



DETEKCIJA STRESA KOD PILIĆA TOVLJENIKA NA OSNOVU ANALIZE ZVUKA STRESS DETECTION IN BROILER CHICKENS THROUGH SOUND ANALYSIS

Nina Maljković, Nikša Jakovljević, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – OBRADA SIGNALA

Kratak sadržaj – Ovaj rad daje prikaz sistema za detekciju stresa kod pilića tovljenika na osnovu analize zvuka njihovog oglašavanja. Skup obeležja na osnovu kojih ovaj sistem vrši prepoznavanje čine: energija, snaga, kvadratna sredina, džiter, šimer, prosečna visina zvuka, odnos harmonik-šum, izlazi iz mel-filtar banke i mel-frekvencijski cepstralni koeficijenti. Kao klasifikator iskorišćen je klasifikator na bazi vektora nosača. Tačnost sistema na nivou frejma od 50 ms varira od 61 do 88%, u zavisnosti od starosti tovljenika i izbora obeležja.

Ključne reči: tovni pilići, detekcija stresa, analiza zvuka, SVM

Abstract – This paper presents a system for stress detection in broiler chickens through analysis of their sounds. The feature set used in the system is composed of energy, power, root mean square, jitter, shimmer, average pitch, harmonic-noise ratio, outputs of mel filter bank and mel-frequency cepstral coefficients. Support vector machine is used as a classifier. System accuracy on the 50 ms long frame level varies from 61 to 88%, depending on how old broilers are and selected features.

Keywords: broiler chickens, stress detection, sound analysis, SVM

1. UVOD

U poslednjih nekoliko godina razvijen je koncept *Precision Livestock Farming*, koji se bavi monitoringom procesa uzgoja domaćih životinja i upravljanjem ovim procesom [1]. Koncept je osmišljen kao koristan alat za pomoć farmerima u ostvarivanju što efikasnijeg uzgoja. Monitoring podrazumeva da se sve varijable koje opisuju stanje životinja kontinuirano prate i u tu svrhu se koriste razne vrste senzora: kamere, senzori temperature i vlažnosti vazduha, senzori protoka [2].

Primena mikrofona kao senzora je naročito interesantna jer zvuk sadrži mnoštvo korisnih informacija o stanju životinja. Snimanje zvuka mikrofonom je beskontaktno i nezavisno od osvetljenja. Takođe, jednim mikrofonom je moguć monitoring velike grupe životinja, što doprinosi ekonomičnosti snimanja.

Pilići, čuveni po svom oglašavanju, predstavljaju odlične kandidate za monitoring mikrofonom. Mnogi iskusni farmeri u stanju su da slušanjem pilića prepoznaju kada

nešto nije u redu sa jatom i da razlikuju pijukanje zdravih i zadovoljnih pilića od pijukanja bolesnih ili uznemirenih. Razvijanje sistema koji bi vršio monitoring jata pomoću mikrofona i detekciju narušavanja normalnog stanja u jatu bilo bi od izuzetne koristi farmerima jer bi takav sistem mogao blagovremeno da ih upozori na situacije koje ugrožavaju blagostanje životinja [3].

Stres je jedan od faktora koji mogu narušiti blagostanje životinja. Na komercijalnim živinarskim farmama prisutno je mnogo faktora koji stresno deluju na piliće. Određene procedure redovnog održavanja (na primer, čišćenje prostorija) predstavljaju potencijalni stresor, a i promene uslova okoline (na primer, temperature vazduha) mogu stresno delovati na piliće [4]. Prolongirani stres štetno deluje i na koke nosilje i na piliće tovljenike i može dovesti do značajnih gubitaka u procesu uzgoja. Zbog toga je bitno da se pojava stresa u jatu blagovremeno detektuje i da se stresori koji su do te pojave doveli što pre uklone. Monitoring jata mikrofonom je dobro rešenje ovog postavljenog zadatka.

U ovom radu predstavljen je neinvazivan sistem za detekciju stresa kod pilića tovljenika starih između 1 i 5 nedelja. Iz audio-snimaka oglašavanja pilića ekstrahovana su određena vremenska i spektralna obeležja, na osnovu kojih je vršena klasifikacija stanja u dve klase – normalno i stresno stanje. Klasifikacija je vršena pomoću metode vektora nosača (engl. *Support vector machine*, SVM), a uspešnost sistema ocenjena je računanjem njegove osetljivosti, specifičnosti i tačnosti.

2. BAZA PODATAKA

Baza audio-snimaka koja je korišćena za obuku i testiranje sistema snimana je na živinarskoj farmi. Za snimanje je korišćen mikrofonski niz ReSpeaker 4 Mic Array for Raspberry Pi [5], koji čine 4 mikrofona SPU0414HR5H-SB bazirana na SiSonic™ MEMS tehnologiji. Baza se sastoji od 85 audio-snimaka dužine od po 10 minuta. Audio signal oglašavanja pilića tovljenika uzorkovan je na 16 kHz sa po 16 bita po uzorku i zapisan je u stereo *mp3* formatu.

Snimci su podeljeni u kategorije po nedelji starosti pilića i po njihovom psihološkom stanju. Podela u zavisnosti od starosti pilića je uslovljena činjenicom da se visina zvuka kojim se oglašavaju pilići značajno menja tokom vremena (u prve 3 nedelje života opadne sa 3.5 kHz na 1.5 kHz) [6]. U zavisnosti od psihološkog stanja razlikujemo: normalno stanje (NS), stanje stresa usled povišene temperature vazduha (SS1), stanje stresa zbog procedura redovnog održavanja objekta (SS2) i stanje stresa usled hvatanja i iznošenja pilića iz objekta (SS3). Raspodela snimaka po kategorijama prikazana je u tabeli 1.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Nikša Jakovljević, docent

U inicijalnoj verziji sistema bilo je bitno detektovati samo stresno stanje (ali ne i njegov uzrok) i stoga su stresna stanja objedinjena u jednu klasu. Na audio-snimcima je, pored pijukanja pilića, prisutna i buka koja potiče od ventilatora i hranilice, koja je delimično maskirala oglašavanje samih pilića. Međutim, ovakva buka je neizbežna na savremenim živinarskim farmama i sistem obučen na „idealnim“ snimcima, bez ovog vida buke, bi u realnim uslovima imao izuzetno loše performanse.

Tabela 1. *Raspodela snimaka po starosnim i psihološkim kategorijama. Psihološke kategorije su: NS – normalno stanje, SS – stanje stresa prouzrokovano: SS1 – povišenom temperaturom vazduha, SS2 – redovnim održavanjem i SS3 – hvatanjem i iznošenjem pilića iz objekta.*

Starost/stanje	NS	SS1	SS2	SS3
Nedelja 1	2	1		
Nedelja 2	2	1	5	
Nedelja 3	2	1	20	
Nedelja 4+	2	2	40	7
Ukupno	8	5	65	7

3. PREDOBRAĐA SIGNALA

Stereo snimci su konvertovani u mono snimke izdvajanjem samo levog kanala. Izvršena je normalizacija signala oduzimanjem srednje vrednosti i deljenjem maksimalnom amplitudom. Svaki segment propušten je kroz pojasni filter određenih graničnih frekvencija. Filtriranje je urađeno u cilju izdvajanja frekvencijskog opsega u kojem se nalazi pijukanje, a ujedno i da bi se u što većoj meri potisnula buka koja potiče od mašina. Frekvencijski opsezi od interesa određeni su na osnovu rada [6], koji opisuje promenu frekvencije oglašavanja pilića sa njihovim starenjem. Za sva filtriranja korišćen je FIR filter dužine 265 tačaka sa Hamingovom prozorskom funkcijom. Granične frekvencije filtera za svaku nedelju starosti pilića prikazane su u tabeli 2.

Tabela 2. *Granične frekvencije filtera za svaku nedelju starosti pilića*

Starost	Donja granična frekvencija	Gornja granična frekvencija
Nedelja 1	2000 Hz	3800 Hz
Nedelja 2	2000 Hz	3800 Hz
Nedelja 3	900 Hz	3800 Hz
Nedelja 4+	900 Hz	3800 Hz

4. KORIŠĆENA OBELEŽJA

Signal se deli na segmente (frejmove) dužine 50ms, tako da se uzastopni međusobno preklapaju po 50%. Za svaki od ovih segmenata se izdvajaju obeležja. Radi bolje preglednosti korišćena obeležja moguće je podeliti u zavisnosti od domena u kom se izdvajaju na: *i*) vremenska i *ii*) spektralna (frekvencijska) obeležja.

4.1. Vremenska obeležja

Grupu vremenskih obeležja čine sledeća obeležja: energija signala, snaga signala, kvadratna sredina signala (engl. *root mean square*, RMS), džiter (engl. *jitter*), šimer (engl. *shimmer*), visina zvuka (engl. *pitch*) i odnos harmonik-šum (engl. *harmonic-to-noise ratio*, HNR). Sličan set obeležja korišćen je u radu [4], koji se bavi detekcijom i klasifikacijom stresa kod koka nosilja.

Energija segmenta signala [7] između trenutaka N_1 i N_2 definiše se kao:

$$E = \sum_{n=N_1}^{N_2} x^2(n), \quad (1)$$

gde su $x(n)$ vrednosti signala u trenucima n .

Prosečna energija po jednom uzorku [7], koja se još naziva i snaga signala, računa se kao:

$$P = \frac{1}{N_2 - N_1 + 1} \sum_{n=N_1}^{N_2} x^2(n). \quad (2)$$

RMS [7] se računa po formuli:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N_2 - N_1 + 1} \sum_{n=N_1}^{N_2} x^2(n)}. \quad (3)$$

Džiter je obeležje koje opisuje varijacije trajanja osnovne periode audio signala, a time i varijacije osnovne učestanosti. Računa se kao:

$$Jitter = \frac{1}{N - 1} \sum_{n=1}^{N-1} (T_n - T_{n-1}), \quad (4)$$

gde je N broj osnovnih perioda signala, a T_n trajanje n -te osnovne periode [7].

Šimer opisuje varijacije amplitude između uzastopnih osnovnih perioda audio signala. Računa se po formuli:

$$Shimmer = \frac{1}{N - 1} \sum_{n=1}^{N-1} 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{A_n}{A_{n-1}} \right), \quad (5)$$

gde je A_n razlika između maksimalne i minimalne vrednosti signala unutar n -te osnovne periode [7].

Visina zvuka je termin pod kojim se podrazumeva percipirana tonalnost, odnosno, frekvencija zvuka. U ovom radu, visina zvuka izjednačena je sa osnovnom učetanošću zvuka.

HNR se definiše kao odnos energije harmonijskih (periodičnih) komponenti signala i energije komponenti koje potiču od šuma. Za računanje HNR korišćena je metoda zasnovana na autokorelaciji, odnosno:

$$HNR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{AC(T)}{AC(0) - AC(T)} \right), \quad (6)$$

gde je $AC(t)$ autokorelacija signala za pomeraj t , a T prosečna osnovna perioda na posmatranom segmentu [7]. Izdvajanje džitera, šimera i HNR-a podrazumeva da je audio signal podeljen na osnovne periode. Za detekciju osnovne periode u ovom radu korišćena je metoda autokorelacije signala u ciljanom opsegu osnovnih perioda [7].

U slučaju džitera, šimera, visine zvuka i HNR-a, ceo segment je najpre *upsample*-ovan 3 puta i zatim je nad njim izvršena podela na osnovne periode, da bi se dobila finija vremenska rezolucija.

4.2. Spektralna obeležja

Grupu spektralnih obeležja čine: energije odziva mel filtera banke, mel-frekvencijski kepstalni koeficijenti (engl. *Mel-frequency cepstral coefficients*, MFCC) i formanti.

Spektralna obeležja korišćena su u radovima koji se bave analizom zvuka oglašavanja živine [3, 8], a takođe i u radovima koji se bave klasifikacijom vrsta ptica na osnovu njihove pesme [9, 10].

Ekstrakcija energije odziva mel filter banke za svaki frejm odvija se kroz sledeća 3 koraka [11]:

1. Množenje uzoraka u frejmu Hamingovom prozorskom funkcijom;
2. Računanje amplitudskog spektra primenom brze Furijeove transformacije u 1024 tačke;
3. Propuštanje izračunatog amplitudskog spektra kroz filter banku koju čini 13 međusobno preklapljenih trougaonih pojasnih filtera iste širine, ravnomerno raspoređenih na mel frekvencijskoj skali u opsegu od interesa.

Logaritmovanjem energije odziva mel filter banke i primenom diskretne kosinusne transformacije nad njima dobijaju se MFCC (u ovoj studiji njih 13).

Formanti se definišu kao maksimumi obvojnice spektra signala. Karakterišu se pozicijom na frekvencijskoj osi i širinom. Za ekstrakciju formanta u ovom radu korišćena je metoda zasnovana na pronalaženju koeficijenta linearnog prediktivnog modela vokalnog trakta, pri čemu su posmatrana samo 2 formanta [7].

5. SVM KLASIFIKATOR

SVM je binarni klasifikator koji klasifikuje linearno separabilne uzorke u prostoru obeležja pronalaženjem hiperravnih koja ih najbolje razdvaja [12]. Takva hiperravan maksimizuje marginu – najmanje rastojanje od hiperravnih do bilo kog uzorka. U slučajevima kada uzorci nisu linearno razdvojivi, primenjuje se nelinearno preslikavanje uzoraka u višedimenzionalni prostor i konstrukcija optimalne hiperravnih razdvajanja u tom višedimenzionalnom prostoru. Pri klasifikaciji se u tom slučaju, radi lakšeg izračunavanja, koriste kernel funkcije. U ovom radu korišćen je SVM klasifikator sa linearnim, polinomijalnim i radijalnim kernelom. Najbolji rezultati dobijeni su sa radijalnim kernelom koji je dat izrazom:

$$K(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = e^{-\gamma \sum_{k=1}^d (x_{ik} - x_{jk})^2}, \quad (7)$$

gde su \mathbf{x}_i i \mathbf{x}_j uzorci u prostoru obeležja, d je dimenzionalnost prostora, a γ je slobodni parametar kernela koji je pri razvoju sistema u ovom radu postavljen na 2^{-8} .

6. REALIZACIJA SISTEMA

Sistem je realizovan u python okruženju. Pri ekstrakciji odziva mel filter banke i MFCCs korišćena je *librosa* biblioteka [13], dok je za realizaciju SVM klasifikatora korišćena *scikit-learn* biblioteka [14].

U cilju efikasnije obrade, polazni audio-snimci oglašavanja pilića, trajanja od po 10 minuta, su podeljeni na segmente dužine od po 1 minut.

Obuka i testiranje SVM klasifikatora vršeni su unakrsnom 5-fold validacijom, za svaku nedelju starosti posebno. U tabeli 3 prikazan je raspored trening i test jednogminutnih segmenata u svakoj nedelji starosti. Skraćenicom NS označeni su segmenti normalnog stanja, dok su segmenti stresnog stanja označeni skraćenicom SS.

Kako obuka tako i testiranje modela vršeno je na nivou jednog frejma od 50 ms. Na ovaj način je postignuto da se sa relativno malom bazom koja je na raspolaganju,

prilično kvalitetno procene parametri modela. Sličan pristup smo našli u radu [4] koji nam je predstavljao polaznu tačku.

Sa druge strane, odlučivanje se može vršiti i na segmentima dužim od 50 ms, tako što će klasifikator za svaki pojedinačni frejm od 50 ms doneti odluku o klasi, a onda će se većinskim glasanjem ili nekim drugim metodom doneti odluka o celom dužem segmentu.

Ovakvo odlučivanje je moguće, jer se očekuje da uznemirenost pilića traje duže od 50 ms, i da je potrebno alarmirati uzgajivača ukoliko uznemirenost traje barem minut.

Ovakvo odlučivanje nismo mogli da primenimo pošto smo u delu baze koji je odvojen za testove imali samo po 4 segmenta od po minut, što bi značajno smanjilo rezoluciju kojom određujemo tačnost sistema.

Tabela 3. Podela 1-minutnih segmenata na trening i test skup za svaku nedelju starosti u jednom foldu

Starost	Trening NS	Test NS	Trening SS	Test SS
Nedelja 1	16	4	8	2
Nedelja 2	16	4	20	40
Nedelja 3	16	4	20	190
Nedelja 4+	16	4	20	280

Zbog nebalansiranog test skupa, tačnost sistema nije računata kao broj ispravno klasifikovanih frejmova podeljen ukupnim brojem frejmova, već su analizirane osetljivost i specifičnost sistema.

Osetljivost se definiše kao:

$$OS = \frac{TP}{TP + FN} \cdot 100\%, \quad (8)$$

odnosno, kao odnos pravih pozitivna TP i zbira pravih pozitivna i lažnih negativna FN . U slučaju ovog sistema, klasa stresnog stanja je pozitivna klasa, a klasa normalnog stanja je negativna klasa. Specifičnost se računa kao:

$$SP = \frac{TN}{TN + FP} \cdot 100\%, \quad (9)$$

odnosno, kao odnos pravih negativna TN i zbira pravih negativna i lažnih pozitivna FP . Tačnost sistema izračunata je kao aritmetička sredina osetljivosti i specifičnosti, odnosno:

$$TA = \frac{OS + SP}{2}. \quad (10)$$

Isprobana je klasifikacija na osnovu svih prethodno nabrojanih obeležja, a takođe i na osnovu grupe od 7 obeležja koja su se u radu [4] pokazala kao najrelevantnija: odziv poslednjeg filtera u mel filter banci, oba formanta, RMS, visina zvuka, džiter i šimer.

7. REZULTATI

Osetljivost (OS), specifičnost (SP) i tačnost (TA) sistema za svaku od starosnih grupa prikazani su u tabeli 4. Ove vrednosti dobijene su kao prosek vrednosti osetljivosti, specifičnosti i tačnosti u svih 5 foldova.

Postignute performanse sistema su zadovoljavajuće, pogotovo kad se uzme u obzir činjenica da su računane na

nivou frejma. Za sistem koji je obučen za drugu nedelju starosti smo uradili analizu na nivou jednogminutnog segmenta i dobili smo i osetljivost i tačnost 100%, iako je prosečna tačnost svega 67.98%.

Kao što se iz priloženih rezultata u tabeli 4 može videti, tačnost u velikoj meri zavisi od starosti pilića. U slučaju sistema prilagođenog za prepoznavanje zvukova pilića starih 4 nedelje i više, sistem je postigao prilično loše rezultate. Jednominutni segmenti koji su pogrešno klasifikovani su poslani na ponovnu proveru veterinaru. Inicijalni rezultati dela poslanih snimaka ukazuju da je došlo do greške pri labeliranju baze audio-snimaka. Naime, inicijalni segmenti su bili trajanja 10 minuta, tako da se moglo desiti da se na početku i kraju pojedinih fajlova stresnog stanja pojave zvuci koji odgovaraju oglašavanju pilića u normalnom stanju. Normalizacija audio signala bi takođe mogla imati loš uticaj na tačnost sistema, jer određena vremenska obeležja značajno zavise od amplitude signala (npr. energija i snaga).

Grupa od 7 odabranih obeležja ipak nije postigla dovoljno dobre rezultate da bi se sistem redukovao samo na ta obeležja. Kao nastavak istraživanja planirano je ispitivanje performansi obeležja van ove grupe, naročito mel frekvencijskih cepstralnih koeficijenata, koji se u literaturi najčešće koriste.

Tabela 4. Osetljivost, specifičnost i tačnost sistema za svaku nedelju starosti na osnovu svih obeležja i na osnovu grupe od 7 odabranih obeležja

Starost	Obeležja	OS [%]	SP [%]	TA [%]
Nedelja 1	sva	76.82	74.63	75.72
	odabrana	72.23	64.15	68.19
Nedelja 2	sva	68.14	67.83	67.98
	odabrana	57.28	78.91	68.10
Nedelja 3	sva	86.91	90.78	88.85
	odabrana	82.49	83.49	82.99
Nedelja 4+	sva	55.98	68.79	62.38
	odabrana	51.08	72.98	62.03

8. ZAKLJUČAK

Sistem razvijen u ovom radu ima potencijal da postane koristan alat za monitoring pilića tovljenika i automatsku detekciju njihovog stresa. Naravno, za primenu sistema na živinarskoj farmi neophodna je korektno labelirana i znatno veća baza audio-snimaka, kao i uvođenje odlučivanja na nivou segmenata trajanja nekoliko desetina sekundi, što će biti predmet daljeg istraživanja.

9. ZAHVALNICA

Autori bi želeli da se zahvale kompaniji DunavNet iz Novog Sada koja im je ustupila zvučnu bazu sa snimcima tovnih pilića koji su korišćeni u ovoj studiji.

10. LITERATURA

- [1] D. Berckmans, "Automatic on-line monitoring of animals by precision livestock farming", *International Society for Animal Hygiene*, Saint Malo, 2004.
- [2] D. Berckmans *et al.*, "Animal Sound... Talks! Real-time Sound Analysis for Health Monitoring in Livestock", *International Symposium on Animal Environment and Welfare*, Chongqing, China, October 2015.

- [3] M. Rizwan *et al.*, "Identifying rale sounds in chickens using audio signals for early disease detection in poultry", *2016 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP)*, Washington, DC, pp. 55-59, December 2016.
- [4] J. Lee *et al.*, "Stress Detection and Classification of Laying Hens by Sound Analysis", *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, Vol. 28, No. 4, pp. 592-598, April 2015.
- [5] https://respeaker.io/4_mic_array/ (pristupljeno u septembru 2019.)
- [6] I. Fontana *et al.*, "Sound analysis to model weight of broiler chickens", *Poultry Science*, September 2017.
- [7] F. Eyben, "Real-time Speech and Music Classification by Large Audio Feature Space Extraction", *Springer Theses*, DOI 10.1007/978-3-319-27299-3.
- [8] M. Lin, S. Zhong, L. Lin, "Chicken Sound Recognition using Anti-noise Mel Frequency Cepstral Coefficients", *2015 Third International Conference on Robot, Vision and Signal Processing*, Kaohsiung, Taiwan, pp. 224-227, November 2015.
- [9] J. Cai *et al.*, "Sensor Network for the Monitoring of Ecosystem: Bird Species Recognition", *ISSNIP 2007 3rd International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing*, Melbourne, Australia, pp. 293-298, December 2007.
- [10] F. Briggs, X. Fern, R. Raich, "Technical Report (Not Peer Reviewed): Acoustic Classification of Bird Species from Syllables: an Empirical Study", 2011.
- [11] V. Delić, PPT prezentacije i materijali sa predavanja za predmet Govorne tehnologije, Potral katedre za telekomunikacije i obradu signala (www.ktios.net), Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, 2018.
- [12] M. Sečujski, PPT prezentacije i materijali sa predavanja za predmet Prepoznavanje oblika, Potral katedre za telekomunikacije i obradu signala (www.ktios.net), Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, 2017.
- [13] B. McFee *et al.*, "librosa: Audio and Music Signal Analysis in Python", *14th Python in Science Conference (SciPy 2015)*, Austin, Texas, pp. 18-24, July 2015.
- [14] F. Pedregosa *et al.*, "Scikit-learn: Machine Learning in Python", *Journal of Machine Learning Research*, Vol. 12, pp. 2825-2830, October 2011.

Kratka biografija:



Nina Maljković rođena je u Sremskoj Mitrovici 1995. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Obrada signala odbraniće 2019. god. kontakt: maljkovic.nina@gmail.com



Nikša Jakovljević rođen je u Sarajevu 1979 godine. Doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 2014. Oblasti interesovanja su mu obrada signala i mašinsko učenje. kontakt: jakovnik@uns.ac.rs