

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Малаховой Екатерины Юрьевны на тему: «Исследование и интерпретация при помощи искусственных нейронных сетей механизмов описания зрительных образов в нижневисочной коре головного мозга приматов», представленной на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.5 – физиология человека и животных

Актуальность темы исследований

Задача понимания механизмов переработки зрительной информации в высших отделах коры остаётся одной из ключевых и методологически наиболее сложных в современной нейрофизиологии. В последние годы наблюдается рост исследований в области построения вычислительных моделей на основе экспериментальных данных. Работа Малаховой Е.Ю. посвящена анализу механизмов распознавания зрительных образов в нижневисочной коре приматов – структуре, играющей центральную роль в категоризации и являющуюся инвариантным восприятию и семантической интеграции зрительной информации. Отдельно стоит подчеркнуть, что в работе на основе анализа ответов нейронов, реализуется подход к реконструированию их смысловой структуры, опираясь на методы машинного обучения, включая генеративные нейросетевые архитектуры. В этой связи тема диссертационного исследования является безусловно актуальной.

Степень обоснованности научных положений и достоверность результатов

Диссертация опирается на данные микроэлектродной регистрации активности нейронов нижневисочной коры приматов (область TEad), полученные в лаборатории RIKEN Brain Science Institute (Япония). Протоколы эксперимента строго соответствуют требованиям этики и международным стандартам. Количественные характеристики эксперимента (190 точек регистрации, в анализ включены 143) обеспечивает высокую репрезентативность выборки.

Автор демонстрирует хорошее владение как методами анализа данных, так и современными средствами моделирования — сверточными и генеративными нейросетями, методами визуализации внутренних представлений, анализа пространств признаков и кластеризации репрезентаций.

Положения, выносимые на защиту, логично вытекают из совокупности экспериментальных и модельных результатов и сопровождаются методической и количественной аргументацией. Модельные эксперименты проходят верификацию на независимых подмножествах данных, а также сопоставляются с биологическими аналогами, что обеспечивает достоверность полученных результатов.

Научная новизна

Научная новизна диссертационного исследования Малаховой Е.Ю. состоит в следующем:

1. Впервые в отечественной нейрофизиологической практике предложен и реализован протокол активной стимуляции кортикальных колонок в реальном времени, основанный на предварительном построении нейросетевой модели ответов. Это позволяет не просто фиксировать реактивность нейронов на заранее заданный набор изображений, но и целенаправленно подбирать стимулы для изучения избирательности конкретных ансамблей нейронов.
2. Выдвинута и обоснована концепция фазовой трансформации представлений в иерархии зрительной обработки, что подтверждается динамикой метрик сходства между пространством входного сигнала и функциональной задачей на различных этапах обработки. Такая фазовая организация, выявленная методами анализа матриц сходства и попарных дистанций, позволяет по-новому рассматривать трансформацию сенсорной информации на различных уровнях обработки.
3. Показана возможность аппроксимации избирательности нейронов IT-коры и искусственных нейросетей через синтез признаков, выделяемых из натуральных изображений (локальные ориентации, цветовые компоненты). Предложенный подход отличается от традиционной систематики по категориям стимулов и предлагает более тонкое описание избирательности – на уровне параметров, а не меток.

4. Проведён сравнительный анализ распределения избирательности в искусственных и биологических сетях, выявивший наличие детекторов, ориентированных на биологически значимые категории, даже при отсутствии соответствующих меток в обучающих данных. Это позволяет по-новому взглянуть на механизмы самоорганизации категориальных представлений, возникающих из статистики сигналов и архитектуры обработки.

Таким образом, диссертация не только вносит вклад в понимание организации зрительной коры, но и предлагает методы, способные обогатить экспериментальный инструментарий в нейрофизиологии сенсорных систем.

Теоретическая и практическая значимость

Теоретическая значимость работы заключается в расширении представлений о принципах репрезентации объектов в высших отделах зрительной коры и их связи с поведенчески значимыми задачами. Работа вносит вклад в развитие интегративной модели зрительной системы, в которой объединяются данные физиологии, теории обучения и вычислительных технологий.

Практическая значимость заключается в возможности применения разработанных методов в нейрофизиологических экспериментах с интерактивной генерацией стимулов, а также в применимости результатов и предложенных подходов для интерпретации экспериментальных данных в других исследованиях сенсорных систем.

Замечания

Судя по автореферату, необходимо сделать следующие замечания:

1. **Биологическая интерпретация промежуточных фаз обработки** остаётся преимущественно на уровне аналогий. Хотелось бы видеть более подробный анализ соответствия между слоями сверточной сети и конкретными участками коры (например, V4, STS, IT), в частности с учётом латеральных и обратных связей, которые в модели не представлены.
2. **Недостаточно проработан вопрос генерализации моделей:** как варьируются ответы при смене архитектуры (например, на более современные — ResNet, EfficientNet, Vision Transformers), насколько устойчивы полученные закономерности.
3. Остается неясным вопрос о **переносимости предложенного подхода на другие модальности** — слуховую, соматосенсорную и какие ограничения следует учитывать при подобной экстраполяции.
4. В разделе о визуальных фрагментах (гл. 4.4) стоило бы подробнее рассмотреть роль нелинейных взаимодействий между признаками.
5. **Анализ динамических стимулов** в исследовании отсутствует, что, ограничивает экстраполяцию на более широкие сенсорные сценарии.

Заключение

Диссертационная работа Малаховой Екатерины Юрьевны представляет собой законченное научное исследование, выполненное на высоком уровне. Она сочетает фундаментальный нейрофизиологический анализ с современными вычислительными методами и вносит значительный вклад в понимание механизмов зрительного распознавания на уровне нейронных ансамблей.

Работа отвечает критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.5 — физиология человека и животных.

Куприянов Михаил Степанович,
д.т.н. профессор,

руководитель перспективных проектов **Сибирского государственного университета**

Стбсттх "1771"
у прор. Кочова,
г. 5, м.т. 9,
197022
www.sgu.ru
(812) 234-46-51

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ
НАЧАЛЬНИК ОДС
Т.Л. РУСЯЕВА



27.05.2025