

УНИВЕРЗИТЕТ СИНГИДУНУМ  
Департман за последипломске студије  
Данијелова 32, Београд

## ВЕЋУ ДЕПАРТМАНА ЗА ПОСЛЕДИПЛОМСКЕ СТУДИЈЕ

Одлуком Већа Департмана за последипломске студије број: 4 – 144/2021. од 09.07.2021. године, одређени смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Небојше Будимировића, под називом: **“Нова метода за кластеровање људских активности базирана на графовима”** о чему подносимо следећи

### ИЗВЕШТАЈ

#### 1. Основни подаци о кандидату и докторској дисертацији

Небојша Будимировић је рођен 1979. године у Шапцу. Основну школу и гимназију је завршио у Шапцу. Добитник је диплома „Вук Караџић“ и „Михаило Петровић - Алас“ за математику и прве награде на републичком такмичењу младих математичара Србије. Дипломирао је на Департману за математику, Природно-математичког факултета у Новом Саду 2013. године са просечном оценом 8.00 и стекао звање Дипломирани инжењер математике. Одбранио је дипломски рад под насловом „Примена математичке логике у фази скуповима“ са оценом 10.

На докторским студијама на Факултету за информатику и рачунарство, Универзитета Сингидунум у Београду, студијски програм Напредни системи заштите, положио је све испите предвиђене наставним планом и програмом са просечном оценом 8.00.

Радио је на Факултету за компјутерске науке Мегатренд универзитета у Београду у звању сарадника и Академији струковних студија Шабац у Шапцу, у којој и сада ради, у звању асистента. У раду на поменутих високошколским институцијама изводио је практичну наставу (вежбе) из следећих предмета:

Дискретна математика, Математички софтвер, Информатика, Математичка анализа, Вероватноћа, Пословна статистика, Финансијска и актуарска математика, Аналитичка геометрија, Математика за економисте, Нумеричка анализа, Методика наставе математике и Методологија научно-истраживачког рада.

Коаутор је два уџбеника за студенте:

1. Будимировић, В., **Будимировић, Н.**, *Истраживачки рад*, Висока школа струковних студија за васпитаче, Шабац, 2017, ISBN: 978-86-7142-039-6
2. Будимировић, В., **Будимировић, Н.**, *Информатика са рачунарством*, Висока школа струковних студија за васпитаче, Шабац, 2007

Активно се бавио научно-истраживачким радом и током докторских студија и до сада је објавио следеће радове:

#### **M21a – Рад у међународном часопису изузетних вредности**

1. **Budimirovic, N.**, Bacanin, N., *Novel Algorithms for Graph Clustering Applied to Human Activities*, Mathematics, Vol. 9, Issue 10, 1089, 2021 <https://doi.org/10.3390/math9101089>

#### **M22 – Рад у истакнутом међународном часопису**

1. **Budimirovic, N.**, Prabhu E., Antonijevic M., Zivkovic M., Bacanin, N., Strumberg I., Venkatachalam K., *COVID-19 Severity Prediction Using Enhanced Whale with Salp Swarm Feature Classification*, Computers, Materials & Continua, 2022 (прихваћен рад).
2. Zivkovic M., Antonijevic M., **Budimirovic N.**, Strumberger I., Bacanin N., *Enhancing energy efficiency of 5G networks with software defined Network function visualization on edge node*, Wireless Personal Communications, 2021 (прихваћен рад).

#### **M23 – Рад у међународном часопису**

1. Bacanin, N., Antonijevic M., **Budimirovic N.**, Strumberger I., Zivkovic M., *Improve The QOS of 5g Networks With Multi Level Fuzzification Based Offloading and GWO Based Energy Optimization in Edge Computing Using IoT*, Soft Computing, 2021 (прихваћен рад).

#### **M33 – Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u celini**

1. Gnjatović, M., Nikolić, V., Joksimović, D., Maček, N. **Budimirović, N.**, (2020), *An approach to human activity clustering using inertial measurement data*, X International Scientific Conference Archibald Reiss Days, University of Criminal Investigation and Police Studies, Republic of Serbia, Belgrade, 18-19 November 2020, THEMATIC CONFERENCE PROCEEDINGS OF INTERNATIONAL SIGNIFICANCE, Vol 10 No 1 (2020), 547-555 <http://eskup.kpu.edu.rs/dar/issue/view/5>
2. Budimirović, V., **Budimirović, N.**, *Fuzzy Varieties*, IRASA Second International Scientific Conference SCIENCE, EDUCATION, TECHNOLOGY AND INNOVATION SETI II 2020, Republic of Serbia, Belgrade, 2-3 October 2020, 182-191 [https://mianu.org/wp-content/uploads/2021/02/SETI-II\\_Book-of-Proceedings\\_2020.pdf](https://mianu.org/wp-content/uploads/2021/02/SETI-II_Book-of-Proceedings_2020.pdf)
3. Budimirović, V., **Budimirović, N.**, Karić, Dj., *A note on Idempotent Semirings*, IRASA International Scientific Conference SCIENCE, EDUCATION, TECHNOLOGY AND INNOVATION SETI I 2019, Republic of Serbia, Belgrade, 12-13 April 2019, 81-87 [http://mianu.org/wp-content/uploads/2019/06/Book-of-Proceedings\\_SETI-I-2019.pdf](http://mianu.org/wp-content/uploads/2019/06/Book-of-Proceedings_SETI-I-2019.pdf)

4. **Budimirović, N.**, *Cultivating divergent thinking in mathematics through open-ended tasks at preschool age*, X INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT, University PIM Banja Luka, 2021, 744-752  
<http://conf.univerzitetpim.com/zbornik-radova/>

#### **M63 – Saopštenje sa skupa nacionalnog značaja štampano u celini**

1. **Будимировић Н.**, Старчевић Н., *Улога васпитача у подстицању креативности деце кроз почетно математичко образовање*, Конференција „Vaspitač u 21. veku“, Висока школа за васпитаче струковних студија Алексинац, 2019, 103-110  
<http://eprints.ugd.edu.mk/27734/1/Mahmut%20i%20Ivana%20trud%20Zbornik%20Aleksinac%281%29.pdf>

2. Будимировић Б., **Будимировић Н.**, (2016), *Развијање комбинаторних идеја на предшколском узрасту*, Научно-стручна конференција: Квалитет савременог васпитања и образовања, Висока школа струковних студија за васпитаче, Шабац  
<http://www.vivasabac.edu.rs/materijali/skup/pp.pdf>

3. **Будимировић Н.**, Будимировић Б., (2016), *Задаци отвореног типа у почетном математичком образовању*, Научно-стручна конференција: Квалитет савременог васпитања и образовања, Висока школа струковних студија за васпитаче, Шабац  
<http://www.vivasabac.edu.rs/materijali/skup/pp.pdf>

Докторска дисертација кандидата Небојше Будимировића је урађена на укупно 96 страна, од чега 17 страна чини списак литературе. Списак литературе обухвата 167 референци које чине научни радови, зборници радова, књиге и извори са Интернета. Уз основни текст дисертација садржи и 3 слике, 11 табела, као и 2 псеудо-кода алгоритама.

Докторска дисертација кандидата **Небојше Будимировића** је била подвргнута провери софтвером за установљавање преклапања/плагијаризма (iThenticate Plagiarism Detection Software). *Укупан процентуални износ запажених преклапања износи 4% дисертације.*

## **2. Предмет и циљ истраживања**

Циљ сваког научног истраживања је решење неког проблема. Научно проучавање и истраживање, као планска и организована делатност има своју структуру и ток истраживања. Прва (припремна) фаза је избор и формулисање предмета као и проблема истраживања који је у оквиру одабраног предмета истраживања. Научни проблем представља питање на које, у систему расположивог научног знања, нема одговора. Циљ истраживања је добијање одговора на питање формулисано проблемом истраживања. Наводимо прво предмет и проблем истраживања у овој дисертацији.

*Предмет истраживања ове дисертације су методе кластеровање које су погодне за препознавање сложених људских активности.*

**Проблем истраживања:** *Да ли је могуће постизање бољих резултата, од оних који се добијају постојећим методама, за препознавање сложених људских активности у реалном окружењу?*

Аутоматски развој препознавања људских активности (енг. human activity recognition - HAR) изазовни је задатак који тек треба решити. Решење овог задатка има велики значај за унапређење интеракције човек-машина, сигурности, здравствене заштите и многих других области.

Како рачунарски хардвер постаје све приступачнији, мањи и бржи, он постаје и свеprisутан, толико да је данас паметни телефон, паметни сат или сличан податак преузео интегралну улогу у свакодневном животу. Пораст таквих носивих уређаја опремљених инерцијалним мерним јединицама (енг. inertial measurement units - IMUs) довео је до повећања обима коришћења података са IMU за HAR. У прилог тој чињеници иде велики број објављених радова у еминентним међународним часописима који се налазе на *Thomson Reuters SCI* листама, као и на угледним међународним конференцијама које организују *IEEE* и *ACM*. Примена различитих метода, користећи IMU за HAR, даје запажене резултате на пољу аутоматског препознавања на конвенционалним скуповима података HAR, који садрже искључиво једноставне и понављајуће активности.

Међутим, јавља се потреба за анализом сложених активности које нису прецизно дефинисане. Разни људски субјекти исту активност обављају на различите начине. Сегменти исте сложене активности могу се изводити различитим редоследом. Поред тога, различите врсте сложених активности могу имати исте сегменте. Алгоритми кластеровања графова могу бити практични за препознавање и класификацију људских активности. Циљ је конструисати алгоритам погодан за груписање људских активности, иако постоје значајне сличности међу кластерима.

У овом раду је предложен нови алгоритам кластеровања заснован на графовима, погодан за анализу једноставних и сложених људских активности. Подаци са IMU, који су мање захтевни за рачунарску обраду и сматрају се погодним за практичну примену, коришћени су за тестирање алгоритма.

**Циљ истраживања** у докторској дисертацији је конструкција приступа који омогућава унапређење решавања проблема препознавања и кластеровања сложених људских активности у реалном окружењу.

Да би се реализовао циљ, потребно га је конкретизовати кроз **задатке** који представљају уже циљеве:

1. Представљање људских активности симболичким моделирањем просторно-временских сигнала са носивих уређаја.
2. Одређивање адекватне мере сличности података добијених моделирањем људских активности.
3. Конструисање алгоритма кластеровања графа погодног за кластеровање сложених људских активности у случају када број кластера није унапред познат.
4. Конструисање алгоритма кластеровања графа погодног за кластеровање сложених људских активности у случају када број кластера унапред дат.
5. Представљање нове методе евалуације за прецизнију оцену перформанси предложеног приступа.

### 3. Хипотетички оквир истраживања

На основу формулисаног циља и задатака истраживања, формулисане су хипотезе за одабрани предмет истраживања.

**Општа хипотеза** у истраживању, у оквиру израде докторске дисертације, формулисана је на следећи начин:

*Могуће је постизање бољих резултата, од оних који се добијају постојећим методама за препознавања сложених људских активности у реалном окружењу.*

**Посебна хипотеза** која произилази из опште је:

*Имплементацијом новог приступа, могуће је унапредити решавање проблема препознавања и кластеровања сложених људских активности у реалном окружењу.*

**Појединачне хипотезе:**

1. *Сложене људске активности се могу адекватно представити стринговима, добијеним симболичким моделирањем просторно-временских сигнала са носивих уређаја.*
2. *Адаптацијом неке од постојећих мера сличности између стрингова може се добити адекватна мера сличности људских активности.*
3. *Може се конструисати алгоритам за кластеровање тежинских графова погодан за кластеровање сложених људских активности, када број кластера није унапред познат.*
4. *Може се конструисати алгоритам за кластеровање тежинских графова погодан за кластеровање сложених људских активности, када је број кластера унапред дат.*
5. *Могуће је новом методом евалуације унапредити анализу резултата кластеровања.*

### 4. Методологија истраживања

Да би се развиле хипотезе које су у складу са предметом и циљем истраживања, примењене су методе истраживања које су уобичајене у пракси и научно потврђене: аналитичко–синтетичка метода, дедуктивно–индуктивна метода, компаративно–квантитативна анализа, емпиријска метода, евалуациона метода, моделирање и експериментална метода за доказивање хипотеза.

Аналитичким методом је обављена анализа садржаја релевантне научне и стручне литературе у овој области, као и релевантних чињеница публикованих путем електронских и других медија.

Синтетичким методом су интегрисани рашчлањени анализирани елементи појаве у једну целину – ради дефинисања одређених правила у понашању појаве која је предмет истраживања.

Коришћење дедуктивно–индуктивне методе је у функцији усмеравања истраживања од општег ка појединачном, односно од појединачног ка општем у циљу доласка до адекватних закључака.

У оквиру компаративно-квантитативне анализе, а у корелацији са циљевима истраживања и појавом којом се истраживање бави, као најадекватнији приступ истраживању изабрана је метода анализе. За анализу прикупљених конкретних резултата примене метода, техника и алгоритама кластеровања за решавање проблема препознавања и кластеровања сложених људских активности у реалном окружењу, коришћена је метода квантитативне анализе. Методом компаративне анализе упоређени су добијени резултати новог приступа препознавања људских активности са познатим резултатима и изведен закључак о стварном унапређењу решавања овог проблема применом новог приступа и посебно нових алгоритама кластеровања.

Применом емпиријске методе прикупљени примарни подаци су разматрани и у светлу дискутованих постојећих теоријских и емпиријских налаза, односно секундарних извора података, како би се тестирале полазне истраживачке хипотезе.

Практичним експериментисањем (пуштањем алгоритама) дошло се до примарних података. Моделирањем је конструисан математички модел који представљај валидну представу проблема који се изучава и решава.

За евалуацију резултата кластеровања, поред познатих, коришћена је и нова метода евалуације.

## **5. Кратак приказ садржаја докторске дисертације**

Дисертација се састоји из увода, закључка, списка литературе и шест поглавља.

У уводном делу докторске дисертације укратко је изложен проблем који је разматран, као и преглед досадашњих резултата из ове области. Такође је изложен методолошки приступ, као и структура рада. На крају су изложени најважнији доприноси рада.

У оквиру другог поглавља је изложена таксономија приступа за анализу препознавања људских активности. Посебно је приказана класификација људских активности и типови сензора. Затим се дају преглед база података и врсте задатака анализе људских активности.

У трећем поглављу су изложене основе кластер анализе. Такође се даје класификација и карактеристике метода, као и преглед алгоритама кластеровања.

У четвртном поглављу су представљени нови алгоритми за кластеровање тежинских графова и образложена је њихова погодност за примену у препознавању сложених људских активности.

У петом поглављу је детаљно описана обрада сигнала и одабир параметара који су неопходни да би се дефинисале карактеристике или сличности које се анализирају. Посебно је представљена нова техника трансформације сигнала за екстрактовање потребних параметара за кластеровање, као и нова мера сличности.

Шесто поглавље садржи преглед метода евалуације резултата кластеровања. У сврху прецизније оцене резултата кластеровања предложена је и нова метода евалуације. Такође су дискутоване њене предности у односу на сличне методе евалуације.

У оквиру седмог, експерименталног, поглавља детаљно су приказане имплементације предложеног приступа, односно формирање и кластеровање тежинских графова. У ту сврху су коришћене различите базе података добијене са уређаја којима су бележене људске активности. Поред нових алгоритама, ради компаративне анализе, на истим узорцима су тестирани и алгоритми других аутора. Такође је приказана евалуација и дискусија резултата кластеровања.

На крају дисертације је изнет закључак са могућим правцима даљег истраживања у овој перспективној области.

## 6. Постигнути резултати и научни допринос докторске дисертације

Главни мотив истраживања, које је спроведено за потребе докторске дисертације, је реално очекивање да ће нови приступ за решавање проблема препознавања сложених људских активности дати боље резултате од већ постојећих и приказаних метода, алгоритама и техника за решавање истог типа проблема. На основу спроведеног истраживања могу да се издвоје следећи научни доприноси:

- Нови алгоритам за кластеровање тежинских графова, погодан за кластеровање сложених људских активности, када број кластера није унапред познат.
- Нови алгоритам за кластеровање тежинских графова, погодан за кластеровање сложених људских активности, када је број кластера унапред дат.
- Унапређење технике обраде сигнала са преносивих уређаја за потребе анализе људских активности.
- Нова метода евалуације резултата кластеровања.

Резултати истраживања који су приказани у овој докторској дисертацији валидирани су од стране светске научне заједнице објављивањем у једном међународном часопису изузетних вредности (M21a) и једном зборнику са међународног скупа (M33):

1. **Budimirovic, N.**, Bacanin, N., *Novel Algorithms for Graph Clustering Applied to Human Activities*, Mathematics, Vol. 9, Issue 10, 1089, 2021, - **M21a** <https://doi.org/10.3390/math9101089>
2. Gnjatović, M., Nikolić, V., Joksimović, D., Maček, N. **Budimirović, N.**, (2020), *An approach to human activity clustering using inertial measurement data*, X International Scientific Conference Archibald Reiss Days, University of Criminal Investigation and Police Studies, Republic of Serbia, Belgrade, 18-19 November 2020, THEMATIC CONFERENCE PROCEEDINGS OF INTERNATIONAL SIGNIFICANCE, Vol 10 No 1 (2020), 547-555, - **M33** <http://eskup.kpu.edu.rs/dar/issue/view/5>

## 7. Мишљење и предлог Комисије о докторској дисертацији

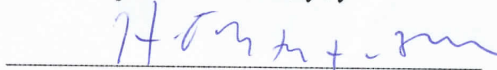
На основу свега изложеног Комисија је мишљења да докторска дисертација кандидата кандидата Небојше Будимировића по својој теми, приступу, структури и садржају рада, квалитету и начину излагања, методологији истраживања, начину коришћења литературе, релевантности и квалитету спроведеног истраживања и донетим закључцима задовољава критеријуме захтеване за докторску дисертацију, те се може прихватити као подобна за јавну одбрану.

Сагледавајући укупну оцену докторске дисертације кандидата Небојше Будимировића, под називом **“Нова метода за кластеровање људских активности базирана на графовима”** предлажемо Већу департмана за последипломске студије и Сенату Универзитета Сингидунум да прихвати напред наведену докторску дисертацију и одобри њену јавну одбрану.


Београд, 25.01.2022.

Чланови комисије:

Проф. др Небојша Бачанин-Цакула  
Универзитет Сингидунум



Проф. др Миодраг Живковић  
Универзитет Сингидунум



Проф. др Бошко Николић  
Електротехнички факултет, Универзитет у Београду

