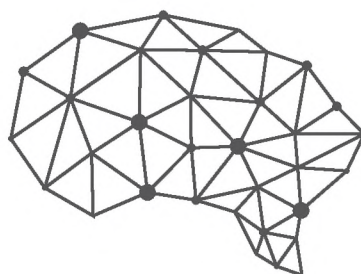


СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ

I Международной школы-конференции молодых ученых
«Динамика сложных сетей и их применение в
интеллектуальной робототехнике»



DCNAIR 2017

г. Саратов
20-22 ноября 2017 г.

УДК 004.896

ББК 32.813

Редакционная коллегия:

Бровкова М.Б., д-р техн. наук, профессор

Храмов А.Е. д-р физ.-мат. наук, профессор

Куркин С.А., канд. физ.-мат. наук, доцент

Динамика сложных сетей и их применение в интеллектуальной робототехнике. Сборник материалов I Международной школы-конференции молодых учёных – Саратов: ООО «Издательство «Научная книга»», – 2017, 108 с.

Материалы I Международной школы-конференции молодых учёных «Динамика сложных сетей и их применение в интеллектуальной робототехнике» содержат тезисы докладов ученых и специалистов в области интеллектуальных технологий, инженерного образования, исследования и проектирования мехатронных и робототехнических систем, сложных сетей.

Школа-конференция стала международной площадкой для обмена образовательными, научными и техническими идеями и достижениями между специалистами, в особенности молодыми учёными и студентами, работающими в области изучения сложных сетей и интеллектуальной робототехники, способствует коллаборации и взаимодействию специалистов в области сложных сетей и робототехники как на всероссийском, так и на международном уровне.

Материалы конференции предназначены для широкого круга научных и инженерно-технических работников, преподавателей ВУЗов, средних специальных учебных заведений, аспирантов и студентов.

Работа школы-конференции и настоящее издание осуществлено при поддержке Российского научного фонда (проект №17-72-30003).

УДК 004.896

ББК 32.813

ISBN 978-5-9758-1685-6

© СГТУ имени Гагарина Ю.А.

© Коллектив авторов, 2017

ОРГАНИЗАЦИИ-ИНИЦИАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Министерство образования и науки РФ



Российский научный фонд



Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., РФ, Саратов



Universidad Politécnica de Madrid,

Centre for Biomedical Technology, Испания



Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского, РФ, г. Нижний Новгород



Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, РФ, г. Орёл



Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, РФ, г. Саратов



Научно-производственное объединение «Андроидная Техника», РФ, г. Магнитогорск

НПО АНДРОИДНАЯ ТЕХНИКА

АНО "Научно-исследовательский центр "Образование.Качество.Отрасль""



ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Председатель программного комитета:

Плеве Игорь Рудольфович, ректор Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А. (г. Саратов)

Члены программного комитета:

Артёмов Игорь Иосифович, д.т.н., проректор по научной работе и инновационной деятельности Пензенского государственного университета (г. Пенза)

Азиков Николай Сергеевич, д.т.н., заместитель директора по научной работе (Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, г. Москва)

Prof. Stefano Boccaletti, CNR- Institute for Complex Systems, Италия

Бржозовский Борис Максович, д.т.н., профессор кафедры «Технология машиностроения» (Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов)

Бровкова Марина Борисовна, д.т.н., директор Института электронной техники и машиностроения (Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов)

Prof. Syamal K. Dana, CSIR - Indian Institute of Chemical Biology, Калькутта, Индия

Дивин Александр Георгиевич, д.т.н. заведующий кафедрой «Мехатроника и технологические измерения» (Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов)

Казанцев Виктор Борисович, д.ф.-м.н., проректор по научной работе Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород

Короновский Алексей Александрович, д.ф.-м.н., проректор по научно-исследовательской работе Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского

Кожина Татьяна Дмитриевна, д.т.н., проректор по науке и инновациям Рыбинского государственного авиационного технического университета имени П.А. Соловьёва (г. Рыбинск)

Осипов Григорий Владимирович, д.ф.-м.н., заведующий кафедрой теории управления и динамики систем (Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород)

Остроумов Игорь Геннадьевич, д.х.н., проректор по научной работе Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А. (г. Саратов)

Павлов Алексей Николаевич, д.ф.-м.н., заведующий кафедрой «Электротехника и электроника» (Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов)

Писарчик Александр Николаевич, к.ф.-м.н., научный сотрудник (Universidad Politécnica de Madrid, Centre for Biomedical Technology, Испания)

Прохоров Михаил Дмитриевич, д.ф.-м.н., заведующий лабораторией Саратовского филиала Института радиотехники и электроники РАН (г. Саратов)

Савин Леонид Алексеевич, д.т.н., заведующий кафедрой мехатроники и международного инжиниринга (Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, г. Орёл)

Сторожев Пётр Петрович, к.ф.-м.н., НПО «Андроидная Техника», г. Магнитогорск

Храмов Александр Евгеньевич, д.ф.-м.н., заведующий кафедрой «Автоматизация, управление, мехатроника» (Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов)

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОГРАММА I МЕЖДУНАРОДНОЙ ШКОЛЫ-КОНФЕРЕНЦИИ МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ «ДИНАМИКА СЛОЖНЫХ СЕТЕЙ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКЕ (DSNAIR 2017).....	9
Авдонин К.А., Захаров О.В.....	15
АНАЛИЗ ДВИЖЕНИЯ АНТРОПОМОРФНЫХ РОБОТОВ	
Афонин А.Н., Ситникова М.А., Алейников А.Ю., Смовдаренко Е.Л.....	17
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ ТОМОГРАФИИ В ИНФРАКРАСНОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ УСТРОЙСТВАМИ	
Бабаев Орхан Гаджибаба оглы	18
ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ ДЛЯ ЗАХВАТОВ АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА	
Бахтгалиев В.А., Тейшерский Г.А., Таратынко М.С., Семенова М.К., Писковцева Т.В., Радужкин А.А., Кречетов М.М.....	20
СТРУКТУРА АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА	
Бирюков Р.С.	22
ДИСКРЕТНОЕ ОБОБЩЕННОЕ H_∞-ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В ЛИНЕЙНЫХ НЕПРЕРЫВНЫХ ОБЪЕКТАХ	
Васильев Д.А., Дроздов А.С.	24
АВТОНОМНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МОБИЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ ТРАНСПОРТИРОВКИ ГРУЗОВ СКЛАДСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ	
Васильев Д.А., Михайлов Д.В.	25
ПРОЦЕДУРА РЕКОНФИГУРАЦИИ ЭЛЕКТРОСЕТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	
Васильев Д.А., Размахнин И.П.	27
НЕЧЕТКАЯ СЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ И ОЦЕНИВАНИЕ РАБОТ ПЕРСОНАЛА ОРГАНИЗАЦИИ	
Волошкин Д.А., Балакин М.И.	30
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ МУЛЬТИСТАБИЛЬНОСТИ В СИСТЕМАХ С ЗАПАЗДЫВАЮЩЕЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ	
Гаврилова Т.С., Галина Р.Р., Михайлова А.Н.	31
ЭВОЛЮЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ МАРШРУТИЗАЦИИ ТРАНСПОРТА С УЧЕТОМ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ	
Грищенко А.А., Сысоев И.В., ван Рейн К.М.	32

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ СВЯЗАННОСТИ МЕЖДУ ВНУТРИЧЕРЕПНЫМИ ОТВЕДЕНИЯМИ ЭЭГ КОРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА КРЫС ПРИ АБСАНСНОЙ ЭПИЛЕПСИИ

Грубов В.В., Максименко В.А., Руннова А.Е., Писарчик А.Н.	34
ДИНАМИКА ПАТТЕРНОВ СИГНАЛА ЭЭГ В ПРОЦЕССЕ ВОСПРИЯТИЯ БИСТАБИЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ	
Гулай А.П., Астахов С.В.	37
МОДЕЛЬ ЦЕНТРАЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА РИТМА, ОСНОВАННАЯ НА СИСТЕМЕ ДВУХ СВЯЗАННЫХ ДВУМОДОВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ	
Дворак А.А., Половинкин Д.В.	39
СОСУЩЕСТВУЮЩИЕ ПРЕДЕЛЬНЫЕ ЦИКЛЫ В КОЛЬЦЕ ОДНОНАПРАВЛЕННО СВЯЗАННЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ ТОДЫ С ГАРМОНИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ	
Журавлев М.О., Короновский А.А., Москаленко О.И.	40
ИНДУЦИРОВАННАЯ ШУМОМ ПЕРЕМЕЖАЕМОСТЬ В ЛЕГИРОВАННОМ ЭРБИЕМ ОПТОВОЛОКОННОМ ЛАЗЕРЕ: ТЕОРИЯ И ЧИСЛЕННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ	
Журавлев М.О., Короновский А.А., Москаленко О.И.	43
ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕМЕЖАЮЩЕГОСЯ ПОВЕДЕНИЯ, ВОЗНИКАЮЩЕГО В ГИПОТАЛАМУСЕ ГРЫЗУНОВ	
Ишбулатов Ю.М., Караваев А.С.	45
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЕГЕТАТИВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ ЧАСТОТЫ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ И АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ	
Коровин А.В., Шершуков Е.П., Давыдов И.С.	48
СТРУКТУРА АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА	
Космынин А.С., Хвостиков А.С., Щетинин В.С., Ульянов А.В.	49
ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОЦЕНКИ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ РОТОРНЫХ СИСТЕМ НА БЕСКОНТАКТНЫХ ОПОРАХ	
Краховская Н.С., Астахов С.В.	51
КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ЭФФЕКТ МУЛЬТИСТАБИЛЬНОСТИ В МОДЕЛИ ЦЕНТРАЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА РИТМА	
Крысько А.В., Жигалов М.В., Папкина И.В., Бабенкова Т.В., Крысько В.А.	52
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗНОМОДУЛЬНЫХ ФИЗИЧЕСКИ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫХ БАЛОК С УЧЕТОМ ЗАВИСИМОСТИ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ (ТРЕХМЕРНОЕ ПАРАБОЛИЧЕСКОЕ ИЛИ ГИПЕРБОЛИЧЕСКОЕ УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ)	
Крысько А.В., Папкина И.В., Крысько В.А.	53

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СЛОИСТЫХ ТРЕХМЕРНЫХ ПЛАСТИНОК С УЧЕТОМ СВЯЗАННОСТИ ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДЕФОРМАЦИИ ДЛЯ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО И ГИПЕРБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Крысько В.А., Папкова И.В., Крысько В.А. мл. 55
КОНТАКТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ДВУХСЛОЙНЫХ ОСЕ СИММЕТРИЧНЫХ ОБОЛОЧЕК С УЧЕТОМ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ И КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Крысько В.А., Салтыкова О.А..... 56
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ЗАЗОРА НА ХАОТИЧЕСКУЮ ДИНАМИКУ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДВУХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫХ БАЛОК ТИМОШЕНКО

Кульминский Д.Д., Сысоев И.В., Пономаренко В.И., Прохоров М.Д.....57
РЕКОНСТРУКЦИЯ ПО ВРЕМЕННЫМ РЯДАМ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ И СТРУКТУРЫ СВЯЗЕЙ В СЕТЯХ СИСТЕМ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

Куркин С.А., Мусатов В.Ю., Руннова А.Е..... 58
АНАЛИЗ МОЗГОВОЙ АКТИВНОСТИ ЧЕЛОВЕКА ВО ВРЕМЯ ВООБРАЖАЕМЫХ ДВИЖЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ АППАРАТА ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Куц А.К., Максименко В.А..... 60
МЕТОДИКА ВЫДЕЛЕНИЯ СИНХРОННЫХ ПАТТЕРНОВ НА МНОГОКАНАЛЬНЫХ ЗАПИСЯХ ЭЭГ

Макаров В.В., Горемыко М.В., Кирсанов Д.В., Максименко В.А., Иванов А.В., Яшков И.А., Боккалетти С.61
КРАТЧАЙШИЕ ПУТИ И ПРОСТРАНСТВЕННОЕ СОСЕДСТВО В МНОГОСЛОЙНЫХ СЕТЯХ

Максименко В.А., Недайвозов В.О., Макаров В.В. 63
ИНТЕРФЕЙС МОЗГ-КОМПЬЮТЕР ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СКОНЦЕНТРИРОВАННОСТИ ОПЕРАТОРА

Мокрицкий Б.Я., Саблин П.А..... 65
ВЫБОР ЭФФЕКТИВНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ ЧУГУНОВ

Мусатов В.Ю., Макаров В.В., Пицик Е.Н..... 67
КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЭГ ПАТТЕРНОВ ВООБРАЖАЕМЫХ ДВИЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Павлов С.П., Калущкий Л.А., Салтыкова О.А..... 68
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОУПРУГОГО НЕЛИНЕЙНОГО ДЕМПИНГА РАЗМЕРНО-ЗАВИСИМОЙ БАЛКИ ТИМОШЕНКО

Панов А.Д., Томашевский Ю.Б.....	70
ПОЛУНАТУРНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОГРИД ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ	
Пошивалова Е.Ю., Родионов И.В.....	71
ЭЛЕКТРО ХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ БИОКОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ МЕДИЦИНСКИХ ИМПЛАНТАТОВ	
Прохоров М.Д., Кульминский Д.Д., Пономаренко В.И.....	76
КОЛЛЕКТИВНАЯ ДИНАМИКА ОСЦИЛЛЯТОРОВ В СЕТЯХ БИСТАБИЛЬНЫХ СИСТЕМ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ, СВЯЗАННЫХ ЧЕРЕЗ ОБЩЕЕ ПОЛЕ	
Сердечный Д.В., Смурыгин Е.О., Томашевский Ю.Б.....	76
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ ЛИТИЙ-ИОННЫХ БАТАРЕЙ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ СИСТЕМ	
Скворцов А.А.....	77
РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПЕРЕДАЧИ ШЛЕЙФОВЫХ РАЗВЕТВЛЕНИЙ СВЧ-УСТРОЙСТВА НА ПРЯМОУГОЛЬНОМ ВОЛНОВОДЕ С НЕОДНОРОДНЫМ ДИЭЛЕКТРИКОМ	
Nataliya Stankevich, Erik Mosekilde.....	80
BISTABILITY OF BURSTING AND SILENT STATES IN A MODEL OF HODGKIN-HUXLEY TYPE	
Сторожев П.П.....	81
ПРОБЛЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЕКТА ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ШАГАЮЩИХ РОБТОВ И ЭКЗОСКЕЛЕТОВ	
Sysoeva M.V., van Rijn C.M., Sysoev I.V.....	83
THE ADAPTED NONLINEAR GRANGER CAUSALITY REVEALS MECHANISM OF TRANSITION FROM ABSENCE TO LIMBIC SEIZURES	
Турлычкин Д.В., Усков Д.А.....	85
ОБЗОР ПРИМЕНИМОСТИ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ВЕБ-ДОКУМЕНТОВ	
Ульянов А.В., Хвостиков А.С.....	88
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РАДИАЛЬНОЙ ГАЗОМАГНИТНОЙ ОПОРЫ	
Усков Д.А., Турлычкин Д.В.....	89
ОБЗОР ПРИМЕНИМОСТИ ОБХОДА В ГЛУБИНУ С УСЛОВИЕМ НА ПРИМЕРЕ АБСТРАКТНОГО СИНТАКСИЧЕСКОГО ДЕРЕВА ИСХОДНОГО КОДА НА JAVASCRIPT	
Фролов Н.С., Писарчик А.Н.....	94
ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК СОСТОЯНИЯ СОМНЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА ПО СИГНАЛАМ МЭГ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ	

Хасанов Р.И., Дямина Э.И.....	96
ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ	
Хорев В.С., Пономаренко В.И., Прохоров М.Д.....	97
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕИМУЩЕСТВЕННОГО НАПРАВЛЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОНТУРОВ РЕГУЛЯЦИИ КРОВООБРАЩЕНИЯ ПО МОДЕЛЬНЫМ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ	
Храмов А.Е.....	99
ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА	
Чепель И.А., Маркелов Д.А., Сергеев С.С., Ситников Е.В., Ситников А.Л., Горшков П.С.....	100
ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ НА РОБОТА МЕФОДИЯ	
Шайхутдинова И.И.....	102
НЕЧЕТКАЯ ЛОГИКА ПРИ ВЫБОРЕ СПОСОБА ЛИТЬЯ	
Янкин И.Н., Владыкин В.О.....	104
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ДВУХ ПОДСИСТЕМ С КООРДИНАТНО-СКОРОСТНОЙ СВЯЗЬЮ	
Янкин И.Н., Кругляков А.А.....	105
МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ С УЧЕТОМ ПАРАМЕТРОВ ПРИВОДА ИНСТРУМЕНТА	
Волошкин Д.А., Захаров А.А.....	106
ТВЕРДОТЕЛЬНО-ВАКУУМНЫЙ ПРИЕМОПЕРЕДАЮЩИЙ МОДУЛЬ АФАР С- ДИАПАЗОНА	

**Программа I Международной школы-конференции молодых учёных
«Динамика сложных сетей и их применение в интеллектуальной
робототехнике (DCNAIR 2017)**

20 ноября, понедельник		
11.00-11.30 – Открытие конференции. Приветственное слово руководства СГТУ имени Гагарина Ю.А. и организаторов конференции.		
Время	Лектор	Название лекции
11.30-12.15	Казанцев Виктор Борисович , д.ф.-м.н., проректор по научной работе, <i>Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород</i>	Мультимодальные нейроинтерфейсы управления робототехническими системами
12.15-13.00	Писарчик Александр Николаевич , к.ф.-м.н., заведующий отделом «Методы вычислительной биологии», <i>Universidad Politécnica de Madrid, Centre for Biomedical Technology, Испания</i>	Методы измерения шума мозга с помощью психологических и нейрофизиологических экспериментов
13.00-13.15	Выступление представителя <i>National Instruments</i>	Презентация и выставка научного и учебного оборудования National Instruments из области мехатроники и робототехники
13.15-14.15	Обед	
14.15-15.00	Бржозовский Борис Максович , д.т.н., профессор кафедры «Технология машиностроения», <i>Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов</i>	Современные мехатронные модули и их применение
15.00-15.45	Прохоров Михаил Дмитриевич , д.ф.-м.н., заведующий лабораторией <i>Саратовского филиала Института радиотехники и электроники РАН, г. Саратов</i>	Коллективная динамика осцилляторов в сетях бистабильных систем с запаздыванием, связанных через общее поле
15.45-16.00	Кофе-брейк	

Секция молодых участников Школы - I		
16.00-16.15	Кульминский Д.Д.^{1,2}, Сысоев И.В.², Пономаренко В.И.^{1,2}, Прохоров М.Д.¹ ¹ Саратовский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН; ² Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского	Реконструкция по временным рядам параметров элементов и структуры связей в сетях систем с запаздыванием
16.15-16.30	Бабаев О.Г. Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева	Волоконно-оптические датчики для захватов антропоморфного робота
16.30-16.45	Ишбулатов Ю.М., Караваяев А.С. Саратовский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН; Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского	Математическая модель вегетативной регуляции частоты сердечных сокращений и артериального давления
16.45-17.00	Грищенко А.А.¹, Сысоев И.В.¹, К.М. ван Рейн² ¹ Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского ² Радбоуд университет Неймеген, Дондерс институт, Неймеген, Нидерланды	Сравнительный анализ методов оценки связанности между внутричерепными отведениями ЭЭГ коры головного мозга крыс при абсансной эпилепсии
17.00-17.15	Хорев В.С.¹, Пономаренко В.И.^{1,2}, Прохоров М.Д.² ¹ Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского ² Саратовский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН	Определение преимущественного направления взаимодействия контуров регуляции кровообращения по модельным и экспериментальным данным
17.15-17.30	Сысоева М.В.¹, К.М. ван Рейн², Сысоев И.В.³ ¹ Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А. ² Радбоуд университет Неймеген, Дондерс институт, Неймеген, Нидерланды ³ Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского	The adapted nonlinear granger causality reveals mechanism of transition from absence to limbic seizures

21 ноября, вторник		
10.00-10.45	Савин Леонид Алексеевич , д.т.н., заведующий кафедрой мехатроники и международного инжиниринга, <i>Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, г. Орёл</i>	Мехатронные и интеллектуальные технологии в электрогидромеханических системах
10.45-11.30	Pinaki Pal , Ph.D., Department of Mathematics, <i>National Institute of Technology, Durgapur, India</i>	Transition to synchrony in degree-frequency correlated Sakaguchi-Kuramoto model on complex networks
11.30-12.15	Осипов Григорий Владимирович , д.ф.-м.н., заведующий кафедрой теории управления и динамики систем, <i>Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород</i>	Управление движением ансамбля мобильных агентов
12.15-13.15	Обед	
13.15-14.00	Короновский Алексей Александрович , д.ф.-м.н., проректор по научной работе; Москаленко Ольга Игоревна , к.ф.-м.н., начальник управления научной деятельности <i>Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, г. Саратов</i>	Хаотическая синхронизация в сложных системах
14.00-14.30	Сторожев Пётр Петрович , к.ф.-м.н., научный руководитель отдела систем управления НПО «Андроидная Техника», г. Магнитогорск	Проблемы искусственного интеллекта для создания систем управления шагающих роботов и экзоскелетов
14.30-14.45	Кофе-брейк	

Секция молодых участников Школы - II		
14.45-15.00	Nataliya Stankevich^{1,2}, Erik Mosekilde³ ¹ <i>Yuri Gagarin state technical university of Saratov,</i> ² <i>St. Petersburg State University</i> ³ <i>Technical University of Denmark</i>	Bistability of bursting and silent states in a model of Hodgkin-Huxley type
15.00-15.15	Гулай А.П., Астахов С.В. <i>Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.</i>	Модель центрального генератора ритма, основанная на системе двух связанных двумодовых генераторов
15.15-15.30	Куц А.К., Максименко В.А. <i>Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.</i>	Методика выделения синхронных паттернов на многоканальных записях ЭЭГ
15.30-15.45	Краховская Н.С., Астахов С.В. <i>Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.</i>	Квазипериодические колебания и эффект мультистабильности в модели центрального генератора ритма
15.45-16.00	Волошкин Д.А.^{1,2}, Балакин М.И.¹ ¹ <i>Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.</i> ² <i>ОАО «Радиотехнический институт имени академика А.Л. Минца., г. Саратов</i>	Экспериментальное исследование особенностей формирования мультистабильности в системах с запаздывающей обратной связью
16.00-16.15	Чепель И.А., Маркелов Д.А., Сергеев С.С., Ситников Е.В., Ситников А.Л., Горшков П.С. <i>Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.</i>	Обзор робота «Мефодий»
16.15-16.30	Бахтгалиев В.А., Тейшерский Г.А., Таратынко М.С., Семенова М.К., Писковцева Т.В., Радужкин А.А., Кречетов М.М. <i>Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.</i>	Структура антропоморфного робота

22 ноября, среда		
10.00-10.45	Павлов Алексей Николаевич , д.ф.-м.н., заведующий кафедрой «Электротехника и электроника», <i>Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов</i>	Brain vascular network
10.45-11.30	Бровкова Марина Борисовна , д.т.н., директор института электронной техники и машиностроения, <i>Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов</i>	Современные тенденции развития систем искусственного управления
11.30-12.15	Храмов Александр Евгеньевич , д.ф.-м.н., заведующий кафедрой «Автоматизация, управление, мехатроника», <i>Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов</i>	Диагностика состояний центральной нервной системы с использованием технологий искусственного интеллекта
12.30-13.30	Обед	
13.30-16.00	Культурная программа	

АНАЛИЗ ДВИЖЕНИЯ АНТРОПОМОРФНЫХ РОБОТОВ

Авдонин К.А., Захаров О.В.

*Саратовский государственный технический университет,
имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов, e-mail zov20@mail.ru*

Аннотация. Анализ состояния проблемы моделирования движения антропоморфных роботов показал, что для получения оптимальных траекторий движения требуется совершенствование правил составления уравнений связей и последовательности векторно-матричных преобразований.

Ключевые слова: антропоморфный робот, оптимизация, моделирование движения.

ANALYSIS OF MOVEMENT OF ANTHROPOMORPHIC ROBOTS

Avdonin K.A., Zakharov O.V.

*Yuri Gagarin state technical university of Saratov,
Saratov, Russia, e-mail zov20@mail.ru*

Abstract. Analysis of the state of the problem of modeling the movement of anthropomorphic robots showed that in order to obtain optimal trajectories of motion, it is necessary to improve the rules for the compilation of equations and the sequence of vector-matrix transformations.

Keywords: anthropomorphic robot, optimization, motion modeling.

Движение роботов антропоморфного типа должно соответствовать движению человека. При этом достигаются оптимальная траектория движения, высокая динамическая устойчивость и минимальные затраты энергии. Для возможности осуществления такого движения антропоморфный робот имеет избыточное число степеней свободы согласно теории механизмов. Это его принципиальное отличие от промышленных роботов обуславливает сложности, как в конструктивной реализации, так и в методах расчета и алгоритмах управления движением. Поэтому указанная задача в настоящее время не нашла общепризнанного решения и является актуальной.

Одними из первых основных задач будут геометрическая и кинематическая. Традиционный подход к решению геометрической задачи заключается в составлении уравнений координатных преобразований на основе векторно-матричного аппарата и уравнений связей между отдельными частями (суставами) манипулятора робота. При избыточном числе степеней свободы (семь и более для одного манипулятора) получается переопределенная система уравнений. Так как система является нелинейной, то ее решение ищется численными методами. Однако переопределенность свидетельствует о том, что имеется множество решений. Поэтому возникает задача оптимизации движения суставов манипулятора.

В первом приближении задача оптимизации перемещений манипулятора должна решаться, исходя из минимальной суммы углов поворота суставов. Однако с учетом различной массы отдельных суставов целесообразно введение более сложного критерия оптимальности и целевой функции. Другая сложность математического описания заключается в том, что если для промышленных роботов уже приняты определенные правила последовательности перемещений и для них разработаны модели, то для антропоморфных роботов их нет. Очевидно, что по аналогии с движением человеческой руки последовательность поворотов суставов может меняться. Причем сам человек не отдает себе отчета, каким именно образом это происходит. Но с учетом накопленного опыта и практических навыков в большинстве случаев движения человеческой руки будут оптимальными или квазиоптимальными. Поэтому для антропоморфного робота необходима оптимизация траектории перемещения не только в рамках одного правила, но и нахождение оптимального правила перемещения в каждом конкретном случае. Такой подход многократно усложняет математическое описание, но способствует получению действительно человекоподобных движений и, в конечном счете, повышению скорости движения и экономии энергии.

Следующая характерная задача для движения роботов заключается в обходе препятствий. Исходной будет информация от датчиков. Однако ситуация, когда робот упирается в препятствие, а потом пытается его обогнуть, следует считать неприемлемой. Эффективное перемещение робота возможно, если заранее будут определены габаритные размеры препятствия. Тогда целесообразны два подхода к решению данной задачи. В первом случае решается обратная геометрическая задача, которая дает все множество решений, исключающих нахождение манипулятора внутри или на границе препятствия. При этом требуется большой объем вычислений. Во втором случае формируются условия-ограничения перед решением прямой геометрической задачи. Вычислительные затраты невелики, но сама задача в общем случае трудно формализуема. Возможно некоторые упрощения, позволяющие в большинстве случаев на практике, по крайней мере для промышленных роботов, получать адекватные решения. Например, анализировать только положение локтя и кисти манипулятора.

Таким образом, анализ состояния проблемы моделирования движения антропоморфных роботов показал, что для получения оптимальных траекторий движения требуется совершенствование правил составления уравнений связей и последовательности векторно-матричных преобразований.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ ТОМОГРАФИИ В ИНФРАКРАСНОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ УСТРОЙСТВАМИ

Афонин А.Н., Ситникова М.А., Алейников А.Ю., Смовдаренко Е.Л.

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, Белгород, afonin@bsu.edu.ru*

Аннотация. Проведен анализ существующих способов управления робототехническими устройствами с помощью нейроинтерфейсов. Сделан вывод о перспективности применения для управления робототехническими устройствами инфракрасной томографии.

Ключевые слова: Спектроскопия в околоинфракрасном диапазоне; робот; управление; нейроинтерфейс.

PROSPECTS OF APPLICATION OF INFRARED TOMOGRAPHY FOR CONTROL OF ROBOTIC ENGINEERING DEVICES

Afonin A.N., Sitnikova M.A., Aleinikov A.Yu., Smovdarenko E.L.

*Belgorod State National Research University,
Russia, Belgorod afonin@bsu.edu.ru*

Abstract. An analysis of the existing methods of controlling robotic devices using neurointerfaces is carried out. It was concluded that the use of Functional near-infrared spectroscopy for the control of robotic devices is promising.

Keywords: Functional near-infrared spectroscopy; robot; control; neuron interface.

Введение

Применение нейроинтерфейсов для управления робототехническими устройствами является одним из наиболее перспективных направлений развития робототехники. В частности, нейроинтерфейсы являются наиболее предпочтительным способом управления бионическими протезами и экзоскелетами. Весьма перспективны они и для управления мобильными роботами и беспилотными летательными аппаратами.

Основная часть

Используемые в настоящее время в качестве неинвазивных нейроинтерфейсов устройства, основанные на электроэнцефалографии (ЭЭГ), часто не обеспечивают необходимого качества управления сложными робототехническими устройствами. Такой метод картирования мозга, как магнитно-резонансная томография (фМРТ), обеспечивает различные измерения нейронных коррелятов когнитивных процессов и может обеспечить более эффективное нейробиоуправление робототехническими устройствами, однако требует полной неподвижности человека.

Для динамической визуализации и непрерывного анализа в режиме реального времени изображений нейрональной активности в последнее время

широко применяется технология нейророботной связи с помощью спектроскопии в околоинфракрасном диапазоне (функциональной fNIRS-томографии). Функциональная оптическая томография (fNIRS) является методом визуализации мозга, где в реальном времени происходит измерение моделей оксигенации гемоглобина крови в различных областях головного мозга. fNIRS измеряет гемоглобин только в поверхностном слое коры головного мозга с пространственным разрешением не более 3 см вглубь, когда расстояние между зондами составляет 3 см. Типичная скорость изображения сигнала составляет порядка нескольких Гц (обычно 10 Гц), что является достаточным, чтобы уловить быстрые физиологические сигналы, такие как изменения гемоглобина вследствие нейроактивации. Данный метод позволяет проводить измерения в сидячем положении в естественных условиях, без существенного ограничения двигательной активности испытуемых и без сложности в подготовке.

Для нейроскрининга и нейророботной связи в исследовании предполагается использовать портативный оптический томограф NIRSport Model 88, NIRx Medical Technologies. В данной модели оптического томографа используется 16 оптодов (8 излучателей и 8 детекторов, расположенные в соответствии с системой «10-20» на расстоянии 3 см друг от друга), с помощью которых регистрируется гемодинамическая активность в 18 каналах. Локализация – билатеральные фронтально-теменные области.

С помощью fNIRS предполагается выделять в коре головного мозга зоны активности нейронов, связанные с желаниями оператора отдать ту или иную управляющую команду роботу, протезу или экзоскелету. Для распознавания команд представляется перспективным использование программного обеспечения на основе искусственных нейронных сетей. Предполагается, что количество управляющих команд, получаемых с помощью fNIRS, будет превышать аналогичные показатели ЭЭГ, а количество ошибок будет существенно ниже.

УДК 681.586.5

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ ДЛЯ ЗАХВАТОВ АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА

Бабаев Орхан Гаджибаба оглы

*Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева,
Россия, Самара, orbaev@yandex.ru*

Аннотация. Работа посвящена разработке волоконно-оптических датчиков (ВОД) для захватов роботизированных платформ антропоморфного типа, пригодных для эксплуатации в сложных условиях. По результатам анализа определено, что для реализации ВОД распределенного тактильного усилия рационально использование эффекта потерь мощности оптического излучения при микроизгибах оптического волокна, для реализации ВОД углового положения фаланг пальцев – магнитооптического эффекта Фарадея. Для каждого типа ВОД разработаны компоновочные схемы.

Ключевые слова: волоконно-оптические датчики; антропоморфные захваты; распределенное тактильное усилие, угловое положение; компоновочные схемы.

FIBER-OPTICAL SENSORS FOR THE ANTHROPOMORPHIC ROBOT GRIPS

Orkhan Babaev Gadzhibaba ogli

*Samara National Research University,
Samara, Russia, orbaev@yandex.ru*

Abstract. The work is devoted to the development of fiber-optical sensors (FOS) for the grips of anthropomorphic robotic platforms, operated in difficult conditions. According to the results of the analysis it is determined that for the FOS of distributed tactile effort, it is rational to use the effect of optical power losses due to microbending of the optical fiber, and for the FOS of angular position of the finger phalanx - the magneto-optical Faraday effect. Layout schemes have been developed for each type of FOS.

Keywords: fiber-optical sensors; anthropomorphic grips; distributed tactile effort; angular position; layout schemes.

Проект направлен на создание элементов информационно-интегрированных систем на основе волоконно-оптических датчиков (ВОД) с закрытым оптическим каналом для захватов роботизированных платформ антропоморфного типа различного назначения, пригодных для эксплуатации в сложных условиях. По результатам проведенного литературно-патентного обзора были сформулированы перспективные направления разработок волоконно-оптических датчиков (ВОД) для контроля тактильного усилия и положения захватов робота, проведено их сравнение и на этой основе разработаны компоновочные схемы ВОД тактильного усилия и углового положения фаланг захватов антропоморфного робота.

Современные системы сбора и передачи измерительной и управляющей информации на основе волоконно-оптических датчиков (ВОД) являются наиболее рациональными элементами приемо-передающих трактов благодаря высокой устойчивости к электромагнитным помехам, разрушающим факторам (химическим, радиационным, температурным и др.), возможности эксплуатации ВОД в условиях, требующих пожаро-взрывоопасности (ВОД используют неэлектрический принцип действия), а также в связи с возможностью сверхскоростной передачи результатов измерений и команд управления.

По результатам литературно-патентного анализа были выявлены основные перспективные направления и концепции построения ВОД:

- бесконтактные ВОД амплитудного типа с закрытым оптическим каналом на магнитооптическом эффекте Фарадея;

– ВОД амплитудного типа с закрытым оптическим каналом на эффекте изменения оптических потерь в оптическом волокне при его деформации (микро- и макроизгибы);

– герметизированные отражательные амплитудные ВОД с дополнительной герметизацией открытого оптического канала.

По результатам математического моделирования определено, что для реализации ВОД распределенного тактильного усилия, развиваемого фалангами пальцев антропоморфного захвата, наиболее рационально использование эффекта потерь мощности оптического излучения при микроизгибах оптического волокна, а для реализации ВОД углового положения фаланг пальцев антропоморфного захвата – магнитооптического эффекта Фарадея в тонких пленках железоиттриевого граната. Для каждого типа ВОД разработаны компоновочные схемы, позволившие достигнуть следующих технических характеристик (табл.1, табл.2).

Таблица 1. Технические характеристики ВОД тактильного усилия захватов

№ пп	Параметр	Величина
1	Контролируемое усилие, кГс	0...1,0
2	Основная погрешность, %	0,5
3	Размеры пятна контакта чувствительной части пальца не менее, мм	3x3
4	Разрешающая способность выходного сигнала электронного трансивера не менее, бит	10
5	Температура эксплуатации ВОД, °С	минус 80... + 80

Таблица 2. Технические характеристики ВОД углового положения фаланг захватов

№ пп	Параметр	Величина
1	Контролируемый поворот подвижного звена (варианты реализации), град.	0...30; 0...60
2	Основная погрешность, %	0,5
3	Разрешающая способность выходного сигнала электронного трансивера не менее, бит	10
4	Температура эксплуатации ВОД, °С	минус 80... +80

СТРУКТУРА АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА

**Бахтгалиев В.А., Тейшерский Г.А., Таратынко М.С., Семенова М.К.,
Писковцева Т.В., Радушкин А.А., Кречетов М.М.**

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, victoriousbva2@gmail.com*

Аннотация. В статье рассматриваются возможности аппаратно-вычислительной системы управления Arduino Mega 2560, а также другие компоненты, входящие в структуру антропоморфного робота-инфостенда, такие как шаговые двигатели, аккумулятор, сервоприводы и др. Приводятся технические характеристики и функциональное описание комплектующих. А также указываются причины, побудившие использовать именно данные модели.

Ключевые слова: Arduino; Робототехника; Антропоморфный; Инфостенд; Робот.

THE STRUCTURE OF AN ANTHROPOMORFIC ROBOT

**Bakhtgaliev V.A., Teysherskiy G.A., Taratynko M.S., Semenova M.K.,
Piskovceva T.V., Radushkin A.A., Krechetov M.M.**

*Yuri Gagarin state technical university of Saratov,
Saratov, Russia, victoriousbva2@gmail.com*

Abstract. The article examines the capabilities of the Arduino Mega 2560 hardware-computer control system, as well as other components that are part of the anthropomorphic robot-infostand structure, such as stepper motors, battery, servo drives, etc. The technical characteristics and functional description of the components are given. And also the reasons that led to the use of these models are indicated.

Keywords: Arduino; Robotics; Anthropomorphic; Infostand; Robot.

Введение (Introduction)

В настоящее время происходит глобальная цифровизация. Почти, у каждого человека есть смартфон и персональный компьютер, а зачастую бывает и персональный робот. Ни кого не удивит, что роботов можно встретить в самых различных отраслях: на производстве, в космических исследованиях, в домашнем обиходе, в сфере услуг. Развитие роботов получило новый толчок после принятия постановления правительства РФ от июля 2017г.

В рамках учебного проекта, нами был проведен анализ, были отобраны оптимальные комплектующие, для реализации робота. Выбор обусловлен учебной составляющей.

Основная часть

Arduino – аппаратно-программное средство для построения простых систем автоматики и робототехники. Программная часть состоит из бесплатной программной оболочки (IDE) для написания программ, их компиляции и программирования аппаратуры. Аппаратная часть представляет собой набор смонтированных печатных плат. Ключевым параметром выбора платформы Arduino была простота и дружелюбность к любому пользователю.

Таблица 1. Технические характеристики Arduino

Микроконтроллер	ATmega2560
Кол-во цифровых входов/выходов	54
.. из них поддерживают PWM	15
Кол-во аналоговых выходов	16
Кол-во контактов для аппарат. Прерыв.	6
Объем flash-памяти (кБ)	256
Объем SRAM-памяти (кБ)	8
Объем EEPROM-памяти (кБ)	4
Тактовая частота (МГц)	16
Количество аппаратных serial-портов	4

Для питания робота выбран аккумулятор Keerpower IMR26650 5200mah 3,7V 30A С защитой - высококачественный промышленный литий-ионный (Li-ion) аккумулятор формата 26650 с высокой реальной ёмкостью и высокой токоотдачей до 30А без платы защиты.

Дальномер – устройство, предназначенное для определения расстояния от наблюдателя до объекта. Выбран ультразвуковой дальномер HC-SR04. Ультразвуковой дальномер генерирует звуковые импульсы на частоте 40 кГц и слушает эхо. По времени распространения звуковой волны туда и обратно можно однозначно определить расстояние до объекта.

Матричная эластичная 16 кнопочная клавиатура применяется для создания кодовых замков, управления роботами и т.д. Клавиатура выполнена в виде матрицы 4×4, каждая кнопка является областью воздушного зазора между двумя диэлектрическими слоями с нанесенным на них токопроводящим покрытием. Дорожки покрытия одного слоя нанесены горизонтально (выводы 1-4), а другого вертикально (выводы 5-8).

Под сервоприводом чаще всего понимают механизм с электромотором, который можно попросить повернуться в заданный угол и удерживать это положение. Однако, это не совсем полное определение. Наиболее распространены сервоприводы, которые удерживают заданный угол и сервоприводы, поддерживающие заданную скорость вращения. Нами был выбран первый вариант так как он идеально подходит для механической руки нашего робота. Полное название используемого сервопривода в нашей конструкции JXServoPDI-5521MG+360.

УДК 517.977

ДИСКРЕТНОЕ ОБОБЩЕННОЕ H_∞ -ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В ЛИНЕЙНЫХ НЕПРЕРЫВНЫХ ОБЪЕКТАХ

Бирюков Р.С.¹

¹ *Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского,
Россия, Нижний Новгород, ruslan.biryukov@itmm.unn.ru*

Аннотация. Рассматривается задача синтеза дискретного оптимального управления линейными непрерывными системами с неизвестными начальными условиями и внешними возмущениями, ограниченными в L_2 -норме. В качестве критерия оптимальности используется уровень гашения возмущений, представляющий собой показатель совместного влияния начального и внешнего возмущений на целевой выход в наилучшем случае.

Ключевые слова: непрерывно-дискретные системы; обобщенная H_∞ - норма; обобщенное H_∞ - управление.

DISCRETE-TIME GENERALIZED H_∞ - OPTIMAL CONTROL FOR CONTINUOUS-TIME LINEAR SYSTEMS

Ruslan Biryukov¹

¹ *Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod,
Nizhny Novgorod, Russia, ruslan.biryukov@itmm.unn.ru*

Abstract. We consider a control design problem for linear continuous-time systems using discrete-time controller. The worst-case performance measure or a generalized H_∞ -norm of the closed-loop system is used as the optimality criterion.

Keywords: continuous-discrete (hybrid) systems; generalized H_∞ -norm; generalized H_∞ -control.

Современные системы управления, как правило, реализуются в цифровом виде, в то время как большинство реальных объектов функционирует в непрерывном времени. Подобное разделение на аналоговую и цифровую части приводит к потере информации, поскольку значения непрерывного сигнала, поступающего с объекта на регулятор, известны только в фиксированные дискретные моменты времени. По этой причине становится важной задача анализа и синтеза дискретного регулятора, максимально полно учитывающего поведение исходного объекта в моменты времени между измерениями. Особенно важным это становится тогда, когда на объект действуют неизвестные в общем случае внешние возмущения.

В работе рассматривается задача дискретного оптимального управления линейными непрерывными системами с неизвестными начальными условиями и ограниченными в L_2 -норме внешними возмущениями. Поведение таких систем описывается совокупностью дифференциальных и разностных уравнений. В качестве критерия оптимальности используется уровень гашения возмущений, представляющий собой так называемую обобщенную H_∞ -норму линейного оператора, который отображает непрерывные сигналы внешнего возмущения и дискретную последовательность помех измеряемого выхода в дискретную последовательность управляемого выхода. Используя характеристику уровня гашения возмущений в терминах линейных матричных неравенств, задача синтеза управления сводится к решению задачи полуопределенного программирования, для которой существуют эффективные вычислительные алгоритмы и имеются реализации этих алгоритмов для различных пакетов, в частности, для пакета MATLAB.

АВТОНОМНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МОБИЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ ТРАНСПОРТИРОВКИ ГРУЗОВ СКЛАДСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ

Васильев Д.А., Дроздев А.С.

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, vda230373@yandex.ru*

Аннотация. Предложен подход к построению процедуры управления движением мобильной транспортировочной платформы складских подразделений, базирующейся на комбинированном методе с элементами нейросетевого распознавания образов.

Ключевые слова: мобильная система; транспортировка груза; управление движением; распознавание образов; нейронная сеть.

AUTONOMIC CONTROL OF MOBILE SYSTEM FOR FREIGHTAGE IN WAREHOUSE

Vasiliev D.A., Drozdev A.S.

*Yuri Gagarin state technical university of Saratov,
Saratov, Russia, vda230373@yandex.ru*

Abstract. An approach is proposed for constructing a procedure for controlling the movement of a mobile transport platform of warehouse divisions, based on a combined method with elements of neural network pattern recognition.

Keywords: mobile system; cargo transportation; traffic management; pattern recognition; neural network.

В настоящее время развивается тенденция, связанная с созданием транспортных средств с автономной системой управления [1]. Создаются беспилотные автомобили, воздушно-транспортные средства, решаются локальные задачи, связанные с регулировкой потока движения автомобилей, выполнения автоматизированных парковок и т.д. Для оптимального управления элементами складских подразделений организуются системы формирования маршрутов движения и непосредственно организации движения транспортно-погрузочных средств.

Для реализации автономного движения транспортно-погрузочных средств (ТПС), в основном используются данные, полученные с LDS-сканеров, позволяющих определять препятствия, возникшие во время движения. При этом транспортное средство должно снабжаться картой движения, полученной при априорном анализе складского помещения.

Следует отметить, что построение карты маршрута движения достаточно трудоемкий процесс, который должен выполняться при любой модернизации помещения, изменении пропускной способности проходов, начальных и конечных пунктов движения. Кроме того, ошибки в построении маршрутных карт могут привести к существенным задержкам процесса перемещения грузов.

Исходя из вышесказанного, предлагается комбинированный подход к организации автономного движения транспортно-погрузочных средств складских подразделений, базирующийся на применении LDS-сканера и системы распознавания образов, в которую информация поступает с бортовой камеры.

Анализ препятствий при передвижении ТПС осуществляется с помощью LDS-сканера. В качестве координаторов движения используют специализированные маркеры движения, в процессе распознавания которых ТПС отдает предпочтение некоторому указателю (маркеру), определяющему направление дальнейшего движения транспортной системы к целевой точке.

Маркеры представляют собой стилизованные указатели, которые распознаются с помощью нейронной сети, реализуемой на верхнем уровне системы управления ТПС.

Для организации принятия решения по выбору направления движения в работе реализован алгоритм обучения нейронной сети для идентификации маркера. Алгоритм обучения основан на методе дискриминантных функций, позволяющий строить разделительные гиперплоскости в пространстве объектов [2]. В качестве элементов распознавания выступают RGB-коды изображений маркеров с интегральным показателем яркости изображения. Применение кросс-проверки при обучении сети позволило повысить качество идентификации маркер и довести процент правильно распознанных объектов до 97%.

Применение предложенной системы управления ТПС для складского подразделения организации позволит повысить эффективность работы склада за счет оптимальной организации процедуры перераспределения грузов.

Литература

1. Автономный транспорт [Электронный ресурс] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Автономный_транспорт (дата обращения 01.11.2017).

2. Никифоров, И.К. Нейросетевые технологии: искусственные нейронные сети : учеб. пособие / И.К. Никифоров ; М-во образования и науки РФ (Москва), Федер. агентство по образованию (Москва), Чуваш. гос. ун-т им. И.Н. Ульянова (Чебоксары). – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2008. – 264 с.

УДК 658.012.011.56: 658.264

ПРОЦЕДУРА РЕКОНФИГУРАЦИИ ЭЛЕКТРОСЕТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Васильев Д.А., Михайлов Д.В.

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, vda230373@yandex.ru*

Аннотация. Предложен подход к построению процедуры реконфигурации структуры электросети промышленного предприятия, в основу которой положен потоковый алгоритм Диница, реализуемый на взвешенной графовой модели сети.

Ключевые слова: транспорт электроэнергии; потоковый алгоритм; алгоритм Диница; графовая модель; электроснабжение.

PROCEDURE OF RECONFIGURATION OF ELECTRICAL NETWORK OF INDUSTRIAL ENTERPRISE

Vasiliev D.A., Mihailov D.V.

*Yuri Gagarin state technical university of Saratov,
Saratov, Russia, vda230373@yandex.ru*

Abstract. An approach is proposed to construct a procedure for reconfiguring the structure of an electrical grid of an industrial enterprise, which is based on the Dinits streaming algorithm implemented on a weighted graph model of the network.

Keywords: electricity transportation; streaming algorithm; algorithm of Dinits; graph model; power supply.

Одной из важнейших составляющих управления энергоснабжением промышленных предприятий является подсистема управления транспортом и распределением электрической энергии. В настоящее время развитие данной подсистемы в рамках концепции «умных сетей» требует разработки новых моделей и алгоритмов, требующих включения их в состав АСУ энергетикой промышленных предприятий [1].

Исходя из того, что электрическая сеть предприятия имеет древовидную структуру, ее удобно представить в виде графа передач, взвешенного максимально возможными потребляемыми мощностями [2].

Следует отметить, что ряд предложенных алгоритмов решения задачи по восстановлению электроснабжения потребителей-регуляторов мощности [2, 3] не учитывают распределение потребителей по категории электроснабжения и динамических показателей реконфигурации сети, таких как возможность выполнения переключений и время переключения отдельных элементов сети.

Для решения задачи по реконфигурации электросети предприятия реализуется графовая модель сети с одним «фиктивным» узлом – источником электроэнергии, в которой все дуги (пути передачи электроэнергии) взвешиваются картежом значений $\langle p_{ij}, z_{ij}, t_{ij} \rangle$, где p_{ij} – пропускная способность (мощность) элемента сети; z_{ij} – булева переменная, определяющая возможность воздействия на элемент сети, t_{ij} – время переключения (отключения/подключения) элемента сети. Кроме того, всем узлам – потребителям электроэнергии ставятся в соответствие коэффициенты, отражающие их категорию электропотребления.

В основу процедуры транспорта электроэнергии от источника к потребителю положен алгоритм Диница, являющийся расширением потокового алгоритма Форда-Фалкерсона [4].

Итерационный алгоритм Диница реализуется на взвешенном графе сети с априорно исключенными элементами, не имеющими открытый приоритет по воздействию, и направлен на поиск псевдомаксимального потока мощности к

потребителю, образуя на каждой итерации бесконтурную вспомогательную сеть снабжения потребителей.

Следует отметить, что с целью повышения эффективности работы алгоритма решение задачи ведется от нижнего уровня (уровня потребителей электроэнергии), начиная с потребителей с максимальной категорией электропотребления.

Применение выше отмеченной процедуры в составе АСУ энергетикой промышленных предприятий позволяет оперативно принимать решения по восстановлению электроснабжения потребителей, получить несколько схем подключений и тем самым сократить ущерб, от перебоев в электроснабжении.

Литература

1. Новые сетевые технологии. Что такое SmartGrid [Электронный ресурс] URL: http://solovyanov.com/chto_takoe_smart_grid (дата обращения 09.02.2015).

2. Васильев Д.А. Методы и алгоритмы выбора структуры электрических сетей промышленных предприятий // Д.А. Васильев, Д.В. Лукьянов, В.А. Иващенко / Системы управления и информационные технологии, 1.1(43), 2011. – С. 147-150.

3. Васильев Д.А. Процедура принятия решений по восстановлению электроснабжения потребителей на предприятии // Д.А. Васильев, Д.В. Михайлов / ИНЖИНИРИНГ ТЕХНО 2016: сб. тр. IV Междунар. научн.-практ. конф. – Саратов, 2016, С. 137-143.

4. Лукьянов Д.В., Васильев Д.А., Иващенко В.А. Методы и алгоритмы выбора структуры электрических сетей промышленных предприятий // Системы управления и информационные технологии. 2011. №1.1(43). С. 147–150.

УДК 658.3.014.1

НЕЧЕТКАЯ СЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ И ОЦЕНИВАНИЕ РАБОТ ПЕРСОНАЛА ОРГАНИЗАЦИИ

Васильев Д.А., Размахнин И.П.

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, vda230373@yandex.ru*

Аннотация. Предложен подход к построению нечеткой функционально-сетевой модели планирования работ персонала организации с процедурой оценивания качества выполнения работ с помощью нечеткого интеграла Сугено.

Ключевые слова: планирование; персонал; сетевая модель; оценивание; нечеткие параметры.

FUZZY NETWORK MODEL OF PLANNING AND EVALUATION OF WORK OF PERSONNEL OF THE ORGANIZATION

Vasiliev D.A., Razmahnin I.P.

*Yuri Gagarin state technical university of Saratov,
Saratov, Russia, vda230373@yandex.ru*

Abstract. An approach is proposed for constructing a fuzzy functional-network model for planning the work of the organization's personnel with a procedure for assessing the quality of work performance with fuzzy Sugeno integral.

Keywords: planning; personnel; network model; evaluation; fuzzy parameters.

Эффективное планирование работ персонала организации способствует снижению затрат на реализацию процессов, сокращению временного интервала выполнения работ, позволяет экономично использовать доступные ресурсы.

В настоящее время для выполнения процедур оптимизации планирования и управления комплексами работ персонала используются функционально-сетевые модели (ФСМ) или графы планирования, которые позволяют наглядно представить процесс, определить «узкие места» в плане и имеющиеся временные резервы, дающие основания для оптимизации, связанной с функциональным перераспределением персонала.

Следует отметить, что не всегда на этапах планирования можно знать точное время выполнения всех работ процесса. Исходя из этого предлагается описать ФСМ планирования в нечетком виде, представив временные показатели работ в виде нечетких чисел LR-типа [1].

Для вычисления оценочных показателей ФСМ таких, как сроки свершения событий, резервов времени, коэффициентов напряженности работ используются арифметика нечетких чисел, базирующаяся на арифметике обычных интервалов.

Таким образом, итоговый оценочный показатель (коэффициент напряженности работ) будет представлен в «размытом», унимодальном виде, который может быть дефазсифицирован по методу центра масс [2].

В результате выполнения комплекса работ персонал подвергается оцениванию. Существуют неформальные, коллективные, количественные и качественные методы оценивания. Среди количественных методов в большинстве случаев используется метод стандартных оценок, который заключается в заполнении руководителем специальной формы, характеризующей каждый аспект работы персонала и построении бальной оценки.

В данной статье предлагается в качестве модели оценивания качества работы персонала использовать нечеткий интеграл Сугено, позволяющий получить интегральный оценочный показатель с учетом неравнозначности критериев оценивания.

При реализации модели оценивания на множестве критериев $F = \{F_i\}$ вводится нечеткая мера $g(\cdot)$, а степень выполнения требований к оценке

определяется через переменный уровень $\alpha \in [0,1]$. На каждом шаге оценивания для некоторого фиксированного значения α и варианта оценок x существует множество тех критериев, для которых степень выполнения требований на варианте x не ниже уровня α : $M_\alpha(x) = \{F_i \mid \mu_i(x) \geq \alpha\}$. По мере увеличения α , мера ценности уменьшается за счет исключения из него тех показателей, для которых $M_\alpha(x)$ становится меньше α . Поскольку обе рассматриваемые величины изменяются от 0 до 1, но в противоположных направлениях, компромисс будет, достигнут, когда они сравняются. При этом их общее значение будет определяться выражением $S(x) = \max_{\alpha} \min[\alpha, g(M_\alpha(x))]$, называемым интегралом Сугено.

Ниже представлена графическая интерпретация проведения процедуры оценивания по интегралу Сугено (рисунок 1).

Использование представленных выше методик позволит реализовать программное обеспечение, сочетающее в себе модель сетевого планирования работ персонала в условиях неопределенности временных показателей выполнения работ и модель оценивания качества работ персонала с учетом неравнозначности критериев.

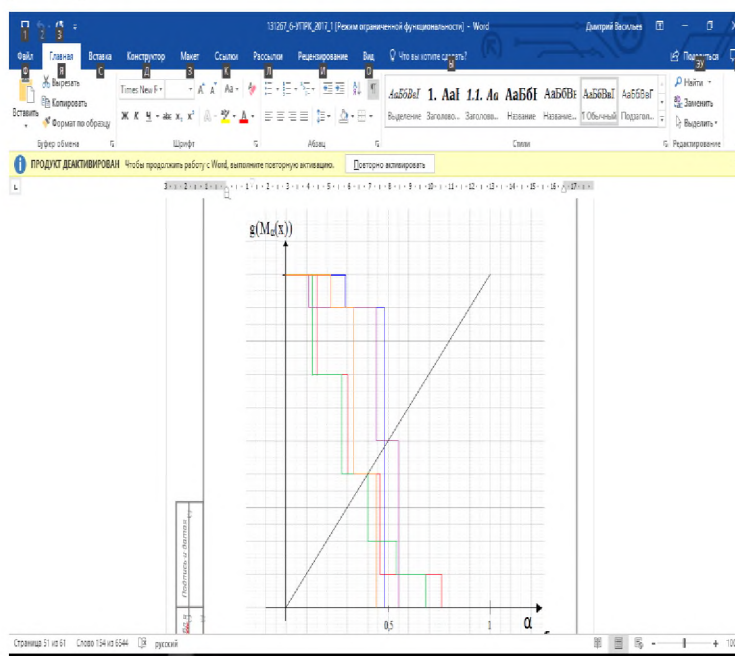


Рисунок 1 – Графическая интерпретация процедуры оценивания

Литература

1. Васильев Д.А. Подход к планированию ремонтных промышленного оборудования на основе нечеткой сетевой модели // Д.А. Васильев, А.Ю. Шабельникова / Анализ, синтез и управление в сложных системах: Сб. науч. тр. Саратов, 2011. С. 45–52
2. Тэрано Т. Прикладные нечеткие системы / Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно. М.: Мир, 1993. 368 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ МУЛЬТИСТАБИЛЬНОСТИ В СИСТЕМАХ С ЗАПАЗДЫВАЮЩЕЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Волошкин Д.А.^{1,2}, Балакин М.И.¹

¹ Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, balakinmaxim@gmail.com,

² ОАО «Радиотехнический институт имени академика А.Л. Минца»,
Россия, Саратов, denisvoloshkin@gmail.com

Аннотация. Проведено экспериментальное исследование влияния вариации запаздывания на особенности формирования мультистабильных состояний. Показаны зоны генерации, области возникновения сложных колебаний и мультистабильных состояний.

Ключевые слова: Запаздывание, мультистабильность, анализ устойчивости, бифуркации, сложная динамика.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF MULTISTABILITY FORMATION PECULIARITIES IN SYSTEMS WITH DELAYED FEEDBACK

Denis Voloshkin^{1,2}, Maksim Balakin¹

¹ Yuri Gagarin state technical university of Saratov,
Saratov, Russia, balakinmaxim@gmail.com

² Academician A.L. Mints Radiotechnical Institute
Saratov, Russia, denisvoloshkin@gmail.com

Abstract. An experimental study of the influence of the delay variation on the features of the formation of multistable states is carried out. Generation zones, areas of complex dynamics and multistable states are shown.

Keywords: Delay, multistability, stability analysis, bifurcations, complex dynamics.

Автоколебательные системы с запаздыванием играют большую роль во многих областях науки и техники: радиофизике, нелинейной оптике, биологии, медицине, экономике, статистике. Из проведенных ранее исследований хорошо известно, что введение запаздывания в систему становится причиной возникновения областей управляющих параметров, в которых в зависимости от выбора начальных условий могут наблюдаться несколько колебательных режимов, то есть, формируется мультистабильность [1]. В данной работе проведено теоретическое и экспериментальное исследование формирования мультистабильности и сложной динамики в генераторе с запаздывающей обратной связью. Основные выявленные закономерности проверены экспериментально.

Литература

1. Балакин М.И., Рыскин Н.М. Бифуркационный механизм формирования развитой мультистабильности в осцилляторе ван дер Поля с запаздывающей обратной связью // Нелинейная динамика. 2017. Т. 13. № 2. С. 151-164.

ЭВОЛЮЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ МАРШРУТИЗАЦИИ ТРАНСПОРТА С УЧЕТОМ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ

Гаврилова Т.С., Галина Р.Р., Михайлова А.Н.

*Башкирский государственный педагогический университет имени М.Акмиллы,
Россия, Уфа, reginaradikovna28@mail.ru*

Аннотация. Предложен эволюционный алгоритм для решения задачи маршрутизации транспорта с учетом грузоподъемности. Используются различные варианты процедуры мутации. Алгоритм целесообразно использовать в оптимизационном ядре транспортной информационной системы.

Ключевые слова: транспортная сеть; маршрутизация; эволюционный алгоритм; информационная система.

EVOLUTIONARY ALGORITHM FOR SOLVING THE PROBLEM OF TRANSPORT ROUTING TAKING INTO ACCOUNT THE LOAD BEARING CAPACITY

Gavrilova T.S., Galina R.R., Mikchailova A.N.

Bashkir State Pedagogical University named after M.Akmulla, Russia, Ufa, reginaradikovna28@mail.ru

Abstract. We offer an evolutionary algorithm for solving the transport routing taking into account the load bearing capacity. Different variants of the mutation process are used. The above algorithm is worthwhile to use in the optimization core of the transport information system.

Keywords: transport network; routing; evolutionary algorithm; information system.

Решение задачи маршрутизации транспорта с учетом грузоподъемности имеет широкое практическое применение при обеспечении информационной поддержки грузопотоков. Разработка эффективных алгоритмов решения позволяет рационально использовать ресурсы и оптимизировать расходы транспортной логистики. Включение подобных алгоритмов в интеллектуальные транспортные и телекоммуникационные системы является актуальным вопросом, и составляет одно из направлений стратегии научно-технологического развития РФ (Указ Президента РФ от 01.12.2016 N 642). Логистические задачи маршрутизации характеризуются большим объемом информации, соответствующей транспортной сети, и для расчета маршрутов минимальной длины в режиме реального времени не всегда возможно использовать точные оптимизационные алгоритмы, т.к. время расчета может занять несколько часов. А метаэвристические алгоритмы хорошо себя зарекомендовали с точки зрения скорости и качества решения. Для расчетов в транспортных информационных системах предлагается использовать эффективные и быстрые модификации эволюционного алгоритма.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ СВЯЗАННОСТИ МЕЖДУ ВНУТРИЧЕРЕПНЫМИ ОТВЕДЕНИЯМИ ЭЭГ КОРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА КРЫС ПРИ АБСАНСНОЙ ЭПИЛЕПСИИ

Грищенко А.А.¹, Сысоев И.В.¹, ван Рейн К.М.²

¹*Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени
Н.Г. Чернышевского, Саратов, Россия,*

²*Радбод университет Неймеген, Дондерс институт, Неймеген, Нидерланды, vili_von@mail.ru*

Аннотация. В настоящей работе внутричерепные записи из лобной и теменной коры мозга крыс–моделей абсансной эпилепсии исследованы с помощью функции взаимной информации в скользящем временном окне. Полученные оценки мер связанности подвергнуты статистическому анализу на значимость с помощью суррогатных данных.

Ключевые слова: эпилепсия, электроэнцефалография, функция взаимной информации, суррогатные данные.

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR ASSESSING THE RELATIONSHIP BETWEEN INTRACRANIAL LEADS OF THE EEG OF THE RAT CEREBRAL CORTEX DURING ABSENCES EPILEPSY

Grishchenko A.A.¹, van Rijn C.M.², Sysoev I.V.^{1,3}

¹*Saratov State University, Saratov, Russia,*

²*Radboud University Nijmegen, Donders Institute, Nijmegen, the Netherlands,*

³*Saratov Branch of V.A. Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics of RAS, Saratov, Russia,
vili_von@mail.ru*

Abstract. In this study, the intracranial recordings from the frontal and parietal areas of cortex are investigated with a mutual information function in a sliding time window. The coupling estimates obtained were subjected for statistical analysis for significance using surrogate data.

Keywords: epilepsy, electroencephalography, mutual information function, surrogate data.

Исследование связанности по сигналам электромагнитной активности мозга – один из наиболее продуктивных подходов к изучению эпилепсии в настоящее время. Часто исследования производят на животных–моделях, так как в таком случае появляется возможность снимать внутричерепные данные, избавляясь от помех, вызванных черепом.

Функция взаимной информации представляет собой нелинейную меру ненаправленной связанности между двумя сигналами (в данной работе исследовались пары ЭЭГ между теменной, лобной и затылочной корой больших полушарий, а также гиппокамп), часто используемую для анализа ЭЭГ во время сна [1] и эпилепсии [2, 3]. Существуют несколько подходов к расчету функции взаимной информации. Мы использовали современный подход [4], основанный на учёте ближайших соседей и предъявляющий наименьшие требования к объему данных, что важно при исследовании нестационарных по природе физиологических сигналов.

Далее для тестирования результатов на значимость строились суррогатные временные ряды для каждого животного отдельно путём перестановки реализаций [5]. Брали по 28 разрядов у каждой крысы. Результат получали для шести интервалов: фоновая активность, преиктальная активность, начало разряда, поддержание разряда, окончание разряда, две секунды после разряда

Результат для всех пар отведений представлен на рисунке 1. Синяя линия – реальные данные, а красная – суррогатная. Справа на график представлено, сколько точек являются значимыми. Наиболее выражена связанность между лобною (моторная) и теменной (соматосенсорная) областями коры, что соответствует анатомическим представлениям. Эта связь сильна как до, так и во время, и после разряда. Затылочная кора вовлекается в разряд, что видно по увеличению связанности (похожести) сигналов. Однако степень вовлечения не столь велика, как у лобной и теменной коры, что подтверждается на записях: колебания имеют меньшую амплитуду и более сглаженную форму. Гиппокамп практически не вовлекается в разряд, что соответствует общим представлениям и результатам работы [3].

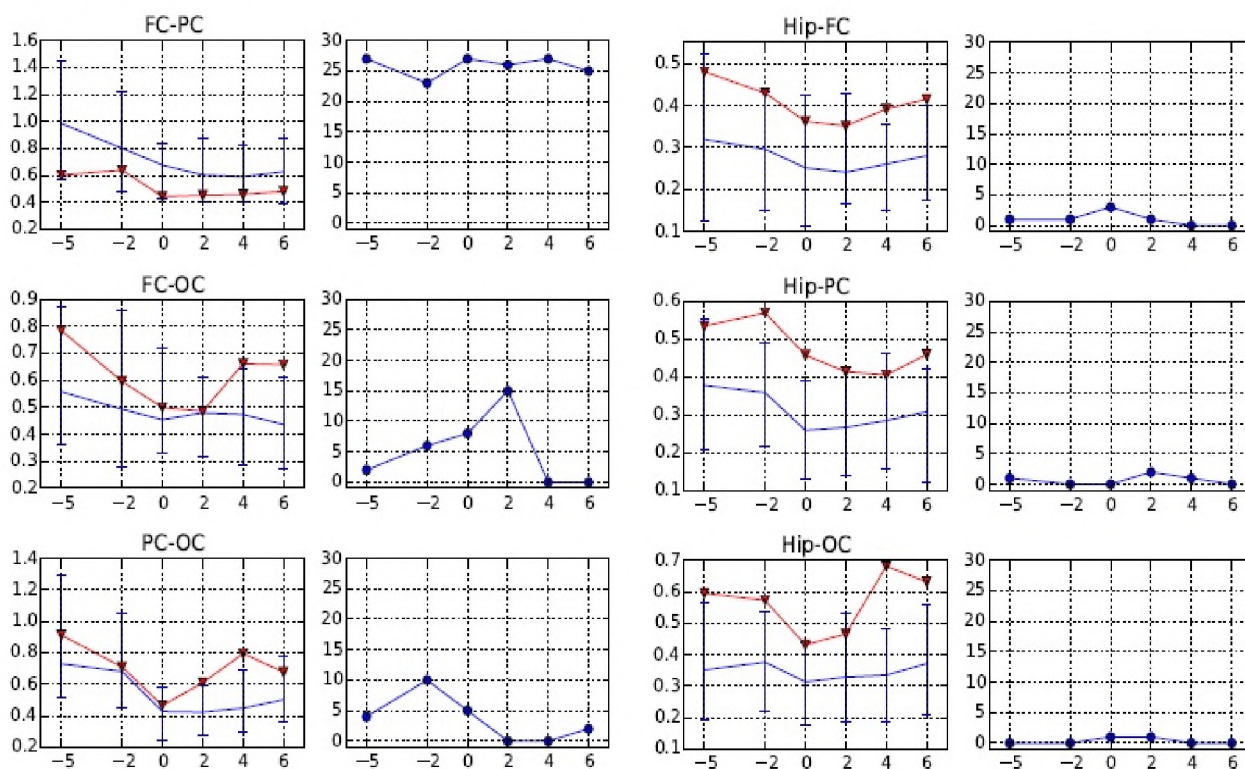


Рисунок 1 – Полученные результаты для всех пар отведений. Hip – гиппокамп; FC – лобная доля; PC – теменная доля; OC – затылочная доля.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 17-02-00307 и Стипендии Президента для поддержки молодых учёных СП-1510.2015.4.

Литература

1. Rajendra Acharya U., Oliver Faust, N. Kannathal, TjiLeng Chua, Swamy Laxminarayan. Non-linear analysis of EEG signals at various sleep stages //

Computer Methods and Programs in Biomedicine, Volume 80, Issue 1, 2005, Pages 37–45.

2. M.V.Sysoeva, A. Lüttjohann, G. van Luijtelaar and I.V. Sysoev. Dynamics of directional coupling underlying spike-wave discharges // Neuroscience. V. 314. 2016 P. 75–89.

3. Marina V. Sysoeva, Lyudmila V. Vinogradova, Galina D. Kuznetsova, Ilya V. Sysoev, Clementina M. van Rijn. Changes in corticocortical and corticohippocampal network during absence seizures in WAG/Rij rats revealed with time varying Granger causality // Epilepsy & Behavior, 2016, V. 64, P. 44–50.

4. Kraskov, A., Stögbauer, H., Grassberger, P. Estimating mutual information // Phys. Rev. E. 2004, Vol. 69, 066138.

5. J. Theiler, S. Eubank, A. Longtin, B. Galdrikian, and J.D. Farmer. Testing for nonlinearity in time series: the method of surrogate data // Physica D, 1992 V. 58. P. 77–94.

УДК 537.86, 57.087, 612.82

ДИНАМИКА ПАТТЕРНОВ СИГНАЛА ЭЭГ В ПРОЦЕССЕ ВОСПРИЯТИЯ БИСТАБИЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Грубов В.В.¹, Максименко В.А.², Руннова А.Е.³, Писарчик А.Н.⁴

¹ Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, vvgrubov@gmail.com,

² Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, maximenkovl@gmail.com,

³ Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, anefila@gmail.com,

⁴ Центр биомедицинских технологий Технического университета Мадрида,
Испания, Мадрид, alexander.pisarchik@ctb.upm.es

Аннотация. В работе было проведено исследование процессов восприятия бистабильных изображений (куб Неккера) в мозгу человека. Был разработан дизайн и проведен ряд экспериментов по предъявлению добровольцам визуальных стимулов и записи отклика их мозга в виде сигналов ЭЭГ. Полученные сигналы ЭЭГ были исследованы с помощью методов на основе вейвлет-анализа. Анализ показал, что восприятию бистабильных изображений соответствуют определенные паттерны ЭЭГ-активности, которые также зависят от мотивированности добровольца и сложности визуального стимула.

Ключевые слова: визуальное восприятие; бистабильные изображения; куб Неккера; ЭЭГ; паттерны ЭЭГ; непрерывное вейвлетное преобразование; частотные диапазоны сигнала ЭЭГ.

THE DYNAMICS OF EEG PATTERNS IN THE PROCESS OF BISTABLE IMAGE PERCEPTION

Vadim Grubov¹, Vladimir Maksimenko², Anastasiya Runnova³, Alexander Pisarchik⁴

¹ Yuri Gagarin state technical university of Saratov,
Saratov, Russia, vvgrubov@gmail.com,

² Yuri Gagarin state technical university of Saratov,
Saratov, Russia, maximenkovl@gmail.com,

³ Yuri Gagarin state technical university of Saratov,

Abstract. Studying of processes of bistable image perception in human brain was carried out in the paper. The design was developed and number of experiments were performed on demonstrating visual stimuli to volunteers and recording their brain response as EEG signals. Acquired EEG signals were studied with methods based on wavelet-analysis. Analysis showed that there are certain patterns of EEG activity corresponded to perception of bistable images, and these patterns depend on motivation level of volunteer and complexity of visual stimulus.

Keywords: visual perception; bistable images; Necker cube; EEG; EEG patterns; continuous wavelet transform; frequency ranges of EEG signal.

Введение (Introduction)

Головной мозг часто рассматривается как сложная сетевая структура, состоящая из множества взаимодействующих элементов (нейронов), чья кооперативная динамика приводит к возникновению различных состояний головного мозга, включая разнообразные типы когнитивной активности: обработку информации, формирование памяти, ориентирование в пространстве и т.д. [Buzsaki, G. (1989) *Neuroscience*, 31(3), pp. 551–570; Cichy, R. M., Khosla, A., Pantazis, D., Torralba, A., Oliva, A. (2016) *Sci. Rep.*, 6, 27755]. Процесс обработки информации в мозге включает получение информации (восприятие), ее анализ и формирование отклика мозга на полученную информацию. Таким образом, восприятие, особенно визуальное, играет важную роль при анализе мозгом внешних данных и когнитивной деятельности. Визуальное восприятие и соответствующие ему процессы часто исследуются при помощи бистабильных изображений [Leopold, D. A., Logothetis, N. K. (1999) *Trends in Cognitive Sciences*, 3(7), pp. 254–264]. В настоящей работе была исследована активность мозга, соответствующая восприятию бистабильных изображений, а также был проведен анализ ее особенностей.

Основная часть

В ходе исследования был разработан дизайн эксперимента по предъявлению испытуемому бистабильных визуальных стимулов и проведен ряд экспериментов для группы добровольцев. В качестве бистабильного изображения был использован куб Неккера [Necker, L. A. (1832) *Philos. Mag.*, 3, pp. 329–343] – изображение плоской проекции трехмерного куба с прозрачными гранями и видимыми ребрами. Благодаря особому расположению граней куба данная проекция может быть воспринята испытуемым как ориентированная в одну из двух сторон: «левую» (см. рисунок 1а) или «правую» (см. рисунок 1е). Изменяя интенсивность центральных граней куба I, можно изменять сложность предъявляемого бистабильного визуального стимула (см. рисунок 1). В ходе эксперимента испытуемому в случайном порядке предъявлялись кубы Неккера с различным значением параметра I.

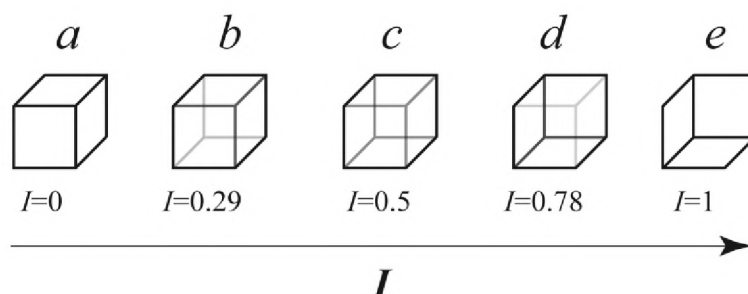


Рисунок 1 – Примеры кубов Неккера с различным значением интенсивности центральных граней. Здесь I – интенсивность левых трех центральных граней куба, $1-I$ – интенсивность правых трех центральных граней, $I \in [0, 1]$.

В качестве метода для исследования активности мозга в настоящей работе была выбрана электроэнцефалограмма (ЭЭГ), которая записывается посредством установки на кожу головы электродов [Niedermeyer, E., Fernando, L.S. (2004) *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields*, Lippincott Williams & Wilkins]. Сигнал ЭЭГ представляет собой усредненную сумму токов, генерируемых группой нейронов в области электрода. Сигнал ЭЭГ имеет набор характерных частотных диапазонов (альфа, бета, дельта и т.д.), которые представляют интерес при исследовании различных состояний организма и мозга, в том числе при исследовании визуального восприятия бистабильных изображений.

Для исследования сигналов ЭЭГ был применен непрерывный вейвлет-анализ на базе Морле-вейвлета [Hramov, A.E., Koronovskii, A.A., Makarov, V.A., Pavlov, A.N., Sitnikova, E. (2015) *Wavelets in Neuroscience*, Springer Series in Synergetics, Springer, Heidelberg, New York, Dordrecht, London]. В ходе исследования для сигналов ЭЭГ была рассчитана мгновенная энергия вейвлетного преобразования W , которая затем была усреднена по характерным для ЭЭГ частотным диапазонам альфа, бета и дельта ($\langle W_{\alpha, \beta, \delta} \rangle$).

В ходе исследования процесс восприятия каждого отдельного стимула был разделен на три фазы: до предъявления стимула (I), непосредственно во время предъявления (II), после предъявления (III). Для каждой из фаз рассматривались соотношения усредненных энергий ($\langle W_{\alpha, \beta, \delta} \rangle$).

Было обнаружено, что в момент восприятия бистабильного стимула (фаза II) происходит заметное снижение значений энергии $\langle W_{\alpha} \rangle$ и $\langle W_{\delta} \rangle$ по сравнению с энергией в фазе I, в то время как в диапазоне β энергия наоборот увеличивается. После восприятия стимула (фаза III) значения энергии в диапазонах α и δ снова увеличиваются, а в диапазоне β энергия снижается. Такая сложная динамика в трех диапазонах частот на ЭЭГ была связана с процессом восприятия бистабильных визуальных стимулов (события 1-го типа, см. рисунок 2а).

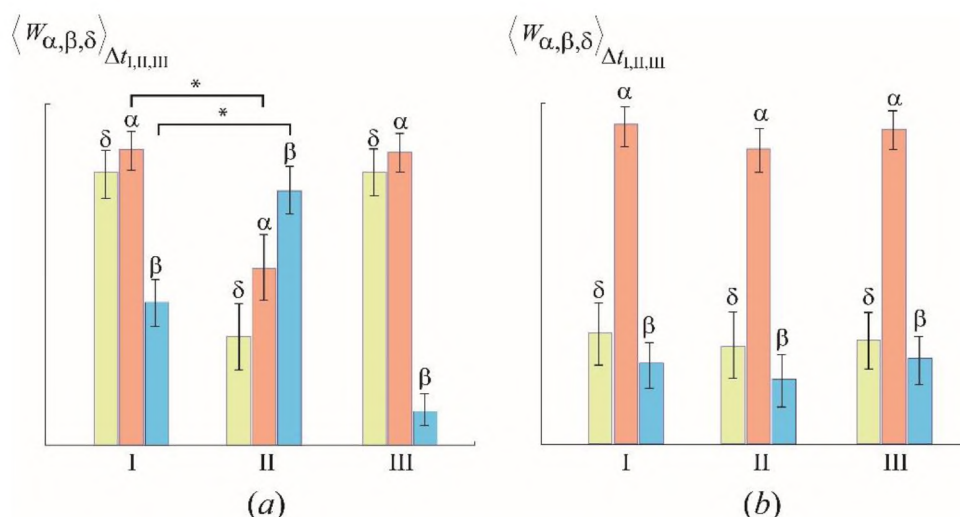


Рисунок 2 – Соотношение усредненных энергий $\langle W_{\alpha,\beta,\delta} \rangle$ в фазах восприятия I, II и III для событий 1-го (a) и 2-го типов (b).

Однако было также показано, что существует и другой сценарий восприятия бистабильного стимула (события 2-го типа, см. рисунок 2b), когда энергия в диапазонах α , β и δ остается практически неизменной на протяжении фаз I, II и III. Было выдвинуто предположение, что существование двух сценариев восприятия связано со степенью концентрации внимания испытуемого в момент восприятия: в событии 1-го типа концентрация внимания высокая, в событии 2-го типа – низкая. Был проведен дополнительный эксперимент, в котором приняли участие две группы испытуемых: в первую группу входили оплачиваемые участники, тем самым заинтересованные в результате эксперимента, вторая группа состояла из неоплачиваемых добровольцев. В данном эксперименте было показано, что у участников первой группы процент событий 1-го типа составляет более 80%, в то время как у участников второй группы не превышает 65%.

Также был проведен дополнительный эксперимент, разделенный на две сессии: в ходе первой сессии испытуемому демонстрировались стимулы с низкой степенью неоднозначности ($I \sim 0$, $I \sim 1$), в ходе второй – с высокой степенью неоднозначности ($I \sim 0.5$). Было показано, что в первой сессии процент событий 1-го типа составляет около 60%, во второй – не более 40%, что означает зависимость степени концентрации внимания от сложности задания.

УДК 530.182

МОДЕЛЬ ЦЕНТРАЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА РИТМА, ОСНОВАННАЯ НА СИСТЕМЕ ДВУХ СВЯЗАННЫХ ДВУМОДОВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Гулай А.П.¹, Астахов С.В.²

¹ Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов, gulai.artem@gmail.com

² Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов, s.v.astakhov@icloud.com

Аннотация. Предложена простая модель центрального генератора ритма, в основе которой лежит система двух связанных двумодовых генераторов. Бифуркационный анализ системы позволил установить области пространства параметров с различным устройством фазового пространства. Показано, что в системе реализуются два сценария формирования мультистабильности.

Ключевые слова: центральный генератор ритма, колебания, бифуркации, двумодовый генератор, мультистабильность.

A MODEL OF CENTRAL PATTERN GENERATOR BASED ON THE SYSTEM OF TWO COUPLED TWO-MODE GENERATORS

Artem Gulai¹, Sergey Astakhov²

¹ Yuri Gagarin state technical university of Saratov,
Saratov, Russia, gulai.artem@gmail.com

² Saratov State University, Saratov, Russia, s.v.astakhov@icloud.com

Abstract. A simple model of central pattern generator based on the system of two coupled two-mode generators is offered. Bifurcation analysis allowed us to determine regions of parameter space with different phase space structure. It has been shown that there are two scenarios of multistability formation in the system.

Keywords: central pattern generator, oscillations, bifurcations, two-mode generator, multistability.

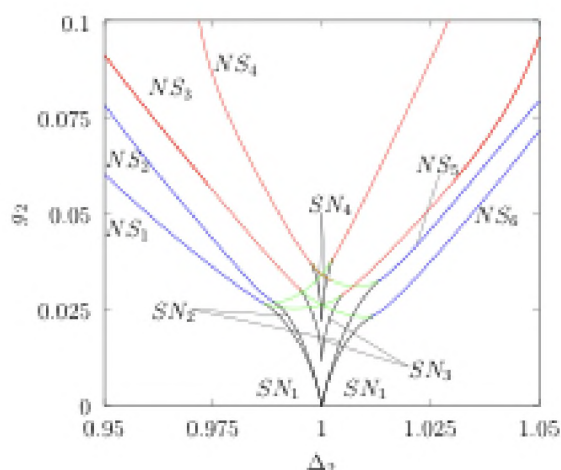
Центральный генератор ритма – система, генерирующая ритмически упорядоченные моторные сигналы без обратной связи. Существуют различные подходы к созданию центральных генераторов ритма для робототехнических систем. В основе ЦГР могут лежать connectionist models, vector maps, spiking neural network models and systems of coupled oscillators.

В нашей работе рассматривается достаточно простая модель центрального генератора ритма, в основе которой лежит система двух связанных осцилляторов ван дер Поля с дополнительными контурами. Такой выбор обусловлен двумя причинами. Во-первых, в парциальной системе реализуется режим бистабильности при малой отстройке частоты контура от частоты генератора. Следовательно, в связанных системах следует ожидать реализацию развитой мультистабильности. Во-вторых, для этой системы может быть изготовлена натурная модель с использованием элементной базы радиоэлектроники.

Математическая модель системы записывается в виде следующей системы обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned}\ddot{x}_1 &= (\varepsilon - x_1^2)\dot{x}_1 - \omega_1^2 x_1 + \gamma_1 \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_2 &= -2\beta_2 \dot{x}_2 - (\omega_1 \Delta_1)^2 x_2 + \gamma_1 \ddot{x}_1 + \gamma_2 \ddot{x}_3, \\ \ddot{x}_3 &= -2\beta_3 \dot{x}_3 - (\omega_4 \Delta_2)^2 x_3 + \gamma_2 \ddot{x}_2 + \gamma_3 \ddot{x}_4, \\ \ddot{x}_4 &= (\varepsilon - x_4^2)\dot{x}_4 - \omega_4^2 x_4 + \gamma_3 \ddot{x}_3\end{aligned}$$

Целью работы является бифуркационный анализ структуры пространства параметров системы, выявление различных динамических режимов, а также сценариев их формирования.



В результате исследований получена следующая бифуркационная диаграмма, демонстрирующая разбиение пространства параметров на области с различным устройством фазового пространства, а следовательно, различными динамическими режимами, реализуемыми в парциальных системах. На ней можно выделить области значений параметров, при которых в фазовом пространстве системы существуют различные предельные циклы, которые соответствуют колебаниям генераторов с различным сдвигом фаз. Формирование режима мультистабильности происходит в соответствии с двумя сценариями. Первый связан с седло-узловой бифуркацией предельных циклов и суперкритической бифуркацией Неймарка-Сакера, второй — с последовательностью бифуркаций Андронова-Хопфа и субкритической бифуркации Неймарка-Сакера.

СОСУЩЕСТВУЮЩИЕ ПРЕДЕЛЬНЫЕ ЦИКЛЫ В КОЛЬЦЕ ОДНОНАПРАВЛЕННО СВЯЗАННЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ ТОДЫ С ГАРМОНИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

Дворак А.А., Половинкин Д.В.

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, dvorakaa@sstu.ru,*

Аннотация. В данной работе исследованы области сосуществующих предельных циклов в системе однонаправленно связанных осцилляторов Тоды с внешним воздействием на плоскости параметров частота и амплитуда внешнего воздействия. Определены бифуркации предельных циклов, происходящие с ростом амплитуды воздействия.

Ключевые слова: связанные осцилляторы; нелинейный резонанс; мультистабильность; бифуркации.

COEXISTING LIMIT CYCLES IN THE RING OF UNIDIRECTIONALLY COUPLED TODA OSCILLATORS WITH HARMONIC EXCITATION

A. Dvorak, D. Polovinkin

*Yuri Gagarin state technical university of Saratov,
Saratov, Russia, dvorakaa@sstu.ru,*

Abstract. For the system of unidirectionally coupled Toda oscillators with external force regions of coexisting limit cycles on the plane of parameters frequency and amplitude of external force are investigated. Bifurcations of limit cycles which occur with growth of external force amplitude are found.

Keywords: coupled oscillators; nonlinear resonance; multistability; bifurcations.

Уравнения исследуемой системы имеют вид:

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= y_1, \\ \dot{y}_1 &= 1 - \exp(x_1) - \alpha y_1 + \gamma H(x_3) + F \sin(\omega t), \\ \dot{x}_2 &= y_2, \\ \dot{y}_2 &= 1 - \exp(x_2) - \alpha y_2 + \gamma H(x_1), \\ \dot{x}_3 &= y_3, \\ \dot{y}_3 &= 1 - \exp(x_3) - \alpha y_3 + \gamma H(x_2).\end{aligned}\tag{1}$$

Здесь $x_{1,2,3}, y_{1,2,3}$ – динамические переменные осцилляторов, α – коэффициент диссипации (во всех экспериментах имеет фиксированное значение $\alpha = 0.1$), γ – коэффициент однонаправленной связи, F, ω – амплитуда и частота внешнего воздействия, $H(x) = \exp(x) - 1$ – функция связи.

Для системы (1) на плоскости параметров частота и амплитуда внешнего воздействия возле собственной частоты осциллятора найдены три области сосуществующих предельных циклов, образующихся за счет явления нелинейного резонанса. Циклы в различных областях характеризуются различными соотношениями амплитуд и фазовых сдвигов колебаний отдельных осцилляторов. С ростом амплитуды внешнего воздействия данные циклы претерпевают бифуркации удвоения периода и Неймарка-Сакера.

УДК 530.182, 621.373.826

ИНДУЦИРОВАННАЯ ШУМОМ ПЕРЕМЕЖАЕМОСТЬ В ЛЕГИРОВАННОМ ЭРБИЕМ ОПТОВОЛОКОННОМ ЛАЗЕРЕ: ТЕОРИЯ И ЧИСЛЕННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Журавлев М.О.¹, Короновский А.А.¹, Москаленко О.И.¹

¹ Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского,
Россия, Саратов, zhuravlevmo@gmail.com,

² Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, zhuravlevmo@gmail.com,

Аннотация. Разработана теория перемежаемости в бистабильных динамических системах, находящихся под внешним шумовым воздействием. Получены теоретические закономерности, описывающие данный тип перемежаемости, а именно распределение длительности пребывания исследуемой системы вблизи устойчивого положения равновесия. Предложенная теория была применена к модельной бистабильной системе и легированному эрбием оптоволоконному лазеру, получено хорошее соответствие теории и численных результатов.

Ключевые слова: перемежаемость; мультистабильность; шум; колебательный режим; легированной эрбием оптоволоконный лазер.

NOISE-INDUCED INTERMITTENCY IN ERBIUM-DOPED FIBER LASER: THEORY AND NUMERICAL EXPERIMENT

M.O. Zhuravlev¹, A.A. Koronovskii¹, O.I. Moskalenko¹

¹ *Saratov State University, Saratov, Russia, zhuravlevmo@gmail.com,*

² *Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Saratov, Russia, zhuravlevmo@gmail.com,*

Abstract. Theory of intermittency taking place in bistable dynamical systems subjected to additional noise influence have been proposed. The main characteristic of intermittency namely the residence time distribution for both coexisting regimes has been obtained analytically and numerically. The proposed theory has been applied to bistable energy model and erbium-doped fiber laser with two coexisting periodic orbits.

Keywords: intermittency; multistability; noise; oscillation regimes; erbium-doped optical fiber laser.

Изучение явления мультистабильности является одной из фундаментальных физических задач, в первую очередь это связано с тем, что данное явление можно наблюдать почти во всех областях науки и техники, в том числе в электронике [1], оптике [2], механике [3] и биологии [4]. При этом, впервые термин «мультистабильность» был введен в работе, посвященной изучению зрительному восприятию [5]. Для диссипативных систем мультистабильность означает одновременное существование нескольких возможных конечных устойчивых состояний (аттракторов) при фиксированном наборе значений параметров системы. Устойчивое состояние, к которому стремится система, зависит от начальных условий, т.е. долгосрочная динамика системы, соответствующая одному из устойчивых состояний, определяется ее начальными условиями. При этом бассейны притяжения аттракторов мультистабильных систем могут иметь достаточно сложную геометрическую структуру, иногда даже фрактальную [6].

Следует отметить, что область сосуществования многих устойчивых состояний является критической, потому что малый шум или любое другое внешнее возмущение может приводить к переключению системы из одного устойчивого состояния в другое, что в свою очередь приводит к возникновению перемежающегося поведения, индуцированного шумом. Стоит подчеркнуть, что мультистабильные состояния являются вполне характерными для широкого круга реальных систем [5, 7]. При этом достаточно часто встречается ситуация, когда реальные системы подвержены влиянию шумов и флуктуаций, которые могут быть как неотъемлемой составляющей динамики изучаемых систем, так и обусловленными внешними воздействиями [8]. Таким образом, наличие мультистабильности в таких системах в сочетании с флуктуациями и шумами может приводить к тому, что мультистабильные системы могут стать метастабильными, поскольку шумы будут постоянно переводить систему из одного сосуществующего состояния в другое. Такое индуцированное шумом переключение между аттракторами будет приводить к возникновению

перемежающегося поведения в реальных системах [10], причем такой тип поведения оказывается вполне типичным для мультистабильных систем [11].

Тем не менее, несмотря на значительный интерес со стороны исследователей к изучению мультистабильности и перемежаемости, в настоящий момент времени остается нерешенным вопрос, связанный с детальным пониманием процессов, происходящих в мультистабильных системах при воздействии на них шумов, и теоретическим описанием возникающего при этом перемежающегося поведения. В частности, в настоящий момент времени не существует общей теоретической модели, описывающей данный тип поведения.

Настоящая работа посвящена разработке общей теоретической модели, описывающей индуцированное шумом перемежающееся поведение в мультистабильных системах. В рамках данной работы предложенная теоретическая модель прошла апробацию на примере двух модельных систем, демонстрирующих индуцированную шумом перемежаемость. Первой модельной системой является бистабильная система, находящаяся под внешним шумовым воздействием. В качестве второй системы для исследований в рамках данной работы был выбран легированный эрбием оптоволоконный лазер с модулируемым параметром [12]. При этом получено хорошее соответствие между численными результатами и теоретическими закономерностями.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 16-32-60078).

Литература

1. J. Maurer, A. Libchaber, // J. Phys. Lett. (Paris) 1980. V. 41. P. 515–L518.
2. E. Brun, et. al. // Opt. Soc. Amer. 1985. B. 2 P. 156–167.
3. J.M.T. Thompson, H.B. Stewart, Nonlinear Dynamics and Chaos, Wiley, Chichester, 1986.
4. J. Foss, et. al. // Phys. Rev. Lett. 1996. V. 76 P. 708–711.
5. F. Atteneave, // Sci. Am. 1971 V. 225 P. 63–71.
6. C. Grebogi, et. al. // Phys. Rev. Lett. 1983. V. 50. № 13. P. 935-938.
7. F. C. Moon, G.-X. Li // Phys. Rev. Lett. 1985. V. 55. № 14. P. 1439-1442.
8. F.T. Arecchi, et. al. // Phys. Rev. Lett. 1982. V. 49 P. 1217–1220.
9. A. Neiman, D.F. Russell // Phys. Rev. Lett. 2002. V. 88 P. 138103.
10. M. Kuno, et. al. // J. Chem. Phys., 2000. V. 112 P. 3117.
11. I. Siddiqi, et. al. // Phys. Rev. Lett., 2005. V. 94 P. 027005.
12. Pisarchik A. N., et. al. // J. Opt. Soc. Am. B 22, 2107 (2005)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕМЕЖАЮЩЕГОСЯ ПОВЕДЕНИЯ, ВОЗНИКАЮЩЕГО В ГИПОТАЛАМУСЕ ГРЫЗУНОВ

Журавлев М.О.¹, Короновский А.А.¹, Москаленко О.И.¹

¹ Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского,
Россия, Саратов, zhuravlevmo@gmail.com,

² Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, hramovae@gmail.com,

Аннотация. В рамках настоящей работы был проведен спектральный анализ активности локальных полевых потенциалов генераторов в левом и правом гиппокампах крыс. Установлено, что между правым и левым гиппокампами грызунов наблюдается перемежающееся поведение, которое проявляется в чередовании участков синхронной и асинхронной динамики. В работе представлено статистическое исследование данного типа перемежаемости.

Ключевые слова: перемежаемость; синхронизация; непрерывное вейвлетное преобразование; гиппокамп.

INVESTIGATION OF INTERMITTENT BEHAVIOR OCCURRING IN THE HYPOTHALAMUS OF RODENTS

M.O. Zhuravlev¹, A.A. Koronovskii¹, O.I. Moskalenko¹,

¹ Saratov State University, Saratov, Russia, zhuravlevmo@gmail.com,

² Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Saratov, Russia, zhuravlevmo@gmail.com

Abstract. As part of this work was carried out a spectral analysis of the factors of local field potentials in the left and right hippocampus of rats. It was established that intermittent behavior is observed between the right and left hippocampus of rodents, which manifests itself in the alternation of sites of synchronous and asynchronous dynamics. In this paper, a qualitative study of this type of intermittency.

Keywords: synchronization; intermittency; continuous wavelet transform; hippocampus.

В последнее время все больше внимания со стороны исследователей уделяется изучению перемежающегося поведения [1–4]. В первую очередь такой интерес обусловлен тем, что наличие перемежаемости является характерным для многих модельных нелинейных систем, а также для реальных систем. Необходимо отметить, что в исследованиях данного типа поведения большую роль играют статистические характеристики перемежающегося поведения, такие как распределение длительностей ламинарных и турбулентных фаз в зависимости от управляющих параметров изучаемой системы, зависимость средней длительности ламинарных фаз от параметра надкритичности, так как они позволяют определить, какой тип перемежающегося поведения реализуется в исследуемой системе. Тем не менее, при изучении реальных систем не всегда существует возможность получить на основе уже имеющихся данных необходимые статистические характеристики перемежающегося поведения, для того чтобы определить какой тип перемежаемости реализуется в данном случае. Стоит отметить, что такая ситуация является вполне типичной для реальных систем, что в свою очередь

значительно осложняет понимание процессов, реализующихся в этих системах с фундаментальной точки зрения. Таким образом, в настоящий момент времени существует острая необходимость в создании новой методики, позволяющей на основе достаточно коротких временных реализаций определять тип перемежающегося поведения, которое реализуется в исходной системе. В рамках настоящей работы предложена новая методика для определения типа перемежающегося поведения в исследуемой системе на основе распределения разности фаз между сигналами, аналогично тому как это сделано в работе [5]. При этом, апробацию предложенная методика определения типа перемежающегося поведения прошла на примере данных электрической активности мозга грызунов, находящихся в состоянии покоя (под воздействием общей анестезии).

Необходимо отметить, что исследования, направленные на изучение активности головного мозга [6, 7], с каждым новым годом уделяется все больше внимания со стороны исследователей. В первую очередь такой интерес связан с желанием исследователей понять фундаментальные принципы функционирования головного мозга, а также с возможностью дальнейшего применения полученных знаний для создания интерфейса мозг-машина. При этом необходимо отметить, что над решением этой сложнейшей междисциплинарной задачи в настоящее время работают многочисленные научные коллективы, а также частные компании (например, Google и Honda). Однако, для того чтобы реализовать столь амбициозные задачи необходимо понимание всех процессов, возникающих в головном мозге при решении различного рода задач, с фундаментальных позиций. Одним из многочисленных направлений в изучении активности головного мозга является задача, связанная с изучением процессов, возникающих при когнитивном поведении живого субъекта в реальном мире. В настоящее время известно, что в мозге млекопитающих эта функция контролируется нейронной активностью в гипоталамусе. Таким образом, задача, связанная с изучением осцилляторной активности нейронных ансамблей в гипоталамусе с использованием фундаментальных подходов нелинейной динамики, также представляет значительный интерес.

Как уже было отмечено ранее, в рамках настоящей работы в качестве объекта для апробации методики определения типа перемежающегося поведения выступали грызуны, находящиеся в состоянии покоя (под воздействием общей анестезии). В ходе проведенных исследований была рассмотрена электрическая активность, наблюдающаяся в правом и левом гиппокампах крыс, с использованием непрерывного вейвлетного преобразования с комплексными базисами [8, 9].

Далее было проведено исследование перемежающейся синхронизации колебаний в путях Шаффера, в ходе которого был использован подход для введения мгновенных фаз, основанный на ранее предложенных методах анализа синхронизации на различных временных масштабах [10, 11]. При этом, отличительной особенностью данного метода является то, что мгновенная фаза для исследуемого сигнала вводится не на фиксированном временном масштабе наблюдения, а на «плавающем». При этом, было показано, что разница

мгновенных фаз, соответствующая активности локальных полевых потенциалов генераторов в правой и левой части гиппокампа, демонстрирует перемежающееся поведение, то есть существуют наиболее типичные участки (ламинарная фаза), где разница мгновенных фаз близка к нулю, а также существуют участки, которые встречаются значительно реже (турбулентная фаза), где разница мгновенных фаз значительно больше нуля. Далее с использованием методики основанной на оценке вида распределения разности мгновенных фаз сигналов был определен тип перемежающегося поведения в данной системе. Также, тип перемежающегося поведения в данной системе был определен на основе статистических характеристик, при этом получено полное соответствие между традиционной методикой определения типа перемежаемости и разработанной методикой.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 16-32-00181) и Совета по грантам Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых (проект МК-4574.2016.2).

Литература

1. О.И. Москаленко // Письма в ЖТФ. 2007. Т. 33. В. 19. С. 72–79.
2. A.E. Hramov, et. al. // Phys. Rev. E. 2007. V. 76. N 2. P. 026206.
3. Pikovsky, et. al. // Phys. Rev. E. 1997. V. 79. P. 47.
4. Pikovsky, et. al. // Chaos. 1997. V. 7. P. 680–687.
5. О.И. Москаленко, и др. // Письма в ЖЭТФ. 2016. Т.103. В.8. С.606-610
6. G. Buzsaki, A. Draguhn // Science. 2004. V. 304. P. 1926
7. М.И.Рабинович, М.К.Мюезинолу // Успехи физ.наук.2010. Т.180.С.371
8. А.А. Короновский, А.Е. Храмов Непрерывный вейвлетный анализ и его приложения. М.: Физматлит, 2003
9. Torresani, Continuous Wavelet Transform, Savoire, Paris, 1995
10. М.О. Zhuravlev, et. al. // Phys. Rev. E. 2011. V. 83, P. 027201
11. М.О. Журавлев, и др. // Вестник ННГУ. 2013. В. 1, № 3, С. 196-200

УДК 530.182

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЕГЕТАТИВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ ЧАСТОТЫ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ И АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ

Ишбулатов Ю.М.^{1,2}, Караваев А.С.^{1,2}

¹ Саратовский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
Россия, Саратов, ishbulatov95@mail.ru, karavaevas@gmail.com,

² Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского.,
Россия, Саратов

Аннотация. В работе представлена математическая модель сердечно-сосудистой системы, которая учитывает сложную нелинейную динамику взаимодействия контуров регуляции частоты сердечных сокращений и артериального давления. Предложенная модель воспроизводит основные спектральные, статистические и фазовые свойства реальной системы в покое, во время пассивной ортостатической пробы, во время блокады вегетативной регуляции и при артериальной гипертонии.

Ключевые слова: математическое моделирование; сердечно-сосудистая система; нелинейная динамика; вегетативная регуляция; фазовая синхронизация; артериальная гипертония; пассивная ортостатическая проба.

MATHEMATICAL MODEL OF VEGETATIVE REGULATION OF HEART RATE AND ARTERIAL PRESSURE

Yurii Ishbulatov^{1,2}, Anatoly Karavaev^{1,2}

¹ *Saratov Branch of the Institute of RadioEngineering and Electronics of Russian Academy of Sciences, Saratov, Russia, ishbulatov95@mail.ru, karavaevas@gmail.com*

² *Saratov State University, Saratov, Russia*

Abstract. We propose a mathematical model of cardio-vascular system that takes into account complex nonlinear dynamics of interactions of systems of regulation of heart rate and arterial pressure. Proposed model can reproduce spectral, statistical and phase properties of real system under resting conditions; during passive orthostatic test; blockade of vegetative regulation and arterial hypertension.

Keywords: mathematical modeling; cardio-vascular system; nonlinear dynamics; vegetative regulation; phase synchronization; arterial hypertension; passive orthostatic test.

Введение (Introduction)

Математическое моделирование является важным инструментом изучения сложных, многокомпонентных объектов реального мира, и, в частности, регуляции сердечно-сосудистой системы (ССС) человека. Адекватная математическая модель позволит оценивать значения труднодоступных параметров СССР, проверять имеющиеся фундаментальные гипотезы [1, 2], прогнозировать развитие патологий у пациентов, их реакцию на медицинские препараты и подбирать параметры для методов анализа реальных данных. В настоящее время известно несколько математических моделей СССР, учитывающих совместную динамику контуров регуляции, но лишь в упрощенном и линеаризованном виде. Поэтому данная работа посвящена разработке математической модели СССР, которая учитывает нелинейные свойства контуров регуляции, и сопоставлению разработанной модели с результатами экспериментальных исследований.

Основная часть

В работе представлена математическая модель сердечно-сосудистой системы, которая описывает основной сердечный ритм, нелинейные контуры регуляции частоты сердечных сокращений и артериального давления, учитывает влияние дыхания на процессы регуляции. Благодаря учету

современных представлений о нелинейной, автоколебательной природе контуров регуляции частоты сердечных сокращений и артериального давления удалось добиться лучшего, чем в других похожих моделях, количественного соответствия реальной сердечно-сосудистой системе человека, находящегося в состоянии покоя. Впервые был смоделирован, наблюдаемый нами ранее, эффект синхронизации между контурами регуляции и дыханием с линейно нарастающей частотой, а также динамика сердечно-сосудистой системы в состоянии артериальной гипертонии, во время блокады контуров вегетативной регуляции и в ходе пассивной ортостатической пробы.

Предложенная математическая модель описывает следующие процессы: основной сердечный ритм, нелинейные контуры регуляции частоты сердечных сокращений и артериального давления (АД), учитывает влияние дыхания на регуляцию. В представленной модели удалось качественно улучшить, по сравнению с другими известными моделями, описание здорового испытуемого в покое. Впервые удалось воспроизвести медикаментозную блокаду систем регуляции, пассивную ортостатическую пробу и артериальную гипертонию. Были смулированы, наблюдаемые в наших экспериментах, длительные участки фазовой синхронизации между ритмом дыхания и ритмом контура регуляции ЧСС [3], а также между самими контурами регуляции АД и ЧСС [4-6]. Описанные выше результаты позволяют надеяться на то, что предложенная модель является адекватным отображением реальной системы и может быть в дальнейшем использована для получения фундаментальных знаний, а также развития методов медицинской диагностики.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 14-12-00291.

Литература

1. А.С. Караваев, Ю.М. Ишбулатов, В.И. Пономаренко и др. // Физиология человека. 2017. Т. 43. No. 1. С. 70.
2. А.С. Караваев, В.И. Пономаренко, М.Д. Прохоров и др. // Технологии живых систем. 2007. Т. 4. No. 4. С. 34.
3. Е.И. Боровкова, А.С. Караваев, В.И. Пономаренко и др. // Известия РАН. Серия Физическая. 2011. Т. 75. No. 12. С. 1704.
4. А.Р. Киселев, В.И. Гриднев, А.С. Караваев и др. // Артериальная гипертензия. 2011. Т. 17. No. 4. С. 354.
5. Е.И. Боровкова, А.С. Караваев, А.Р. Киселев и др. // Анналы аритмологии. 2014. Т. 11. No. 2. Р. 129.
6. A.R. Kiselev, A.S. Karavaev, V.I. Gridnev et al. // Russian Open Medical Journal. 2016. V. 5. Iss. 1. P. e0101.

СТРУКТУРА АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА

Коровин А.В., Шершуков Е.П., Давыдов И.С.

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, victoriousbva2@gmail.com*

Аннотация. В данной статье описываются методы создания программной части для антропоморфного робота.

Ключевые слова: программное обеспечение, среда разработки, Arduino, антропоморфный робот.

THE STRUCTURE OF AN ANTHROPOMORFIC ROBOT

Korovin A.V., Shershukov E.P., Davidov I.S.

*Yuri Gagarin state technical university of Saratov,
Saratov, Russia, victoriousbva2@gmail.com*

Abstract. This is report tell about creation method programming paste for anthropomorphic robot.

Keywords: software, IDE (INTEGRATED DEVELOPMENT ENVIRONMENT), Arduino, anthropomorphic robot.

Введение (Introduction)

В современном мире для человека роботы уже не являются чем-то фантастическим. Сейчас практически каждое предприятие роботизировано. Это значит, что всю трудную, опасную и вредную для человека работу выполняют станки и роботы, а люди занимаются творчеством, проектируют изделия, решают экономические вопросы. В недалеком будущем роботы будут заменять человека в других отраслях. Современные высокотехнологичные компании уже проводят исследования по внедрению в нашу жизнь роботов-горничных, роботов-официантов, роботов-медсестер, роботов-секретарей. Такие роботы называются антропоморфными и подразделяются на две категории: андроиды и гуманоиды. Как правило, такие роботы имеют схожее строение с человеком. Имеют «голову», руки, реже ноги. Робот не обязательно является «ходящим», он может быть стационарным или мобильным, например, колесным или гусеничным.

Задачей нашей команды является создание такого антропоморфного робота, «Робота-инфостойки», основная функция которого – навигационная помощь на больших мероприятиях, в которых скапливается большое количество людей. Для реализации этого проекта наша группа поделилась на три отдела: отдел конструкторов, отдел электротехников и отдел программистов.

Основная часть

Работой отдела программистов является создание программной части антропоморфного робота.

Основная задача – программирование платы «Arduino». Ориентация и движение робота в пространстве будет реализована алгоритмами. Так же будет реализована вопросно-ответная система.

Так же задачей отдела программистов является реализация быстрой перенастройки робота при смене обстановки (мероприятия, на котором он будет использоваться).

В качестве инструмента была выбрана официальная среда разработки Arduino, состоящая из встроенного текстового редактора программного кода, области сообщений, окна вывода текста (консоли), панели инструментов с кнопками часто используемых команд и нескольких меню.

Программа, написанная в среде Arduino, называется скетч. Скетч пишется в текстовом редакторе, имеющем инструменты вырезки/вставки, поиска/замены текста. Во время сохранения и экспорта проекта в области сообщений появляются пояснения, также могут отображаться возникшие ошибки. Окно вывода текста(консоль) показывает сообщения Arduino, включающие полные отчеты об ошибках и другую информацию. Кнопки панели инструментов позволяют проверить и записать программу, создать, открыть и сохранить скетч, открыть мониторинг последовательной шины.

Выбор платформы влияет на: параметры (напр.: скорость ЦП и скорость передачи данных), используемые при компиляции и загрузке скетчей и на настройки записи загрузчика микроконтроллера. Некоторые характеристики платформ различаются только по последнему параметру, таким образом, даже при удачной загрузке с соответствующим выбором может потребоваться проверка различия перед записью загрузчика.

УДК 62-55

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОЦЕНКИ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ РОТОРНЫХ СИСТЕМ НА БЕСКОНТАКТНЫХ ОПОРАХ

Космынин А.С., Хвостиков А.С., Щетинин В.С., Ульянов А.В.

*Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, Россия,
Комсомольск-на-Амуре, Knastu@list.ru*

Аннотация. Анализ динамических характеристик и как следовательно определение мероприятий по повышению устойчивости роторных систем происходит на основе анализа передаточных характеристик перемещения ротора от силового воздействия на него. Точность определения передаточной функции зависит от адекватности разложения входного и выходного сигнала. Исследования показывают, что затухающие вибрационные сигналы с наименьшей погрешностью раскладываются в ряды вейвлет-функций.

Ключевые слова: Высокоскоростные роторные системы, бесконтактные опоры, динамические характеристики, точность.

IMPROVING THE ACCURACY OF ESTIMATION OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF HIGH-SPEED ROTOR SYSTEMS TO THE CONTACTLESS BEARINGS

Kosmynin A.V., Khvostikov A.S., Schetin B.S., Ulianov A.V.

*Komsomolsk-na-Amure State Technical University,
Komsomolsk-na-Amure, Russia, knastu@list.ru*

Abstract. Dynamic analysis and hence as the definition of measures to improve the stability of rotor systems is based on analysis of the transfer characteristics of the displacement of the rotor from the power of influence on him. The accuracy of determination of the transfer function depends on the adequacy of the decomposition of the input and output signal. Studies show that damped vibrational signals with the lowest error are arranged in a series of wavelet functions.

Keywords: High speed rotary system, non-contact supports, dynamic characteristics, accuracy.

Традиционной практикой анализа вибрационных сигналов является использование методов, основанных на преобразовании Фурье. Вместе с тем, в диагностике известны и находят применение методы обработки сигналов на основе теории вейвлетов. В настоящей работе впервые предлагается применить вейвлет-преобразование для получения передаточных функций импульсного воздействия, поскольку вейвлет-функции наиболее точно отражают характер импульсного нагружения и, как следствие, требуют меньшее количество элементов ряда разложения.

Измерение виброперемещений бесконтактных подшипников связано с определенными трудностями (амплитуда микроперемещений до 50 нм, частота вращения достигает несколько сот тысяч оборотов в минуту). Учитывая это, была предложена методика измерений нанометровых виброперемещений ротора при низкой динамической инерции, основанная на применении фрактального анализа не имеющая мировых аналогов.

Исследования динамики роторных систем на основе вейвлет-преобразований и фрактального анализа применительно к бесконтактным опорам ротора представлены в весьма ограниченном круге работ, которые не позволяют сделать однозначный вывод о целесообразности применения вейвлет-функций. Помимо этого отсутствуют исследования по анализу эффективности применения вейвлетов при построении передаточных функций импульсного воздействия роторных систем и фрактального анализа, и, в частности, реконструкции аттрактора для получения кривых подвижного равновесия ротора.

КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ЭФФЕКТ МУЛЬТИСТАБИЛЬНОСТИ В МОДЕЛИ ЦЕНТРАЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА РИТМА

Краховская Н.С.¹, Астахов С.В.²

¹ Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, n.krakhovskaya@mail.ru,

² Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов s.v.astakhov@icloud.com

Аннотация. Данная работа посвящена исследованию бифуркационных механизмов в генераторе Ван дер Поля с двумя дополнительными колебательными контурами в цепи обратной связи. Были изучены механизмы формирования мультистабильности и перехода к хаосу. Показано, что такие бифуркационные механизмы позволяют выработать стратегию управления в моделях реализации центрального генератора ритма.

Ключевые слова: Центральный генератор ритма; паттерн нейронной активности; мультистабильность; хаос.

QUASI-PERIODIC OSCILLATIONS AND MULTISTABILITY IN MODELS OF CENTRAL PATTERN GENERATOR

Sergey Astakhov¹, Natalia Krakhovskaya²

¹ Yuri Gagarin state technical university of Saratov,
Saratov, Russia, s.v.astakhov@icloud.com,

² Yuri Gagarin state technical university of Saratov,
Saratov, Russia, n.krakhovskaya@mail.ru

Abstract. This paper is dedicated to study the bifurcation mechanisms of the van der Pol oscillator with two additional feedback loops. Mechanisms of multistability formation and transition to chaos were considered. We show that strategies of central pattern generator can be developed based on these bifurcation mechanisms.

Keywords: Central pattern generator; patterns of neural activity; multistability; chaos.

Фундаментальная роль центрального генератора ритма в производстве моторных команд получает растущее признание. Центральный генератор ритма – это нейронный ансамбль, члены которого совместно генерируют упорядоченную выходную активность, служащую командой для мышц. Координация движений происходит в центральной нервной системе, генерирующей сигналы в соответствии с желаемой траекторией движений. Центральный генератор ритма, формирующий сигналы, представляет собой цепь взаимосвязанных осцилляторов. Каждой траектории движения отвечает определенный набор параметров и определенный коэффициент взаимодействия между осцилляторами. При этом особую важность приобретает явление мультистабильности, которое может быть использовано для быстрого переключения между паттернами активности центрального генератора ритма.

В данной работе мы исследуем достаточно простую динамическую систему – генератор Ван дер Поля с двумя дополнительными колебательными контурами в цепи обратной связи. Данная система описывается следующими дифференциальными уравнениями:

$$\begin{cases} \dot{x} = (1 - 2\gamma^2 p^2)y, \\ \dot{y} = (1 - \gamma^2 p^2)(-y\alpha - x) + p\gamma(-y_1\alpha - px_1) + \gamma^2 p^2[-y_2\alpha - x_2 + (\lambda - x^2\beta)y], \\ \dot{x}_1 = (1 - 2\gamma^2 p^2)y_1, \\ \dot{y}_1 = (-py_1\alpha - p^2x_1) + p^2\gamma[-y\alpha - x - y_2\alpha - x_2 + (\lambda - x^2\beta)y], \\ \dot{x}_2 = (1 - 2\gamma^2 p^2)y_2, \\ \dot{y}_2 = (1 - \gamma^2 p^2)[-y_2\alpha - x_2 + (\lambda - x^2\beta)y] + p\gamma(-y_1\alpha - px_1) + p^2\gamma^2(-y\alpha - x), \end{cases}$$

где y – коэффициент взаимодействия между парциальными системами, p^2 – расстройка собственных частот парциальных систем, α – параметр диссипации и λ – параметр возбуждения.

Мы показываем, что данная система демонстрирует переход к хаосу через последовательность бифуркаций удвоения двумерных торов. Кроме того, в системе реализуется эффект мультистабильности. Выявленные в данной работе бифуркационные механизмы позволяют выработать стратегию управления, обеспечивающую заданные переключения между различными динамическими режимами.

УДК 539.3

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗНОМОДУЛЬНЫХ ФИЗИЧЕСКИ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫХ БАЛОК С УЧЕТОМ ЗАВИСИМОСТИ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ (ТРЕХМЕРНОЕ ПАРАБОЛИЧЕСКОЕ ИЛИ ГИПЕРБОЛИЧЕСКОЕ УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ)

Крысько А.В.^{1,2}, Жигалов М.В.¹, Папкина И.В.¹, Бабенкова Т.В.¹, Крысько В.А.¹

¹ Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, ikravzova@mail.ru, tak@san.ru

²Томский политехнический университет,
Россия, Томск, anton.krysko@gmail.com

Аннотация. В работе построена математическая модель для балок, описываемая кинематической моделью первого приближения с учетом указанных выше свойств и геометрической нелинейности с учетом связанности температурного и деформационного полей. Температурное поле получено из гиперболического или параболического уравнения теплопроводности. Приводятся примеры расчета.

Ключевые слова: балка; температурное поле; хаос; фазовый портрет; Ляпуновские показатели.

MATHEMATICAL MODEL OF PHYSICALLY AND GEOMETRICALLY NON-LINEAR BEAMS WITH DIFFERENT PHYSICAL PROPERTIES, TAKING INTO ACCOUNT THE DEPENDENCE OF MATERIAL PROPERTIES ON TEMPERATURE (THREE-DIMENSIONAL PARABOLIC OR HYPERBOLIC HEAT EQUATION)

Krysko A.V.^{1,2}, Zhigalov M.V.¹, Papkova I.V.¹, Babenkova T.V.¹, Krysko V.A.¹

¹ Yuri Gagarin state technical university of Saratov,
Saratov, Russia, ikravzova@mail.ru, tak@san.ru,

²National Research Tomsk Polytechnic University,
Tomsk, Russian, anton.krysko@gmail.com

Annotation. The mathematical model of beams described by the kinematic model of the first approximation, taking into account the above properties and geometric nonlinearity, as well as the coupling of the temperature and deformation fields is constructed in the paper. The temperature field is obtained from the hyperbolic or parabolic heat conduction equation. Examples of calculation are given.

Keywords: beam; temperature field; chaos; phase portrait; Lyapunov indicators.

Все существующие материалы обладают свойствами, когда модуль упругости и коэффициент Пуассона разные при растяжении и сжатии, причем они существенно зависят от температуры и напряженно-деформируемого состояния. В работе построена математическая модель для балок, описываемая кинематической моделью Эйлера-Бернулли с учетом указанных выше свойств и геометрической нелинейности.

В работе используется гипотезы для разномодульного материала С.А. Амбарцумяна, но с учетом указанных выше свойств. Из вариационного принципа Гамильтона-Остроградского получены дифференциальные уравнения движения гибких балок с учетом связанности полей температуры и деформаций. Температурное поле описывается гиперболическим или параболическим уравнениями теплопроводности.

Для статических задач доказаны теоремы существования решения для математической модели разномодульной теории.

Разработан алгоритм расчета таких задач, в основу которого положен метод конечных разностей 2-ого порядка точности. Задача Коши решается методом Рунге-Кутты. Ограничения на распределение температуры по плану и по толщине балки не накладывается. Исследуется сходимость метода конечных разностей в зависимости от числа узлов. Сопоставляются результаты, полученные разными методами типа Рунге-Кутты. Приводятся примеры расчета.

Работа была проведена при поддержке гранта РФФИ № 16-19-10290.

УДК 539.3

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СЛОИСТЫХ ТРЕХМЕРНЫХ ПЛАСТИНОК С УЧЕТОМ СВЯЗАННОСТИ ПОЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДЕФОРМАЦИИ ДЛЯ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО И ГИПЕРБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Крысько А.В.^{1,2}, Папкова И.В.¹, Крысько В.А.¹

¹*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, Саратов, ikravzova@mail.ru, tak@san.ru,*

²*Томский политехнический университет, Россия, Томск, anton.krysko@gmail.com*

Аннотация. В работе построена математическая модель колебаний трехмерной пластинки с учетом связанности полей температуры и деформаций на основе принципа Гамильтона-Остроградского. Слои пластинки изотропные, но имеют разные тепловые и физические характеристики. В качестве примера рассмотрен расчет слоистой трёхмерной пластины в статической постановке.

Ключевые слова: балка; температурное поле; хаос; фазовый портрет; Ляпуновские показатели.

MATHEMATICAL MODEL OF LAYERED THREE-DIMENSIONAL PLATES WITH THE ACCOUNT OF THE TEMPERATURE AND DEFORMATION FIELDS FOR THE PARABOLIC AND HYPERBOLIC EQUATION OF THERMAL CONDUCTIVITY

Krysko A.B.^{1,2}, Papkova I.V.¹, Krysko V.A.¹

¹ Yuri Gagarin state technical university of Saratov,
Saratov, Russia, ikravzova@mail.ru, tak@san.ru,

² National Research Tomsk Polytechnic University,
Tomsk, Russian, anton.krysko@gmail.com

Annotation. A mathematical model of oscillations of a three-dimensional plate is constructed in the paper, taking into account the coupling of the temperature and deformation fields on the basis of the Hamilton-Ostrogradsky principle. The plate layers are isotropic, but they have different thermal and physical characteristics. As an example, the calculation of a layered three-dimensional plate in a statistical setting is considered.

Keywords: beam; temperature field; chaos; phase portrait; Lyapunov indicators.

В работе построена математическая модель колебаний с учетом связанности полей температуры и деформаций на основе принципа Гамильтона-Остроградского. Слои пластинки изотропные, но имеют разные тепловые и физические характеристики. Связь между напряжениями и деформациями учитывается на основании закона Дюамеля-Неймана. Трехмерное температурное поле описывается параболическим и гиперболическим дифференциальными уравнениями. Построен алгоритм решения таких задач на основе метода конечных разностей второго порядка точности. Наличие в трехмерной пластине ребер, углов, прямой смены краевых условий, а также прямых смены физико-механических параметров свойств материала и точки приложения сосредоточенных механических сил характеризует поверхность параллелепипеда как содержащую особые точки. Аналитическое решение задач связанной теории термоупругости, в описанном выше представлении, в известной литературе отсутствуют. Приближенное решение требует учета особенностей области, занимающей объем пластинки. Большинство исследований в этом направлении решено методом сеток при подходе к особым точкам, измельчая сетку, что приводит к резкому увеличению системы уравнений и, как следствие, увеличению машинному времени на решение задачи, а иногда и к расхождению процесса решения. Избежать указанных трудностей возможно путем построения уравнений в этих особых точках, так называемых условий согласования. Условия согласования являются составной частью системы дифференциальных уравнений, являющейся системой Эйлера для построенного функционала. В работе условия согласования строятся по методике, предложенной в работе В.Б. Андреева и А.А. Самарского. Проведено доказательство, что полученная система имеет погрешность аппроксимации $\theta(h^2)$, как внутри области, так и на

поверхности сопряжения слоев, угловых точках, смены краевых условий. Приводится пример расчета.

Работа была проведена при поддержке гранта РФФИ № 16-19-10290.

УДК 539.3

КОНТАКТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ДВУХСЛОЙНЫХ ОСЕ СИММЕТРИЧНЫХ ОБОЛОЧЕК С УЧЕТОМ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ И КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Крысько В.А.¹, Папкина И.В.¹, Крысько В.А. мл.¹

¹Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, ikravzova@mail.ru, tak@san.ru

Аннотация. В работе построена математическая модель нелинейной динамики гибких двухслойных сферических оболочек в плане шарнирно-опертых оболочек одинаковой кривизны. Исследуется сходимость численных методов и обеспечивается достоверность результатов. Рассматривалось влияние величины зазора между оболочками на характер колебаний двухслойного пакета.

Ключевые слова: нанооболочки; хаос; контактное взаимодействие; фазовый портрет; Ляпуновские показатели.

CONTACT INTERACTION OF TWO-LAYER AXES OF SYMMETRICAL SHELLS WITH THE ACCOUNT OF GEOMETRICAL NONLINEARITY AND CONTACT INTERACTION

Krysko V.A.¹, Papkova I.V.¹, Krysko V.A.¹

¹ Yuri Gagarin state technical university of Saratov,
Saratov, Russia, ikravzova@mail.ru, tak@san.ru,

Abstract. A mathematical model of nonlinear dynamics of flexible two-layered spherical shells is constructed in the paper in terms of hinged-supported shells of the same curvature. The convergence of numerical methods is investigated and the reliability of the results is ensured. The influence of the gap between the shells on the nature of the oscillations of a two-layer packet was considered.

Keywords: nanoshells; chaos; contact interaction; phase portrait; Lyapunov indicators.

В работе построена математическая модель нелинейной динамики гибких двухслойных сферических круглых нано оболочек одинаковой кривизны. Геометрическая нелинейность учитывается по модели Теодора фон Кармана. Для каждой из оболочек применяется гипотеза Кирхгофа-Лява. Учитывается контактное взаимодействие между ними. Контактное взаимодействие между оболочками учитывается по теории Б.Я. Кантора. Уравнения движения элемента оболочки следуют из вариационного принципа Гамильтона-Остроградского. Построен алгоритм решения полученных уравнений, используя сочетание методов конечных разностей и Рунге-Кутты. Исследуется сходимость численных методов и обеспечивается достоверность результатов. Рассматривалось влияние величины зазора между оболочками на характер колебаний двухслойного пакета.

Работа была проведена при поддержке гранта РФФИ № 16-11-10138.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ЗАЗОРА НА ХАОТИЧЕСКУЮ ДИНАМИКУ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДВУХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫХ БАЛОК ТИМОШЕНКО

Крысько В.А.¹, Салтыкова О.А.^{1,2}

¹Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, tak@san.ru

²Томский политехнический университет, Россия, Томск, olga_a_saltykova@mail.ru

Аннотация. В работе построена математическая модель контактного взаимодействия двух геометрически нелинейных балок Тимошенко. Одна из балок находится под действием поперечной знакопеременной нагрузки. Выявлено, что величина зазора и геометрический параметр существенно влияют на тип хаотических колебаний изучаемой структуры.

Ключевые слова: балка Тимошенко; хаос; нелинейная динамика; контактное взаимодействие, старший показатель Ляпунова, метод конечных разностей.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE GAP RESULT ON THE CHAOTIC DYNAMICS OF CONTACT INTERACTION OF TWO- GEOMETRICALLY NON-LINEAR TIMOSHENKO BEAMS

Krysko V.A.¹, Saltykova O.A.^{1,2}

¹Yuri Gagarin state technical university of Saratov,
Saratov, Russia, tak@san.ru,

²National Research Tomsk Polytechnic University,
Tomsk, Russian, olga_a_saltykova@mail.ru

Abstract. The mathematical model of the contact interaction of two geometrically nonlinear Timoshenko beams is constructed in work. One of the beams is under the action of a transversal alternating load. It was found that the size of the gap and the geometric parameter significantly affect the type of chaotic vibrations of the structure under study.

Key words: Timoshenko's beam; chaos; nonlinear dynamics; contact interaction, largest Lyapunov exponent, finite difference method.

Уравнения движения балок Тимошенко, а также граничные и начальные условия получены из энергетического принципа Гамильтона-Остроградского. Контактное взаимодействие описывается по модели Б.Я. Кантора. Геометрические размеры балок одинаковы. Материал балок изотропный. Полученные системы нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных сводятся к системе обыкновенных дифференциальных уравнений методом конечных разностей второго порядка. Задача Коши по времени решается методом Рунге-Кутты 4-го порядка. Анализ полученных результатов осуществляется методами нелинейной динамики и качественной теории дифференциальных уравнений: строятся сигналы, спектры мощности, фазовые портреты (2D и 3D), вейвлет спектры, вычисляются показатели Ляпунова методами Вольфа, Кантца, Розенштейна. Проведено исследование при

величине зазора $h_k = 0.1; 0.25; 0.5; 1; 2$ для двух значений геометрического параметра $\lambda = a/2h = 50; 100$. Обнаружено, что при $\lambda = 50$ для $h_k = 0.1; 0.25; 0.5; 1$ после первого касания балок колебания структуры хаотические с локализацией хаотических колебаний на низких частотах, также как и для $\lambda = 100$ при $h_k = 0.1; 0.5$. При $h_k = 2$ происходит локализация колебаний на бифуркационной частоте и на частотах утроения периода. При $\lambda = 100$, $h_k = 0.25$ хаос на частоте бифуркации и на низких частотах, $h_k = 1$ хаос на утроении периода, $h_k = 2$ хаос на частоте бифуркации. Отметим, что для всех рассмотренных случаев характерно явление стабилизации колебаний с ростом амплитуды вынуждающих колебаний и характер колебаний при первом касании хаотический. Показатели Ляпунова положительные.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 16-11-10138.

УДК 530.182

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПО ВРЕМЕННЫМ РЯДАМ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ И СТРУКТУРЫ СВЯЗЕЙ В СЕТЯХ СИСТЕМ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

Кульминский Д.Д.^{1,2}, Сысоев И.В.², Пономаренко В.И.^{1,2}, Прохоров М.Д.¹

¹Саратовский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
Россия, Саратов, kulminskydd@gmail.com

²Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского,
Россия, Саратов, kulminskydd@info.sgu.com

Аннотация. Предложен метод, позволяющий определить значения параметров элементов и структуру связей в сетях систем с задержкой, описываемых дифференциальными уравнениями с запаздыванием, по временным рядам их колебаний.

Ключевые слова: системы с запаздыванием; реконструкция; временные ряды; сети.

RECONSTRUCTION FROM TIME SERIES OF PARAMETERS OF ELEMENTS AND STRUCTURE OF COUPLINGS IN NETWORKS OF TIME-DELAY SYSTEMS

Kulminskiy D.D.^{1,2}, Sysoev I.V.², Ponomarenko V.I.^{1,2}, Prokhorov M.D.¹

¹ Saratov Branch of Kotelnikov Institute of Radio Engineering and Electronics of RAS,
Saratov, Russia, kulminskydd@gmail.com

² Saratov State University,
Saratov, Russia, kulminskydd@info.sgu.com

Abstract. We have proposed a method to recover the parameters of elements and architecture of couplings in networks of coupled time-delay systems from their time series.

Keywords: time-delay systems; reconstruction; time series; networks.

Введение (Introduction)

Предложен метод, позволяющий определить значения параметров элементов и структуру связей в сетях систем с задержкой, описываемых

дифференциальными уравнениями с запаздыванием, по временным рядам их колебаний.

Основная часть

Метод основан на минимизации методом наименьших квадратов целевой функции, характеризующей расстояние между значениями реконструируемой нелинейной функции в точках, отсортированных по величине абсциссы. Метод позволяет восстанавливать времена запаздывания, параметры инерционности, нелинейные функции и коэффициенты связи всех элементов ансамбля. Метод применим к сетям, состоящим из неидентичных систем с запаздыванием с произвольным числом однонаправленных и взаимных связей между ними.

УДК 573.86, 57.087, 612.82

АНАЛИЗ МОЗГОВОЙ АКТИВНОСТИ ЧЕЛОВЕКА ВО ВРЕМЯ ВООБРАЖАЕМЫХ ДВИЖЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ АППАРАТА ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Куркин С.А., Мусатов В.Ю., Руннова А.Е.

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, kurkinsa@gmail.com*

Аннотация. Разработана на основании аппарата искусственных нейронных сетей методика распознавания и классификации соответствующих воображаемым движениям паттернов на электроэнцефалограммах (ЭЭГ), полученных у группы нетренированных испытуемых. Для этого проведены работы по подбору оптимальных типа, топологии, алгоритмов обучения и параметров нейронной сети с точки зрения наиболее точного и быстрого распознавания и классификации паттернов на многоканальных ЭЭГ, ассоциированных с воображением движений.

Ключевые слова: нейронные сети, интерфейс мозг-компьютер, электроэнцефалограммы, анализ сигналов ЭЭГ, мозговая активность, многослойный персептрон, радиальная базисная функция, метод опорных векторов.

ANALYSIS OF THE ACTIVITY OF HUMAN BRAIN DURING IMAGINARY MOVEMENTS WITH APPLICATION OF THE APPARATUS OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Semen Kurkin, Vyacheslav Musatov, Anastasiya Runnova,

*Yuri Gagarin state technical university of Saratov,
Saratov, Russia, kurkinsa@gmail.com*

Abstract. Based on the apparatus of artificial neural networks, a technique for recognizing and classifying patterns corresponding to imaginary motions on electroencephalograms (EEG) obtained from a group of untrained subjects was developed. For this purpose, works were carried out to select the optimal type, topology, learning algorithms and neural network parameters from the point of view of the most accurate and fast recognition and classification of patterns on multi-channel EEGs associated with the imagination of movements.

Keywords: neural networks, brain-computer interface, electroencephalograms, analysis of EEG signals, brain activity, multilayer perceptron, radial basis function, support vector machine.

Введение (Introduction)

Развитие методов распознавания мозговой активности, связанной с осуществлением и с воображением движений, является принципиально необходимым для разработки интерфейсов «мозг-компьютер». Ряд последних исследований, проведенных с тренированными испытуемыми, показывает, что задача идентификации мозговой активности, ассоциированной с движениями, может быть решена путём анализа многоканальных электроэнцефалограмм (ЭЭГ). Решение подобной задачи в случае работы с нетренированными испытуемыми является существенно более сложным, важным и малоизученным вопросом.

В данной работе с использованием аппарата искусственных нейронных сетей осуществлены распознавание и классификация соответствующих воображаемым движениям паттернов на ЭЭГ, полученных у группы нетренированных испытуемых (12 человек). Заметим, что для организации функционирования интерфейса «мозг-компьютер» с целью управления элементами экзоскелета важно разделение воображаемых движений левой и правой рук и ног, поэтому в проведенном исследовании большее внимание уделено классификации воображаемых движений не только рук, но и ног. Для случая управления экзоскелетом или антропоморфным роботом этот канал вызывает большой интерес.

Основная часть

Сигналы ЭЭГ были получены в ходе серии экспериментов на электроэнцефалографе Энцефалан ЭЭГР-19/26 со стандартной схемой подключения электродов 10-10, когда испытуемый воображал отдельные движения своих ног, не производя самих движений. Во время пост-обработки сигналы ЭЭГ разделялись на фрагменты, соответствующие различным периодам эксперимента: реальное или мнимое движение левой или правой руки/ноги, фрагменты различной фоновой активности. Продолжительность выделения временных интервалов в виде отмеченных фрагментов, связанных с двигательной активностью, варьировалась от 1.5 до 4.0 секунд.

Классификация проводилась методом искусственных нейронных сетей (ИНС), обученных с учителем, с использованием пакетов программного обеспечения на основе MatLab. В процессе классификации сравнивалось качество распознавания ИНС различных архитектур и типов: многослойный персептрон (МП), радиальная базисная функция (РБФ), линейная (ЛН), вероятностная нейронная сеть (ВНС) и метод опорных векторов (МОВ). Классификация воображаемой двигательной активности левой и правой рук с использованием ВНС, ЛН и МП происходит в большинстве случаев с низким качеством распознавания на уровне 50-55%. В некоторых случаях ВНС позволяет достичь уровня распознавания 75-80%. Классификация различных движений левой и правой ног показывает лучшие результаты. Качество распознавания с ЛН и ВНС составляет 55%, МП – 60-70%, РБФ и МОВ дают лучшее качество распознавания на уровне 85-89%. Заметное (на 5-10%) увеличение качества распознавания позволяет достичь применение полосовых фильтров низких частот (4-15 Гц).

Также изучено влияние количества и расположения электродов на качество распознавания воображаемых движений. Были получены оптимальные конфигурации расстановок электродов. Экспериментально показано, что возможно достичь приемлемого качества классификации (выше 70%) при использовании только части каналов ЭЭГ с небольшим количеством электродов, что важно при создании интерфейсов «мозг-компьютер».

Работа поддержана Российским научным фондом (грант 17-72-30003).

МЕТОДИКА ВЫДЕЛЕНИЯ СИНХРОННЫХ ПАТТЕРНОВ НА МНОГОКАНАЛЬНЫХ ЗАПИСЯХ ЭЭГ

Куц А.К., Максименко В.А.

*¹Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, kuc1995@mail.ru*

Аннотация. Разработана методика, при помощи которой возможно детектирование синхронных паттернов на многоканальных записях ЭЭГ, исходя из особенностей их спектральных свойств. Методика была апробирована на примере анализа многоканальных сигналов ЭЭГ крыс WAG/Rij, имеющих предрасположенность к эпилепсии, с целью выявления приступов, которые, как известно, ассоциируются с возникновением синхронных колебаний на многоканальных ЭЭГ.

Ключевые слова: электроэнцефалограмма; вейвлет-преобразование; паттерн; частотно-временной анализ.

METHOD OF DETECTING SYNCHRONOUS PATTERNS ON MULTICHANNEL EEG RECORDS

Kuts A.K., Maximenko V.A.

*Yuri Gagarin state technical university of Saratov,
Russia, Saratov, kuc1995@mail.ru*

Abstract. We have proposed a technique for the detection of synchronous patterns on multi-channel EEG recordings, based on their spectral properties. The technique was applied for the analysis of multi-channel EEG signals of WAG/Rij rats with genetic predisposition to epilepsy for the detection of the seizures, that are known to be associated with the appearance of synchronous oscillations on multichannel EEG.

Keywords: electroencephalogram; wavelet transform; pattern; time-frequency analysis.

В настоящее время возрастает актуальность использования технологии «интерфейс мозг-компьютер» в робототехнических системах [Прохоров Н.Л. и др. Анализ проблем и перспектив разработки робототехнических систем интеллектуального протезирования на основе нейротехнологий // Вопросы радиоэлектроники. Т. 4, №3. С. 202-213 (2014)]. Данная технология необходима для обмена информацией между мозгом и компьютером и создает возможность управлять робототехническими комплексами командами непосредственно от головного мозга [Ульянов С.В., Решетников А.Г., Мамаева А.А. Гибридные когнитивные нечеткие системы управления автономным роботом на основе

нейроинтерфейса и технологии мягких вычислений // Программные продукты и системы. Т. 30, №3. С. 420-424 (2017)]. Одной из главных задач для практической реализации «интерфейса мозг-компьютер» является выделение осцилляторных паттернов на записях ЭЭГ, которые впоследствии можно использовать в качестве управляющих сигналов для управления внешними исполнительными устройствами [Каплан А.Я. и др. Экспериментально-теоретические основания и практические реализации технологии «интерфейс мозг-компьютер» // Бюллетень сибирской медицины. Т. 12, №2. С. 21-29 (2013)].

На данный момент существует множество различных методов анализа сигналов и выделения паттернов [Remigiusz J. Rak, Marcin Kołodziej, Andrzej Majkowski Brain-computer interface as measurement and control system the review paper // Metrology and measurement systems. Vol 19, №3, pp. 427-444 (2012)]. В данной работе предлагается методика выделения синхронных паттернов на многоканальных записях ЭЭГ при помощи вейвлет-анализа сигнала. Вейвлет-преобразование является мощным инструментом, позволяющим проанализировать частотно-временную структуру сигнала во времени [Павлов А.Н. и др. Вейвлет-анализ в нейродинамике // Успехи физических наук. Т. 182, №9. С. 905-939 (2012)]. В рамках настоящей работы свойства вейвлет-преобразования были применены для анализа набора записей ЭЭГ. В результате была создана методика для детектирования синхронных режимов, вовлекающих нейроны, расположенные в различных областях мозга.

В качестве примера применения данной методики была рассмотрена возможность детектирования приступов эпилепсии по многоканальным записям ЭЭГ. Известно, что характерной особенностью приступа эпилепсии является синхронизация сигналов ЭЭГ, регистрируемых в различных областях мозга.

Применение предложенного метода позволило эффективно выделять участки ЭЭГ, характерные для приступа эпилепсии, в автоматическом режиме. Данная возможность представляет интерес не только в контексте анализа эпилептической ЭЭГ, а также для диагностики различных состояний мозга, ассоциирующихся с нормальной и патологической активностью.

УДК 51-73, 519.17

КРАТЧАЙШИЕ ПУТИ И ПРОСТРАНСТВЕННОЕ СОСЕДСТВО В МНОГОСЛОЙНЫХ СЕТЯХ

**Макаров В.В.¹, Горемыко М.В.¹, Кирсанов Д.В.¹, Максименко В.А.¹, Иванов А.В.¹,
Яшков И.А.¹, Боккалетти С.²**

¹*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, vladmak404@gmail.com,*

²*CNR-Institute of Complex Systems, Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino, Florence, Italy,*

Аннотация. В данной работе исследуется взаимосвязь между пространственно-распределенной географической сетью городов и иерархической структурой административных связей между ними. Используя реальные данные и численное

моделирование, в работе описаны фундаментальные принципы взаимодействия пространственно-распределенных и пространственно-независимых сетевых структур.

Ключевые слова: пространственно-распределенные сети, многослойные сети, география.

SHORTEST PATHS AND SPATIAL NEIGHBORING IN MULTIPLEX NETWORKS

Vladimir V. Makarov¹, Mikhail V. Goremyko¹, Daniil Kirsanov¹, Vladimir A. Maksimenko¹, Alexey V. Ivanov¹, Ivan A. Yashkov¹, Stefano Boccaletti²

¹ *Yuri Gagarin state technical university of Saratov,
Saratov, Russia, vladmak404@gmail.com,*

² *CNR-Institute of Complex Systems, Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino, Florence, Italy,*

Abstract. We explore the principles of cooperation between a spatially-distributed geographical network of cities and a spatially-independent subordination network (the administrative hierarchical relationships) by the use of the concept of centralities. Using both real data and theoretical models, we are able to describe the fundamental aspects of interaction between spatially-distributed and spatially-independent connectivity structures, providing a new type of spatially-dependent scale-free networks.

Keywords: spatial networks, multilayer networks, urban geography.

Введение (Introduction)

Every process flowing in different parts of urban system contribute to its economical and social outcome. Lately, a lot of attention has been paid to the analysis of connectivity patterns of the networks describing various layers of urban complex. Recently, multiplex approach revealed itself very useful method to describe the interaction between various aspects of urban networks, including the social and cultural relationships, health, traffic flows and economics. The fact remains that in the named works researches study urban networks limited by size of the specific city or agglomeration, while research on the scale of whole country is absent.

Основная часть

In this work, we study the interplay between the administrative structure of the country and the connections between cities, which arise from their geographical and population setup. We use the example of the Republic of Kazakhstan, considering dataset that covers 70 years of evolution of its urban network. The available data present itself the information gathered during population census in seven time slices from 1939 to 2006 year. Each census contains the geographic coordinates and the number of citizens of all cities and urban-type communities for the given year with their administrative submission. One of the main aspects of the majority of urban studies is the spatially-distributed nature of these systems. Our aim is to investigate how the characteristics of the spatially-distributed network of the cities can be directly affected by their hierarchical subordination. To do it, we measure several network characteristics of administrative and geo-population networks separately and while arranging them in the framework of multiplex network. We observe that multiplex interaction of named above networks leads to the actual exchange of eigenvector and betweenness centralities of the nodes belonging to the different layers. We have revealed two important effects which occur in the urban network of

the country than we consider both administrative and geographical relations between its cities: (i) geo-population network aggregates eigenvector centrality and impose its own ranking to the administrative (hierarchical) network, (ii) administrative network connects the structural hubs and redistributes the shortest paths between nodes in geo-population layer. We also have found the relation between the total values of centrality in each layer, and discover the sustainability of these values, that has been proved by numerical simulations. However, the comparison with the regular scale-free network reveals, that this effect is connected with spatially distributed nature of the real urban networks. More specifically, the effect of redistribution of shortest paths refers to the absence of direct connections between main hubs in urban networks. To validate our results, we numerically produce and study spatially-distributed and spatially independent scale-free model networks.

УДК 573.86, 57.087, 612.82

ИНТЕРФЕЙС МОЗГ-КОМПЬЮТЕР ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СКОНЦЕНТРИРОВАННОСТИ ОПЕРАТОРА

Максименко В.А., Недайвозов В.О., Макаров В.В.

¹*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, maximenkovl@gmail.com*

Аннотация. Предложена методика выделения особенностей частотно-временной структуры сигналов ЭЭГ, ассоциирующихся со степенью сконцентрированности человека на решении предлагаемых задач. На основании выявленных закономерностей предложен метод для оценки степени сконцентрированности человека по ЭЭГ в режиме реального времени. Полученная методика встроена в интерфейс мозг-компьютер, реализованный на базе регистрирующей системы «Энцефалан-ЭЭГР-19/26» (Медиком МТД).

Ключевые слова: интерфейс мозг-компьютер, частотно-временной анализ, концентрация внимания.

BRAIN-COMPUTER INTERFACE FOR THE ESTIMATION OF THE OPERATOR'S ALERTNESS

Vladimir Maksimenko, Vladimir Nedayvozov, Vladimir Makarov

¹*Yuri Gagarin state technical university of Saratov,
Saratov, Russia, maximenkovl@gmail.com*

Abstract. We have proposed a technique for isolating the features of the time-frequency structure of the EEG signals, associated with the degree of human concentration during solving the cognitive tasks. Based on the revealed features, we have developed an algorithm for the estimation of the human alertness based on EEG recordings in real time. Finally, the proposed algorithm has been implemented in the brain-computer interface, based on the EEG recording system "Encephalan-EEGR-19/26" (Medicom MTD).

Keywords: brain-computer interface, time-frequency analysis, concentration of attention.

Введение

Реализация взаимодействия человека и машинных систем посредством нейроинтерфейсов (или интерфейсов мозг-компьютер) является актуальной

задачей, затрагивающей различные области современной науки [T. Kawase et al // J. Neural Eng, 14, 1 (2017); M. Spüler // PLoS ONE, 12, 2 (2017); Bowsher et al // J. Neural Eng, 13, 023001 (2016); X. Chen et al // Proceedings of the National Academy of Sciences, 112, 44 (2015); J.E. O'Doherty et al // Nature, 479, 228 (2011); W.C. Stacey et al // Nature Reviews, 4, 4 (2008)].

В основе функционирования нейроинтерфейсов лежит детектирование в режиме реального времени характерных форм электрической активности головного мозга посредством анализа многоканальных записей ЭЭГ и преобразование полученной информации в команды для управления аппаратной частью (например, экзоскелетом, биопротезом, роботом и т.д.).

В последнее время развитие данной отрасли науки активно развивается. В частности, разработаны нейроинтерфейсы, позволяющие осуществлять передвижение курсора [J. Wolpaw et al // Proc. Natl Acad. Sci. USA, 101, 17849 (2004)], частично синтезировать речь [N. Birbaumer et al. // Nature. 398 297, 8 (2000)], и контролировать простейшие движения [T. Ma // J Neural Eng. 14, 2, 026015 (2017)]. Исследуется возможность использования нейроинтерфейсов в реабилитации [J.J. Daly // Lancet Neurol. 7, 1032 (2008)]. Проводятся исследования по разработке нейроинтерфейсов для управления экзоскелетами [T. Kawase et al // J. Neural Engineering, Volume 14, 1 (2017); L. Peternel et al // PLoS ONE 11, 2 (2016)].

Дальнейшее развитие данной технологии, наряду с детектированием особенностей, связанных с простейшими моторными функциями, требует детектирования более сложных когнитивных процессов, связанных с мелкой моторикой, позиционированием, вниманием и т.д. [Brain-machine interfaces, Nature Web Focus, 2006]. В данном контексте разработка интерфейсов, позволяющих оценивать и контролировать психофизическое состояние человека, привлекает большой интерес исследователей [C.G. Lim, et al. A Brain-Computer Interface Based Attention Training Program for Treating Attention Deficit Hyperactivity Disorder. PLoS ONE 7(10) e46692 (2012)]. При этом, наиболее изучаемой характеристикой состояния человека является концентрация внимания [N.H. Liu et al, Recognizing the degree of human attention using EEG signals from mobile sensors // Sensors (Basel). 13(8) 10273 (2013); Li-Wei Ko et al. Sustained Attention in Real Classroom Settings: An EEG Study // Frontiers in Human Neuroscience 11. 388 (2017)].

В то время, как в области оценки концентрации человека по данным электрической активности мозга достигнут существенный прогресс, задача разработки методик, позволяющих своевременно оценивать изменения концентрации в режиме реального времени, по-прежнему остается слабоизученной [Li-Wei Ko et al. Sustained Attention in Real Classroom Settings: An EEG Study // Frontiers in Human Neuroscience 11. 388 (2017)].

Основная часть

В контексте описанной выше научной проблемы в данной работе проведен анализ большого объема нейрофизиологических данных, представляющих собой многоканальные ЭЭГ, полученные у группы испытуемых в процессе решения ими последовательно предъявляемых простых

визуальных задач. В результате проведенного анализа обнаружено, что в зависимости от степени сконцентрированности испытуемого на решении каждой из таких задач, частотно-временная структура сигналов ЭЭГ оказывается различной. Основываясь на полученном результате был разработан алгоритм, позволяющий, анализируя сигналы ЭЭГ при решении каждой из задач, оценивать среднюю степень сконцентрированности испытуемого во время эксперимента. Полученная методика была встроена в интерфейс мозг-компьютер, основанный на системе «Энцефалан-ЭЭГР-19/26» (Медиком МТД). Тестирование разработанного интерфейса показало высокую эффективность диагностики сконцентрированности оператора в реальном времени.

УДК 621.09

ВЫБОР ЭФФЕКТИВНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ ЧУГУНОВ

Мокрицкий Б.Я., Саблин П.А.

*Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет,
Россия, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, ikpmto@knastu.ru*

Аннотация. При лезвийной обработке высокопрочных типовых и тем более труднообрабатываемых отбелённых чугунов выбор рационального металлорежущего инструмента выходит за рамки традиционных общемашиностроительных рекомендаций. В этой связи важно уметь проектировать технологию изготовления эффективного инструмента.

Ключевые слова: работоспособность инструмента; концепция проектирования технологического процесса изготовления инструмента.

THE CHOICE OF AN EFFECTIVE TECHNOLOGICAL PROCESS OF CAST IRON EDGE CUTTING MACHINING PRODUCTION

Mokritskiy B.Y., Sablin P.A.

*Komsomolsk-on-Amur State Technical University,
Russia, Khabarovsk area, Komsomolsk-on-Amur, ikpmto@knastu.ru*

Annotation. The choice of an effective metal-cutting tool exceeds the limits of the traditional engineering guidelines in edge cutting machining of high-strength standard and heavy-duty chilled cast iron. In this connection it is essential to be able to design the technology of effective tool production.

Key words: tool capacity, a concept of designing of tool production technological process.

Введение

Если основным эксплуатационным параметром принять период стойкости инструмента, то несложно обратить внимание на то, что имеются такие чугуны, обработка непротяжённых поверхностей заготовок из которых невозможна в силу того, что периода стойкости недостаточно даже для одного рабочего прохода инструмента. Приходится менять инструмент в процессе одного прохода. Это не только затраты времени и средств, это снижение качества изделия.

Основная часть

Рассмотрим на примере твёрдосплавного инструмента. Предположим, что каждое упрочняющее воздействие на инструмент в процессе его изготовления даёт эффект той или иной величины. Эффект тем больше, чем на большем числе этапов изготовления инструмента применены упрочняющие воздействия. Это не сумма эффектов, но положительная тенденция. Возможны и сверхэффекты, когда суммарный эффект может быть больше суммы эффектов.

Этапов изготовления инструмента не много:

- изготовление твёрдосплавной основы инструментального материала;
- упрочнение твёрдосплавной основы;
- архитектурирование упрочняющих покрытий;
- упрочнение («залечивание» дефектов) покрытия.

Эффективный процесс для каждого конкретного случая нужно проектировать вновь хотя бы из возможностей имеющегося арсенала.

Рассмотрим примеры токарной обработки наружных поверхностей деталей импеллер и распределительная камера дробебётных машин. Техническими условиями оговорены следующие свойства материала: твёрдость HRC 63-68;- предел прочности на изгиб – не менее 64 кг на мм квадратный.

Далее рассмотрим результаты применительно к выбору типового инструмента и иных инструментальных материалов (рисунок 1).

Выводы:

1. Рекомендации по выбору инструмента для указанных условий обработки ограничены.

2. Разработанные технологические приёмы упрочнения инструмента позволили поднять период стойкости до 39-58 минут в зависимости от особенностей приёмов упрочнения.

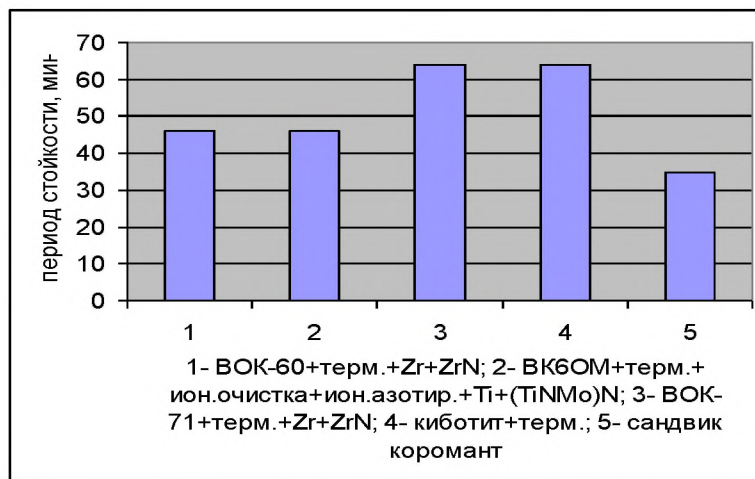


Рисунок 1 – Сравнительная эффективность применения различного инструмента при токарной обработке спецчугуна по периоду стойкости при сопоставимых условиях эксплуатации

КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЭГ ПАТТЕРНОВ ВОООБРАЖАЕМЫХ ДВИЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Мусатов В.Ю.¹, Макаров В.В.², Пицик Е.Н.³

¹Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, vmusatov@mail.ru,

²Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, vladmak404@gmail.com,

³Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, pitsikelena@gmail.com

Аннотация. Работа посвящена классификации паттернов ЭЭГ, соответствующих различным воображаемым движениям на основе нейронных сетей. Рассмотрены две модели нейронных сетей, получены результаты классификации реальных данных об электрической активности мозга.

Ключевые слова: нейронные сети, многослойный персептрон, метод опорных векторов, ЭЭГ, классификация паттернов.

CLASSIFICATION OF EEG PATTERNS OF IMAGINARY MOVEMENTS BY THE MEANS OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Musatov V.Yu.¹, Makarov V.V.², Pitsik E.N.³

¹ Yuri Gagarin state technical university of Saratov,
Saratov, Russia, vmusatov@mail.ru

² Yuri Gagarin state technical university of Saratov,
Saratov, Russia, vladmak404@gmail.com

³ Yuri Gagarin state technical university of Saratov,
Saratov, Russia, pitsikelena@gmail.com

Abstract. This study considers classification of EEG patterns corresponding to various imaginary movement by the means of neural networks. Two architectures of neural network are considered, the results of the classification of real EEG data are obtained.

Keywords: ANN, neural networks, MLP, SVM, EEG, pattern classification.

Введение (Introduction)

Одной из важнейших задач в проектировании роботов и мехатронных систем является организация связи между человеком-оператором и системой. Помимо существующих на сегодняшний день решений, лежащих в области традиционных методов коммуникации (устройства ввода-вывода) и искусственного интеллекта (распознавание речи и изображений), в современной науке активно развиваются методы, основывающиеся на регистрации данных электрической активности мозга и реализующиеся на базе интерфейсов мозг-компьютер (BCI – brain-computer interfaces). Способность работать в режиме реального времени и возможность организации принципа

биологической обратной связи обеспечило активное использование подобных методов в исследованиях в области нейрофизиологии и медицины, связанных с проектированием бионических протезов, экзоскелетов, систем реабилитации пациентов после инсультов и т.д.

Важным требованием к реализации таких систем является высокая точность классификации т.н. паттернов ЭЭГ, возникающих в результате различных видов деятельности человека – сон, движение, концентрация внимания, эпилептические приступы и т.д. В данной работе рассматриваются методы классификации паттернов воображаемых движений на основе нейросетевого анализа сигнала ЭЭГ.

Основная часть

В данной работе к рассмотрению предлагаются два эффективных метода классификации сигналов ЭЭГ: метод опорных векторов и многослойный персептрон.

Метод опорных векторов (SVM – support vector machine) заключается в поиске оптимальной разделяющей гиперплоскости для объектов, помещённых в пространство большей размерности. SVM является бинарным классификатором и показывает высокую эффективность классификации как линейно разделяемых, так и линейно неразделяемых образцов.

Второй рассматриваемой моделью является многослойный персептрон (MLP – multilayer perceptron), в общем случае состоящий из одного слоя входных нейронов, одного выходного слоя, выводящего реакцию сети, и одного или нескольких скрытых слоёв с вычислительными нейронами. Обучение нейросети производится по алгоритму обратного распространения ошибки, заключающегося в модификации синаптических весов в направлении минимизации ошибки.

В результате работы моделей был получен следующий результат: SVM достигает точности 88,5% в классификации воображаемых движений правой рукой и 84,5% для левой руки, в то время как наилучший результат персептрона составляет 85,4% для правой руки и 78,8% для левой. Данный результат классификации необработанного сигнала ЭЭГ является удовлетворительным, однако для разработок в области интеллектуальной робототехники необходимо значительно повышать точность прогноза с помощью сложных и эффективных методов обработки ЭЭГ-сигнала и предварительной фильтрации данных.

УДК 539.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОУПРУГОГО НЕЛИНЕЙНОГО ДЕМПИНГА РАЗМЕРНО-ЗАВИСИМОЙ БАЛКИ ТИМОШЕНКО

Павлов С.П.¹, Калущкий Л.А.¹, Салтыкова О.А.^{1,2}

¹Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, pspsar@yandex.ru,

²Томский политехнический университет, olga_a_saltykova@mail.ru

Аннотация. На базе модифицированной моментной теории, исследована зависимость добротности нелинейных микро-балочных резонаторов с термоупругим нелинейным демпфированием для балок Тимошенко с учетом геометрической нелинейности. Получены аналитические и численные решения для различных материалов балки и различных геометрических параметров, проведено их сравнение и анализ.

Ключевые слова: термоупругий нелинейный демпинг, размерно-зависимая балка Тимошенко, модифицированная моментная теория.

INVESTIGATION OF THERMO-ELASTIC NON-LINEAR DAMPING FOR DIMENSIONALLY DEPENDENT TIMOSHENKO BEAMS

Pavlov S.P.¹, Kalutski L.A.¹, Saltykova O.A.^{1,2}

¹*Yuri Gagarin state technical university of Saratov,
Saratov, Russia, ppsar@yandex.ru,*

²*National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian, olga_a_saltykova@mail.ru*

Abstract. Based on the modified moment theory, the Q-factor of nonlinear micro-beam resonators with thermoelastic non-linear damping for Timoshenko beams is considered with allowance for geometric nonlinearity. Analytical and numerical solutions for various beam materials and various geometric parameters are obtained, their comparison and analysis are carried out.

Keywords: thermoelastic nonlinear dumping; Timoshenko dimension-dependent beam; modified moment theory.

Термоупругое демпфирование (ТУД) является основным источником собственного затухания в микро и нано электромеханических системах (МЭМС и НЭМС), работающих в условиях вакуума, что доказано экспериментально. Тонкие балки являются одной из основных структур, широко используемых в МЭМС. В структурах МЭМС, выполненных из металлов и полимеров, экспериментально наблюдаются явления размерной зависимости их параметров. Таким образом, влияние масштабного параметра длины материала на добротность для микро-балочных резонаторов является актуальной задачей. Микробалочные резонаторы часто переводятся в нелинейный режим с большой амплитудой для накопления достаточной энергии. Поэтому важно исследовать диссипацию энергии в микро/нано масштабах. В работе, на базе модифицированной моментной теории, исследована зависимость добротности нелинейных микро-балочных резонаторов с ТУД для балок Тимошенко с учетом геометрической нелинейности. Из принципа Гамильтона выведены связанные нелинейные термоупругие уравнения движения микробалок Тимошенко как для плоского напряжения, так и для условий плоской деформации. На основе полученных уравнений проведено исследование нелинейных термоупругих колебаний микробалок и вычислены значения добротности резонаторов в зависимости от геометрических и материальных свойств микробалки. Приводятся результаты для золотых и никелевых микробалок для различных температур окружающей среды и толщины балки, которые сравниваются с результатами классической теории упругости в линейном и нелинейном случаях. Также изучается влияние ММТ на

критическое значение толщины балки. Получены аналитические и численные решения.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-11-10138.

УДК 621.31

ПОЛУНАТУРНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОГРИД ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Панов А.Д.¹, Томашевский Ю.Б.²

¹Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, andrey231294@yandex.ru,

²Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, yurytomash@mail.ru

Аннотация. Представлено обоснование полунатурного тестирования систем управления микрогрид. Разрабатываемый стенд позволит осуществить тестирование систем управления микрогрид для комплексных систем интеллектуальной энергетики.

Ключевые слова: полунатурное тестирование; стенд; микрогрид; интеллектуальная энергетика.

HARDWARE-IN-THE-LOOP TESTING OF MICROGRID CONTROL SYSTEMS FOR INTELLIGENT POWER ENGINEERING

Panov A.D.¹, Tomashevskiy Y.B.²

¹ Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Saratov, Russia, andrey231294@yandex.ru,

² Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Saratov, Russia, yurytomash@mail.ru

Abstract. The substantiation of hardware-in-the-loop testing of microgrid control systems is presented. The developed stand will allow to test microgrid control systems for complex intelligent power systems.

Keywords: hardware-in-the-loop testing; stand; microgrid; intelligent power engineering.

Большие изменения в современной энергетике, связанные с нарастающим износом инфраструктуры, вовлечением в оборот распределенных ресурсов, включая возобновляемые, ростом спроса на энергию и изменение качественных характеристик спроса, изменением моделей поведения потребителей, задают необходимость перехода к следующему энергетическому укладу, который может быть назван как интеллектуальный и характеризуется разномасштабными системами и сервисами, построенными на открытой сетевой архитектуре. Решением данной проблемы может стать повсеместное использование широко разрабатываемой в настоящее время технологии построения интеллектуальных сетей (Smart Grid), базовым компонентом которых является микрогрид (microgrid) – минимальная единица энергетической самодостаточной сети, обеспечивающая, прежде всего, автономность при отключении централизованного источника энергии.

Создание систем управления микрогрид связано, в том числе, с решением задачи их настройки и предварительного тестирования. В этой связи представляется целесообразным разработка программно-аппаратного комплекса, который позволил бы осуществлять, с одной стороны, моделирование различных структур интеллектуальных сетей или их участков, а, с другой, – тестирование применяющихся в них систем управления с их последующей настройкой. В качестве решения предлагается стенд для полунатурного тестирования систем управления микрогрид, использование которого значительно снизит затраты на разработку и повысит эффективность разрабатываемых систем.

УДК 678.026.3

ЭЛЕКТРО ХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ БИОКОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ МЕДИЦИНСКИХ ИМПЛАНТАТОВ

Пошивалова Е.Ю., Родионов И.В.

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.
Россия, Саратов, syusyukinae82@mail.ru*

Аннотация. Проведены электрохимические исследования микромодифицированных биопокровов титановых имплантатов. Выполнено две серии экспериментов: катодное внедрение серебра в гальваностатическом режиме и катодное внедрение лантана в потенциодинамическом режиме в пористую матрицу титан-гидроксипатитовых покрытий. Исследованы бестоковые хронопотенциограммы и циклические потенциодинамические кривые модифицированных покрытий.

Ключевые слова: электрохимическое внедрение; модифицирующие элементы (лантан, серебро); композиционное покрытие; имплантаты; биосовместимость; хронопотенциограммы.

ELECTROCHEMICAL STUDY OF BIOCOMPOSITE COATINGS ON MEDICAL IMPLANTS

Poshivalova E.Yu., Rodionov I.V.

*Yuri Gagarin State Technical University of Saratov,
Saratov, Russia, syusyukinae82@mail.ru,*

Abstract. Electrochemical analysis of modified titanium coatings was conducted. There were two series of experiments: silver cathode introduction in a galvanostatic regime, and a lanthanum cathode introduction into the porous matrix of the coating in potentiodynamic regime. At the end of the processes current-free chronopotentiograms and cyclic potentiodynamic curves for modified coatings were measured.

Keywords: electrochemical introduction; modifying elements (lanthanum, silver); composite coating; implants; biocompatibility; chronopotentiograms.

Введение

Внутрикостные имплантаты представляют технические изделия, выполняемые из биосовместимых материалов небиологического происхождения и устанавливаемые в специально сформированные костные

ложка. Для повышения процента приживляемости имплантатов на их поверхность различными методами наносят биоактивные покрытия на основе кальцийфосфатных керамик, например, гидроксиапатита (ГА) и трикальцийфосфата (ТКФ), а также на основе биоинертных металлооксидных соединений [1-3].

В настоящее время актуальной проблемой современной имплантологии является борьба с отторжением имплантатов, вызванным периимплантитом. Основная причина периимплантита это миграция бактерий полости рта в периимплантную область. Эффективным методом борьбы с этим явлением может быть использование в составе покрытия серебра и лантана – элементов с бактерицидными и бактериостатическими свойствами. Однако их введение в состав биокерамического покрытия требует применения такого технологического метода, который позволит внедрять модифицирующие элементы не только в приповерхностные слои покрытия, но и обеспечивать их распределение в объеме биокерамической матрицы для создания требуемых антимикробных эффектов имплантатов. Наиболее целесообразным и технически эффективным методом модифицирования поверхности является электрохимическое (катодное) внедрение, которое применительно к титан-гидроксиапатитовым (Ti/ГА) и титан-трикальцийфосфатным (Ti/ТКФ) биосовместимым покрытиям практически не изучено.

В связи с этой целью работы является разработка рациональных технологических условий катодного внедрения бактерицидных элементов в биокерамические покрытия медицинских титановых имплантатов.

С учетом изложенного, а также в связи с высокой потребностью населения в качественном устранении дефектов зубных рядов посредством установки имплантатов, тема исследовательской работы является весьма актуальной.

Основная часть

Были проведены две серии экспериментов по микромодифицированию поверхностей титановых имплантатов.

В качестве образцов для электрохимических исследований использовали пластины титана ВТ1-00 с размерами 10×10×2 мм, на поверхности которых были сформированы Ti/ТКФ- и Ti/ГА покрытия по запатентованному авторскому способу [4].

Первая серия экспериментов заключалась в модифицировании полученного Ti/ГА-покрытия на титановых электродах лантаном. Модифицирование лантаном осуществлялось по методу катодного внедрения из раствора 0,5 моль/л п-метоксибензоата лантана в диметилформамиде (ДМФ) в течение 1 и 3 часов при плотности катодного тока 0,5 мА/см². По окончании процесса модифицирования снимались бестоковые хронопотенциограммы и циклические потенциодинамические кривые (ЦПДК) [1].

Вторая серия экспериментов заключалась в катодном внедрении серебра в те же Ti/ГА-покрытия. Катодное насыщение пор серебром Ti/ГА-покрытий, нанесенных на титановую основу, осуществлялся из водного раствора 0,4 М

AgNO_3 в гальваностатическом режиме в течение 10 минут при различных плотностях катодного тока ($i_k=0.5\div 0.2 \text{ мА/см}^2$) и температуре 20°C . Электрохимические измерения производили на потенциостате П-5848 в комплекте с самопишущим потенциометром КСП-4 в стандартной стеклянной трехэлектродной ячейке с титановым вспомогательным противэлектродом и неводным хлорсеребряным электродом сравнения (н.х.с.э). Бестоковые хронопотенциограммы снимались на электродах до и после катодной поляризации.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ бестоковых хронопотенциограмм показал смещение равновесного потенциала исследуемого титанового электрода в более отрицательную область значений после внедрения лантана. При более длительной катодной поляризации влияние лантана, внедрившегося в поры Ti/ГА-покрытия проявляется еще более заметно. При этом потенциал устанавливается достаточно быстро за время приблизительно равное 3 мин.

Потенциодинамические кривые наиболее наглядно позволяют проанализировать все возможные процессы, протекающие на электродах в исследуемом интервале потенциалов. Наличие пиков и площадок на i -E кривых позволяет оценить предположительный состав продуктов в процессе электрохимических превращений и их устойчивость. Исследования ПДК проводились в электролите внедрения в области потенциалов от -3 В до $+1 \text{ В}$ со скоростью линейной развертки потенциала 20 мВ/с [1]. Как видно из зависимостей i -E на катодных кривых внедрения лантана, и на анодных кривых, отражающих процесс его экстракции, наблюдаются четкие пики, свидетельствующие о затруднениях протекания процессов катодного внедрения и анодной экстракции лантана (рисунок 1).

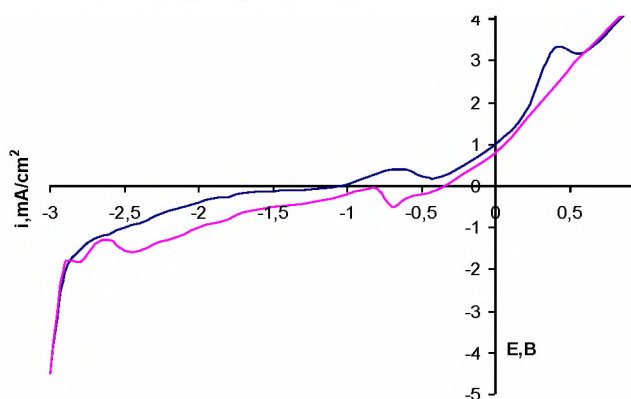


Рисунок 1 – Потенциодинамические кривые катодного внедрения лантана в Ti/ГА-покрытия титановых образцов

Дальнейшее более глубокое насыщение приводит к увеличению плотности рабочих токов в данном интервале потенциалов (рисунок 2), а также, в ряде случаев, то к появлению, то к исчезновению новых пиков и площадок. Такое поведение ЦПДК указывает на образование многофазной системы покрытия нестехиометрического состава.

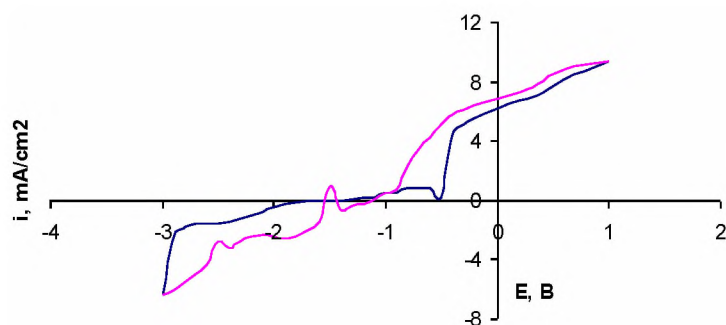


Рисунок 2 – Потенциодинамические кривые катодного внедрения лантана в Ti/ГА-покрытия при насыщении

На рисунке 3 показаны хронопотенциограммы Ti/ГА-покрытий в бестоковом режиме в течении 60 сек. Значение бестокового потенциала варьировалось от 0,52 В до 0,535 В.

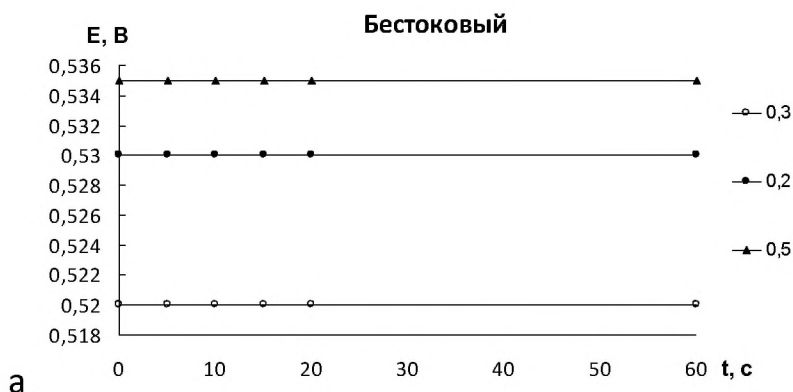


Рисунок 3 – Хронопотенциограмма Ti/ГА-покрытия в бестоковом режиме в течение 60 секунд

На рисунке 4 представлены E-t кривые для Ti/ГА-покрытий титановых образцов. Анализ E-t кривых Ti/ГА-покрытий при насыщении их серебром носит вполне определенный характер. При этом на значение бестокового потенциала оказывает влияние величина плотности катодного тока. Величина потенциала катодного процесса монотонно смещается в область более отрицательных значений с увеличением величины i_k . Также это прослеживается и при анализе бестоковых хронопотенциограмм. Значения величин потенциалов исследуемых покрытий абсолютно соответствуют значению потенциала чистого серебра.

Согласно литературным данным [1], восстановление ионов серебра протекает практически с 100% выходом по току в отсутствии нитрат-ионов. Однако их присутствие снижает выход по току до 80÷90 % вследствие побочных процессов восстановления NO_3^- до аммиака и гидросиламина.

На основе анализа полученных результатов электрохимических исследований установлено, что с увеличением плотности тока серебро внедряется в покрытие в больших микроколичествах, а процесс катодного внедрения характеризуется более высокой стабильностью.

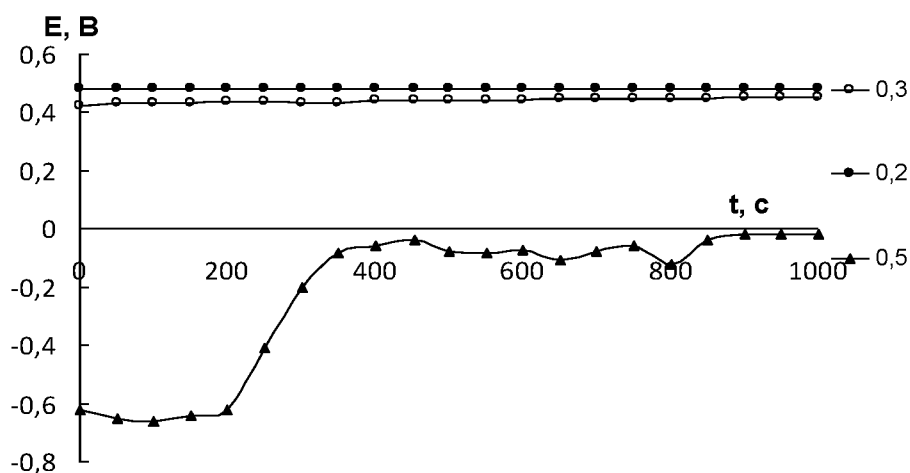


Рисунок 4 – E-t кривых Ti/ГА-покрытий при насыщении их серебром

Выводы

Установлено, что с уменьшением дисперсности лантансодержащего порошка (70 мкм) практически полностью исчезают непроплавленные слэты, уменьшается количество участков с характеристическим соотношением Ca/P, значительно отличающимся от 1,67, присущим стехиометрическому ГА, а также достигается высокая стабильность этого соотношения ($\text{Ca/P} \approx 1,65$) в сочетании с антимикробными качествами.

Таким образом, из полученных данных экспериментальных исследований можно заключить, что антибактериальные химические элементы (лантан и серебро) активно внедряются в пористые биокomпозиционные покрытия внутрикостных имплантатов методом катодного модифицирования.

Литература

1. Пошивалова (Сюсюкина) Е.Ю. Разработка технологии электрохимического и электроплазменного формирования биоактивных композиционных покрытий: Дисс... канд. техн. наук, Саратов, 2008. - 205с.
2. Родионов И.В. Металлооксидные имплантационные системы в современной медицинской технике // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. Т.10, №1, 2013. С. 98-104.
3. Родионов И.В., Фомин А.А. Новые достижения в инженерии поверхности ортопедических имплантационных конструкций // Нанотехнологии. №10 (28), 2013. С. 36-40.
4. Патент РФ на изобретение №2417107. Способ нанесения гидроксиапатитового покрытия на имплантаты / Родионов И.В. Оpubл. 27.04.2011.

КОЛЛЕКТИВНАЯ ДИНАМИКА ОСЦИЛЛЯТОРОВ В СЕТЯХ БИСТАБИЛЬНЫХ СИСТЕМ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ, СВЯЗАННЫХ ЧЕРЕЗ ОБЩЕЕ ПОЛЕ

Прохоров М.Д., Кульминский Д.Д., Пономаренко В.И.

*Саратовский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
Саратов, Россия, mdprokhorov@yandex.ru*

Аннотация. Экспериментально и численно исследованы особенности коллективной динамики, в том числе состояния «химера», в сети идентичных бистабильных осцилляторов с запаздывающей обратной связью, связанных между собой через общее поле. Рассмотрены различные способы формирования общего поля, осуществляющего глобальную связь осцилляторов, и исследовано влияние инерционных свойств и запаздывания общего поля на коллективную динамику осцилляторов.

Ключевые слова: сети осцилляторов; системы с запаздыванием; состояния «химера».

COLLECTIVE DYNAMICS OF OSCILLATORS IN NETWORKS OF BISTABLE TIME-DELAY SYSTEMS COUPLED VIA THE MEAN FIELD

Mikhail Prokhorov, Danil Kulminskiy, Vladimir Ponomarenko

*Saratov Branch of Kotelnikov Institute of Radio Engineering and Electronics of Russian Academy of
Sciences, Saratov, Russia, mdprokhorov@yandex.ru*

Abstract. The features of collective dynamics of oscillators, including chimera states, are studied both experimentally and numerically in a network of identical bistable time-delayed feedback oscillators globally coupled via the mean field. Different ways of formation of the mean field are considered. The influence of delay and inertial properties of the mean field on the collective behavior of oscillators is investigated.

Keywords: networks of oscillators; time-delay systems; chimera states.

УДК 621.354

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ ЛИТИЙ-ИОННЫХ БАТАРЕЙ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ СИСТЕМ

Сердечный Д.В.¹, Смурыгин Е.О.², Томашевский Ю.Б.³

¹ *Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, serdechny.denis@gmail.com,*

² *Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, egor_0708@mail.ru,*

³ *Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, yurytomash@mail.ru*

Аннотация. Рассматриваются вопросы повышения эффективности многоэлементных литий-ионных аккумуляторных батарей для мобильных систем. Сравниваются два способа балансировки: активный и пассивный.

Ключевые слова: многоэлементная литий-ионная батарея, пассивная и активная балансировка.

IMPROVEMENT OF EFFICIENCY OF MULTI-ELEMENT LITHIUM-ION BATTERIES FOR MOBILE SYSTEMS

Abstract. The problems of increasing the efficiency of multi-element lithium-ion batteries for mobile systems are considered. Two balancing methods are compared: active and passive.

Keywords: multi-cell lithium-ion battery, passive and active balancing.

Актуальной задачей обеспечения надежным электропитанием мобильных систем является повышение эффективности входящих в них устройств аккумулирования энергии путем улучшения эксплуатационных показателей последних.

Одним из путей решения поставленной задачи является увеличение фактического времени разряда многоэлементной литий-ионной батареи путем реализации процесса балансировки ее ячеек в период заряда. Отметим два способа балансировки: пассивный, заключающийся в рассеивании «лишней» энергии с более заряженных элементов, и активный, основанный на передаче энергии с них к менее заряженным. В результате проведенного анализа было установлено, в каких случаях эффективна пассивная, а в каких активная балансировка.

Показано, что граница эффективности определяется количеством аккумуляторных ячеек в батарее и находится в диапазоне $n=7-10$ элементов. При меньшем числе ячеек предпочтительнее пассивная балансировка, с ростом числа n эффективнее - активная. Для обоих методов разработаны структуры системы контроля и управления, а также алгоритмы процессов балансировки, позволивших уменьшить время зарядки, а также увеличить фактическое время разряда на 15-20%.

УДК 621.372.8

РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПЕРЕДАЧИ ШЛЕЙФОВЫХ РАЗВЕТВЛЕНИЙ СВЧ-УСТРОЙСТВА НА ПРЯМОУГОЛЬНОМ ВОЛНОВОДЕ С НЕОДНОРОДНЫМ ДИЭЛЕКТРИКОМ

Скворцов А.А.

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, sotrudniki.1@yandex.ru*

Аннотация. Рассмотрена методика учета влияния на коэффициенты передачи шлейфовых разветвлений СВЧ-устройства на связанных по широкой стенке прямоугольных волноводах неоднородного диэлектрического заполнения его вторичного канала.

Ключевые слова: СВЧ-устройство, коэффициент передачи, шлейфовое разветвление, прямоугольный волновод, неоднородное диэлектрическое заполнение, эффективная диэлектрическая проницаемость.

CALCULATION OF TRANSMISSION COEFFICIENTS OF STUB BIFURCATIONS OF MICROWAVE DEVICES ON RECTANGULAR WAVEGUIDE WITH INHOMOGENEOUS DIELECTRIC

Skvortsov A.A.

*Yuri Gagarin state technical university of Saratov,
Saratov, Russia, sotrudniki.1@yandex.ru*

Abstract. Technique of taking into account the influence of inhomogeneous dielectric filling of the second channel on the transmission coefficient of stub bifurcation of microwave device on coupled along wide wall rectangular waveguides is considered.

Key words: microwave device, transmission coefficient, stub bifurcation, rectangular waveguide, inhomogeneous dielectric filling, effective dielectric permittivity.

В настоящее время все большее применение в микроволновой технике находят СВЧ-устройства на связанных по широкой стенке посредством шлейфовых разветвлений прямоугольных волноводах (ПрВ), вторичный канал которых заполнен неоднородным диэлектрическим материалом (рисунок 1) [1]. Важной задачей, возникающей при разработке рассматриваемого СВЧ-устройства, является оценка влияния частичного диэлектрического заполнения вторичного канала на коэффициенты передачи шлейфовых разветвлений.

Поскольку зависимость коэффициента передачи одного волновода связи в диапазоне частот аналогична передаточной характеристике шлейфового разветвления [2], анализ диапазонных свойств коэффициента передачи одного элемента связи позволяет однозначно судить о поведении коэффициента передачи СВЧ-устройства в целом. В работе [3] предложена методика определения постоянной распространения заполненного неоднородным диэлектрическим материалом ПрВ, основанная на представлении рассматриваемой структуры в виде ПрВ с однородным диэлектрическим заполнением.

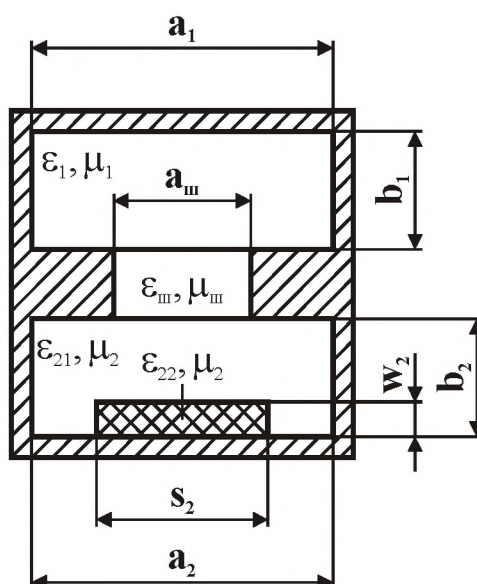


Рисунок 1 – Поперечное сечение СВЧ-устройства на связанных по широкой стенке посредством шлейфовых разветвлений ПрВ с неоднородным диэлектрическим материалом во вторичном канале

Эта модель позволяет рассчитать модуль коэффициента передачи шлейфового разветвления рассматриваемого СВЧ-устройства по формуле [2, 3]

$$|\dot{K}_{ш}| = \frac{\Phi_{ш}^{-1} \lambda_{вш}}{2\sqrt{k^*} (a_1 b_1 a_2 b_2 \lambda_{в1} \lambda_{в2})^{1/2}} \left[\left(\cos\left(\frac{\pi h_1}{a_1}\right) \sin \gamma_1 \right)^2 + \left(\frac{\lambda_{в1}}{2a_1} \sin\left(\frac{\pi h_1}{a_1}\right) \cos \gamma_1 \right)^2 \right]^{1/2} \cdot \left[\left(\cos\left(\frac{\pi h_2}{a_2}\right) \sin \gamma_2 \right)^2 + \left(\frac{\lambda_{в2}}{2a_2} \sin\left(\frac{\pi h_2}{a_2}\right) \cos \gamma_2 \right)^2 \right]^{1/2}, \quad (1)$$

где $\sqrt{k^*} \approx 1$; $\Phi_{ш}$ – параметр, зависящий от формы поперечного сечения волновода связи (шлейфа); h_1, h_2 – смещение центра волновода связи относительно средней линии соответственно первичного и вторичного волноводов; γ_1, γ_2 – углы поворота волновода связи относительно средних линий тех же волноводов; $\lambda_{в1} = \lambda / \sqrt{\varepsilon_1 \mu_1 - (\lambda/2a_1)^2}$, $\lambda_{в2} = \lambda / \sqrt{\varepsilon_{2эф} \mu_2 - (\lambda/2a_2)^2}$ и $\lambda_{вш} = \lambda / \sqrt{\varepsilon_{ш} \mu_{ш} - (\lambda/\lambda_{с1ш})^2}$ – длины основных волн в первичном, вторичном волноводах и шлейфе; λ – рабочая длина волны в свободном пространстве; $\lambda_{с1ш}$ – критическая длина основной волны полого волновода связи; $\varepsilon_1, \varepsilon_{ш}$ и $\mu_1 = \mu_{ш} = 1$ – относительные диэлектрические и магнитные проницаемости материалов, заполняющих первичный волновод и шлейф; $\mu_2 = 1$ и $\varepsilon_{2эф} = \varepsilon_{21} + (\varepsilon_{22} - \varepsilon_{21})(s_2 w_2 / a_2 b_2)(1 + \text{sinc}(\pi s_2 / a_2))$ – относительные магнитная и эффективная диэлектрическая проницаемости неоднородного заполнения вторичного волновода; ε_0 и μ_0 – электрическая и магнитная постоянные.

Таким образом, рассмотренное выше выражение позволяет учесть влияние на коэффициенты передачи шлейфовых разветвлений СВЧ-устройства на связанных по широкой стенке ПрВ неоднородного диэлектрического заполнения его вторичного канала и может быть использовано при проектировании микроволновых систем различного назначения.

Литература

1. Скворцов А.А. Применение делителей мощности на связанных посредством шлейфовых разветвлений волноводах для термообработки диэлектрических материалов // Радиотехника. 2015. № 7. С. 70–75.
2. Сосунов В.А. Шлейфовые волноводные разветвления и устройства на их основе. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 1995. 104 с.
3. Chukhov V.V. One method of propagation constants measurement // Proceedings of the 4-th International Kharkov Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter, and Submillimeter Waves (MSMW'01). Kharkov, Ukraine. 2001. Vol. 2. P. 820-822.

BISTABILITY OF BURSTING AND SILENT STATES IN A MODEL OF HODGKIN-HUXLEY TYPE

Nataliya Stankevich^{1,2}, Erik Mosekilde³

¹ *Yuri Gagarin state technical university of Saratov,
Saratov, Russia, stankevichnv@mail.ru,*

² *St. Petersburg State University,*

³ *Technical University of Denmark*

Abstract. In the present paper a modified version of well-known simplified pancreatic cell model is suggested. The considered modification only produces minor changes of the model and thus allows for a stable state to arise and develop inside the bursting dynamics. In this way the model becomes an example of bistability of stable and bursting dynamics in a biophysical model.

Keywords: dynamical system, bistability, Hodgkin-Huxley formalism, hidden attractors.

Multistability, or coexistence of dynamical regimes, is a characteristic feature of many types of biological cells, neural networks, and other forms of oscillatory biophysical systems. This feature is particularly significant in connection with the study of interacting ensembles of many, nearly identical subsystems. It is well-known, for instance, that a variety of unusual phenomena that emerge in ensembles of coupled oscillators can lead to major reconstructions of an oscillator population, or to its total collapse. It is broadly accepted, for instance, that synchronization plays an important role in the pathogenesis of neurological diseases such as Parkinson's disease and essential tremor.

In this paper we introduce a modified version of the simplified pancreatic beta-cell model obtained by introducing a new type of potassium-like ion with its characteristic set of channel parameters selected in accordance with a standard Hodgkin-Huxley formalism. The suggested modification is designed to be local and small enough to allow for the existence of an attracting state to live inside the regime of stable bursting dynamics. This provides for the presence of bistability in the modified beta-cell model and, at the same time, serves as an example of a biophysical system that allows for the coexistence of stable silence with large amplitude bursting.

In the paper the results of numerical simulations of suggest model are presented: phase portraits, chart of dynamical modes, basins of attraction of coexisting regimes. The influence of white noise on this system is studied.

This work was supported by the Russian Science Foundation project 14-21-00041.

ПРОБЛЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЕКТА ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ШАГАЮЩИХ РОБОТОВ И ЭКСОСКЕЛЕТОВ

Сторожев Петр Петрович

*АО «Научно-производственное объединение «Андроидная Техника»,
Россия, Магнитогорск, storozhev@npo-at.com*

Аннотация. Представлена классификация задач искусственного интеллекта шагающих роботов на основе безразмерных критериев: числа Фруда и относительной неоднородности поверхности движения. Описана концепция центрального генератора паттернов движения (ЦГП). Представлена постановка задачи построения ЦГП на основе системы нелинейных связанных осцилляторов Хопфа и Ван дер Поля. Описаны задачи искусственного интеллекта для создания систем управления экзоскелетами, применяемых для медицинской реабилитации, ассистивной функциональности и спорта.

Ключевые слова: шагающие роботы, экзоскелеты, центральный генератор паттернов, связанные нелинейные осцилляторы, искусственный интеллект.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE PROBLEMS IN WALKING ROBOT'S AND EXOSKELETON'S CONTROL SYSTEMS

Petr Storozhev

JSC «Android Technic» Magnitogorsk, Russia, storozhev@npo-at.com

Abstract. Classification of problems of walking robots artificial intelligence on the basis of dimensionless criteria: Froude's number and relative walking surface irregularity is presented. Central Pattern (CGP) concept is described. The problem of CPG construction based on the system of Hopf and Van Der Pol nonlinear coupled oscillators is formulated. Problems of artificial intelligence for creation of exoskeleton control systems for medical rehabilitation, assistive functionality and sports are specified.

Keywords: walking robots, exoskeletons, central pattern generator, nonlinear coupled oscillators, artificial intelligence.

Введение (Introduction)

В настоящее время существует несколько подходов для построения системы управления движением шагающим роботом. В данном докладе впервые представлена классификация, показывающая эффективность применения тех или иных подходов в зависимости от двух безразмерных критериев: числа Фруда, определяемого как отношение квадрата скорости движения центра масс робота к gH , (g - ускорение свободного падения, H – высота центра масс относительно движущейся поверхности) и безразмерного критерия, характеризующего относительную неоднородность поверхности движения L_h , определяемого как отношение характерного размера неоднородности L к высоте центра масс H . Основное внимание в данной работе уделено области, характеризующейся значениями Fr и L_h близким к единице. В докладе показано, что именно в этой области эффективным является применение концепции Центрального Генератора Паттернов (ЦГП) движения,

как математической модели спинного мозга шагающего животного, отвечающего за генерацию локомоторных паттернов. Приводятся результаты последних работ, выполненных в зарубежных университетах, где модели ЦГП строятся на основе системы связанных осцилляторов типа Ван дер Поля и Хопфа.

В докладе приводится классификация экзоскелетов по своему функциональному назначению и в зависимости от этого приводятся эффективные методы построения систем управления.

Основная часть

Прогресс в создании робастных систем управления движением шагающих роботов и экзоскелетов нижних конечностей во многом обязан большому количеству исследований, проведенных в области биомеханики и нейробиомеханики во второй половине прошлого века. Также следует отметить и существенный вклад в данную область со стороны нелинейной динамики и, в частности, теории нелинейных осцилляторов. Эффективность тех или иных методов управления можно классифицировать по двум безразмерным критериям: числу Фруда - Fr и относительной неоднородности поверхности - Lh . По этим двум критериям можно выделить 9 областей: $(Fr \ll 1; Lh \ll 1)$, $(Fr \ll 1; Lh \sim 1)$, $(Fr \ll 1; Lh \gg 1)$, $(Fr \sim 1; Lh \ll 1)$, $(Fr \sim 1; Lh \sim 1)$, $(Fr \sim 1; Lh \gg 1)$, $(Fr \gg 1; Lh \ll 1)$, $(Fr \gg 1; Lh \sim 1)$, $(Fr \gg 1; Lh \gg 1)$. Наибольший практический интерес лежит в области $(Fr \sim 1; Lh \sim 1)$. Именно эта область характеризуется эффективностью шагающих роботов по сравнению с колесной и гусеничной техникой по проходимости. Для построения системы управления движением эффективным является метод на основе Центрального Генератора Паттернов движения, существование которого у шагающих животных доказано в многочисленных биологических исследованиях. Наиболее часто ЦГП моделируется системой связанных нелинейных осцилляторов на основе осцилляторов Ван Дер Поля и Хопфа. Существенным преимуществом данного подхода является то, что решение системы уравнений в фазовой плоскости имеет аттрактор, что дает автоматическую устойчивость движения конечностей по нерегулярной поверхности. Применение концепции ЦГП также эффективно и для построения системы управления экзоскелетом нижних конечностей для ассистивной функциональности при ряде заболеваний, связанных с нарушением функционирования спинного мозга и центральной нервной системы. В качестве наиболее эффективного метода управления экзоскелетом как верхних, так и нижних конечностей для ассистивной функции является метод, в основе которого по измерениям мышечной активности с помощью электромиографии определяется момент в суставе, созданный мышечными усилиями. При этом привод создает суммарный момент пропорциональный мышечному и работает, как усилитель момента.

THE ADAPTED NONLINEAR GRANGER CAUSALITY REVEALS MECHANISM OF TRANSITION FROM ABSENCE TO LIMBIC SEIZURES

Sysoeva M.V.¹, van Rijn C.M.², Sysoev I.V.³

¹*Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russia, bobrich@mail.ru,*

²*Donders Center for Cognition, Radboud University, Nijmegen, the Netherlands, t.vanrijn@donders.ru.nl*

³*Saratov State University, Saratov, Russia, ivssci@gmail.com*

Abstract. The current investigation is dedicated to study absence and limbic epileptic seizures using spectral analysis of signals from individual areas of the brain and analysis of connectivity between these areas before, during, and after a seizure by the adapted Granger causality method. Genetic models of epilepsy (WAG/Rij rats) are used in this study. Possible mechanism for the transition from spike-wave discharges to limbic seizures after CB1-receptor agonist injection is reveal in experimental animals. This transition occurred in a single rat from eleven. The others ten rats after the drug injection demonstrated increase absence activity.

Keywords: adapted Granger causality, absence seizure, limbic seizure, CB1-receptor agonist WIN55,212-2, WAG/Rij rats.

Introduction

Epilepsy is a chronic brain disease characterized by recurrent seizures with disorder in motor, sensory, autonomic, cognitive or mental functions, arising as a result of excessive neuronal discharges in the cerebral cortex. According to an actual classification, there are over twenty different types of epileptic discharges. Pathological changes in connectivity in the brain, usually leading to partial synchronization during seizures, is often considered to be a reason of many types of generalized (spreading across the whole brain) epilepsy. The treatment effectiveness depends on the timeliness and accuracy of quick selection of the appropriate antiepileptic drug. Drugs affecting endocannabinoid system are one of the groups of antiepileptic drugs.

This paper discusses absence (thalamo-cortical) and limbic discharges, spontaneous and arose in response to the introduction of antiepileptic medication – endocannabinoids receptor agonist WIN55, 212-2 (Compton et al., 1992). The cortico-thalamic circuit is known to participate in the formation of spike-wave discharges, which are the characteristic feature of absence epilepsy. Limbic seizures are another type of seizure activity. The divisions of the limbic system (hippocampus, amygdala, hypothalamus, and midbrain) are the source of epileptic seizures in this form of the disease. It is believed that absence and limbic seizures are "competitors".

The goals of this paper are: to show what functional changes in thalamo-cortical network appear as a results of using cannabinoid receptor agonist WIN55,212-2; to identify the reorganization in thalamo-cortical network, which may correspond to the increase, decrease or qualitative change in epileptiform activity; to investigate the changes of connectivity over time, which accompany the seizure initiation and termination, depending on whether it was a spontaneous seizure or provoked by the injection of WIN55,212-2.

Methods

The work considered experimental 8-hours long local field potential (LFP) recordings of the brain activity of eighteen adult male WAG/Rij rats (8 to 10 months)

(Coenen & van Luijtelaar, 2003). Each record can be divided into three series: until the drug injection (first 2 hour), immediately after injection (2 – 4 hours), and 4 hours after administration and later until the end of recording (i.e. from fifth hour of record). Eleven animals received an injection of the drug WIN55, 212-2 is an agonist of endocannabinoids receptors. Seven animals represented the control group, they were administrated with arachide oil subcutaneously.

Adapted nonlinear Granger causality, which was proposed specially for the study of absence seizures in (Sysoeva et al., 2014; Sysoeva et al., 2016), was used. Additional calculations of the optimal model dimension and polynomial order were made to apply the method to the limbic seizures. The main frequency, which is principally different from that in absence seizures, was taken into account.

Results

Connectivity analysis of brain structures by the adapted nonlinear Granger causality method (Sysoeva & Sysoev, 2012) shows that for rats, which were injected with oil, the structure of relations for all three periods of the experiment remains constant during discharge. There is a clear increase in coupling between frontal and parietal cortex, as well as increased driving of these two structures to the occipital cortex.

For rats injected by the drug the suppression of seizures was observed in the beginnig. Then, the increased epileptogenic activity took place. It is clear that after the introduction of the drug the pathogenic connections, which initially existed in the brain of rats — genetic models of absence epilepsy, began to disintegrate gradually. Even when the duration and frequency of discharges increase (the third period), the connectivity is still less pronounced than before the administration of the drug.

For rats, which after the CB1-receptor agonist injection demonstrated limbic seizures, no significant differences in the connection structure in the brain from the remaining seventeen rats was found in the first part of the recording (before injection). The drug injection completely suppressed seizures initially, but then it resulted in another type of epileptic discharge – limbic seizure. Increased influence from the cortex to the hippocampus is observed during limbic seizures. And the increased driving from the occipital cortex to frontal and parietal cortex is observed. All other connections in the brain fall below the background level. The interesting difference of these discharges from typical absence seizures lies in the fact, that the connectivity falls below the background level before the seizure onset immediately, but for absence seizures we observe a sharp increase in connectivity before seizure onset, and then a gradual fall.

Acknowledgments. This research was funded by Russian Science Foundation Grant No. 17-02-00307 and Stipendium of President of Russian Federation for support of young scientists СП-1510.2015.4.

Литература

1. Compton D.R., Gold L.H., Ward S.J., Balster R.L., Martin B.R. Aminoalkylindole analogs: Cannabimimetic activity of a class of compounds

structurally distinct from Δ^9 -tetrahydrocannabinol. Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics. 1992. 263(3):1118-1126.

2. Coenen A.M.L., van Luijtelaar E.L.J.M. Genetic animal models for absence epilepsy: a review of the WAG/Rij strain of rats. Behaviour Genetics. 2003. 33:635-655.

3. Sysoeva M.V., Sysoev I.V. Mathematical modelling of encephalogram dynamics during epileptic seizure. Technical Physics Letters. 2012. 38(2):151-154.

4. Sysoeva M.V., Sitnikova E., Sysoev I.V., Bezruchko B.P., van Luijtelaar G. Application of adaptive nonlinear Granger causality: Disclosing network changes before and after absence seizure onset in a genetic rat model. Journal of Neuroscience Methods. 2014. 226:33-41.

5. Sysoeva M.V., Lüttjohann A., van Luijtelaar G., Sysoev I.V. Dynamics of directional coupling underlying spike-wave discharges. Neuroscience. 2016. 314:75-89

ОБЗОР ПРИМЕНИМОСТИ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ВЕБ-ДОКУМЕНТОВ

Турлычкин Д.В.¹, Усков Д.А.²

¹Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, dmitrii.turlychkin@icloud.com

²Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, dmtruskov@gmail.com

Аннотация. Приложения, использующие веб-технологии проникли во все виды программ, которые на текущий момент мы используем. Ни у кого уже не вызывает вопрос о том какие функции выполняют такие приложения как: GMail, Bloglines, и OddPost. Зачастую при разработке подобных приложений очень просто допустить небольшие незначительный ошибки, которые при единичном рассмотрении не несут проблем. А при большом количестве подобных ошибок это может оказать колоссальную потерю производительности. В данном тезисе приводится обзор существующих методов решения таких проблем и предлагается комбинированное решение для задач оптимизации в области веб-разработки.

Ключевые слова: веб-разработка, оптимизация, CSS, HTML, синтаксический анализ.

OVERVIEW OF THE APPLICABILITY OF ALGORITHMS FOR WEB DOCUMENT OPTIMIZATION

Dmitrii Turlychkin¹, Dmitrii Uskov²

¹ Yuri Gagarin state technical university of Saratov,
Saratov, Russia, dmitrii.turlychkin@icloud.com

² Yuri Gagarin state technical university of Saratov,
Saratov, Russia, dmtruskov@gmail.com

Abstract. Applications based on web technologies have penetrated into all kinds of programs that are currently used. The question of what functions are performed by such applications as GMail, Bloglines, and OddPost is not actual nowadays. Development of such applications usually carries a lot of troubles due to human - machine interaction. For example, it is easy to admit minor errors,

that could not influence on system in a single examination. But with a large number of such errors, the system can have a huge loss of productivity. This thesis provides an overview of existing methods of dealing with such problems and there is a combination of solution for optimization tasks in the field of web development. Key words: Web-development, optimization, CSS, HTML, syntactical analyzer.

Keywords: web development, optimization, CSS, HTML, syntax analysis.

Введение

История математики в настоящее время оказывает существенное влияние на ряд областей человеческой жизнедеятельности. В борьбе за эффективность функционирования системы важным этапом разработки является построение структурной модели, опирающейся на теорию графов. Использование теории графов берет начало от проблемы моста Коинсберга в 1735 году. Но с появлением Интернета и бесчисленного множества веб-страниц появилась необходимость просчитывать результат в зависимости от совершенного действия и строить модель-отклик в очень сжатый промежуток времени для интерактивности работы с сайтом.

Обзор алгоритмов

Моделирование веб-документов в виде графов имеет два основных преимущества. Во-первых, он сохраняет фактическую структуру исходных документов, представляет собой числовые векторы признаков, которые содержат временные частоты. Во-вторых, не появляется необходимость в разработке нового алгоритма кластеризации прямо с нуля. Но расширение классических алгоритмов может быть разработано для обработки графов, которые используют числовые векторы.

Алгоритм Дугласа-Пьюкера использует точечный перенос. Он начинается с грубого упрощения, которое представляет собой единственное ребро, соединяющее первую и последнюю вершины исходного маршрута. Затем происходит вычисление расстояния между промежуточными вершинами до края. Самая дальняя вершина отмечается как новый ключ. Процесс повторяется до тех пор, пока все промежуточные точки не пройдут расстояние в пределах определенного допуска к краю. В случае, если все промежуточные точки попадают в указанный интервал, конечный результат будет достигнут. Первая и последняя вершины всегда являются ключами и не могут быть удалены.

Иерархический алгоритм кластеризации с применением метода рассеяния начинаеся с нахождения двух точек, которые имеют наименьшее расстояние между ними и образуют их в один псевдоэлемент со средним положением между ними. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не останется только одна точка. Процесс формирует дерево, которое называют дендрограммой, данное дерево показывает расстояния между точками. Если разрезать дендрограмму на любой высоте по горизонтали, можно увидеть несколько кластеров. Таким образом, можно уменьшить количество отображаемых точек данных.

Комплексная оптимизация – один из самых надежных инструментов для автоматического анализа данных, который широко распространен в таких областях, как машинное обучение, компьютерное зрение, комбинаторная оптимизация и научные вычисления. Тем не менее, быстро растущий объем и сложность данных, которые необходимо обработать, часто делают непригодными алгоритмы общего назначения.

Большинство представленных алгоритмов работают во времени почти линейно при разреженности входных данных. Объединяющей темой этих результатов является тщательный анализ алгоритмов оптимизации в высокоразмерных пространствах и смешивании комбинаторных и численных подходов.

Заключение

Особую важность данная тема приобретает сегодня на волне интереса к машинному обучению, так как при оптимизации производительности моделей глубинного обучения для достижения наивысшей производительности важно эффективно использовать всех доступные ядра, поэтому необходимо рассматривать распараллеливание не только в пределах одного заданного уровня, но и распараллеливание между разными уровнями. Важно отметить то, что в работе таких систем данные и определенное состояние объекта в текущий момент должны быть доступны всегда, когда они нужны исполняемой процедуре, в связи с этим необходимо устранять излишнее преобразование данных, что является ресурсозатратным; объединять нескольких операций воедино; обрабатывать промежуточные состояния для ускоренного обратного распространения. Такие оптимизационные преобразования графов сложно представить без визуализации, которая позволяет контролировать изменения в системе.

Литература:

1. Artur Käpp Comparison of JavaScript Graph Frameworks
<http://reports-archive.adm.cs.cmu.edu/anon/2016/CMU-CS-16-107.pdf>
2. M.M. Solomon. “Vehicle routing and scheduling with time window constraints: Models and algorithms”. PhD thesis. 1983.
3. Adam Schenker, Mark Last, horst Banke, Abraham andel, “Clustering of Web documents using a graph model”, Springer werlog, September 2007
4. M. Drexler. r-c-shortest-paths. The boost C++ library documentation, version 1.62. 2006.
http://www.boost.org/doc/libs/1_62_0/libs/graph/doc/r_c_shortest_paths.html.
5. R. Bellman. Dynamic Programming. Princeton, NJ, USA: Princeton University Press, 1957.
6. Visualization of advanced graph algorithms
http://www.adrian-haerbach.de/idp-graph-algorithms/documentation/idp_adrian.pdf

7. J. Feil. “Visualisierung fortgeschrittener Graphalgorithmen mit D3.js am Beispiel des Blossom Algorithmus”. Edmonds’s Blossom Algorithm. Interdisciplinary Project. Technische Universität München, Nov. 2016.

<https://www-m9.ma.tum.de/graph-algorithms/matchings-blossom-algorithm/>.

8. R. Storz. “Entwicklung und Implementierung eines didaktischen Konzepts zur Veranschaulichung verschiedener Graphalgorithmen zum Einsatz in der gymnasialen Oberstufe”. The Bellman-Ford Algorithm. Interdisciplinary Project. Technische Universität München, Apr. 2013. url: <https://www-m9.ma.tum.de/graph-algorithms/spp-bellman-ford/>.

УДК 62-523.2

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РАДИАЛЬНОЙ ГАЗОМАГНИТНОЙ ОПОРЫ

Ульянов А.В., Хвостиков А.С.

*Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет,
Россия, Комсомольск-на-Амуре, Ulianov2@mail.ru*

Аннотация. Результаты экспериментальных исследований показали, что использование ГМО с активным управлением позволяет в номинальном режиме повысить точность вращения ротора в 9,6 раз и увеличить несущую способность на 22 %.

Ключевые слова: Газомагнитная опора; ГМО; ПЛИС; СУ; Labview; АМП; SBRIO-9636.

THE CONTROL SYSTEM OF RADIAL GAS-MAGNETIC BEARING

Ulyanov A.V, Khvostikov A.S.

*Komsomolsk-on-Amur State Technical University,
Russia, Komsomolsk-on-Amur, Ulianov2@mail.ru*

Abstract. The results of experimental studies have shown that the use of GMO with active control allows in the nominal mode to increase the accuracy of rotation of the rotor by 9.6 times and to increase the bearing capacity by 22%.

Keywords: Gas-magnetic bearing; GMO; FPGA; CS; Labview; AMB; SBRIO-9636.

Введение (Introduction)

Традиционно в высокоскоростном электрооборудовании используют подшипники качения. Однако, физический принцип работы таких опор ограничивает их быстроходность. Альтернативой подшипникам качения являются гидростатические подшипники, но их применение на высоких скоростях ограничено высоким тепловыделением. Бесконтактные опоры на газовой смазке обеспечивают высокие скорости вращения, однако их недостатком является сравнительно низкая несущая способность. К бесконтактным быстроходным опорам относят также активные магнитные подшипники (АМП). Недостатками АМП являются низкая надежность вследствие возможности контакта ротора с магнитными полюсами статора и необходимость иметь страховочный механический подшипник.

Основная часть

Использование бесконтактных газоманитных опор (ГМО), сочетающих в себе газовый и магнитный подвес, позволяет повысить несущую способность подшипниковых узлов, существенно увеличить жесткость и точность позиционирования ротора, что особенно важно в высокоскоростном электрооборудовании, защитить магнитный подвес страховочным газовым подвесом в случае аварийных ситуаций.

Автономную систему управления (СУ) ГМО предлагается реализовать в аппаратном исполнении на базе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС). Для повышения надежности выбраны выделенные целевые платформы со встроенными средствами ПИД-управления и нечеткой логики на реконфигурируемых системах ввода/вывода сигналов компании National Instruments (NI LabVIEW reconfigurable I/O (RIO) architecture). Испытания многофункциональной встраиваемой системы сбора данных и управления CompactRIO показали, что для разрабатываемой СУ ее быстродействие недостаточно из-за встроенного последовательного интерфейса между шасси с ПЛИС и модулями аналогового ввода/вывода. Требования по быстродействию обеспечила платформа управления и сбора данных NI Single-Board RIO, построенная на одной печатной плате.

В результате исследований предложен алгоритм проектирования СУ, позволивший реализовывать цифровую СУ на базе ПЛИС. Работоспособность СУ подтверждена в среде имитационного моделирования Control Design and Simulation Module пакета LabVIEW и при проведении экспериментальных исследований. Реализация СУ на основе жесткой логики существенно повышает надежность ее работы.

Результаты экспериментальных исследований показали, что использование ГМО с активным управлением позволяет в номинальном режиме повысить точность вращения ротора в 9,6 раз и увеличить несущую способность на 22 %.

УДК 62-523.2

ОБЗОР ПРИМЕНИМОСТИ ОБХОДА В ГЛУБИНУ С УСЛОВИЕМ НА ПРИМЕРЕ АБСТРАКТНОГО СИНТАКСИЧЕСКОГО ДЕРЕВА ИСХОДНОГО КОДА НА JAVASCRIPT

Усков Д.А.¹, Турлычкин Д.В.²

¹*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, dmtruskov@gmail.com*

²*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, dmitrii.turlychkin@icloud.com*

Аннотация. Процесс разработки приложений часто сопровождается решением типовых задач автоматизации процессов: поиск ошибок, авто-документирование и другие. В основе решения таких задач лежит статический анализ исходного кода, основанный на построении промежуточных представлений. При большом количестве исходного кода обработка занимает значимое количество ресурсов, как материальных, так и временных. Предложенный нами алгоритм позволяет ускорить процесс статического анализа и минимизировать ресурсы.

Ключевые слова: оптимизация анализа JavaScript, оптимизация статического анализа, обход в глубину с условием.

A REVIEW OF APPLICABILITY DEPTH-FIRST SEARCH WITH CONDITION ON AN EXAMPLE OF AN ABSTRACT SYNTAX TREE OF THE SOURCE CODE ON JAVASCRIPT

Dmitrii Uskov¹, Dmitrii Turlychkin²

¹ *Yuri Gagarin state technical university of Saratov,
Saratov, Russia, dmtruskov@gmail.com*

² *Yuri Gagarin state technical university of Saratov,
Saratov, Russia, dmitrii.turlychkin@icloud.com*

Abstract. The process of developing applications is often accompanied by the solution of typical tasks of process automation: error search, auto-documentation and others. The basis for solving such problems is static analysis of the source code, based on the construction of intermediate representations. With a large amount of source code, processing takes a significant amount of resources, both material and temporary. The algorithm proposed by us allows us to accelerate the process of static analysis and minimize resources.

Keywords: optimization of JavaScript analysis, optimization of static analysis, depth-first search with condition.

Введение

В процессе разработки приложений на любых платформах и языках возникает необходимость решения ряда типовых задач. Среди таких задач могут быть задачи, связанные с:

- поиском ошибок;
- повышением качества кода;
- тестированием кода;
- автоматизированное документирование исходного кода.

Подходы к решению задач данного типа основываются на анализе и обработке промежуточного представления исходного текста программы.

Промежуточные представления исходных текстов программ (Intermediate Representations)

Промежуточное представление (далее - IR) исходного кода программ - это отражение исследуемой программы на структуре данных синтаксически и семантически эквивалентной исходному коду. IR может быть построено в виде различных наборов данных. Самый простой вариант - абстрактное синтаксическое дерево AST (Abstract Syntax Tree), что фактически является результатом синтаксического разбора.

Формат промежуточного представления должен отвечать некоторому набору критериев, среди них можно выделить:

1. Простоту реализации инструментов для автоматической обработки;
2. Расширяемость – простоту добавления новых языковых конструкций;

3. Читабельность – удобство восприятия человеком. Среди распространенных форматов представления структурированных данных этому набору критериев удовлетворяют JSON [4], YAML [5] и XML [6].

Построение AST на основе JavaScript кода

В качестве прототипа для построения промежуточного представления был взят язык сценариев JavaScript. JavaScript [7] - это не типизированный прототипно-ориентированный язык программирования, разработанный в 1995 для увеличения динамики веб-страниц посредством внедрения скриптовых сценариев. Важным критерием выбора JavaScript является распространение языка на разработку серверных приложений, посредством платформы Node.js, а также в области программирования микроконтроллеров.

Для построения AST на основе JavaScript кода могут быть использованы парсеры Esprima [8] и UglifyJS [9]. Оба инструмента позволяют получить AST в формате JSON. Поскольку результаты, предоставляемые парсером Esprima более наглядны, в дальнейшем будем использовать их.

В качестве входных данных будет выступать программа, написанная на JavaScript (рисунок 1. а).

Для решения задачи анализа исходного кода для начала построим ориентированный граф $G(X, A)$ (рисунок 3) в котором множеством узлов X будет являться множество лексем (таблица 1), а множеством дуг графа A будет обозначаться множество переходов между лексемами.

$X = \{PB, VB, ES, CS, FD, \text{function name}\}$.

Выходные данные - AST в формате JSON (рисунок 1. б, в).

```
1 (function() {  
2   var string = "alert('Hello world!')";  
3   var params = window  
4     .location  
5     .search  
6     .replace('?', '')  
7     .split('&')  
8     .reduce(  
9       function(p,e){  
10        var a = e.split('=');  
11        p[ decodeURIComponent(a[0])] = decodeURIComponent(a[1]);  
12        return p;  
13      },  
14      {}  
15    );  
16  
17    init();  
18  
19    function init() {  
20      eval(getExpression(string, params));  
21    }  
22  
23    function getExpression(string, params){  
24      return addAuthor(string, params['author']);  
25    }  
26  
27    function addAuthor(string){  
28      return string  
29    }  
30  })()
```

а)

```
Program body [1]  
  ExpressionStatement  
    expression  
      CallExpression  
        callee  
          FunctionExpression  
            id: null  
            params [0]  
            body  
              BlockStatement  
                body [6]  
                  VariableDeclaration  
                  VariableDeclaration  
                  ExpressionStatement  
                    expression  
                      CallExpression  
                        callee  
                          Identifier  
                            name: init  
                        arguments [0]  
                  FunctionDeclaration
```

б)

```

    "type": "Program",
    "body": [
      {
        "type": "ExpressionStatement",
        "expression": {
          "type": "CallExpression",
          "callee": {
            "type": "FunctionExpression",
            "id": null,
            "params": [],
            "body": {
              "type": "BlockStatement",
              "body": [
                {
                  "type": "VariableDeclaration",
                  "declarations": [
                    {
                      "type": "VariableDeclarator",
                      "id": {
                        "type": "Identifier",
                        "name": "string"
                      },
                      "init": {
                        "type": "Literal",
                        "value": "alert('Hello world!')",
                        "raw": "\\alert('Hello world!')\\\""
                      }
                    }
                  ]
                }
              ]
            }
          }
        }
      ]
    ]
  }
}

```

В)

Рисунок 1 – а) JavaScript сценарий, используемый в качестве входных данных для парсера Esprima; б), в) Результирующее AST в формате JSON

Таблица 1. Условные обозначения для графа на рисунке 3.

Условное обозначение	Описание
PB	Тело программы (Programm Body)
VB	Объявление переменной (Variable Declaration)
ES	Выражение (Expression Statement)
CS	Выполнение выражения (Call Expression)
FD	Объявление функции (Function Declaration)
function name	Имя функции

Для обработки полученных результатов и последующего анализа необходимо, выполнить полный обход дерева, имитируя работу потока управления. Опираясь на построенный граф стоит отметить, что обход необходимо выполнять не однократно. Результатом первого обхода будет обнаружение входной точки в основной программный поток. Последующие обходы позволят перемещаться по цепочкам вызовов функций. Поиск подобного рода будет не оптимальным поскольку при количестве вершин равному N и количестве обходов дерева равному K , результирующее количество обходов будет стремиться к $N * K$.

Для оптимизации обхода дерева построим взвешенный граф таким образом, чтобы более приоритетные дуги имели более высокие веса (рисунок 2).

Допустим:

$W1 = 0$ – дуги конечной вершиной которых будет являться VD;

$W2 = 1$ – дуги конечной вершиной которых будет являться ES, CE, FE, BS;

$W3 = 2$ – дуги конечной вершиной которых будет являться FD;

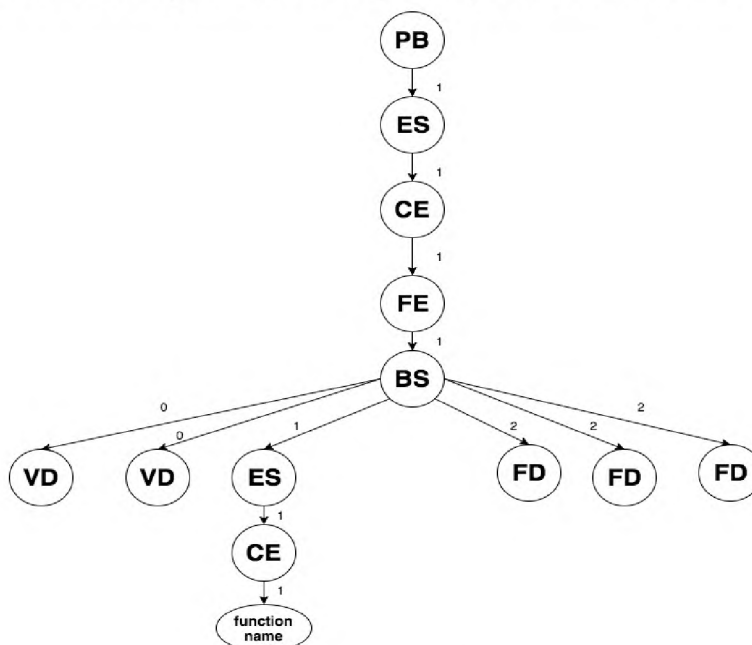


Рисунок 2 – Схема графа синтаксического разбора исходного кода примера рис. 1.б, в.

Таким образом ориентируясь на веса $W2$ при первом проходе количество посещенных вершин, не влияющих на результат будет равно 0. В детальной программной реализации обхода, посещенные вершины будут помечены дополнительным флагом и будут иметь наименьший приоритет при выборе между двумя равносильными путями. Последующие проходы будут игнорировать вершины, к которым ведут дуги с весом $W1$, а также часть посещенных узлов, что в свою очередь позволит значительно уменьшить количество операций для обхода дерева.

Вывод

Предложенная оптимизация позволяет увеличить скорость выполнения типовых задач, связанных с анализом исходного кода. Данное свойство достигается за счет минимизация затрат при обработке промежуточного представления, выраженного в виде абстрактного синтаксического дерева. Предложенный алгоритм может быть расширен и легко доработано для поддержки большого количества языков. Решение использовать в качестве основы AST в формате JSON предоставляет широкий выбор инструментов для анализа. Все это в совокупности позволяет сказать, что данное решение может быть эффективно использовано для выполнения задач статического анализа исходных текстов.

Литература:

1. JSON (JavaScript Object Notation) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.json.org>, свободный (дата обращения: 02.10.2017).
2. YAML: YAML Ain't Markup Language [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.yaml.org>, свободный (дата обращения: 02.10.2017).
3. Extensible Markup Language (XML) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.w3.org/XML/>, свободный (дата обращения: 02.10.2017).
4. JavaScript [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.w3.org/standards/webdesign/script>, свободный (дата обращения: 07.10.2017).
5. Esprima [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://esprima.org/>, свободный (дата обращения: 08.10.2017).
6. UglifyJS [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://lisperator.net/uglifyjs/parser>, свободный (дата обращения: 08.10.2017).
7. The Formation and Simulation of a «Whole Program» Gated Singular Assignment Program Dependence Graph / J. Cook, D. Gottlieb, B. Greskamp, R. Kujoth. – Unconventional Computer Architecture Group, Final Report. – 2008 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://iacoma.cs.uiuc.edu/~greskamp/pdfs/497mf.pdf>, свободный (дата обращения: 08.10.2017).
8. Марков, А.С. Статический сигнатурный анализ безопасности программ [Текст] / А.С. Марков, А.А. Фадин // Программная инженерия и информационная безопасность. – 2013.

УДК 004.032.26, 530.182

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК СОСТОЯНИЯ СОМНЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА ПО СИГНАЛАМ МЭГ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Фролов Н.С.¹, Писарчик А.Н.^{1,2}

¹*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, phrolovns@gmail.com*

²*Center for Biomedical Technology, Technical University of Madrid, Campus Montegancedo,
Madrid, Spain*

Аннотация. В настоящей работе предложен подход для количественной оценки степени состояния сомнения человека по записям магнитоэнцефалограмм (МЭГ) с применением аппарата искусственных нейронных сетей (ИНС). В рамках данного подхода ИНС обучается классифицировать как состояния нейронной сети головного мозга, соответствующие решению поставленной задачи, так и «промежуточные» состояния, ассоциированные с сомнением. В данной работе приведена апробация предложенного метода на примере решения человеком задачи идентификации бистабильного изображения.

Ключевые слова: нейронная сеть головного мозга; визуальное восприятие; МЭГ данные; искусственная нейронная сеть.

ESTIMATION OF HUMAN UNCERTAINTY CHARACTERISTICS BY MEG SIGNALS USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Frolov N.S.¹, Pisarchik A.N.^{1,2}

¹ Yuri Gagarin state technical university of Saratov,
Saratov, Russia, phrolovns@gmail.com

² Center for Biomedical Technology, Technical University of Madrid, Campus Montegancedo,
Madrid, Spain

Abstract. In this paper, the approach for quantitative assessment of the degree of a human uncertainty by magnetic-encephalograms (MEG) using an artificial neural network (ANN) is proposed. Within the framework of this approach, ANN learns to classify brain neural network states corresponding to the solution of the task along with «intermediate» states associated with doubt. In this paper, the approbation of the proposed method is illustrated by the example of a person's decision to identify a bistable image.

Keywords: brain neural network; visual perception; MEG data; artificial neural network.

Введение (Introduction)

Искусственные нейронные сети (ИНС) представляют собой эффективный математический инструмент для анализа и расшифровки активности головного мозга [1]. Во многих работах сообщалось о применении ИНС для изучения особенностей функционирования головного мозга по функциональной магнитно-резонансной томографии (МРТ) [2], электроэнцефалографии (ЭЭГ) [3], магнитоэнцефалографии (МЭГ) [4] и другим нейрофизиологическим данным [5]. Возникает вопрос: можно ли научить ИНС распознавать различные состояния мозга в процессе принятия решения, и какие особенности работы мозга можно с их помощью выделить? Ответы на эти вопросы важны как для понимания фундаментальных процессов когнитивной деятельности человека, так и с точки зрения практического использования методов искусственного интеллекта для разработки новых человеко-машинных систем, способных повысить эффективность работы головного мозга во время когнитивной активности.

В соответствии с вышесказанным, в настоящей работе нами проведена диагностика состояний нейронного ансамбля головного мозга в процессе принятия решений с использованием ИНС и предложен способ оценки состояния сомнения в ходе решения человеком сложных когнитивных задач.

Основная часть

В качестве неоднозначного стимула в работе был использован куб Неккера [6], часто задействованный в работах по исследованию визуального восприятия [7, 8]. Куб Неккера является классическим примером бистабильного изображения – здесь плоское изображение представляет собой суперпозицию проекций лево- и право-ориентированного объемного куба. При этом сложность интерпретации такого изображения определяется контрастом видимых граней I.

В ходе одной из пятнадцати сессий эксперимента по регистрации магнитной активности нейронного ансамбля головного мозга, каждому испытуемому предъявлялся набор из 15 визуальных стимулов различной

степени сложности. Длительность предъявления одного визуального стимула тоже выбиралась случайным образом в диапазоне 0.8-1.2 секунды. Полный цикл эксперимента с каждым испытуемым состоял из 15 сессий и длился примерно 25 минут.

Далее, по накопленной базе экспериментальных данных, проведено обучение ИНС и классификация состояний нейронной сети головного мозга. В настоящей работе, мы применили наиболее широко-используемую архитектуру ИНС для классификации и распознавания образов – многослойный персептрон [9].

Результаты обработки МЭГ данных с помощью ИНС, усредненные для каждого человека по всем сессиям эксперимента, позволили детектировать состояние сомнения человека в ходе интерпретации предъявленных бистабильных изображений. Оценка средней длительности состояния сомнения человека, в котором он пребывает несколько сотен миллисекунд с момента предъявления визуального стимула, показывает достаточно естественную картину - с ростом сложности изображения человек тратит больше времени на его обработку (пребывает в сомнении относительно его интерпретации).

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 17-72-30003).

Литература

1. M. Lee, S. Bressler, R. Kozma // Neural Networks. 2017. V. 92. P. 1.
2. M. Misaki, S. Miyauchi // Neuroimage. 2006. V. 29. N. 2. P. 396-408.
3. L. Guo, D. Rivero, A. Pazos // Journal of Neuroscience Methods. 2010. V. 193. N. 1. P. 156-163.
4. S.C. Jun, B.A. Pearlmuter // Human Brain Mapping. 2005. V. 24. P. 21-34.
5. T. Emoto, et al // Physiological Measurement. 2012. V. 33. P. 1675
6. L.A. Necker // Philos. Mag. 1832. V. 1. N. 5. P. 329343.
7. B. Mathes et al // Neuroscience Letters. 2006. V. 402. N. 1-2. P. 145-149.
8. A.N. Pisarchik, et al // Biological Cybernetics. 2014. V. 108. N. 4. P. 397-404.
9. С. Хайкин. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание. Изд. дом Вильямс, 2008

УДК 004.032.26

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ

Хасанов Р.И.¹, Дямина Э.И.²

¹Уфимский государственный авиационный технический университет,
Россия, Уфа, khasanov.rustem.mo@gmail.com

²Уфимский государственный авиационный технический университет,
Россия, Уфа, xasel@mail.ru

Аннотация. Рассматривается современный подход для решения задачи профориентации учащихся младших классов по данным нейрометрии. Приведен алгоритм решения задачи с использованием нейронных сетей. Описаны результаты вычислительного эксперимента.

Ключевые слова: нейрометрия, нейроинтерфейс, мозговая активность, профориентация, нейронные сети.

APPLICATION OF NEURAL NETWORKS IN PEDAGOGICAL DIAGNOSTICS

Rustem Khasanov¹, Elina Dyaminova²

¹*Ufa State Aviation Technical University,
Russia, Ufa, khasanov.rustem.mo@gmail.com*

²*Ufa State Aviation Technical University,
Russia, Ufa, xasel@mail.ru*

Annotation. A recent approach for solving the problem of career guidance of primary school pupils according to neurometry is considered. An algorithm for solving the problem using neural networks is given. The results of the computational experiment are described.

Key words: neurometry, neurointerface, brain activity, vocational guidance, neural networks.

В связи с углублением профилизации учебных заведений актуальной является проблема выявления склонностей ребенка к тем или иным видам деятельности. Одной из современных методик решения этой задачи является нейрометрия. В момент решения ребенком каких-либо задач при помощи нейроинтерфейса снимаются показатели мозговой активности. Далее информация обрабатывается и анализируется интеллектуальным алгоритмом, обученным на статистических данных, с использованием искусственных нейронных сетей. На выходе мы получаем предварительную оценку, насколько типична мозговая активность ребенка для данного типа деятельности. Результат сопоставляется с мнением эксперта и выносится окончательная оценка.

Для проверки эффективности метода были проведены эксперименты. В качестве испытуемых были приглашены пятеро учеников 1 и 3 классов.

В целом данные, полученные экспериментальным путём, коррелируют с оценками экспертов: из 20-ти полученных значений лишь 4 выходят за рамки погрешности, что можно считать неплохим результатом.

УДК 577.31

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕИМУЩЕСТВЕННОГО НАПРАВЛЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОНТУРОВ РЕГУЛЯЦИИ КРОВООБРАЩЕНИЯ ПО МОДЕЛЬНЫМ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ

Хорев В.С.¹, Пономаренко В.И.^{1,2}, Прохоров М.Д.²

¹*Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского,
Россия, Саратов, khorevvs@gmail.com,*

²*Саратовский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
Россия, Саратов, ponomarenkovi@gmail.com*

Аннотация. На основе сравнительного анализа оценок силы воздействия и запаздывания в связи между модельными сигналами кардиоинтервалограмм и тонуса дистальных сосудов, было установлено, что полученные для модели результаты качественно соответствуют результатам, полученным в ходе эксперимента на здоровых испытуемых, однако количественное несоответствие требует дальнейшего совершенствования модели.

Ключевые слова: Анализ данных, связь, система с запаздыванием, фазовая динамика, сердечно-сосудистая система, математическая модель, вегетативная регуляция.

DETECTION OF THE MAIN DIRECTION OF THE INTERACTION OF BLOOD CIRCULATION REGULATION CONTOURS VIA MODEL AND EXPERIMENTAL DATA ANALYSIS

Vladimir Khorev¹, Vladimir Ponomarenko^{1,2}, Mikhail Prokhorov²

¹ *Saratov State University, Saratov, Russia, khorevvs@gmail.com*

² *The Institute of Radioengineering and Electronics, Saratov Branch
Saratov, Russia, ponomarenkovi@gmail.com*

Abstract. On the basis of a comparative analysis of coupling strength and delay estimates in the interaction between the model signals of cardiointervalograms and the tone of the distal blood vessels, we found that the results obtained for the model qualitatively correspond to the results obtained in the course of the experiment on healthy subjects, but the quantitative inaccuracy requires further improvement of the model.

Keywords: Data analysis, interaction, delay feedback, phase dynamics, cardiovascular system, mathematical model, autonomic regulation.

Введение (Introduction)

Методы анализа взаимодействий между различными колебательными процессами в сердечно-сосудистой системе по временным рядам стали использоваться сравнительно недавно. При этом все более актуальными становятся исследования не только связи различных физиологических процессов, но и направление воздействия, которое может быть двусторонним и может меняться во времени, в том числе вследствие различных патологических изменений.

Основная часть

В работе проводился анализе модельных и экспериментальных данных с помощью нескольких подходов. В качестве основного был использован метод, основанный на моделировании фазовой динамики исследуемых систем, предложенный в работе [1], а в качестве дополнительного – широко известный метод расчёта индекса фазовой когерентности [2].

Метод, основанный на моделировании фазовой динамики, состоит в построении индивидуальных и совместных моделей динамики фаз сигналов колебаний в виде гармонических полиномов третьей степени. Сила воздействия одного элемента на другой оценивалась по изменению точности прогноза при включении в полином членов, учитывающих динамику колебаний второго элемента. Уменьшение ошибки прогноза совместной модели по отношению к индивидуальной является признаком влияния второй системы на первую.

Оценка времени запаздывания в связи между элементами оценивалось по положению, соответствующему максимуму оценки силы воздействия со стороны одного элемента системы на другой по диапазону пробных задержек.

В работе были использованы данные десяти испытуемых, не имеющих патологий сердечно-сосудистой системы. Всем обследованным проводилась одновременная регистрация электрокардиограммы, фотоплетизмограммы и механической записи дыхания в горизонтальном положении тела. Продолжительность каждой записи составляла 120 минут. Во время регистрации сигналов дыхание у всех обследованным было произвольным.

Оценки силы воздействия и запаздывания в связи между медленными колебаниями (0.05–0.15 Гц.) сигналов КИГ и тонуса дистальных сосудов, полученными в результате обработки двухчасовых записей здоровых испытуемых с помощью описанных выше методов. По ансамблю 20 двухчасовых записей было установлено, что средние значения уровней связи между сигналами, полученные с помощью метода моделирования фазовой динамики, при анализе воздействия контура регуляции сердечных сокращений на контур регуляции тонуса дистальных сосудов составляют 0.09 ± 0.08 , для воздействия в противоположном направлении 0.11 ± 0.12 . По методу расчета индекса фазовой когерентности средние значения задержки в связи между сигналами составили 3.88 ± 0.76 с., а средние значения максимума индекса фазовой когерентности 0.22 ± 0.09 .

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-02-03061

Литература:

1. Smirnov D., et al. Radiophysics and Quantum Electronics. 2013; 55: 662–675.
2. Mormann F., et al. Physica D. 2000; 144: 358–369.

ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Храмов А.Е.

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, hramovae@gmail.com*

Исследование механизмов и особенностей функционирования головного мозга человека находится в центре внимания мирового научного сообщества и является одним из наиболее интенсивно развивающихся и перспективных научных направлений. Такая проблематика на сегодня напрямую связана с формированием диагностических, обучающих и тренирующих систем на базе принципа биологической обратной связи (БОС) и дальнейшим созданием нейроинтерфейсов для различных целей и задач. Актуальность и научная востребованность данного направления привела к удвоению количества публикаций по тематике “когнитивная активность мозга”, индексируемых в системе Web of Science, за последние пять лет. В первую очередь, очевидно, что

познание самого процесса мышления человека – это важная фундаментальная задача с большим количеством приложений в интеллектуальной робототехнике и информационных технологиях. В частности, рост продолжительности жизни, фиксируемый практически по всему миру, в настоящее время привёл к реально стоящей проблеме эпидемиально возникающих патологических процессов в когнитивной деятельности человека, таких как болезни Альцгеймера и Паркинсона. Простые методы ранней диагностики и предсказания периода развития таких процессов, не связанные с поиском генетических маркеров, являются востребованными для медицины и социального обслуживания. К этой же проблеме примыкают диагностика и в некоторых случаях возможное лечение врожденных патологий в функционировании нейронной сети головного мозга, например, абсанс-эпилепсии, которая часто наблюдается у детей. Отдельным перспективным применением можно назвать работу на базе БОС с расширением когнитивного потенциала мозга или отдельных функциональных особенностей здоровых или условно здоровых людей в рамках расширения их профессионального потенциала или коррекции некоторых психофизиологических особенностей. Актуальной задачей для людей с ограниченными возможностями является разработка управляемых с использованием нейроинтерфейсов «умных» протезов – элементов экзоскелетов или полных экзоскелетов, инвалидными креслами и т.д.

В данной лекции планируется рассмотреть следующие вопросы:

1. Общее представление о проблеме нейроинтерфейса и типовая схема современного интерфейса мозг-компьютер.
2. Проблема создания интеллектуальных систем классификации состояний головного мозга с использованием аппарата нелинейной динамики и искусственного интеллекта.
3. Приложения нейроинтерфейсов в различных областях медицины, нейрофизиологии и робототехники.
4. Расшифровка паттернов активности головного мозга, соответствующих реальным и воображаемым движениям для использования в задаче управления элементом экзоскелета.

Работа поддержана Российским научным фондом (грант 17-72-30003).

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ НА РОБОТА МЕФОДИЯ

**Чепель И.А., Маркелов Д.А., Сергеев С.С., Ситников Е.В.,
Ситников А.Л., Горшков П.С.**

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия Саратов

Аннотация. В статье рассматриваются различные конструкторские решения которые могут применены к антропоморфному роботу-инфостенду, такие как: выбор материалов, размещение наиболее важных элементов, таких как двигатели, элементы питания и различные датчики.

Ключевые слова: робот, конструкторские решения.

A REVIEW ARTICLE ON THE ROBOT METHODIUS

Abstrakt. The article discusses various design decisions that applied to anthropomorphic robot info stand, such as selection of materials, placing the most important elements, such as motors, batteries and various sensors.

Keywords: robot, design solutions.

Введение

Робот – универсальное устройство, предназначенное для физических и интеллектуальных функций человека, способное к активному взаимодействию с окружающей средой. Антропоморфный робот – робот, который внешне подобен человеку. В рамках организованного в СГТУ им.Гагарина мини завода была предложена концепция будущего антропоморфного робота “Мефодий”-автомат, внешне подобный человеку. Мефодий-информационный стенд, помогающий гостям крупных мероприятий найти дорогу к объекту, запрашиваемым пользователем.

Основная часть

С конструкторской точки зрения была произведена большая работа. А именно: подготовили эскизы, по ним изготовили 3D модель в программе Solidworks, а так же решили ряд конструкционных задач.

Наш робот будет состоять из различных модулей. Первый, это подвижная платформа квадратной формы, которая будет обеспечивать передвижение и поворот нашего робота, в ней будут размещены основные платы и аккумуляторы. Движение в горизонтальной плоскости и разворот на месте будет осуществляться за счет четырех шаговых двигателей. Для понижения центра тяжести все наиболее тяжелые детали будут размещены на платформе робота. Нами был подобран оптимальный материал для изготовления платформы.

Второй модуль – так называемое тело робота, внешне повторяющее человеческое. Под пластиковой облицовкой будет находиться каркас Мефодия, состоящий из алюминиевых направляющих стержней и пластин выполняющих функцию ребер жесткости. Мы выбрали этот материал из за его высоких прочностных свойств и малого веса. Это обеспечит хорошую жесткость каркаса.

Третий модуль нашего робота – рука, имеющая одну степень свободы. Она будет указывать на путь к искомому объекту. Внутри будет установлен стержень, а снаружи будет пластиковая облицовка.

Закрывающий модуль нашего робота будет голова. В ней будут установлены различные датчики, контролирующие движения робота. Облицовка головы нашего робота будет изготовлена из пластика с ребрами жесткости.

НЕЧЕТКАЯ ЛОГИКА ПРИ ВЫБОРЕ СПОСОБА ЛИТЬЯ

Шайхутдинова И.И.

*Уфимский государственный авиационный технический университет,
Россия, Уфа, peacelife@mail.ru*

Аннотация. Рассматривается возможность применения элементов искусственного интеллекта при выборе способа литья отливок из алюминиевых сплавов.

Ключевые слова: Нечеткая логика; искусственный интеллект; литейное производство; шероховатость; лингвистическая переменная; нечеткое множество.

FUZZY LOGIC WHEN CHOOSING A CASTING METHOD

Shayhutdinova I.I.

*Ufa State Aviation Technical University (UGATU),
Russia, peacelife@mail.ru*

Abstract. The possibility of using artificial intelligence elements in choosing the casting method for castings from aluminum alloys is considered.

Keywords: fuzzy logic; artificial Intelligence; foundry; roughness; linguistic variable; fuzzy set.

Выбор правильного технологического процесса изготовления детали является важным фактором на ранних стадиях проектирования отливки. Существует более сорока различных способов литья с использованием различной оснастки, основные из которых рассмотрены в [1]. Технолог может воспользоваться знаниями доступными для него без рассмотрения альтернативного производственного процесса. Нерациональный выбор технологического процесса может привести к финансовым убыткам.

Наиболее подходящий способ литья, как правило, считается экономичным, подлежит удовлетворению технических требований предприятий.

Для выбора способа литья строгое определение процесса не требуется. Достаточно принять во внимание шаг, который изменяет характеристики одного или нескольких материалов для получения или модификации компонента или компонентов производства. Чтобы сравнить различные процессы в целях выбора единственно верного необходимо найти средства их классификации или разработать классификатор с применением интеллектуальных систем.

Нечеткая логика является одним из элементов искусственного интеллекта, которая набирает популярность и применяется в системах управления и распознавания образов. Он основан на наблюдении, что люди принимают решения на основе неточной и числовой информации. Нечеткие модели или наборы математических средств, представляющие неопределенность и неточную информацию, отсюда и термин нечеткая логика.

Правила нечеткой логики могут быть нестрогими, нечеткими, противоречащими друг другу.

Одно из главных понятий в нечеткой логике – понятие лингвистической переменной. Лингвистическая переменная (ЛП) – это переменная, значение которой определяется набором вербальных (то есть словесных) характеристик некоторого свойства. [2]

Например, ЛП «литье» определяется через набор {литье по выплавляемым моделям (ЛПВМ), литье в песчаные формы (ПГФ), литье под давлением (ЛПД), литье в кокиль, литье в оболочковые формы}.

Значения лингвистической переменной (ЛП) определяются через так называемые нечеткие множества (НМ), которые в свою очередь определены на некотором базовом наборе значений или базовой числовой шкале, имеющей размерность. Каждое значение ЛП определяется как нечеткое множество (например НМ «шероховатость отливки»).

Рассмотрим возможность применения нечеткой логики к требованиям качества отливки. Шероховатость поверхности определяет его внешний вид, влияет на сборку детали с другими частями и может определять его устойчивость к коррозии. Шероховатость поверхности детали должна быть указана и контролироваться и влияет на усталостную прочность, трение, износ и сборку с другими деталями. В процессе изготовления отливки применяются различные методы обработки поверхности в зависимости от используемого формовочного материала. Например, ЛПВМ получают отливку с шероховатостью от 0,8 мкм до 6,4 мкм. К примеру, перед технологом стоит задача получить отливку с шероховатостью 1,5 мкм, при этом не пренебрегая другими характеристиками, такими как вес и т.д. Требуемую шероховатость возможно получить как литьем под давлением, литьем по выплавляемым моделям, оболочковым литьем и т.д.

Критерий чистоты поверхности с использованием нечеткой логики приведен ниже:

1. Возможность получения литьем в песчаные формы шероховатости $P=1,5$ (1,5 мкм) равна 0, применяя экв. $[P(x_i) = 0 \text{ если } x_i < V_{\min-\text{abs}}$ минимально возможного значения] (т.е. данным методом невозможно получить требуемую шероховатость).

2. Возможность получения литьем под давлением $P=1,5$ (1,5 мкм) составляет 0,9%. $P(x_i) = (x_i - V_{\min-\text{abs}}) / (V_{\min-\text{des}} - V_{\min-\text{abs}})$ если $V_{\min-\text{abs}} < x_i < V_{\min-\text{des}}$. $P(1,5) = (1,5 - 1,25) / (27 - 1,25) = 0,25 / 25,75 = 0,009$

3. Возможность получения литьем в кокиль $P=1,5$ (1,5 мкм) 0, применяя экв. $[P(x_i) = 0 \text{ если } x_i < V_{\min-\text{abs}}]$ т. е. данным методом невозможно получить требуемую шероховатость).

4. Возможность получения литьем в оболочковые формы $P=1,5$ (1,5 мкм) составляет 100%. $P(x_i) = (x_i - V_{\min-\text{abs}}) / (V_{\min-\text{des}} - V_{\min-\text{abs}})$ если $V_{\min-\text{abs}} < x_i < V_{\min-\text{des}}$. $P(1,5) = (1,5 - 1) / (3 - 1) = 0,5 / 2 = 1$.

5. Возможность получения литьем по выплавляемым моделям $P=1,5$ (1,5 мкм) составляет 87,5%. $P(x_i) = (x_i - V_{\min-\text{abs}}) / (V_{\min-\text{des}} - V_{\min-\text{abs}})$ если $V_{\min-\text{abs}} < x_i < V_{\min-\text{des}}$. $P(1,5) = (1,5 - 0,8) / (1,6 - 0,8) = 0,7 / 0,8 = 0,875$.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о возможности применения элементов искусственного интеллекта, а именно нечеткой логики при решении задачи выбора наиболее рационального способа изготовления отливки.

Литература

1. Горюхин А.С., Гайнцева Е.С., Шайхутдинова И.И. Многомерная модель выбора способа литья для получения отливок из алюминиевых сплавов// Межвузовский научный сборник «Вестник УГАТУ», Уфа: УГАТУ, 2015, т.19, №2(68). с. 9–13.

2. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976.

УДК 621.9.025.01

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ДВУХ ПОДСИСТЕМ С КООРДИНАТНО-СКОРОСТНОЙ СВЯЗЬЮ

Янкин И.Н., Владыкин В.О.

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, tms@sstu.ru*

Аннотация. Приведены результаты теоретического исследования устойчивости движений в динамической системе с нелинейной упруго-диссипативной связью, определены условия резонансного и анти резонансного взаимодействия подсистем.

Ключевые слова: нелинейная динамическая система, устойчивость движений.

RESEARCH OF DYNAMIC STABILITY OF TWO SUBSYSTEMS WITH COORDINATE-SPEED CONNECTION

Yankin I.N., Vladikin V.O.

Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Saratov, Russia, tms@sstu.ru

Abstract. Results over of theoretical research of stability of motions are brought in the dynamic system with nonlinear resiliently-dissipative connection, terms are certain resonant and anti resonant cooperation of subsystems.

Keywords: nonlinear dynamic system, stability of motions.

Введение (Introduction)

Важное прикладное значение в технических областях приобретают вопросы исследования устойчивости движений двух подсистем с нелинейными упруго-диссипативными связями. Действие таких связей приводит к образованию в системе новых динамических свойств с образованием

резонансных и антирезонансных областей взаимодействия. Определение условий перехода системы в такие области является важным фактором для реализации оптимальной настройки динамических систем по различным критериям.

Основная часть

Разработана и исследована модель динамики взаимодействия двух подсистем с четырьмя системами свободы, охваченных нелинейной упруго-диссипативной связью. На основе использования метода Ван-дер-Поля получены аналитические решения нелинейной системы, позволившие выполнить исследование устойчивости движений в зависимости от соотношения параметров подсистем. Получены условия образования в резонансных и антирезонансных областей на каждой из четырех собственных частот системы. Результаты исследования могут найти практическое применение при разработке условий оптимальной динамической настройки системы, структурно включающей два тела, взаимодействующих между собой через процессы, описываемые упругими и диссипативными связями. Такие системы часто встречаются в различных технических областях – от систем резания при механической обработке до электронных систем в радиотехнике.

УДК 621.9.025.01

МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ С УЧЕТОМ ПАРАМЕТРОВ ПРИВОДА ИНСТРУМЕНТА

Янкин И.Н., Кругляков А.А.

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, tms@sstu.ru*

Аннотация. Приведена модель динамики системы резания при механической обработке с учетом параметров привода инструмента. Показаны условия оптимальной динамической настройки системы по критерию минимизации колебаний инструмента.

Ключевые слова: динамика, процесс резания, колебания, устойчивость.

MODEL OF DYNAMICS OF TOOLING TAKING INTO ACCOUNT PARAMETERS OF DRIVE OF INSTRUMENT

Yankin I.N., Kruglyakov A.A.

Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Saratov, Russia, tms@sstu.ru

Abstract. A model over of dynamics of the cutting system is brought at tooling taking into account the parameters of drive of instrument. The terms of the optimal dynamic tuning of the system are shown on the criterion of minimization of vibrations of instrument.

Keywords: dynamics, process of cutting, oscillation, stability.

Введение (Introduction)

Механическая обработка материалов сопровождается интенсивным возмущением подсистем инструмента и детали и приводит к образованию высокого уровня колебаний. Ограничить уровень колебаний можно за счет оптимальной динамической настройки системы резания. Для реализации указанной настройки необходимо выполнить моделирование динамики резания с учетом параметров привода инструмента.

Основная часть

Разработана и исследована модель динамики резания с учетом параметров привода инструмента. Показано, что податливость привода оказывает значимое влияние на устойчивость изгибных (вредных) форм колебаний инструмента. На основе исследования модели динамики резания установлено, что для повышения динамического качества системы резания и снижения уровня неблагоприятных колебаний целесообразно включить в привод дополнительное корректирующее колебательное звено. Разработаны условия динамической настройки звена коррекции. В основе методики настройки лежит возможность перераспределения колебательной энергии в системе резания. Получены условия оптимальной динамической настройки, при которых колебательная энергия перетекает от изгибной формы колебаний инструмента в форму крутильных колебаний звена коррекции. Это позволяет существенно повысить демпфирующую способность подсистемы инструмента на частоте ее изгибной формы колебаний, уменьшить уровень неблагоприятных колебаний, повысить динамическую устойчивость процесса резания и качество обработки.

УДК 621.396.6

ТВЕРДОТЕЛЬНО-ВАКУУМНЫЙ ПРИЕМОПЕРЕДАЮЩИЙ МОДУЛЬ АФАР С-ДИАПАЗОНА

Д.А. Волошкин, А.А. Захаров.

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, denisvoloshkin@gmail.com, zaharov@sstu.ru.*

Аннотация. Результаты, представленные в работе, показывают принципиальную возможность разработки приемопередающего модуля активной фазированной антенной решетки с амплитроном в выходном каскаде усилителя. Дана оценка основным преимуществам и недостаткам конструкции в сравнении с существующими аналогами.

Ключевые слова: амплитрон; мощные передающие модули; АФАР; твердоотно-вакуумные комплексированные устройства; приемопередающие модули; усилители мощности.

Введение

Разработка радиолокационных систем является непрерывно развивающимся и изменяющимся направлением техники. Современные тенденции развития ставят перед разработчиками компонентной базы задачи по поиску новых решений для улучшения технико-экономических характеристик активных фазированных антенных решеток для РЛС и систем связи.

Для разработки приемопередающего модуля АФАР на отечественной элементной базе, отвечающему современным требованиям, в качестве выходного усилителя было предложено использовать малогабаритный амплитрон сантиметрового диапазона длин волн.

Основная часть.

В работах представлены ориентировочные технические требования, предъявляемые к современным передающим модулям. Исходя из этих требований была предложена конструкция приемопередающего модуля.

Рассмотрен вариант комплексированного твердоотно-вакуумного приемопередающего модуля в который входят:

- твердотельный приемопередающий модуль (ТППМ);
- выходной усилитель - амплитрон;
- выходное развязывающее устройство;
- выходной СВЧ аттенюатор-переключатель.

Дана оценка отдельным функциональным узлам конструкции. Описана и обоснована выбранная структурная схема устройства.

Представлены расчеты КПД, выходной мощности, а также габаритов устройства, приведены сравнения с существующими аналогами и дана оценка полученным результатам.

Заключение.

В работе показаны основные преимущества и недостатки применения амплитрона в качестве выходного каскада приемопередающего модуля по совокупности таких параметров как выходная мощность, фазовая стабильность, габариты, КПД.

SOLID STATE-VACUUM TRANSMIT\RECEIVE MODULE FOR C-BAND AESA.

D.A. Voloshkin, A.A. Zaharov

*Yuri Gagarin state technical university of Saratov,
Saratov, Russia denisvoloshkin@gmail.com, zaharov@sstu.ru.*

Abstract. The results presented in the paper show the fundamental possibility of developing a transmit module of active phased antenna array with an amplitron in the output stage of the amplifier. We show the main advantages and disadvantages of the design in comparison with analogues.

Keywords: amplitron; power transmit modules; AESA; solid state-vacuum device; transmit/receive modules; power amplifiers.