

## ИНТЕЛИГЕНТНИ МЕТОДИ С ПРИЛОЖЕНИЕ В МУЛТИСЕНЗОРНИЯ АНАЛИЗ НА ХРАНИ

Т. Титова, В. Начев, Ч. Дамянов

Университет по хранителни технологии, Пловдив 4002, бул. Марица №26, тел. +359 32 603765,  
e-mail: v\_nachevbg@yahoo.com, t\_titova@abv.bg, chavdam@yahoo.com.

## INTELLIGENT METHODS APPLIED IN MULTISENSOR FOOD ANALYSIS

T. Titova, V. Nachev, C. Damyanov

**Abstract:** This paper looks at some of the most important aspects related to sensory characteristics and examples of applications to define the quality of food products. The purpose of the study is exploring the possibilities of combining data from different sensors in order to increase the accuracy of classification of food products.

**Key words:** food quality, sensory analysis, multisensory analysis, e-nose, e-tongue

### ВЪВЕДЕНИЕ

Анализът на храните е интензивно развиваща област, което е в съответствие със съвременните изисквания за тяхното качество, безопасност и здравословност. Основната цел при анализа на хранителните продукти е осигуряване на информация за широк спектър от характеристики или процедури като установяване на легалност и съответствие на етикетиране, оценка на качеството, детерминиране на компонентно съдържание, установяване на автентичност и идентичност, състав, физико-химични свойства, сензорни атрибути и др. Тази информация е от решаващо значение за рационалното установяване на факторите, определящи свойствата на храните, тяхната безопасност и информативност при избора им. Според една от дефинициите за качество касаеща хранителни продукти най-общо то представлява, набор от определени показатели измерени с обективни критерии, определящи състоянието на продукта, приемливо и очаквано за потребителя. В тази връзка обекта на изследване са такива методи, с които могат да се определят характеристики корелиращи с органолептични оценки, вътрешно качество, хранителна стойност, химически състав, механични свойства, функционални качества и дефекти. В определени случаи с тези методи може да се постигне една интегрална оценка т.е. определяне на повече от една характеристика посредством един и същ инструментален метод.

В последните години при анализа на храни засилено започна да се прилага спектралния и сензорния анализ („електронен нос“ и „електронен език“) за определяне на някои основни свойства на продуктите. Изследвани са в определени задачи и техните възможности за дефиниране на технологични качества, фалшификации, бактериално развитие, развалата (преснатата) и други [2,6]. Традиционно използваните досега сензори (ултразвукови, оптични, микровълнови, лазерни и др.), бяха усъвършенствани като възможности и съвместимост с компютърните технологии и съвременните методи за обработка на данни, което доведе до възприемане на понятието интелигентни сензори [1,7,8]. В голяма степен съвременните средства позволяват процеса на синтез в съвременните системи за окачествяване да се доближи до парадигмата на човешката сензорна система.

Сензорните характеристики по същество представляват свойства, възприемани от човешките сетивни органи

(външен вид, аромат, вкус, текстура). Сензорната система на човека използва разнообразна входяща информация при вземане на решение. Интерпретирането на тази информация, получена от сетивните органи на човека в неговия мозък, с цел приемане на крайно решение не е нещо тривиално. Само за определянето на показателя „степен на зрялост“ се използват множество свързани показатели като цвят, аромат, размери, маса, блясък и др. Такава интелигентна, т.е. присъща на човека обработка поражда идеята за осъществяване с т.нар. „сензорно обединяване“ (*sensor fusion*) [8,9]. В този процес се смесват и интегрират сигнали от множество различни източници. Информацията, получена от мултисензорна система се преработва чрез алгоритми, които могат условно да се разделят на две групи: сензорно обединяване, основаващо се на вероятно-статистически модели и сензорно комбиниране на базата на интелигентни модели. В последните няколко десетилетия в инженерната практика все по-често се прилагат подходите, при които се обединяват данните от измерванията на различни сензори, за да се получи оптимална оценка на качеството в статистически смисъл [1,9].

В статията се разглежда един подход за използване на мултисензорно обединяване на данни с цел получаване на интегрални оценки и повишаване информативността на признаците използващи данни от различни по тип сензорни данни.

### МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

**Система „електронен нос“.** Мирисът е едно от основните органолептични свойства, което се възприема от сетивата на човека. Идентификацията на дадена миризма има широко приложение – за оценка на състоянието и качеството на атмосферния въздух, здравеопазване, медицинска диагностика, екологичен мониторинг, качество на храни, фармация, детекция за наличие на опасни газове и др [10,11].

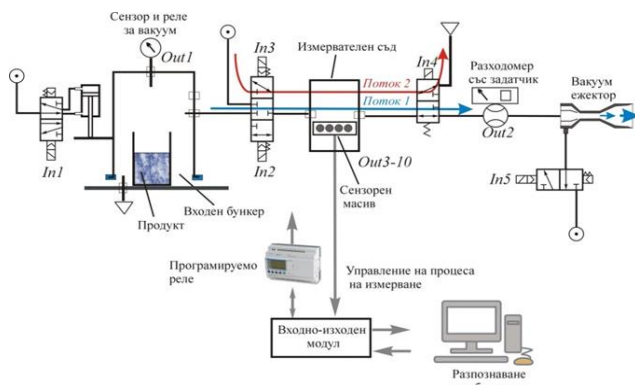
Нарастващият през последните години интерес на индустрията към качеството на храните по отношение на създаването на полезни техники за разпознаване на миризми и елиминирането на субективния фактор в досегашната практика, както и скъпо струващите лабораторни анализи с помощта на газови хроматографи, доведе до създаването на инструментариум, имащ висока

чувствителност, съизмерима и по-добра от човешките възможности и същевременно в състояние да улови и дискриминира както индивидуалните различия в сложни аромати, така и да съпостави сходни по мирис техни стимули.

Голяма част от приложенията на система с електронен нос (ЕН) биха могли да се използват за контрол на качеството на храните в реално време. Свежест, замърсяване, заразяване, лоша миризма на хранителни продукти, следене на ферментационни процеси, окачествяване на храни и хранителните продукти при тяхното съхранение са само част от възможните приложения на ЕН. Успешно би могло да се определи вид на продукта, да се класифицира по регион на произход, качество, автентичност, безвредност, време на зреене или съхранение, срок на годност и др. Основните техни предимства са възможностите за бърз, нискостойностен и автоматизиран анализ.

„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 [2,4,5].

На фиг. 1 е представена блокова схема на система „електронен нос“. В измервателната клетка са включени сензори за влажност и температура (експериментален набор - MVH3000D). За реализацията се използва също: конвенционална пневматична техника (SMC Co, Japan); многоканален аналогово-цифров преобразувател за събиране на данни от сензорите - HB628 (H-Tronic). Интерфейс за събиране и обработка на данни, разработен в средата Матлаб.



Фиг.1. Принципна схема на лабораторния стэнд. (In1÷In5 – входни сигнали за управление на съответните пневматични разпределители; Out1 и Out2, съответно сензор за вакуум и разходомер, съответно 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).

Измервателният цикъл е следният:

1. Затваряне на входния бункер.
2. Подаване на налягане към вакуум ежктора, при което се създава вакуум във входния бункер и с контролиран разход, въздухът обдухва сензорния масив (Поток 1, Фиг.1);
3. Запис на информацията до установяване на показаниято 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, за по-голямо бързодействие.

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

Измерваната проба се асоциира с едномерен масив от стойности, с размер равен на броя сензори и съдържащ измерените напрежения в потенциометричните измервателни схеми на сензорите. При номинална стойност на изходното напрежение от 0 до 5V, се използва съответната стойност на дискретния код на 12-битова аналогово-цифров преобразувател (т.е. използва се целочислена стойност).

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

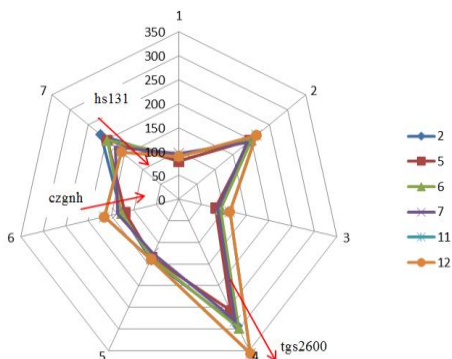
В началото на изследванията пилешкото месото има нисък брой микроорганизми ( $4,3 \times 10^3$  CFU/g), стойността на рН е 6.65, а аминокиселинния азот е 35mg%. В продължение на 12 дневното съхранение се наблюдава протичане на основните фази на развала на месото. Настъпват промени като драстично увеличаване 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:  $4.3 \times 10^9$  CFU/g за общ брой микроорганизми, рН се увеличава до стойността 6.72, а аминокиселинния азот достига до 166mg%. 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 Таблица II са представени резултати от измерване на месни пилешки проби за 2, 5, 6, 7, 11 и 12-ти 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 база графичен анализ, показанието на сензор (GGS2331T, Таблица I) беше игнорирано, поради приблизително нулева чувствителност.

ТАБЛИЦА I

Сензор	Ден на съхранение					
	2	5	6	7	11	12
MQ-3	80	80	91	95	89	66
TGS813	201	197	201	190	213	207
TGS822	71	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

На фиг.2 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. 2. Графично представяне на резултатите

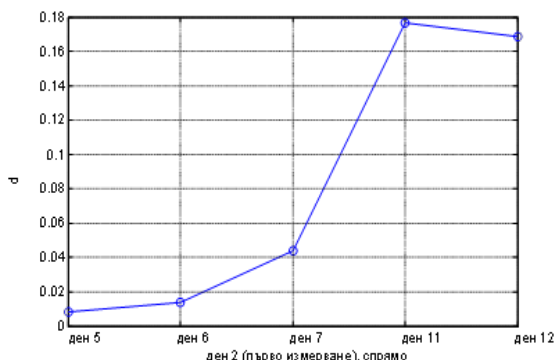
### ОБОБЩЕН ПРОКРУСТ АНАЛИЗ

Обобщеният прокруст анализ (Generalized Procrustes Analysis, GPA) е един от основните инструменти в сензорния анализ, базиран на сетивни, органолептични оценки на хранителни продукти [7,8].

Целта на използването му се състои в постигането на оптимална сравнимост между образите, определени от признаковите вектори, съдържащи сензорна информация. При Прокруст анализ, векторът от признаци се съпоставя с определена от тях геометрична форма. Сравняването на две форми се извършва след:

- транслирането им в една координатна система;
- премасшабирание на двете геометрични форми в една скала, в зависимост от разстоянията на точките до центроидите;
- относителна ротация между образите до минимизиране на разстоянията между точките формиращи формата;
- измерване и анализ на дистанцията между кривите.

Обобщеният Прокруст анализ, в случая на обработката на данните от газовите сензори, дава възможност за допълнително елиминиране на влиянието на фактори като вариации в температурата, влажността на базовия въздушен поток, дрейф на показанията от минимални остатъчни замърсявания на сензорите и др. За оценка на различието (подобие) между векторите е използван Прокруст анализ, в който за референтен вектор е приет, набора от стойности за първи ден. Изменението на коефициента на подобие е показано на Фиг.3.



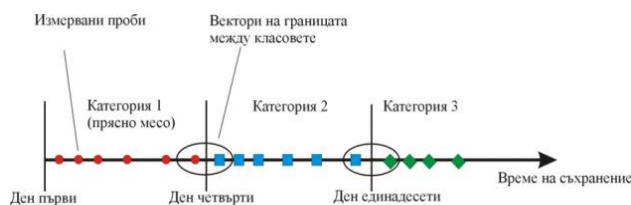
Фиг. 3. Изменение на коефициента на подобие

Същественият различия между признаковите вектори се проявява между 6-ти и 11-ти ден, за приетите дискрети на измерване.

### СИНТЕЗ НА ЕДНОКЛАСОВ SVM КЛАСИФИКАТОР

С цел изследване на възможността за класификация е разработен еднокласов SVM класификатор [3,12]. Изборът

на този класификатор е мотивиран от съображения, които налагат класификационната задача, а именно: непрекъснатата 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 значително усложняват намирането на класификатор с добри генерализиращи свойства. Проблемът е представен графично на Фиг. 4.

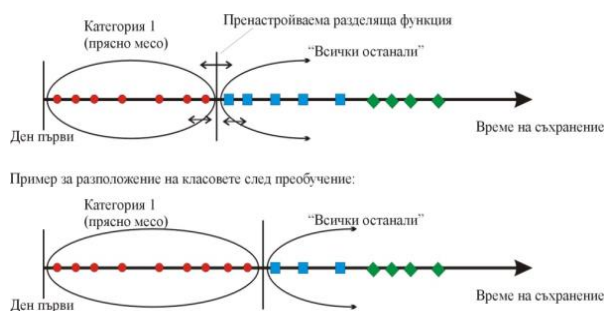


Фиг. 4.

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.

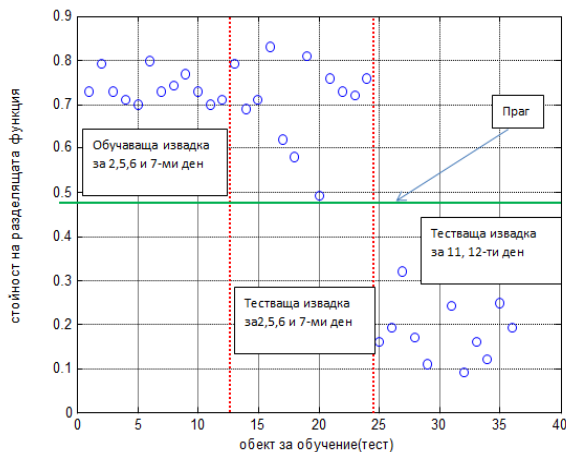
Концептуалният модел на предложеното решение с еднокласов SVM класификатор е следното:

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.5).
3. Възможност за преобучение на класификатора при нова композиция от обучаващи извадки.



Фиг. 5.

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-ти ден). Впредвид малката налична извадка е синтезиран класификатор с цел установяване на наличието на дискриминантна информация. За това също е включена възможността за използването на графичен интерфейс за анализ и подпомагане вземането на решения. На Фиг.6 е представен резултат от класификация на извадка съставена от признаковите вектори от 2, 5, 6 и 7-ми 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 повтаря многократно. Поради спецификата на използвания метод („one-class SVM“), класификаторът е обучен единствено по образите, съответстващи на местни проби до 7-ми ден.



Фиг. 6. Стойности на дискриминантната функция за формираните обучаваща и тестваща извадки.

В случаят е избран праг на дискриминантната функция  $g_{1-SVM} = 0.47$  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 съответното нейното минимизиране е необходимо увеличаване на обучаващата извадка.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получените резултати показват, че със задоволителна за практиката точност, електронният нос и обобщеният прокруст анализ могат да се използват за окачествяване преснатата на пилешко месо. Съществено предимство на предложената методика и инструментариум е възможността за количествен и визуален (графичен) анализ, при подпомагане вземането на решение от експерта.

Направените изследвания с еднокласов SVM-класификатор в опита ни 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 – преснатата 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 хармонично се вписва в глобалния проблем по намирането на обективни идентификатори на качеството на храните. Нещо повече, концепция „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.

#### БЪДЕЩИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

В последните години технологията „е-език“ предизвика голям интерес поради многостранната си приложимост по отношение на идентифицирането и класификацията на преработените храни и потребителски стоки. Появилите се неразрушителни техники за анализ на качеството на храните са способни да оценят качеството на готовите продукти, като анализират данните от сензорите, които могат да бъдат под формата на аромат, мирис, цвят, текстура и вкус. Една от задачите е разработването и

оптимизирането на мониторинга и методи за контрол както на хранителните материали, така и на готовия продукт. Получените резултати от изследвания с „е-език“ могат да се разглеждат като обещаваща техника за качествен и количествен анализ.

Проектирането на система за „е-език, подобно на „е-нос“, могат да се използват различни видове сензори. Съществува голямо разнообразие от химически сензори: електрохимични (потенциометрични, волтаметрични, импедиметрични), оптични или ензимни сензори (биосензори). Използването на електрохимични измервания за аналитични цели намира широк спектър от приложения в хранително-вкусовата промишленост и фармацевтията. Повечето от предлаганите системи са базирани на потенциометрични измервания, като особено интерес има към йон-селективни електроди (ISE). Освен ISE, йонночувствителните полени транзистори (ISFET) набират все по-голяма популярност, като сензори използвани се в масиви на системи от типа „е-език“. Характеристиките на сензорите на „е-език“ се различават от тези на традиционните химически сензори: вместо висока селективност при откриване на веществата, те имат цялостна селективност, която осигурява глобална информация за изследваното вещество.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дамянов Ч., Неразрушаващо разпознаване на качеството в системите за автоматично сортиране на хранителни продукти. Академично издателство на УХТ, Пловдив, 2006
2. Начев В., Т. Титова, Ч. Дамянов, Т. Тодоров. „Електронен нос“ в хранителната индустрия, сп. Автоматика и информатика, 1, 30-36, 2014
3. 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
4. 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, 142–156, vol. 8, 2008
5. 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](http://www.mdpi.com/journal/sensors)
6. Korel F., M. Balaban. Uses of Electronic nose in the Food industry, Gida, 28(5), 505-511, 2003
7. Lawless H., H. Heymann, “Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices”, Springer Science & Business Media, 1999
8. Maximo C., Jr.Gacula, Descriptive Sensory Analysis in Practice, Food & Nutrition Press, 1997
9. Naes T., P. Brockhoff, O. Tomic, Statistics for Sensory and Consumer Science, John Wiley & Sons Ltd, 2010, ISBN 978-0-470-51821-2 (hardback)
10. Patel H. K., The Electronic Nose: Artificial Olfaction Technology, Springer India 2014, ISSN 1618-7210
11. Savarese M., N. Caporaso, C. Parisini, A.Paduanò, 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, 361-366, September, 2 – 6, 2013
12. Scholkopf B., J. Platt, J. Shawe-Taylor, A. Smola, R. Williamson. Estimating the support of a high dimensional distribution. Neural Computation, 13(7):1443–1472, 2