Изследване на електронен нос за оценяване на качеството на пилешко месо, базирано на мултисензорен анализ на данни и SVM класификатор

В. Начев, Т. Титова, Т. Стоянчев, С. Атанасова, Ч. Дамянов

A Study of an Electronic Nose for Chicken Meat Quality Assessment Based on Multi-sensor Data Fusion and SVM Classifier

V. Nachev, T. Titova, T. Stoyanchev, S. Atanassova, Ch. Damyanov

Key Words: *Food quality; sensory analysis; e-nose; SVM classification; chicken meat.*

Abstract. *This paper discusses some more important aspects related to sensory characteristics, in particular the implementation of an "electronic nose" system. The aim of the study is to investigate the possibilities for assessing the quality and authenticity of food products, in particular fresh chicken meat. By using multisensory data fusion, an attempt has been made to overcome some of the difficulties and shortcomings inherent in organoleptic assessments. For the purposes of classification into classes used one-class SVM classifier. The procedure has been successfully tested to increase the accuracy of the classification by selecting the most informative sensors. The results show the potential of the proposed classifier that could be used as a quick, objective and non-destructive tool for assessing the quality of real-world recognition systems.*

Увод

Пилешкото месо заема значителен дял в животновъдната и хранително-вкусовата промишленост както в България, така и в целия свят. Основното изискване на потребителите за неговото качество е то да бъде прясно, охладено, крехко, с плътноеластична консистенция, без отделяне на течности от месото, с изравнен цвят без петна на повърхността и без микроорганизми. За съжаление напоследък зачестяват появите на нарушения, свързани с некоректно етикетиране на прясно охладено месо или предлагане на месо, което не е съхранявано съгласно изискванията за съхранение. Подобни некоректни практики се класифицират от законодателството като фалшификации или измами. Те нанасят щети на потребителите или увреждат доверието в контролните органи, самоконтрола на търговските обекти и производителите. Срокът на годност и промените при съхранение на месото зависят от фактори като замърсеността с микроорганизми, температурата, pH на месото, вида на опаковката и атмосферата в опаковката. Причинители на бърза развала на пилешкото месо са основно бактерии *Pseudomonas spp., Brochothrix thermosphacta*, млечнокисели микроорганизми и други. При аеробни условия те разграждат компонентите на месото и натрупват бактериални метаболити, токсични биогенни амини и свободни ароматни вещества. Човекът е способен да разпознае признаци на развала на месото едва когато микроорганизмите достигнат концентрации от 10^7–10^8 CFU/g, но значително по-рано се отделят вещества с неприятна миризма (амоняк, сероводород, феноли, свободни органични компоненти и други). Съвременна перспектива за оценка на качеството и безопасността на храните са методите, заместващи сензорните възприятия на човека при оценката и прогнозирането на показателите на хранителните продукти.

В научната литература се откриват подобни приложения, например: в [14] е предложена интелигентна система за определяне на пресността и степента на микробна контаминация при пилешко месо, в [11] се разглеждат недеструктивни методи за ароматни компоненти, предложение за система на изкуствен нос при прясно месо е предложена в [18].

През последните години при анализа на храни започна да се прилага засилено сензорният анализ **(електронен нос и електронен език)** за определяне на някои основни свойства на продуктите [6,15,17]. Изследвани са в определени задачи и техните възможности за дефиниране на технологични качества, фалшификации, бактериално развитие, развала (пресността) и други. Традиционно използваните досега сензори (ултразвукови, оптични, микровълнови, лазерни и други) бяха усъвършенствани като възможности и съвместимост с компютърните технологии и съвременните методи за обработка на данни, което доведе до възприемането на понятието интелигентни сензори. В голяма степен съвременните средства позволяват системите за окачествяване да се доближат до парадигмата на човешката сензорна система [1,10].

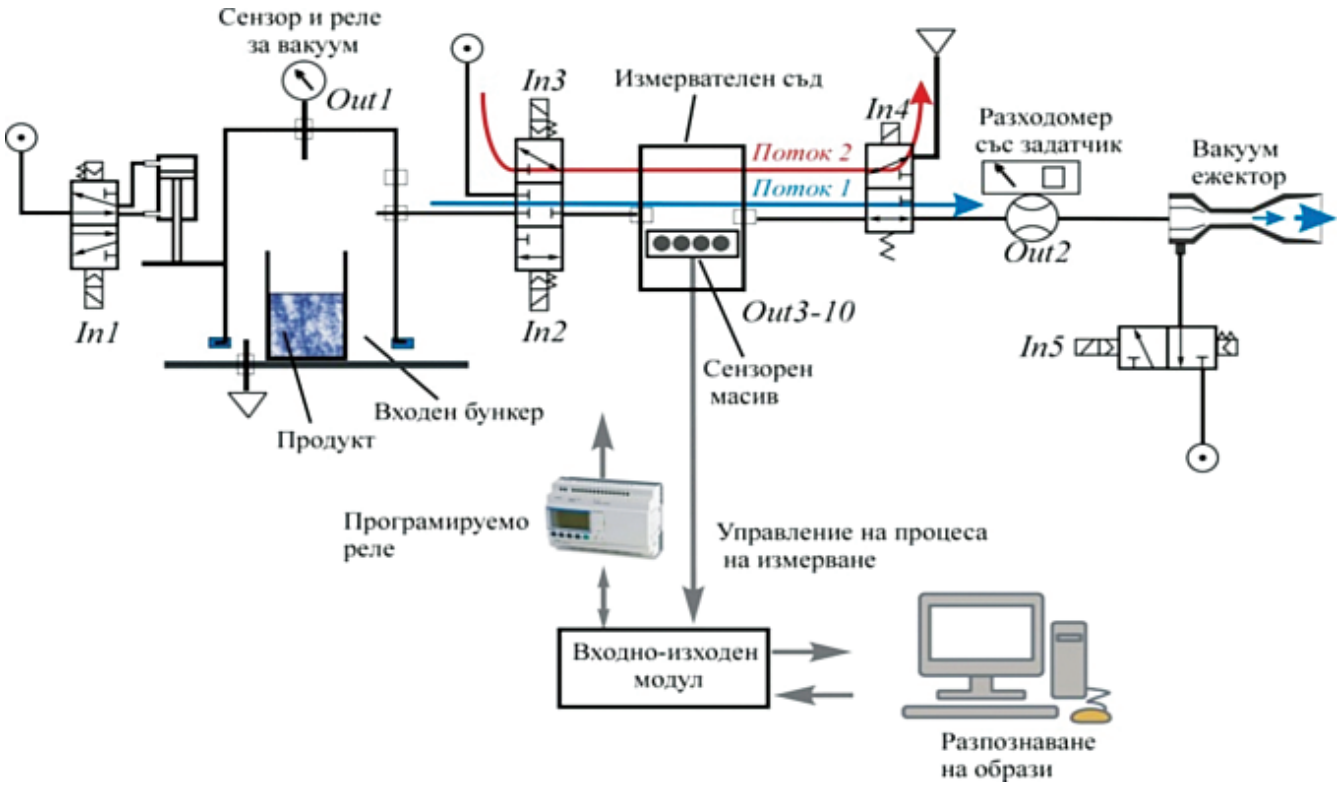
В рамките на работата са проучени възможностите за използване на система от типа **електронен нос** за проследяване на качеството на пилешко месо. При този метод получената информация от набор подбрани газови сензори (сензорен масив), чувствителни към химичния състав, се свежда до задача за анализ на данни и разпознаване на образи [5,7,12,13]. Признаковото пространство в този случай формира комплексен образ на изследвания продукт, характеризиращ комбинацията от летливи органични съединения.

Материали и методи

Изследванията включват проби бяло месо (гръдна мускулатура) от пилета бройлери, взети директно от птицекланица (голям производител от България) в деня на клинична обработка на птиците или закупени от търговски обекти. В стерилни лабораторни условия се приготвят индивидуалните месни проби, като чрез напречни срезове се нарязват на по-малки проби с дебелина 2-2.5 см и тегло около 55-60 г. Всяка проба се поставя отделно в стъклено петри с диаметър 90 мм и така се съхранява в хладилна камера при температура 4°C±1°C в продължение на 12 дни. За установяване на степента на развала на месото по време на съхранението се измерват показатели pH, аминоамонячен азот, общо микробно число, признаци на промяна в цвета и миризмата (органолептично). Паралелно също така се измерва промяната в миризмата на месото чрез експериментална система **електронен нос**.

Система електронен нос. Електронният нос представлява система от следните основни компоненти: измервателна клетка за проби; масив от сензори, чувствителни към компонента на газ или комплексна газова смес; модул за управление на измерването; подсистема за обработка на информацията (електронен блок) и алгоритъм за разпознаване на образи на конкретен или комплексен аромат [2,3,9].

На *фиг. 1* е представена блокова схема на система **електронен нос**. За реализацията са използвани сензорите, представени в *табл. I*. В измервателната клетка са включени сензори за влажност и температура (експериментален набор – MVH3000D, MEMS Vision). За реализацията се използват също конвенционална пневматична техника (SMC Co, Japan); многоканален аналогово-цифров преобразовател за събиране на данни от сензорите – HB628 (H-Tronic). Интерфейсът за събиране и обработка на данни е разработен в средата Матлаб.



Фиг. 1. Принципна схема на лабораторния стенд (In1-In5 – входни сигнали за управление на съответните пневматични разпределители; Out1 и Out2 – съответно сензор за ваккум и разходомер за поддържане на еднакви условия на експеримента; Out3-Out10 – показания на газовите сензори; Поток 1 – измерван газ; Поток 2 – въздушен поток за възстановяване на сензора)

Табл. 1

Сензор	Максимална чувствителност
MQ-3	Алкохол, бензин, етанол, пушек
TGS-813	Метан, бутан, пропан
TGS-822	Изпарения на органични разтворители и други летливи изпарения, въглероден оксид, етанол, ацетон, бензол, метан, изобутан, хексан
TGS-2600	Замърсители като водород и въглероден оксид, метан, въглероден монооксид (мравчена киселина), изобутан и водород
MQ-9	Въглероден оксид и други запалими газове: метан, пропан бутан и други
GGS2331T	Въглероден оксид, водород, етанол и ниска чувствителност към метан
GGS4331T	Амоняк с ниска чувствителност към метан, въглероден оксид и водород
SENS-HS-131	Чистота на въздуха, пари и алкохол

Измервателният цикъл е следният:

1. Затваряне на входния бункер.

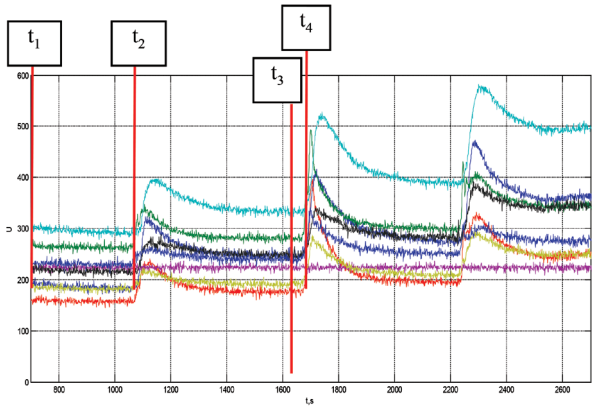
2. Подаване на налягане към вакуум ежектор, при което се създава вакуум във входния бункер, като с контролиран разход въздухът обдухва сензорния масив (Поток 1, *фиг. 1*).

3. Запис на информацията до установяване на показанието на сензорите.

4. Обдухване на сензорите с чист въздух (Поток 2, *фиг. 1*). Този контур е реализиран с цел подаване на значително по-голям дебит на потока в сравнение с Поток 1 с цел бързодействие.

Обдухването се извършва за зададено време и условия за достигане на прагови стойности на газовите сензори, които се архивират в началото на цикъла (t_1, *фиг. 2*), а така също и стойността на сензора за температура, тъй като работата на сензорите предизвиква общо загряване на измервателния съд [2,3].

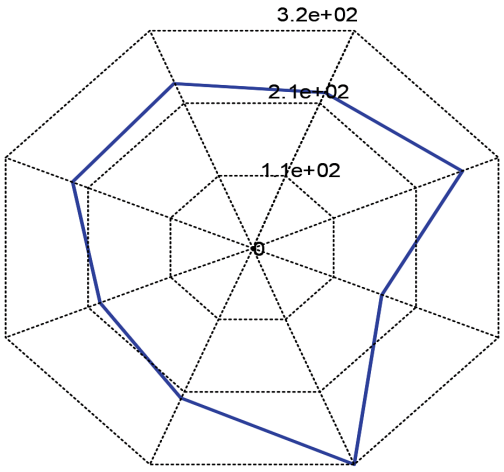
На *фиг. 2* е представена извадка от снети характеристики на проби от пилешко месо в различен етап на съхранение.



Фиг. 2

Фиг. 2 дава представа за етапите на получаване на информация. Участъкът от време между t_1 и t_2 (и преди t_1) съответства на първоначално стартиране до установяване на стойностите на сензорите. Промяната на показанието им в този етап се дължи на постепенното достигане до работната температура на нагревателния елемент в сензорите. В момент от време t_2 към сензорния масив е насочен флуидът, чийто газов профил трябва да се измери (от пробата месо). Следва установяване на показанието на сензорите. В момент t_4 се обследва нова проба и т.н. След приключване на измерването данните се обработват (филтрират) и се архивират автоматично. Информацията за съответната проба се снема за установени стойности на времевите трендове, например в момента от време t_3 (*фиг. 2*).

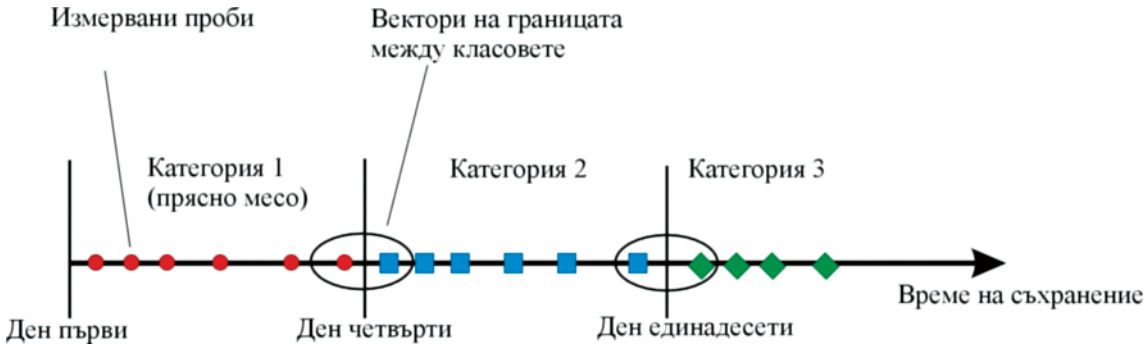
Измерваната проба се асоциира с едномерен масив от стойности с размер, равен на броя на сензорите и съдържащ измерените напрежения в потенциометричните измервателни схеми на сензорите. При номинална стойност на изходното напрежение от 0 до 5 V се използва съответната стойност на дискретния код на 12-битов аналогово-цифров преобразовател (т.е. използва се целочислена стойност). Информацията може да се представи графично (*фиг. 3*), където по осите на лъчевата диаграма се нанася нивото на съответния сензор.



Фиг. 3. Графично представяне на измерена проба

Синтез на класификатор

С цел изследване на възможността за класификация е разработен еднокласов SVM класификатор [4,8,16]. Изборът на този класификатор е мотивиран от съображения, които налагат класификационната задача, а именно: непрекъсната промяна на качеството на продукта във времето, като впоследствие се въвеждат категории за качество. В този случай получените образи в близки интервали от време, но попадащи в различна категория, усложняват значително намирането на класификатор с добри генерализиращи свойства. Проблемът е представен графично на *фиг. 4*.



Фиг. 4

Решението, което се предлага в случая, е синтез на прагова разделяща функция. Праговата стойност се определя евристично от съображения за минимизиране на грешките от втори род, т.е когато развалени меса се класифицират като пресни.

При метода SVM се трансформира изходното пространство от образи във високоразмерно признаково пространство F ($\Phi: X \rightarrow F$). При обучението и класификацията се използва скаларното произведение на двойките от вектори $\Phi(\boldsymbol{x})$, $\Phi(\boldsymbol{x}_i) \in F$. С помощта на кернъл функция може да се дефинира косвено произведението в това пространство: $K(x,x_i)=(\Phi(x) \bullet \Phi(x_i))$. От избора на кернъл функция зависи съществено точността на получения класификатор и съответно тестването на различни кернъл функции разширява възможностите за намиране на класификатор, удовлетворяващ поставените изисквания за точност. За получаването на еднокласов SVM (*one-class* SVM) класификатор се оптимизира функцията

$$\min_{\lambda} L_P = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{l}\lambda_i\lambda_j K(x_i, x_j)$$

при ограничения $0 \le \lambda_i \le \frac{1}{vl}, \sum_{i=1}^{l}\lambda_i = 1,$

където x_i са векторите от обучаващата извадка; λ_i са множители на Лагранж; v е параметър за регуляризация. При класификацията може да се използва прагова функция, базираща се на сумата

$$g_{1-SVM} = \sum_{i=1}^{SV}\lambda_i K(x_{new}, x_i),$$

където x_{new} е класифициран обект; SV е броят на опорните вектори (ненулеви множители на Лагранж).

Основни предимства на метода са: решението е единствено и оптимално; има възможност за детерминиране на разделящата функция само от определени вектори (опорни вектори), което е еквивалентно на автоматично определяне на топологията на мрежата; устойчивост на модела по отношение на състава на обучаващата извадка (обем и разпределение); използване на линейни решаващи правила. Методът е подходящ при неизвестни разпределения, високоразмерно пространство и малки обучаващи извадки.

Основната част от обучението на класификатора се състои в определяне на параметрите за настройка: параметър за регуляризация и параметър на избраната гаусова кернъл функция $\sigma(K(x,x_i)=exp(-||x-x_i||^2/\sigma)$. За целта се използва *grid-search* алгоритъм при зададени диапазони на изменение на параметрите за настройка. След обучението на класификатора се дефинира прагова функция за дефиниране на функционалната граница между класовете.

Експериментални резултати

В началото на изследванията пилешкото месото има нисък брой микроорганизми ($4.3x10^3$ CFU/g), стойноттта на pH е 6.65, а аминоамонячният азот е 35 mg%. В продължение на 12-дневното съхранение се наблюдава протичане на основните фази на развала на месото. Настъпват промени като драстично увеличаване на броя на микроорганизмите, ензимно разграждане на протеините и аминокиселините с отделяне на алкални компоненти и на летливи, неприятно миришещи вещества. Максималните стойности на измерваните показатели на месото са: $4.3x10^9$ CFU/g за общ брой микроорганизми, pH се увеличава до стойността 6.72, а аминоамонячният азот достига до 166 mg%. При тези стойности месото от опитната постановка се отличава с неприятна миризма на развалено, влажна и слузесто-лепкава повърхност, която има неравномерен цвят и по-светли петна.

Измерване на състоянието на пилешко месо при съхранение. В *табл. 2* са представени резултати от измерване на месни пилешки проби за 2, 5, 6, 7, 11 и 12-и ден на съхранение при температура 4-5°C. Целта на експеримента е да се селектира набор от сензори, които носят информация за промяната в състоянието на продукта. На базата на графичен анализ показанието на сензор (GGS2331T, *табл. 1*) беше игнорирано поради приблизително нулева чувствителност.

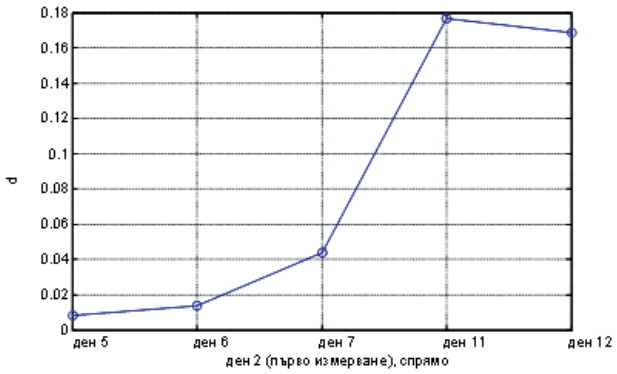
Табл. 2

	Ден на съхранение					
Сензор	2	5	6	7	11	12
MQ-3	80	80	91	95	89	66
TGS813	201	197	201	190	213	207
TGS822		82	93	86	113	108
TGS2600	293	258	298	280	357	356
MQ-9	140	135	136	126	139	140
GGS4331T	128	119	128	136	165	156
HS131	216	198	198	175	159	153

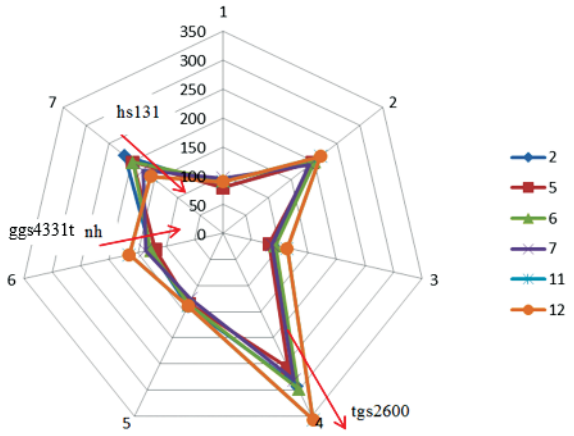
За оценка на различието (подобието) между векторите е използван Прокруст анализ, в който за референтен вектор е приет наборът от стойности за първия ден. Изменението на коефициента на подобие е показано на *фиг. 5*.

Съществените различия между признаковите вектори се проявяват между 6-и и 11-и ден за приетите дискрети на измерване.

На *фиг. 6* са представени графично резултатите от измерванията. Най-голяма вариация на стойностите за общия период на измерване има при сензорите TGS2600, CZGNH и HS131. Това позволява да бъде направено предварително редуциране на дискриминантните признаци при синтез на класификатор.



Фиг. 5. Изменение на коефициента на подобие



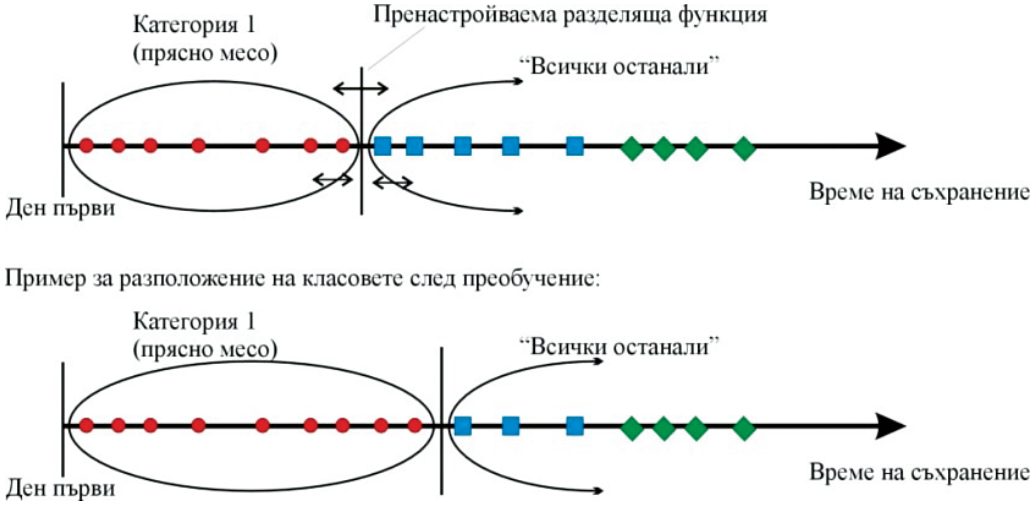
Фиг. 6. Графично представяне на резултатите

Синтез на еднокласов SVM класификатор. Концептуалният модел на предложеното решение с еднокласов SVM класификатор е следното:

1. Формиране на обучаваща извадка от образи за първи клас – годно за консумация месо в съответствие с референтните тестове (микробиологичен анализ).

2. Обучение на класификатор за формираната обучаваща извадка в този клас или всички останали при минимизиране на грешките от втори ред (фиг. 7).

3. Възможност за преобучение на класификатора при нова композиция от обучаващи извадки.



Фиг. 7

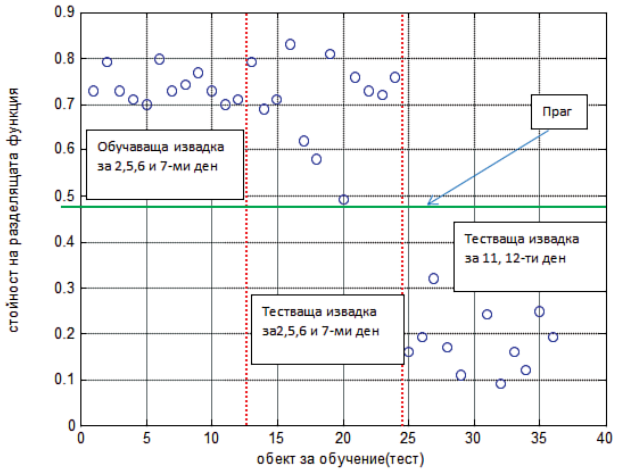
Експерименталните данни, които бяха получени в рамките на една партида местни проби, се ограничиха до 36 измерени проби (по шест измервания за 2, 5, 6, 7, 11 и 12-и ден). Предвид малката налична извадка е синтезиран класификатор с цел установяване на наличието на дискриминантна информация. Затова е включена също възможността за използването на графичен интерфейс за анализ и подпомагане на вземането на решения.

На *фиг. 8* е представен резултат от класификация на извадка, съставена от признаковите вектори от 2, 5, 6 и 7-и дни.

От обектите от този клас се формират преди всяко обучение на класификатор собствено-случайни извадки, разделени поравно в обучаваща и тестваща извадки с цел унифициране на доверителните интервали на грешките.

За установяване на сходимостта на алгоритъма процедурата за обучение се повторя многократно.

Поради спецификата на използвания метод (*one-class SVM*) класификаторът е обучен единствено по образите, съответстващи на местни проби до 7-и ден.



Фиг. 8. Стойности на дискриминантната функция за формираните обучаваща и тестваща извадки

В случая е избран праг на дискриминантната функция $g_{1\text{-}svm}$=0.47, при който се получава нулева грешка от втори род, т.е. с голяма вероятност се предотвратява възможността класификаторът да класифицира негодно месо като прясно.

За получаване на статистически достоверни оценки на грешките от първи род и съответно тяхното минимизиране е необходимо увеличаване на обучаващата извадка.

Заключение

Формираната обучаваща извадка и обучението на класификатора дават индикации за възможността за използване на информация, получена посредством система ***електронен нос***. За целите на класификацията в два класа е използван едноклосов SVM класификатор. Специфична особеност на метода е неговата нечувствителност към размера на признаковото пространство, позволяващо елиминиране в определена степен на сложни процедури за редуциране на признаковото пространство, които в повечето случаи са условни и субоптимални. Посредством евристична настройка на праг на решаващата функция могат да се постигнат задоволителни нива на грешката при класификация.

В статията са представени част от резултатите ни в опита да се изяснят механизмите и възможностите, които могат да се разкрият при използването на технологията ***електронен нос*** за оценяване на качеството и автентичността на някои хранителни продукти, в конкретния случай – пресната на пилешко месо. В контекста на предлагания подход класическите идеи и методологии се проявяват в съвършено нова светлина, което дава основание да се счита, че предлаганата методология се вписва хармонично в глобалния проблем за намиране на обективни идентификатори на качеството на храните. Нещо повече, концепцията електронен нос за окачествяването на храни преоткрива възможността за преодоляване на някои затруднения и недостатъци, присъщи на органолептичните оценки. И в този смисъл тя е безусловно необходима за създаването на ефективни обективно разпознаващи качеството системи.

Литература

1. Дамянов, Ч. Неразрушаващо разпознаване на качеството в системите за автоматично сортиране на хранителни продукти. Пловдив, Академично издателство на УХТ, 2006.

2. Начев, В., Т. Титова, Ч. Дамянов, Т. Тодоров. Електронен нос в хранителната индустрия. – *Автоматика и информатика*, 2014, 1, 30-36

3. Начев, В., Т. Титова, Т. Стоянчев, С. Атанасова, Ч. Дамянов. Технологията електронен нос за проследяване на качеството на пилешко месо. Международна конференция „Автоматика и информатика'2017", София, България, 2017, 97-100.

4. Amer, M., M. Goldstein, S. Abdennadher. Enhancing One-class Support Vector Machines for Unsupervised Anomaly Detection. Proceedings of the ACM SIGKDD Workshop on Outlier Detection and Description, 2013.

5. Aguilerap T., J. Lozano, J. Paredes, F. Alvarez, J. Suarez. Electronic Nose Based on Independent Component Analysis Combined with Partial Least Squares and Artificial Neural Networks for Wine Prediction. – *Sensors*, 2012, 12, 8055-8072. doi:10.3390/s120608055, www.mdpi.com/journal/sensors.

6. Barbri, N., E. Llobet, N. Bari, X. Correig, B. Bouchikhi. Electronic Nose Based on Metal Oxide Semiconductor Sensors as an Alternative Technique for the Spoilage Classification of Red Meat. – *Sensors*, 8, 2008, 142–156.

7. Berna, A. Metal Oxide Sensors for Electronic Noses and their Application to Food Analysis. – *Sensors*, 2010, 10, 3882-3910. doi:10.3390/s100403882, www.mdpi.com/journal/sensors.

8. Huang, Y., Y. Lan, W. C. Hoffmann, R. E. Lacey. Multisensor Data Fusion for High Quality Data Analysis and Processing in Measurement and Instrumentation. – *Journal of Bionic Engineering*, 4, 2007, No. 1, 53-62.

9. Korel, F., M. Balaban. Uses of Electronic Nose in the Food Industry. – *Gida*, 28, 2003, 5, 505-511.

10. Maximo, C., Jr. Gacula. Descriptvie Sensory Analysis in Practice. Food & Nutrition Press, 1997.

11. Mikš-Krajnik, M., Y.-J. Yoon, D. O. Ukuku and H.-G. Yuk. Identification and Quantification of Volatile Chemical Spoilage Indexes Associated with Bacterial Growth Dynamics in Aerobically Stored Chicken. – *Journal of Food Science*, 81, 2016, 8, M2006–M2014. doi:10.1111/1750-3841.13371.

12. Lawless, H., H. Heymann. Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices. Springer Science & Business Media, 1999.

13. Patel, H. K. The Electronic Nose: Artificial Olfaction Technology. Springer India, 2014, ISSN 1618-7210.

14. Rukchon, Ch., A. Nopwinyuwong, S. Trevanich, T. Jinkarn, P. Suppakul. Development of a Food Spoilage Indicator for Monitoring Freshness of Skinless Chicken Breast. – *Talanta*, 130, 2014, 547-554.

15. Savarese, M., N. Caporaso, C. Parisini, A. Paduano at all. Application of an Electronic Nose for the Evaluation of Rancidity and Shelf Life in Virgin Olive Oil. The 2nd Electronic International Interdisciplinary Conference, Sec. Agriculture, 2-6 September 2013, 361-366.

16. Scholkopf, B., J. Platt, J. Shawe-Taylor, A. Smola, and R. Williamson. Estimating the Support of a Highdimensional Distribution. – *Neural Computation*, 13, 2001, 7, 1443–1472.

17. Tripathy, A., A. K. Mohanty, M. N. Mohanty. Electronic Nose for Black Tea Quality Evaluation Using Kernel Based Clustering Approach. – *International Journal of Image Processing* (IJIP), 6, 2012, No. 2, 86-93.

18. Wojnowski, W., T. Majchrzak, T. Dymerski, J. Ge¸bicki, J. Namies´nik. 2017. Poultry Meat Freshness Evaluation Using Electronic Nose Technology and Ultra-fast Gas Chromatography. – *Monatsh Chem*, 148, 2017, 1631–1637. doi 10.1007/s00706-017-1969-x.

За контакти:
Доц. д-р инж. **Веселин Начев**
Катедра "Автоматика, информационна и управляваща техника"
Университет по хранителни технологии
бул. Марица 26, 4002 Пловдив
e-mail: v_nachevbg@yahoo.com

Доц. д-р инж. **Таня Титова**
Катедра "Автоматика, информационна и управляваща техника"
Университет по хранителни технологии
бул. Марица 26, 4002 Пловдив
e-mail: t_titova@abv.bg

Доц. д-р **Тодор Стоянчев**
Централна научноизследователска лаборатория
Тракийски университет – Стара Загора
e-mail: todor.stoyanchev@uni-sz.bg

Доц. д-р **Стефка Атанасова**
Биохимия, микробиология и физика
Тракийски университет – Стара Загора
e-mail: atanassova@uni-sz.bg

Проф. д.т.н. инж. **Чавдар Дамянов**
Катедра "Автоматика, информационна и управляваща техника"
Университет по хранителни технологии
бул. Марица 26, 4002 Пловдив
e-mail: chavdam@yahoo.com

ФНТС ВИ ПРЕДЛАГА

КОМПЛЕКСНИ УСЛУГИ:

Специалисти-консултанти за разработване на проекти, свързани с технологични иновации, финансова политика, патентна защита и др...

Федерацията на научно-техническите съюзи ще ви осигури конферентни и изложбени зали, симултанна техника, отлични възможности за провеждане на вашите събития, промоции, коктейли.

Спестете време, средства и енергия като се възползвате от комплексните услуги на Федерацията и удобните зали от 14 до 300 места, в центъра на София.

ЗАПОВЯДАЙТЕ ПРИ НАС!

Зала, брой места	Само за делнични дни	Делнични дни		Почивни и празнични дни	
	до 2 часа	до 4 часа	над 4 часа	до 4 часа	над 4 часа
Зала №1 (85 кв. м)	119 лв.	225 лв.	310 лв.	275 лв.	390 лв.
Зала №2 (*40 места*)	109 лв.	205 лв.	290 лв.	245 лв.	340 лв.
Зала №3 (*90 места*)	180 лв.	275 лв.	350 лв.	350 лв.	425 лв.
Зала №4 (*300 места*)		385 лв.	495 лв.	495 лв.	595 лв.
Зала №105 А (*54 места*)	99 лв.	195 лв.	290 лв.	245 лв.	340 лв.
Зала №108 (*14 места*)		69 лв.	89 лв.	105 лв.	135 лв.
Зала №109 (*до 26 места*)	72 лв.	95 лв.	130 лв.	130 лв.	175 лв.
Зала №302 (*14 места/*	65 лв.	89 лв.	120 лв.	120 лв.	165 лв.
Зала №312 (*до 25 места*)	72 лв.	95 лв.	130 лв.	130 лв.	175 лв.
Зала №315 (*14 места*)		69 лв.	89 лв.	105 лв.	135 лв.

Цените са без ДДС и са в сила от 01. 01. 2019 г. !

София, 1000 , ул. „Г. С. Раковски" №108
Национален дом на науката и техниката
тел: 02/ 987 72 30 БЕЗПЛАТНО, факс: 02/ 987 93 60