

# РЕЦЕНЗИЯ

по процедура за защита на дисертационен труд на тема:

## Методи за построяване на уейвлетни и мултиуейвлетни филтърни банки

за придобиване на образователна и научна степен „доктор“

от

кандидат: **Васил Стефанов Колев,**

област на висше образование: **4. Природни науки, математика и информатика,**

професионално направление: **4.6. Информатика и Компютърни Науки,**

докторска програма: **Информатика, Институтът по информационни и комуникационни технологии - БАН.**

Рецензията е изготвена от: **проф. дмн Огнян Кунчев, ИМИ-БАН,** в качеството ми на член на научното жури, съгласно Заповед № 111/26.04.2024 г. на директора на ИИКТ-БАН.

### 1. Структура на дисертационния труд, обща характеристика и представените материали

Основните изследвания в дисертацията са посветени на изследване на нови методи за построяване на нови класове от мултиуейвлетни филтърни банки от полиноми и сплайни. Дисертацията съдържа 150 страници и се състои от въведение, 5 глави, представящи приносите на автора. Библиографията се състои от 153 заглавия, включително 6 публикации на автора. Представен е и Автореферат в обем от 54 страници, който адекватно отразява съдържанието на дисертацията.

### 2. Данни и лични впечатления за кандидата

Познавам лично дисертанта от 2003 година, като работещ активно в интересна нова област на теорията на уейвлетите, многоскоростните системи и техните приложения. Присъствал съм на докладите му на различни конференции, на които е

докладвал резултати свързани с темата на дисертацията. Той също така беше и участник в научния проект “Астроинформатика” 2008-2012 с Националния Фонд за Научни Изследвания, на който съм бил ръководител. В рамките на този проект Васил Колев участваше активно в основните дейности, като се включваше в работния пакет по прилагането на нови методи за анализ на сигнали към астрономически данни/изображения.

### **3. Съдържателен анализ на научните и научноприложните постижения на кандидата, съдържащи се в представения дисертационен труд**

Дисертационният труд на Васил Колев е посветен на теорията на **дискретните уейвлетови преобразования**, на построяване на нови фамилии от уейвлетите и мултиуейвлетите, и съответните филтърни банки, а също така и на някои техни приложения; в частност са изследвани методи и алгоритми за разработване на ортогонални **мултимасшабиращи (мултискалиращи)** функции. Това е тема, която е много актуална в различни области на приложенията на математиката в Анализа на Сигнали и Изображения, теория на управлението, и други. В дисертацията са представени нови оригинални резултати публикувани в шест статии.

Нека споменем най-напред, че в дисертацията резултатите са мотивирани от общите концепции на Приложния Хармоничен Анализ на Сигнали утвърдили се в края на 20-ти век, а именно, анализирането на сигнали е фокусирано не само в характеризирането на класове от сигнали, но и в намирането на нови класове от базиси от функции, които да се използват за декомпозиция на сигналите, а също и съответните двойствени (дуални) базиси за последващ синтез на сигналите, като е желателно това да стане без загуба на точност, или с минимална загуба на точност. При това, основната концептуална съставляваща е да се получат декомпозиции на сигналите с малък брой големи коефициенти, т.е. така наречените **разредени представяния** (sparse representations), които днес играят изключителна роля в Приложната математика. По такъв начин, теория на уейвлетите и мултиуейвлетите е една съвременна алтернатива на класическия анализ на Фурие, където тригонометричните функции са заместени с уейвлетови функции. Епохалното откритие направено преди 35 години в теорията на уейвлетите беше, че освен свойството на ортогоналност, има и уейвлети които имат и компактен носител, а също и висока гладкост. Теорията на Уейвлетите разчита на богата алгебрична структура, която е в основата на красивите алгебрични и геометрични свойства на уейвлетите, и позволява извличане на

информацията от сигналите в различни мащаби. Именно коефициентите, свързващи различните нива на мащабиране (скалиране) в уравненията удовлетворени от базисните функции, са основните съставляващи на понятието за Филтърни банки, което е отдавна популярно сред специалистите по Анализ на Сигнали.

Едно от основните направления на обобщаване на класическите уейвлети е понятието за **мултиуейвлет**. Мултиуейвлетите се получават чрез естествено обобщение на Мултирезолуционния анализ, където се позволява основното пространство  $V_0$  да бъде генерирано от базис на Рис, съставен от повече от една **скалираща (мащабираща) функция**. Болшинството от резултатите познати за обичайните уейвлети се обобщават и за мултиуейвлетите, в т.ч. и свойствата на гладкост. Подобно на обикновените уейвлети, голяма част от примерите на мултиуейвлетите са базирани на сплайни.

Съгласно гореспоменатата перспектива, дисертационният труд **предлага нови методи за намиране на скалиращи (мащабиращи) и мултимашабиращи функции и разширява теорията на спектралната факторизация като решава сложния проблем - получаване на мащабиращи и мултимашабиращи функции от сингулярни скаларни или матрични полиноми чрез спектрална факторизация**. Това са нови резултати, които не са били публикувани досега.

Следва по-подробен анализ на получените резултати:

*Глава 1* е посветена на обзор на съществуващите методи за разработване на уейвлетни и мултиуейвлетни филтърни банки, направено е кратко изложение на елементи на теория на базисните функции за полиноми и сплайни, като са дефинирани **скалиращите (мащабиращите) и мултискалиращите (мултимашабиращи) функции** за случая на линейните В-сплайни, и за кубичните Ермитови сплайни. Разгледаните са ортогоналните полиноми на Лъожандър и свързаните с него ортогонални мултискалиращи функции на Алперт, които са първите по рода си.

Въведени са основни понятия на филтърните банки, а също така и важното понятие за пара-Ермитовите скаларни и матрични полиноми; последните са в основата за построяване (чрез спектрална факторизация) на мащабиращи или мултимашабиращи функции.

Разгледани са методите за построяване на филтърните банки, които позволяват да се решават проблемите, възникващи поради наличието на операторите на децимацията и интерполацията.

Разгледани са:

в параграф 1.3.1., основните свойства на МРА (Мултирезолуционния Анализ);

в параграф 1.3.2., разработване на модули без множител за скаларна филтърна банка;

в параграф 1.3.3., векторни филтърни (мултифилтърни) банки, в частност, приведени са основните свойства на тези банки;

в параграф 1.4., е въведено понятието за спектрална факторизация (**използван е терминът «спектрално разлагане»**), като факторизацията на един пара-Ермитов матричен полином върху единичната окръжност. Това е ключов момент за построяване на **мултискалиращи** функции и **мултиуейвлети**. Обяснен е методът на Бауер, който е добре известен метод за спектрална факторизация;

в параграф 1.5. са разгледани базисни функции от сплайни, кубичен и квинтични Ермитови сплайни.

*Изложеният материал в Глава 1 показва богатата обща култура на В. Колев в областта.*

В **Глава 2** са разработени методи за построяване на мащабиращи и мултимащабиращи функции от полиноми или сплайн функции, както и техните допълващи уейвлетни (мултиуейвлетни) функции от полиноми и сплайни. В частност, са разработени: *метод на смяна на базиса, директен метод, и метод на скаларното произведение.*

**Нека споменем една важна особеност:** за разлика от методите на спектрална факторизация (представени в Глава 3 и 4), тези методи водят до директно получаване на мащабиращи или мултимащабиращи функции – за обикновени, а също и за Ермитови сплайни, както и за тези на Алперт.

В **Глава 3** е направен най-напред обзор на съществуващи методи за спектрална факторизация, условието за гладкост на произведение на матричен филтър, а след това е разработено произведението на мултифилтър на Алперт. В частност, се разработват методи на спектрално разлагане: метод на корени на полиномите, метод на квадратични уравнения, Кепстрален метод, и метод на Бауер. За разлика от другите методи, методът на Бауер изисква предварително построено произведението на скаларен (матричен) филтър, т.е. скаларен (матричен) пара-Ермитов полином. За получаване на матричен спектрален фактор (мултимащабираща функция) с желани

свойства е необходимо детерминантата да удовлетворява определени условия. Такъв пример е намирането на филтър на матрично произведение на Алперт.

Основните детайли следват статия [89] (с автори Kolev V., Cooklev T., Keinert F.) от библиографията на дисертацията.

Накратко, основната новост тук е, че е построено ново **произведение на матричен филтър на Алперт [отразено в детайли в т. 3.1 на дисертацията]**.

*Глава 4* е посветена на разработване на алгоритми за бърз метод на Бауер и решаването им с три числени метода. Разработени са два алгоритъма по метода на Бауер за спектрална факторизация и са построени ортогонални мултифилтърни банки на Алперт. Също така са показани разликите между класическия и бърз метод на Бауер.

Спектралното разлагане на произведение на филтър с основа по-голяма от  $[0,1]$  увеличава изчислителната сложност. За тази цел е предложено коефициентите на произведение с основа  $[0, N]$  да се преобразуват към основа  $[0, 1]$ .

Нека изброим основните Научно–приложни резултати в Глава 4:

1. Разработени е алгоритъм за понижаване степента на произведението на матрични филтри (в параграф 4.1).

2. Разработени са два нови алгоритъма за бърз метод на Бауер, а именно

(а) *Алгоритъм 1* - за изчисляване на бърз метод на Бауер (в параграф 4.2).

(б) *Алгоритъм 2* - за изчисляване на точен метод на Бауер (в параграф 4.2).

3. Разработени са два нови числени метода за решаване на НМУ (нелинейно матрично уравнение) за БМБ (бърз метод на Бауер) и е показана тяхната изчислителна сложност (в параграфи 4.3.1 и 4.3.2).

4. Приложен е класическият и бърз метод на Бауер за спектрална факторизация на произведението на скаларен филтър (в параграф 4.4) и произведението на матричен филтър на Алперт (в параграф 4.5.1).

5. Разработен са два нови варианта за намиране на симетрични уейвлетни функции на Алперт. (в параграф 4.5.2).

Детайлите представени в Глава 4 на дисертацията следват статиите [89] и [90] (с автори Kolev V., Cooklev T., Keinert F.) от библиографията на дисертацията.

В *Глава 5* е направен сравнителен анализ на четирите метода за построяване на мащабиращи и мултимашабиращи функции, на методите на Бауер за спектрална факторизация за мащабиращи функции на Хаар и Добеши, и на мултимашабираща

функция на Алперт. Направени са експериментални изследвания на бързия и точен метод на Бауер за спектрална факторизация за седем примера на скаларен и матрични полиноми чрез *Алгоритъм 2*, както и чрез използване на вградени софтуерни функции за 14 различни версии на Matlab ('*dare*' и '*idare*') и Maple 17 ('*dare*').

Разработена е **лифтинг-схема на мултифилтър на Алперт**, която е изследвана за обезшумяване на изображения с ниво „на сиво“. Изследвано е приложение на ортогонални скаларни и векторни филтри за компресия на изображения от сканирани астрономически фотографски плаки.

Няколко думи трябва да кажем по същество за уменията на дисертанта, проявени при постигането на задълбочените научни резултати, съдържащи се в статиите и дисертацията.

**Един значим проблем**, с който той се е справил, е нерешеният до неотдавна проблем за получаването на мултимасшабираща (мултискалираща) функция, като множител на спектралната факторизация на сингулярен матричен полином с прости или кратни нули. За да се оцени трудността на проблема, трябва да се отбележи, че класическият метод на Бауер не работи за един от най-класическите случаи – при факторизиране произведението на Добеши за 4-филтъра (вж. Формула 5.13 в дисертацията, стр. 96).

#### **4. Аprobация на резултатите**

Резултатите на дисертацията са публикувани в шест статии. Наукометричните показатели на тези статии са значително по-високи от минималните изисквания за придобиване на образователната и научна степен "доктор" в научната област и професионално направление (както е определено в Постановление №26 от 13.02.2019г.). Научните публикации попадат в **Група Г7** и събират общо 104 точки, при минимални изисквания от 30 точки за съответната област. Първата и втората публикация са с 12 точки, докато петата и шестата са класифицирани като **Q3** и **Q1**, и са оценени съответно с по **30** и **50 точки**. Накратко, получените **104** точки значително надхвърлят минималните изисквания за докторска степен.

**Декларирам, че**

а) научните трудове отговарят на минималните национални изисквания (по чл. 2б, ал. 2 и 3 на ЗРАСРБ) и съответно на допълнителните изисквания на ИИКТ-БАН, за

придобиване на образователна и научна степен „доктор“ в научната област и професионално направление на процедурата;

б) представените от кандидата резултати в дисертационния труд и научни трудове към него не повтарят такива от предишни процедури за придобиване на научно звание и академична длъжност ;

в) няма доказано по законоустановения ред плагиатство в представения дисертационен труд и научни трудове по тази процедура.

## **5. Качества на автореферата**

Авторефератът съдържа 54 страници и отговаря на всички технически изисквания. Представянето на резултатите в Автореферата е адекватно на съдържанието на дисертационния труд.

## **6. Критични бележки и препоръки**

Нямам критични бележки по същество. Има множество въпроси и проблеми с терминологията: например, дисертантът използва понятието „спектрално разлагане“ на полином, което е превод от английското “spectral factorization”; по моему, по-удачно е да се използва „спектрална факторизация“, тъй като понятието за “спектрално разлагане” е много широко използвано и утвърдено в друг смисъл, както в Линеината алгебра, Теория на операторите, а също така и в Математическия Анализ.

Има езикови забележки, като някои от по-съществените са: не „препокриване“, а правилно е “припокриване”, казва се „полиноми на Лъожандър“, а не „Лежандър полиноми“; верно е „теория на сплайните“; не е „Тъждество на Безаут (Bezout identity)“, а Безу (от френски, Étienne Bézout (Етиен Безу)), и много други.

Все пак, за оправдание на много от допуснатите езикови грешки, трябва да се вземе предвид големият обем на работата, а също и фактът, че почти всички статии се пишат на английски език, докато терминологията на български остава доста неразвита и недобре утвърдена. Не е за пренебрегване и фактът, че има разнобой на терминологията в инженерната и в математическата литература.

## **7. Заключение**

След като се запознах с представените в процедурата дисертационен труд и придружаващите го научни трудове и въз основа на направения анализ на тяхната значимост и съдържащи се в тях научни и научноприложни приноси, **потвърждавам**, че представеният дисертационен труд и научните публикации към него, както и

качеството и оригиналността на представените в тях резултати и постижения, отговарят на изискванията на ЗРАСРБ, правилника за приложението му и съответния правилник на ИИКТ-БАН за придобиване на образователната и научна степен „доктор“ в научната област: **4. Природни науки, математика и информатика**, и професионално направление: **4.6. Математика, докторска програма, докторанска програма „Информатика“** на ИИКТ-БАН.

В частност, кандидатът удовлетворява минималните национални изисквания в професионалното направление и не е установено плагиатство в представените по конкурса научни трудове.

Въз основа на гореизложеното, убедено давам **положителна оценка** и предлагам на научното жури да присъди на Васил Стефанов Колев образователната и научна степен „доктор“ в научна област **4. Природни науки, математика и информатика**, професионално направление **4.6 Информатика и Компютърни Науки**.

17.6. 2024 г.

Изготвил рецензия

На основание  
ЗЗЛД