

Заключение

комиссии диссертационного совета 24.2.392.06 на базе ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» по диссертации Лобова Сергея Анатольевича «Спайковые модели динамики и обучения локальных сетей нейронов мозга», представляемой на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.5.2 – «Биофизика».

Диссертационная работа Лобова С.А. выполнена на кафедре нейротехнологий Института биологии и биомедицины ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского». Научный консультант – доктор физико-математических наук, доцент Казанцев Виктор Борисович, заведующий кафедрой нейротехнологий ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского».

Диссертация Лобова С.А. содержит решение актуальной задачи биофизики сложных систем о принципах работы сетей нейронов мозга. Данная задача решается путем математического и компьютерного моделирования на основе биофизических импульсных (спайковых) моделей нейронных сетей и включает разработку новых подходов к созданию самообучающихся нейроморфных систем и нейроинтерфейсных технологий.

В ходе работы разработана биофизическая спайковая модель, обеспечивающая в зависимости от параметров моделирование различных сетей нейронов мозга. Для обеспечения соответствия экспериментальным данным модель долговременной синаптической пластичности включает пластичность, зависящую от времени спайков (STDP) и функцию синаптического забывания.

Обнаружены и исследованы свойства сетевой пластичности, включающие эффекты структурно-функциональной перестройки нейронной сети под действием периодической локальной стимуляции. Показано, что данные перестройки включают в себя усиление центробежных по отношению к стимулу связей и возникновение сетевой синхронизации. Обнаружен STDP-опосредованный эффект стохастического резонанса: для возникновения сетевой синхронизации необходим оптимальный уровень нейронного шума. Исследованы свойства глобальной сетевой памяти: показано, что время хранения следов памяти зависит от уровня нейронного шума и продемонстрировано, что ключевую роль в надежности памяти играют нейроны-хабы.

Разработана биофизическая модель когнитивных карт с негативным подкреплением, демонстрирующая свойства пространственной памяти с запоминанием локализации опасных и нейтральных зон. Расширена область применения модели обобщенных когнитивных карт, основанной на распространении волнового фронта нейронной активности в нейронной сети. Показано, что данная модель может применяться не только в задаче навигации, но и в задаче сенсомоторного взаимодействия с внешним миром в динамически меняющихся условиях. В исследованиях с применением компьютерного тестирования получено подтверждение предсказания модели о кодировании мозгом статических и динамических ситуаций в виде статических обобщенных когнитивных карт.

Исследованы принципы ассоциативного обучения в спайковых нейронных сетях. В частности, показано, что для обучения необходимо наличие Хеббовской пластичности (STDP) и архитектура сети, обеспечивающая синаптическую и нейронную конкуренцию.

Найденные принципы работы нейронных сетей реализованы в самообучающихся роботах-нейроаниматах. С помощью нейроаниматов продемонстрированы эффекты сетевой пластичности, пространственной памяти на основе когнитивных карт, смоделированы условный рефлекс и оперантное обучение. Таким образом, работа сетей нейронов мозга смоделирована и исследована на различных уровнях организации – синаптическом, сетевом и поведенческом. Помимо фундаментальной значимости данное направление имеет и ярко выраженный прикладной аспект, предлагая прототипы робототехнических самообучающихся систем нового поколения. Кроме того, результаты диссертационной работы применяются в ряде практических приложений, использующих нейромышечный интерфейс на основе нейронных сетей для управления различными исполнительными устройствами: колесными и антропоморфными роботами, экзоскелетонными комплексами, транспортным устройством для людей с ограниченными возможностями.

Комиссия пришла к выводу, что диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой, совокупность представленных теоретических положений которой можно квалифицировать как научное достижение. Диссертация полностью соответствует специальности 1.5.2 – «Биофизика».

Результаты, полученные в диссертационной работе, опубликованы в 37 научных работах, в их числе 29 статей в изданиях, входящих в перечень ВАК или включенных в базу данных SCOPUS, 8 охранных документов на результаты интеллектуальной деятельности. Содержание опубликованных работ отражает содержание диссертации.

При использовании чужих материалов и результатов исследований соискатель ссылается на источник заимствований. В диссертации приведен список используемой литературы. В автореферате приведен список основных публикаций автора в изданиях, входящих в перечень ВАК или включенных в базу данных SCOPUS. Недостоверных сведений об опубликованных соискателем работах в диссертации не обнаружено. Согласно результатам проверки, в системе «РУКОНТЕКСТ» процент оригинальности текста составляет 89,29 %.

На основе вышеизложенного комиссия заключает, что диссертационная работа удовлетворяет требованиям пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», а количество публикаций в рецензируемых изданиях достаточно для представления диссертации к защите на соискание учёной степени доктора физико-математических наук. Текст диссертации, представленной в диссертационный совет, идентичен тексту диссертации, размещенной на сайте организации.

Комиссия рекомендует:

1. Принять диссертацию Лобова Сергея Анатольевича «Спайковые модели динамики и обучения локальных сетей нейронов мозга» к защите на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.5.2 – «Биофизика» в

диссертационном совете 24.2.392.06 на базе ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского».

2. В качестве официальных оппонентов рекомендуются:

Дунин-Барковский Виталий Львович, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник, руководитель Отдела нейроинформатики Центра оптико-нейронных технологий, НИИ системных исследований РАН, г. Москва.

Казанович Яков Борисович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, и.о. заведующего Лабораторией нейронных сетей, Институт математических проблем биологии РАН - филиал Федерального государственного учреждения "Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук" (ИМПБ РАН - филиал ИПМ им. М.В. Келдыша РАН), г. Пущино.

Постников Евгений Борисович, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры физики и нанотехнологий, заведующий отделом теоретической физики научно-исследовательского центра физики конденсированного состояния, ФГБОУ ВО "Курский государственный университет", г. Курск.

3. В качестве ведущей организации рекомендуется:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт Высшей Нервной Деятельности и Нейрофизиологии РАН (ИВНД и НФ РАН).

Председатель комиссии:

д.ф.-м.н., профессор (член
диссертационного совета по специальности
1.5.2 – «Биофизика»)



Постнов Д.Э.

д.ф.-м.н., профессор (член
диссертационного совета по специальности
1.5.2 – «Биофизика»)



Павлов А.Н.

д.ф.-м.н., доцент (член диссертационного
совета по специальности 1.5.2 –
«Биофизика»)



Москаленко О.И.