

НАЗИВ ФАКУЛТЕТА 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 01.06.2017, Декан Факултета Техничких Наука у Новом Саду.</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>Председник: др Александар Бошковић, доцент, УНО Електроенергетика, 30.12.2013, Факултет техничких наука Универзитета у Новом Саду;</p> <p>Члан: др Жељен Трповски, ванредни професор, УНО Телекомуникације и обрада сигнала, 11. 06. 2014, Факултет техничких наука Универзитета у Новом Саду;</p> <p>Члан: др Живко Бојовић, доцент, УНО Телекомуникације и обрада сигнала, 27.09.2016, Факултет техничких наука Универзитета у Новом Саду;</p> <p>Члан: др Нина Јапунцић-Жигон, редовни професор, УНО Фармакологија и токсикологија, 28.12.2006, Медицински факултет Универзитета у Београду;</p> <p>Члан: др Бранислав Миловановић, ванредни професор, УНО Кардиологија, 25.01.2012, Медицински факултет Универзитета у Београду;</p> <p>Ментор: др Драгана Бајић, редовни професор, УНО Телекомуникације и обрада сигнала, 15. 06. 2006, Факултет техничких наука Универзитета у Новом Саду;</p>
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ
<p>1. Име, име једног родитеља, презиме: Тамара, Ристо, Шкорић</p> <p>2. Датум рођења, општина, држава: 27.09.1986. год., Сарајево центар, Босна и Херцеговина</p> <p>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив Факултет техничких наука Универзитета у Новом Саду, Енергетика, електроника и телекомуникације, мастер електротехнике и рачунарства</p> <p>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија 2010/2011, Енергетика, електроника и телекомуникације</p> <p>5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране: Кандидат није магистар.</p> <p>6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука: Кандидат није магистар.</p>
III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:
Аутоматско одређивање и аналитичка провера параметара узајамне ентропије кардиоваскуларних временских низова

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Навести кратак садржај са назнаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикона и сл.

Ентропија као мера уређености/комплексности сигнала заузима веома важно место у обради биомедицинских сигнала. Промена комплексности може указати на пораст нежељених појава у сигналу пре измене било ког другог параметра, па представља драгоцен параметар и за предикцију стања пацијента. Апроксимативне ентропије (*ApEn*), развијена за процену уређености појединачних временски низова, представља један од најцитиранијих параметара у анализи биомедицинских сигнала, што потврђује њену корисност. Њена бинаризована варијанта (*BinEn*) уведена је као брза и ефикасна метода која не захтева стационарне сигнале без артефаката што је чини погодном за примену у корисничким *crowdsensing* апликацијама. Параметар *XApEn* је введен као мера међусобне уређеност два временска низа, али још увек није досегла славу и употребну вредност свог претходника *ApEn*. Примарни циљ дисертације је да утврди проблеме са којима се суочава *XApEn* и да идентификује узроке неконзистентности у процени *XApEn*. За ту сврху генерисани су вештачки подаци, познатих функција густине вероватноће са намером да се испита поузданост процене условних вероватноћа које представљају окосницу саме методе. Примарна хипотеза потврђена је аналитичким извођењем израза за *XApEn* сигнала познатих функција расподела и поређењем аналитичких резултата са вредностима процењеним над симулираним сигналима истих расподела. Прва хипотеза је додатно потврђена провером испуњености *слабог* и *јаког* критеријума за поуздану процену условних ентропија, познатих као Јерухимови критеријуми. Из прве хипотеза произилази и друга хипотеза да се поуздана процена условних вероватноћа може постићи променом избора вредности критеријума сличности као и увођењем корекције која ће елеминисати нулту сличност.

У дисертацији након уводног дела следи поглавље посвећено опису анатомије и рада срца неопходно за разумевање добијених резултата. У трећем поглављу су истакнути мотиви за примену и унапређење *ApEn/XApEn* као и њихова веза са другим нелинеарним методама. Детаљан преглед тренутног стања у области приказан је у поглављу четири. Опис сигнала на коме су вршене валидације предложених корекција и формула приказани су у поглављу пет. У шестом поглављу детаљно је описана *XApEn* метода, истакнути су и њени недостаци. Такође, приказан је и пример неконзистентности у процени *XApEn* настале као последица одабира различитих вредности степена слободe (дужине временског низа и критеријума сличности). У поглављу седам дефинисане су хипотезе истраживања. Поголавља осам, девет и десет су посвећени научном доприносу тезе. У поглављу осам приказана је једноставна корекција у једном од процедуралних *XApEn* корака. Добијени резултати указују да је на овај начин могуће само умањити а не и у потпуности уклонити неконзистентност у процени. У поглављу девет детаљније су описани Јерухимови критеријуми, широко прихваћени инжењерско правило развијено за поуздану процену вероватноће грешке у симулацији дигиталних комуникационих система на нивоу кодног канала. У поглављу десет изведени су изразу који омогућавају здружено одређивање параметара за поуздану процену *XApEn*. У једанаестом поглављу наведене су закључци.

Укупан број поглавља: 11

Укупан број страна: 117

Укупан број слика и табела: 48

Укупан број референци: 179

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

У уводном поглављу наведена су општа разматрања као и доприноси дисертације.

У другом поглављу дат је интересантан приказ историјског развоја сазнања човека о начину рада кардиоваскуларног система. Потом је описана анатомија и начин рада срца како би се олакшало разумевање добијених резултата истраживања.

У трећем поглављу наведени су мотиви научне заједнице за развој и примену $ApEn/XApEn$. Такође су детаљно објашњене везе $ApEn/XApEn$ са другим нелинеарним методама као што су корелациона димензија и алтернативни начини процене ентропије.

У четвртом поглављу детаљно је описано тренутно стање у области. Показано је се досадашња истраживања, чији је циљ превазилажење неконзистентности у процени $ApEn$, могу поделити у три групе: 1) предлог и анализа нових вредности за избор параметара (највеће инетересовање изазива избор критеријума сличности); 2) предлог и анализа нових метода како за корекцију тако и за оптимизацију алгорита $ApEn$ и 3) предобрада временских низова која би допринела могућности шире примене $ApEn$. Узроком неконзистентности у процени саме $XApEn$ до сада се нико није бавио (по најбољим ауторовим сазнањима). Детаљно је приказна веза између $XApEn$ и корекционих метода као што су Corrected Conditional Entropy, Cross Fuzzy Entropy, Cross Sample Entropy, Multivariate multiscale entropy.

У петом поглављу описана су експериментална окружења која су коришћена за валидацију изведених израза формула као и за идентификацију узрока неконзистентности $XApEn$. Детаљно су описане расподеле вештачки генерисаних сигнала као и експерименти којима су лабораторијски пацови били изложени. Описан је и начин аквизиције кардиоваскуларних сигнала (систоличног крвног притиска и P-R интервала) здравих волонтера. Наведена је предобрада којом су сигнали припремљени за поуздану процену $XApEn$.

Шесто поглавље је посвећено детаљном опису $XApEn$ и сагледавању њених недостатака (проблем несагласних расподела сигнала). Такође, детаљно су приказани предлози за избор степана слободе (критеријума сличности, дужине сегмента и дужене временских низова) $ApEn$.

У седмом поглављу постављене су хипотезе истраживања. Основна хипотеза дисертације да узрок неконзистентне процене $XApEn$ лежи у неадекватној процени условних вероватноћа које представљају окосницу саме методе. Теза је валидирана на вештачки генерисаним сигнаlima унапред познатих функција густине вероватноће (униформна и нормална расподела).

У осмом поглављу предложена је једноставна корекција која елиминира нулту сличност у једном од процедуралних $XApEn$ корака. Приказани резултати показују да предложена корекција доприноси побољшању поузданости али не успева у потпуности да сведе грешку естимације испод прихватљивог нивоа.

Поглавље девет је посвећено детаљном опису Јерухимових критеријума за поуздану процену условних вероватноћа за бинарне независне низове. Такође је коментарисана могућност примене Јерухимових критеријума (слабог и јаког) у процени условних вероватноћа $XApEn$.

У десетом поглављу приказано је извођење три скупа формула. Први скуп одређује вредност критеријума сличности који одговара максималној $XApEn$. Приказано је да је ниво релативне грешке постигнут за $XApEn$ приближно истих перформанси као вредности грешка код $ApEn$ (за коју сличне формуле постоје). Други и трећи скуп формула за избор критеријума сличности обезбеђује испуњености слабог и јаког критеријума поузданости. Избор критеријума сличности се врши здружено са осталим параметрима као што су дужина сегмента и дужина временског низа.

Закључци и преглед теме дати су у оквиру једанаестог поглавља са напоменама везаним за тренутне и будуће правце истраживања.

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

M21a Tamara Škorić, Olivera Šarenac, Branislav Milovanović, Nina Japundžić–Žigon, Dragana Bajić (2017) “On consistency of Cross-Approximate Entropy in Cardiovascular and Artificial Environments”, *Complexity*, accepted with minor revisions, ISSN 1076-2787, IF 4.621.

M22 Tamara Škorić, Omer Mohamoud, Branislav Milovanović, Nina Japundžić–Žigon, Dragana Bajić (2017) “Binarized cross-approximate entropy in crowdsensing environment”, *Computers in Biology and Medicine*, ISSN 0010-4825, vol. 80, pp. 137-147, IF 1.836,.

M23 Tasic Tatjana, Jovanovic Sladjana, Mohamoud Omer, Tamara Skoric, Japundzic-Zigon Nina, Bajić Dragana (2017), „Dependency Structures in Differentially Coded Cardiovascular Time Series“, *Computational and Mathematical methods in medicine*, pages 1-17, ISSN 1748-670X, IF 0.937.

M32 Tamara Škorić, Branislav Milovanović, Nina Japundžić–Žigon, Dragana Bajić (2015) “A cross-approximate entropy of independent signals with known distribution and its application to real data”, *Proc. of the 7th International Symposium on Neurocardiology*, NEUROCARD 2015, 16-17.10.2015, Beograd, ISSN 2069-0169, pp. 84-84.

M32 Tamara Čeranić, Branislav Milovanović, Tatjana Lončar-Turukalo, Nina Japundžić–Žigon, Dragana Bajić (2014) “Threshold reliability in cross-entropy estimation” (II), *Proceedings of the 6th International Symposium on Neurocardiology*, NEUROCARD 2014, 16-17.10.2014, Belgrade, Serbia, ISSN 2069-0169, pp. 61-61

M32 Tamara Čeranić, Branislav Milovanović, Nina Japundžić–Žigon, Tatjana Lončar Turukalo, Dragana Bajić (2013) “Automatic Selection of the threshold value r for cross-entropy maximum value”, 15th Congress of the International Society for Holter and Noninvasive Electrocardiology, ISHNE 2013, 30.05-01.06.2013, Timisoara, Rumania, ISSN 1223-1533, pp. 16-16 .

M32 Tamara Čeranić, Branislav Milovanović, Tatjana Lončar-Turukalo, Nina Japundžić–Žigon, Dragana Bajić (2013) “Threshold reliability in cross-entropy estimation”, *Proceedings of the 5th International Symposium on Neurocardiology*, NEUROCARD 2013, 17-18.10.2013, Belgrade, Serbia, ISSN 2069-0169, pp. 39-39.

M33 Tamara Čeranić, Tatjana Lončar-Turukalo, Branislav Milovanović, Nina Japundžić–Žigon, Dragana Bajić (2013) “Cross-Entropy of Systolic Blood Pressure – Pulse Interval: Automatic Threshold and its Reliability”, *Computing in Cardiology*, **CINC 2013**, 22-25.09.2013, Zaragoza, Spain, ISSN 2325-8861, pp. 1219-1222

M33 Tamara Škorić, Omer Mohamoud, Branislav Milovanović, Nina Japundžić–Žigon, Dragana Bajić (2017), “Binarizovana aproksimativna entropija diferencijalno kodovanih biomedicinskih signala“, *INFOTEH-JAHORINA 2017*, 22-24. Mart, Jahorina, Bosna i Hercegovina, ISBN:978-99976-710-0-4, pp. 217-220.

M34 Tamara Škorić, Tatjana Tasic, Omer Mohamoud, Nina Japundzic-Zigon, Dragana Bajić, “Conditional entropy of differentially encoded SBP time series in aging animals”, *Proceedings of the 8th International Symposium on Neurocardiology*, NEUROCARD 2016, 14-15.10.2016, Belgrade, Serbia, ISSN 2069-0169, pp. 36-36.

M34 Omer Mohamoud, Tamara Škorić, Branislav Milovanović, Nina Japundzic-Zigon, Dragana Bajić, “Binarized approximate entropy as a crowd-sensing application in stressed subjects”, *Proceedings of the 8th International Symposium on Neurocardiology*, NEUROCARD 2016, 14-15.10.2016, Belgrade, Serbia, ISSN 2069-0169, pp. 34-34.

M85 Tamara Škorić, Tatjana Lončar-Turukalo, Dragana Bajić: “Automatska procena pragova za kros-entropijsku analizu spregnutih biomedicinskih nizova”, projekat TR32040, 2013.

M87 Dragana Bajić, Tamara Škorić: “Postupak za ubranu binarizovanu procenu aproksimativne entropije iz dugačkih nizova podataka”, prijava P-2016/0477, 2016, (na razmatranju)

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Дисертација је посвећена идентификацији и решавању проблема који отежавају примену унакрсне ентропије $XApEn$. Кандидаткиња је поставила хипотезу да узрок некозистентен процене $XApEn$ лежи у неадекватна процена условних вероватноћа. За доказивање хипотезе креирала је експериментално окружење унутар којег су и ентропија и сваки њен конститутивни део процењени из низа вештачки генерисаних сигнала познатих функција густине вероватноће. Затим је развијен низ формула који на основу познатих статистичких особина вештачки генерисаних сигнала омогућава егзактно израчунавање свих процењених величина (што за реалне сигнале није могуће). Анализа грешака између процењених и тачно израчунатих вредности показала је да је веза између ентропијских параметара (дужина низа, критеријум сличности, дужина вектора) изразито нелинеарна и да параметре не треба бирати сваки за себе већ избор мора да буде здружен.

Као међурезултат, показано је и да често навођени став о монотонном расту ентропије са дужином посматраних низова није тачан: поменути пораст је последица непоуздане процене условних вероватноћа, а сама ентропија не зависи од величине анализираног узорка. Исти закључак је изнео и аутор првог рада о ентропији, али су потоња истраживања спекулисала (додуше без доказа) да монотони раст постоји. У овој дисертацији се показује да је аутор апроксимативне ентропије био у праву.

У наставку дисертације изведен је низ израза који омогућава здружени избор параметара. Прво је изведен скуп формула за одређивање позиције прага на којој $XApEn$ достиже свој максимум. Смернице за извођење тих формула колегиница је нашла у радовима који исти праг одређују за $ApEn$. Проблем са унакрсном ентропијом је постојање два сигнала а сваки од њих има другачију статистику. Међутим, пошто је анализа показала да овако одређен праг води ка неконзистентним резултатима, колегиница је извела скупове формула које обезбеђују поуздану процену, при чему степен поузданости може да се бира према јаком и слабом Јерухимовом критеријуму.

Изведени изрази за аутоматски одабир здружених параметара који треба да обезбеде поуздану процену $XApEn$ валидирани су на кардиоваскуларним сигналима систолног крвног притиска и пулсног интервала две врсте лабораторијских пацова (нормотензивни и гранично хипертензивни) који су изложени двема врстама стреса (стрес трескања и стрес ограничења покрета). Тиме је обезбеђена велика варијабилност између сигнала, а сами сигнали су дугачки и могли су да се скраћују по потреби. Параметри су додатно валидирани и на сигналима здравих волонтера, што представља типичне кратке сигнале снимљене у клиничком окружењу над којима се ентропијска процена најчешће и ради.

Истакнуто да проблем ентропије као области истраживања овим није исцрпљен, наведене су идеје за будући рад које укључују унакрсну ентропију већег броја сигнала али и решавање проблема сигнала са несагласним расподелама и са јако асиметричним расподелама (што се не јавља код кардиоваскуларних сигнала).

Конечно, цитати из рецензија рада Тамаре Шкорић који је најближи проблематици дисертације (часопис *Complexity*, импакт фактор 4.621) дају додатну тежину резултатима њеног истраживања: “*This is an interesting, well-motivated and generally clearly written manuscript... Again, this is timely and important work, and I'd be happy to see it published soon.*” (Рецензент 1); “*This is a really interesting paper...*” (Рецензент 2); “*Skoric et al present a timely and illuminating parametric exploration study of cross-approximate entropy (XApEn), highlighting the problems of method with the aim of providing orientation and objective criteria by which to choose input parameters. The authors do an excellent job of summarizing traditional approaches to parameter selection and explaining how an inappropriate choice of parameters can lead to inconsistent results of the method ...*” (Рецензент 3).

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

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

Комисија позитивно оцењује приказ и тумачење резултата мултидисциплинарног истраживања које спаја области електротехнике – обраде сигнала – и медицине. Коришћено експериментално окружење и извођење нових аналитичких израза приказани су на јасан и разумљив начин са довољним нивоом детаља у излагању који омогућују лакше праћење идеја. Инжењерски проблем је на адекватан начин поткрепљен теоријским извођењем. Додата подврда изведених математичких израза је урађена експериментално, коришћењем низа кардиоваскуларних сигнала снимљених и на лабораторијским животињама (што омогућава велику разноликост параметара) и на људима (што приказује примену у типичном клиничком окружењу).

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

Комисија сматра да је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме. Истраживање колегинице Шкорић фокусира се на избор параметара за поуздану процену унакрсне ентропије.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе

Комисија сматра да дисертација садржи све битне елементе карактеристичне за дисертацију у области електротехнике – мултидисциплинарне области обраде биомедицинских сигнала. Поред теоријског увода који пружа неопходне информације у вези са природом физиолошких сигнала, дисертација даје преглед метода за процену њихове интеракције са акцентом на ентропијске. Срж дисертације су оригинални доприноси о параметрима који омогућавају стабилну и конзистентну процену ентропије.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци

Дисертација доноси више оригиналних научних доприноса. По први пут је креирано вештачко окружење које омогућава егзактно рачунање грешке процене како унакрсне ентропије, тако и њених конститутивних делова (условне вероватноће и суманд Φ). Анализа грешака доказала је а) да параметри за ентропију морају да се бирају здружено и б) да ентропија не зависи од дужине низа, како се дуго веровало. Уведена је једна могућа варијанта корекције проблема тзв. "нулте вероватноће". Изведен је скуп аналитичких израза за одређивање позиције прага на којој $XApEn$ достиже свој максимум, у функцији дужине временских низова, њихових статистичких особина и величине вектора за поређење. Слични изрази су постојали, али за $ApEn$, и њима је додата новоизведена вредност за векторе јединичне дужине. Пошто вредност ентропије која одговара максималној не обезбеђује конзистентне резултате, изведена су још два скупа аналитичких израза. На основу тих израза се из временских низова добијају параметри који обезбеђују поуздану процену $XApEn$, при чему степен поузданости може да се бира према јаком и према слабом Јерухимовом критеријуму.

4.	Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања Комисија нема замерки за реализацију како резултата, тако и текста дисертације.
X	ПРЕДЛОГ:
	На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:
	Комисија предлаже да се на основу изложеног докторска дисертација Тамаре Шкорић прихвати и да се кандидаткињи Тамари Шкорић одобри јавна усмена одбрана.

ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

Др Александар Бошковић, доцент, председник,
ФТН, Универзитет у Новом Саду

Др Жељен Трповски, ванредни професор, члан,
ФТН, Универзитет у Новом Саду

Др Живко Бојовић, доцент, члан
ФТН, Универзитет у Новом Саду

Др Нина Јапунцић-Жигон, редовни професор, члан
Медицински факултет, Универзитет у Београду

Др Бранислав Миловановић, ванредни професор, члан
Медицински факултет, Универзитет у Београду

Др Драгана Бајић, редовни професор, ментор
ФТН, Универзитет у Новом Саду

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.