

РЕЦЕНЗИЯ

от проф. дмн Валерий Христов Ковачев, ИМИ-БАН,
председател на научно жури във връзка с процедурата за защита
на дисертационен труд **„Приложение на метода на локалната активност
за изследване динамиката на нелинейни клетъчно невронни мрежи“**
на Галина Живкова Бобева
за образователна и научна степен „доктор“ в област на висше образование:
4. Природни науки, математика и информатика, Професионално
направление: 4.5. Математика, Докторска програма „Математическо
моделиране и приложения на математиката“

Настоящата рецензия е изготвена на основание на Заповед № 200 от 28.10.2020 г. на Директора на Института по математика и информатика - БАН, акад. Веселин Дренски, издадена на основание на решение на НС на ИМИ (Протокол № 10 от 23.10.2020 г.) и решенията на първото онлайн заседание от 4.11.2020 г. на Научното жури, определено с гореспоменатата заповед. Тя е съобразена с Указания за изготвянето на документацията в електронен вид за кандидатстване, за написването на рецензии и становища по конкурси за заемането на академичните длъжности „доцент“ и „професор“ и за написването на рецензии и становища за дисертации за придобиване на образователната и научна степен „доктор“ и научната степен „доктор на науките“ в Института по математика и информатика на БАН.

Дисертантката е зачислена в редовна докторантура със Заповед № 290 от 15.07.2015 г. на Директора на Института по математика и информатика - БАН, акад. Юлиан Ревалски, издадена на основание на решение на НС на ИМИ (Протокол № 7 от 10.07.2015 г.). Тя е положила необходимите докторантски минимума както следва:

18.11. 2016 г. „Умения за презентирание“ Отличен 6

27.01.2017 г. Английски език Много добър 5.25

26.07.2017 г. „Нелинейни клетъчно невронни мрежи: Динамично поведение и моделиране“ Отличен 5.50

23.03.2018 г. „Метод на локалната активност и приложението му за изследване на динамиката на клетъчно-невронни мрежи“ Отличен 6

Дисертантката е отчислена от редовна докторантура с право на защита със Заповед № 906 от 3.10.2018 г. на Директора на Института по математика и информатика - БАН, акад. Веселин Дренски, издадена на

основание на решение на НС на ИМИ (Протокол № 8 от 28.09.2018 г.) поради изтичане срока на докторантурата.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита на научен семинар на секция „Диференциални уравнения и математическа физика” при Института по математика и информатика на БАН, състоял се на 21.09.2020 г.

Дисертацията е написана на български език, на 88 стандартни печатни страници, и съдържа 31 фигури. Тя се състои от заглавна страница, съдържание, увод, четири глави, заключение, литература, съдържаща 82 заглавия, списък на публикации по дисертацията и списък на научни и научно-приложни приноси.

Уводът съдържа кратък обзор на клетъчно-невронните мрежи (КНМ, CNN) и представя накратко съдържанието на дисертацията.

Глава 1 е посветена на нелинейните КНМ. Дадени са две определения на КМН и е разгледана архитектурата на проста двумерна КНМ. Въведени са диференциални уравнения, описващи динамиката на двумерна нелинейна КНМ. Представени са три типа гранични условия (Дирихле, Нойман и периодични), типични за КНМ. Дадена е и оценка на динамичния обхват на КНМ, който е особено важен за осигуряване на устойчивостта им и за редица техни приложения, като обработка на образи, провеждане на информацията и др. Описан е и модел на невронна мрежа на Хопфийлд.

Глава 2 представя метода на локалната активност на Чуа. Той предизвиква особен интерес сред изследователите, защото позволява да се намери със строги математически формулировки областта на клетъчните параметри, в която КНМ може да прояви сложно динамично поведение. Нещо повече, дефинира се една малка подобласт на областта на локална активност, която се нарича *ръб на хаоса* и в която може да се получи по-голяма информация при различни приложения.

Дадено е строго математическо доказателство на теоремата за локална активност за система от дискретни относно тримерни пространствени променливи уравнения на реакция-дифузия. За всяка клетка се въвеждат клетъчни кинетични уравнения. Въведени са понятията клетъчни равновесни точки и линеаризирани клетъчни уравнения на състоянията около клетъчна равновесна точка. Дадено е определение на локално активна клетка в клетъчна точка на равновесие. Ако клетката не е локално активна в клетъчна точка на равновесие, тя е наречена локално пасивна в клетъчната точка на равновесие. Уравненията на реакция-дифузия се наричат локално активни, ако свързаната с тях клетка е локално активна в някоя клетъчна равновесна точка. В противен случай, те се

наричат локално пасивни. Въведена е така наречената *матрица на комплексност* в клетъчна равновесна точка. Да се докаже, че една клетка е локално активна, е трудна задача. Разработени са практически необходими и достатъчни условия, които гарантират, че клетката е локално пасивна. Ако поне едно от тези условия е нарушено, то клетката е локално активна. За по-голяма яснота, е разгледан едномерният случай, така че матрицата на комплексност е скаларна и може да се нарече *функция на комплексност*. Въвежда се понятието *положително-реална функция на комплексност*. Формулирана и доказана е Теорема за локална пасивност в скаларния случай. От нея следва практически тест за локална пасивност, както и практически тест за локална активност. Като обобщение на тези резултати е формулиран тест за локална активност на матрицата на комплексност.

Разработен е конструктивен алгоритъм за определяне на ръба на хаоса. Разгледан е пример за определяне на режим на ръб на хаоса за невронна система на ФицХю-Нагумо. За тази цел са въведени следните определения. Най-напред се дефинира *устойчива и локално активна област* (SLAR) в равновесната точка за свързана ФицХю-Нагумо КНМ. За да се намери областта *ръб на хаоса* в клетъчното параметрично пространство, се използва следното определение: „Казваме, че КНМ модел на свързаната система на ФицХю-Нагумо работи в режим на ръб на хаоса, ако съществува поне една равновесна точка, която принадлежи на SLAR.“ Прилагайки конструктивен алгоритъм за изучаване на динамиката на системата на реакция-дифузия на Орегонатор (Slavova, A., Bobeva, G. Edge of chaos in reaction-diffusion CNN, 2018), са намерени необходими и достатъчни условия моделът на реакция-дифузия на КНМ да работи в режим ръб на хаоса.

В Глава 3 е въведен нов вид КНМ, а именно хистерезисни КНМ с мемристорни синапси. Математическият модел за хистерезис може да бъде представен чрез система от диференциални уравнения, която е съчетана с един или няколко хистерезисни оператора. За пълнота може да се добавят начални и гранични условия. Известно е, че хистерезисът е резултат от множество стационарни състояния. Може да се получат интересни математически задачи от теорията на нелинейните трептения, ако се съчетае системата от обикновени диференциални уравнения с хистерезисни нелинейности, независими от скоростта. Могат да бъдат представени два типа отношения на хистерезис - относителен хистерезис и активен хистерезис.

Разгледана е хистерезисна КНМ, работеща в режим на релаксационен осцилатор, при който резисторът се заменя с мемристор, за да се получи по-добра разделителна способност в статични и динамични изображения. За този модел е приложен разработеният в Глава 2 алгоритъм и е определена областта в параметричното пространство, в

която се наблюдава сложно поведение – рѳб на хаоса. Представени са две приложения на хистерезисни КНМ с мемристорни синапси – за обработка на изображения и за отстраняване на шумови ефекти. Изследван е и още един модел КНМ с динамични синапси на паметта. За този модел е намерена областта рѳб на хаоса и са направени съответни симулации. Изучена е КНМ на реакция-дифузия с мемристорни синапси. Като пример на такава КНМ е разгледан модел на ФицХю-Нагумо с два дифузионни члена.

Глава 4 изучава моделиране чрез КНМ на задачи, възникващи в нано структурите. По-конкретно, разгледан е пиезоелектрически материал (ПЕМ) с нанонехомогенности (нанохетерогенности) като нанодупки, нановключения и др. Моделът се дефинира от система от две частни диференциални уравнения и гранични условия за обобщеното напрежение. Граничната задача, която описва изучаваните наноструктури, се свежда до интегродиференциално уравнение. Апроксимира се със съответната архитектура на КНМ и се изследва неговата динамика.

Методът на честотната характеристика е мощен инструмент за анализ и проектиране на линейни системи за управление. Той се основава на описание на линейна система чрез сложна функция, честотна характеристика, вместо чрез диференциално уравнение. За някои нелинейни системи може да се използва разширена версия на метода за честотна характеристика, наречен техника на хармоничния баланс, за приблизително анализиране и прогнозиране на нелинейно поведение. Методът на хармоничния баланс позволява да се докаже съществуване на периодични решения (гранични цикли) на получения модел. Направени са симулации и валидиране за конкретен ПЕМ PZT4. За него са построени решения от тип бягаща вълна.

Приносите в дисертацията могат да се разделят на научни и научно-приложни:

А. Научни приноси

1. Получена е конкретна математическа формулировка на метода на локалната активност за дискретни системи на реакция-дифузия.
2. Получени са точни математически условия за определяне на локална активност на клетка в КНМ. Дефинирана е подобласт на областта на локална активност, наречена „рѳб на хаоса“, в която КНМ може да прояви сложно динамично поведение.
3. Разработен е алгоритъм за определяне на тази област от клетъчни параметри и е приложен за тримерна система на ФицХю-Нагумо и Орегонаторна система.

4. Изучени са хистерезисни КНМ с мемристорни синапси. За пръв път е въведен модел на хистерезисни КНМ, в които оригиналният резистор се заменя с мемристор и работи в режим на релаксационен осцилатор.

5. Изведени са модели на КНМ на реакция-дифузия, в които отново се въвеждат мемристорни вериги. Това води до разширяване на приложенията на тези нови модели в обработката на образи и сигнали. Динамиката им е изследвана, като е приложен разработеният в Глава 2 конструктивен алгоритъм за определяне на областта „ръб на хаоса“.

Б. Научно-приложни приноси

1. Представени са някои много актуални приложения на разглежданите модели на КНМ като извличане на ръбовете на изображения и изчистване на шума от изображения.

2. Получени са резултати за приложенията на хистерезисна КНМ за асоциативни паметни.

3. Разработен е клетъчно-невронна наномрежа на задача, възникваща в пиезоелектричен материал с нанонехомогенности – нанодупки, нановключения и др. Направени са симулации за конкретен материал PZT4 и те са валидирани.

Основните резултати в дисертацията са публикувани в Доклади на БАН - 2 статии, Плиска – 2 статии, IEEE Proceedings, European Conference on Circuit Theory and Design (ECCTD) 2017 – 1 статия, Proceedings of Advances in Neural Networks and Applications (ANNA) 2018 – 1 статия, International Workshop on the Qualitative Theory of Differential Equations (QUALITDE) 2017 – 1 статия. Анжела Славова е съавтор на гореспоменатите 7 статии. Елена Лицин е съавтор на една от тези статии. Приемам, че дисертантката има равностоен принос за основните резултати.

Цитирана е една от горните статии.

Също така, резултатите са докладвани на международните конференции NTADES 2017, NTADES 2018, ECCTD 2017, ANNA 2018, както и на семинара по диференциални уравнения в ИМИ, БАН през 2017 г.

Авторефератът е написан на 36 печатни страници. Той отразява правилно и достатъчно подробно съдържанието на дисертацията.

Като малък недостатък на дисертацията и автореферата ще отбележа значителния брой правописни грешки като:

реаксационен вместо релаксационен,

Якубиан вместо Якобиан,

Abuquerque вместо Albuquerque,

както и недобро записване на някои формули. Мисля, че понятието „орегонатор“ се нуждае от обяснение.

Лични впечатления от дисертантката

Познавам дисертантката и имам положителни впечатления от работата ѝ от нейния доклад пред семинара по диференциални уравнения в ИМИ, БАН през 2017 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Считам, че представеният дисертационен труд отговаря на съвкупността от критерии и показатели за придобиване на образователната и научна степен „доктор“ съгласно ЗРАСРБ и правилниците за неговото прилагане, и предлагам на Научното жури да предложи на почитаемия Научен съвет да присъди на докторантката Галина Живкова Бобева образователната и научна степен „доктор“ в област на висше образование: 4. Природни науки, математика и информатика, Професионално направление: 4.5. Математика.

Подпис:

София,
6 януари 2021 г.

(проф. дмн Валерий Ковачев)