

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата мр Фурунџић Драшка за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду бр. 68/1 одржаној 14.05.2013 године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата мр Фурунџић Драшка, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Оцена квалитета артикулације гласова српског језика применом неуронских мрежа“.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Фурунџић Драшко је рођен 21. 03. 1958 године у Бијелом Пољу у Југословенској републици Црној Гори где је завршио основну школу „Душан Кораћ“ и гимназију „Милоје Добрашиновић“ са одличним успехом. Наставља школовање на Машинском Факултету у Београду где уз рад студира и дипломира на медицинском смеру, 1988. Тема дипломског рада је мултидисциплинарна „Системи аутоматског управљања природним и вештачким бубрегом“. Од 1989 године кандидат ради у Лабораторији за Аутоматику Института Михајло Пупину у Београду, где је још увек у сталном радном односу у статусу истраживача сарадника. У матичном институту је члан групе за инжењерство знања где ради у области примењене вештачке интелигенције. Постдипломске студије на Електротехничком Факултету у Београду уписује 1989 године. Интересовање за биомедицинске науке је било мотив да кандидат упише постдипломске студије на Медицинском Факултету у Београду, смер Експерименталне Физиологије и Патолошке Физиологије, са акцентом на физиологији нервног система, као основе вештачких неуронских мрежа, које су ужи домен истраживања кандидата. Магистарски рад под називом „Методологија примене вештачких неуронских мрежа у обради и класификацији сигнала“ кандидат је одбранио у децембру 2009 године на Електротехничком Факултету у Београду под менторским надзором професора Срђана Станковића. Кандидат је учествовао у рецензији већег броја радова публикованих у престижним међународним часописима и од 2009 је члан групе рецензента за „IEEE - World Congress On Computational Intelligence“ и „IEEE-INNS International Joint Conference on Neural Networks“. Од 2000 године кандидат држи семинар „Примена Вештачке Интелигенције у Медицини“ за студенте на Одсеку за Техничку Физику код професора Дејана Раковића.

1.2. Сечено научноистраживачко искуство

У магистарском раду одбрањеном на Електротехничком Факултету у Београду 2009 године, под менторским надзором професора Срђана Станковића, кандидат је обрадио генералну методологију примене информационе технологије неуронских мрежа у обради и класификацији сигнала кроз неколико примера практичне примене што је добра полазна основа за рад на актуелној дисертацији.

Кандидат је до сада радио на пројектима у областима хидрологије, метеорологије, климатологије, енергетике, препознавања текста, онкологије, урологије и нефрологије, анализе ЕЕГ сигнала и ласерске технике. Кандидат је, поред осталих, радио или ради на следећим пројектима који су финансирани од стране министарства за науку: Пројекат ТР 32038, „Повећање расположивости и енергетске ефикасности у термоелектранама и системима за пренос електричне енергије развојем нових метода за дијагностику и рану детекцију отказа“. Пројекат 11040, „Развој нових метода за моделовање телекомуникационих система“, Пројекат ТР 6134Б, „Систем за објективну процену квалитета артикулације и његова примена у корекцији патолошког изговора“, Пројекат ТР 32032, „Е-Логопед“, Пројекат бр. 5/0-22-7/2002-25, савезног хидрометеоролошког завода Београд „Примена неуронских мрежа у прогнози хидролошких и метеоролошких параметара“. Од 2006 године кандидат се активније бави препознавањем говора и патологијом говора у сарадњи са Институтом за Експерименталну Фонетику и Патологију Говора и од тада је објавио више научних радова и учествовао у изради једног патента у тој области. Кандидат је до сада објавио око 35 (тридесет и пет) научних радова од којих су 7 (седам) са SCI а 4 (четири) у међународним часописима такође са SCI листе. У два, од поменута четири рада из часописа, кандидат је потписан као први аутор а у остала два као други. У једној монографији је први аутор поглавља из области говорне патологије а као коаутор је учествовао у раду на патенту који се бави квалитетом говора, и неколико техничких решења. Остали радови су презентовани на међународним и домаћим научним скуповима и публиковани у одговарајућим зборницима радова. Поменути радови су до сада цитирани у више од 50 (педесет) међународних часописа у разним областима науке. Кандидат говори и пише на Енглеском и Руском језику и користи модерне софтверске алате за обраду и визуализацију података (C# Programming Microsoft Licence).

Следећи издвојени радови треба да укажу на компетентност кандидата у погледу предложене теме.

Радови публиковани у међународним часописима:

1. **Furundzic, D.:** *Application example of neural networks for time series analysis: rainfall-runoff modelling*, Signal Processing, vol. 64 (3), 1998, pp 383–396.
2. **Furundzic, D.,** Djordjevic, M., Bekic A. J.: *Neural Networks approach to early breast cancer detection*. Systems Architecture, vol. 44 (8), 1998, pp 617-633.
3. Simic-Ogrizovic, S., **Furuncic, D.,** Lezaic, V., Radivojevic, D., Blagojevic, R., Djukanovic, LJ.: *Using ANN in Selection of the Most Important Variables in Prediction of Chronic Renal Allograft Rejection Progression*, Transplantation Proceedings - journal, vol. 31, (1), 1999, pp 368-389.
4. Naumovic, R., **Furundzic, D.,** Jovanovic, D., Stosovic, M., Basta-Jovanovic, G., Lezaic V.: *Application of artificial neural networks in estimating predictive factors and therapeutic efficacy in idiopathic membranous nephropathy*, Biomedicine & Pharmacotherapy, vol. 64, 2010, pp 633-638.

Радови публиковани на међународним конференцијама:

5. **Furundzic, D.:** *Using artificial neural network in prediction of chronic renal allograft rejection*, In Proceedings of the Third Balkan Conference on Operation research, Thessaloniki, Greece, October 1995. pp. 234-241.
6. **Furundzic, D.,** Djordjevic, M., Bekic, A.: *Artificial Neural Networks for Early Breast Carcinoma Detection*, In Proceedings International Workshop on Neural Networks for Identification, Control, Robotics, and Signal/Image Processing IEEE-NICROSP '96, Venice, Italy, August, 1996, pp. 355-359.

7. **Furundžić, D.:** *Using Neural Networks for Principal Weights Determination*, Proceedings Neurel 2003, Belgrade, September 2003, str. 183-187.
8. **Furundžić, D.,** Subotić, M., Punišić, S.: *Determination of relevant parameters influence in articulation regularity rating for Serbian phoneme “ š ” using neural networks*, Speech and Language 2009, Proceedings 3rd International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Speech and Language, Belgrade, Serbia, November 2009. pp. 158-167.
9. **Furundžić, D.,** Jovicic, S., Subotic, M., Punisic, S.: *Acoustic Features Determination for Regularity Articulation Quantification of Serbian Fricatives*, Neurel 2012, Belgrade, september 2012, pp. 197-201.

Рад публикован у међународној монографији:

10. **Furundžić, D.,** Punišić, C., Subotić, M.: *Acoustic features variability analysis using neural networks*, Chapter in Monography: Speech and Language, Interdisciplinary Research, Eds: Jovićić T. Slobodan, Sovilj Mirjana, Belgrade 2009, LAAC and IEPSP, Belgrade, ISBN 978.-86-81879-27- 6, pp 188-226.

Радови публиковани на домаћим конференцијама:

11. **Furundžić, D.,** Stanković, S., Tomović, R.: *Optimizacija strukture neuralnih mreža za čitanje rukom pisanih karaktera*, ETRAN 1993, sveska 13-vi, Beograd, septembar 1993, strana. 105-110.
12. **Furundžić, D.,** Radojević, D.: *Određivanje optimalne strukture neuralne mreže za modeliranje vremenskih nizova*, SYM-OP-IS 1993, strana 451-454.
13. Radojević, D., Radenović, D., **Furundžić, D.:** *Jedan primer modeliranja vremenskih nizova zasnovan na neuro-fazi pristupu*, SYM-OP-IS 1994, Kotor, oktobar 1994, str. 842-844.
14. **Furundžić, D.:** *Evolucija Neuronske Mreže u pogodnom informacionom okruženju*, NEUREL 1995, Elektrotehnicki Fakultet Beograd, Beograd, septembar 1995. pp. 196-200.
15. **Furundžić, D.:** *Neuronska Mreža za Ekstrakciju Karakteristika i Klasifikaciju Uzoraka u Medicini*, Medicinska Informatika '96, Arandelovac, oktobar 1996, strana. 153-156.
16. **Furundžić, D.,** Subotić M., Pantelić, C.: *Oцена poremećaja govora na nivou fonema primenom neuronskih mreža*, Zbornik radova Digitalna obrada govora i slike, DOGS 2006, Vršac, oktobar 2006, страна. 10-13, 2006.
17. **Furundžić, D.,** Subotić, M., Pantelić, C.: *Primena neuronskih mreža u klasifikaciji poremećaja izgovora frikativa*, ETRAN 2007, Herceg Novi – Igalo, juni 2007, AK 5.4.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми:

Из претходног приказа резултата досадашњег рада и искуства у раду, потврђених кроз приказане публикације научних резултата, очигледна је компетенција кандидата Фурунџић Драшка за израду дисертације на предложеној тему.

2. Предмет и циљ истраживања

Обзиром на егзистенцијални значај говора, јасно је да правилно развијен говор представља неопходан услов здравог развоја личности. Зато су у логопедији успостављене стандардне методе оцене квалитета артикулације током развоја говора, засноване на аудитивно перцептивној анализи артикулационо акустичких карактеристика говора у типичној (нормалној) и у атипичној (патолошкој) реализацији. Најстарија техника анализе акустичких карактеристика говора је аудитивно процењивање слухом.

Ова техника је позната као експертско или тренирано слушање као основа методе аудитивне процене квалитета изговора гласова, односно служи за разграничење типичне и атипичне реализације гласова.

Фундаментално питање артикулације говора се односи на артикулацију гласова као елемената говора. Квалитетна артикулација гласова је услов квалитетне говорне комуникације. Процедура оцено квалитета артикулације гласова је почетни и кључни моменат у третману пацијената са говорном патологијом јер претходи евентуалном терапеутском процесу који има немерљив значај за пацијената и као такав може бити дуготрајан и скуп. Девиијација артикулације гласа током говора у најгорем случају угрожава његову дискриминаторну улогу у говору. што доводи до неке форме говорне патологије. Истакнута одлика говора је његова варијабилност и она је последица појаве акустичких обележја у различитим односима. Варијабилност говора је последица комплексног процеса артикулације, односно сложене интеракције великог броја артикулационих фактора чије је функционисање засновано на наученим парадигмама активације компоненти говорног апарата и директно зависи од искуства и способности говорника као и интеракције са психо-емотивним моментима вербалне експересије. Критеријуме за оцено квалитета артикулације дефинишу сами експерти на основу искуства у аудитивној перцепцији акустичких корелата квалитета артикулације. Досадашње методе процене квалитета изговора гласова имају наглашен субјективистички карактер јер се заснивају на искуственој евалуацији експерата. Поред овог недостатка, ова метода захтева искуство засновано на дуготрајном тренингу логопеда. Класична процедура оцено атрикулације је дуготрајна и напорна. Наведени разлози су мотив за симплификацију и објективизацију процеса оцено квалитета артикулације применом алгорита са високим степеном аутоматизације заснованог на ансамблу неуронских мрежа што је главни циљ истраживања. За сада не постоји сличан поступак за аутоматску оцено квалитета изговора гласова српског језика. Као индикатор значаја актуелног истраживања могу послужити научни радови на пољу аутоматске детекције варирања квалитета говора[1-3]. Поједини радови су усмерени ка генералној детекцији поремећаја говора [4-5] док се други баве специјалним врстама патологије[6-7]. У актуелној литератури уочава се парцијалност приступа у решавању проблема аутоматске евалуације квалитета изговора на основу појединих акустичких карактеристика говорног сигнала, како спектралних [8] тако и оних дефинисаних у временском домену [9-10]. Иако се наведене референце односе на скорашња истраживања у области, још увек не постоје оптимална решења актуелног проблема пре свега у смислу дефиниције скупа релевантних акустичких параметара за оцено квалитета говора. Узрок овакве ситуације, лежи пре свега у комплексности и недовољном познавању процеса артикулације и аудитивне перцепције и самим тим њихове неадекватне формалне репрезентације.

Као логичан приступ решењу овог проблема намеће се идеја детерминације оптималног вишедимензионог скупа релевантних дистинктивних акустичких обележја у временском, амплитудском и фреквентном домену. Као последица повећања димензија скупа актуелних параметара актуелизује се курс димензионалности који условљава нова ограничења за решење проблема у смислу комплексности модела, релевантности укључених параметара и „overfitting“ проблема неуронске мреже која је често коришћени алат у анализи говорног сигнала [11]. Генерални проблем конвергенције процеса обуке код неуронских мрежа је појава локалног минимума која је условљена структуром модела, почетним стањем параметара и димензијом скупа за обуку, а за последицу има различит ниво тачности и квалитета генерализације, односно поузданости предикције. Овај проблем се решава применом ансамбала неуронских мрежа [13-15] и балансирањем процеса обуке [16-17]. Користећи предност повећане информативности вишедимензионих вектора акустичких карактеристика говорног сигнала, предност повећане предиктабилности ансамбла неуронских мрежа са балансирањем процеса обуке приступамо дизајнирању поузданог модела за оцено квалитета артикулације гласова српског језика.

1. Hadjitodorov, S., Boyanov, B., Teston, B.: *Laryngeal pathology detection by means of class-specific neural maps*, IEEE Transactions on Information Technologies and Biomedicine., vol. 4, pp. 68–73, Mar. 2000.
2. Manfredi, C.: *Adaptive noise energy in pathological signals*, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol. 47, pp. 1538–1543, Jan. 2001.
3. Godino-Llorente, J. I., Gómez-Vilda, P.: *Automatic Detection of Voice Impairments by Means of Short-Term Cepstral Parameters and Neural Network Based Detectors*, IEEE Transactions on Biomedical Engineering., vol. 51, pp. 380–384, Feb. 2004.
4. Wallen, E. J., Hansen, H.L.: *A Screening Test for Speech Pathology Assessment Using Objective Quality Measures*, ICSLP, Proceedings of Fourth International Conference, PA, USA, vol. 2, pp. 776–779, Oct. 1996.
5. Hadjitodorov, S., P. Mitev, P.: *A computer system for acoustic analysis of pathological voices and laryngeal diseases screening*. Journal ELSEVIER, Medical Engineering & Physics, 24(6), pp. 419–29, Jul 2002.
6. Maier, A., Hönl, F., Bocklet, T., Nöth, E., Stelzle, F., Nkenke, E., Schuster M.: *Automatic detection of articulation disorders in children with cleft lip and palate*, Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 126, No. 5, pp. 2589–2602, Nov. 2009.
7. Hossein, K., Babak, S. A., Mansour, N. B.: *Optimal feature selection for the assessment of vocal fold disorders*, Computers in Biology and Medicine, vol. 39, pp. 853–946, October 2009.
8. Markaki, M., Stylianou, Y.: *Voice Pathology Detection and Discrimination Based on Modulation Spectral Features*, Audio, Speech, and Language Processing, IEEE Transactions on , vol. 19, no. 7, pp. 1938, 1948, Sept. 2011.
9. Vasilakis, M., Stylianou, Y.: *Voice pathology detection based on short-term jitter estimations in running speech*, Folia Phoniatrica et Logopaedica, 61 (3), pp. 153–170, 2009.
10. Paulraj, M.P.; Yaacob, S.; Hariharan, M.: *Diagnosis of vocal fold pathology using time-domain features and systole activated neural network*, Signal Processing & Its Applications, 2009. CSPA 2009. 5th International Colloquium on , vol., no., pp. 29, 32, 6–8 March 2009.
11. Haykin, C.: *Neural Networks: A Comprehensive Foundation 2nd Edition*, Prentice Hall, 1998.
13. Hansen, L.K., Salamon, P.: *Neural network ensembles*, IEEE Trans Pattern Anal vol. 12, pp. 993–1001, 1990.
14. Sharkey, A.J.: *Combining Artificial Neural Nets*, Springer, London, 1999.
15. Zhou, Z. H., Tang, W. W.: *Ensembling neural networks: many could be better than all*, Artificial Intelligence vol. 137, pp. 239–263, 2002.
16. Japkowicz, N., Stephen, S.: *The class imbalance problem: A systematic study*. Intelligent Data Analysis, vol. 6, pp. 429–450, 2002.
17. Haibo, H., Garcia, E. A.: *Learning from Imbalanced Data*, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering archive, vol. 21, pp. 1263–1284, Sept. 2009.

3. Полазне хипотезе

Наглашен субјективистички карактер и непоузданост досадашњих метода процене квалитета изговора засниваних на искуственој евалуацији експерата били су генератор идеје за симплификацију и објективизацију процеса оцене квалитета артикулације дизајнирањем погодног алгоритма са високим степеном аутономије. Досадашњи приступи проблему се заснивају на класификацији вектора релевантних акустичких карактеристика малих димензија и ограничене информативности. Уочавањем недостатака ових решења, дошло се на идеју о повећању димензије вектора обележја и примени модернијих и поузданијих алата за њихову класификацију, као начину да се креира поуздан и једноставан алгоритам који би унапредио постојећи начин евалуације квалитета артикулације.

Ова генерална претпоставка мора проћи проверу кроз процес доказивања неколико следећих хипотеза мањег степена општости како би се доказала њена остваривост:

- Вишедимензиони простор акустичких атрибута изговорног гласа омогућава поуздану дистинкцију између његових типичних и атипичних, односно нормалних и патолошких реализација.
- Постоји разлика у дијагностичком капацитету међу мерама степена атипичности артикулације.
- Не постоји значајна разлика у тачности оцене квалитета артикулације између логопеда и алгоритма заснованог на неуронским мрежама.
- Од планираних модела за класификацију вишедимензионих вектора акустичких обележја, највећа поузданост и тачност се очекује од ансамбла вишеслојних перцептрона са балансираном обуком.

Литература наведена у претходном поглављу приказује инкорпорираност генералне хипотезе у актуелни информациони миље, што указује на континуитет и генезу хипотезом дефинисаног решења постављеног проблема.

4. Научне методе истраживања

Методологија рада за решавање проблема у оквиру предвиђених истраживања има неколико приступа. Полазна претпоставка је моделирање експертског приступа оцени квалитета изговора гласова заснованог на аудитивној перцепцији акустичких манифестација процеса артикулације конкретно изговореног гласа. У логопедској пракси постоје два приступа том проблему и засновани су на: а) глобалном артикулационом тесту који детектује присуство одступања од нормалне артикулације и врши његову једноставну категоризацију, и б) на аналитичком тесту који врши оцену на основу већег броја појединих акустичких обележја конкретног гласа.

Модел за једноставну и поуздану оцену квалитета артикулације је заснован на неуронским мрежама. Неуронске мреже, као софтверске архитектуре за паралелно процесирање сигнала, настале моделирањем принципа морфолошко функционалне организације нервних система, имају кључне и ексклузивне следеће карактеристике: пластичност, адаптабилност и способности апстракције и генерализације. Наведене особине су одлучујући разлог њихове примене за моделирање сложеног процеса оцене квалитета артикулације. Планирана је и компаративна анализа резултата различитих модела у циљу проналажења оптималног решења.

Формирање говорне базе стимулуса у форми узорка адекватне величине и у складу са дефинисаним критеријумима избора говорника је први услов за предложено истраживање којим ће бити обухваћене две групе говорника, контролна са коректним изговором и експериментална са различитим одступањима у изговору гласова.

За обраду података, моделирање процеса евалуације и приказ резултата биће коришћени расположиви софтверски алати, као и самостално, циљано развијене програмске процедуре.

5. Очекивани научни допринос

- Детерминација нових акустичких обележја говорног сигнала у циљу његовог бољег формалне репрезентације и квалификације са аспекта квалитета артикулације.

- Нови приступ проблему учења са неизбалансираним скуповима и његове примене у анализи квалитета артикулације;
- Нови приступ области примене и оптимизације ансамбала неуронских мрежа у обради говорног сигнала;
- Допринос у домену редукције димензија улазних вектора за обуку неуронских мрежа у оцени квалитета артикулације.
- Допринос решавању проблема оцено степена релевантности актуелних обележја кроз анализу сензитивности применом неуронских мрежа.
- Компаративна анализа неколико различитих алгоритама за оцено квалитета артикулације гласова српског језика.

6. План истраживања и структура рада

Проналажења поузданог и објективног модела за оцено квалитета артикулације гласова као испуњење главног циља подразумева следеће кораке:

- артикулационо-акустичку анализу типичних одступања и њихову карактеризацију;
- идентификацију и анализу акустичких мера варирања квалитета изговора;
- успостављање формалних алгоритамских метода за класификацију скупа вектора акустичких мера одступања у класе различитог квалитета артикулације дефинисане од стране логопеда аудитивном перцепцијом;
- Нови начин примене ансамбла неуронских мрежа код проблема класификације;
- Нови приступ обуке неуронских мрежа у неизбалансираном односу димензија класа узорака;
- Испитивање релевантности акустичких параметара квалитета артикулације;
- Евентуална редукција почетних димензија вектора акустичких мера квалитета артикулације.

Процес аутоматизације оцено квалитета артикулације подразумева неколико сукцесивних корака обраде говорног сигнала у временском, амплитудском и фреквенцијском домену.

Формирана база звучних записа садржи типичне и атипичне изговоре гласова у склопу одабраних речи. Издвајање сигнала гласова подразумева следеће кораке: издвајање одабраних речи из интегалног звучног записа, препознавање речи и издвајање гласова из речи. Тако настаје база звучних стимулуса гласова која ће послужити за формирање скупа актуелних вектора обележја квалитета артикулације. Иницијални вектор обележја се затим подвргава процесу редукције димензије. Планирана је и примена следећих метода класификације: ансамбл вишеслојних перцептрона и самоорганизујуће мапе као главне методе и К најближих суседа и „naïve bayes“ као компаративне методе. Као финално решење биће прихваћен модел са најбољим перформансама. Код класификације се појављује проблем неизбалансираног односа димензија скупова различитих класа па ће за његовоо решење овог бити примењене „resampling“ технике и "bootstrap " техника балансирања обучавајућих скупова током процеса обуке.

7. Закључак и предлог

На основу изложеног, Комисија је сагласна у ставу да кандидат мр Драшко Фурунџић испуњава све формалне и суштинске услове за приступање изради докторске дисертације, и да је предложена тема „Оцена квалитета артикулације гласова српског језика применом неуронских мрежа“ научно актуелна у области аутоматских алгоритама за евалуацију квалитета говора. Зато Комисија предлаже Научно-наставном већу Електротехничког факултета у Београду да кандидату Драшку Фурунџићу одобри израду докторске дисертације под наведеним насловом.

За ментора овог рада Комисија предлаже др Срђана Станковића, професора емеритуса, са Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Срђан Станковић, професор емеритус
Универзитет у Београду– Електротехнички факултет

др Слободан Јовичић, редовни професор
Универзитет у Београду– Електротехнички факултет

др Младен Веиновић, редовни професор
Универзитет Сингидунум