковац. Електротехнички факултет уписао је 2019. године. Дипломирао је на одсеку за Сигнале и системе 2023. године. Дипломски рад одбранио је у јулу 2023. године са оценом 10. Дипломске академске – мастер студије на Електротехничком факултету у Београду, на Модулу за сигнале и системе уписао је у октобру 2023. године.

2. Извештај о студијском истраживачком раду

Кандидат Никола Ивковић је, као припрему за израду мастер рада, истражио релевантну литературу из области роботске манипулације, роботског бацања објеката и учења подстицајем. Анализирани су аналитички приступи засновани на балистичком моделу, приступи засновани на учењу, као и хибридна решења у којима научена политика коригује номинални физички модел. Посебно су размотрени циљно условљено учење, Hindsight Experience Replay (HER), резидуално учење, дистрибуционо учење подстицајем и алгоритам Truncated Quantile Critics (TQC). Анализом литературе утврђено је да комбинација аналитичког балистичког планера и резидуалне политике представља оправдан приступ за повећање прецизности и робусности роботског бацања.

3. Опис мастер рада

Мастер рад обухвата 67 страна, од увода до списка литературе, и садржи 12 слика, 23 табеле и 10 референци. Рад је организован у девет тематских поглавља и списак коришћене литературе.

У првом поглављу представљени су мотивација, предмет и значај роботског бацања објеката, као и проблем, циљеви, истраживачка питања и очекивани доприноси рада. Друго поглавље даје преглед литературе из области роботског бацања, учења подстицајем, функција награде, циљно условљеног учења, HER механизма и резидуалног управљања, чиме је позициониран предложени хибридни приступ.

Треће поглавље обухвата теоријске основе учења подстицајем, Actor-Critic и off-policy метода, TQC алгоритма, циљно условљеног и резидуалног учења и балистичког планирања. У четвртном поглављу описани су архитектура система, симулационо окружење PyBullet, робот Franka Emika Panda, модел објекта и хватања, простор циљева и опажања и структура епизоде бацања.

Пето поглавље представља систем управљања и учења, укључујући балистички планер, пресликавање брзина методом пригушених најмањих квадрата, резидуалну корекцију параметара, квинтну путању, простор акција и функцију награде. Шесто поглавље описује поступак обучавања применом TQC и HER механизма, нормализацију опажања, паралелно прикупљање искустава, курикулум учење, евалуацију и избор хиперпараметара.

Седмо поглавље приказује експерименталне резултате, напредовање током обучавања, поређење са балистичким планером, просторну расподелу грешке и анализу неуспешних бацања. У осмом поглављу дискутовани су утицај курикулум учења, избор најбољег модела, немономно обучавање, допринос резидуалне политике и просторна генерализација. Девето поглавље садржи закључке и правце даљег развоја, укључујући робуснију евалуацију, проширење скупа објеката и циљева и пренос система на реални роботски манипулатор.

4. Анализа са кључним резултатима

Мастер рад дипл. инж. Николе Ивковића бави се оптимизацијом роботског бацања објеката методама учења подстицајем. У раду је развијен хибридни систем у коме аналитички балистички планер задаје номиналне параметре бацања, док резидуална политика учи корекције брзине и тренутка отпуштања. Систем је реализован и испитан у PyBullet окружењу на манипулатору Franka Emika Panda.

Политика је обучена TQC алгоритмом уз HER, нормализацију опажања, паралелно прикупљање искустава и курикулум учење. Евалуација је обухватила моделе сачуване током обучавања, поређење са балистичким планером без резидуалне корекције и просторну анализу грешке. У испитиваној симулационој поставци контролна тачка након 300.000 епизода остварила је 100,0% успешних бацања и средњу грешку слетања од 2,08 cm, док је сам балистички планер остварио 85,7% успешности и средњу грешку од 6,15 cm.

Основни резултати рада су: 1) пројектовање симулационог система за циљно условљено роботско бацање; 2) развој хибридног управљања које повезује балистички планер и резидуалну TQC политику; 3) примена HER механизма и курикулум учења у једнокорачном задатку бацања; 4) експериментална потврда побољшања у односу на номинални планер; и 5) анализа избора модела, просторне генерализације и неуспешних бацања. Рад представља заокружену основу за даља истраживања, укључујући проверу на реалном роботу и различитим објектима.

5. Закључак и предлог

Кандидат Никола Ивковић је у свом мастер раду успешно реализовао и испитао систем за прецизно роботско бацање који комбинује аналитичко балистичко планирање и резидуално учење подстицајем. Добијени резултати у испитиваној симулационој поставци показују да научене резидуалне корекције повећавају успешност и смањују грешку слетања у односу на сам балистички планер.

Кандидат је показао самосталност, систематичност и способност да повеже теоријске методе учења подстицајем, моделовање роботског система и експерименталну анализу. Рад је прегледно организован, резултати су приказани применом више комплементарних метрика, а ограничења и правци даљег развоја су размотрени на одговарајући начин.

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

Београд, 18.08.2026. године

Чланови комисије:

др Никола Кнежевић Доцент
сагласан, 18.08.2026.

др Коста Јовановић Ванредни професор
сагласан, 18.08.2026.