

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд на тема:

**“Изследване на динамиката на модели Клетъчно Невронни Мрежи
възникващи в биологията и екологията”** ”

с автор Мая Маркова Стоянова

за получаване на образователната и научна степен “Доктор”

по научна специалност

01.01.13 “Математическо моделиране и приложение на математиката”.

Научен ръководител: Проф. дмн Анжела Славова

Рецензент: Проф. д-р Маргарита Теодосиева

Със Заповед №: 154 от 1.04.2013 на ДИРЕКТОРА на ИМИ – БАН във връзка със защита на дисертационен труд за присъждане на образователна и научна степен “доктор” по научна специалност ”Математическо моделиране и приложения на математиката“ като рецензент получих следните документи на дисертанта Мая Маркова Стоянова, включващи: автобиография , справка за приносите в дисертацията; списък на научните публикации на кандидата; научни публикации -7 бр.; дисертационен труд и автореферат.

Приемам за рецензиране представените документи и материали, които са оформени в съответствие с изискванията на ЗРАСРБ и Правилника за приложението му, както и Правилниците на БАН и ИМИ.

1. Кратки биографични данни

Мая Маркова е завършила Русенския Университет “А. Кънчев”, специалност “Компютърни системи и технологии” през 2002 г.. Работила е като преподавател в курсове по компютърна грамотност и в търговска фирма за компютри до 2003 г. и от 2004 г. е системен администратор в катедра *Информатика и информационни технологии* в РУ “А. Кънчев”. Тя е водила упражнения по дисциплините Информатика 1, Информационни системи и технологии 2, Компютърни мрежи и комуникации и др. на студенти от различни специалности.

През 2005 г. постъпва в задочна докторантура по тематиката на дисертацията в секция Математическа физика на ИМИ, като полага успешно всички изпити от докторантския минимум. През 2009 е отчислена с право на защита.

2. Обща характеристика на представените трудове

По дисертационния труд са представени 7 публикации: 3 публикации са в списания, съответно: WSEAS Trans on Mathematics; International Journal of Neural Networks and Applications; Comptes Rendus De L'Academie Bulgare Des Sciences. Последното има импакт фактор 0.210; 3 публикации са в трудовете на конференции: Proceedings of CNNA 2006, IEEE (Импакт Фактор 2.321) , Proceedings URSI GA, 2011, Proceedings BGSIAM 2010 и 1 глава от книгата "Recent advances in dynamics and control of neural networks" - Cambridge Scientific Publishers, 2012. Всички публикации са в съавторство. Приемам участието на Мая Маркова за равностойно с нейния съавтор.

Част от резултатите по дисертацията са получени в изпълнение на договор ДИД 02/15, финансиран от Националния Фонд Научни Изследвания на тема „Комбиниран подход с метод на гранични интегрални уравнения и клетъчно невронни мрежи за анализ на пиезоелектрични материали с пукнатини”.

Резултатите от дисертацията са докладвани на редица наши и международни конференции, както следва: BGSIAM'07, BGSIAM'08, BGSIAM'09, BGSIAM'10, BGSIAM'11, CNNA 2006, URSI General Assembly 2011. Също така резултатите са докладвани на семинара по диференциални уравнения и приложения в ИМИ, БАН през 2008 г. и на отчетните сесии на Секция Математическа физика на ИМИ, БАН през 2010, 2011 г.

3. Описание на получените в дисертацията резултати

Настоящата дисертация има за цел изследването на динамичното поведение на модели Клетъчно Невронни Мрежи (КНМ), които възникват в биологията и екологията. Състои се от въведение, 5 глави, 2 приложения, заключителна част, списък на цитираните литературни източници и списък на публикациите на автора. Текстът е в обем от 171 страници, в това число 40 фигури и 1 таблица. Списъкът на литературата обхваща 122 заглавия. Числените резултати в дисертацията са получени с програмите MATLAB и Maple.

Изследванията в дисертацията са в много актуална област на математическото моделиране - нелинейни частни диференциални уравнения (ЧДУ), които се апроксимират върху архитектурата на полиномиални КНМ на реакция-дифузия. Пространствените и пространствено-времевите модели се срещат често във физиката, химията и биологията. В много случаи те изглеждат случайно създадени. Този феномен мотивира голям дял от математическото моделиране и анализът на резултатните системи довежда до по-добро разбиране на вътрешните механизми. Частните диференциални

уравнения от дифузионен тип дълго време са служили като модел за регулаторна обратна връзка и генериране на структури в съвкупност от живи клетки. Математическият аналог на биологичната невронна мрежа представлява множеството от взаимно свързани прости изчислителни елементи, наречени неврони. Основната концепция на КНМ се базира на някои аспекти от невробиологията и е адаптирана към интегралните вериги. Например, в мозъка активната среда представлява листоподобна решетка от здраво свързани възбудими неврони, чиято енергия идва от изгарянето на глюкоза с кислород. В КНМ активната среда представлява локално свързани активни клетки, чиито изграждащи блокове включват нелинейни устройства (като например транзистори) захранени от батерии. КНМ технологиите, вдъхновени първоначално от нервната система, скоро се присъединяват към генетичните алгоритми, а наскоро и към алгоритмите вдъхновени от имунния отговор. Освен това съвременните постижения в разкриването на схемата и многоканалните аспекти на ретинната обработка вдъхновява няколко нови алгоритмични принципа.

Основните методи, които се използват за изследванията в дисертацията са метода на описващата функция (описан по-подробно в Приложение 1) и метода на локалната активност (описан по-подробно в Глава 1). Първият метод е основан на описание на линейна система чрез комплексни функции, като честотният израз е заменен от диференциално уравнение. Другият метод прилаган в изследванията се базира на принципа на локалната активност. А именно, КНМ асоциирана с хомогенна не консервативна (т.е. не без загуби) среда не може да показва модели или структури на разсейване, освен ако клетките или връзките между тях са локално активни.

Ще направя по-подробен анализ на получените в дисертационния труд резултати по глави.

В Глава 1 се изучават основните уравнения на КНМ на реакция-дифузия. Разработен е конструктивен алгоритъм за моделиране на уравненията на реакция-дифузия с КНМ, като са илюстрирани КНМ модели на четири добре познати ЧДУ на реакция-дифузия. Въведени са уравненията на полиномиални КНМ, които ще се използват по-нататък в дисертацията за моделиране на съответните ЧДУ. Подробно е изложен метода на локалната активност, който е един от основните методи за изследване на динамиката на съответните модели. В практиката всички КНМ уравнения на реакция-дифузия идват с контролируеми КНМ клетъчни параметри. С цел КНМ уравнението на реакция-дифузия да прояви комплексност е необходимо клетъчните параметри да се изберат такива, че клетката да е локално активна поне в някоя клетъчна равновесна точка. Там критериите за положителна реална матрица и многото техни еквивалентни версии стават задължителни. Именно в тази глава са представени и основните критерии за локална активност.

Глава 2 е посветена на моделиране на рецепторни КНМ. Представени са модели на морфогенеза, които се описват с ЧДУ на реакция-дифузия, предполагайки наличието на дифузионна субстанция. Тъй като рецепторите

не дифузират, е необходимо да разгледаме системи на реакция-дифузия в съчетание с обикновени диференциални уравнения. Всички разглеждани рецепторни модели се състоят от две подсистеми – уравнения на реакция-дифузия и обикновени диференциални уравнения съединени чрез нелинейни кинетични функции. Представени са три вида решения на такава задача - класически, “меки” (mild) и слаби решения, както и връзката между различните класове решения. За системата описваща рецепторния модел е построена КНМ архитектура и се изследва нейната динамика с метода на описващите функции. Показано е съществуване на периодични решения на КНМ модела и са направени компютърни симулации. От компютърните изследвания е направен извода, че за неустойчивост от тип Turing, функцията описваща продукцията на свободни рецептори трябва да зависи от плътността на свободните рецептори и тази зависимост трябва да бъде степенна функция. Тази функция може да зависи и от плътността на свързаните рецептори, но също така е критична и зависимостта от плътността на свободните рецептори.

В глава 3 се изучават рецепторни КНМ модели с хистерезис. Явлението хистерезис е основно изучено, като са представени основните математически модели на хистерезисни оператори. Хистерезисът е много важен в моделирането на биологичното развитие, тъй като според наблюденията, индуктивните сигнали съществуват само в определен времеви интервал от развитието. Той ускорява измененията в клетъчното ядро и поражда диференцирания, които не се връщат когато сигнала е спрял. Процесът на развитие е необратим. Хистерезисът е резултат от множество равновесни състояния. Разгледан е рецепторен модел с хистерезис, в който производството на лиганди и използването на ензими е представено чрез допълнително обикновено диференциално уравнение (ОДУ) с хистерезис. За него е построен КНМ модел и е изучено динамичното му поведение с метода на описващите функции. Направените компютърни симулации, илюстрират градиенто-подобно решение за плътността на свободните рецептори (стоящи вълни), стабилно във времето или пространствено-времево решение осцилиращо във времето. Показано е също така, че има основно два начина, по които система от идентични клетки може да започне да диференцира: 1). Съществува критичен брой клетки (размер на домейна), над който пространствените хомогенни атрактори губят устойчивост, което води до „спонтанни” пространствени образувания. Такъв е случая с модел с неустойчивост от типа на Turing. Такъв модел може да обясни „de novo” модела за генериране на структури, докато за някакъв набор от параметри и размер на домейна, крайния модел е същия и не зависи от началните смущения; 2). Съществува външен индуциращ сигнал, който води системата в ново, пространствено нехомогенно състояние. Такъв сигнал произлиза от друга група вече диференцирани клетки. В този случай сигнала трябва да бъде достатъчно силен, за да предизвика диференциране. Това съответства на достатъчно силни начални смущения от хомогенното равновесно състояние.

Този тип инициализиране на механизма за образуване на модела се използва в модела с хистерезис.

КНМ модели с приложения в биологията са изучени в **глава 4**. Това са биологични модели за едновидови популации, модели на системи хищник-жертва и уравненията на Lotka-Volterra. Разгледани са също така и многоканални модели на ретина. След сериозния пробив в разбирането на невробιологичните структури на многоканалната природа на вътрешната ретина на бозайник (заек), са разработени много по-сложни, макар и все още приблизителни, модели с многослойни КНМ. Същността на тези модели е представянето на рецептивното поле или по-точно, локалните свойства на взаимодействието на невроните. Тази локална взаимосвързаност е ключов елемент на много сетивни органи. Типична 3-слойна КНМ единица, наречена R-единица, може да се използва, за да имитира някои основни динамични взаимодействия (също направена от силиций в КНМ универсална машина с програмируеми настройки). Изучена е система на Lotka-Volterra, която моделира общност от три взаимодействащи популации. В класическата двумерна Lotka-Volterra система хищник - жертва няма граничен цикъл или ако има периодична орбита, равновесната точка е център. За по-висока размерност динамиката става по-сложна и трудна. За тримерната система на Lotka-Volterra е построена полиномиална КНМ и е представен конструктивен алгоритъм за определяне на областта наречена граница на хаоса. Доказано е, че Lotka-Volterra КНМ модела оперира в областта на граница на хаоса тогава и само тогава, когато съществува поне една равновесна точка, която е едновременно локално и устойчиво активна.

В **глава 5** се изучава разпространението на вълни в КНМ с приложения в екологията. Доказани са теореми за структурата на бягащата вълна за КНМ с частично линеен изход и за КНМ с идеализиран изход. Разпространението на вълни цунами от техните малки вълнения на морското равнище до размера, който те достигат на крайбрежието, е много актуална и бързо развиваща се тема. Едно от най-важните научни открития от последното десетилетие във връзка с водните вълни е теорията на солитоните. Твърди се в литературата, че цунамито се предизвиква от достатъчно голям солитон. Солитоните възникват като специално решение на широко разпространен клас слаби нелинейни дисперсни частно диференциални уравнения (ЧДУ) моделиращи водните вълни като уравненията на Korteweg-de Vries (KdV) или Camassa-Holm, описващи водни вълни в плитководен режим. В тази глава е направена класификация на двумерни водни вълни в зависимост от два важни параметъра – амплитуден и параметър за плитчината. Построен е модел с КНМ на вълна цунами и е изследвана неговата динамика с цел предсказване на това природно явление. Предложеният модел е на движението на водата преди пристигането на цунами вълната. Построени са решения на този модел от типа бягащи вълни, като се получават резултати за структурата на тези решения.

Изучавени са решенията на бягащи вълни с пространствена дискретизация или с пространствено-времева дискретизация.

В тази глава се изучава и взаимодействието на физическия обект - квант от магнитен поток, наречен флуксон. Изследва се модифицираното уравнение на Sine-Gordon и за него се построява КНМ архитектура. Изучава се взаимодействието на флуксон-антифлуксон и два флуксона. Направена е компютърна симулация на двата вида взаимодействие, която потвърждава получените теоретични резултати.

Представеният автореферат правилно отразява съдържанието на дисертационния труд.

4. Критични бележки

Към рецензията дисертационен труд имам следните критични бележки:

- Няма ясно направени изводи за получените резултати в края на всяка глава;
- Повечето уравнения не са правилно озаглавени, например FitzHugh Nagumo уравнение, би трябвало да бъде уравнение на FitzHugh Nagumo;
- Някои фигури не са озаглавени, например Фигура 4.7, Фигура 5.5, 5.6, 5.9 и т.н.;
- Има някои недефинирани термини, например VLSI.

Разбира се всички тези грешки са поправими и не влияят на тежестта на получените в дисертацията резултати.

5. Лични впечатления

Познавам Мая Маркова от 2004 г., когато постъпи като системен администратор в Русенски Университет. Тя е скромна, стриктна, отзивчива и трудолюбива. Усвоява бързо и задълбочено нови знания. Тя е ценена както от студентите, така и от колегите си. Работи активно в актуална област на математическото моделиране – КНМ моделиране на ЧДУ на реакция-дифузия, които възникват в биологията, екологията и имат важно практическо значение.

6. Заключение

Като имам предвид представения дисертационен труд, публикациите по него, както и апробацията му на различни наши и международни форуми, успешното решаване на поставените цели и задачи, научните и научно-приложни приноси, считам че Мая Маркова Стоянова е изграден и квалифициран учен и системен администратор.

Всичко казано по-горе ми дава основания убедено да препоръчам на уважаемото жури да присъди на Мая Маркова Стоянова образователната и научна степен “Доктор” по научна специалност “Математическо моделиране и приложение на математиката”.

Русе, 19.04.2013 г.

Рецензент:
/проф. д-р М. Теодосиева/