



## COMPUTER SYSTEM FOR CHARACTERIZATION OF FOOD FOAMS WITH ULTRASOUND

Ivan Topalov<sup>1</sup>, Nikolay Shopov\*<sup>1</sup>, Tzvetelin Dessev<sup>1</sup>, Hristo Kilifarev<sup>2</sup>

<sup>1</sup> University of Food Technologies, Plovdiv, Bulgaria

<sup>2</sup> Technical University of Gabrovo, Gabrovo, Bulgaria

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 11 October 2019

Accepted 21 November 2019

#### Keywords:

Characterization, Classification,  
Food foams, Ultrasound, Wavelets

### ABSTRACT

*The current report proposes a non-contact and non-destructive method for characterization of food foams. The method is based on using ultrasonic emitter and receiver which detect the reflected signals from the irradiated object. The results were processed by spectral analysis of signals method - Discrete Wavelet Transform (DWT) of Haar implemented with fast conversion.*

© 2019 Journal of the Technical University of Gabrovo. All rights reserved.

### ВЪВЕДЕНИЕ

Ефективното приложение на методите за окачествяване и контрол на различни среди и материали е важна стъпка при създаването на даден продукт за крайния потребител. Тези методи спомогат за създаването на по-качествени хранителни продукти. Целта на инженерите и технолозите, работещи в промишлеността е намирането на нови методи и технологии за по-качествено производство или модифицирането на използвани такива с цел подобряване на качеството и свързания с него контрол.

Резултатите, които се целят да бъдат постигнати са: да се подобрят основните качествени характеристики на хранителните продукти (текстурата, външен вид, вкус и др.), да се увеличи времето за запазване на тези характеристики (стабилност, срок на годност) или да бъде подобрен процесът на тяхното производство чрез прилагане на по-ефективни и достъпни методи.

Развитието на методите за окачествяване се базира на развитието на изчислителната техника, компютърно-базираните методи за получаване и обработка на информацията и технологиите, като цяло.

Използването на компютърните методи за окачествяване започва да навлиза все повече в промишлеността, не само за обработката на резултатите от контрола на качеството, но и за създаване на системи за по-бърз и ефективен анализ на продуктите.

Компютърните методи за разпознаване на образи предоставят възможност за сравнение на произвеждания продукт с еталонни модели на най-добрите „качествени“ продукти. Еталоните се създават на базата на дългогодишни изследвания на учени, инженери и технолози.

Целта е до крайния потребител да достигне продукт с определено качество и при процеса на производство

да не се загуби никаква част от него. Този процес на окачествяване може да бъде разгледан от две страни – както от анализа на крайния продукт в предприятието, тоест от гледна точка на производителя, така и от гледна точка на осигуряване качествен продукт на потребителя.

До момента различни видове среди, материали и хранителни продукти са изследвани чрез използването на ултразвуков метод за идентификация [1 - 6] методи за обработка на 2D и 3D изображения и разпознаване на образи [7, 8] и анализ с цифров микроскоп [9], като целта е била да се анализира вътрешната и външната структура на обекта.

В настоящия доклад е предложен метод за идентификация на хранителни пени с помощта на безконтактен ултразвуков ехолокационен метод за получаване на информация и метод за класификация, базиран на уейвлитна обработка на получените данни с разпознаващо правило по методите за разпознаване на образи.

### ИЗЛОЖЕНИЕ

При приложения ултразвуков метод се използва свойството на ултразвуковите вълни при разпространение през нехомогенна среда да взаимодействат с нея като изменят своите параметри - амплитуда и фаза. Изменението на тези параметри на ултразвука, зависи от свойствата на средата [10, 11], т.е. те носят информация за характеристиките на изследваната среда.

Изследвани са две различни хранителни пени. Пяна №1 е получена чрез аериране на 2mg/ml воден разтвор на грахов протеин, който е растителен протеин и може да бъде използван като частичен заместител на яйчен белтък в пандишпаново тесто. Пяна №2 е получена чрез аериране на 2 mg/ml воден разтвор на суроватъчен протеинов изолат (WPI), който също притежава

\* Corresponding author. E-mail: nikshop@mail.bg

отлични пенообразуващи свойства и се използва при формиране на различни хранителни пени.

Ултразвуковата система се състои най-общо от предавател и приемник. Данните се въвеждат в компютърната система, посредством АЦП модул на National Instruments, като там след това се извършва тяхната обработка и анализ.

Ултразвуковите методи за диагностика на среди и материали притежават редица преимущества пред традиционните аналитични методи – те са бързодействащи, неразрушаващи, точни, могат да бъдат автоматизирани и вградени в поточните линии.

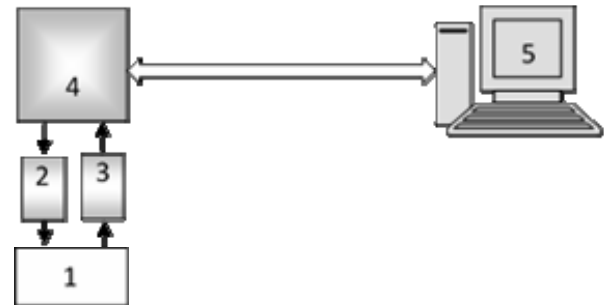
Един от методите за изследване на веществата се основава на взаимовръзката между параметрите на ултразвуковата вълна и структурата на даден продукт при преминаването ѝ през или отражението ѝ от него. Главната особеност на ултразвуковите вълни е тяхната висока честота, която позволява да бъдат излъчени във вид на тесен сноп от лъчи. По характера на разпространението и поглъщането на ултразвуковите вълни в газовете, течностите и твърдите тела може да се получи ценна информация за техните свойства и строеж. В това отношение отдавна са известни възможностите на ултразвуковите вълни за диагностика и определяне на състава на течности.

Изследванията са проведени с помощта на опитната постановка [1], базирана на ехолокационния метод за получаване на информация. Този метод се основава на изпращане от предавател на високочестотен пакет от импулси, който се разпространява в средата до обекта за идентификация, отразява се от него и се връща като ехо към втория сензор - приемник. Част от колебанията на импулса се разсейват в материала, от който е съставен, а получения отразен сигнал се измерва, преобразува и анализира.

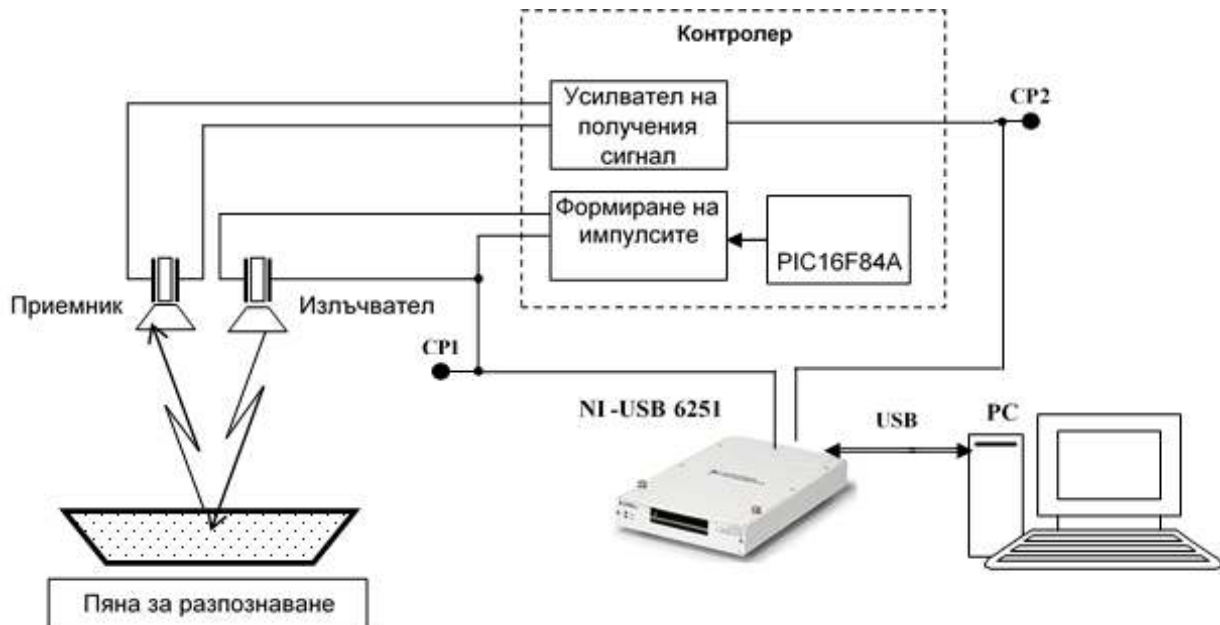
Спектърът на отразения сигнал зависи основно от плътността и хомогенността на обекта. Това се дължи

на явленията разсейване, абсорбция, отражение, пречупване и лъчева дивергенция. Абсорбцията на ултразвуковата енергия от средата (изследвания продукт), в която ултразвукът се разпространява, зависи от характеристиките на тази среда (еластичност и плътност), както и от честотата на използвания ултразвук. Вследствие на това ултразвуковият сигнал се модифицира и носи информация за характеристиките на средата между излъчвателя и приемника - фиг. 1. Това дава възможност за идентификация на състава на веществата в качествено отношение. От резултатите могат да бъдат направени много изводи за цялата вътрешна структура на средата и за качеството на изграждащите я микровръзки.

Компютърната система за обработка на данните трябва да извлече и анализира получената информация от сензора, за да може обектите на изследване да бъдат класифицирани. Експериментите са проведени с два различни вида хранителна пена, предоставени от катедра „Технология на зърнените, фуражните, хлебните и сладкарските продукти“ при УХТ-Пловдив.



Фиг. 1. Блокова схема на системата за изследване: 1-изследван продукт; 2-излъчвател (Transmitter); 3-приемник (Receiver); 4-контролер; 5-персонален компютър



Фиг. 2. Схема на лабораторния стенд с ултразвук

Разстоянието на излъчвателя и приемника от изследваните обекти е 5 cm. Изследваните проби са поставени при еднакви външни температурни условия с цел намаляване на смущаващите фактори (температура, влажност на въздуха и др.). Вътрешната температура на

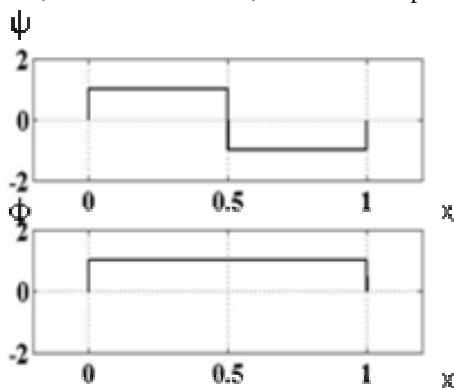
пяна №1 и пена №2 е 26 °C. За двете проби са направени 999 измервания (499 за пена №1 и 500 за пена №2), състоящи се от 2048 дискретни стойности. Схемата на лабораторния стенд с ултразвук е представена на фиг. 2. За повишаване на дълбочината на проникване,

предвид нехомогенността на изследваните проби, експериментите за получаване на информация са реализирани с ултразвуков сензор с честота 25 kHz.

Експерименталната схема на опитната постановка е показана на фиг. 2. Тя се състои от следните модули: РС конфигурация с Microsoft Windows 7 Ultimate; микроконтролер PIC16F84A; и програмна част - програма за генериране на импулсно модулиран сигнал (25 kHz) - заредена в PIC16F84A за възбуждане на излъчвателя.

Процесът на аналогово-цифрово преобразуване на информацията от сензора е първия етап на трансформация на входната информация. Това преобразуване е необходимо, за да се въведе информацията в компютърната система, но е недостатъчно за целите на автоматичното разпознаване. Това налага реализиране на преобразуване, свързано с промяна на пространството на описание на изображението. Въпросът за избор на признаково пространство, подходящо за конкретната задача се диктува най-вече от техническото устройство, явяващо се последващ потребител на информацията - класификаторът.

Компактно-вълновото или уейвлетното (wavelet) преобразуване на сигналите се явява междинно между изцяло спектралното и времевото представяне. Уейвлет-анализа е един от перспективните и най-бързо развиващи се методи за анализ на сигнали. Към настоящия момент са известни множество ортогонални базисни уейвлет функции - на Хаар (фиг. 3), Добеши, Коифлети, Симлети и др., имащи възможност за бързо преобразуване [1]. То се реализира на базата на итерационен алгоритъм, съгласно схемата, показана на фиг. 4.

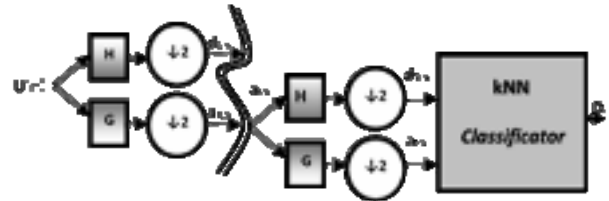


Фиг. 3. Уейвлетна ( $\psi$ ) и мащабираща ( $\phi$ ) базисни функции на Хаар (Добеши 1)

Оригиналният сигнал преминава през два филтъра - филтър на високи честоти G и филтър на ниски честоти H. Установено е, че всяка втора дискретна стойност може да се премахне без загуба на информация. Операцията е наречена редуциране на дискретните стойности (двоична децимация). Получават се две дискретни поредици - коефициентите на апроксимация на ниво  $m = 1$   $a_{1,k}$  от филтъра G и детайлизиращите коефициенти  $d_{1,k}$  от филтъра H – фиг. 4. При разлагане на по-високо ниво коефициентите на апроксимация от ниво  $m = 1$  ( $a_{1,k}$ ) се подлагат на аналогични операции съгласно схемата от фиг. 4.

Детайлизиращите коефициенти  $d_{1,k}$  отразяват главно високочестотния шум, докато апроксимиращите коефициенти  $a_{1,k}$  отразяват характерните особености на оригиналния сигнал. Процесът на декомпозиция може да се извърши последователно (пирамидален алгоритъм

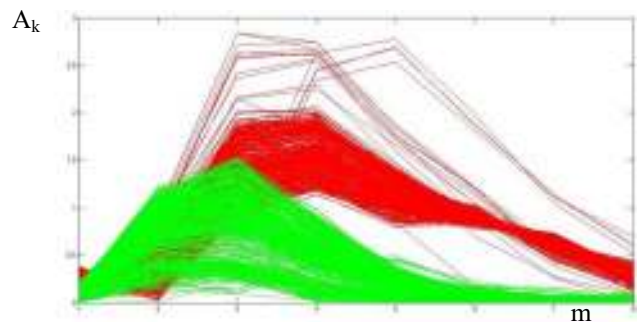
на Mallat [12, 13], като сигналът се разложи на множество нискочестотни и високочестотни компоненти. Получените, като резултат уейвлетни коефициенти са приложени и изследвани в качеството на признаци за разпознаване с един от най-често прилаганите параметрични класификатори – k - най-близки съседа (kNN) [14].



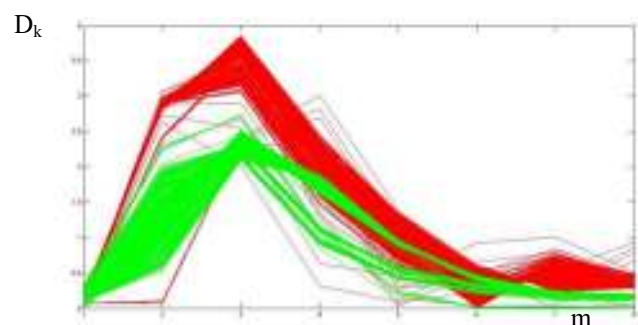
Фиг. 4. Блок-схема на kNN класификатор с уейвлетно формиране на признаковото пространство

## РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

Получени са дискретните уейвлетни спектри за апроксимиращите (фиг. 5) и детайлизиращите коефициенти (фиг. 6) (DWT – спектрите) на двата вида хранителна пяна. При анализ на получените уейвлетни спектри на ниво  $m = 8$  с функция на Хаар се установява ясно изразена разделимост при стойностите на апроксимиращите и детайлизиращите коефициенти.



Фиг. 5. DWT - спектри на апроксимиращите коефициенти на изследваните два вида хранителна пяна №1 и №2 при Хаар уейвлет и декомпозиция до ниво  $m = 8$

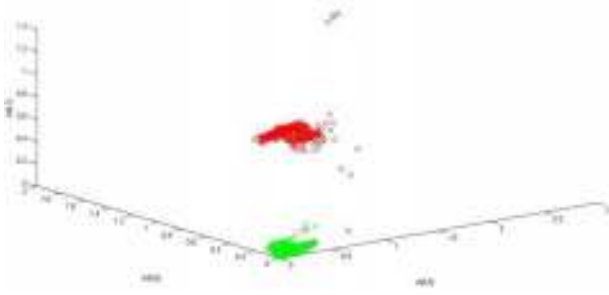


Фиг. 6. DWT - спектри на детайлизиращите коефициенти на изследваните два вида хранителна пяна №1 и №2 при Хаар уейвлет и декомпозиция до ниво  $m = 8$

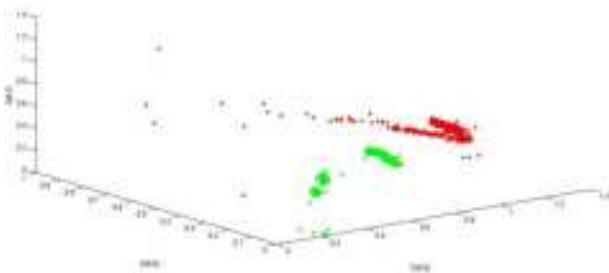
Тъй като детайлизиращите коефициенти отразяват високочестотния шум при подбора на признаци за класификация е работено с апроксимиращите уейвлетни коефициенти на ниво  $m = 8$ .

На фиг. 7 и фиг. 8 са представени разпределенията на клъстерите на апроксимиращите и детайлизиращите коефициенти на двата вида хранителна пяна №1 и №2, получени след дискретната уейвлетна трансформация с

Хаар на ниво  $m = 8$ . От резултатите е видно, че няма препокриване и е налице ясно разграничаване на отделните зони на клъстерите. Това води до получаването на почти нулева грешка след класификацията.



Фиг. 7. Клъстери на апроксимиращите коефициенти на изследваните два вида хранителна пяна №1 и №2, получени от Хаар на ниво  $m = 8$



Фиг. 8. Клъстери на детайлизиращите коефициенти на изследваните два вида хранителна пяна №1 и №2, получени от Хаар на ниво  $m = 8$

Табл. 1 Класификация на контролната извадка, съставена от измервания, които не са включени в обучаващата извадка, с избраните коефициенти (апроксимиращи  $a_{8,6}$  и  $a_{8,7}$ )

Изследвана пяна		След класификация, бр.		Грешки		
		Пяна №1	Пяна №2	Общо	Действителна	Основна
Вид	$m_{jk}$	$m_{i1}$	$m_{i2}$	бр.	$g_i, \%$	$e_i, \%$
Пяна №1	$m_{1k}$	264	1	265	0	0,38
Пяна №2	$m_{2k}$	0	284	284	0,35	0
Общо	Бр.	264	285	549	Обща грешка, $e_0, \%$	0,18

В табл. 1 е представена класификация на контролната извадка съставена от 549 измервания, които не са включени в обучаващата извадка, с избраните коефициенти (апроксимиращи  $a_{8,6}$  и  $a_{8,7}$ ).

Грешките при класификация, представени в табл. 2, имат следния смисъл:

– **Основната грешка  $e_i$**  показва относителния дял на обектите от клас  $i$ , отнесени неправилно от класификатора в другите класове. Тази грешка отчита правилното разпознаване на обектите. При класификацията на пяна №1 основната грешка има стойност 0,38%, тъй като от 265 бр. измервания при контролната извадка класификаторът е отнесъл 1 измерване към пяна №2. При пяна №2 от 284 измервания – грешката има нулева стойност.

– **Действителната грешка  $g_i$**  показва относителния дял на обектите от други класове неправилно отнесени от класификатора в даден клас  $i$ : Тази грешка отчита

попадналите „примеси“ от други класове в даден клас след класификация. Тя е важна от гледна точка на потребителя. След класификацията 1 измерване от пяна 1 е отнесено неправилно към пяна №2, т.е. в 285 измервания, класифицирани като пяна №2 има 1 измерване от пяна №1.

– **Общата грешка  $e_0$**  - показва неправилно класифицираните обекти спрямо всички обекти от извадката. От табл. 1 се установява, че от 549 измервания 1 измерване е неправилно класифицирано, като е получена обща грешка  $e_0 = 0,18 \%$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При изследванията е получена ниска обща грешка от класификация - 0,1821%. Получените резултати показват висока чувствителност на метода спрямо анализирания хранителни пяни.

Добрите лабораторни резултати показват, че е възможно разделянето на различни по качество и характеристики хранителни пяни. Също така дават и възможност за една тяхна класификация по техните качествени характеристики, използвайки този метод, който ни предоставя някои предимства спрямо другите методи за изследване.

Насоките за бъдеща работа са към задълбочаване на изследванията, изследване на други обекти със сходни характеристики, сравняване на резултатите с други приложими методи за изследване и създаване на класификатор с еталонни стойности за намирането на най-качествените продукти. За в бъдеще се предвиждат тестове също с други честоти на ултразвуковите вълни.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Този доклад е подкрепен финансово от договор проект „08/18-Н Изграждане на модерна локална инфраструктура за интернет на храните“ „, финансирани от фонд „Наука“ на УХТ- Пловдив и тема „Изследване възможностите за използване на растителни протеини като пенообразуващ и пеностабилизиращ компонент при производството на хранителни пяни“ към национална научна програма „Здравословни храни за силна биоикономика и качество на живот“ финансирана от МОН DCM # 577 / 17.08.2018“

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ilarionov R., Simeonov I., Kilifarev H., Yoradanov St., Shopov N., Ibrishimov H., Ultrasonic Device for Non-Contact Studying of Materials, International Conference on Computer Systems and Technologies - CompSysTech'10, ИИВ.18-1-ИИВ.18-6, June 17-18, Sofia
- [2] Ilarionov R., Simeonov I., Kilifarev H., Yordanov S., Shopov N., Ibrishimov H., Ultrasonic Device for Non-Contact Studying of Materials. Proceedings of the International Conference on Computer Systems and Technologies, CompSysTech'10, Sofia, Bulgaria, 17-18 June 2010, pp. 38–45. (ISBN 978-1-4503-0243-2)
- [3] Ilarionov R., Koleva M., Shopov N., Simeonov I., Demireva D., Effect of Material Structure on Wave Propagation in Non-Contact Ultrasound Identification of Waste Plastics, Proceedings of the 2nd International Conference on Hazardous and Industrial Waste Management, CRETE 2010, Chania, Crete Greece, 5-8 October, 2010, pp. 517–518
- [4] Bhardwaj M.C., Neeson J., Stead G., Introduction to Contact-Free Ultrasonic Characterization and Analysis of Consolidated Materials, NDTnet, Vol.5, N6, 2000

- [5] Rose J.L., Nestleworth J.B., Balasubramaniam K., „Ultrasonics“, 1988, Vol.26, pp. 124-131. TEC EUROLAB, Testing and Consulting, teceurolab.com
- [6] Shopov N., Ilarionov R., Simeonov I., Kilifarev H., Non-contact ultrasound method for identification of yogurt according to its butter content. Proceedings of the International Conference on Computer Systems and Technologies and Workshop for PhD Students in Computing, CompSysTech'09, University of Rouse, Bulgaria, 18-19 June 2009, pp. I.1-1 – I.1-6
- [7] Ozbayoglu E. M., Akin S., Eren T. (2007) Image processing techniques in foam characterization, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 29: 13, 1175 - 1185
- [8] Russ J.C., Image analysis of food microstructure, Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition 2012, pages 233-252
- [9] Aguilera J.M., Why Food Microstructure?, Journal of Food Engineering 67 (2005) 3–11
- [10] Dickinson E., Richards M., Food Colloids: Fundamentals of Formulation 1st Edition, Royal Society of Chemistry; 1 edition (June 28, 2001), ISBN-10: 0854048502, ISBN-13: 978-0854048502
- [11] Tharwat F. Tadros, Emulsion Formation and Stability, First Edition, Published 2013 by Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA
- [12] Kostadinova-Georgieva L., Computer technologies for objectively non- destructive qualification on food, FPI Magazine, i. 10-11, 2014, pp. 34-39, ISSN 1311-0179
- [13] Mallat S., A Wavelet Tour of Signal Processing - 3rd Edition, The Sparse Way, Academic Press, 2008
- [14] Smolentsev N. Wavelet-analysis in MATLAB. DMK-Press, 2010