

Наставно-научном већу
Математичког факултета
Универзитета у Београду

На 425. седници Наставно-научног већа Математичког факултета Универзитета у Београду, одржаној 26. септембра 2025. године, одређени смо за чланове Комисије за оцену докторске дисертације

Предвиђање профила извршавања програма техникама машинског учења

кандидата Милана Чугуровића. Менторка ове докторске дисертације је проф. др Милена Вујошевић Јаничић, ванредна професорка Математичког факултета. Комисија је прегледала приложени текст и подноси Већу следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Биографија кандидата

Лични подаци

Име и презиме: Милан Чугуровић
Место и датум рођења: Лозница, 30. 08. 1995. године
Звање: мастер математичар
Електронска адреса: milan.cugurovic@matf.bg.ac.rs

Образовање

Гимназију Вук Караџић у Лозници завршио је 2014. године као носилац Вукове дипломе. Основне студије на смеру Рачунарство и информатика на Математичком факултету завршио је јула 2018. године као једини студент у генерацији са просечном оценом 10. Добитник је награде „Студент генерације”. Мастер студије на Математичком факултету завршио је 2019. године са просечном оценом 10. Докторске студије на Математичком факултету уписао је у октобру 2019. године. Положио је све испите на докторским студијама са просечном оценом 10.

Радно искуство

Од 2018. године запослен је на Математичком факултету. На основним студијама држао је вежбе из предмета *Програмирање 1*, *Програмирање 2*, *Увод у релационе базе података*, *Релационе базе података* и *Програмске парадигме*. На мастер студијама држао је вежбе предмета *Машинско учење*. У оквиру интердисциплинарног мастер програма Индустрија 4.0 и сарадње Математичког факултета и Универзитета уметности у Београду држао је вежбе предмета *Програмирање за уметнике 1* и *Дигитална обрада звука и слике*. Од 2019. године био је учесник пројекта Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије “Аутоматско резонување и истраживање података” под бројем 174021. У периоду од фебруара 2020. до јула 2024. године радио је као истраживач на пројекту сарадње Математичког факултета и компаније *Oracle*. Од јула 2024. године, поред запослења на Математичком факултету ангажован је и као истраживач-сениор у компанији *Oracle*.

2. Библиографија кандидата

Радови у интернационалним часописима

Čugurović Milan, Vujošević Janičić Milena, Jovanović Vojin, Würthinger Tomas, [“GraalSP: Polyglot, efficient, and robust machine learning-based static profiler”](#), Journal of Systems and Software. 2024 Jul 1;213:112058. (M21, IF 2023: 3.700)

Радови у националним часописима

Чугуровић, Милан. [“Динамичко прикупљање и статичко прелвиђање профила извршавања програма у контексту компајлерских оптимизација”](#), ИнфоМ - Часопис за информационе технологије и мултимедијалне системе 23.78 (2023): 17-27. (M53)

Радови на конференцијама

Milan Čugurović, Ivan Ristović, Strahinja Stanojević, Marko Spasić, Vesna Marinković, Milena Vujošević Janičić. [ML-Driven Prediction of Optimal Control Flow Graph Traversal Algorithm in Modern Applications](#). 12th International Conference IcETRAN. June 9-12, 2025. (Best Paper Award for Young Researchers.) (M33)

Milikić, Lazar, Milan Cugurovic, and Vojin Jovanovic. [“GraalNN: Context-Sensitive Static Profiling with Graph Neural Networks.”](#) Proceedings of the 23rd ACM/IEEE International Symposium on Code Generation and Optimization (CGO). 2025, Las Vegas, Nevada. (M33)

Иван Ристовић, Милан Чугуровић, Страхиња Станојевић, Марко Спасић, Весна Маринковић, Милена Вујошевић Јаничић, [“Ефикасан обилазак графова контроле тока програма”](#), Конференција *YuInfo 2024*, Копаоник, Србија. (M63)

Патенти

Čugurović Milan, Vujošević Janičić Milena, Jovanović Vojin, Würthinger Tomas, [“Machine Learning Based Static Profiling”](#), United States Letter Patent, US20250244979A1, 2025. (M86)

Čugurović Milan, Vujošević Janičić Milena, Prokopec Aleksandar, Spasojević Boris, Jovanović Vojin, “ML-Based Method-Hotness Classification for Binary-Size Reduction in Optimizing Compilers”, Application for United States Letter Patent, ORC26140781-US-NPR. 2025. (M86)

Jovanović Vojin, Čugurović Milan, Milikić Lazar, “Static Profiling With Graph Neural Networks”, Application for United States Letter Patent, ORC25139309-US-NPR, 2024. (M86)

Саопштења на конференцијама штампана у изводу

Milan Čugurović, Milena Vujošević Janičić. [GraalSP Profiles Logger: A Tool for Analyzing and Interpreting Predictions of the ML-Based Static Profilers](#). Artificial Intelligence, Organized by the Department of Technical Sciences SASA and the Mathematical Institute SASA, December 26-27, 2024. (M34)

Милан Чугуровић, Милена Вујошевић Јаничић. [“Креирање и анализа скупа података за предвиђање вероватноћа извршавања виртуелних метода у објектно-оријентисаним програмима”](#), Конференција „Вештачка интелигенција”, Математички институт САНУ, децембар 26-27, 2023. (M64)

Милан Чугуровић, Иван Ристовић, Страхиња Станојевић, Марко Спасић, Весна Маринковић, Милена Вујошевић Јаничић, [“Компаративна анализа алгоритама обиласка графова контроле тока програма”](#), Симпозијум Математика и примене, Математички факултет, Универзитет у Београду, 2023, Vol. XIII(1). (M64)

Marko Spasić, Ivan Ristović, Strahinja Stanojević, Milan Čugurović, Milica Karličić, Milena Vujošević Janičić. [“Evaluacija performansi kompilatora GraalVM na distribuiranom računarskom klasteru”](#). XV Srpski matematički kongres. Matematički fakultet, Univerzitet u Beogradu, ISBN: 978-86-7589-191-8, strana 114. 2024. (M64)

Излагања на семинарима

Милан Чугуровић, [“Предвиђање профила програма методама машинског учења”](#), Семинар за вештачку интелигенцију, Математички институт САНУ, Март 2022.

3. Предмет дисертације

Предмет ове докторске дисертације је статички профајлер *GraalSP*. Статички профајлер *GraalSP* користи технике машинског учења за предвиђање профила извршавања програма. *GraalSP* је преносив, ефикасан, вишејезичан и робустан статички профајлер. Преносивост је постигнута дефинисањем скупа атрибута на основу којих модел машинског учења предвиђа профил над интерном графовском репрезентацијом компилатора високог нивоа и делимичним аутоматизацијом процеса издвајања атрибута. Овај приступ омогућава и вишејезичност, јер *GraalSP* може да предвиђа профиле за програме писане на било ком језику који се преводи на Јава бајткод, попут Јаве, Скале или Котлина. Ефикасност статичког профајлера *GraalSP* произилази из коришћења модела машинског учења *XGBoost*, који је заснован на ефикасним стаблима одлучивања. Робусност обезбеђују пажљиво дефинисане хеуристике за корекцију предвиђања модела машинског учења, које гарантују високе перформансе оптимизованих програма и у случају одударајућих података.

Статички профајлер *GraalSP* интегрисан је у компилатор *Enterprise GraalVM Native Image*. Евалуација на скупу од 28 програма из скупова тест програма *Renaissance*, *DaCapo* и *DaCapo con Scala* показала је да статички профајлер *GraalSP* у просеку остварује убрзање времена извршавања програма од 7.46% (геометријска средина) у односу на подразумевану конфигурацију компилатора, која користи униформну расподелу за моделовање профила извршавања грана наредби гранања. Ови скупови тест програма представљају савремену и разноврсну колекцију тест програма из различитих програмских парадигми, што додатно потврђује квалитет предложеног решења.

У циљу проширења евалуације и боље анализе предвиђања статичког профајлера *GraalSP*, развијен је и пратећи алат *GraalSP-PLog*, који омогућава програмерима да покрећу профајлер *GraalSP* над произвољним програмима и добијају детаљне извештаје о предвиђањима модела. На тај начин олакшана је идентификација појединачних предвиђања и могућих грешака модела, и олакшана интерпретација предвиђања статичког профајлера *GraalSP*.

4. Приказ дисертације

Број страна докторске дисертације је xii+123 и она се састоји из осам глава, једног додатка и литературе од 351 библиотечке јединице.

Прва глава је уводног карактера и у њој су приказани су најважнији доприноси дисертације и приказана је организација дисертације.

У другој глави описане су основе машинског учења, платформа *Oracle GraalVM* и компилатор *Enterprise GraalVM Native Image*. У овој глави приказане су технике динамичког профјалирања и могућности које динамичко профјалирање пружа. Додатно, у другој глави приказане су и оптимизације вођене профилом извршавања програма.

У трећој глави дат је преглед радова који се баве статичким предвиђањем грана као и приказ релевантних статичких профјалера. Представљени су статички профјалери засновани на ручно дефинисаним хеуристикама, као и они засновани на техникама машинског учења.

У четвртој глави приказан је развијени статички профјалер *GraalSP*. Приказан је процес креирања скупа података за обучавање модела машинског учења за статичко предвиђање профила, приказани су модели машинског учења коришћени за статичко предвиђање профила, и хеуристике за корекцију предвиђања модела машинског учења. Поред тога, у четвртој глави приказан је и алат *GraalSP-PLog* развијен за анализу и откривање грешака у предвиђањима статичког профјалера *GraalSP*.

У петој глави приказани су детаљи имплементације статичког профјалера *GraalSP* и алата *GraalSP-PLog*. Приказани су скупови података коришћени за обучавање и валидацију модела машинског учења, детаљи имплементације модела машинског учења и имплементација хеуристика за корекцију предвиђања модела машинског учења. Поред тога, у петој глави приказана је интеграција статичког профјалера *GraalSP* и алата *GraalSP-PLog* у компилатор *Enterprise GraalVM Native Image*.

У шестој глави представљена је евалуација статичког профјалера *GraalSP*. Приказани су програми коришћени у експериментима, као и детаљи извођења експеримената. Дата је анализа скупа атрибута и скупа података за обучавање модела, уз евалуацију квалитета предвиђања модела помоћу метрика машинског учења. Такође је разматран утицај статичког профјалера *GraalSP* на перформансе преведених програма: њихово време извршавања, величину оптимизованих програма и време генерисања оптимизованих програма. На крају, приказана је анализа квалитета предвиђања статичког профјалера *GraalSP* на појединачним примерима програма и поређење предвиђених профила са динамички прикупљеним профилима.

У седмој глави приказано је поређење статичког профјалера *GraalSP* са релевантним статичким профјалерима. У овој глави дата је квалитативна и квантитативна оцена предложеног решења односно статичког профјалера *GraalSP*.

У осмој глави дати су закључци и назначени правци даљег истраживања. У додатку А приказани су детаљи имплементације статичког профјалера заснованог на хеуристикама Буа и Ларуса у компилатору *Enterprise GraalVM Native Image*, имплементираног у сврху поређења статичког профјалера *GraalSP* са релевантним приступима.

5. Закључак и предлог комисије

Резултати кандидата Милана Чугуровића представљени у дисертацији су оригинални, нетривијални и дају значајан допринос техникама профајлирања, посебно области статичких профајлера. Развој статичког профајлера описаног у дисертацији подразумевао је примену различитих техника машинског учења и компилатора. У току израде дисертације, кандидат је објавио пет научних радова: од којих један у часопису са *SCI* листе, један самостални рад, као и три рада на конференцијама. Поред тога, кандидат је објавио један патент у Сједињеним Америчким Државама, док је два патента пријавио. Кандидат је такође представио четири саопштења на конференцијама (штампана у зборницима извода) и одржао једно предавање на семинару.

Докторска дисертација је урађена према одобреној пријави и представља оригинално и самостално научно дело, па констатујемо да су се стекли услови за њену јавну одбрану. Због свега наведеног, предложено Наставно-научном већу Математичког факултета да прихвати предложени текст као докторску дисертацију кандидата Милана Чугуровића и одреди комисију за јавну одбрану.

У Београду, 30. 09. 2025. године.

проф. др Филип Марић,
редовни професор Математичког факултета Универзитета у Београду

проф. др Младен Николић,
ванредни професор Математичког факултета Универзитета у Београду

проф. др Саша Мисаиловић,
ванредни професор на Универзитету Илиноис у Урбана-Шемпејну
(енг. *University of Illinois Urbana-Champaign*)