

## ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА

## ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

-обавезна садржина- свака рубрика мора бити попуњена

(сви подаци уписују се у одговарајућу рубрику, а назив и место рубрике не могу се мењати или изоставити)

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ
<p>1. Датум и орган који је именовao комисију</p> <p><b>Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације именовao је Декан Факултета техничких наука решењем број 012-199/35-2016 од 31. V 2018. године на основу Одлуке Наставно-научног већа.</b></p> <p>2. Састав комисије са назнаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:</p> <p>1. <b>др Татјана Лончар-Турукало</b>, ванредни професор, <b>председник</b>, уже научна област: Телекомунације и обрада сигнала, изабрана у звање ванредног професора 26.04.2017. године, Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука.</p> <p>2. <b>др Ивана Ковачић</b>, редовни професор, <b>члан</b>, уже научна област: Механика, изабрана у звање редовног професора 24.06.2014. године, Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука.</p> <p>3. <b>др Оливера Швелџо</b> доцент, <b>члан</b>, уже научна област: Телекомунације и обрада сигнала, изабрана у звање доцента 01.10.2013. године, Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука.</p> <p>4. <b>др Никола Ђурић</b>, ванредни професор, <b>члан</b>, уже научна област: Теоријска електротехника, изабран у звање ванредног професора 22.04.2015. године, Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука.</p> <p>5. <b>др Bazsó Fülöp</b>, виши научни сарадник, <b>члан</b>, уже научна област: Физика, изабран у звање 01.09.2001, Department of Theory, Institute for Particle and Nuclear Physics, Wigner RCP of the Hungarian Academy of Science.</p> <p>6. <b>др Драгана Бајић</b>, редовни професор, <b>ментор</b>, уже научна област: Телекомуникације и обрада сигнала, изабрана у звање редовног професора 15.06.2006. године, Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука.</p>
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ
<p>1. Име, име једног родитеља, презиме:</p> <p><b>Горана, Богдан, Мијатовић</b></p> <p>2. Датум рођења, општина, држава:</p> <p><b>22.11.1986. године, Сарајево, Босна и Херцеговина</b></p>

<p>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив</p> <p><b>Факултет техничких наука, Енергетика, електроника и телекомуникације, Мастер инжењер електротехнике и рачунарства</b></p> <p>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија</p> <p><b>2010. година, Енергетика, електроника и телекомуникације</b></p> <p>5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране:</p> <p>–</p>
<p>6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука:</p> <p>–</p>
<p><b>III НАСЛОВ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b></p> <p><b>“Декомпозиција неуралне активности: модел за емпиријску карактеризацију интер-спајк интервала”</b></p>
<p><b>IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b></p> <p>Навести кратак садржај са знаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикона и сл.</p>
<p>Докторска дисертација кандидата <b>Горане Мијатовић</b> под насловом “<b>Декомпозиција неуралне активности: модел за емпиријску карактеризацију интер-спајк интервала</b>” написана је на 131 страну, подељена је у 9 поглавља, при чему садржи 30 слика, 6 табела и 112 научних референци. На почетку тезе су дати: наслов тезе, кључна документацијска информација на српском и енглеском језику, захвалница, садржај рада, попис слика и табела, као и листа скраћеница које су коришћене у тексту.</p> <p>Дисертација је организована у девет поглавља:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Мотивација.</li> <li>2. Неуронаука.</li> <li>3. Декомпозиција неуралне активности.</li> <li>4. Емпиријска карактеризација неуралних образаца.</li> <li>5. Анализа прага неуралне активности и стабилна процена параметара.</li> <li>6. Резултати алгоритама кластеризације над симулираним сигналима.</li> <li>7. Резултати алгоритама кластеризације над експерименталним сигналима.</li> <li>8. Резултати поређења предложене методе са постојећим методама.</li> <li>9. Дискусија и закључак.</li> </ol> <p>На крају дисертације је дат списак научне литературе, коришћене током истраживања и израде ове дисертације, као и списак софтверских алата који су искоришћени током истраживања.</p>

## V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

### Наслов дисертације

Комисија је мишљења да је наслов докторске дисертације јасно формулисан и да сажето дефинише тематику и садржај дисертације.

### Поглавље 1 – Мотивација

У уводном поглављу је објашњен предмет истраживања докторске дисертације, односно значај карактеризације неуралних сигнала са становишта рачунарске неуронауке у циљу бољег разумевања кодовања и преноса неуралне информације. Истакнут је значај идентификације различитих неуралних образаца у циљу доприноса кључних информација о специфичности неурона, популације неурона и/или о структури посматране мождане зоне. Дат је преглед метода за анализу неуралне активности укључујући методе које не подразумевају строге претпоставке и параметарске методе. С обзиром да су се у последњих пар деценија технике снимања неуралне активности значајно развиле и омогућавају истовремено снимање активности великог броја неурона, назначени су изазови у погледу анализе великог броја неуралних снимака и потребе за аутоматском подршком. Наведен је преглед литературе у којој се описују савремене експерименталне технике снимања активности на нивоу неурона, а које укључују два основна приступа: електрофизиолошки (инвазивни, директни приступ ткиву електродама) и новији неинвазивни приступ у развоју заснован на имидинг технологијама високе резолуције. У складу са претходно наведеним ставкама у погледу значаја идентификације и карактеризације неуралних образаца на основу брзине испаливања, као и доприноса аутоматске анализе при обради све већих количина података (енгл. *big data*), јасно и прецизно је наведена потреба за предметним истраживањем, као и очекивани исходи ове дисертације.

Комисија сматра да је дат свеобухватан и веома користан приказ научне литературе у области истраживања. Наведене су предности и недостаци појединих метода за анализу неуралне активности.

### Поглавље 2 – Неуронаука

У другом поглављу је дат кратак преглед основних појмова у неурофизиологији, односно преглед основне анатомије нервног система са акцентом на нервне ћелије – неуроне. Укратко је описана морфологија, класификација, начин генерисања, преноса и детекције акционих потенцијала неурона, тзв. „спајкова“.

Комисија сматра да је дат јасан приказ основне анатомије нервног система, са акцентом на опис генерисања и преноса акционих потенцијала нервне ћелије. Фокус описа неуралних активности појединачних неурона је у потпуности оправдан, с обзиром да истраживање обрађује управо ову врсту неуралне активности.

### Поглавље 3 – Декомпозиција неуралне активности

Треће поглавље представља оригинални допринос докторске дисертације. Неурална активност се грубо може поделити на периоде интезивне, умерене и ниске активности. Сходно томе, у овом поглављу је описана предложена груба декомпозиција неуралне активности на три мода која одговарају наведеним обрасцима неуралне активности на основу добро познатог Гилбертовог модела. Неки од модова су додатно рашчлањени на сопствена стања на основу особина сукцесивних акционих потенцијала, омогућујући финији опис неуралне активности. Описана је естимација пробабилистичких параметара грубе декомпозиције на основу Гилбертовог модела, и финије декомпозиције на основу сопствених стања модова (ако постоје), што обезбеђује жељени (под)скуп пробабилистичких параметара – дескриптора. Вектор параметара описује начин испаливања појединачног неурона. У случају великог броја снимљених неурона (под)скуп пробабилистичких параметара може да се користи за кластеровање неурона с обзиром на сличност њихове активности.

Комисија сматра да је опис предложеног описа неуралне активности изложен јасно и да је тиме

омогућено разумевање основног доприноса ове дисертације.

#### **Поглавље 4 – Емпиријска карактеризација неуралних образаца.**

У оквиру овог поглавља дат је опис врста сигнала над којима су естимирани параметри и потом тестирани изабрани алгоритми. Поред описа расположивог скупа експерименталних сигнала, детаљно је описан начин генерисања симулираних података. Описани су алгоритми кластеризације, као и протокол евалуације датих алгоритма. Протокол подразумева неколико алгоритма кластерованја: алгоритам адаптивне пропагације (енгл. *Adaptive Affinity Propagation, aAP*) – као изабрани индивидуални алгоритам кластеризације, и приступ заснован на акумулацији доказа над партицијама добијеним основним методама кластерованја као независним доказима (енгл. *Evidence Accumulation Clustering, EAC*) – коришћен у циљу добијања консензус решења. Описане су две основне методе које су коришћене приликом креирања ансамбла партиција кластерованја у *EAC*-у: метода *k*-средњих вредности (енгл. *k-means*) и спектрална кластеризација (енгл. *Spectral Clustering, SC*). За издвајање коначне партиције у *EAC*-у коришћена је хијерархијска агломеративна кластеризација (енгл. *Hierarchical Agglomerative Clustering, HAC*).

Комисија сматра да је предложени метод верификован на адекватан и свеобухватан начин, с обзиром да су улазна обележја тестирана над оба скупа података: симулираном и експерименталном. Описани протокол евалуације већег броја алгоритма кластеризације, као и валидационе технике у циљу процене квалитета резултата кластерованја, представљају веома детаљну и поуздану анализу тестирања значаја естимираних параметара.

#### **Поглавље 5 – Анализа прага неуралне активности и стабилна процена параметара**

У петом поглављу је описана анализа предложене мере за процену прага који дефинише периоде ниске неуралне активности појединачног неурона. Препознавање периода ниске активности (мировања) неурона представља веома важан детаљ у погледу карактеризације неуралне активности, а поготово у погледу квантификације мере сагласности између два или више неурона, будући да периоде када су неурони неактивни не треба третирати као упарене. Након оправдања жељеног избора датог прага, приказани су резултати тестирања стабилности процене параметара у зависности од дужине улазног сигнала – ИСИ временског низа.

Комисија сматра да резултати истраживања, представљени у оквиру петог поглавља, на јасан начин представљају предложену процену прага у вези са периодима ретке неуралне активности. Такође, детаљно је описана и тестирана анализа минималне дужине улазног сигнала неопходна за поуздану естимацију параметара.

#### **Поглавље 6 – Резултати алгоритма кластеризације над симулираним сигнаlima**

У шестом поглављу представљени су резултати евалуације различитих алгоритма кластеризације. Евалуација је извршена генерисањем различитих осцилаторних таласних облика који одговарају понашању кортикалних неурона. Прво је приказана матрица улазних обележја а затим је образложен избор приступа кластерованја који се заснива на креирању ансамбла партиција добијених *k-means* или *SC* кластерованњем, у односу на примену основних алгоритма кластеризације. Валидациони индекси кластерованја су такође потврдили груписање неуралних јединица из симулираног скупа података. Будући да је начин генерисања осцилаторних понашања познат, на овај начин обезбеђена је евалуација резултата различитих метода кластерованја које за улаз имају процењена обележја вероватноћа.

Комисија сматра да је анализа добијених резултата над симулираним подацима свеобухватна и јасна. Изведени су закључци о ефекту избора подскупа или целокупног скупа обележја на улазу алгоритма кластерованја, у циљу добијања грубе или финије диференцијације између неуралних снимка. Урађена је веома детаљна анализа над симулираним скупом података која подразумева: оправдање избора кластерованја које се заснива на креирању ансамбла партиција добијених *k-means* или *SC* кластерованњем, процену квалитета кластерованја помоћу валидационих индекса кластерованја, као и визуелну верификацију симулираних кортикалних динамика груписаних по кластерима.

## **Поглавље 7 – Резултати алгоритама кластеризације над експерименталним сигнаlima**

У оквиру седмог поглавља представљени су резултати евалуације алгоритама кластеризације над експерименталним подацима из латералног префронталног дела кортекса у оквиру експерименталне процедуре процеса одлучивања. Као и у случају симулираних сигнала, прво су представљена улазна обележја, а затим оправданост избора приступа који се заснива на ансамблу партиција добијених *k-means* или *SC* кластеровањем. Евалуација резултата алгоритама кластеризације над експерименталним сигнаlima подразумева идентичан протокол као и у случају симулираних неуралних динамика. И над експерименталним сигнаlima су потврђени закључци који су првобитно изведени над симулираним кортикалним динамика у погледу избора технике кластеризације. Ансамбалско кластеровање даје стабилно и смислено груписање неурона, што је могуће и визуелно, субјективно, верификовати увидом у растер плетове. Објективне мере, валидациони индекси кластеровања су такође потврдили груписање срдних неуралних јединица из експерименталног скупа података. Резултати су потврђени и над сигнаlima дорзалног anteriорног цингуларног кортекса снимљених у оквиру истог експеримента као из овог дела кортекса, али у оквиру друге експерименталне процедуре.

Комисија сматра да је анализа резултата над експерименталним сигнаlima свеобухватна и јасна. Приказана је детаљна анализа потврде резултата који су изведени над вештачки генерисаним осцилацијама, која укључује: приказ улазних обележја над експериментални подацима, оправдање избора кластеровања које се заснива на креирању партиција добијених *k-means* или *SC* кластеровањем, евалуацију алгоритама кластеризације, валидационе технике кластеровања, као и визуелну верификацију неуралних одзива над експерименталним скупом података.

## **Поглавље 8 – Резултати поређења предложене методе са постојећим методама**

У осмом поглављу приказан је резултат поређења предложених улазних обележја са обележјима комплементарне методе познате у литератури која је развијена за идентификације три основна, истакнута неурална обрасца: регуларност, нестационарност и интензивна активности. На основу података из литературе симулирани су тест сигнали за које аутори рада сматрају да одговарају основним неуралним обрасцима. Резултати недвосмислено указују на предност улазних обележја који су предложени у оквиру ове дисертације.

На основу резултата истраживања Комисија је мишљења да су донети исправни и адекватни закључци, на основу којих се потврђује допринос предложене декомпозиције неуралне активности. Јасно су наведене и показане предности предложених обележја у односу на обележја методе из литературе.

## **Поглавље 9 – Дискусија и закључак**

У последњем, деветом поглављу дата је детаљна дискусија и тумачење резултата, прво над симулираним а потом над експерименталним подацима, на основу којих су изведени закључци. Поглавље је закључено препоруком за примену скупа предложених обележја и алгоритама кластеровања. Препорука је изведена на основу анализе оба скупа параметара (основног и проширеног), мера квалитета кластеровања и визуелне верификације неуралних одзива који су груписани по кластерима, над оба скупа података – симулираном и експерименталном.

На основу представљених резултата истраживања, Комисија је мишљења да су донети исправни и адекватни закључци, на основу којих се потврђује значај предложене методе.

## **Литература**

У оквиру овог поглавља наведене су научне референце, које су коришћене током истраживачког рада и током писања текста ове дисертације. Издвојене су референце кандидата које су у вези са проблематиком докторске дисертације, а такође су наведени коришћени софтверски алати са назнаком ауторства.

Комисија је мишљења да обим и квалитет анализираних референци представља добру основу за

истраживачки рад у предметној области.

## **VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ**

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у часопису са ISI листе односно са листе министарства надлежног за науку када су у питању друштвено-хуманистичке науке или радове који могу заменити овај услов до 01. јануара 2012. године. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду о томе.

### *Рад у међународном часопису (M22)*

1. **Mijatović G**, Lončar-Turukalo T, Procyk E and Bajić D: “A Novel Approach to Probabilistic Characterization of Neural Firing Patterns”, In: Journal of Neuroscience Methods, Elsevier, 2018, 17 страна, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165027018301365>

### *Предавање по позиву са међународног скупа штампаног у изводу (M32)*

1. **Mijatovic G**, Loncar-Turukalo T, Negyessy L, Bazsó F, Procyk E, Minich J: “Modelling the neural spike intervals”, In: International symposium on neurocardiology (Neurocard 2012), 2012, pp. 21-21, ISBN 978-973-169-200-5
2. **Mijatovic G**, Loncar-Turukalo T, Procyk E, and Bajic D: “Comparison of methods for burst detection in neural activity”, 15th Congress of the International Society for Holter and Noninvasive Electrophysiology (ISHNE 2013), May 30 – June, 2013, Timisoara, Romania, 31-32, pp. 1-4, ISBN 1223-1533

### *Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)*

1. **Mijatovic G**, Procyk E and Loncar-Turukalo T: “Statistical approach to inter-spike interval ramps”, In: Telecommunications Forum Telfor (TELFOR 2014), 2014 22nd. IEEE, 2014, pp. 553-556, ISBN:978-1-4799-6190-0

## **VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА**

Предложена декомпозиција неуралне активности на два нивоа – груба и финија – подразумева процену параметара који обезбеђују:

1. Пробабилистичку карактеризацију начина испаливања индивидуално посматраних неурона, независно од осталих неурона из сниманог подручја мозга.
2. Идентификацију периода ниске активности (мировања) у односу на његов начин испаливања.
3. Аутоматску идентификацију компромитованих снимака неуралне активности које није могуће уочити визуелним прегледом.
4. Карактеризацију масивног броја неуралних снимака, обезбеђујући брзо, ефикасно и поуздано груписање неурона са сличним неуралним активацијама што је веома значајно у домену великих количина података.
5. Компактан опис активности неурона на основу карактеризације неуралних образаца над експерименталним подацима што може да укаже на функционална својства разних можданих структура и њихов допринос разним облицима понашања.

Поређење перформанси алгоритама кластеровања који користе предложене параметре на улазу показује да и *EAC* и *aAP* приступ над оба скупа података – експерименталном и симулираном – обезбеђују поуздано груписање неурона и да крајњем кориснику (најчешће неуробиологу)

омогућавају избор жељеног степена диференцијације. С обзиром на брзину ових алгоритама, препорука је да се користи *EAC* приступ када је број неурона велики, а препоручен начин креирања ансамбла је са фиксним бројем кластера блиском очекиваном броју група.

### **VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА**

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

На основу детаљног увида и анализе докторске дисертације, Комисија сматра да је целокупна дисертација јасно и прегледно организована и написана, и да је у потпуности у складу са пријављеном темом дисертације.

Допринос тезе је јасно уочљив. Изведени закључци произилазе из конкретних резултата над сумулираним и експерименталним подацима.

На основу провере помоћу софтвера *iThenticate*, о потенцијалном плагијату, утврђено је да преклапање текста практично не постоји.

Комисија позитивно оцењује начин приказа и тумачење резултата истраживања.

### **IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

**Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:**

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме

Дисертација је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе

Докторска дисертација својим насловом, садржајем, резултатима истраживања и начином тумачења добијених резултата садржи све битне елементе који се захтевају за радове овакве врсте и представља заокружен истраживачки рад.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци

У оквиру дисертације је предложен је скуп обележја који описују неуралну активност, обележја могу брзо и ефикасно да се естимирају и омогућавају аутоматску анализу неуралне активности.

Комбиновањем са ефикасним алгоритмима кластеризације обележја обезбеђују брзу идентификацију неуралних јединица са сличним својствима, односно аутоматску идентификацију специфичних неуралних образаца испљивања у масивним, истовремено сниманим сигнаlima неуралне активности.

Метод не подразумева увођење строгих претпоставки о расподели улазног сигнала, тј. ИСИ временског низа.

Метод укључује идентификацију периода мировања као додатну карактеризацију брзине испљивања, јер досадашње анализе најчешће укључују идентификацију партиција које одговарају интензивној неуралној активности и оне које не одговарају. Приступ предложен у оквиру ове дисертације подразумева употребу новог прага у вези са периодима ниске (ретке) неуралне активности на основу статистичких својстава улазног сигнала, тј. ИСИ временског низа.

Метод подразумева нови алат који може да послужи за идентификацију степена корелације са спољашњим стимулусима, акцијама и понашањем у оквиру експерименталне процедуре, уколико су улазни нивои довољно дугачки.

Предност датог приступа за опис неуралне активности се огледа у брзој естимацији и малом скупу улазних обележја.

Метод омогућава и брзу идентификацију компромитованих неурона.

Разматрајући целокупну докторску дисертацију кандидаткиње Горане Мијатовић, Комисија је закључила да дисертација представља јасан, оригиналан и недвосмислен допринос верификован одговарајућим научним публикацијама на међународном нивоу.

Обављеним истраживањима су испуњени сви задати циљеви дисертације.

#### 4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања

На основу детаљног увида и анализе резултата истраживања, Комисија није уочила никакве недостатке у докторској дисертацији.



<b>X ПРЕДЛОГ:</b>
На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:
<b>На основу укупне позитивне оцене дисертације, Комисија предлаже Наставно-научном већу Факултета техничких наука, Универзитета у Новом Саду, да се докторска дисертација кандидата Горане Мијатовић, под називом:</b> <b>”Декомпозиција неуралне активности: модел за емпиријску карактеризацију интерспажк интервала ”</b> <b>прихвати, а кандидату одобри јавна одбрана.</b>

НАВЕСТИ ИМЕ И ЗВАЊЕ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ  
ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

---

**1. др Татјана Лончар-Турукало, ванредни професор**  
Факултет техничких наука, Нови Сад, председник

---

**2. др Ивана Ковачић, редовни професор**  
Факултет техничких наука, Нови Сад, члан

---

**3. др Оливера Швељо, доцент**  
Факултет техничких наука, Нови Сад, члан

---

**4. др Никола Ђурић, ванредни професор**  
Факултет техничких наука, Нови Сад, члан

---

**5. dr Bacsó Fülöp, виши научни сарадник**  
Department of Theory, Institute for Particle and Nuclear  
Physics, Wigner RCP of the Hungarian Academy of Sci-  
ence, члан

---

**6. др Драгана Бајић, редовни професор**  
Факултет техничких наука, Нови Сад, ментор

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај.