

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
"Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского"

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ
декан Матросов В.В.

" _____ " _____ 20 ____ г.

Рабочая программа дисциплины
“Нейросетевые математические модели функций нервной системы”

Профиль подготовки (специализация)
Нелинейные колебания и волны,
Направление подготовки
011800 Радиофизика

Квалификация (степень) выпускника
Магистр

Форма обучения
очная

Нижегород
2014

1. Цели освоения курса

Целями освоения курса “Нейросетевые математические модели функций нервной системы” являются 1) формирование у студентов целостного представления о методах и подходах, применяемых в математическом моделировании нейронных сетей; 2) формирование понимания современной концепции сигнализации и формирования функций в нейронных сетях мозга, основанной на радиофизическом представлении нейронов в виде нелинейных генераторов импульсных сигналов; 3) формирование представления о принципах сигнализации и формирования функций нейронных системах; 4) знакомство с известными нейросетевыми моделями.

Эти цели достигаются путем исследования динамики различных нейросетевых моделей, изучения процессов генерации и распространения сигналов в моделях, освоения компьютерного моделирования нейронной активности с применением различных подходов.

2. Место курса в структуре ООП

Данный курс относится к группе специальных курсов по выбору магистранта 2 года обучения в магистратуре по специальности «011800 Радиофизика», профиль «Нелинейные колебания и волны».

Требования к входным знаниям, умениям и компетенциям магистрантов. Для успешного изучения курса необходимо иметь общие представления о математическом анализе, дифференциальных уравнениях, владеть бифуркационным анализом и другими методами теории колебаний и нелинейной динамики, владеть основами программирования, уметь логически и последовательно излагать факты, объяснять причинно-следственные связи, используя общие и специальные понятия и термины, владеть навыками работы с учебной литературой и электронными базами данных. Знать основные базовые математические модели нейронных генераторов (Integrate&Fire, Ходжкина-Хаксли, ФитцХью-Нагумо и др.), модели кратковременной (Tsodyks, Markram) и долгосрочной (STDP) синаптической пластичности.

3 Требования к результатам освоения модуля.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать: назначение нейросетевого моделирования и применяемые подходы, существующие математические модели нейронных сетей, имитирующих функции нервной системы (рабочую память, генерацию ритмов, переход между различными состояниями, кодирование и воспроизведение информации, пространственное ориентирование и др.).

Уметь: классифицировать модельное описание нейросетевых механизмов сигнализации, самостоятельно разбираться в научной литературе по вычислительной нейробиологии и нейродинамике.

Владеть: терминологией нейросетевого моделирования в радиофизике и нейробиологии, базовыми понятиями, применяемыми в моделировании функций нейронных систем, информацией о принципах генерации и распространении сигналов в нейронных структурах мозга.

4. Структура и содержание модуля.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 1 зачетную единицу (34 часа лекций).

| № п/п | Раздел Дисциплины | С е м е с т р | Н е д е л я с е м е с т р а | Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах) | | | | Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам) |
|-------|---|---------------|-----------------------------|--|------|-----|------------------------|---|
| | | | | Лекц. | Сем. | СРС | Всего | |
| 1 | Введение. | 3 | 1 | 2 | | | 2 | Проверочная работа |
| 2 | Модели рекуррентных сетей спайковых нейронов. | 3 | 2-5 | 8 | | | | Проверочная работа, |
| 3 | Параллельные алгоритмы в моделировании | 3 | 6-9 | 8 | | | | Проверочная работа |
| 4 | Сетевые и популяционные модели рабочей памяти | 3 | 10-13 | 8 | | | | Проверочная работа |
| 5 | Функциональные модели нейронных сетей. | 3 | 14-16 | 6 | | | | Проверочная работа |
| 6 | Подведение итогов | 3 | 17 | 2 | | | | Экзамен (Устный опрос) |
| | Всего часов: | | | 34 | | | Итого: 34 часа. | |

5.1. Содержание разделов дисциплины

5.1.1. Введение.

Введение в предмет курса. Актуальность и значимость тематики. Знакомство с программой курса. Возможности и ограничения экспериментальных подходов. Назначение и возможности математического моделирования.

5.1.2. Модели рекуррентных сетей спайковых нейронов.

Сетевые модели генерации популяционных бёрстов. Сетевые модели генерации метастабильных состояний. Модели генерации ритмов.

5.1.3. Параллельные алгоритмы в моделировании.

Общие сведения из области параллельных вычислений и программирования. Параллельное программирование в научных вычислениях: сеточные вычисления. Параллельное программирование в научных вычислениях: точечные вычисления. Параллельное программирование в научных вычислениях: матричные вычисления.

5.1.4. Сетевые и популяционные модели рабочей памяти

Спайковая теория рабочей памяти. Нейросетевая модель рабочей памяти на основе спайковой теории. Синаптическая теория рабочей памяти. Нейросетевая модель рабочей памяти на основе синаптической теории. Параметрическая рабочая память. Модификации нейросетевых моделей.

5.1.5. Функциональные модели нейронных сетей.

Нейросетевая модель переходов между состояниями сна и бодрствования. Нейросетевая модель кодирования и восстановления информации в гиппокампе. Нейросетевая модель пространственного ориентирования. Модель частотной дискриминации.

5.2 Образовательные технологии

Используются традиционные и нетрадиционные методики: лекция, проблемная лекция, лекция с ошибками, компьютерная презентация, опрос, доклад студента. На лекциях рекомендуется использовать мультимедийное презентационное оборудование для демонстрации иллюстративного материала, таблиц и схем, основных тезисов и выводов по теме.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) основная литература:

1. Некоркин В.И., Лекции по основам теории колебаний: Учебное пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2011.
2. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. Наука, М., 1981.
3. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. Издательство ГосУНЦ «Колледж», 1999
4. Izhikevich, E. M.. Dynamical systems in neuroscience: the geometry of excitability and bursting. The MIT Press: 2007, ISBN 978-0-262-09043-8.
5. Основы многопоточного, параллельного и распределенного программирования, Грегори Р.Эндрюс, Издательский дом «Вильямс», 2003
6. Параллельное и распределенное программирование с использованием C++», Кэмерон Хьюз, Трэйси Хьюз, Издательский дом «Вильямс», 2004
7. Параллельное программирование для многопроцессорных вычислительных систем, Сергей Немнюгин, Ольга Стесик, Издательство «БХВ-Петербург», 2002
8. Строки, деревья и последовательности в алгоритмах. Информатика и вычислительная биология, Дэн Гасфилд, Издательство «БХВ-Петербург», 2003
9. Parallel Processing of Multiple Pattern Matching Algorithms for Biological Sequences: Methods and Performance Results, Charalampos S. Kouzinopoulos, Panagiotis D. Michailidis, Konstantinos G. Margaritis
10. Cutsuridis, V., Cobb, S., & Graham, B. P. (2010). Encoding and retrieval in a model of the hippocampal CA1 microcircuit. *Hippocampus*, 20(3), 423–46. doi:10.1002/hipo.20661
11. Hill, S., & Tononi, G. (2005). Modeling sleep and wakefulness in the thalamocortical system. *Journal of Neurophysiology*, 93(3), 1671–98. doi:10.1152/jn.00915.2004
12. Mongillo, G., Barak, O., & Tsodyks, M. (2008). Synaptic theory of working memory. *Science (New York, N.Y.)*, 319(5869), 1543–6. doi:10.1126/science.1150769
13. Mongillo, G., Hansel, D., & van Vreeswijk, C. (2012). Bistability and Spatiotemporal Irregularity in Neuronal Networks with Nonlinear Synaptic Transmission. *Physical Review Letters*, 108(15), 158101. doi:10.1103/PhysRevLett.108.158101
14. Szatmáry, B., & Izhikevich, E. M. (2010). Spike-timing theory of working memory. *PLoS Computational Biology*, 6(8). doi:10.1371/journal.pcbi.1000879

б) дополнительная литература:

15. Brette, R., Rudolph, M., Carnevale, T., Hines, M., Beeman, D., Bower, J. M., Diesmann, M., et al. (n.d.). Simulation of networks of spiking neurons: A review of tools and strategies, (*Bat 33*), 1–66.
16. Morrison, A., Diesmann, M., & Gerstner, W. (2008). Phenomenological models of synaptic plasticity based on spike timing. *Biological cybernetics*, 98(6), 459–78. doi:10.1007/s00422-008-0233-1

в) Интернет-ресурсы:

<http://www.scholarpedia.org/>

<http://scholar.google.com/>

<http://www.intuit.ru>

<https://software.intel.com>

8. Вопросы для контроля.

1. Какие методы и подходы применяются для нейросетевого моделирования?
2. В чём состоит роль математического моделирования в современной нейронауке?
3. Какие вы знаете модели генерации популяционных бёрстов?
4. За счёт чего происходит генерация синхронных сетевых сигналов?
5. За счёт чего затухает популяционный бёрст в нейронных сетях?
6. В чем заключается различие параллельного и распределенного программирования?
7. Укажите способы классификации и соответствующие им типы параллельных вычислительных систем.
8. Назовите основные способы взаимодействия процессов.
9. Какие программные и технические средства параллельного программирования вам известны? Расскажите подробнее о некоторых из них.
10. Приведите примеры задач, в которых могут использоваться сеточные, точечные, матричные вычисления в совокупности с методами параллельного программирования.
11. Какие трудности возможны при реализации алгоритма программы с разделяемыми переменными и алгоритма программы с передачей сообщений?
12. Как может быть организовано взаимодействие процессов в программе с передачей сообщений (алгоритм пульсаций, конвейерный алгоритм, “управляющий-рабочие”)?
13. Расскажите об одном из известных научных проектов, связанных с суперкомпьютерными вычислениями.
14. Какие вы знаете теории рабочей памяти? Расскажите о каждой из них.
15. Какие бывают модели рабочей памяти?
16. Как происходит переход между состояниями сна и бодрствования в нейросетевой модели Хилла-Тонони?
17. Структура и функции гиппокампа.
18. Кодирование и восстановление информации в гиппокампе.
19. Как формируется память о пространственных объектах? Что такое клетки места?
20. Как нейроны кодируют информацию о частоте входного сигнала?

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

В учебном процессе необходимы:

1. Компьютер и проектор для презентаций.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО с учетом рекомендаций и ПрООП ВПО по профилю (специализации)

Нелинейные колебания и волны

по направлению подготовки

011800 Радиофизика

Автор к.ф.-м.н., старший преподаватель каф теории колебаний и автоматического регулирования ННГУ им. Н.И. Лобачевского _____ А.Ю.Симонов

Программа одобрена на заседании каф теории колебаний и автоматического регулирования ННГУ им. Н.И. Лобачевского

от _____ года, протокол № _____.

Заведующий каф теории колебаний и автоматического регулирования ННГУ им. Н.И. Лобачевского, д.ф.-м.н., проф. _____ В.В. Матросов

Программа одобрена на заседании Учёного совета радиофизического факультета ННГУ им. Н.И. Лобачевского

от _____ года, протокол № _____.