

Оглавление

В.В. Кугуракова, М.О. Таланов

ОТ СОСТАВИТЕЛЕЙ

**В.Д. Абрамов, В.В. Кугуракова, А.А. Ризванов, М.М. Абрамский, Н.Р. Манахов,
М.Е. Евстафьев**

**ВИРТУАЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРИИ КАК СРЕДСТВО ОБУЧЕНИЯ
БИОМЕДИЦИНСКИМ ТЕХНОЛОГИЯМ**

А.А. Алексеев, В.В. Кугуракова, Д.С. Иванов

**ВЫЯВЛЕНИЕ ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО ПОРТРЕТА НА ОСНОВЕ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОНАЛЬНОСТИ СООБЩЕНИЙ ДЛЯ
АНТРОПОМОРФНОГО СОЦИАЛЬНОГО АГЕНТА**

Р.Д. Ахметшарипов, В.В. Кугуракова, М.Р. Хафизов

**РЕАЛИЗАЦИЯ ИНТЕРАКТИВНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ НА
ПОЛНОКУПОЛЬНОМ ЭКРАНЕ**

А.А. Гиниятов, В.В. Кугуракова, Р.С. Якушев

**РАЗРАБОТКА СИМУЛЯЦИОННОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВА-
НИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ С УЧЁТОМ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ И ФОРМЫ
ЛАНДШАФТА**

Е.Ю. Майорова, М.О. Таланов, Р. Лоуи

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЭМОЦИОНАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ НА ОСНОВЕ ОБУ-
ЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ И НЕЙРОБИОЛОГИЧЕСКИ ИНСПИРИРО-
ВАННЫХ МЕТОДОВ**

В.В. Пищулин, М.О. Таланов

**НИЗКОУРОВНЕВАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ НОРАДРЕНАЛИНОВОЙ
ПОДСИСТЕМЫ НЕЙРОННОЙ ИМПУЛЬСНОЙ СЕТИ**

Л.З. Римова, В.В. Кугуракова, Р.С. Якушев

**РАЗРАБОТКА СИМУЛЯЦИОННОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВА-
НИЯ РАЗРУШЕНИЙ ОТ НАВОДНЕНИЙ С МНОГОФАКТОРНЫМ УЧЁТОМ**

Ю.С. Сафандеева, М.О. Таланов

**НИЗКОУРОВНЕВАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ НОРАДРЕНАЛИНОВОЙ
ПОДСИСТЕМЫ НЕЙРОННОЙ ИМПУЛЬСНОЙ СЕТИ**

ОТ СОСТАВИТЕЛЕЙ

Настоящий тематический выпуск журнала «Электронные библиотеки» подготовлен выпускниками Высшей школы информационных технологий и информационных систем (ИТИС) Казанского (Приволжского) федерального университета (КФУ) совместно со своими научными руководителями.

В настоящее время ИТИС проводит ряд фундаментальных и прикладных исследований в области информационных технологий. Одним из ключевых проектов, выполняемым по Программе повышения конкурентоспособности КФУ и нацеленным на моделирование эмоциональных состояний млекопитающих с помощью вычислительных систем, является разработка нейробиологически инспирированной когнитивной архитектуры (NeuCogAr). Эта разработка вызывает интерес специалистов по вычислительной нейробиологии, интеллектуальной робототехнике, урбанистике, рекламе и маркетингу, психологии, социологии. Отметим также проекты ВШ ИТИС, связанные с моделированием таких чрезвычайных ситуаций, как распространение лесных пожаров и наводнений (см. статьи Л.З. Римовой и А.А. Гиниятова с соавторами). Работы А.А. Алексева, Е.Ю. Майоровой, Ю.С. Сафандеевой и В.В. Пищулина с соавторами посвящены актуальным проблемам нейробиологического моделирования, в том числе, воссозданию правдоподобных нейробиологических структур, связанных с дофаминовой и норадреналиновой нейромодуляциями, автоматизации создания нейробиологических структур в фреймворке NEST, а также исследованию таких аспектов создания антропоморфного пользовательского интерфейса, как выявление психологического портрета респондента и генерация отношения к нему социальным агентом. Названные результаты в области нейробиологической инспирированности развивают новый подход к реализации искусственного интеллекта. Статья В.Д. Абрамова с соавторами посвящена еще одному направлению деятельности ИТИС, связанному с разработкой интеллектуальных обучающих систем и технологий: в ней описана технология создания виртуальных биотехнологических лабораторий с обеспечением интерактивности учебного процесса.

Публикуемые материалы отражают круг актуальных проблем и задач, которые были представлены в 2016 году их разработчиками на международных конференциях Fierces on BICA, BICA, AMSTA, BioNanoScience и ряде других.

Составители тематического выпуска

В.В. Кугуракова, М.О. Таланов

УДК 54.07

ВИРТУАЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРИИ КАК СРЕДСТВО ОБУЧЕНИЯ БИМЕДИЦИНСКИМ ТЕХНОЛОГИЯМ

В.Д. Абрамов¹, В.В. Кугуракова², А.А. Ризванов³, М.М. Абрамский⁴,
Н.Р. Манахов⁵, М.Е. Евстафьев⁶

Казанский (Приволжский) федеральный университет

¹ivitazour@gmail.com; ²vlada.kugurakova@gmail.com; ³rizvanov@gmail.com;

⁴ma@it.kfu.ru; ⁵nadirmanakhov@gmail.com; ⁶mixaill3d@gmail.com

Аннотация

Проведен анализ актуальных решений в области биотехнологических симуляций в виртуальной среде, на основании которого сформулирован ряд требований к механике, окружению, визуальной и технической частям реализации таких виртуальных лабораторий. Представлена конкретная реализация виртуальных лабораторий, которую можно применять студентам при изучении биомедицинских технологий. Предложенная методика разработки биотехнологических симуляций в виртуальной среде может быть успешно применена для разработки виртуальных лабораторий по всему спектру изучаемого материала.

Ключевые слова: виртуальные лаборатории, обучение медицинских специалистов, виртуальные симуляции, медицина, биотехнологические симуляции, биомедицинские технологии

ВВЕДЕНИЕ

Принято считать, что первые симуляции появились в 1928 году, когда Эдвин Линк создал первый в мире тренажер для полетов [1]. Этот симулятор помогал подготовке военных пилотов до и в течение Второй мировой войны. Сегодня виртуальные симуляторы, тренажеры и лаборатории используются во многих сферах, среди которых авиация, химия, топливная промышленность, ядерные исследования, биология, инженерия и многие другие. В данной работе мы будем считать симулятор и тренажер синонимами, поскольку в контексте тематики статьи они различаются незначительно.

Виртуальную лабораторию (virtual laboratory, V-lab, virtual reality laboratory)

можно определить как искусственное окружение – программу на персональном компьютере, портативном вычислительном устройстве или приложение на базе веб-технологий, где могут быть воспроизведены опыты, возможные только в лабораторных условиях, что позволяет обучаемым совершать их удаленно и в любое время. Кроме того, данное программное обеспечение позволяет сократить расходы на реальные ресурсы лаборатории, а также уменьшить риск негативных последствий в результате неудачного проведения эксперимента или неправильного использования оборудования, реактивов, материалов в процессе обучения.

Технологии виртуальных лабораторий применимы ко многим сторонам жизни, в особенности это касается подготовки и обучения специалистов [3].

Наиболее результативным подходом в образовательном процессе обучения лабораторному практикуму мы считаем комбинирование занятий или самостоятельных работ, чередующее применение виртуальных технологий и последующее закрепление полученных умений и навыков в реальных лабораториях. Такой комбинированный подход позволяет обучаемым заранее ознакомиться с теоретическим материалом и порядком действий/спецификой выполнения экспериментов, значит, как следствие, более качественно выполнить эксперимент в реальных условиях.

Проблемы поддержания материально-технической базы и осуществления экспериментов, нехватки оборудования, опасности экспериментов – все эти сложности можно обойти при активном внедрении в образовательный процесс виртуальных технологий. Студенты и преподаватели находят виртуальные симуляции привлекательными в силу их портативности, удобства в использовании и высокой эффективности. Тем не менее, пользователи отмечают и недостатки таких решений, заключающиеся в ограничении свободы действий, в плохом «мануальном» ответе, в отсутствии возможности практики на реальном оборудовании в процессе работы.

Современная виртуальная лаборатория должна отвечать следующим требованиям [5]: транслировать студентам «долабораторный опыт», который научит их базовым методам использования инструментов и технологий, с которыми они будут работать в реальных промышленных и исследовательских лабораториях; собирать статистику пользователей, что поможет сравнивать результативность

студентов, оценивать их, а также проводить оценку эффективности работы симуляции, снижать риски и издержки, давать доступ к оборудованию, которое учебное заведение не может приобрести, и, по возможности, включать игровой аспект в обучение как способ поддержания внимания и сделать процесс освоения материала не только познавательным, но и увлекательным.

Симуляции могут представлять как решение для персонального компьютера, так и решение для веб-сервера – в десктопных приложениях может быть размещено больше контента, реализована улучшенная реалистичность и использованы все новейшие технологии. Однако стоит отметить, что виртуальные лаборатории, расположенные в Сети, несмотря на менее реалистичную визуальную составляющую в силу технологических особенностей, обладают преимуществом постоянных обновлений и дополнений, легкостью в установке, кроссплатформенностью, а также возможностью получить доступ откуда угодно и когда угодно [4].

По мнению ряда специалистов [2], виртуальные симуляторы позволяют добиться увеличения вовлеченности обучения и подготовленности специалистов, улучшения визуального восприятия технического процесса, сокращения расходов организации; масштабируемости процесса обучения, беспристрастной оценки деятельности, обеспечения коллективной учебно-методической работы [12]. Таким образом, компьютерные симуляторы – серьезное подспорье в обучении и при этом, в отличие от реальных учебных лабораторий, решение, не требующее затрат, более гибкое и способное повторить сложные лабораторные условия.

Стоит упомянуть, что в Письмах Министерства образования и науки Российской Федерации от 21 апреля 2015 г. № ВК-1013/06 в акте «О направлении методических рекомендаций по реализации дополнительных профессиональных программ» [13] отдельно подчеркнута, что «в состав программно-аппаратных комплексов должно быть включено ... программное обеспечение, необходимое для осуществления образовательного процесса», включая «интерактивные среды, виртуальные лаборатории ..., творческие виртуальные среды...».

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ РЕШЕНИЙ

Рынок виртуальных лабораторий активно развивается, за последние 10 лет он вырос более чем в 6 раз. Согласно библиометрическому анализу [6], самое большое количество исследований связано с симуляцией инженерных опытов и

экспериментов. После изучения находящихся в свободном доступе решений, используемых мировыми образовательными учреждениями, можно сделать вывод, что рынок биотехнологических виртуальных лабораторий отстает в развитии от современных трендов виртуальных тренажеров. Практически нигде не используются новые мощные кроссплатформенные игровые движки¹, которые позволили бы добиться реалистичности, а также точнее воспроизводить опыты. Более того, не предлагается использовать дополнительное оборудование (например, шлемы виртуальной реальности и устройства бесконтактной манипуляции), позволяющее получить более полный эффект погружения.

Рассмотрим некоторые решения в области виртуальных лабораторий, отметив отдельно технологии, с помощью которых они разработаны.

Nhmi BioInteractive [9] (язык JavaScript) – виртуальная лаборатория Howard Hughes Medical Institute (NHMI, Медицинский институт Говарда Хьюза), в которой студенты могут проводить эксперименты, записывать данные, а также отвечать на тестовые/проверочные вопросы. В продукте скомбинированы анимации, иллюстрации и видеоматериалы.

Лаборатории от NHMI обладают неплохой графикой, но вот игровой аспект в них скучен и однообразен. Каждая лаборатория сделана под конкретный эксперимент, отсутствует возможность перемещения по виртуальной лаборатории – в каждом конкретном экране находятся только те предметы, с которыми мы взаимодействуем, что некоторым образом ухудшает восприятие целостной картины функционирования всей лаборатории. В продукте присутствует возможность совершить неудачный опыт, но сделать это будет возможно только с помощью бессмысленного нажатия на точки взаимодействия. Из плюсов этой лаборатории можно назвать огромное количество методического материала – каждый опыт или действие описаны достаточно точно, присутствуют глоссарий и общее описание.

Из всех рассмотренных продуктов лаборатория от NHMI – одна из самых но-

¹ Игровой движок – центральный программный компонент компьютерных и видеоигр или других интерактивных приложений с графикой, обрабатываемой в реальном времени; он обеспечивает основные технологии, упрощает разработку и часто даёт игре возможность запускаться на нескольких платформах.

вых, она имеет обширную базу знаний и, хотя реализована в 3D, использует низкополигональную графику, что уже не воспринимается адекватно современным пользователем. Лучше всего эта лаборатория подойдет студентам, только начинающим изучение биомедицинских технологий.

VIRTUAL LABS [8] (технология Flash) – это проект Министерства человеческих ресурсов Индии, объединивший работу нескольких вузов по созданию виртуальных лабораторий. На данный момент уже готовы лаборатории по электронике, информатике, инженерии, физике и химии, представлено большое количество работ, связанных с биологией и смежными областями. В представленных симуляторах есть возможность индивидуализации обучения, но не всегда является понятным, что нужно делать в тот или иной момент. Отметим разброс в качестве лабораторных работ, представленных в системе. Во-первых, не все поддерживают работу с симуляторами, во-вторых, не для каждой лабораторной работы приведено достаточное описание действий, а тесты в некоторых работах слишком просты для рекомендации этого ресурса как базового.

Данный ресурс подойдет студентам, начавшим изучать материал, в каждой лаборатории есть ссылки на дополнительные материалы для самостоятельного освоения.

Virtual Biology Lab [7] (технологии – клиент под Windows) – это виртуальная лаборатория от Aten-студии, разрабатывающей, в основном, десктопные симуляторы. В этой лаборатории, выпущенной в 2009 году, пользователю предстоит найти лечение для лабораторных крыс с помощью визуального осмотра, отбора, различных тестов и процедур. Перемещения и взаимодействия в ней четко ограничены сценарием. Лаборатория сделана в 3D, однако животные выглядят неправдоподобно, это больше схематичные изображения. Выделяя достоинства, стоит отметить, что каждое взаимодействие тщательно записывается, студентам надо будет проанализировать эти данные, чтобы понять, какое лечение нужно этим животным.

WOW Biolab [10] (технология Flash) – виртуальные лаборатории от обучающей компании *Houghton Mifflin Harcourt*, разработаны с помощью векторной графики и представляют схематичное изображение приборов и инструментов. В этих симуляциях пользователю предстоит пройти квест, следуя четким указаниям и

нажимая на активные точки. К сожалению, описание того, что необходимо проделать, лаборатория не предоставляет, на начальном этапе имеется только общее описание предметов и последующих действий. Свобода действий (возможность отойти от сценария) отсутствует, как и возможность ошибиться и получить не тот результат. Из положительных качеств можно отметить, что на заключительном этапе лаборатории пользователь должен пройти тестирование. Эта симуляция подойдет только для студентов, начинающих обучение, – она дает достаточно слабое представление о предмете изучения из-за малого количества информации.

Рассмотрев продукты на рынке биомедицинских симуляций, можно сделать вывод, что все эти системы были разработаны некоторое время назад и сегодня уже не отвечают современным стандартам. Тем не менее, в большинстве из них представлены хорошая материальная и техническая база, а также большое количество справочных материалов, учебных пособий, активных ссылок и иллюстраций, которые помогают студентам глубже погружаться в предмет изучения. Производством виртуальных симуляторов, виртуальных лабораторий, удалённых (remote) лабораторий и «песочниц» занимаются многие университеты мира, в таких виртуальных лабораториях можно добиться практически полной свободы действий в условиях заданного эксперимента. При этом студент не будет бояться совершить необратимую ошибку, а сможет попробовать разные способы решения проблемы, что является хорошим обучающим фактором.

ПРОЦЕСС РАЗРАБОТКИ ВИРТУАЛЬНОЙ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Опишем теперь предлагаемую нами методику разработки виртуальной биотехнологической лаборатории, отвечающей всем современным требованиям.

Разработку виртуальной лаборатории необходимо начать с выбора игрового движка. Приведем ряд требований, которым он должен соответствовать: иметь возможность запускаться с любой операционной системы (Windows, Linux, MacOS); поддерживать высокое разрешение, систему затенения, сглаживание; иметь расширенный физический движок, поддерживать сложные взаимодействия (жидкостей, мягких тканей, твердых предметов); поддерживать модульность и иметь возможность улучшения первичного функционала; (опционально)

поддержка манипуляторов; (опционально) запускаться на базе веб-решений, чтобы быть доступным в интернете; (опционально) иметь возможность быть запущенным в средствах 3D визуализации, таких, как Oculus Rift.

Нами был сделан выбор в пользу игрового движка Unity, который позволяет добиться быстрого развития проекта и создания первого прототипа в кратчайшие сроки. С помощью этого движка можно создать удобную для визуального представления и использования биотехнологическую лабораторию, в которой пользователь будет участвовать в реалистичном эксперименте с большой степенью свободы действия. Для реализации была разработана система действий на языке C#. В неё входят следующие компоненты и классы (см. рис. 1):

- GlowEffectRaycaster – компонент для подсвечивания активных объектов;
- DescriptionsController – контроллер отображения описания опыта;
- DictionaryController – контроллер отображения словаря;
- AlgorithmController – контроллер отображения алгоритма действий и его текущее состояние;
- MessageShow – компонент отображения подсказки;
- InteractingController – компонент взаимодействия объектов;
- ScenarioController – контроллер сценария, содержит в себе экземпляр класса Scenario;
- Scenario – класс, хранящий текущее состояние сценария; хранит в себе массив частей сценария;
- ScenarioPartArray – класс-обёртка для массива частей сценария;
- ScenarioPart – класс, описывающий часть сценария; содержит в себе всю информацию, необходимую для продвижения по сценарию;
- DialogController – общий класс для всех диалогов, появляющихся в игре;
- CentrifugeDialogController – контроллер диалога управления центрифугой;
- DozatorDialogController – контроллер диалога управления дозатором;
- IncubatorDialogController – контроллер диалога управления инкубатором;
- ScenarioPartInspector – компонент редактирования сценария.

В качестве темы виртуальной симуляции был выбран иммуноферментный анализ крови (сокращенно ИФА) из трех образцов. Данный анализ необходим для

выявления красной волчанки, являющейся серьезным аутоиммунным заболеванием. Используя в игровом процессе [14] свободный способ перемещения по виртуальному пространству лаборатории, ограничим ожидаемые от пользователя действия только линейными: чтобы продолжить эксперимент, нужно четко следовать инструкции; активные места подсвечиваются желтым свечением.

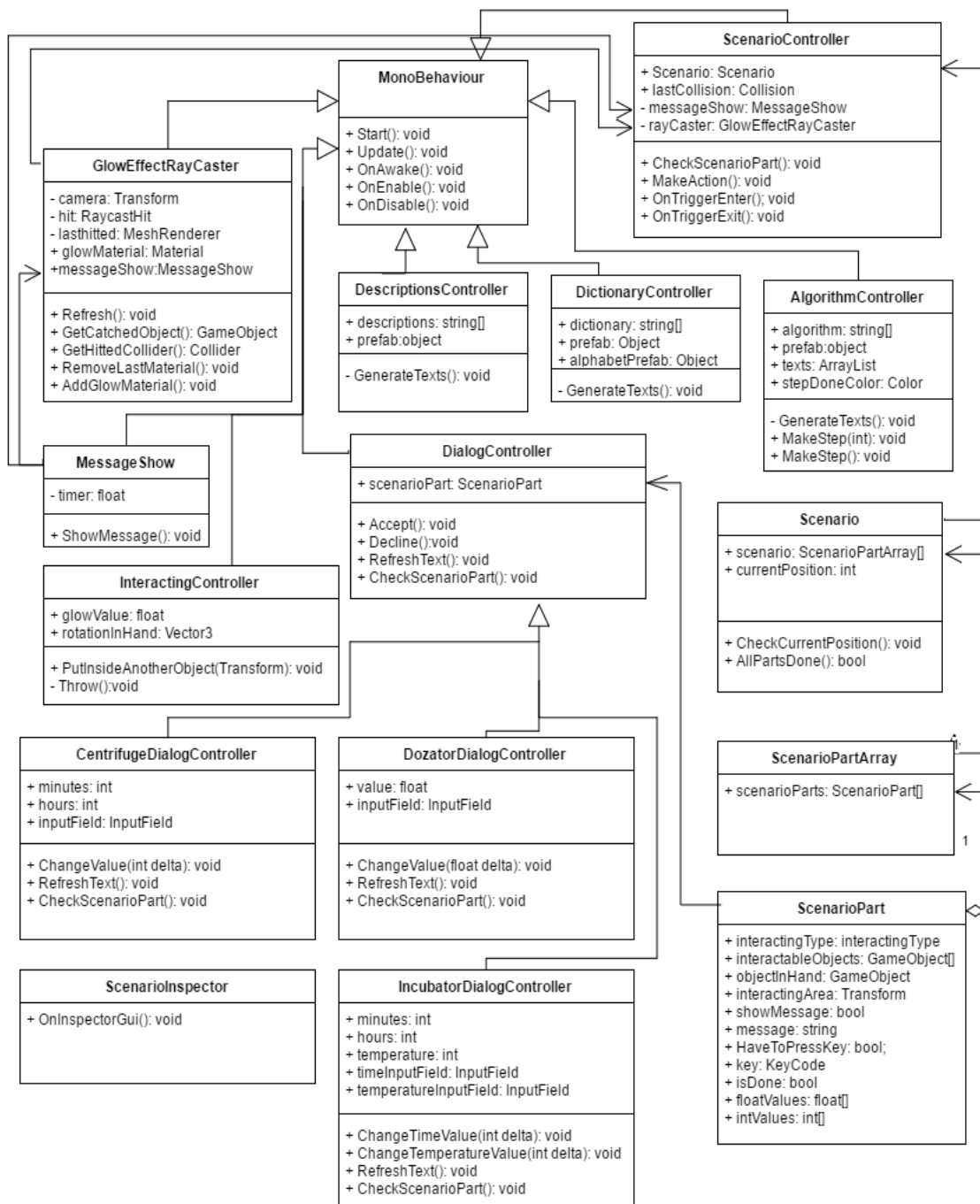


Рис. 1. Диаграмма классов разработанной системы

Студенты будут совершать действия строго по сценарию, они будут отображаться в дневнике исследования:

- необходимо 30 мл крови пациента;
 - далее необходимо выработать сыворотку крови, для этого образцы крови помещают в центрифугу на 15 минут;
 - после того как сыворотка выработана, необходимо разделить ее на три образца в следующих пропорциях 1:2, 1:10, 1:100;
 - с помощью дозатора берётся 1 мл сыворотки и выливается в 1 колбу;
 - подготовить микропланшет для иммуноферментного анализа;
 - промаркировать микропланшет по вертикали: пациенты, позитивная и негативная пробы; по горизонтали: концентрация раствора 1:2, 1:10, 1:100;
 - из каждой колбы с раствором сыворотки крови взять с жидкость помощью дозатора для малых порций 0.1 мл и влить её в колонки пациентов;
 - с помощью дозатора для малых порций необходимо взять 0.1 мл раствора антител «СКВ» и добавить в ячейки под колонкой «положительная проба»;
 - с помощью дозатора для малых порций необходимо взять 0.1 мл раствора ФСБ и влить его в каждую ячейку негативной пробы;
 - поставить микропланшет в инкубатор на 15 минут, при температуре 37 градусов;
 - по истечении времени достать из инкубатора микропланшет;
 - с помощью дозатора для малых порций убрать растворы из каждой ячейки по одному;
 - далее необходимо промыть каждую ячейку с помощью раствора ФСБ;
 - для этого с помощью дозатора для малых порций берется 0.1 мл ФСБ и заливается в каждую ячейку;
 - с помощью дозатора для малых порций убрать растворы из каждой ячейки по одному;
 - берётся раствор поликанальных кроличьих антител (ПКА);
 - с помощью дозатора для малых порций берется 0.1 мл ПКА и вливается в каждую ячейку планшета;
 - поставить микропланшет в инкубатор на 15 минут при температуре 37 градусов;
-

- по истечении времени достать из инкубатора микропланшет;
- с помощью дозатора для малых порций убрать растворы из каждой ячейки по одному;
- далее необходимо промыть каждую ячейку с помощью раствора ФСБ;
- для этого с помощью дозатора для малых порций берется 0.1 мл ФСБ и заливается в каждую ячейку;
- с помощью дозатора для малых порций убрать растворы из каждой ячейки по одному;
- берётся раствор пероксидазы хрена (horseradish peroxidase) и заливается в каждую активную ячейку микропланшета;
- устанавливается таймер на 15 минут.

Для реалистичной реализации необходимо смоделировать научное оборудование, используя изображения реальных объектов. Кроме того, нужно создать для этих объектов анимации возможность взаимодействия как внутри, так и друг с другом. Приведем список интерактивных объектов с возможными действиями с ними, а также способы взаимодействия объектов:

- колба с образцом крови (40 мл крови в каждой); действие: открыть и закрыть крышку;
 - центрифуга (рис. 2), в которую помещаются образцы крови; у центрифуги должны быть непрозрачная крышка, а на передней панели – таймер и кнопки, с помощью которых ее можно настраивать, а также кнопка запуска центрифуги; необходимо сделать и другие неактивные кнопки, как на примере ниже; действия: закладывание (или изъятие колб) с кровью из центрифуги; открытие (или закрытие) крышки; добавление (или убавление) времени; запуск центрифуги;
 - противовес для центрифуги – точно такая же колба, как колба с образцом крови; закладывается в центрифугу при условии, что образцов крови нечетное количество;
 - колба с сывороткой крови (40 мл);
 - колба с образцами крови после центрифуги; четко видны состав крови и линия переходов; действия: открыть (или закрыть) крышку;
 - дозатор и дозатор для малых порций;
-

- необходимость взятия проб разных жидкостей; дозатор и дозатор для малых порций отличаются рабочей поверхностью, у последнего она меньше; дозировка настраивается с помощью клавиш «больше» и «меньше» на передней панели дозатора; дозировка показывается в небольшом окне между кнопок «больше» и «меньше»; действия: убавить (или прибавить) дозировку; взять жидкость (при этом рабочая поверхность дозатора окрашивается в цвет жидкости), вылить жидкость (рабочая поверхность вновь становится прозрачной, активируется нажатием клавиши мыши);



Рис. 2. Вид интерактивного предмета – центрифуги

- малая колба для растворов (для раствора 1:2), должна выглядеть как уменьшенная копия колбы для крови, в длину – на $2/3$, а в диаметре – на половину; действия: влить и вылить кровь, закрыть и открыть крышку; взболтать, при этом жидкости, которые были в ней, перемешаются;

- колба для растворов, должна быть меньше в диаметре в два раза, чем колба для крови; действия: влить и вылить кровь, закрыть и открыть крышку; взболтать, при этом жидкости, которые были в ней, перемешаются;

- слив для биологических жидкостей, большая банка со значком биологической угрозы; действие: закрыть и открыть крышку;

- банки с растворами, из них берутся растворы: фосфатно-солевой буферного (ФСБ), поликанальных кроличьих антител (ПКА), пероксидазы хрена, раствора антител СКВ – системная красная волчанка; этикетку сделать белой, а черными буквами – название раствора не ней; раствор ФСБ сделать больше других по размеру; действия: открыть и закрыть банку;



Рис. 3. Общий вид виртуальной биотехнологической лаборатории

- инкубатор – необходим для проведения тестирования, на нём должны быть небольшой дисплей размером для таймера (отсчёт в минутах), кнопки прибавления и убавления минут на таймере, небольшой дисплей размером для температуры (в градусах Цельсия), кнопка добавления температуры, кнопка убавления температуры, кнопка запуска; в инкубатор ставится микропланшет, окошко инкубатора должно быть прозрачным, чтобы видеть помещаемые в него предметы; при установке времени и температуры и после нажатия кнопки включения в инкубаторе должен загораться свет, а время должно вести обратный отсчет; действия: добавить (или убавить) время, добавить (или убавить) температуру, открыть (или закрыть) дверь, включить, свет внутри загорается при включении;

- микропланшет – необходим для проведения реакций с кровью, в лунки заливается жидкость из дозаторов; активные лунки (с которыми предстоит работать) подсвечиваются; также необходима возможность подписи столбцов и строчек, как на фотографии ниже; действие – влить или вылить жидкость с помощью дозатора;

- держатель для колб; действия: вставить (или убрать) колбу.

Игровой процесс требует использования в виртуальной лаборатории интерактивной карты исследования, своеобразного дневника с описанием используемых химикатов, реактивов, опытов, исследований, подсказок, которые будут изменяться в соответствии с фазой проведения опыта, а также общее описание самого исследования.

Общий вид разработанной виртуальной лаборатории приведен на рис. 3.

ПЕРСПЕКТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Перспектива использования биотехнологических виртуальных лабораторий представляется нам очень широкой. Такие решения могут применяться в процессе обучения студентов по направлениям микробиология, медицина, биотехнологии, медицинская химия, фармацевтика; в процессе повышения квалификации уже работающих сотрудников; в процессе проверки полученных знаний и контроля их качества.

Отметим, что предложенное решение представляет собой линейный квест по выявлению аутоиммунных заболеваний. В дальнейших разработках представляется необходимым разнообразить пути решений, создавая как ошибочные, так и правильные результаты тестирований, которые зависят от действий пользователя.

Разработка виртуальной лаборатории по одному из процессов не решает проблемы обучения всему спектру компетенций, которыми необходимо овладеть студенту для получения статуса специалиста. Поэтому важным этапом во внедрении такого способа обучения становится задача создания конструктора виртуальных симуляций, в котором возможно простым языком или с использованием сценарного подхода описать различные виртуальные симуляции лабораторий биотехнологической направленности (рис. 4).

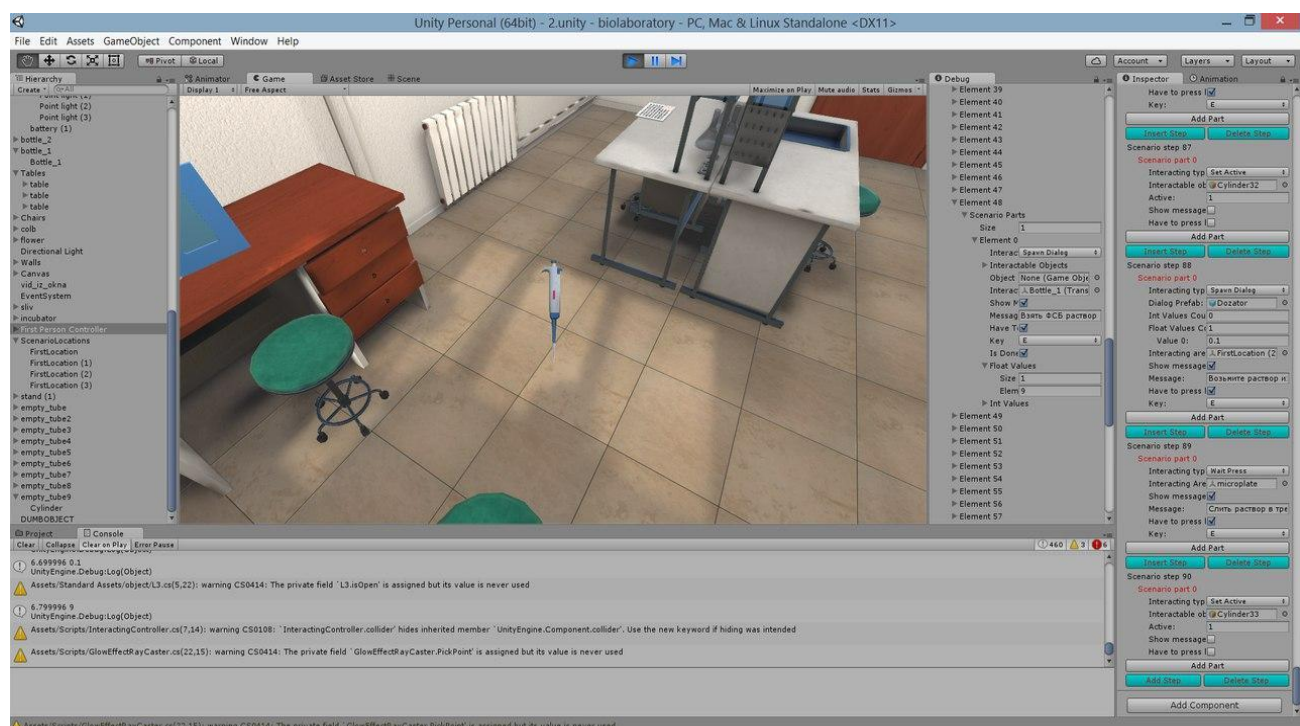


Рис. 4. Справа – интерфейс сценарной системы

Для решения проблемы быстрого создания любых виртуальных экспериментов логично перейти от сценарной системы на так называемую «нодовую» (node-base graph editor), что позволит визуальнo программировать реакцию аппаратуры и реагентов в ответ на действия пользователя, вне зависимости от того, реализуется ли линейный сценарий или действия пользователя не ограничены рамками последовательного выбора конкретных возможностей. Достоинства такого подхода очевидны: быстрая масштабируемость, создание уникального продукта за короткий срок, легкая модифицируемость.

Взяв за основу предложенную методику разработки, можно создать следующие группы виртуальных лабораторий: в сфере биотехнологий – исследования, затрагивающие как макро-, так и микромир; в сфере биологии – исследовательские проекты как в «поле», так и в лаборатории; в сфере медицины – исследования человеческого организма и его свойств.

Отметим, что кроме десктопного варианта виртуальных лабораторий представляется необходимой реализация доступа к ним через интернет, чтобы у студентов был круглосуточный доступ онлайн.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Виртуальные симуляции лабораторий позволяют удаленно запустить лабораторию на персональном компьютере из любой точки мира. Их характеризуют уменьшение эксплуатационной и закупочной стоимости; быстрая масштабируемость и возможность изменения; подача материалов в интерактивной или игровой формах.

Разработанная симуляция предложенного эксперимента в виртуальной лаборатории будет апробироваться на опытной группе студентов, дав разработке необходимую обратную связь. Определив процент усваиваемого материала, можно получить метрики для оценки аналогичных реализаций в других областях применения виртуальных симуляций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Balamuralithara B., Woods P.C.* Virtual laboratories in engineering education: the Simulation Lab and Remote Lab // *Computer Applications in Engineering Education*, March 2009. V. 17, Issue 1. P. 108–118.
2. *Zoric Nedic, Jan Machotka, Andrew Nafalski.* Remote laboratories versus virtual and real laboratories // *Frontiers in Education*. 2003. FIE 2003 33rd Annual, T3E-1-T3E-6. V. 1.
3. *Veljko Potkonjak, Michael Gardner, Victor Callaghan, Pasi Mattila, Christian Guetl, Vladimir M. Petrovic, Kosta Jovanovich.* Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: a review // *Computers & Education*. April 2016. V. 95. P. 309–327.
4. *Deanna Raineri.* Virtual laboratories enhance traditional undergraduate biology laboratories // *Biochemistry and Molecular Biology Education*. 2001. V. 29, Issue 4. P. 160–162.
5. *Daniel Fernández-Avilés, Diego Dotor, Daniel Contreras, Jose Carlos Salazar.* Virtual labs: a new tool in the education: experience of Technical University of Madrid // *2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)*, 24–26 Feb. 2016. P. 271–272.
6. *Ruben Heradio, Luis de la Torre, Daniel Galan, Francisco Javier Cabrerizo, Enrique Herrera-Weidma, Sebastian Dormido.* Virtual and remote labs in education: a bibliometric analysis // *Computers & Education*. July 2016. V. 98. P. 14–38.

7. Aten Virtual Biology Lab. URL: <http://ateninc.com/homepage/virtual-lab.html>.
 8. Initiative of Ministry of Human Resource Development (MHRD). URL: <http://vlab.co.in>.
 9. Under the National Mission on Education through ICT VIRTUAL LABS. URL: http://vlab.co.in/ba_labs_all.php?id=6.
 10. Hhmi biointeractive. URL: <http://www.hhmi.org/biointeractive/explore-virtual-labs>.
 11. Houghton Mifflin Harcourt WOW biolab. URL: https://www.classzone.com/books/hs/ca/sc/bio_07/virtual_labs/virtualLabs.html.
 12. Михайлов В.Ю., Гостев В.М., Кугуракова В.В., Чугунов В.А. Виртуальная лаборатория как средство обеспечения коллективной научно-методической работы // Сб. трудов XII международной конференции «ИТО-2002». Часть IV (Москва, 4–8 ноября 2002 г.). М.: МИФИ, 2002. С. 31–34.
 13. Письма Министерства образования и науки Российской Федерации от 21 апреля 2015 г. № ВК-1013/06 в акте «О направлении методических рекомендаций по реализации дополнительных профессиональных программ». URL: <http://минобрнауки.рф/документы/6250>.
 14. Геймплей. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Геймплей>.
-

VIRTUAL LABORATORIES FOR BIOMEDICAL PROFESSIONAL EDUCATION

**V. Abramov¹, V. Kugurakova², A. Rizvanov³, M. Abramskiy⁴,
N. Manahov⁵, M. Evstafiev⁶**

Kazan (Volga Region) Federal University

¹ivitazour@gmail.com; ²vlada.kugurakova@gmail.com; ³rizvanov@gmail.com;

⁴ma@it.kfu.ru; ⁵nadirmanakhov@gmail.com; ⁶mixaill3d@gmail.com

Abstract

In this paper, we describe the analysis we had conducted on the matter of usage of biotechnological simulations in virtual space. We used the results to design the set

of requirements for mechanics, environment, visual and technological aspects of virtual labs. We also showcase our simulation of the biomedical virtual lab as an example of how methodologies we described could be implemented.

Keywords: *virtual labs, education of medical workers, virtual simulation, medicine*

REFERENCES

1. *Balamuralithara B., Woods P.C.* Virtual laboratories in engineering education: the Simulation Lab and Remote Lab // *Computer Applications in Engineering Education*, March 2009. V. 17, Issue 1. P. 108–118.
2. *Zoric Nedic, Jan Machotka, Andrew Nafalski.* Remote laboratories versus virtual and real laboratories // *Frontiers in Education*, 2003. FIE 2003 33rd Annual, T3E-1-T3E-6. V. 1.
3. *Veljko Potkonjak, Michael Gardner, Victor Callaghan, Pasi Mattila, Christian Guetl, Vladimir M. Petrovic, Kosta Jovanovich.* Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: a review // *Computers & Education*. April 2016. V. 95. P. 309–327.
4. *Deanna Raineri.* Virtual laboratories enhance traditional undergraduate biology laboratories // *Biochemistry and Molecular Biology Education*. 2001. V. 29, Issue 4. P. 160–162.
5. *Daniel Fernández-Avilés, Diego Dotor, Daniel Contreras, Jose Carlos Salazar.* Virtual labs: a new tool in the education: experience of Technical University of Madrid // 2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV), 24–26 Feb. 2016. P. 271–272.
6. *Ruben Heradio, Luis de la Torre, Daniel Galan, Francisco Javier Cabrerizo, Enrique Herrera-Veidma, Sebastian Dormido.* Virtual and remote labs in education: a bibliometric analysis // *Computers & Education*. July 2016. V. 98. P. 14–38.
7. *Aten Virtual Biology Lab.* URL: <http://ateninc.com/homepage/virtual-lab.html>.
8. *Initiative of Ministry of Human Resource Development (MHRD).* URL: <http://vlab.co.in>.
9. *Under the National Mission on Education through ICT VIRTUAL LABS.* URL: http://vlab.co.in/ba_labs_all.php?id=6.

10. Hhmi biointeractive. URL: <http://www.hhmi.org/biointeractive/explore-virtual-labs>.
11. Houghton Mifflin Harcourt WOW biolab. URL: https://www.classzone.com/books/hs/ca/sc/bio_07/virtual_labs/virtualLabs.html.
12. *Mihailov V., Gostev V., Kugurakova V., Chugunov V.* Virtual labs in the process of collaborative research work // XII International conference «ITO-2002». Part IV (Moscow, 4–8 November 2002). Moscow: MIFI, 2002. P. 31–34.
13. Letters from Russian ministry of science and education from April 21 2015 № ВК-1013. URL: <http://минобрнауки.рф/документы/6250>.
14. Gameplay. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Gameplay>.

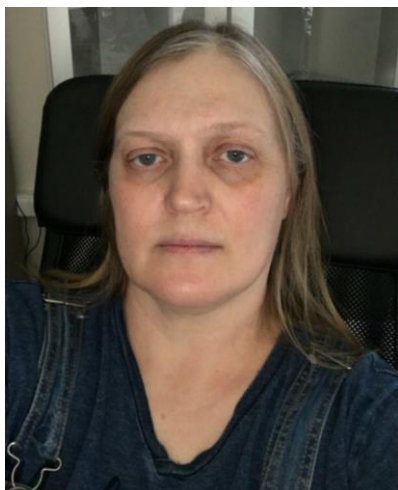
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



АБРАМОВ Виталий Денисович – лаборант-исследователь Научно-исследовательской лаборатории «Виртуальные и симуляционные технологии в биомедицине» Высшей школы информационных технологий и информационных систем Казанского (Приволжского) федерального университета.

Vitalii Denisovich Abramov, junior research scientist of Kazan Federal University. Current scientific interests: virtual laboratories.

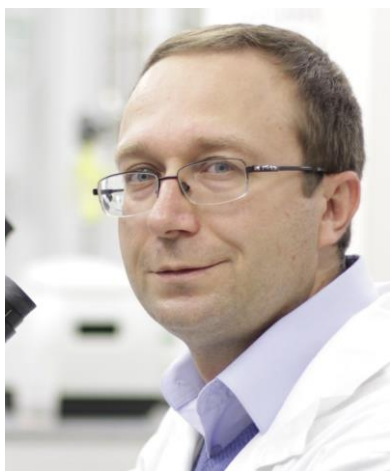
email: ivitazour@gmail.com



КУГУРАКОВА Влада Владимировна – старший преподаватель Высшей школы информационных технологий и информационных систем Казанского (Приволжского) федерального университета, руководитель Научно-исследовательской лаборатории «Виртуальные и симуляционные технологии в биомедицине».

Vlada Vladimirovna KUGURAKOVA, senior Lecturer of Higher School of Information Technology and Information Systems, Head of Laboratory "Virtual and simulational technologies in biomedicine".

email: vlada.kugurakova@gmail.com



РИЗВАНОВ Альберт Анатольевич – доктор биологических наук, заведующий отделом поисковых исследований, главный научный сотрудник НИЛ клеточных и генных технологий Казанского (Приволжского) федерального университета.

Albert Anatolievich RIZVANOV, chief researcher, Doctor of Science, associate professor of Institute of Fundamental Medicine and Biology of Kazan Federal University.

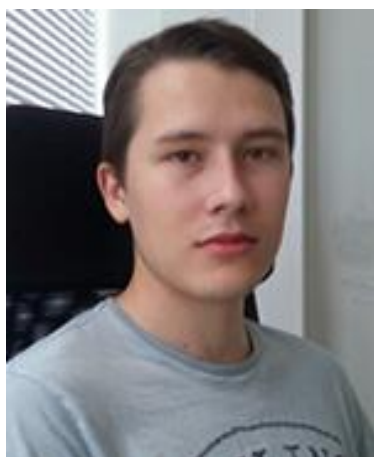
email: rizvanov@gmail.com



АБРАМСКИЙ Михаил Михайлович – старший преподаватель кафедры инжиниринга программного обеспечения Высшей школы информационных технологий и информационных систем Казанского (Приволжского) федерального университета.

Mikhail Mikhailovich ABRAMSKIY, Senior Lecturer of Higher School of Information Technology and Information Systems of Kazan Federal University.

email: ma@it.kfu.ru



МАНАХОВ Надир Ринатович – младший научный сотрудник Научно-исследовательской лаборатории «Виртуальные и симуляционные технологии в биомедицине» Высшей школы информационных технологий и информационных систем Казанского (Приволжского) федерального университета.

Nadir Rinatovich MANAKHOV, junior research scientist of Kazan Federal University. Current scientific interests: virtual laboratories.

email: nadirmanakhov@gmail.com



ЕВСТАФЬЕВ Михаил Евгеньевич – лаборант-исследователь Научно-исследовательской лаборатории «Виртуальные и симуляционные технологии в биомедицине» Высшей школы информационных технологий и информационных систем Казанского (Приволжского) федерального университета.

Mikhail Evgenyevich EVSTAFYEV, junior research scientist of Kazan Federal University. Current scientific interests: virtual laboratories.

email: mixaill3d@gmail.com

Материал поступил в редакцию 15 мая 2016 года

УДК 004.89+004.514+004.52+159.942

ВЫЯВЛЕНИЕ ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО ПОРТРЕТА НА ОСНОВЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОНАЛЬНОСТИ СООБЩЕНИЙ ДЛЯ АНТРОПОМОРФНОГО СОЦИАЛЬНОГО АГЕНТА

А.А. Алексеев¹, В.В. Кугуракова², Д.С. Иванов³

Казанский (Приволжский) федеральный университет

¹aleksanton5@gmail.com; ²vlada.kugurakova@gmail.com;

³denis.999.ivanov@gmail.com

Аннотация

Исследованы аспекты выявления психологического портрета респондента и генерация отношения к нему социальным агентом на основе анализа тональности диалога. Рассмотрены принципы генерации отношения социального агента к респонденту и изменение его эмоционального настроения на протяжении общения. Реализация поставленной задачи осуществлена с помощью языка программирования Python и работы с реальными данными. Проведенный анализ алгоритмов классификации, основанных на подходах машинного обучения, подтвердил практическую значимость работы.

Ключевые слова: *социальный агент, тональность, эмоциональное отношение, машинное обучение*

ВВЕДЕНИЕ

Компьютерные технологии развиваются огромными темпами, уже сейчас они окружают нас практически везде. Компьютеры могут управлять как домашним телевизором, так и запуском ракеты в космос. Такое бурное развитие информационных технологий привело к потребности в новых интерфейсах, которые должны упростить взаимодействие компьютера и человека, проникнуть в нашу жизнь и автоматизировать её ещё сильнее. Одним из решений данной проблемы можно считать антропоморфные интерфейсы (интерфейсы, по своему облику похожие на человека), позволяющие полностью или частично (в зависимости от реализации) отказаться от стандартных компьютерных интерфейсных устройств

(клавиатура, мышь, джойстик и т. д.) и за счет этого упростить взаимодействие с пользователем.

Разработка антропоморфного социального агента – это кросс-дисциплинарная, трудоемкая и ресурсозатратная задача. Вот лишь несколько составляющих человеко-машинного интерфейса: распознавание, анализ и симуляция человеческой речи; симуляция мимики, движений человека, его психоэмоциональных состояний и реакций; рассуждения на основе здравого смысла, поддержание контекста, диалоговый режим [1].

В настоящей работе исследованы такие аспекты создания антропоморфного пользовательского интерфейса, как выявление психологического портрета респондента и генерация отношения к нему социальным агентом. Эта задача далеко нетривиальна. Определить такой портрет собеседника можно разными способами: по интонации речи, мимике лица, текстовому диалогу. Ниже решается проблема определения эмоционального состояния собеседника на основе текста. Ее можно свести к задаче анализа тональности текста, учитывая особенности, присущие выбранной теме. Кроме того, рассмотрены принципы генерации отношения социального агента к респонденту и изменение его эмоционального настроения на протяжении общения.

АНАЛИЗ ЭМОЦИОНАЛЬНОЙ ОКРАСКИ ТЕКСТА

Анализ эмоциональной окраски текста – это раздел компьютерной лингвистики, занимающийся автоматическим определением в тексте эмоционально окрашенной лексики и выявлением мнений. В семантическом анализе принято считать, что текстовую информацию можно разделить на два класса: мнения и факты [7]. Главным в нашей работе будет понятие определения мнения. В анализе тональности текста простым мнением называется кортеж из пяти элементов:

(entity, feature, sentiment value, holder, time),

где entity – объект, feature – аспект, sentiment value – эмоция, holder – автор, time – время. Далеко не всегда приходится искать все пять названных элементов сложными методами, зачастую некоторые из них бывают известны сразу. Например, при исследовании отзывов о каком-нибудь фильме могут быть изначально известны такие параметры, как объект, автор и время.

В задаче определения психологического портрета респондента главной

проблемой является правильная классификация такого элемента, как эмоция. Именно по ней будет проходить классификация текста.

Классификация текста – задача информационного поиска, которая заключается в определении, к какой категории относится текст. Она производится на основании содержания этого текста. Чтобы произвести правильную классификацию текста, необходимо: выбрать подход к классификации; определить количество классов и структуру классификации; выбрать признаки, относительно которых производится классификация.

ВЫЯВЛЕНИЕ ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО ПОРТРЕТА РЕСПОНДЕНТА

В диалоге с респондентом антропоморфному социальному агенту особо важно почувствовать его эмоциональное состояние, чтобы правильно вести диалог: ведение диалога с собеседником на необходимом эмоциональном уровне позволит вызвать доверие к агенту [1]. В психологии существует огромное множество различных классификаций психотипов. Для определения некоторых из них применяются довольно сложные методы, которые трудно или совершенно невозможно реализовать, используя один лишь текст. Поэтому, исследуя тему выявления психотипа респондента, нам предстоит выбрать либо существующую систему классификации, либо выработать собственную, которая сможет с достаточной четкостью определять эмоциональный настрой собеседника в текстовом диалоге. Было принято решение понимать под психотипами окраску эмоций и их силу. Таким образом, предстоит выработать собственную классификацию. Для решения этой задачи выбрана классификация из пяти классов, которых должно быть достаточно для точного описания, в каком настрое находится собеседник социального агента. Решено разделять текст по следующим эмоциональным категориям: сильно положительный; средне положительный; нейтральный; средне отрицательный; сильно отрицательный.

ГЕНЕРАЦИЯ ОТНОШЕНИЯ СОЦИАЛЬНОГО АГЕНТА

Генерация отношения, как и выявление, может быть реализовано различными способами, например, можно всегда отвечать в нейтральном стиле, однако такой способ не будет антропоморфным – человекоподобный социальный агент должен реагировать на изменение эмоционального настроения его собеседника. В связи с этим необходимо разработать алгоритм, который позволит социальному

агенту изменять стиль общения в зависимости от психотипа его собеседника. Таким образом, первостепенная задача – правильно определить эмоциональную окраску сообщений собеседника.

Большинству людей приятно общаться с положительными людьми и на одном эмоциональном уровне [10]. На этом основании был разработан собственный принцип генерации отношения антропоморфного социального агента, который реализован по следующему алгоритму:

- если психотип собеседника находится в положительно-нейтральной группе (сильно положительный, средне положительный, нейтральный), то отношение к нему со стороны агента будет на том же уровне;
- если психотип собеседника находится в отрицательной группе (сильно отрицательный, средне отрицательный), то отношение к нему со стороны агента – нейтральное с попыткой выяснить причину отрицательного настроения.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИСТЕМЫ КЛАССИФИКАЦИИ СООБЩЕНИЙ

Ранее мы приняли, что для определения тональности текста будем использовать пять классов: сильно положительный, средне положительный, нейтральный, средне отрицательный, сильно отрицательный. Теперь необходимо подобрать наиболее подходящую структуру, чтобы показать лучшие результаты при классификации. Для нашего случая классификацию на пять классов лучше реализовать иерархическим методом. Обучать будут несколько классификаторов для каждой группы классов, причем каждый классификатор будет производить бинарное деление. Это должно дать выигрыш в качестве по сравнению с плоской классификацией. Первый классификатор будет разделять тексты на два класса: нейтральные и эмоционально окрашенные слова. Затем другим классификатором будет производиться деление на классы: положительные и отрицательные. Последние два уточняющих классификатора будут разбивать класс положительных текстов на средне положительные и сильно положительные, а класс отрицательных – на средне отрицательные и сильно отрицательные.

Для реализации эффективного алгоритма определения психотипа респондента было принято решение использовать методы машинного обучения. Реше-

ние данной задачи состоит из следующих этапов: оценка качества работы классификатора; выбор признаков, по которым производится классификация; реализация алгоритмов классификации; выбор подходящего обучающего корпуса; тестирование эффективности.



Рис. 1. Схема классификации сообщений

Для оценки качества классификации существуют два подхода. Первый – это сравнение классификаторов между собой, второй подход – абсолютная оценка качества. Считается, что точно оценить качество классификации очень сложно: порой даже опытные эксперты не могут сойтись во мнении, в какую категорию отнести определенный документ. На практике чаще всего используют метрику оценки качества классификации, которая состоит из таких двух характеристик классификатора, как точность и полнота.

Точность системы в рамках класса – это та часть документов, которые верно принадлежат данному классу относительно всех документов, которые система отнесла к этому классу.

Полнота системы – это та часть найденных классификатором документов,

которые принадлежат классу относительно всех документов этого класса в тестовой выборке.

В табл. 1 представлена информация о том, какое количество раз классификатор принял верное и какое количество раз – неверное решение. Здесь TP – истинно-положительное решение; TN – истинно-отрицательное решение; FP – ложноположительное решение; FN – ложноотрицательное решение.

Таблица 1. Бинарное разбиение текстов на классы по оценке классификатора

	Классифицированы как +	Классифицированы как -
Класс +	TP	FP
Класс -	FN	TN

На основе описанных данных происходит подсчет метрик, которые позволяют не только оценить качество работы классификатора, но и произвести сравнение классификаторов между собой. Для оценки качества были использованы следующие метрики:

- полная точность или аккуратность (accuracy)

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

– доля корректно классифицированных документов в общем числе документов, подаваемых на вход классификатора;

- точность (Precision); для положительных примеров

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

– это отношение количества документов, являющихся позитивными, к общему количеству документов, классифицированных как позитивные, или, иначе, доля положительных документов среди всех документов, которые классификатор отнес к положительным; для негативных документов

$$Precision = \frac{TN}{TN + FN}$$

– это отношение количества документов, являющихся негативными, к общему количеству документов, классифицированных как негативные;

- полнота (Recall); для положительных примеров

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

– это отношение количества правильно классифицированных позитивных примеров к общему количеству позитивных примеров или, иначе, доля действительно положительных документов из всех документов, распознанных как положительные; для отрицательных примеров

$$Recall = \frac{TN}{TN + FP}$$

– это отношение количества правильно классифицированных негативных примеров к общему количеству негативных примеров или, иначе, доля действительно негативных документов из всех документов, распознанных как негативные;

- F-мера (F-measure)

$$F = \frac{2 \times Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

– это мера, комбинирующая точность и полноту.

Применим метод классификации, который не использует априорные предположения о том, какие символы и слова содержат сообщения, принадлежащие к какому-либо классу. Таким образом, все признаки априорно равнозначны. При решении задачи определения эмоциональной окраски текстов частым решением являются N-граммы слов. Ниже будут использованы униграммы, биграммы и их комбинация. Будем считать словом любую последовательность букв русского алфавита. N-грамм порядка n – это разделенная пробелами последовательность из n слов. Например, предложение «Светит яркое солнце» состоит из следующих N-грамм первого порядка: «Светит», «яркое», «солнце»; второго порядка: «Светит яркое» и «яркое солнце»; комбинация униграмм и биграмм: «Светит», «яркое», «солнце», «Светит яркое», «яркое солнце».

РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА КЛАССИФИКАЦИИ

Для подготовки текста к процедуре классификации необходимо произвести несколько действий по его обработке, таких, как токенизация, стемминг, лемматизация и удаление стоп-слов:

- токенизация – это процесс выделения слов из предложений;
 - стемминг – процесс нахождения основы слова для заданного исходного слова или, иначе говоря, удаление окончаний;
-

- лемматизация – процесс приведения слова к его начальной форме; например, для существительных – именительный падеж, единственное число, для глаголов – инфинитив.

Цель этих действий – уменьшение размерности задачи, другими словами, если в текстах присутствуют одинаковые слова, имеющие разные окончания, то в результате стемминга и лемматизации они сведутся к одному виду. Стоп-слова (также называемые шумовыми) – это слова, знаки, символы, которые не несут никакой информационной нагрузки.

Для решения поставленной задачи были выбраны алгоритмы, показавшие себя наиболее эффективными при определении полярности коротких текстовых сообщений [11, 12]: наивный байесовский классификатор; метод опорных векторов; метод опорных векторов + delta TF-IDF.

Наивный байесовский классификатор – это вероятностный классификатор, основанный на теореме Байеса и (наивном) предположении о статистической независимости случайных величин:

$$P(C/F_1, \dots, F_N) = \frac{P(C)P(F_1, \dots, F_N/C)}{P(F_1, \dots, F_N)}.$$

Метод наивной байесовской классификации строится на двух предположениях: об условной независимости термов; о независимости позиций термов. Иными словами, во внимание не берется тот факт, что появление нескольких разных слов в тексте на естественном языке часто бывает взаимосвязанным. Например, вероятнее, что слово «мяч» встретится в одном тексте со словом «футбол», чем со словом «пальто». Также не учитывается, что вероятности того, что одно и то же слово встретится на разных позициях в тексте, различны. Именно по этим причинам данный алгоритм называется наивным. Несмотря на это, рассматриваемая модель дает весьма точные результаты. Главными достоинствами данного классификатора являются низкая вычислительная сложность, а также оптимальность, при условии действительной независимости признаков.

Метод опорных векторов является линейным классификатором. Его цель – поиск гиперплоскости в пространстве признаков, которая разделит объекты на два класса. Главный принцип метода опорных векторов – это поиск такой разделяющей гиперплоскости, что ближайшие к ней точки в пространстве признаков

находятся на максимальном расстоянии. Если выборка линейно разделима, то поиск гиперплоскости можно привести к задаче оптимизации

$$\frac{1}{2} \|\omega\|^2 \rightarrow \min_{\omega, b} y_i (\omega^T x_i + b) \geq 1, \quad i = 1, \dots, m,$$

где $1/\omega$ – величина зазора между ближайшими к гиперплоскости точками двух классов; $y_i(\omega^T x_i + b)$ – произведение положения гиперплоскости и значения класса точки.

В общем случае при выборке, являющейся линейно неразделимой, алгоритм может допустить ошибки на обучающих объектах. Новая задача оптимизации учитывает минимизацию ошибки:

$$\frac{1}{2} \|\omega\|^2 + C \sum_{i=1}^l e_i \rightarrow \min_{\omega, b} y_i (\omega^T x_i + b) \geq 1 - e_i, \\ e_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, k.$$

Переменные e_i выражают величины ошибки на примере выборки из k элементов. С помощью константы C можно найти компромисс между минимизацией суммарной ошибки на обучающей выборке и максимальной величиной зазора. Отличие данного алгоритма от предыдущего состоит в том, что в этом методе оценка веса признаков рассчитывается другим способом.

Принцип метода *дельта TF-IDF* [13] заключается в том, чтобы присвоить больший вес тем словам, которые обладают не нейтральной тональностью, поскольку именно эти слова определяют тональность всего текста. Рассчитывается вес слова V по следующей формуле:

$$V_{t,d} = C_{t,d} \log \left(\frac{|N|P_t}{|P|N_t} \right),$$

где $V_{t,d}$ – вес слова t в документе d ; $C_{t,d}$ – количество раз, которое слово t встречается в документе d ; $|P|$ – количество документов с положительной тональностью; $|N|$ – количество документов с отрицательной тональностью; P_t – количество положительных документов, где встречается слово; N_t – количество отрицательных документов, где встречается слово t . Из приведенной формулы следует, что вес слов, тональность которых положительна, будет большим положительным числом, слова с отрицательной тональностью будут иметь отрицательный вес, а нейтральные слова будут иметь вес, близкий к нулю. Данное взвешивание вектора признаков во многих случаях повышает точность классификации тональности.

ТЕСТИРОВАНИЕ

При использовании метода обучения с учителем необходима обучающая выборка. Обычно обучающее множество, на котором обучается классификатор, составляется из примеров из той области, в которой будет применяться этот классификатор. Для обучающей и тестовой выборок был составлен корпус коротких текстов, для которых была определена тональность. Набор представляет собой 10000 текстов. Часть этих данных извлечена из размеченного корпуса, который предоставлен авторами [16] в свободном доступе. Другая часть получена в результате небольшой работы с этими же текстами. Вручную было отобрано по 250 сильно положительных и сильно отрицательных текстов.

Для сравнения результатов работы алгоритмов классификации использован метод кросс-валидации. Процедура кросс-валидации происходит по следующему принципу:

- фиксируется множество разбиений обучающего множества на тренировочное и тестовое подмножества;
- каждое разбиение сначала проходит обучение на тренировочном множестве, а потом тестирование на контрольном;
- результатом кросс-валидации алгоритма является среднее значение проведенных результатов тестирования на контрольном множестве.

Будем использовать разбиение на множества, осуществленное случайным образом. Считаем, что попадание каждого предложения в одно из двух множеств равновероятно.

Таблица 2. Результаты классификации

Алгоритм	2 класса		3 класса		5 классов	
	F.	Acc.	F.	Acc.	F.	Acc.
NB	0.68	0.81	0.54	0.71	0.22	0.55
SVM	0.78	0.86	0.59	0.75	0.31	0.61
SVM+delta	0.8	0.89	0.69	0.78	0.34	0.63

Таблица 3. Результаты классификации. В качестве признаков выбраны N-граммы слов. Расчет для 5 классов

Алгоритм	униграммы		биграммы		комбинация	
	F.	Асс.	F.	Асс.	F.	Асс.
NB	0.21	0.55	0.22	0.53	0.23	0.57
SVM	0.31	0.61	0.29	0.59	0.33	0.63
SVM+delta	0.32	0.62	0.31	0.61	0.36	0.65

Как видно из таблиц 2 и 3, добавление новых классов значительно снижает качество классификации.

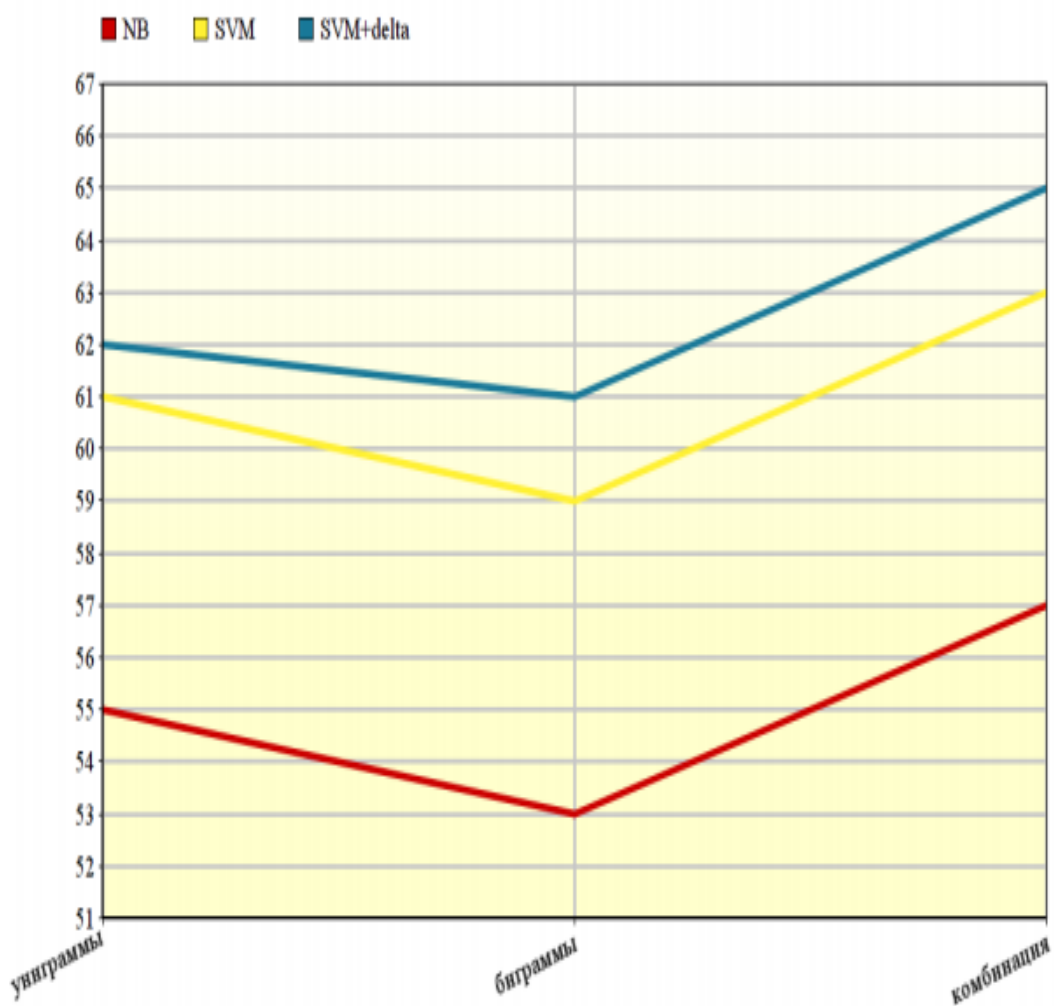


Рис. 2. График результатов классификации

Результаты показали, что лучшие показатели (рис. 2) для данной коллекции получены при использовании метода опорных векторов с функцией взвешивания дельта TF-IDF(SVM+delta). Если же использовать обычную бинарную функцию, то SVM-классификатор показывает лучшие результаты, чем NB. Комбинация униграммов и биграммов дает лучшие результаты во всех тестах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для решения поставленной задачи и реализации системы был выбран язык программирования Python. На рис. 3 показано, в каком направлении и между какими компонентами передаются данные. С решением задач, связанных с предобработкой текста на языке Python, хорошо справляется библиотека для работ с естественными языками Natural Language Toolkit (NLTK) [17]. Эта библиотека сопровождается обширной документацией и является свободным программным обеспечением. NLTK-модуль производит разбиение входящего текста на N-граммы. На следующем этапе формируется вектор признаков из текста. В результате иерархической классификации определяется принадлежность текста к одному из рассматриваемых классов.

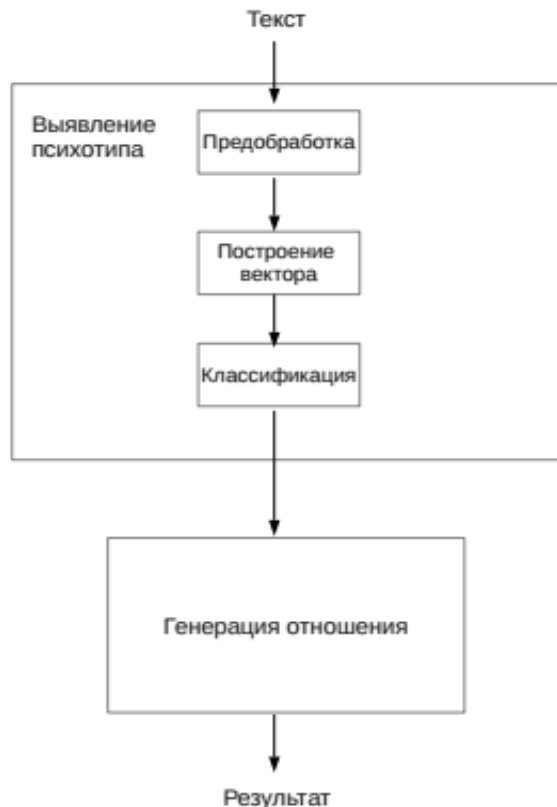


Рис. 3. Общая схема работы системы

Аппарат определения психотипа респондента и отношения его к агенту является важной составляющей внутренней логики взаимодействия машины и компьютера в рамках антропоморфных интерфейсов. Поскольку основная задача таких интерфейсов – добиться максимальной схожести своего поведения с таковой у человека, невозможно недооценить роль, которую играют в них корректно имплементированные эмоциональные реакции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кугуракова В.В., Таланов М.О., Манахов Н.Р., Иванов Д.С. Антропоморфный социальный агент с симуляцией эмоций и его реализация // Russian Digital Libraries Journal. 2015. Т. 18, № 5. С. 254–268.
2. Aaronson S. My conversation with "Eugene Goostman", the Chatbot that's all over the news for allegedly passing the turing test". Shtetl-Optimized // The Blog of Scott Aaronson. Archived from the original on 2014-08-07. Retrieved 2014-09-12.
3. Oppy G., Dowe D. The turing test // Stanford Encyclopedia of Philosophy, 2011.
4. Wan V., Anderson R., Blokland A., Braunschweiler N., Chen L., Kolluru B., Latorre J., Maia R., Stenger B., Yanagisawa K., Stylianou Y., Akamine M., Gales M.J.F., Cipolla R. Photo-realistic expressive text to talking head synthesis// Source of the Document Proceedings of the Annual Conference of the International Speech Communication Association, INTERSPEECH, 2013. P. 2667–2669.
5. Abdul-Mageed M., Diab M., Korayem M. Subjectivity and sentiment analysis of modern standard Arabic // In Proceedings of the 49th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, 2011. P. 587–591.
6. Perez-Rosas V., Banea C., Mihalcea R. Learning sentiment lexicons in Spanish // In Proceedings of the Eight International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC'12), 2012.
7. Pang B., Lee L. Opinion mining and sentiment analysis // Foundations and Trends in Information Retrieval. 2008. V. 2, No 1–2. P. 1–135.
8. Четверкин И.И., Лукашевич Н.В. Тестирование систем анализа тональности на семинаре РОМИП-2012. Т. 2: Доклады специальных секций РОМИП. М.: Изд-во РГГУ, 2013.
9. Liu Bing. Web Data Mining: Exploring Hyperlinks, Contents and Usage

Data. Berlin: Springer, 2011.

10. Ильин Е.П. И46 Психология общения и межличностных отношений. СПб.: Питер, 2013.

11. Chenhao Tan, Lillian Lee, Jie Tang, Long Jiang, Ming Zhou, Ping Li. User-level sentiment analysis incorporating social networks// Proceedings of the Sixteenth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (SIGKDD), 2011.

12. Mike Thelwall, Kevan Buckley, Georgios Paltoglou. Sentiment in Twitter events // Journal of the American Society for Information Science and Technology Archive. 2011. V. 62.

13. Justin Martineau, Tim Finin. Delta TFIDF: An Improved Feature Space for Sentiment Analysis. University of Maryland, Baltimore County 1000 Hilltop Circle, Baltimore, 2013.

14. Исследование Хабрахабр. URL: <https://habrahabr.ru/post/149605/>.

15. Тональный словарь. URL: <http://linis-crowd.org/>.

16. Русский корпус для анализа тональности текстов. URL: <http://study.mokoron.com/>.

17. Open-Source библиотека NLTK. URL: <http://www.nltk.org>.

EVALUATION OF INTERLOCUTORS EMOTIONAL STATE THROUGH SENTIMENT ANALYSIS OF MESSAGES FOR THE ANTHROPOMORPHIC SOCIAL AGENT

A. Alexeev¹, V. Kugurakova², D. Ivanov³

Kazan (Volga Region) Federal University

¹aleksanton5@gmail.com; ²vlada.kugurakova@gmail.com;

³denis.999.ivanov@gmail.com

Abstract

In this paper, we study the process of evaluating the psychological portrait of a human for the purposes of enhancing the human-machine communication in the frame of the anthropomorphic social agent. We understand “psychological portrait” as the current emotional state of the interlocutor, which is evident by their way of talking and

their choice of words. By correctly identifying human's emotional state, the machine can issue an appropriate response. Our study further describes how the emotional state can be examined and how a proper response should be formed.

Keywords: *human-machine communication, anthropomorphic social agent, emotional state, psychological portrait*

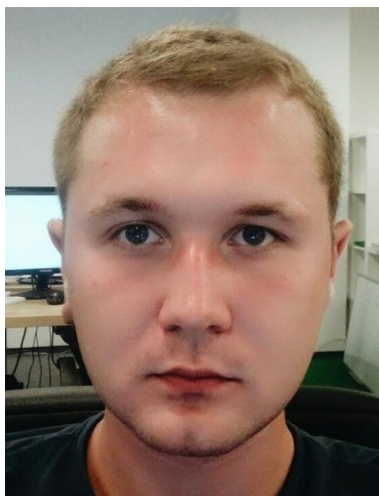
REFERENCES

1. *Kugurakova V., Talanov M., Manakhov N., Ivanov D.* Anthropomorphic social agent with simulated emotions and its implementation // Russian Digital Libraries Journal. 2015. V. 18, No 5. P. 254–268.
2. *Aaronson S.* My conversation with "Eugene Goostman", the Chatbot that's all over the news for allegedly passing the turing test". Shtetl-Optimized // The Blog of Scott Aaronson. Archived from the original on 2014-08-07. Retrieved 2014-09-12.
3. *Oppy G., Dowe D.* The turing test. Stanford Encyclopedia of Philosophy, 2011.
4. *Wan V., Anderson R., Blokland A., Braunschweiler N., Chen L., Kolluru B., Latorre J., Maia R., Stenger B., Yanagisawa K., Stylianou Y., Akamine M., Gales M.J.F., Cipolla R.* Photo-realistic expressive text to talking head synthesis// Source of the Document Proceedings of the Annual Conference of the International Speech Communication Association, INTERSPEECH, 2013. P. 2667–2669.
5. *Abdul-Mageed M., Diab M., Korayem M.* Subjectivity and sentiment analysis of modern standard Arabic // In Proceedings of the 49th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, 2011. P. 587–591.
6. *Perez-Rosas V., Banea C., Mihailescu R.* Learning sentiment lexicons in Spanish // In Proceedings of the Eight International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC'12), 2012.
7. *Pang B., Lee L.* Opinion mining and sentiment analysis // Foundations and Trends in Information Retrieval. 2008. V. 2, No 1–2. P. 1–135.
8. *Chetvertkin I., Lukashevich N.* Testing of sentiment analysis systems at ROMIP-2012 seminar // T. 2: ROMIP special report. M.: RSUH press, 2013.
9. *Liu Bing.* Web Data Mining: Exploring Hyperlinks, Contents and Usage Data. Berlin: Springer, 2011.
10. *Ilyin E.* I46 Psychology of communications and interpersonal relationships.

Saint-Peterburg, 2013.

11. *Chenhao Tan, Lillian Lee, Jie Tang, Long Jiang, Ming Zhou, Ping Li.* User-level sentiment analysis incorporating social networks// Proceedings of the Sixteenth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (SIGKDD). 2011.
12. *Mike Thelwall, Kevan Buckley, Georgios Paltoglou.* Sentiment in Twitter Events // Journal of the American Society for Information Science and Technology Archive. 2011. V. 62.
13. *Justin Martineau, Tim Finin.* Delta TFIDF: an Improved Feature Space for Sentiment Analysis University of Maryland, Baltimore County 1000 Hilltop Circle, Baltimore, 2013.
14. Habrahabr study. URL: <https://habrahabr.ru/post/149605/>.
15. Sentiment text dictionary. URL: <http://linis-crowd.org/>.
16. Russian branch for sentiment analysis. URL: <http://study.mokoron.com/>.
17. Open-Source NLTK library. URL: <http://www.nltk.org>,

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



АЛЕКСЕЕВ Антон Анатольевич – выпускник 2016 года Высшей школы информационных технологий и информационных систем Казанского (Приволжского) федерального университета.

Anton Anatolievich ALEXEEV, bachelor of Kazan Federal University.

email: aleksanton5@gmail.com



КУГУРАКОВА Влада Владимировна – старший преподаватель Высшей школы информационных технологий и информационных систем Казанского (Приволжского) федерального университета, руководитель Научно-исследовательской лаборатории «Виртуальные и симуляционные технологии в биомедицине».

Vlada Vladimirovna KUGURAKOVA, senior Lecturer of Higher School of Information Technology and Information Systems of Kazan Federal University, Head of Laboratory “Virtual and simulational technologies in biomedicine”.

email: vlada.kugurakova@gmail.com



ИВАНОВ Денис Сергеевич – лаборант-исследователь Научно-исследовательской лаборатории «Виртуальные и симуляционные технологии в биомедицине» Высшей школы информационных технологий и информационных систем Казанского (Приволжского) федерального университета.

Denis Sergeevich IVANOV, researcher of Laboratory “Virtual and simulational technologies in biomedicine” of Kazan Federal University.

email: denis.999.ivanov@gmail.com

Материал поступил в редакцию 15 мая 2016 года

УДК 004.922

РЕАЛИЗАЦИЯ ИНТЕРАКТИВНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ НА ПОЛНОКУПОЛЬНОМ ЭКРАНЕ

Р.Д. Ахметшарипов¹, В.В. Кугуракова², М.Р. Хафизов³

Казанский (Приволжский) федеральный университет

¹ahmetsharipov.ruslan@gmail.com; ²vlada.kugurakova@gmail.com;

³murkorp@gmail.com

Аннотация

Представлено интерактивное приложение для полнокупольного экрана с поддержкой нескольких пользователей. Рассмотрены решения для интерактивного взаимодействия с использованием носимых устройств или смартфонов.

Ключевые слова: *полный купол, интерактивность, многопользовательские приложения*

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня, когда интерес всего мира к виртуальной реальности столь высок, а разрешающая способность и цветопередача устройств вывода вышли на новый уровень, полнокупольная проекция (или fulldome²) становится очень актуальной. Полнокупольные видео делят значительную часть технической инфраструктуры с новейшими гарнитурами виртуальной реальности (VR) [1], а современные вычислительные мощности делают возможной генерацию контента интерактивных приложений для проекции на купол в режиме реального времени. Опыт персонализированных VR позволяет привлечь новую аудиторию и помогает людям по-новому взглянуть на уже известный контент, благодаря новой обстановке, а также предоставляет новые возможности изучения для производителей полнокупольных систем. Угол обзора купольных экранов создает ощущение погружения в виртуальную реальность, в которой человек может находиться длительное время без

² Fulldome, полнокупольная проекция – технология проецирования панорамных изображений в купольных залах для создания иммерсионной среды.

вреда для здоровья, в отличие от побочных эффектов, наблюдаемых при использовании шлемов и очков виртуальной реальности. Дополнительным преимуществом является возможность нахождения нескольких человек в одной виртуальной реальности. Присутствие других людей имеет большое влияние на осмысление человеком собственного опыта. Яркие впечатления от нахождения в непривычной, виртуальной среде влияют на способности человека к восприятию, обработке и запоминанию информации, что открывает новые возможности для обучения, основанного на визуальной и эмоциональной информации.

Изначально такая технология применялась для демонстрации звездного неба при помощи планетария, оптико-механического прибора, подобного проектору с постоянным изображением, но развитие технологий визуализации, аппаратного и программного обеспечения позволили превратить их в кинотеатры с эффектом присутствия и создать виртуальную реальность, в которой несколько человек одновременно могут разделить опыт научных исследований. Свое развитие купольная проекция получила благодаря индустрии развлечений, после того как компания IMAX в 1960-х годах разработала первый стандарт для подобных систем – OMNIMAX. Дальнейший технический прогресс позволил перенести цифровое проецирование обратно в планетарии для демонстрации цифровых изображений на всей площади купола. Сотни популярных научных музеев по всему миру были переоборудованы системами цифровой полнокупольной проекции, и новые залы появляются постоянно. Портативные надувные купола могут быть установлены на различных публичных площадках, в том числе в школах.

О ТЕХНОЛОГИЯХ ПОЛНОКУПОЛЬНОГО ПРОЕЦИРОВАНИЯ

Полным куполом (fulldome) в данном контексте называется аудитория, расположенная во внутреннем пространстве полусферы. Есть четыре главных категории систем полнокупольной проекции: системы с одним проектором и широкоугольным объективом, с одним проектором и сферическим зеркалом, с двойным широкоугольным объективом и системы с несколькими проекторами. Описанные технологии относятся как к куполам с диаметром в пару метров, так и к большим планетариям, хотя есть и некоторые ограничения на использование проекторов в слишком маленьких куполах.

Большие купольные залы (диаметром от 15 метров), как правило, встречаются только в планетариях. Купол представляет собой сложную архитектурную конструкцию, а проецирование видео контента обеспечивается системами из множества проекторов. Купол может быть расположен под углом к горизонту для удобства зрителей, однако при этом сохраняется форма правильной полусферы (рис. 1).

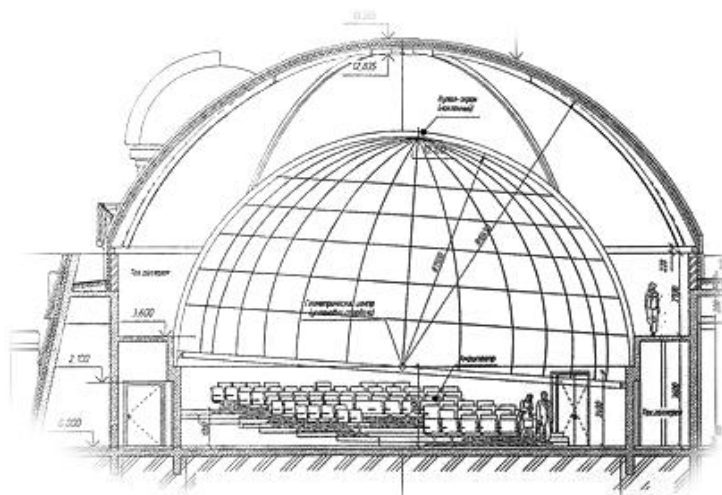


Рис. 1. План большого планетария Казанского федерального университета при астрономической обсерватории им. В.П. Энгельгардта

Проецируемые кадры, при просмотре на плоских экранах, имеют сильное дисторсионное искажение, так называемый эффект «рыбьего глаза» (англ. fisheye). Подобное изображение может быть получено склейкой нескольких кадров, снятых на сверхширокоугольный объектив, или создано путем эквидистантной проекции сферы на плоскость (рис. 2).

При проецировании площадь купола делится на секторы, освещаемые определенными проекторами (рис. 3). Исходное изображение также делится на части соответствующей формы, каждая из которых передается на отдельный проектор. Все части кадра проецируются внахлест, а области пересечения (рис. 4) отдельно обрабатываются для компенсации переосвещенности отдельных зон (так называемое смешение – edge blending) [2].

В связи с успехом систем цифровой полнокупольной проекции в больших планетариях и разработкой формальных стандартов возник интерес к переносу

технологий на небольшие купола [3]. Распространение получили два типа облегченных конструкций, которые могут быть установлены практически в любом месте: геодезический купол с вакуумным натяжением экрана, как правило, около 10 м в диаметре, и полностью надувные купола, где натяжение экрана, наоборот, создается нагнетанием воздуха, около 5 м в диаметре.

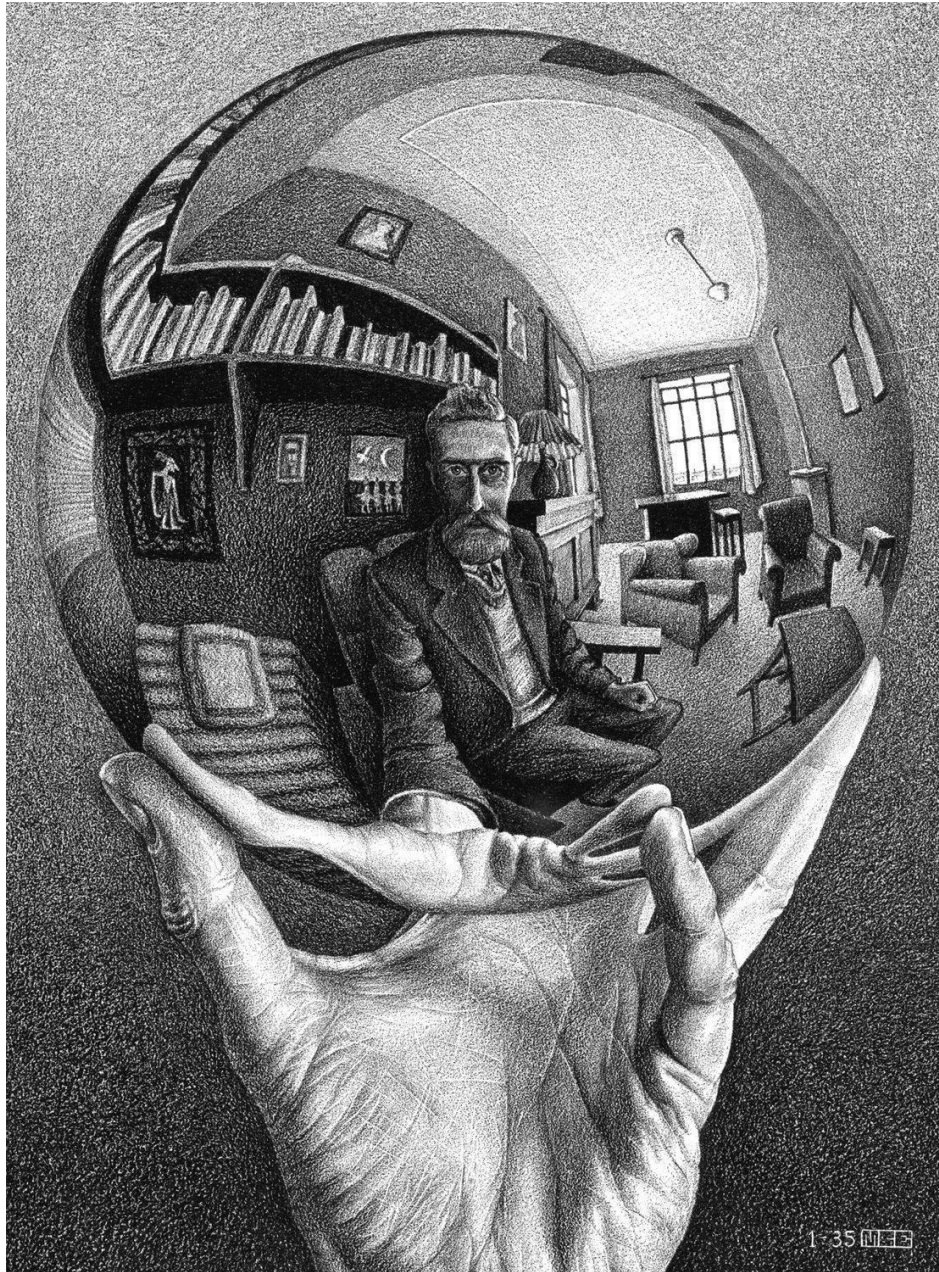


Рис. 2. Фрагмент картины “Hand with Reflecting Sphere” (автор М.С. Escher)

Кроме того, небольшому купольному залу требуется меньшее количество оборудования и обслуживающего персонала, что значительно снижает стоимость

всей системы. При малых размерах купола полное покрытие может быть обеспечено одним проектором, оснащенным fisheye-объективом или сферическим зеркалом. При этом для проецирования не требуется специфическое оборудование, система получается компактной и простой в управлении.

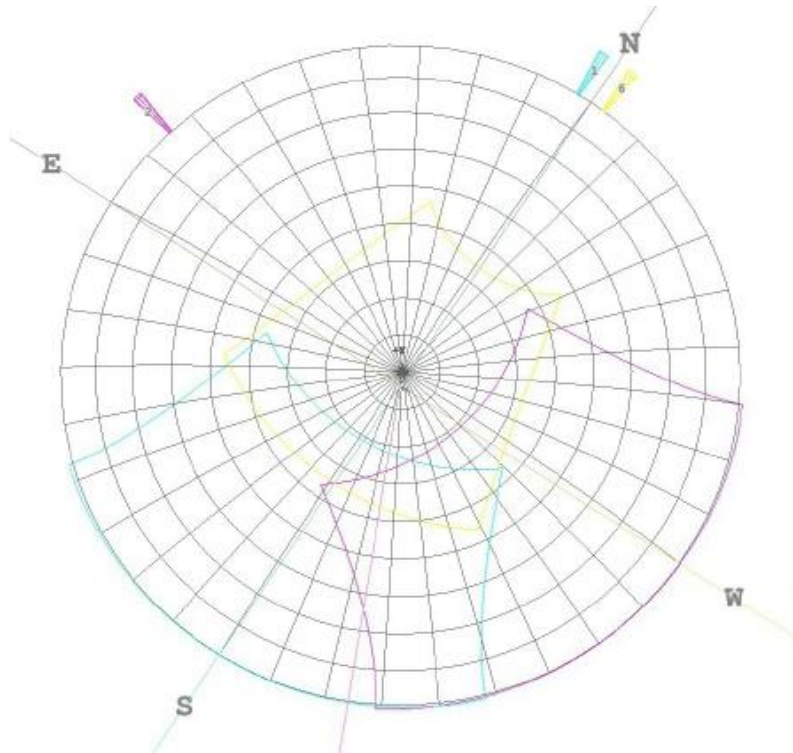


Рис. 3. Система из нескольких проекторов

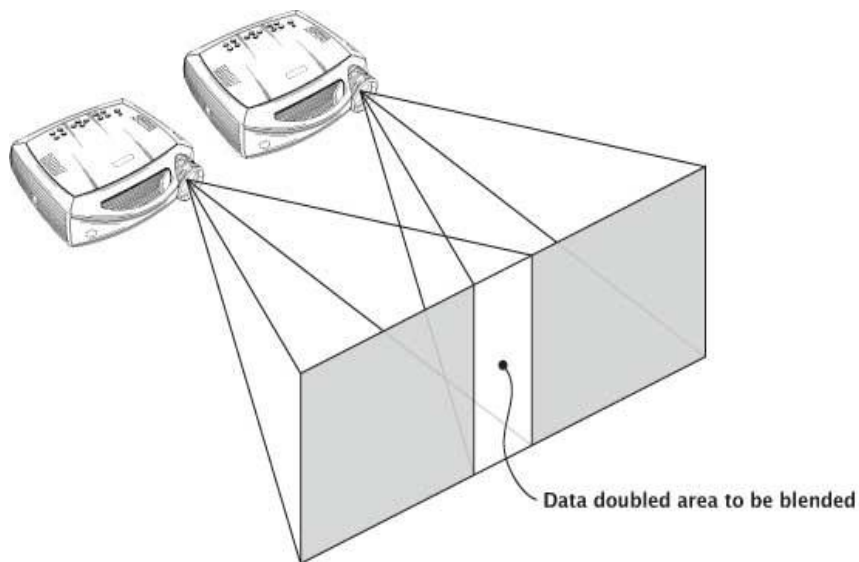


Рис. 4. Области смешения

РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ

Для решения задачи реализации технологии полного купола с интерактивными возможностями программное обеспечение должно обеспечивать доступ к визуализирующей камере приложения и быть способно поддерживать высокое разрешение, систему затенения, сглаживание, иметь возможность получить пользовательский ввод и поддерживать возможность одновременного использования приложения несколькими пользователями. Движок Unity отвечает поставленным задачам, позволяя добиться быстрого развития проекта и создания первого прототипа в кратчайшие сроки. С помощью данного программного обеспечения возможно создать детализированное виртуальное пространство и игровой объект, который будет отвечать за сферическое отображение полного купола.

Для реализации полного купола на движке Unity разместим на виртуальной сцене 5 совмещенных камер, указывающих влево, вправо, вверх, вниз и вперед соответственно с полем зрения 90 градусов вертикально и горизонтально. Вид с каждой камеры переводится (render) в текстуру, и затем каждая текстура накладывается на сетки (рис. 5). С учетом пяти граней куба и центральной камеры, самое широкое поле зрения определяется углом к углам верхней и нижней сторон куба, составляющим примерно 250 градусов. Круговая маска может быть использована для установки конкретного широкоугольного поля зрения, например, 240 градусов.

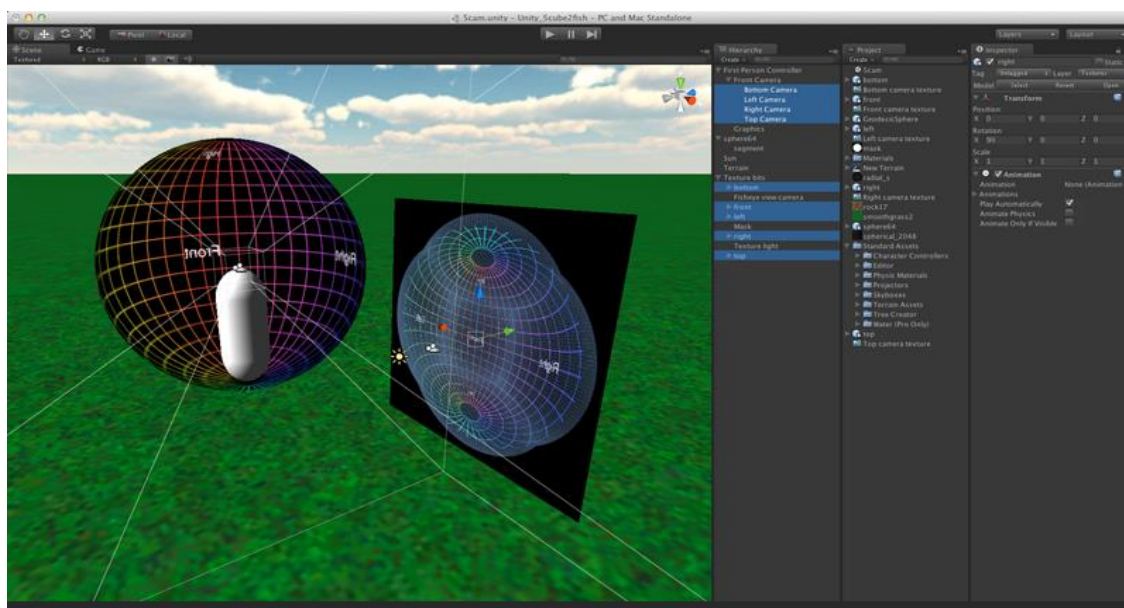


Рис. 5. Вид редактора Unity3D

Пять сеток с соответствующими текстурами с камер наконец просматриваются через ортогональную камеру. Чтобы скрыть видимые сетки, пять сеток и источник света располагаются на отдельном слое. Таким образом, освещение сцены не подсвечивает сетки и направленный источник света для сетки не освещает сцену.

Пользователь устанавливает на свой смартфон или планшет клиентское приложение, которое генерируется в Unity как под платформу IOS, так и под Android. Клиентский процесс выполняется на пользовательском устройстве. При этом посылается запрос на сервер на разрешение выполнения какой-либо задачи. Клиентское приложение является сетевым клиентом, у которого есть доступ к различным услугам сервера. При этом данные компоненты программного обеспечения устанавливают связь с сервером через подключение к сети операционной системы. Данный процесс контролирует класс GetTouch, в котором описывается работа с клиентом. При подключении пользователя к системе требуется ввод IP-адреса сети. После этого происходит соединение с сервером путем передачи сообщения серверу. Если данное соединение уже существует, то выводится системой в консоли управления надпись «Already connected». Иначе вызывается метод RegisterHandler, которые регистрирует по сообщению такие действия, как Connect (подключение), Disconnect (отключение) и Error (ошибка).

Если происходит действие Connect, то отключается окно с вводом IP-адреса и кнопкой Join и появляется окно с двумя кнопками – кнопки калибровки «прицела» и сохранения настроек. При действии Disconnect, наоборот, отключается окно калибровки и включается окно ввода IP-адреса. При действии Error, соответственно, выводится ошибка. Для присоединения новых игроков используется паттерн Factory, а для объектов игровой сцены – паттерн Multiton, объединяющий в себе несколько Singleton'ов.

Для распознаваний действий со стороны пользователя используется класс MyMessageType, который содержит в себе два сообщения: Synch (синхронизация системы) и Touch (нажатие кнопки). Данный класс присутствует также в серверном приложении, так как понимание сообщения необходимо по обе стороны системы.

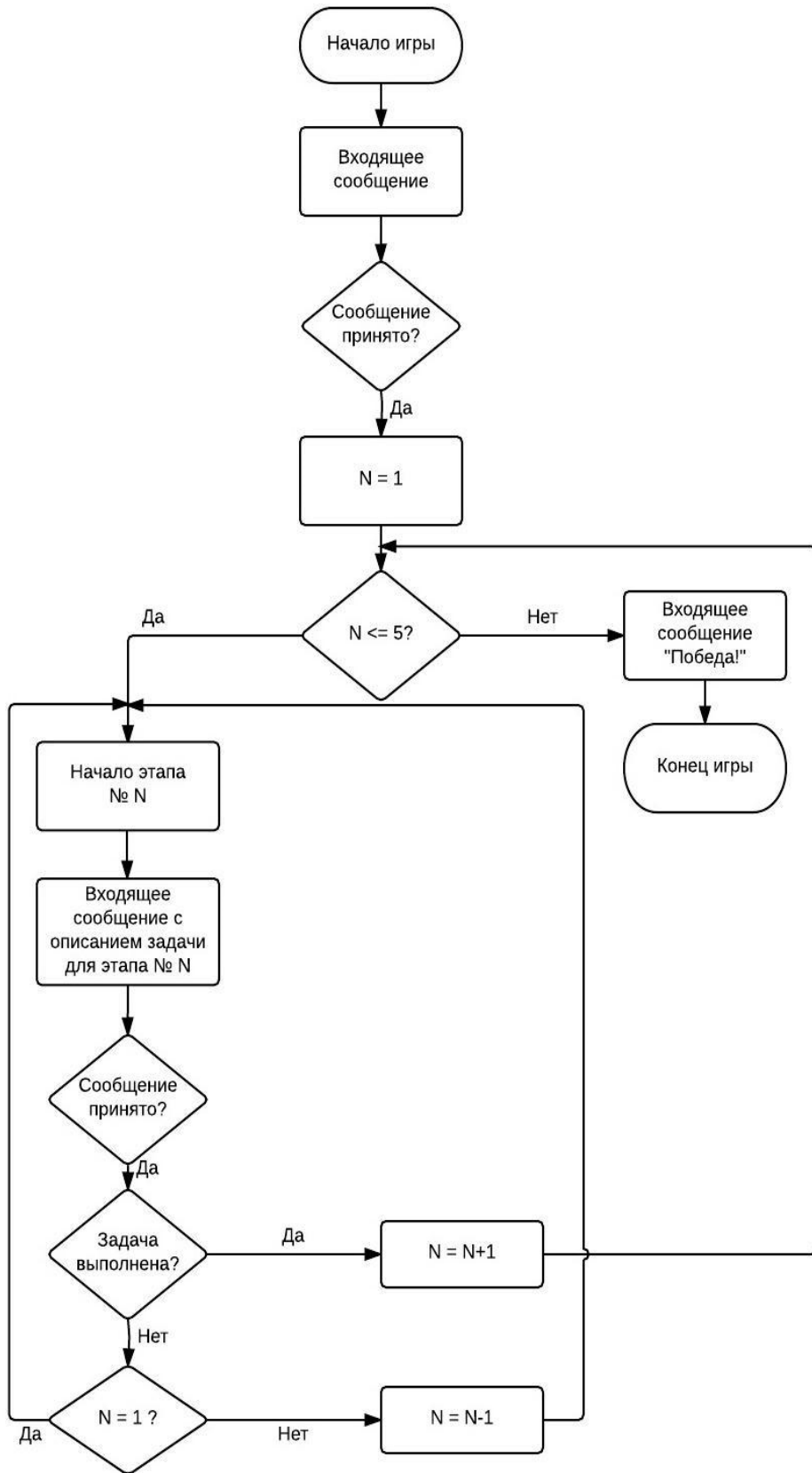


Рис. 6. Описание игровой механики приложения

В клиентской части находится класс GyroController. В данном классе описывается работа с гироскопом. Гироскоп – это устройство, встроенное в смартфон или планшет, которое определяет его ориентацию, вернее, поворот корпуса, а именно, угол отклонения устройства относительно различных плоскостей, а также учитывает не только само отклонение, но и скорость перемещения. Связь игрового процесса и гироскопа заключается в том, что в зависимости от положения устройства устанавливается прицел на экране. Чтобы правильно настроить устройство относительно точке прицела на экране, необходимо произвести калибровку гироскопа.

Устанавливается начальная точка на экране игры в серверном приложении. Пользователю необходимо установить устройство напротив начальной точки на экране и нажать кнопку калибровки гироскопа. После чего прицел будет отражаться там, в какую сторону повернуто устройство. На рисунках 7 и 8 соответственно изображены неоткалиброванное и откалиброванное устройство, которое при этом на обоих изображениях находится в одинаковом положении.

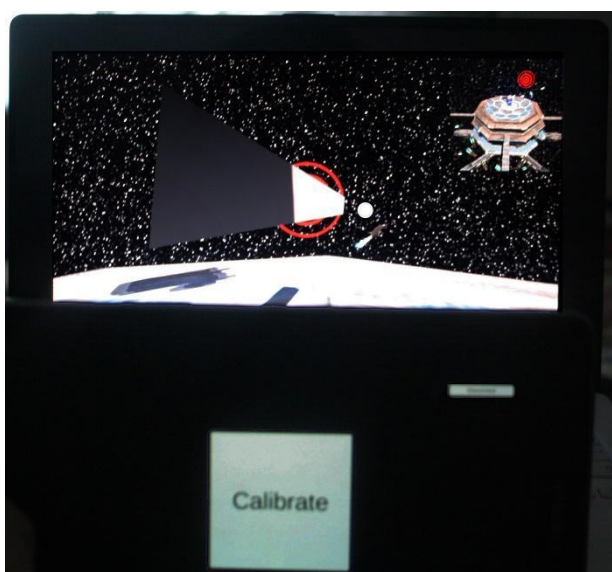


Рис. 7. Фото неоткалиброванного устройства

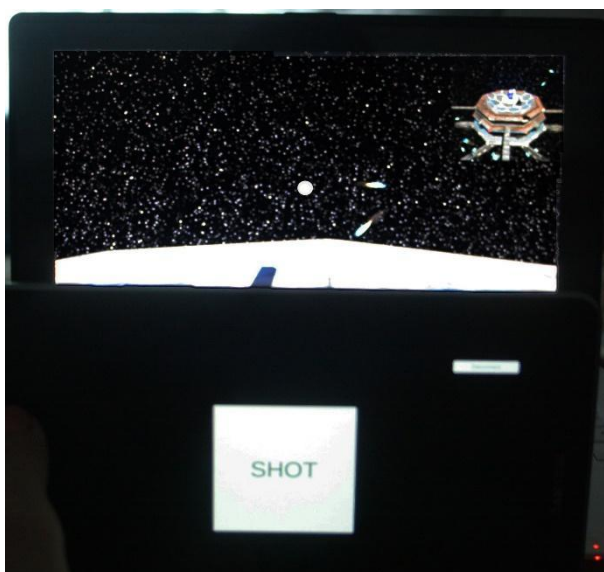


Рис. 8. Фото откалиброванного устройства

Серверное приложение состоит из следующих классов:

- Класс Client, в котором отражен список тех данных, что принимает сервер от клиента. Класс Server содержит в себе список клиентов, подключенных к

нему, метод `Synch`, отвечающий за синхронизацию поворота средства управления, метод `TouchAction`, описывающий действие по нажатию кнопки `Shot`, метод подключения нового клиента, метод отключения клиента, метод обработок ошибок.

- Класс `Flying` отвечает за траекторию полета объектов.
- В классе `Crosshair` рассматривается игра со стороны игрока. Определяет положение игрока, объект оружия. Если игрок попадает в объект, то «летающая пуля» (для её отрисовки используется метод `gaucast` – луч) видна до момента попадания в цель. Если же игрок стреляет мимо, то через 50 метров полета пуля исчезает.

Для обеспечения многопользовательности был выбран стандартный клиент-серверный способ взаимодействия, в котором в качестве клиента использовались смартфоны пользователей, а в качестве сервера – централизованная система, обеспечивавшая визуализацию виртуального мира и отображение поведения пользователей. Данный способ взаимодействия пользователя с полным куполом требует меньшего количества затрат на оборудование для системы, в то же время обеспечивает такую же производительность игрового процесса, благодаря быстрому Wi-Fi соединению между клиентом и сервером.

Процессы, происходящие на стороне клиента, считывают данные с гироскопа устройства и отправляют их на сервер, на котором помимо встроенного ИИ³ для объектов сцены принимаются данные от конкретного пользователя, и объект, соответствующий пользователю, производит действия, следующие из полученных им данных. У выбранного метода есть недостаток – запаздывание поворота объекта пользователя, накапливающееся в течение некоторого количества времени, которое становится заметно, если совершить оборот вокруг своей оси, конечная точка, куда будет показывать гироскоп, будет незначительно (смещение ~5° за 360°) отличаться от той, которая была прежде. Аппаратную ошибку гироскопа можно, впрочем, уменьшить, используя дополнительные подходы для предсказания поведения пользователя.

³ ИИ – Искусственный интеллект, устойчивый термин в данном контексте понимаемый как контроллер для объектов, управляемых системой.

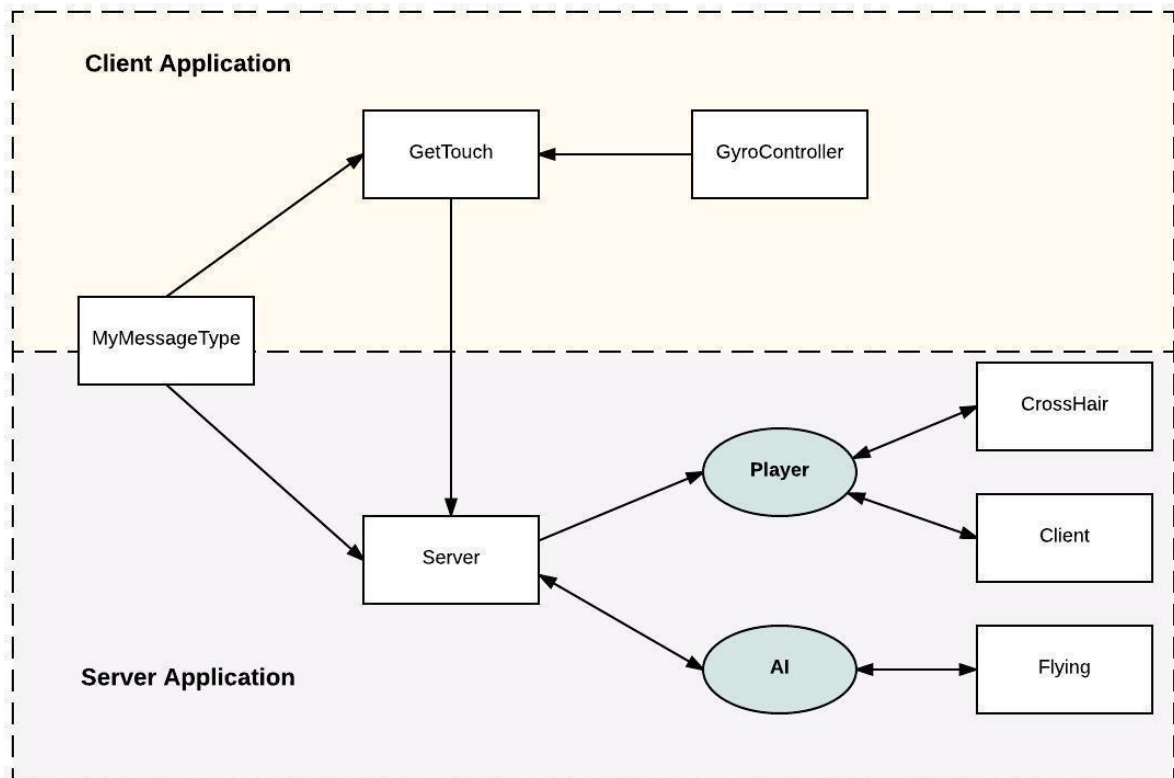


Рис. 9. Архитектура приложения

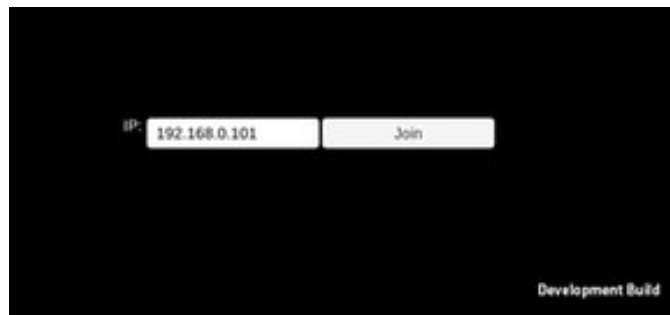


Рис. 10. Клиентская часть приложения

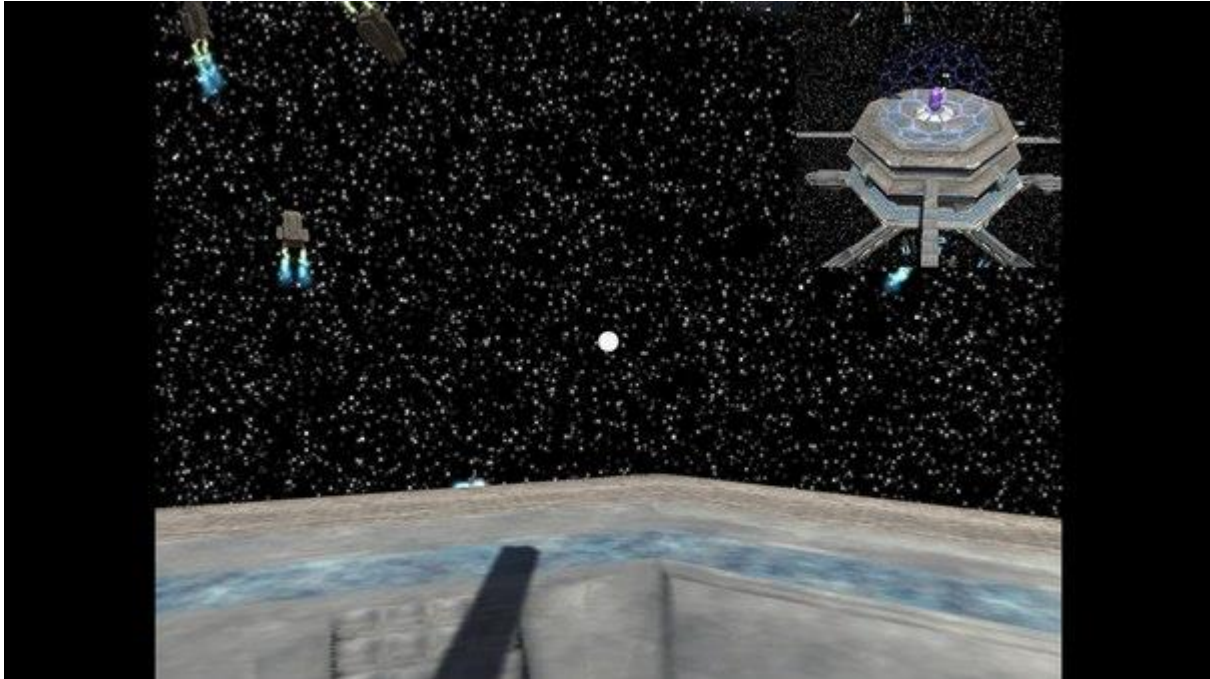


Рис. 11. Серверная часть приложения

Белая точка на экране отображает текущую конечную точку луча, направленного из смартфона пользователя на экран в технологии полного купола.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученную систему можно использовать для реализации целого класса игровых приложений, направленных на вывод на полнокупольные экраны и включающие возможность интерактивного взаимодействия с пользователями системы. В полученной системе интерактивное взаимодействие возможно при помощи любой технологии ввода, доступной смартфону.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Paul Bourke*. Edge blending using commodity projectors. 2004. URL: http://local.wasp.uwa.edu.au/~pbourke/texture_colour/edgeblend/.
 2. *Paul Bourke*. FAQ: Spherical mirror projection for hemispherical dome projection. URL: <http://paulbourke.net/dome/faq.html>.
 3. Digital domes: theaters without borders / ACM SIGGRAPH 2015.
-

IMPLEMENTATION OF INTERACTIVE APPLICATION FOR FULL-DOME DISPLAYS

R. Akhmetsharipov¹, V. Kugurakova², M. Khafizov

Kazan (Volga Region) Federal University

¹ahmetsharipov.ruslan@gmail.com; ²vlada.kugurakova@gmail.com;

³murkorp@gmail.com

Abstract

This article describes developing of interactive application for full-dome displays with a several users. This work explains few solutions for interaction with a wearable devices or smartphones.

Keywords: *fulldome, interactive, multiuser application*

REFERENCES

1. Paul Bourke. Edge blending using commodity projectors. 2004. URL: http://local.wasp.uwa.edu.au/~pbourke/texture_colour/edgeblend/.
2. Paul Bourke. FAQ: Spherical mirror projection for hemispherical dome projection. URL: <http://paulbourke.net/dome/faq.html>.
3. Digital domes: theaters without borders / ACM SIGGRAPH 2015.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



АХМЕТШАРИПОВ Руслан Дамирович – выпускник 2016 года Высшей школы информационных технологий и информационных систем Казанского (Приволжского) федерального университета. Научные интересы: виртуальная хирургия.

Ruslan Damirovich Akhmetsharipov, junior research scientist of Laboratory "Virtual and simulational technologies in biomedicine" of Kazan Federal University. Current scientific interests: virtual surgery.

email: ahmetsharipov@gmail.com



КУГУРАКОВА Влада Владимировна – старший преподаватель Высшей школы информационных технологий и информационных систем Казанского (Приволжского) федерального университета, руководитель Научно-исследовательской лаборатории «Виртуальные и симуляционные технологии в биомедицине».

Vlada Vladimirovna KUGURAKOVA, senior Lecturer of Higher School of Information Technology and Information Systems of Kazan Federal University, Head of Laboratory "Virtual and simulational technologies in biomedicine".

email: vlada.kugurakova@gmail.com



ХАФИЗОВ Мурад Рустэмович – ведущий технический специалист в направлении разработки цифровых визуализаций и виртуальных систем в Научно-исследовательской лаборатории «Виртуальные и симуляционные технологии в биомедицине» Высшей школы информационных технологий и информационных систем Казанского (Приволжского) федерального университета.

Murad Rustemovich KHAFIZOV, lead software engineer in digital visualizations and virtual systems development of Laboratory "Virtual and simulational technologies in biomedicine" of Kazan Federal University.

email: murkorp@gmail.com

Материал поступил в редакцию 17 мая 2016 года

УДК 614+519.248

РАЗРАБОТКА СИМУЛЯЦИОННОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ С УЧЁТОМ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ И ФОРМЫ ЛАНДШАФТА

А.А. Гиниятов¹, В.В. Кугуракова², Р.С. Якушев³

Казанский (Приволжский) федеральный университет

¹gin.arslan@gmail.com; ²vlada.kugurakova@gmail.com; ³sultanich@rambler.ru

Аннотация

Предсказание динамики распространения огня в лесном массиве – важная задача, требующая постоянного усовершенствования, доработки и тщательного анализа. Одним из лучших инструментов предсказания динамики возгорания является компьютерное моделирование. Цель работы – построить качественную наглядную и эффективную систему, позволяющую смоделировать возгорание в лесном массиве с учетом большого числа параметров, таких, как рельеф, ветер, влажность, рельеф лесного покрова, тип горючего материала и т. д. При разработке был использован модульный подход, позволяющий неограниченно дорабатывать и расширять программный продукт, а также адаптировать его под широкий класс природных катаклизмов, будь то наводнение, землетрясение и др.

Ключевые слова: 3D, виртуальная реальность, симуляция, моделирование чрезвычайных ситуаций, пожары

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

Моделирование процесса распространения лесных пожаров является сложным процессом, где учитываются все основные параметры ландшафта, лесного покрова и погодных условий. Каждый применяемый подход имеет свои преимущества и недостатки. Вся сложность заключается в том, что практически невозможно реализовать идеально работающий алгоритм, учитывая все параметры и при этом не усложняя процесс вычисления на компьютере.

В процессе предварительного анализа было рассмотрено несколько разных подходов к моделированию лесных пожаров. Существует два основных метода

реализации данного процесса: дискретный и непрерывный. Практически во всех дискретных моделях ландшафт и лесной покров представлены в дискретном виде, то есть, условно говоря, весь моделируемый «мир» представлен в виде матрицы, где каждая ячейка является некой малой областью с постоянными параметрами. В подобных моделях для описания процесса дискретную область обычно представляют в виде графа или смежных ячеек. В непрерывных моделях все основные параметры описаны в виде сложных функций, представленных в виде дифференциальных и интегральных уравнений. Дискретные модели являются простыми в реализации и менее сложными в плане вычисления. Непрерывные модели, в свою очередь, сложны в реализации, представлении и вычислениях, но бесспорным их преимуществом является точность расчета распространения пожара [1].

В настоящей работе для разработки системы моделирования и предсказания процесса распространения лесных пожаров была выбрана дискретная модель распространения пожара; использован дискретный метод двукратного нахождения кратчайшего пути на дискретной модели, который обеспечивает оптимальный компромисс между простотой и точностью и идеально подходит для наших целей.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛАНДШАФТА И ЛЕСНОГО ПОКРОВА

Проблему распространения пожара можно описать в виде задачи поиска кратчайшего пути между вершиной возгорания и всеми остальными вершинами графа [1]. Для этого, разумеется, сначала нужно представить ландшафт в виде графа, на котором будет решаться задача нахождения кратчайшего пути.

Для представления моделируемой области в дискретном виде построенный алгоритм разбивает ее на ячейки одинакового размера, для каждой ячейки просчитываются средние значения ландшафта, лесного покрова и погодных условий. Полученные данные используются при построении графа. При выборе параметров дискретизации наиболее важным является нахождение так называемой «золотой середины». Чем выше плотность дискретизации, тем выше точность моделирования, но высокая плотность приводит к дополнительным вычислительным нагрузкам. Очевидно, данный параметр существенно зависит от мощности используемой вычислительной машины.

В основе алгоритма представления области в виде графа лежит метод триангуляции Делоне [6]. Суть триангуляции Делоне $DT(S)$ заключается в том, что множество вершин графа связывается таким образом, чтобы ребра графа не пересекались, если вершины графа визуальнo расположить на одной плоскости. Вторым, наиболее важным требованием при построении рёбер графа методом Делоне является следующее условие: любая окружность, описывающая треугольник, составленный из вершин графа (точек), не содержит в себе других точек (рис. 1) [6].

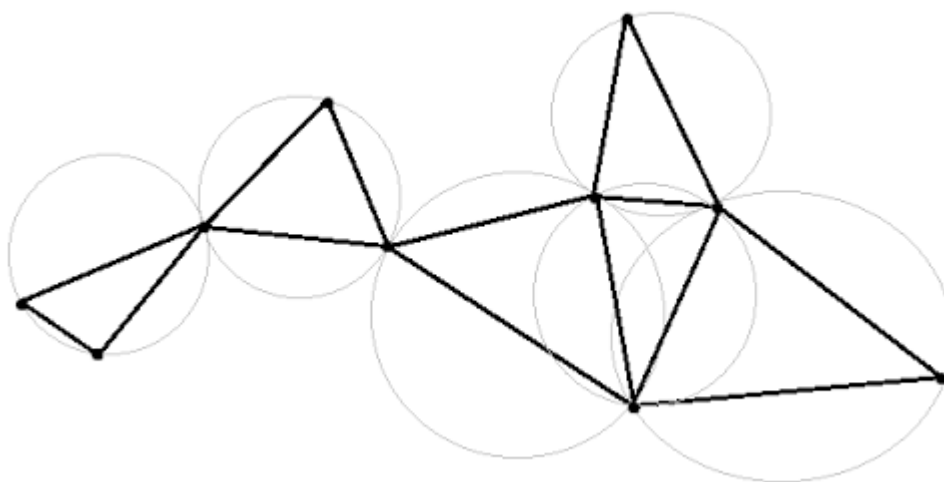


Рис. 1. Триангуляция Делоне

Таким образом, все вершины графа связываются так, чтобы выполнялось условие триангуляции Делоне. Данный метод гарантирует оптимальное связывание вершин графа: геометрическая длина пути будет оптимальной, поскольку все треугольники в данном случае не имеют углов больше 90 градусов.

Вершина графа содержит в себе все параметры ландшафта и лесного покрова в усредненных значениях, то есть значения всех ячеек матрицы, входящих в зону покрытия графа, суммируются, затем вычисляются средние значения путем деления на количество всех ячеек, которые входят в область вершины [1].

Наиболее интересной является модель вычисления веса ребра между вершинами графа. Ключевую роль при распространении пожара играет ветер, который задает вектор распространения пожара. Как упоминалось ранее, исследователи данной проблемы пришли к выводу, что в основе влияния ветра на распространение лесного пожара лежит форма эллипса [1].

Очевидно, что эллипс всегда вытянут по направлению ветра, где очагом возгорания служит задний фокус. Чем больше точка отклонена от направления ветра (чем больше угол B), тем меньше скорость распространения линии огня. Этот факт является основополагающим при построении рёбер графа и лежит в основе моделирования лесных пожаров. Степень вытянутости эллипса напрямую зависит от силы ветра – чем сильнее ветер, тем больше степень вытянутости.

КРАТЧАЙШИЙ ПУТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЖАРА

На первый взгляд, может показаться достаточным построения графа $G(V, E)$ описанным ранее образом. Казалось бы, необходимо найти кратчайший путь от точки возгорания до остальных и остановиться. Однако так мы найдем лишь приближенные значения.

Как было установлено в [1], угол отклонения играет основную роль при распространении линий огня. Поэтому однопроходной алгоритм [1] приводит к неточностям – для уточнения результатов необходимо второе, дополнительное приближение. В результате, основываясь на первом приближении, алгоритм «пытается» улучшить процедуру определения расстояний до вершин графа $G(V, E)$. Отметим, что при первом приближении для нахождения кратчайшего пути используется алгоритм Дейкстры [4], поскольку он является оптимальным для графов рассматриваемого типа. Сложность алгоритма $O(n \log N + M)$, где N – количество вершин, M – количество ребер в графе, достигается благодаря оптимизации способа поиска минимальной вершины с помощью кучи⁴.

Во время второго прохода алгоритм проверяет возможность улучшения нахождения кратчайшего пути. Найдем сначала путь от вершины V_1 до V_6 , прохо-

⁴ Куча (или heap) — это специализированная структура данных типа дерево, которая удовлетворяет свойству кучи: если B является узлом-потомком узла A , то $\text{ключ}(A) \geq \text{ключ}(B)$. Из этого следует, что элемент с наибольшим ключом всегда является корневым узлом кучи, поэтому иногда такие кучи называют max-кучами (в качестве альтернативы, если сравнение перевернуть, то наименьший элемент будет всегда корневым узлом, такие кучи называют min-кучами). Не существует никаких ограничений относительно того, сколько узлов-потомков имеет каждый узел кучи, хотя на практике их число обычно не более двух. Куча является максимально эффективной реализацией абстрактного типа данных, который называется очередью с приоритетом. Кучи имеют решающее значение в некоторых эффективных алгоритмах на графах, таких, как алгоритм Дейкстры на d -кучах и сортировка методом пирамиды.

дящий по вершинам $t_{16} = \{V_1 \rightarrow \dots \rightarrow V_6\}$ (заметим, что t_{16} получен в результате первого прохода). Далее алгоритм пытается уточнить значение t_{16} путем введения дополнительных точек, являющихся пересечением вектора r_{\max} (вектор наибольшего распространения для рассматриваемой вершины (точка V_i) пути) и одного из ребер, исходящих из вершины V_{i+1} .

АРХИТЕКТУРА ПРИЛОЖЕНИЯ

Поскольку система является комплексной, целесообразно представить ее архитектуру в виде модулей. Модульный подход позволяет расширить функционал системы.

Система состоит из трех основных модулей (рис. 2): представления; нахождения кратчайших путей и моделирования процесса пожара; визуализации.

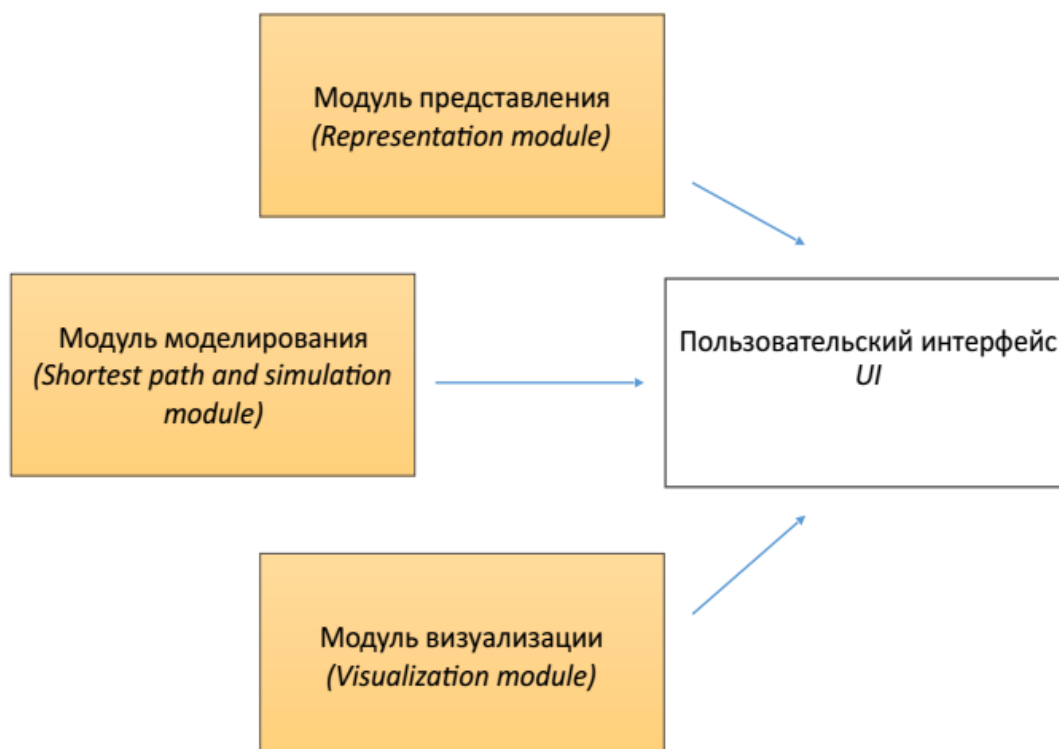


Рис. 2. Архитектура приложения

Модуль представления (Representation module) отвечает за представление области в форме матрицы и построение графа на основе дискретной модели.

Модуль моделирования (Shortest path and simulation module) представляет алгоритмы поиска кратчайшего пути для первого и второго проходов и отвечает за симуляцию лесного пожара на основе полученного графа.

Модуль визуализации (Visualization module) отвечает за трехмерную визуализацию процесса распространения пожара.

Контроллер пользовательского интерфейса содержит все основные узлы управления. Задачи контроллера меню – навигация по пользовательскому интерфейсу и предоставление доступа другим модулям для взаимодействия с пользователем.

МОДУЛЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

Лесной покров, заданный пользователем, в паре с моделью ландшафта представляется в дискретной модели в виде матрицы (класс WorldDiscreteRepresentation). Затем строится граф по принципу Делоне.



Рис. 3. Визуализация ландшафта вместе с триангуляцией Делоне

Белые точки на изображении (рис. 3) соответствуют вершинам графа. Рассмотрим частный случай триангуляции Делоне: все треугольники являются равнобедренными в проекции на плоскость XZ. Такое упрощение существенно облегчает процесс разработки, при этом не теряется эффективность.

Таким образом, модель ландшафта представлена в виде графа, имеющего топологию триангуляции Делоне. При подсчете весов ребер учитывается угол отклонения между соседними вершинами графа, что напрямую имеет отношение к поведению ветра и плотности распространения лесного покрова. Определение точек графа на поверхности производится путем вычисления коллизии испускаемого луча (raycast) и меша (mesh) поверхности ландшафта.

МОДУЛЬ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В данном модуле реализованы алгоритмы поиска кратчайшего пути и симуляции распространения пожара. Функционал позволяет пользователю видеть результат пожара в любое время t . Имеется возможность наблюдать за фронтом огня в режиме реального времени. Модуль является ядром симуляции пожара в данном приложении. Контролер пользовательского интерфейса представляет собой прослойку между основными контроллерами и пользовательским интерфейсом (рис. 4).

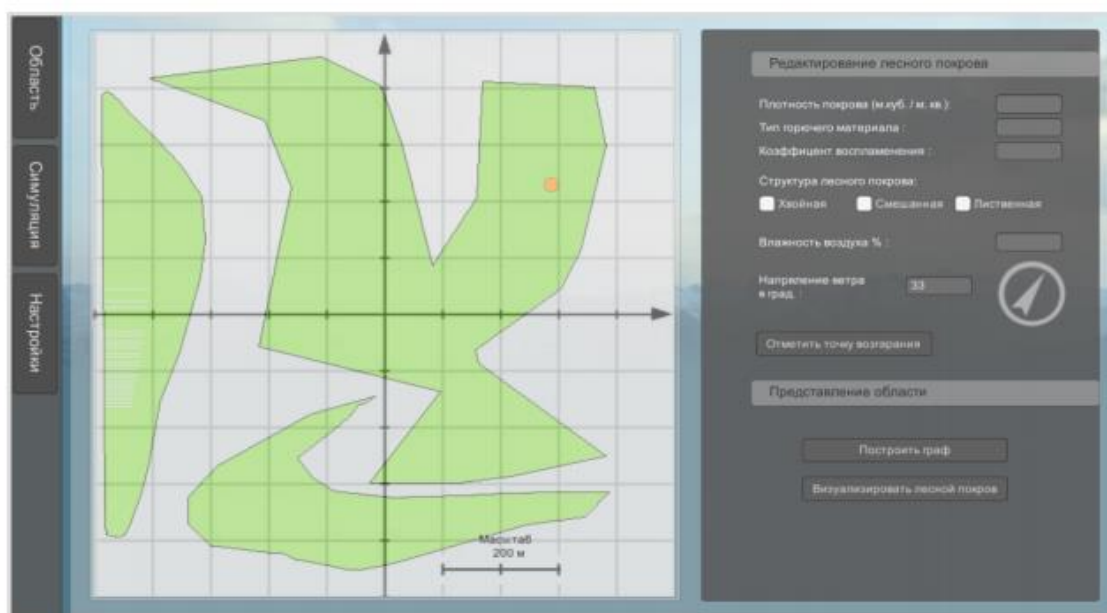


Рис. 4. Меню для редактирования лесного покрова

МОДУЛЬ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Данный модуль полностью отвечает за трехмерное представление. Список задач, за которые отвечает модуль, можно представить в следующем виде:

- визуализация лесного покрова на основе введенных пользователем данных;

- визуализация выгоревших частей лесного покрова;
- визуализация выгоревших частей ландшафта;
- визуализация огня и дыма с помощью системы частиц;
- оптимизация визуализируемых объектов и частиц.

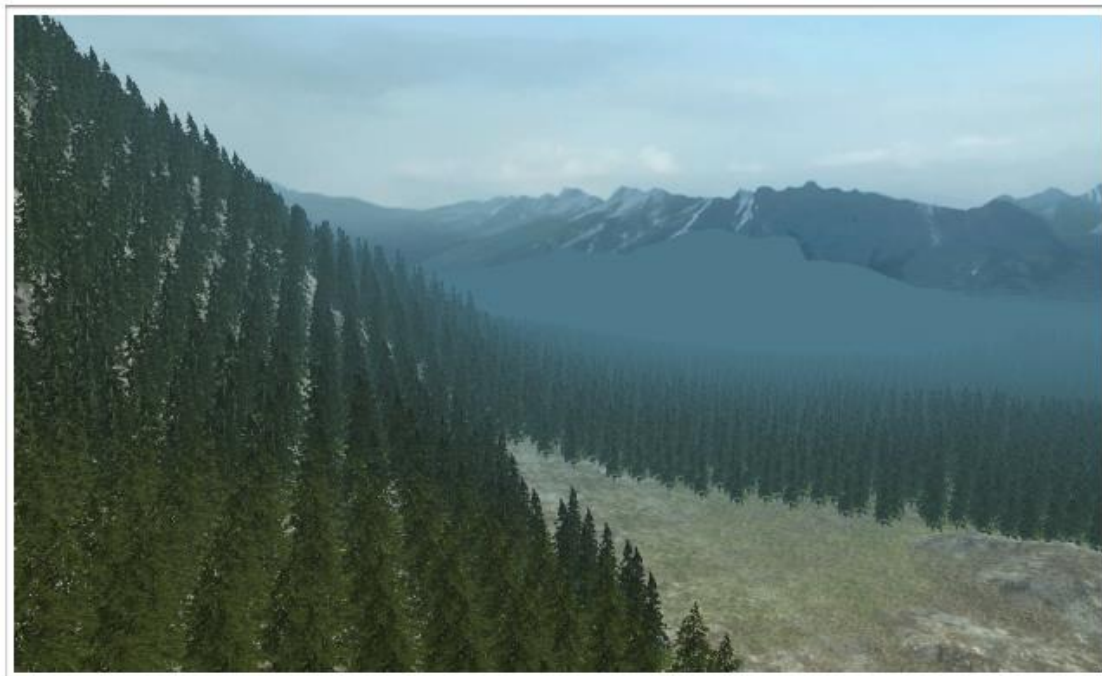


Рис. 5. Результат визуализации хвойного леса на ландшафте

Отметим, что несмотря на отсутствие в данном модуле сложных алгоритмов, большой размер ландшафта и лесного покрова влекут за собой огромное количество объектов (например, деревьев) на сцене, что приводит к увеличению полигонов и влияет на скорость отображения в процессе симуляции. Для решения данной проблемы использован метод LOD Group, который встроен в движок Unity [5]. На рис. 5 представлен результат визуализации лесного покрова, в данном случае хвойного.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для сравнения полученных результатов была использована симуляция со схожими входными данными, но на другой симуляционной системе, моделирующей распространение пожаров – FARSITE [7], результаты которой были взяты в качестве эталонных. FARSITE широко используется для предсказания и предотвращения лесных пожаров службами по защите лесных массивов, службами спасения и им подобными в западных странах. В FARSITE реализована непрерывная

модель представления лесного массива, в отличие от дискретной модели, использованной при разработке рассматриваемого приложения. Ниже приведены результаты распространения пожара, полученные в обеих системах (рисунки 6 и 7).

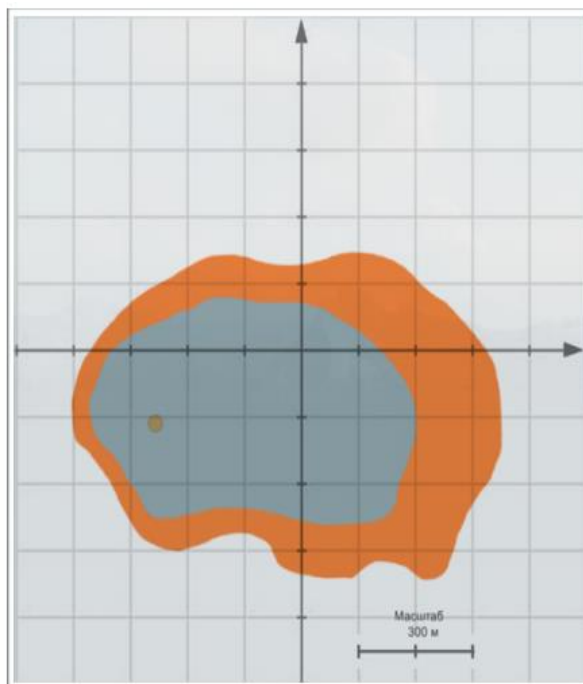


Рис. 6. Диаграмма распространения лесного пожара при использовании в симуляции дискретной модели

На рис. 6 представлен результат работы описываемой системы с дискретным распространением огня. Линия фронта изображена оранжевым (более светлым), выгоревшие участки – серым (менее светлым) цветами. Второе изображение (рис. 7) – это результат симуляции, полученный приложением FARSITE. Разными цветами обозначены линии фронта огня в разные периоды времени.

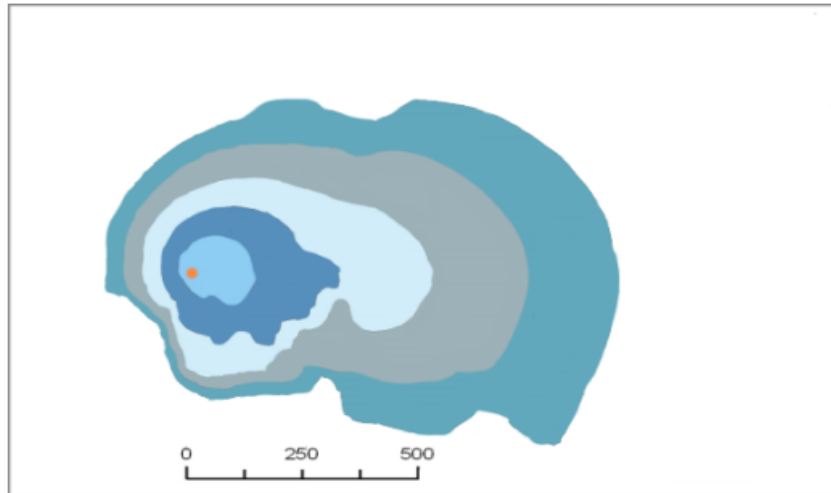


Рис. 7. Линии фронта в разные периоды времени, полученные в симуляции с использованием непрерывной модели распространения огня

В качестве входных параметров использовались одни и те же данные, лесной покров и его структура в обоих случаях были одинаковыми. Небольшие различия есть в моделях ландшафта, однако это существенно не влияет на результат. Ветер направлен на восток.

Сравнение полученных результатов показало, что существенных различий между ними нет. Результат работы системы FARSITE является более точным в силу того, что система реализует непрерывную модель.

В условиях необходимости развития симуляционных моделей прогнозирования пожаров, особенно в отсутствии ситуационного центра общероссийского характера, предполагающего сбор и интерпретацию данных по возникновению очагов, прогнозированию распространения лесных масштабных пожаров с многофакторным учётом розы ветров, свойственной разным территориям, нами предложено частное решение, использующее дискретную модель данных, которая тем не менее достаточна для отражения прогнозируемого фронта распространения пожара и может являться базовой при условии учёта других факторов при моделировании минимальных необходимых мер для прекращения распространения огня в каждом частном случае.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Alexander Stepanov, James MacGregor Smith. Modeling wildfire propagation with Delaunay triangulation and shortest path algorithms. URL: http://www.ecs.umass.edu/mie/faculty/smith/StepanovJMSmith_EJOR_R4.pdf.
2. Лепп Н.Э., Ушанов С.В. Имитационное моделирование процесса распространения лесного пожара. URL: <http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/2311/8443/1/lepp.pdf>.
3. Introduction to Fire Behavior Modeling. URL: https://www.frames.gov/files/8413/4643/5159Intro_to_Fire_Behavior_Modeling_Guide_2012.06.25.pdf.
4. Knuth D. The Art of Computer Programming, Vol. 3: Sorting and Searching, 2nd Edition. Addison-Wesley, 1998. 800 p.
5. Unity API. URL: <https://docs.unity3d.com/ScriptReference/>.
6. Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и её применение. Томск: Изд-во Томского университета, 2002. 128 с.
7. FARSITE – fire growth simulation modeling system. URL: <http://www.fire-lab.org/project/farsite>.

SOFTWARE FOR FOREST FIRE SIMULATION WITH RESPECT TO WEATHER AND ENVIRONMENTAL CONDITIONS

A.A. Giniyatov¹, V.V. Kugurakova², R.S. Yakushev³

Kazan (Volga Region) Federal University

¹gin.arслан@gmail.com; ²vlada.kugurakova@gmail.com; ³sultanich@rambler.ru

Abstract

Prediction of forest fire dynamics is no easy task, requiring thoughtful examination of many factors involved, such as landscape, vegetation, climate and weather conditions, humidity, urbanization of land, and many others. One of the best approaches to this problem is a computer simulation. In this paper, we describe the thought process and the development of a forest fire simulator that means to address all of those difficulties.

Keywords: 3D, virtual reality, virtual simulation, forest fire simulation

REFERENCES

1. Alexander Stepanov, James MacGregor Smith. Modeling wildfire propagation with Delaunay triangulation and shortest path algorithms. URL: http://www.ecs.umass.edu/mie/faculty/smith/StepanovJMSmith_EJOR_R4.pdf.
2. Lepp N., Ushanov S. Imitational modelling of forest fire spread. URL: <http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/2311/8443/1/lepp.pdf>.
3. Introduction to Fire Behavior Modeling. URL: https://www.frames.gov/files/8413/4643/5159Intro_to_Fire_Behavior_Modeling_Guide_2012.06.25.pdf.
4. Knuth D. The Art of Computer Programming, Vol. 3: Sorting and searching, 2nd Edition. M. Addison-Wesley, 1998. 800 p.
5. Unity API. URL: <https://docs.unity3d.com/ScriptReference/>.
6. Skvortsov A. Delauney triangulation and its applications. Tomsk University Press, 2002.
7. FARSITE – fire growth simulation modeling system. URL: <http://www.fire-lab.org/project/farsite>.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



ГИНИЯТОВ Арслан Альфирович – выпускник 2016 года Высшей школы информационных технологий и информационных систем Казанского (Приволжского) федерального университета.

Arslan Alfirovich GINIYATOV, bachelor, graduate in 2016 of Higher School of Information Technology and Information Systems of Kazan Federal University.

email: gin.arслан@gmail.com



КУГУРАКОВА Влада Владимировна – старший преподаватель Высшей школы информационных технологий и информационных систем Казанского (Приволжского) федерального университета, руководитель лаборатории «Виртуальные и симуляционные технологии в биомедицине».

Vlada Vladimirovna KUGURAKOVA, senior Lecturer of Higher School of Information Technology and Information Systems of Kazan Federal University, Head of Laboratory “Virtual and simulation technologies in biomedicine”.

email: vlada.kugurakova@gmail.com



ЯКУШЕВ Ринат Султанович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры теоретической механики Казанского (Приволжского) федерального университета.

Rinat Sultanovich YAKUSHEV, associate professor of Department of Theoretical Mechanics of Kazan Federal University.

email: sultanich@rambler.ru

Материал поступил в редакцию 25 февраля 2016 года

УДК 004.81+004.853+004.855+159.942

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЭМОЦИОНАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ НА ОСНОВЕ ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ И НЕЙРОБИОЛОГИЧЕСКИ ИНСПИРИРОВАННЫХ МЕТОДОВ

Е.Ю. Майорова¹, М.О. Таланов², Р. Лоуи³

^{1,2} Казанский (Приволжский) федеральный университет

³ University of Gothenburg

¹eugeniamaiorova@gmail.com; ²max.talanov@gmail.com; ³robert.lowe@his.se

Аннотация

Объектом проведенного исследования является эмоциональная оценка искусственного интеллекта. В качестве системы реализации эмоциональной оценки выбрана система обучения с подкреплением. В результате симуляции построенной модели получены графики, показывающие активность структур мозга, участвующих в процессе их воздействия друг на друга. В ходе настройки системы удалось добиться четырех вспышек активности на таламусе вместо ожидаемых пяти.

Ключевые слова: NEST, NeuCogAR, куб Лёвхейма, эмоциональная оценка

ВВЕДЕНИЕ

Эмоции – это филогенетический непрерывный механизм, гибко адаптирующийся к любым стимулам и ответам [5]. Гибкость эмоций получается путем отделения поведенческой реакции от события-стимула. Эмоциональный процесс – это оценка события по его значимости для индивида и предположение (прогнозирование) возможных действий, направленных на изменение отношений между человеком и окружающей средой [6]. Основная проблема состоит в том, что современные вычислительные системы не могут испытывать эмоции, что в итоге приводит к их нежизнеспособности в условиях реального мира.

Актуальность темы проведенного исследования подтверждена американским ученым Марвином Мински (1927–2016), одним из основателей Лаборатории искусственного интеллекта в Массачусетском технологическом университете: в своей книге [7] он говорит о значимости эмоционального процесса для создания

мыслящего искусственного интеллекта.

ОБУЧЕНИЕ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ КАК СПОСОБ ЭМОЦИОНАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ

Принятие решений и обучение с подкреплением

Поведенческая нейробиология решает различные вопросы, в числе которых – вопрос принятия решений. Выбор оптимального действия основан на прогнозах долгосрочных последствий [29]. Например, 1) часто вкусу предшествует запах: почувствовав приятный аромат с кухни, мы предполагаем, что вскоре сможем вкусно поесть; 2) мы не будем переходить дорогу даже на зеленый сигнал светофора, если на нас с высокой скоростью летит автомобиль.

Вопрос принятия решений был подробно исследован в поведенческой психологии на основе парадигмы Павлова. Также появились и другие доказательства, что существуют области, контролирующие различные аспекты усвоенного поведения. Так как вопрос принятия решений связан с прогнозированием, очевидно, что он связан и с обучением.

Современная интерпретация обучения с подкреплением исторически возникла из двух отдельных исследований. Первое исследование провели Ричард Саттон и Эндрю Барто в направлении изучения создания искусственного интеллекта: они разработали основные алгоритмы и концепции обучения с подкреплением [33]. Второе исследование выполнили Димитрий Бертсекас и Джон Цициклис, специалисты в области исследования операций и оптимального управления. Их разработки заключаются в стохастических приближениях к методам динамического программирования, которые были названы нейродинамическим программированием [34]. Слияние этих двух направлений исследований сформулировало поведенчески вдохновленные алгоритмы эвристического обучения с подкреплением и предоставило инструменты для анализа свойств этих алгоритмов [29].

Обучение с подкреплением – это обучение какого-либо агента действиям, чтобы максимизировать сигнала поощрения (вознаграждения), который принимает числовые значения. Обучение с подкреплением включает в себя следующие элементы: стратегия, функция вознаграждения, функция ценности и модель среды (в системах, имитирующих обучение с подкреплением) [35]. Стратегия

определяет поведение агента в каждый момент времени, функция поощрения является характеристикой вознаграждения, функция ценности характеризует состояние с учетом долгосрочных перспектив, а модель среды имитирует действия рассматриваемой среды.

В процессе обучения агент взаимодействует со средой, получает от нее ответ, в зависимости от которого осуществляет дальнейшие действия. Каждое новое состояние характеризуется новым вознаграждением. Максимизация награды является целью обучения с подкреплением, для достижения которой могут использоваться различные алгоритмы: динамическое программирование, прогнозирование и управление Монте-Карло, SARSA, TD-обучение и Q-обучение [36–41]. Все они были рассмотрены Саттоном и Барто [35].

Значение оценочной обратной связи

Как уже было сказано, цель обучения с подкреплением заключается в максимизации выгоды для интеллектуального агента. Здесь мы можем рассматривать две задачи: прогнозирование и управление.

В задаче прогнозирования обучение с подкреплением используется только для определения некой политики (стратегии), которая описывает для каждого посещаемого состояния ожидаемую в будущем награду [8].

Задача управления ставит целью поиск набора стратегий, который максимизирует награду в режиме реального времени, т. е. во время переходов от одного состояния к другому.

Для поиска оптимального маршрута используются алгоритмы, упомянутые выше. При этом существует два вида нейронных архитектур для прогнозирования и контроля: с обратной связью и без обратной связи.

Классический пример обучения с подкреплением без обратной связи – собака Павлова [42]. В данном случае собака является интеллектуальным агентом, пища – безусловным раздражителем, звонок – условным. Условный раздражитель предсказывает безусловный, после обучения у агента появляется реакция на условный раздражитель. В данном случае нет обратной связи, т. к. реакция на условный раздражитель не влияет на представление стимулов.

В случае существования обратной связи архитектура обучения представляет

собой замкнутую схему. Замкнутость необходима для решения задачи управления, т. к. действия агента влияют на свои собственные входные значения. Эта схема изображена на рис. 1. Точка X_0 является сигналом обратной связи [8, 35].



Рис. 1. Архитектура обучения с подкреплением с обратной связью

На рис. 2 показана эта же архитектура, расширенная до так называемой модели Актёр–Критик (Actor–Critic). Эта модель получила такое название благодаря аналогии с актёром, который выбирает действие, и критиком, который эти действия критикует. Критик представляет собой функцию оценочной стоимости [8, 35].

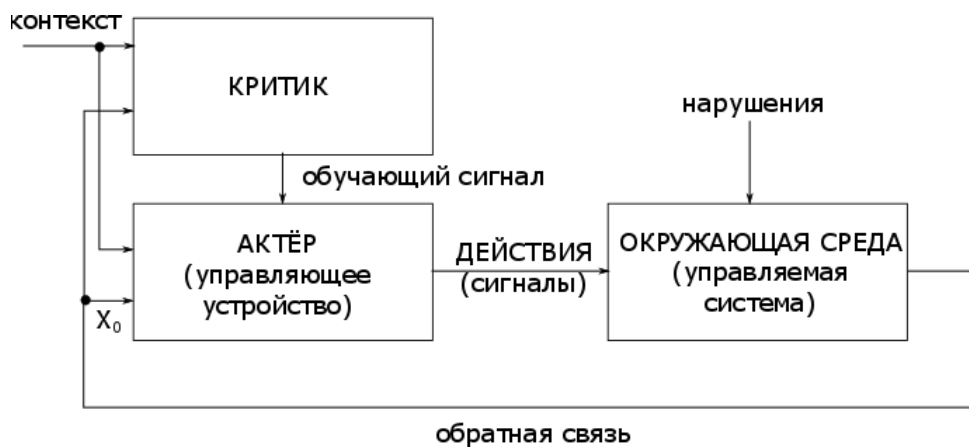


Рис. 2. Архитектура Актёр–Критик

Таким образом, обучение с подкреплением предполагает взаимодействие между некими средой и обучающейся системой, т. е. наличие обратной связи.

Постановка задачи

Задачу обучения с подкреплением можно привести к математической модели. Рассмотрим, как она будет выглядеть в общем виде.

Пусть S – множество всех принимаемых состояний, и оно конечно. В процессе обучения с подкреплением агент взаимодействует со средой. Другими словами, происходит игра между ними. Ниже приведен порядок действий в этой игре. Инициализация стратегии и состояния среды: для каждого момента времени агент выбирает действие; среда генерирует награду; среда генерирует новое состояние; агент корректирует стратегию [43].

Эта игра будет называться марковским процессом принятия решений, если вероятность получения нового состояния и награды в нем зависит от текущего состояния и действия, совершенного агентом [44]. Задача состоит в том, чтобы найти такую стратегию, при которой суммарная награда будет максимальной.

Обзор методов решения задачи

Саттон и Барто выделили три фундаментальных метода решения задачи обучения с подкреплением: динамическое программирование, метод Монте-Карло и метод временной разницы (Temporal Difference, TD-метод) [35].

Методы динамического программирования предполагают, что модель окружающей среды идеальна и выполняется марковское свойство. Это предположение является следствием того, что применяются такие методы очень редко. Основная идея таких методов состоит в том, что функция ценности используется для создания и поиска оптимальных стратегий. Алгоритм можно описать следующим образом: 1) Выбирается стратегия; 2) До тех пор, пока стратегия не устойчива: стратегия оценивается – функция оценки стратегии; стратегия улучшается – улучшенная стратегия. Методы динамического программирования могут быть эффективными для определенного круга задач.

Методы Монте-Карло основаны на осредненной выгоде для некой выборки. Их используют для заданий, которые можно разбить на эпизоды. Здесь оценивание происходит не на каждом шаге, а после завершения очередного эпизода. Методы Монте-Карло имеют преимущества перед методами динамического программирования, например, они менее чувствительны к выполнению марковского свойства.

Методы временной разницы в настоящее время являются наиболее важными среди всех методов обучения с подкреплением. Они объединяют в себе идеи методов динамического программирования и Монте-Карло.

Метод временной разницы (TD-метод)

Большинство алгоритмов, названных выше, опирается на так называемый TD-метод – метод временной разницы [8]. Он был предложен Саттоном и Барто в 1990 году в качестве альтернативы модели Рескорла–Вагнера, которая учитывает торможение и блокирование, а также предполагает, что обучение происходит только тогда, когда награда не равна ожиданию [45]. У этой модели отмечаются некоторые недостатки. Например, она не может описывать события второго порядка: если стимул А предсказывает стимул В, а стимул В предсказывает состояние S, то очевидна связь между А и S, что никак не отражается в этой модели. Вместе с тем, TD-метод устраняет недостатки модели Рескорла–Вагнера [29].

Целью TD-метода является оценка ситуации с точки зрения будущих наград. Происходит это следующим образом: состояние и подкрепительный сигнал (награда) передаются из окружающей среды критику. Он оценивает состояние функцией и высчитывает ошибку предсказания, которая используется для обучения и у критика, и у актёра. Актёру передается значение, на основании полученных данных он генерирует стратегию. На рис. 3 изображена схема TD-обучения.



Рис. 3. TD-метод

Согласованность между последовательными состояниями лежит в основе TD-метода, с его помощью можно прогнозировать события, даже если среда не известна [29].

Выбор нейрональной архитектуры обучения с подкреплением

Как же обучение с подкреплением происходит на нейрональном уровне? Многие нейрональные архитектуры модели Актёр–Критик, описанные в литературе, сосредоточены на взаимодействии базальных ганглиев и коры. В этих архитектурах Критик описывается более подробно, чем Актёр [8]. В настоящее время описаны следующие архитектуры: параллельные взаимные архитектуры, модель Хоука; идеализированные параллельные взаимные архитектуры; расходящиеся взаимные архитектуры; параллельные невзаимные архитектуры; расходящиеся невзаимные архитектуры.

Особое внимание стоит уделить схеме, предложенной Вёргёттенем и Порром и описывающей связь между TD-обучением и базальными ганглиями [8]. На рис. 4 показаны эти связи с основными входами и выходами, а также отмечены возбуждающие и подавляющие связи между нейронами. Обозначения: ЧС(r) – черная субстанция (pars reticulata), БШ(in) – бледный шар (pars interna), БШ(ex) – бледный шар (pars externa), ЧС(c) – черная субстанция (pars compacta), ВОП – вентральная область покрышки, RRA – ретрорубальная область.

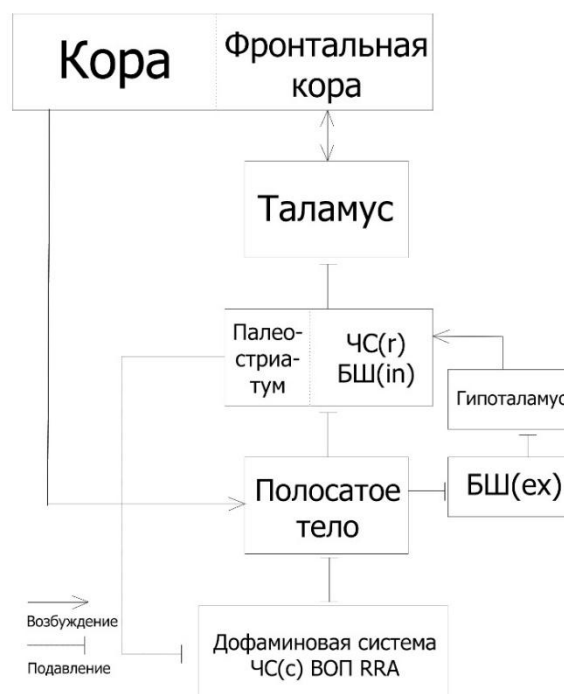


Рис. 4. Связь между TD-обучением и базальными ганглиями

Составление нейрональной модели

Для построения высокоуровневой модели системы эмоциональной оценки на основе обучения с подкреплением были выбраны метод временной разницы, а также нейрональная архитектура для его реализации.

Преобразуем схему так, чтобы ее использование в NEST не вызывало затруднений. Окончательный вариант представлен на рис. 6.

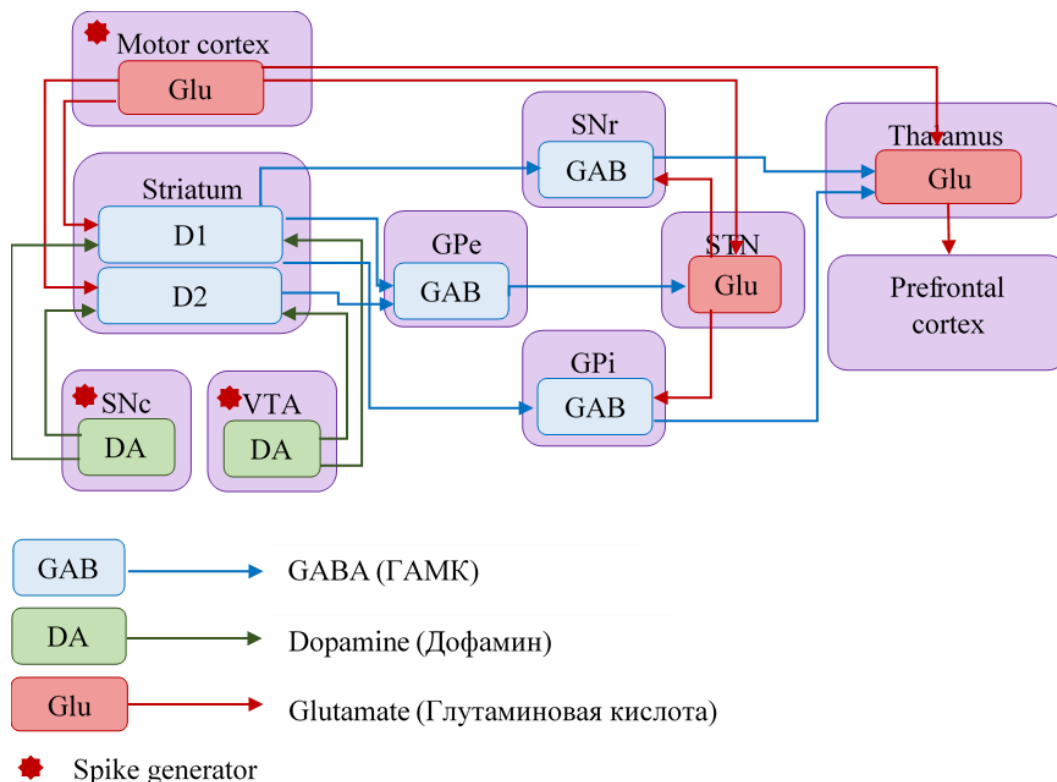


Рис. 6. Нейрональная архитектура

Спайковые генераторы (Spike generator) устанавливаются на двигательную кору, черную субстанцию (compacta), вентральную область покрышки.

Двигательная кора передает возбуждающие (Glutamate) сигналы в таламус, гипоталамус и полосатое тело. Под воздействием дофамина черная субстанция и вентральная область покрышки передают сигнал полосатому телу. В свою очередь, полосатое тело подавляюще (GABA) воздействует на черную субстанцию (reticulata) и бледный шар. Бледный шар (externa) передает подавляющие сигналы гипоталамусу. Гипоталамус возбуждает черную субстанцию (reticulata) и бледный шар (interna), которые подавляюще воздействуют на таламус. В итоге таламус получает сигналы от двигательной коры, черной субстанции (reticulata) и бледного шара (interna) и передает возбуждающий сигнал префронтальной коре.

Реализация

Представим модель, описанную выше, на языке Python. За связи на рис. 6 отвечает следующий код:

```
connect(motor[Cortex], thalamus[thalamus_Glu], syn_type=Glu)
connect(motor[Cortex], striatum[D1], syn_type=Glu)
connect(motor[Cortex], striatum[D2], syn_type=Glu)
connect(motor[Cortex], stn[stn_Glu], syn_type=Glu)
connect(striatum[D1], snr[snr_GABA])
connect(striatum[D1], gpi[gpi_GABA])
connect(striatum[D1], gpe[gpe_GABA])
connect(striatum[D2], gpe[gpe_GABA])
connect(gpe[gpe_GABA], stn[stn_Glu])
connect(stn[stn_Glu], snr[snr_GABA], syn_type=Glu)
connect(stn[stn_Glu], gpi[gpi_GABA], syn_type=Glu)
connect(gpi[gpi_GABA], thalamus[thalamus_Glu])
connect(snr[snr_GABA], thalamus[thalamus_Glu])
connect(thalamus[thalamus_Glu], motor[FrontalCortex], syn_type=Glu)
if dopa_flag:
    <...>
    connect(snc[snc_DA], striatum[D1], syn_type=DA_ex)
    connect(snc[snc_DA], striatum[D2], syn_type=DA_in)
    connect(vta[vta_DA0], striatum[D1], syn_type=DA_ex)
    connect(vta[vta_DA0], striatum[D2], syn_type=DA_in)
```

Выше был описан порядок воздействия разных структур мозга друг на друга. Здесь мы видим, что, действительно, сначала воздействует двигательная кора (1 – 4), затем полосатое тело воздействует на черную субстанцию и бледный шар (5 – 8), бледный шар (externa) – на гипоталамус (9). Гипоталамус воздействует на черную субстанцию (reticulata) и бледный шар (interna) (10 – 11), которые воздействуют на таламус (12 – 13). В конце таламус воздействует на префронтальную кору (14). Дофаминовое воздействие вынесено в отдельный блок (15): черная субстанция (compacta) и вентральная область покрышки воздействуют на полосатое тело (b – e). Типы связей (возбуждающая, подавляющая, воздействие дофамина)

также указаны, за них отвечает параметр `syn_type`.

Значения используются при запуске генератора. Он генерирует спайки по пуассоновскому распределению и действует с определенной силой, измеряемой в mV, т. е., по сути, генератор заряжает нейрон и повышает мембранный потенциал. Также у генератора есть частота. На языке Python для него используется соответствующее условие `generator_flag`. Рассмотрим код подробнее:

```
if generator_flag:
    connect_generator(motor[Cortex], 9.9, T, rate=300, coef_part=1, weight=2)
    delta = [1.0, 1.5, 0.38, 0.8, 0.33]
    k = 9.9
    iter = 0
    for i in range(5) :
        connect_generator(snc[snc_DA], k, k + 3.3, rate = 300, weight=delta[iter],
            coef_part=1)
        connect_generator(vta[vta_DA0], k, k + 3.3, rate = 300, weight=delta[iter],
            coef_part=1)
        iter += 1
        k += 3.3
```

Подключаем генератор к двигательной коре (2), время действия – от 9,9 мс до T (задается, в нашем случае T = 40 мс), частота – 300, параметр `coef_part` отвечает за процент нейронов, которые будут подцеплены детектором (используется для отображения результатов в виде графиков), сила генератора `weigh` равна 2. Затем нужно подключить еще два генератора, объявляем их (3). Чтобы дать генераторам время на «разгон», время действия поставим от 9,9 мс (4). Далее запускаем генераторы в цикле, будем изменять силу на каждом шаге. Один шаг длится 3,3 мс.

Тестирование модели с различными данными

До сих пор мы говорили лишь о воздействиях различных структур мозга друг на друга. Однако зачастую наличия воздействия недостаточно, например, воздействие может быть слабым и совершенно незначительным. Но у этой проблемы есть решение: можно определить синаптическую силу этого воздействия для любой связи. Такая сила называется весом, обозначается в программе с помощью параметра `weight_coef`.

Нам нужно настроить веса таким образом, чтобы была видна активность структур мозга, участвующих в обучении с подкреплением. Ожидается активность таламуса под воздействием дофамина, 5 вспышек. На рисунках 7 и 8 показана активность таламуса до настройки системы.

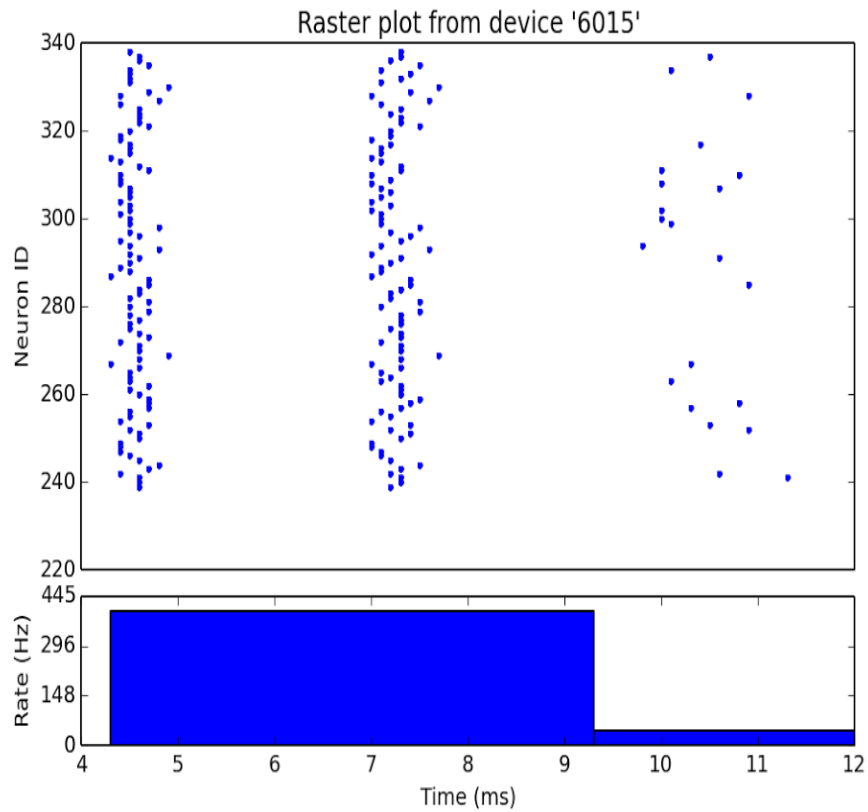


Рис. 7. Активность на таламусе до настройки системы. Спайки

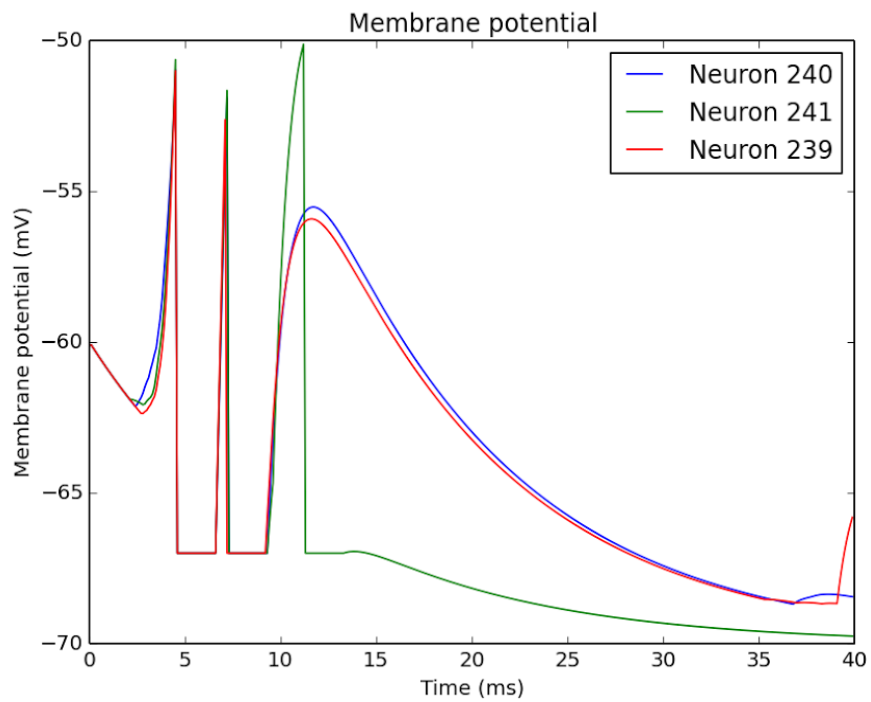


Рис. 8. Активность на таламусе до настройки системы. Мембранный потенциал
Тестирование системы с различными параметрами привело к результатам, показанным на рисунках 9 и 10.

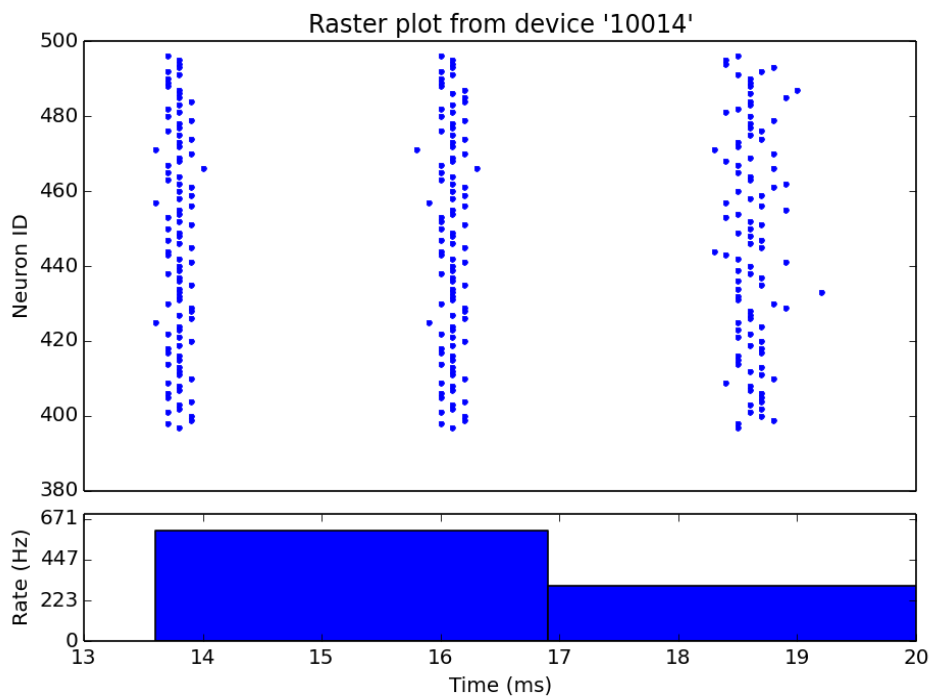


Рис. 9. Активность на таламусе после настройки системы. Спайки

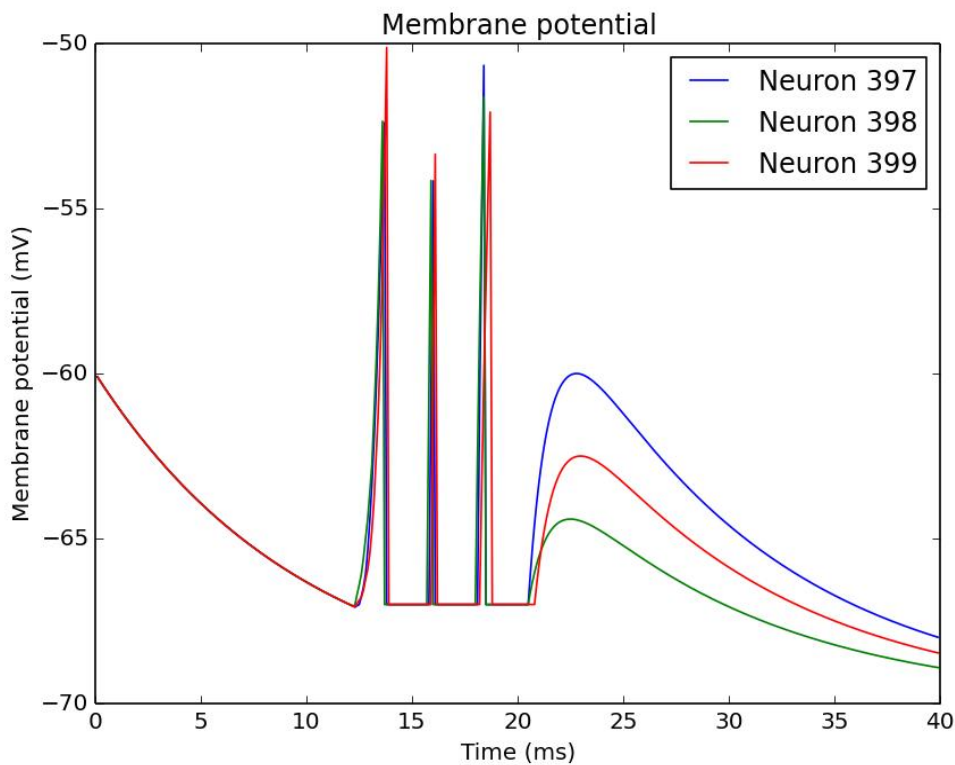


Рис. 10. Активность на таламусе после настройки системы.

Мембранный потенциал

На рис. 10 мы видим четыре вспышки вместо ожидаемых 5. Это произошло из-за подавления бледного шара (*interna*) и черной субстанции (*reticulata*) и восстановления потенциала таламуса; как видно на рис. 9, первые 3,3 мс таламус не активен, а первая вспышка отсутствует. Далее система ведет себя так, как и ожидалось. Спайки для бледного шара (*interna*) и черной субстанции (*reticulate*) отсутствуют, так как выделяется дофамин.

Данных результатов мы добились, используя следующие веса (если вес не указан, по умолчанию используется значение, равное единице):

```
connect(motor[Cortex],          thalamus[thalamus_Glu],          syn_type=Glu,
weight_coef=0.5)
connect(motor[Cortex], striatum[D1], syn_type=Glu)
connect(motor[Cortex], striatum[D2], syn_type=Glu)
connect(motor[Cortex], stn[stn_Glu], syn_type=Glu)
connect(striatum[D1], snr[snr_GABA], weight_coef=0.1)
connect(striatum[D1], gpi[gpi_GABA], weight_coef=0.1)
connect(striatum[D1], gpe[gpe_GABA], weight_coef=0.1)
```



```
connect(striatum[D2], gpe[gpe_GABA], weight_coef=0.1)
connect(gpe[gpe_GABA], stn[stn_Glu], weight_coef=0.5)
connect(stn[stn_Glu], snr[snr_GABA], syn_type=Glu, weight_coef=2)
connect(stn[stn_Glu], gpi[gpi_GABA], syn_type=Glu, weight_coef=2)
connect(gpi[gpi_GABA], thalamus[thalamus_Glu], weight_coef=3)
connect(snr[snr_GABA], thalamus[thalamus_Glu], weight_coef=3)
connect(thalamus[thalamus_Glu], motor[FrontalCortex], syn_type=Glu)
```

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создание системы эмоциональной оценки на основе обучения с подкреплением – этап в разработке эмоционального искусственного интеллекта. Эмоциональная оценка неразрывно связана с прогнозированием, которое, в свою очередь, связано с обучением. В ходе работы была составлена и реализована нейронная модель. В результате моделирования получены графики, показывающие активность структур мозга, участвующих в процессе их воздействия друг на друга. Так как воздействие не может быть однозначным, а каждая связь обладает синаптической силой, то такую силу, называемую весом, нужно настроить. В ходе настройки системы мы добились четырех всплесков активности на таламусе вместо ожидаемых пяти. Это произошло из-за подавления бледного шара (*interna*) и черной субстанции (*reticulata*) и восстановления потенциала таламуса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Максим Таланов*. Эмоциональные вычисления. URL: <http://postnauka.ru/video/45297>.
2. *Lowenstein G., Lerner J.S.* The role of affect in decision-making // In R. Davidson, K. Scherer, H. Goldsmith (Eds.) *Handbook of Affective Science*. New York: Oxford University Press, 2003. P. 619–642.
3. *Максим Таланов*. Эмоциональный искусственный интеллект. URL: <http://postnauka.ru/video/45296>.
4. *Tom Ziemke, Robert Lowe*. On the Role of Emotion in Embodied Cognitive Architectures: From Organisms to Robots. Springer Science+Business Media, LLC 2009. P. 71–73.
5. *David Sander, Didier Grandjean, Klaus R. Scherer*. A systems approach to appraisal mechanisms in emotion. Geneva Emotion Research Group, Department of

Psychology, University of Geneva, 2005. P. 140–148.

6. *Petta P.* The role of emotion in a tractable architecture for situated cognizers // In: Trapp R., Petta P., Payr S. Eds. Emotions in Humans and Artifacts. Cambridge, MA: MIT Press, 2003. P. 87–88.

7. *Minsky Marvin.* The Emotion Machine: Commonsense Thinking, Artificial Intelligence, and the Future of the Human Mind. Simon and Schuster, 2007. P. 256–258.

8. *Wörgötter F., Porr B.* Temporal Sequence Learning, Prediction, and Control – a Review of different models and their relation to biological mechanisms. Department of Psychology, University of Stirling, 2005. P. 45.

9. *Ortony A., Norman D., Revelle W.* Affect and proto-affect in effective functioning // In: Fellous J-M, Arbib M.A., Eds. Who need emotions? New York: Oxford University Press, 2005.

10. *Damasio A.R.* The feeling of what happens: body, emotion and the making of consciousness. Heinemann: London, 1999. 400 p.

11. *Rolls E.* Emotion explained. Oxford: Oxford University Press, 2005.

12. *Phelps E.* Emotion and cognition: Insights from studies of the human amygdala // Annu. Rev. Psychol. 2006. V. 57. P. 27–53.

13. *Scherer K.R., Ekman P.* On the nature and function of emotion: a component process approach // In: Approaches to Emotion. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum, 1984. P. 293–317.

14. *Paulus Martin P., Angela J.Yu.* Emotion and decision-making: affect-driven belief systems in anxiety and depression // Trends in Cognitive Sciences. September 2012. V. 16, No 9. P. 476–483.

15. *Kahneman D., Tversky A.* Prospect theory: an analysis of decision under risk // Econometrica. 1979. V. 47. P. 263–291.

16. *Mukherjee K.* A dual system model of preferences under risk // Psychol. Rev. 2010. V. 117. P. 243–255.

17. *Hsee C.K., Rottenstreich Y.* Music, pandas, and muggers: on the affective psychology of value // J. Exp. Psychol. Gen. 2004. V. 133. P. 23–30.

18. *Kusev P., van Schaik P.* Preferences under risk: content-dependent behavior and psychological processing // Front. Psychol. 2011. V. 2. P. 269–271.

19. *Breazeal C.* Designing sociable robots. Cambridge, MA: MIT Press, 2002. 244 p.
20. *Kelley A.E.* Neurochemical networks encoding emotion and motivation: An evolutionary perspective // In: Fellous J-M., Arbib M.A., Eds. Who needs emotions? The brain meets the robot. New York: Oxford University Press, 2005.
21. *Max Talanov, Jordi Vallverdu, Salvatore Distefano, Manuel Mazzara, Radhakrishnan Delhibabu.* neuromodulating cognitive architecture: towards biomimetic emotional AI // Advanced Information Networking and Applications (AINA), 2015 IEEE 29th International Conference. P. 587–592.
22. *Аллахвердов В.М., Богданова С.И. и др.* Психология: учеб. / отв. ред. А.А. Крылов. М.: Проспект, 2005. С. 214–217.
23. *Vernon David.* Artificial Cognitive Systems: a Primer. The MIT Press Cambridge, Massachusetts London, England, 2014. 288 p.
24. *McCarthy J., Hayes P.J.* Some philosophical problems from the standpoint of artificial intelligence at the Wayback Machine // In: Meltzer B., Michie D., Eds. Machine Intelligence. Edinburgh: Edinburgh University Press, 1969. No 4. P. 463–502 (archived August 25, 2013).
25. *Таланов Максим.* Марвин Минский и эмоциональные машины. URL: <https://postnauka.ru/faq/58727>.
26. *Lövheim H.* A new three-dimensional model for emotions and monoamine neurotransmitters // Med Hypotheses. 2012. V. 8. P. 341–348.
27. *Tomkins S.* Affect theory // In: P. Ekman, W. Friesen, P. Ellsworth, Eds. Emotions in the Human Face. Cambridge: Cambridge University Press, 1982. P. 355–395.
28. *Smith Craig A., Lazarus Richard S.* Emotion and Adaptation // In: L.A. Pervin, Ed. Handbook of Personality: Theory and Research. New York: Guilford, 1990. P. 609–637.
29. *Lazarus Richard S.* Progress on a cognitive-motivational-relational theory of emotion // American Psychologist. 1991. V. 46, No 8. P. 819–834.
30. *Niv Yael.* Reinforcement learning in the brain // Psychology Department & Princeton Neuroscience Institute, Princeton University, 2009.

31. *Barto A.G.* Adaptive critic and the basal ganglia // In J.C. Houk, J.L. Davis, D.G. Beiser, Eds. Models of information processing in the basal ganglia. Cambridge: MIT Press, 1995. P. 215–232.
 32. *Schultz W., Dayan P., Montague P.R.* A neural substrate of prediction and reward // *Science*. 1997. No 275. P. 1593–1599.
 33. *Wickens J.R., Kotter R.* Cellular models of reinforcement // In: J.C. Houk, J.L. Davis, D.G. Beiser, Eds. Models of information processing in the basal ganglia. MIT Press, 1995. P. 187–214.
 34. *Barto A.G., Sutton R.S., Watkins C.J.C.H.* Learning and sequential decision making // In: M. Gabriel, J. Moore, Eds. Learning and computational neuroscience: Foundations of adaptive networks. Cambridge, MA: MIT Press, 1990. P. 593–602.
 35. *Bertsekas D.P., Tsitsiklis J.N.* Neuro-dynamic programming. Athena Sc., Scientific, 1996. 512 p.
 36. *Sutton R.S., Barto A.G.* Reinforcement Learning. An Introduction. Bradford Books, MIT Press, Cambridge, MA, 2002 edition, 1998. 320 p.
 37. *Bellman R.E.* Dynamic Programming. Princeton: Princeton University Press, 1957. 392 p.
 38. *Sutton R.S.* Learning to predict by the methods of temporal differences // *Machine Learning*. August 1988. V. 3, Issue 1. P. 9–44.
 39. *Sutton R.S.* Generalization in reinforcement learning: successful examples using sparse coarse coding // In: D.S. Touretzky, M.C. Mozer, M.E. Hasselmo, Eds. Advances in Neural Information Processing Systems: Proceedings of the 1995 Conference. Cambridge, MA, 1996. P. 1038–1044.
 40. *Rummery G.A.* Problem solving with reinforcement learning. PhD thesis. Cambridge University, Cambridge, 1995. 52 p.
 41. *Watkins C.J.C.H.* Learning from delayed rewards. PhD thesis. University of Cambridge, Cambridge, England, 1989. 234 p. URL: https://www.cs.rhul.ac.uk/home/chrisw/new_thesis.pdf.
 42. *Watkins C.J.C.H., Dayan P.* Technical note: Q-Learning // *Machine Learning*. 1992. V. 7, Issue 8. P. 279–292. URL: <http://www.gatsby.ucl.ac.uk/~dayan/papers/cjch.pdf>.
 43. *Pavlov I.P.* Conditioned reflexes. London: Oxford University Press, 1927. URL: <http://s-f-walker.org.uk/pubsebooks/pdfs/Conditioned-Reflexes-Pavlov.pdf>.
-

44. *Воронцов К.В.* Обучение с подкреплением (Reinforcement Learning) URL: <http://www.machinelearning.ru/wiki/images/archive/3/35/20140621071329!Voron-ML-RL-slides.pdf>.
45. *Bellman R.* A Markovian decision process // Journal of Mathematics and Mechanics. 1957. No 6. P. 716–719.
46. *Rescorla R.A., Wagner A.R.* A theory of Pavlovian conditioning: variations in the effectiveness of reinforcement and nonreinforcement // In: A.H. Black, W.F. Prokasy, Eds. Classical conditioning II: Current research and theory. New York, NY: Appleton-Century-Crofts, 1972. P. 64–99.
47. *Gewaltig Marc-Oliver, Diesmann Markus.* NEST (NEural Simulation Tool) // Scholarpedia. 2007. V. 2, No 4. P. 1430. URL: [http://www.scholarpedia.org/article/NEST_\(NEural_Simulation_Tool\)](http://www.scholarpedia.org/article/NEST_(NEural_Simulation_Tool)).
48. Supercomputers Ready for Use as Discovery Machines for Neuroscience // Frontiers in Neuroinformatics. November 2012. V. 6. P. 1–12.
49. *Diesmann M., Gewaltig M.* NEST: an environment for neural systems simulations // Forschung und wissenschaftliches Rechnen, Beiträge zum Heinz-Billing-Preis. 2001. Bd. 58. S. 43–70.
50. *Picard R.W.* Affective Computing. MIT Press, 1997.
-

THE SYSTEM OF EMOTIONAL APPRAISAL BASED ON REINFORCEMENT LEARNING AND BIO-INSPIRED METHODS

E. Mayorova¹, M. Talanov², R. Lowe³

^{1,2} *Kazan (Volga Region) Federal University*

³ *University of Gothenburg*

¹eugeniamaiorova@gmail.com; ²max.talanov@gmail.com; ³robert.lowe@his.se

Abstract

I research and lecture in Cognitive Science where my particular interest is in emotions – neural networks modeling and applications – and animal and human learning.

Keywords: *appraisal, emotional appraisal, reinforcement learning*

REFERENCES

1. *Talanov M.* Emotional computing. URL: <http://postnauka.ru/video/45297>.
2. *Lowenstein G., Lerner J.S.* The role of affect in decision-making // In R. Davidson, K. Scherer, H. Goldsmith (Eds.) *Handbook of Affective Science*. New York: Oxford University Press, 2003. P. 619–642.
3. *Talanov M.* Emotional artificial intelligence. URL: <http://postnauka.ru/video/45296>
4. *Tom Ziemke, Robert Lowe.* On the Role of Emotion in Embodied Cognitive Architectures: From Organisms to Robots. Springer Science+Business Media, LLC 2009. P. 71–73.
5. *David Sander, Didier Grandjean, Klaus R. Scherer.* A systems approach to appraisal mechanisms in emotion. Geneva Emotion Research Group, Department of Psychology, University of Geneva, 2005. P. 140–148.
6. *Petta P.* The role of emotion in a tractable architecture for situated cognizers // In: Trapp R., Petta P., Payr S. Eds. *Emotions in Humans and Artifacts*. Cambridge, MA: MIT Press, 2003. P. 87–88.
7. *Minsky Marvin.* The Emotion Machine: Commonsense Thinking, Artificial Intelligence, and the Future of the Human Mind. Simon and Schuster, 2007. P. 256–258.
8. *Wörgötter F., Porr B.* Temporal Sequence Learning, Prediction, and Control – a Review of different models and their relation to biological mechanisms. Department of Psychology, University of Stirling, 2005. P. 45.
9. *Ortony A., Norman D., Revelle W.* Affect and proto-affect in effective functioning // In: Fellous J-M, Arbib M.A., Eds. *Who need emotions?* New York: Oxford University Press, 2005.
10. *Damasio A.R.* The feeling of what happens: body, emotion and the making of consciousness. Heinemann: London, 1999. 400 p.
11. *Rolls E.* *Emotion explained*. Oxford: Oxford University Press, 2005.
12. *Phelps E.* Emotion and cognition: Insights from studies of the human amygdala // *Annu. Rev. Psychol.* 2006. V. 57. P. 27–53.

13. *Scherer K.R., Ekman P.* On the nature and function of emotion: a component process approach // In: *Approaches to Emotion*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum, 1984. P. 293–317.

14. *Paulus Martin P., Angela J.Yu.* Emotion and decision-making: affect-driven belief systems in anxiety and depression // *Trends in Cognitive Sciences*. September 2012. V. 16, No 9. P. 476–483.

15. *Kahneman D., Tversky A.* Prospect theory: an analysis of decision under risk // *Econometrica*. 1979. V. 47. P. 263–291.

16. *Mukherjee K.* A dual system model of preferences under risk // *Psychol. Rev.* 2010. V. 117. P. 243–255.

17. *Hsee C.K., Rottenstreich Y.* Music, pandas, and muggers: on the affective psychology of value // *J. Exp. Psychol. Gen.* 2004. V. 133. P. 23–30.

18. *Kusev P., van Schaik P.* Preferences under risk: content-dependent behavior and psychological processing // *Front. Psychol.* 2011. V. 2. P. 269–271.

19. *Breazeal C.* *Designing sociable robots*. Cambridge, MA: MIT Press, 2002. 244 p.

20. *Kelley A.E.* Neurochemical networks encoding emotion and motivation: An evolutionary perspective // In: *Fellous J-M., Arbib M.A., Eds. Who needs emotions? The brain meets the robot*. New York: Oxford University Press, 2005.

21. *Max Talanov, Jordi Vallverdu, Salvatore Distefano, Manuel Mazzara, Radhakrishnan Delhibabu.* neuromodulating cognitive architecture: towards biomimetic emotional AI // *Advanced Information Networking and Applications (AINA), 2015 IEEE 29th International Conference*. P. 587–592.

22. *Allahverdov V.M., Bogdanova S.I. et al.* *Psychology: textbook*. Prospect Publishing, 2005. P. 214–217.

23. *Vernon David.* *Artificial Cognitive Systems: a Primer*. The MIT Press Cambridge, Massachusetts London, England, 2014. 288 p.

24. *McCarthy J., Hayes P.J.* Some philosophical problems from the standpoint of artificial intelligence at the Wayback Machine // In: *Meltzer B., Michie D., Eds. Machine Intelligence*. Edinburgh: Edinburgh University Press, 1969. No 4. P. 463–502 (archived August 25, 2013).

25. *Talanov M.* Marvin Minsky and the emotional machines. URL: <https://postnauka.ru/faq/58727>.

26. *Lövheim H.* A new three-dimensional model for emotions and monoamine neurotransmitters // *Med Hypotheses*. 2012. V. 8. P. 341–348.
27. *Tomkins S.* Affect theory // In: P. Ekman, W. Friesen, P. Ellsworth, Eds. *Emotions in the Human Face*. Cambridge: Cambridge University Press, 1982. P. 355–395.
28. *Smith Craig A., Lazarus Richard S.* Emotion and Adaptation // In: L.A. Pervin, Ed. *Handbook of Personality: Theory and Research*. New York: Guilford, 1990. P. 609–637.
29. *Lazarus Richard S.* Progress on a cognitive-motivational-relational theory of emotion // *American Psychologist*. 1991. V. 46, No 8. P. 819–834.
30. *Niv Yael.* Reinforcement learning in the brain // Psychology Department & Princeton Neuroscience Institute, Princeton University, 2009.
31. *Barto A.G.* Adaptive critic and the basal ganglia // In J.C. Houk, J.L. Davis, D.G. Beiser, Eds. *Models of information processing in the basal ganglia*. Cambridge: MIT Press, 1995. P. 215–232.
32. *Schultz W., Dayan P., Montague P.R.* A neural substrate of prediction and reward // *Science*. 1997. No 275. P. 1593–1599.
33. *Wickens J.R., Kotter R.* Cellular models of reinforcement // In: J.C. Houk, J.L. Davis, D.G. Beiser, Eds. *Models of information processing in the basal ganglia*. MIT Press, 1995. P. 187–214.
34. *Barto A.G., Sutton R.S., Watkins C.J.C.H.* Learning and sequential decision making // In: M. Gabriel, J. Moore, Eds. *Learning and computational neuroscience: Foundations of adaptive networks*. Cambridge, MA: MIT Press, 1990. P. 593–602.
35. *Bertsekas D.P., Tsitsiklis J.N.* *Neuro-dynamic programming*. Athena Sc., Scientific, 1996. 512 p.
36. *Sutton R.S., Barto A.G.* *Reinforcement Learning. An Introduction*. Bradford Books, MIT Press, Cambridge, MA, 2002 edition, 1998. 320 p.
37. *Bellman R.E.* *Dynamic Programming*. Princeton: Princeton University Press, 1957. 392 p.
38. *Sutton R.S.* Learning to predict by the methods of temporal differences // *Machine Learning*. August 1988. V. 3, Issue 1. P. 9–44.
39. *Sutton R.S.* Generalization in reinforcement learning: successful examples

using sparse coarse coding // In: D.S. Touretzky, M.C. Mozer, M.E. Hasselmo, Eds. Advances in Neural Information Processing Systems: Proceedings of the 1995 Conference. Cambridge, MA, 1996. P. 1038–1044.

40. *Rummery G.A.* Problem solving with reinforcement learning. PhD thesis. Cambridge University, Cambridge, 1995. 52 p.

41. *Watkins C.J.C.H.* Learning from delayed rewards. PhD thesis. University of Cambridge, Cambridge, England, 1989. 234 p. URL: https://www.cs.rhul.ac.uk/home/chrisw/new_thesis.pdf/.

42. *Watkins C.J.C.H., Dayan P.* Technical note: Q-Learning // Machine Learning. 1992. V. 7, Issue 8. P. 279–292. URL: <http://www.gatsby.ucl.ac.uk/~dayan/papers/cjch.pdf>.

43. *Pavlov I.P.* Conditioned reflexes. London: Oxford University Press, 1927. URL: <http://s-f-walker.org.uk/pubsebooks/pdfs/Conditioned-Reflexes-Pavlov.pdf>.

44. *Vorontsov K.V.* Reinforcement Learning. URL: <http://www.machinelearning.ru/wiki/images/archive/3/35/20140621071329!Voron-ML-RL-slides.pdf>.

45. *Bellman R.* A Markovian decision process // Journal of Mathematics and Mechanics. 1957. No 6. P. 716–719.

46. *Rescorla R.A., Wagner A.R.* A theory of Pavlovian conditioning: variations in the effectiveness of reinforcement and nonreinforcement // In: A.H. Black, W.F. Prokasy, Eds. Classical conditioning II: Current research and theory. New York, NY: Appleton-Century-Crofts, 1972. P. 64–99.

47. *Gewaltig Marc-Oliver, Diesmann Markus.* NEST (NEural Simulation Tool) // Scholarpedia. 2007. V. 2, No 4. P. 1430. URL: [http://www.scholarpedia.org/article/NEST_\(NEural_Simulation_Tool\)](http://www.scholarpedia.org/article/NEST_(NEural_Simulation_Tool)).

48. Supercomputers Ready for Use as Discovery Machines for Neuroscience // Frontiers in Neuroinformatics. November 2012. V. 6. P. 1–12.

49. *Diesmann M., Gewaltig M.* NEST: an environment for neural systems simulations // Forschung und wissenschaftliches Rechnen, Beiträge zum Heinz-Billing-Preis. 2001. Bd. 58. S. 43–70.

50. *Picard R.W.* Affective Computing. MIT Press, 1997.

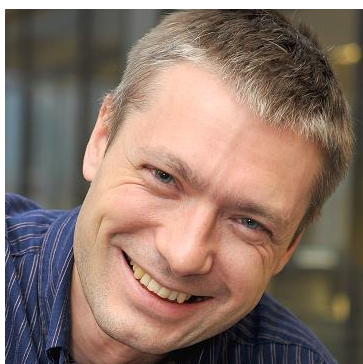
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



МАЙОРОВА Евгения Юрьевна – выпускница 2016 года Высшей школы информационных технологий и информационных систем Казанского (Приволжского) федерального университета.

Eugeniya Yurievna MAYOROVA, bachelor of Higher School Information technologies and systems of Kazan Federal University.

email: eugeniamaiorova@gmail.com



ТАЛАНОВ Максим Олегович – кандидат технических наук, руководитель Лаборатории машинного понимания Высшей школы информационных технологий и информационных систем Казанского (Приволжского) федерального университета.

Maxim Olegovich TALANOV, PhD, head of Machine Cognition Lab in Higher Institute of Information Technology in Kazan (Volga Region) Federal University.

email: max.talanov@gmail.com



ЛОУ Роберт – доктор, доцент и глава исследовательской лаборатории ICE Lab в университете Гётеборга.

Robert LOWE is the docent and research leader at the ICE Lab and at the Interaction Lab at the University of Gothenburg.

email: robert.lowe@his.se

Материал поступил в редакцию 15 мая 2016 года

УДК 611.81 + 004.81 + 159.942

НИЗКОУРОВНЕВАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ НОРАДРЕНАЛИНОВОЙ ПОДСИСТЕМЫ НЕЙРОННОЙ ИМПУЛЬСНОЙ СЕТИ

В.В. Пищулин¹, М.О. Таланов²

Казанский (Приволжский) федеральный университет

¹dalv6666@gmail.com; ²max.talanov@gmail.com

Аннотация

Нор-адреналиновая подсистема играет важную роль в эмоциональной оценке и обратной связи так же, как и в принятии решений. Мы представляем программную систему для автоматической генерации кода на языке PyNEST, основываясь на высокоуровневом описании нейронных подсистем.

Ключевые слова: NEST, NeuCogAR, куб Лёвхейма, норадреналин

ВВЕДЕНИЕ

Исходя из эволюционной роли эмоций в Естественном Интеллекте, Искусственный интеллект (ИИ), не реализуя эмоциональные процессы, в действительности очень многое упускает. В ИИ невозможно воплотить многие феномены, которые связаны именно с эмоциональной картиной, эмоциональным состоянием человека [1].

Развитие когнитивных наук, в частности, когнитивной нейробиологии, позволяет двигаться дальше в вопросе реализации эмоциональных процессов в ИИ. Неврологи выявили, что мозг работает в эмоциональном цикле [2, 3], помимо того, они смогли локализовать часть мозга, отвечающую за сам цикл и его влияние на процессы принятия решений [4]. Актуальность темы подчеркивает американский учёный в области ИИ Марвин Мински, сооснователь лаборатории ИИ в Массачусетском технологическом институте, в его книге [5] частично раскрываются тема эмоциональных циклов и значимость эмоционального процесса для создания сильного ИИ с зачатками самосознания. Психоэмоциональные аспекты позволяют эмоциональным агентам регулировать вычислительную нагрузку и переключаться с задачи на задачу более осмысленно.

Благодаря результатам развития когнитивных наук, таких, как психология и когнитивная нейробиология, возможна новая степень детализации в углубленном понимании эмоций в целом. На основе теоретического открытия восьми основных эмоциональных элементов по Томкинсу [6], нейромодуляционной регуляции эмоционального цикла в участках головного мозга и развития математических моделей биологических нейронов имеется возможность проверить гипотезу, представленную эмоциональным кубом Лёвхейма [7]. Сбор информации о нейромодуляционных регуляциях эмоционального цикла в участках головного мозга даёт возможность установить пути нейромедиаторов в участках головного мозга, отображая их в виде схемы.

Целью работы было создание системы, позволяющей проецировать результат исследований нейромодуляционных регуляций эмоционального цикла в участках головного мозга, выраженный в схеме, максимально автоматизируя процесс трансформации на вычислительную архитектуру при проведении моделирования для проверки гипотез и анализа полученных результатов.

КОМПОНЕНТЫ СТРУКТУРЫ

В качестве графического представления информации использован ресурс draw.io, с помощью которого созданы графические представления отдельных частей головного мозга. Каждый элемент, представленный в графическом виде, имеет программную интерпретацию в модельной области. На рис. 1 изображен мезокортилимбический путь дофамина в головном мозге. Прямоугольники аметистового цвета являются участками головного мозга, в которых расположены рецепторы. Стрелками показана взаимосвязь между элементами.

На рис. 1 изображены участки головного мозга: **Cortex** – кора головного мозга, **VTA** – прилежащее ядро, **NAc** – вентральная область покрышки, **TPP** – педункулопонтинное тегментальное ядро и нейрорегуляторы, находящиеся в различных отделах мозга: **Glu** – глутаминовая кислота, **Ach** – ацетилхолин, **GABA** – γ-аминомасляная кислота, **DA** – дофамин.

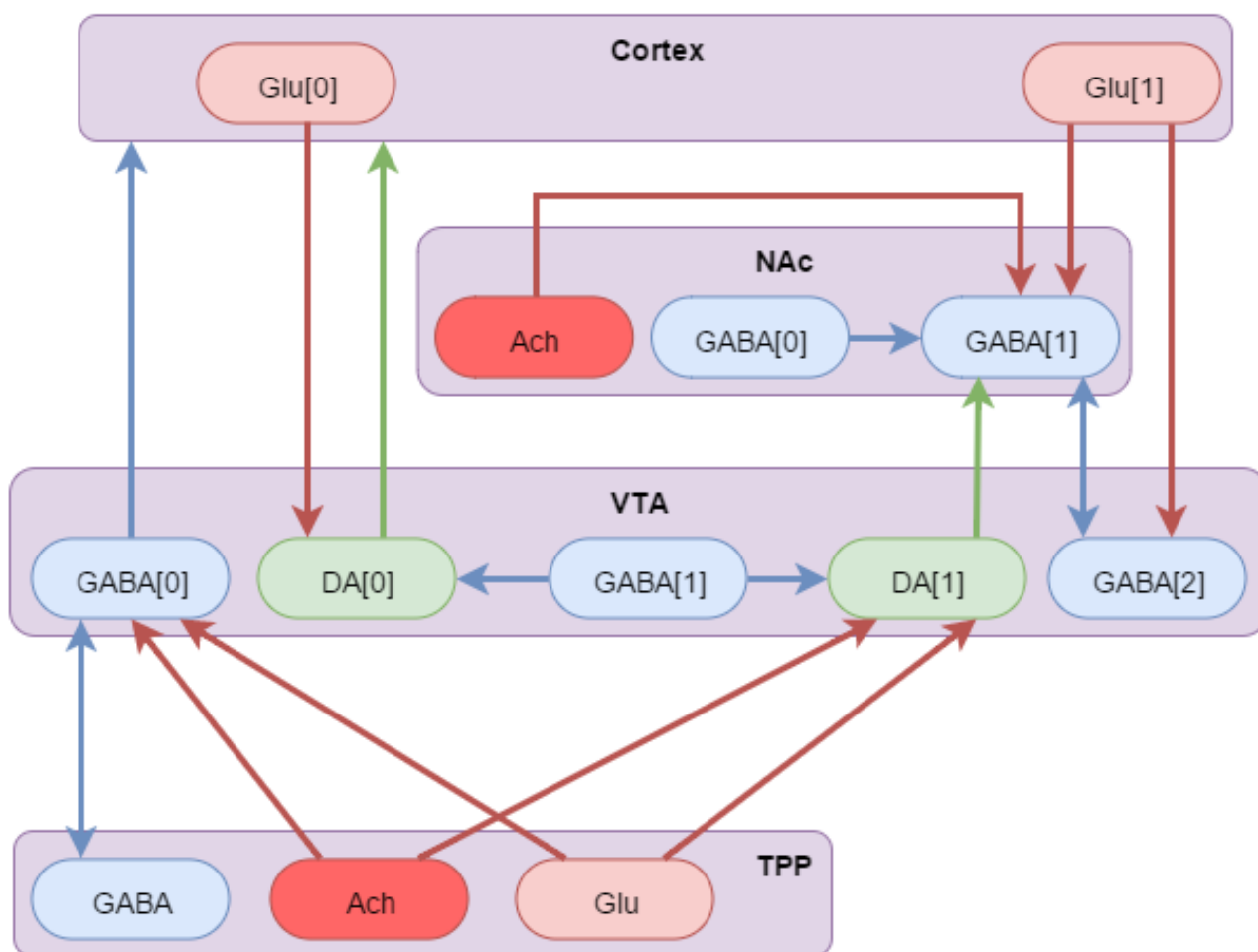


Рис. 1. Мезокортилимбический путь дофамина

Чтобы программный моделирующий комплекс смог распознать данное схематическое изображение участка головного мозга с последующим его моделированием, нужно представить данную схему в описанной структуре, а также составить легенду, позволяющую однозначно интерпретировать элементы схемы в модельную область. Ресурс draw.io имеет возможность экспортировать данную в схему в xml-файл.

Из схемы видно, что основными её компонентами являются участки головного мозга, рецепторы нейрорегуляторов и связи между этими рецепторами. Каждый элемент в XML-представлении имеет схожую нотацию, элемент, представляющий участок головного мозга VTA, изображен на рис. 2, рецептор DA[1] из VTA представлен на рис. 3, а связи между рецепторами – на рис. 4.

```
1 <mxCell id="58" value="VTA" style="..." parent="144"
2     vertex="1">
3     <mxGeometry x="11" y="4" width="229" height="206"
4         as="geometry"/>
5 </mxCell>
```

Рис. 2. XML-представление участка VTA

```
1 <mxCell id="62" value="DA[1]" style="plain-green"
2     parent="144" vertex="1">
3     <mxGeometry x="134.4545454545455"
4         y="147.409090909091"
5         width="94.09090909091"
6         height="38.181818181819"
7         as="geometry"/>
8 </mxCell>
```

Рис. 3. XML-представление рецептора DA [1]

```
1 <mxCell id="255"
2     style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;"
3     parent="261"
4     source="203"
5     target="203"
6     edge="1">
7     <mxGeometry relative="1" as="geometry"/>
8 </mxCell>
```

Рис. 4. XML-представление связи между рецепторами

РАЗНОВИДНОСТИ СВЯЗЕЙ

На рис. 5 изображен интеграционный путь дофамина. Схема содержит большое количество взаимосвязей между элементами, выявим их.

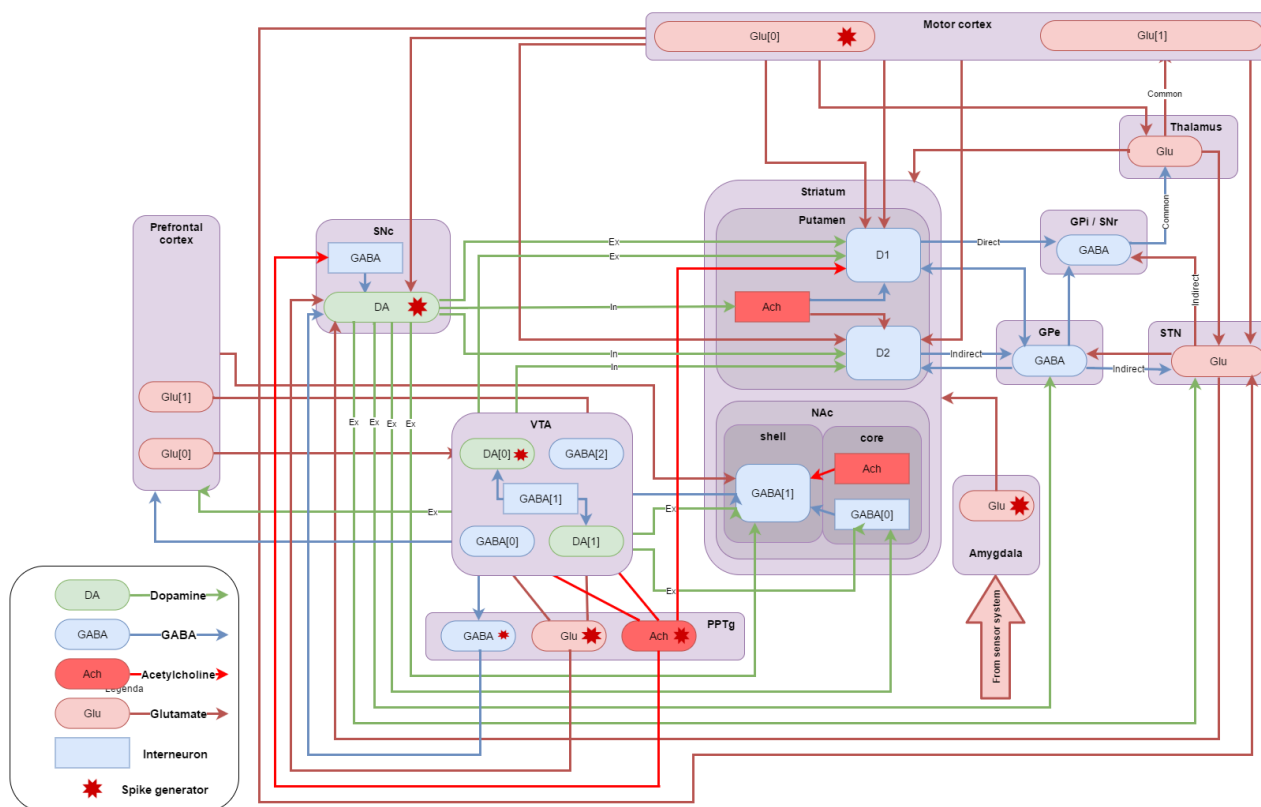


Рис. 5. Интеграционный путь дофамина

Связь рецептора и участка головного мозга

Рецептор может иметь связь с участком головного мозга. Это говорит о том, что данный рецептор имеет связь со всеми рецепторами из этого участка.

Связь участка головного мозга к рецептору

На рис. 7 выделена связь между Префронтальной корой (Prefrontal cortex) и γ -аминомасляной кислотой (GABA[1]) из прилежащего ядра. Это означает, что все рецепторы из Префронтальной коры имеют связь с рецептором γ -аминомасляной кислоты.

Связь участка головного мозга к головному мозгу

На рис. 5 такая связь отсутствует, но она может присутствовать на других схемах. Она будет означать, что все рецепторы из одного участка соединены со всеми рецепторами из другого.

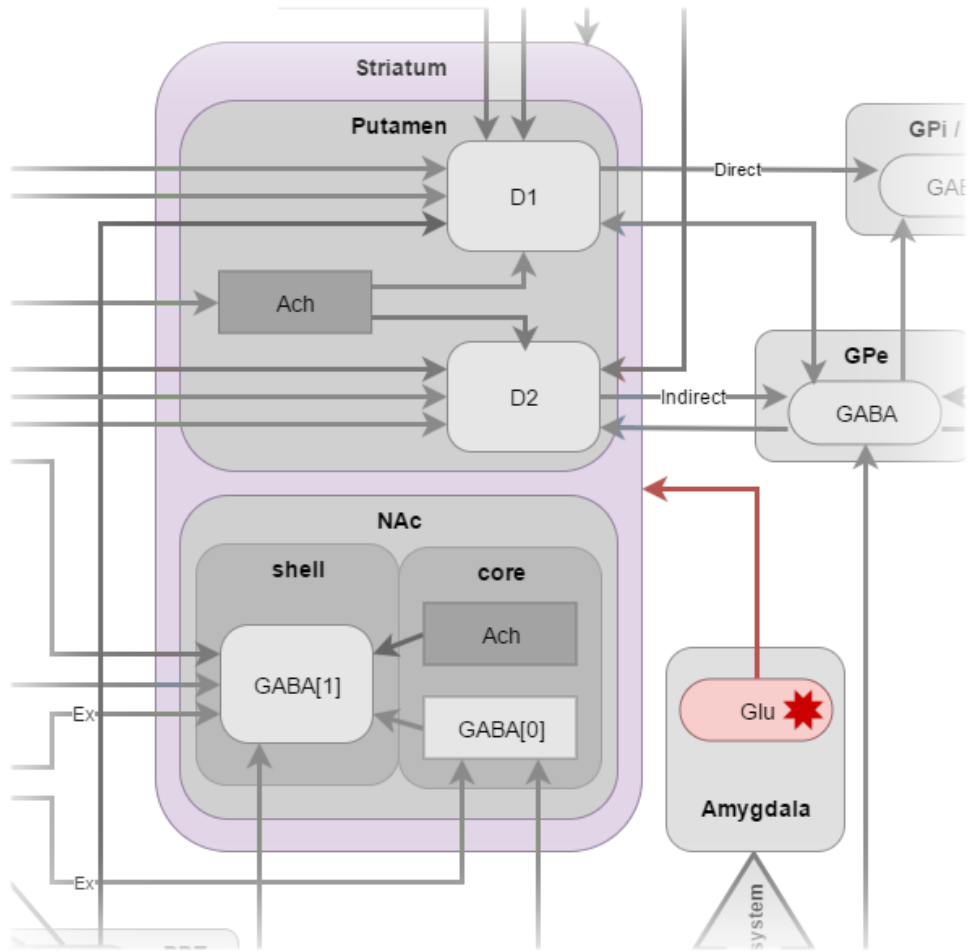


Рис. 6. Связь рецептора и участка головного мозга

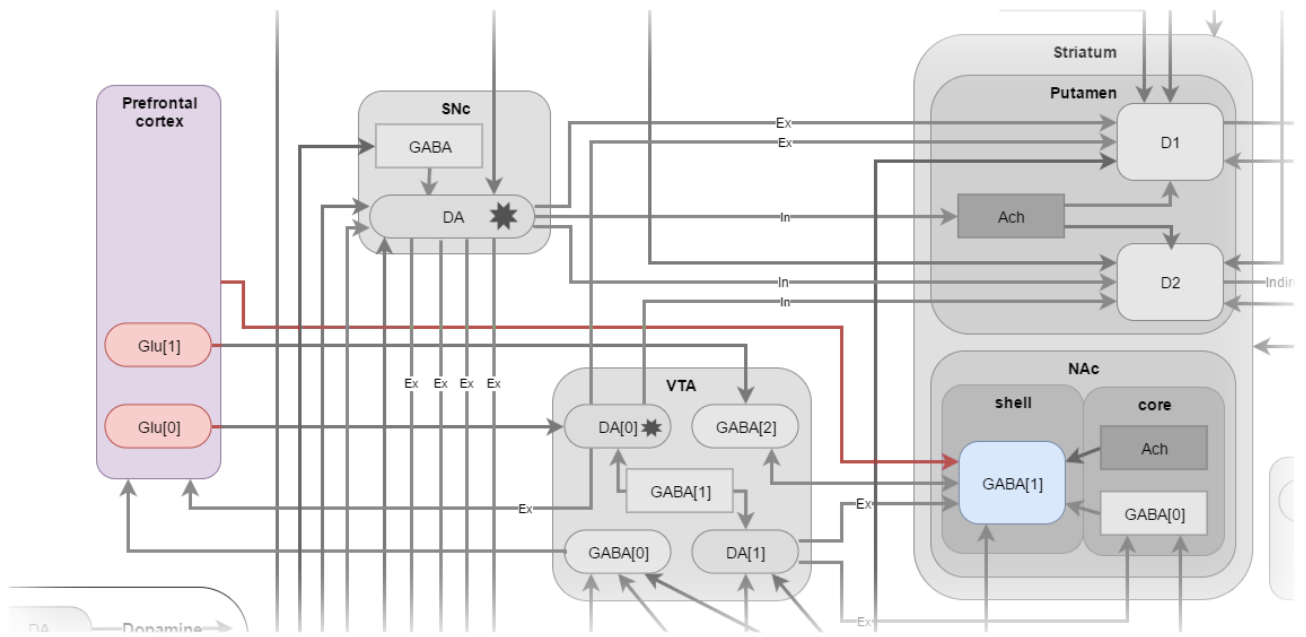


Рис. 7. Связь участка головного мозга и рецептора

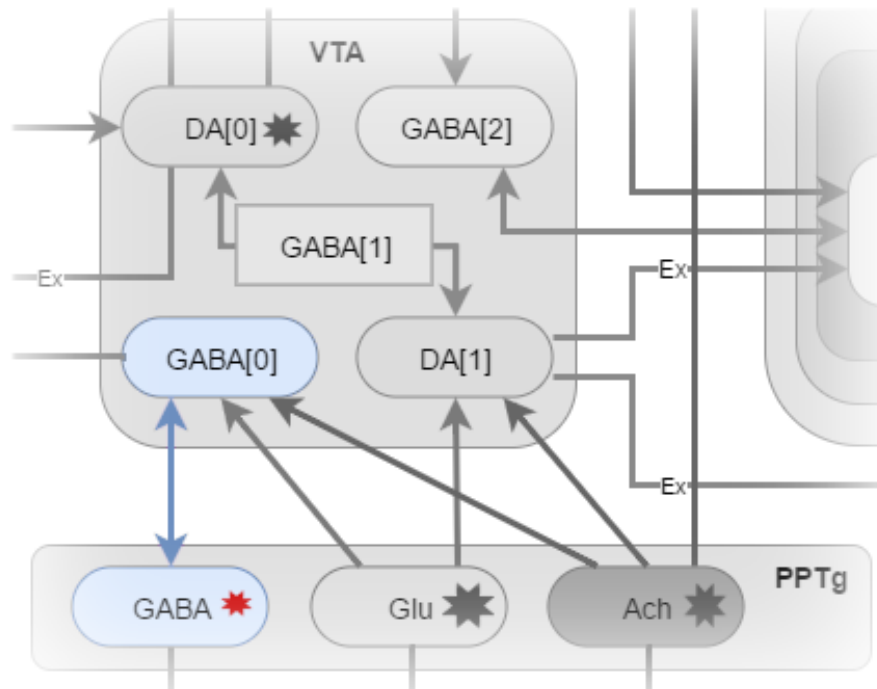


Рис. 8. Двухнаправленные связи

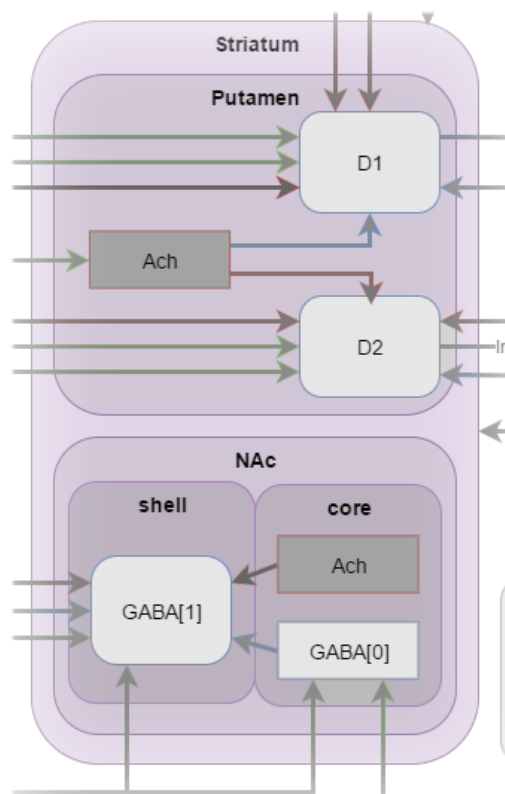


Рис. 9. Вложенные участки головного мозга

Двусторонние связи

На рис. 8 изображено двустороннее соединение рецепторов γ -аминомас-

ляных кислот (GABA[0] и GABA) из Вентральной области покрышки (VTA) и Педункулопонтинного тегментального ядра (PPTg). Это означает, что влияние рецепторов может быть двунаправленным, и это нужно учесть при создании моделей.

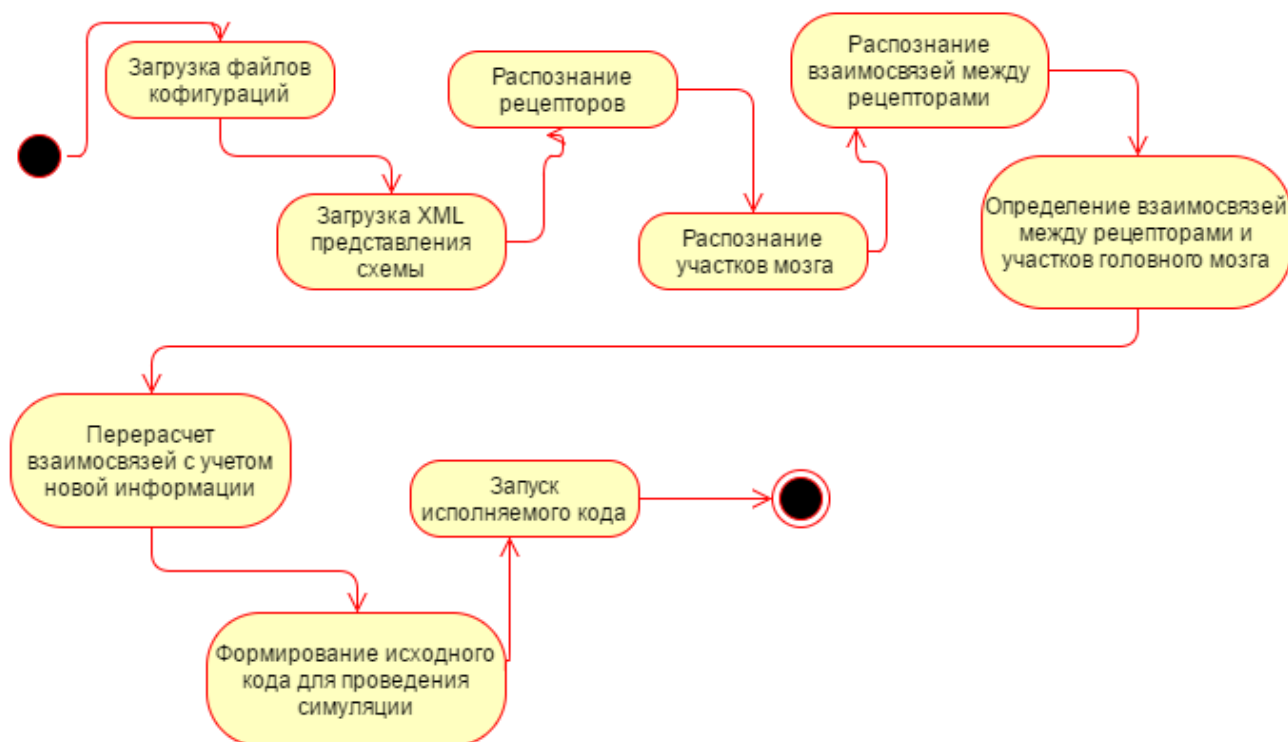


Рис. 10. Диаграмма деятельности

Вложенность участков мозга друг в друга

Участки головного мозга могут быть вложены друг в друга. Нам нужно обработать эту информацию, поскольку производится определение принадлежности рецептора конкретному участку мозга.

На рис. 9 изображено Полосатое тело (Striatum), которое содержит в себе Путамен (Putamen) и Префронтальную кору (NAc). Префронтальная кора состоит в свою очередь еще из несколько частей. Это означает, что при составлении модели данных нужно учитывать эту особенность вложений.

Основными связями в схемах могут выступать связи «рецептор–рецептор», «рецептор–участок мозга», «участок мозга–рецептор». Связи могут быть дву- или однонаправленными. Участки головного мозга обладают свойством вложенности.

ДИАГРАММА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Определив основные компоненты описанной структуры и различные случаи их компоновки, составим диаграмму деятельности, которая наглядно представит алгоритм преобразования описанной структуры в исполняемый код для моделирования. Одним из первоначальных этапов является загрузка файлов конфигураций, основными из них являются `receptorsCount.properties`, `connectionWeight.properties`, `brainRegionsNames.list`, `receptorsNames.list` и `generatorConfig.json`.

```
1 ...
2 reticularformation_5HT=10
3 substantianigra_5HT=10
4 nucleusaccumbens_5HT=10
5 Thalamus_5HT=10
6 ...
```

Рис. 11. Структура файлов `properties`

Файлы `receptorsCount.properties` и `connectionWeight.properties` представляют собой обычные текстовые документы в формате «ключ–значение», где ключом является составное имя, состоящее из названий участка мозга и рецептора, соединенных с помощью символа подчеркивания. Значением является число. В файле `receptorsCount.properties` оно означает количество нейронов в данном рецепторе, а в файле `connectionWeight.properties` – все связи этого рецептора.

Файлы `brainRegionsNames.list`, `receptorsNames.list` используются для обеспечения гибкости системы. В файле `brainRegionsNames.list` хранятся все названия участков головного мозга, которые присутствуют на схеме, а в файле `receptorsNames.list` – все названия рецепторов.

```
1 ...
2 reticularformation
3 substantianigra
4 nucleusaccumbens
5 Thalamus
6 ...
```

Рис. 12. Структура файла `receptorsNames.list`

Файл `generatorConfig.json` – конфигурационный файл для настройки начального моделирования участка головного мозга.

```
1 {
2   "Thalamus_5HT": {
3     "name": "Thalamus_HT5",
4     "startTime": 400,
5     "stopTime": 600,
6     "rate": 250,
7     "coef_part": 1
8   }
9 }
```

Рис. 13. Структура файла generatorConfig.json

Загрузка XML-представления схемы

Для загрузки в XML используется технология JAXB (Java Architecture for XML Binding), которая позволяет ставить в соответствие Java-классы и XML файлы. Это дает возможность подгружать файл со схемой сразу в объекты классов программы и манипулировать далее с самими объектами.

Распознавание рецепторов и участков головного мозга

Оба эти этапа имеют общий принцип. XML-модель рецептора и участка головного мозга обладают полем "value", в котором хранится текстовое значение. Значение этого поля проверяется на наличие в словарях brainRegionsNames.list и receptorsNames.list. Если оно найдено в каком-то из словарей, то ему назначается модель в зависимости от словаря, в котором оно было найдено; в противном случае элемент игнорируется.

Распознавание взаимосвязей между рецепторами

На данном этапе определяются соединения между рецепторами. Отличительной чертой элементов взаимосвязей от элементов рецепторов или участков головного мозга является наличие у них двух дополнительных полей: "source" и "target". Это позволяет определять их однозначно. Стоит отметить, что эти поля могут ссылаться как на участок мозга, так и на отдельный рецептор, это вносит небольшую сложность, которую мы будем преодолевать чуть позже.

Определение взаимосвязей между рецепторами и участками головного мозга

На этапе распознавания взаимосвязей между рецепторами связи могут указывать на участок головного мозга; это значит, что связь указывает на все рецепторы в этом участке. Поэтому важно знать, какие рецепторы находятся внутри

участка. Для участков мозга без вложений это делается путем сравнения поля “parent” в элементах участка мозга и рецептора. Если значения у рецептора и участка мозга совпадают, это означает, что этот рецептор находится в данном участке.

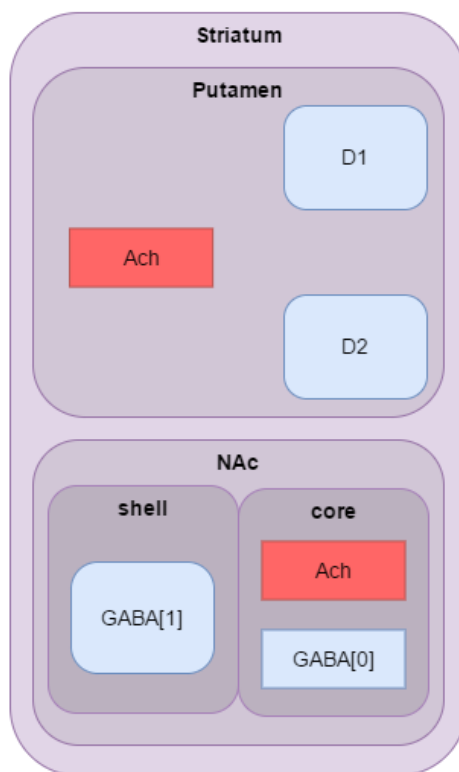


Рис. 14. Участок головного мозга Striatum

Иначе обстоит дело с многоуровневым вложением, например, с участком Striatum (рис. 14): все элементы имеют одинаковое значение поля “parent”, но Ach из участка core в NAc не принадлежит участку Putamen. Для решения этой проблемы используются поля элементов “x”, “y”, “height”, “wi “x”, “y” – это относительные координаты от верхнего левого угла главного родителя – Striatum. А “height”, “width” – длина и ширина элемента соответственно. Зная эти параметры, можно определить 4 крайние точки элемента. Исходя из них, определяем, лежит ли одна фигура в другой, и чем ближе расположены точки вложенной фигуры к фигуре, которая содержит вложение, тем более вероятно, что это фигура является родителем.

Формирование исходного кода для проведения симуляции



Рис. 15. Логотип фреймворка реалистичных сетей NEST

В качестве средства модуляции используется технология The Neural Simulation Tool (NEST) (рис. 15), которая базируется на следующей структуре (рис. 16).

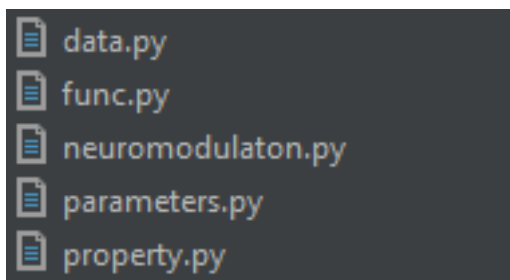


Рис. 16. Структура проекта NEUCOGAR

Основные файлы, которые подвержены изменению, – это `data.py` (файл, который хранит данные о каждом рецепторе: количестве, модели, типе) и `neuromodulaton.py` (файл, хранящий связи рецепторов между собой; он является исполняемым). Файл `data.py` (рис. 17) содержит кортежи с найденными участками мозга, а также ключи к этим кортежам, идентифицирующие рецепторы. А в кортежах хранятся параметры рецепторов, содержащихся в них: название, количество нейронов в этом рецепторе, модель нейрона, массив идентификаторов нейронов.

```
1 lateral_cortex = (  
2     {  
3         'Name': 'lateral_cortex[lateral_cortex_HT5]',  
4         'NN': 1000,  
5         'Model': 'iaf_psc_alpha',  
6         'IDs': nest.Create('iaf_psc_alpha', 1000)  
7     },  
8 )  
9 lateral_cortex_HT5 = 0
```

Рис. 17. Структура файла `data.py`

Файл neuromodulaton.py (рисунки 18–20) содержит связи между двумя рецепторами в следующем виде:

```
1 connect(  
2     lateral_cortex[lateral_cortex_HT5],  
3     DR[DR_HT5], syn_type=DĀ_ex,  
4     weight_coef=1.000000000  
5 )
```

Рис. 18. Структура файла neuromodulaton.py

Функция connect определена в файле func.py и позволяет соединять рецепторы между собой. Первый из параметров – сами рецепторы из файла определен data.py, второй параметр (syn_type) – интерпретация связи между рецепторами, она указывается в схеме как цвет стрелки между рецепторами и определяется легендой самой схемы. Последний параметр (weight_coef) определяет силу связи между рецепторами и берётся из файла настройки connectionWeight.properties. Файл neuromodulaton.py содержит также настройки истоков генерации модуляции – генераторы в следующем виде.

Функция connect_generator (рис. 19) определена в файле func.py, она позволяет рецептору стать инициатором активности. Первым параметром указывается рецептор, определенный в файле data.py, вторым – время начала его активности, третьим – время окончания его активности, последними – коэффициенты для этого генератора.

```
1 connect_generator(  
2     Thalamus[Thalamus_HT5],  
3     startTime=400.000000000,  
4     stopTime=600.000000000,  
5     rate=250.000000000,  
6     coef_part=250.000000000  
7 )
```

Рис. 19. Структура файла neuromodulaton.py

Все настройки берутся из файла конфигурации generatorConfig.json. Последнее, что содержится в файле neuromodulaton.py, – это конфигурация измерительных моделей, которые позволяют получить результат проведенного моделирования. Функции connect_decetor и connect_multimeter определены в файле func.py,

они позволяют отслеживать состояние рецептора во время проведения моделирования.

```
1 connect_detector(lateral_cortex[lateral_cortex_HT5])  
2 connect_multimeter(lateral_cortex[lateral_cortex_HT5])
```

Рис. 20. Структура файла neuromodulaton.py

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА

В качестве языка программирования при реализации системы был выбран язык Java. Для моделирования во фреймворке NEST использован язык программирования Python. В качестве сред разработки для Java и Python выбраны IntelliJ Idea и PyCharm соответственно.

NEST является симулятором для нейронных сетевых моделей, который фокусируется на динамике, размере и структуре нейронных систем, а не на точной морфологии отдельных нейронов. Он идеально подходит для сетей нейронов любого размера: модель обработки информации, например, в визуальной или слуховой коре млекопитающих, модель динамики активности сети, например, ламинарные, корковые сети или сбалансированные случайные сети, модель обучения и пластичности. NEST представлен как открытый, расширяемый код, в него могут быть добавлены новые модели нейронов, синапсов и устройства [1]. NEST можно использовать и как интерпретатор для языка программирования Python (PyNEST), и как самостоятельное приложение [10].

PyNEST предоставляет собой набор команд для интерпретатора Python, который дает доступ к ядру моделирования. С помощью этих команд можно описать и запустить моделирование сети. Также имеется возможность дополнить PyNEST с помощью PyNN – симулятора независимого набора Python-команд для разработки и запуска нейронного моделирования. В то время, как описание моделирования происходит в среде Python, фактическое моделирование осуществляется в рамках оптимизированного ядра NEST, написанного на языке C++. Моделирование NEST пытается следовать логике электрофизиологического эксперимента, который происходит внутри компьютера, с той разницей, что исследуемая нейронная система должна быть определена экспериментатором [10].

JSON является открытым стандартом, который использует текст для передачи объектов данных, состоящих из пар «атрибут–значение». Это наиболее распространенный формат данных, который обладает широким спектром применения: используется для асинхронного взаимодействия браузера и сервера, а также в качестве конфигурационных файлов, в значительной степени заменяет XML, который используется в AJAX.

Extensible Markup Language (XML) является языком разметки, который определяет набор правил для кодирования документов в формате, одновременно удобном для восприятия человеком и машиной. Он определяется консорциума W3C XML 1.0 и является свободным открытым стандартом.

Maven является инструментом для автоматизации сборки проектов, используется в основном для проектов Java. Он описывает структуру проекта и зависимости всего проекта. В отличие от предшествующих инструментов, таких, как Apache Ant, он использует соглашения для процедуры сборки. Файл XML описывает программное обеспечение сборки проекта, его зависимости от других внешних модулей и компонентов, порядок сборки, каталоги и необходимые плагины. Он поставляется с заранее определенными целями для выполнения таких задач, как компиляция кода и его упаковки. Maven динамически загружает Java-библиотеки и Maven-плагины из одного или нескольких хранилищ, таких, как Maven 2 Central Repository, и сохраняет их в локальном кэше [13].

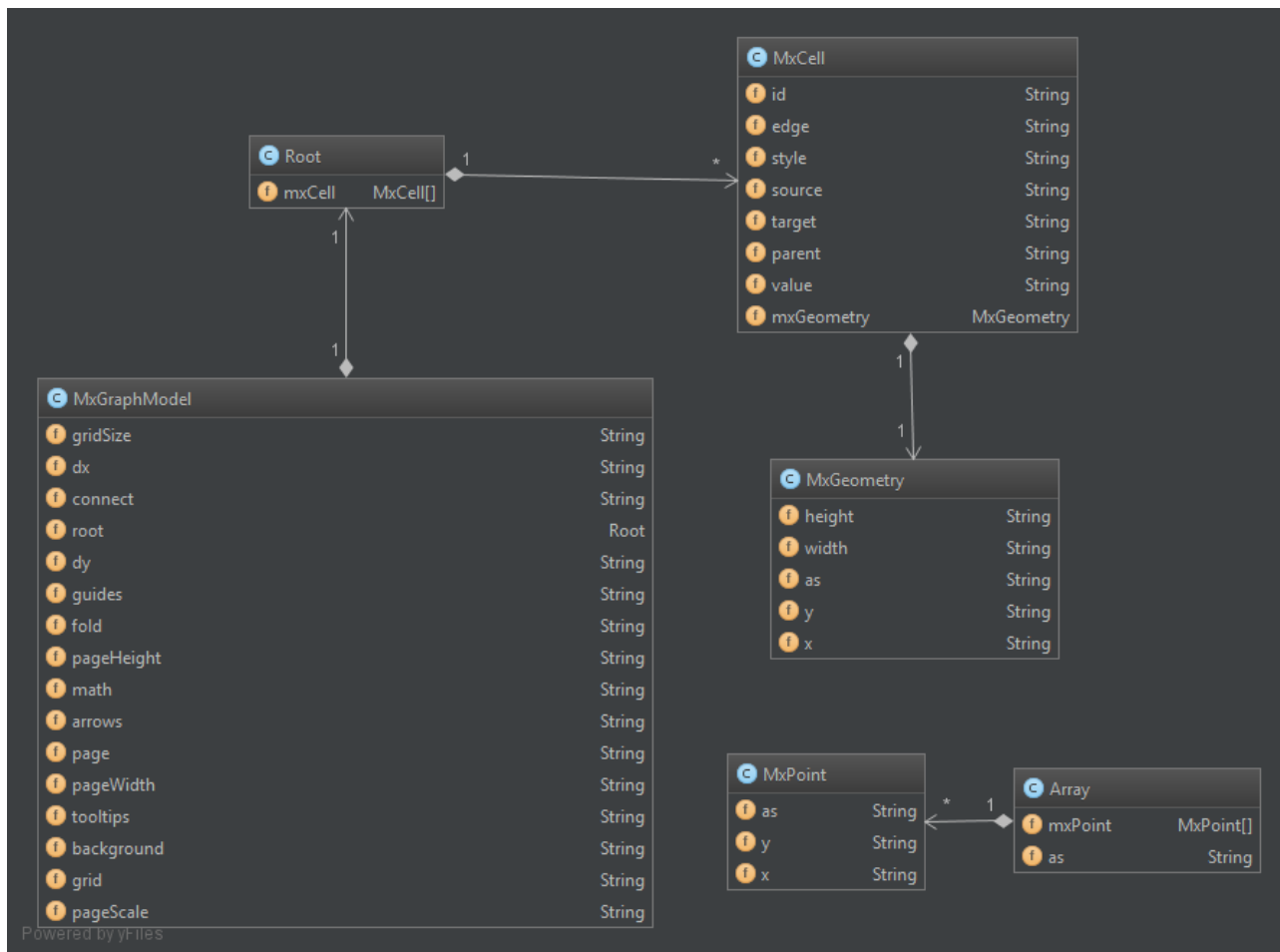


Рис. 21. Модели классов описанной структуры

РЕАЛИЗАЦИЯ

Первым этапом реализации является преобразования xml-представления схемы в модельную область java-программы. Такое преобразование можно выполнить с помощью технологии JAXB и воспользоваться онлайн сервисом. По входящей xml-модели были получены следующие структуры классов (рис. 21). Ключевую роль в этих моделях играет структура `MxCell`: именно в зависимости от значений полей этой структуры определяется тип элемента.

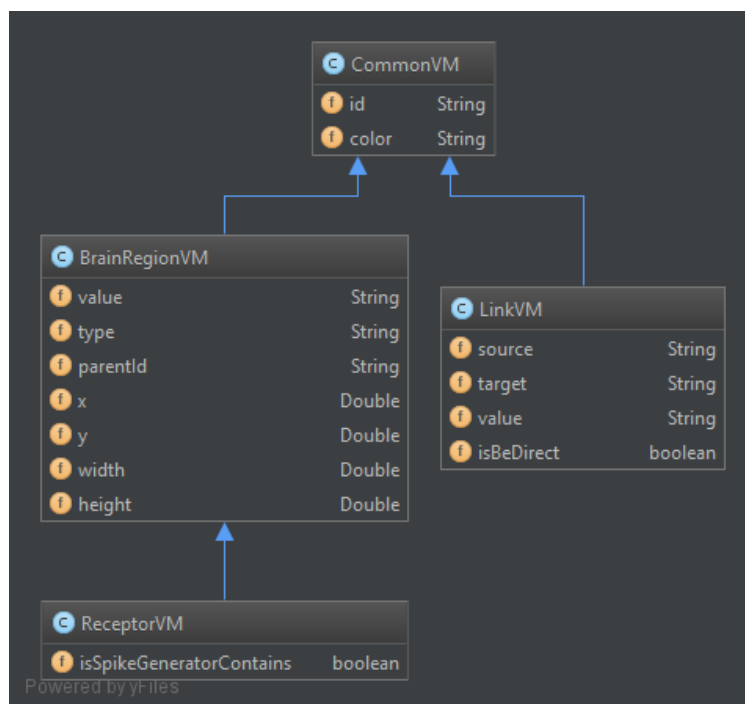


Рис. 22. Модели VM классов описанной структуры

Рассмотрим значение основных полей этой структуры: **id** – уникальный идентификатор, присваиваемый каждому элементу, **value** – текстовое значение элемента, **parent** – идентификатор родителя, **source** – идентификатор начала указателя, **target** – идентификатор конца указателя.

Если элемент содержит value, значит, это отдел головного мозга или группа рецепторов, и если у последних одинаково значение поля parent, то они находятся в одном отделе головного мозга. Элементы, содержащие поля source и target, являются указателями между элементами.

Для удобства работы и дальнейшей поддержки кода было принято решение преобразовывать модель MxCell в промежуточную структуру: **BrainRegionVM** – если это участок головного мозга, **LinkVM** – если это указатель между элементами, **ReceptorVM** – если это рецептор. Так как структуры имеют общие поля, они были вынесены в родительский класс CommonVM и унаследованы от него.

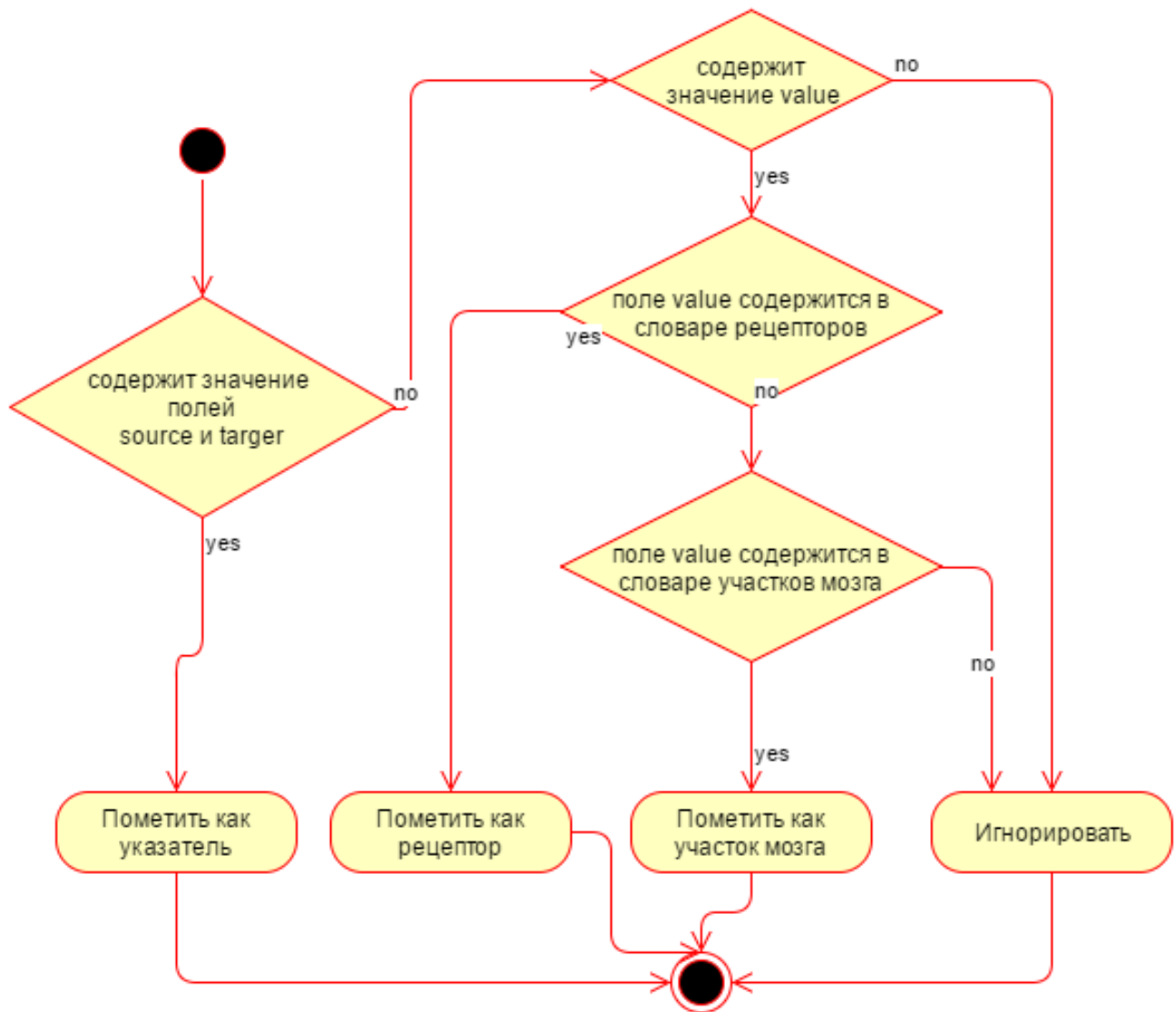


Рис. 23. Схема алгоритма определения элемента

Для однозначного преобразования структуры MxCell в вышеописанные модели был использован следующий алгоритм.

После того, как были определены основные элементы схемы, идентифицируются их взаимосвязи. Они проецируются в новую модель, которая в дальнейшем используется при моделировании.

Модель Receptor интерпретируется как рецептор со следующими полями: **id** – уникальный идентификатор, **BrainRegion** – ссылка на регион, в котором находится данный рецептор, **count** – количество нейронов в этом рецепторе, **type** – тип рецептора, **isSpikeGeneratorConnected** – флаг подключения генератора к этому рецептору, **connectedTo** – указатели на все рецепторы, с которым он соединен.

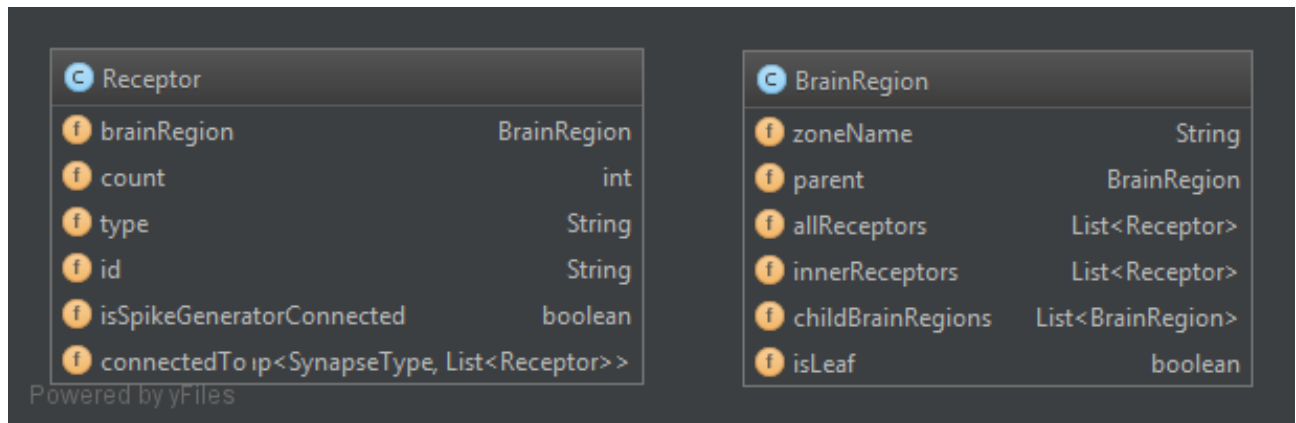


Рис. 24. Конечная модель данных

Модель BrainRegion интерпретируется как участок мозга со следующими полями: **zoneName** – имя участка, **parent** – ссылка на родителя, **allReceptors** – все рецепторы, расположенные внутри этого участка со вложениями другими участками, **innerReceptors** – рецепторы, расположенные только внутри этого участка, **childBrainRegions** – список указателей на вложенные участки, **isLeaf** – флаг окончания вложенности.

После создания списка всех описанных моделей формируем модели для проведения симуляции процесса внутри головного мозга с помощью технологии NEST. Чтобы сформировать эти данные, используем шаблоны (Рис. 25). Аналогичным образом заполняется шаблон файла neuromodulaton.py. Конечным результатом работы системы являются 5 выходных файлов, готовых для запуска на языке Python интерпретатором PyNest в фреймворке NEST.

```

1 import nest
2 import numpy as np
3
4 nest.ResetKernel()
5 nest.SetKernelStatus(
6     {'overwrite_files': True,
7     'local_num_threads': 4, 'resolution': 0.1
8     })
9
10
11 %1$2s

```

Рис. 25. Шаблон файла data.py

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана система, позволяющая проецировать результат исследований нейромодуляционных регуляций эмоционального цикла в участках головного мозга, выраженный в схеме на вычислительную архитектуру для проверки гипотез и анализа полученных результатов в ходе проведения моделирования на фреймворке реалистичных сетей NEST.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Максим Таланов*. Эмоциональные вычисления. URL: <http://postnauka.ru/video/45297>.
2. *Raine A., Yang Y.* The neuroanatomical bases of psychopathy. Handbook of Psychopathy. 2006. P. 278–295.
3. *Franks D.D.* The neuroscience of emotions. Handbook of the Sociology of Emotions. Springer, 2006. P. 38–62.
4. *Gottfried J.A., Haber S.N.* Neuroanatomy of reward: a view from the Ventral Striatum. 2011. 53 p.
5. *Minsky Marvin.* The Emotion Machine: Commonsense Thinking, Artificial Intelligence, and the Future of the Human Mind. Simon and Schuster, 2007. P. 29.
6. *Kelly V.C.* A primer of affect psychology // The Art of Intimacy and the Hidden Challenge of Shame. 2009. P. 158–191.
7. *Lövheim H.* A new three-dimensional model for emotions and monoamine neurotransmitters // Medical Hypotheses. 2012. V. 78, No 2. P. 341–348.
8. Wikipedia Java. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Java>.
9. Wikipedia Python. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Python_\(programming_language\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Python_(programming_language)).
10. *Gewaltig Marc-Oliver, Diesmann Markus.* NEST (NEural Simulation Tool) // Scholarpedia. 2007. V. 2, No 4. P. 1430. URL: [http://www.scholarpedia.org/article/NEST_\(NEural_Simulation_Tool\)](http://www.scholarpedia.org/article/NEST_(NEural_Simulation_Tool)).
11. Wikipedia JSON. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/JSON>.
12. Wikipedia XML. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/XML>.
13. Wikipedia Apache Maven. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Apache_Maven.

THE LOW LEVEL IMPLEMENTATION OF NORADRENALINE PATHWAYS VIA SPIKING NEURAL NETWORKS

V. Pishchulin¹, M. Talanov²

Kazan (Volga Region) Federal University

¹dalv6666@gmail.com; ²max.talanov@gmail.com

Abstract

The noradrenaline pathways plays important role in the emotional appraisal and feedback, as well as decision-making. We present the software system capable of automatic generation of PyNEST code based on high-level description of neuronal pathways.

Keywords: NEST, NeuCogAR, Lövheim's cube, noradrenaline

REFERENCES

1. Talanov M. Emotional computing. URL: <http://postnauka.ru/video/45297>.
2. Raine A., Yang Y. The neuroanatomical bases of psychopathy. Handbook of Psychopathy. 2006. P. 278–295.
3. Franks D.D. The neuroscience of emotions. Handbook of the Sociology of Emotions. Springer, 2006. P. 38–62.
4. Gottfried J.A., Haber S.N. Neuroanatomy of reward: a view from the Ventral Striatum. 2011. 53 p.
5. Minsky Marvin. The Emotion Machine: Commonsense Thinking, Artificial Intelligence, and the Future of the Human Mind. Simon and Schuster, 2007. P. 29.
6. Kelly V.C. A primer of affect psychology // The Art of Intimacy and the Hidden Challenge of Shame. 2009. P. 158–191.
7. Lövheim H. A new three-dimensional model for emotions and monoamine neurotransmitters // Medical Hypotheses. 2012. V. 78, No 2. P. 341–348.
8. Wikipedia Java. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Java>.
9. Wikipedia Python. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Python_\(programming_language\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Python_(programming_language)).
10. Gewaltig Marc-Oliver, Diesmann Markus. NEST (NEural Simulation Tool) //

Scholarpedia. 2007. V. 2, No 4. P. 1430. URL: [http://www.scholarpedia.org/article/NEST_\(NEural_Simulation_Tool\)](http://www.scholarpedia.org/article/NEST_(NEural_Simulation_Tool)).

11. Wikipedia JSON. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/JSON>.
12. Wikipedia XML. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/XML>.
13. Wikipedia Apache Maven. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Apache_Maven.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



ПИЩУЛИН Владислав – выпускник 2016 года Высшей школы информационных технологий и информационных систем Казанского (Приволжского) федерального университета.

PISHCHULIN Vladislav, bachelor of Higher School Information technologies and systems of Kazan Federal University.

email: dalv6666@gmail.com



ТАЛАНОВ Максим Олегович – кандидат технических наук, руководитель Лаборатории машинного понимания Высшей школы информационных технологий и информационных систем Казанского (Приволжского) федерального университета (КФУ).

Maxim Olegovich TALANOV, PhD, head of Machine Cognition Lab in Higher Institute of Information Technology in Kazan (Volga region) Federal University.

email: max.talanov@gmail.com

Материал поступил в редакцию 15 мая 2016 года

УДК 551.577.2+614.8.013

РАЗРАБОТКА СИМУЛЯЦИОННОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЗРУШЕНИЙ ОТ НАВОДНЕНИЙ С МНОГОФАКТОРНЫМ УЧЁТОМ

Л.З. Римова¹, В.В. Кугуракова², Р.С. Якушев³

Казанский (Приволжский) федеральный университет

¹laysanitis@gmail.com; ²vlada.kugurakova@gmail.com; ³sultanich@rambler.ru

Аннотация

Рассматриваются проблемы разработки приложения для моделирования разрушений от наводнений с учетом ландшафта, типов почв, поселенческих инфраструктур, коэффициентов износа плотин, заградительных построек в зоне затопления и других факторов. Разработаны методы оценки опасности наводнения и предложены подходы для моделирования ситуаций, ведущих к снижению потенциального ущерба.

Ключевые слова: 3D, виртуальная реальность, симуляция, моделирование чрезвычайных ситуаций, наводнение

ВВЕДЕНИЕ

Человечество всегда находилось и продолжает находиться в зависимости от состояния водных ресурсов: недостатка питьевой воды и ее качества, наконец, избытка воды при наводнениях. Хотя в течение только XX-го века в Центральной Европе прошло огромное количество наводнений, из года в год ущерб от наводнений только увеличивается. Общая площадь паводкоопасных зон на Земном шаре составляет 3 миллиона квадратных метров с населением в 1 миллиард человек. Как известно, убытки от наводнений колоссальные, в некоторые годы они достигают свыше 200 миллиардов долларов.

Программных продуктов, которые дают полный анализ картины наводнения, в частности, учитывающих свойственные затапливаемым территориям типы почв и их впитываемость, несмотря на то, что это всемирная проблема, нет. Рассмотренные аналоги являются больше примерами моделирования наводнения,

а не симуляционными средами. Для прогнозирования опасности наводнений в конкретной местности необходимо рассмотреть особенности ландшафта, свойственные её территориям типы почв, статистические данных о погоде, в частности, о годовых осадках, карте населения. Для реализации приложения необходимо разработать математическую модель прогнозирования наводнений, модель оценки риска разрушений от наводнения, визуализацию симуляции наводнения этой местности и демонстрацию процесса впитывания влаги свойственными её территориям почвами.

СУЩЕСТВУЮЩЕЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ НАВОДНЕНИЙ

Одним из симуляторов наводнений является программный продукт TUFLOW [3], он представляет собой мощный движок, который обеспечивает одномерное и двумерное решения уравнений свободной поверхности потока для имитации наводнений и распространения приливной волны, предлагая решать следующие задачи: разливы рек, включая затопление рек и ручьев со сложными узорами потока; городские наводнения; моделирование сети труб; штормовой прилив и затопление цунами; устьевые и прибрежные приливы.

MIKE FLOOD – другой симулятор, имеющий уникальный набор инструментов для профессионального моделирования наводнений, он включает в себя широкий выбор специализированных 1D и 2D движков моделирования наводнений, что позволяет моделировать многие ситуации – реки, поймы, наводнения на улицах, дренажные сети, прибрежные районы, плотины, дамбы и дайковые нарушения, а также любые комбинации из них. Отметим специально разработанную модель MIKE FLOOD для оценки воздействия на окружающую среду от наводнений, предоставляющую возможности для отображения динамически связанных процессов переноса загрязнения и качества воды.

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Основным источником стока во время половодья считается таяние запасов воды в снежном покрове (S). Осадки (x) во время снеготаяния в несколько раз меньше запасов воды в снежном покрове. Условия их стекания недалеки от условий стекания талых вод, потому данные виды стока суммируем и обозначим как сток талых вод (Y , мм). Осадки, выпадающие после схода снега на просыхающую

плоскость бассейна, как правило, используются на испарение (X). Хотя в дождливые годы в лесной зоне они вызывают подъемы затрат воды на спаде половодья. Дождевой сток на спаде считается с внедрением стандартной кривой спада. Сток с помощью глубочайшего подземного питания рассчитывают по величине расхода воды в конце зимы. Вследствие расчленения гидрографа стока половодья по типам водного кормления выделяют 3 основополагающие суммарного стока (в мм слоя воды): 1) сток талых вод Y (появляется вследствие таяния снега и поступления осадков периода снеготаяния), 2) дождевой сток Y_R (появляется осадками, выпадающими вследствие схода снега) и 3) подземный сток Y_u . На графике (рис. 1) видны составляющие стока весеннего половодья.

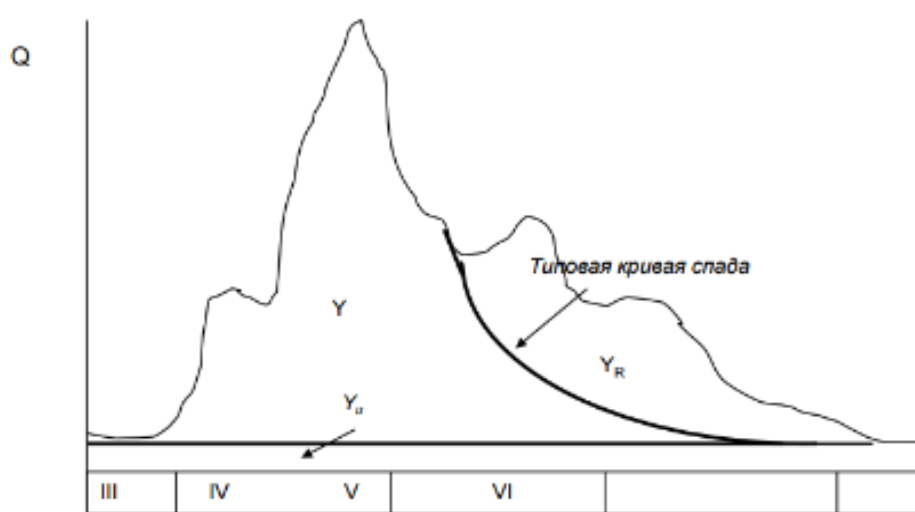


Рис. 1. Вычисление гидрографа половодья видам водного питания

При наводнении предусматриваются 4 зоны катастрофического затопления. Первая зона примыкает именно к гидросооружению или же к началу природного явления, простираясь на 6–12 км, высота волны может достигать нескольких метров. Волна характеризуется бурным потоком воды со скоростью течения 30 и даже более км/час. Время прохождения волны – 30 минут

Вторая зона – быстрого течения (15–20 км/час), ее протяженность может быть 15–25 км; время прохождения волны – 50–60 мин.

Третья зона – среднего течения со скоростью 10–15 км/час и протяженностью до 30–50 км; время прохождения волны – 2–3 часа.

Четвертая зона – слабого течения (разлива). Скорость течения может достигать 6–10 км/час. Ее протяженность будет зависеть от рельефа местности и может составить 36–70 км от гидросооружения или места начала природного явления.

Впитывание воды в почву или инфильтрация – сложный физический процесс. Скорость впитывания воды в почву зависит от ряда факторов (начальной влажности и плотности почв, водопрочности агрегатов, дренирующего действия корневой системы, напора воды, свойств фильтрующей жидкости и др.) и комплексного их воздействия. Скорость инфильтрации количественно оценивается слоем впитавшейся воды за единицу времени. Выделяют ряд зависимостей, которые влияют при определении скорости инфильтрации. Для конкретных местностей возможно будет нельзя применить расчетные формулы. Это происходит из-за множества факторов, оказывающих влияние на скорость впитывания почвы водой, и существуют различные мнения ученых, касающиеся скорости инфильтрации.

Необходимы эксперименты по отдельным местностям и получение точных коэффициентов для конкретных условий. Таким образом, водопроницаемость – способность почвы воспринимать и пропускать воду из верхних горизонтов в нижние. В процессе водопроницаемости различают впитывание и ее фильтрацию (просачивание). Впитывание – это поступление воды в почву, не насыщенную влагой; фильтрация же начинается с момента, когда большая часть пор почвы данного слоя заполнена водой.

Водопроницаемость измеряется количеством влаги, поступавшей в почву с ее поверхности. В первый период она обычно очень велика, затем уменьшается и к концу фильтрации становится постоянной. Водопроницаемость почв зависит от механического состава, наличия перегнойных веществ и степени структурности. Как известно, наилучшим просачиванием обладают песчаные почвы, наихудшим – глинистые. Также известно, что у структурных почв водопроницаемость выше, чем бесструктурных.

С целью изучения скорости впитывания и фильтрации на выбранных для исследования участках земли в почву на 5 см углубляется цилиндр, в который наливается 50 мл воды и фиксируется время фильтрации. В результате данного эксперимента были получены результаты водопроницаемости почв (рис. 2).

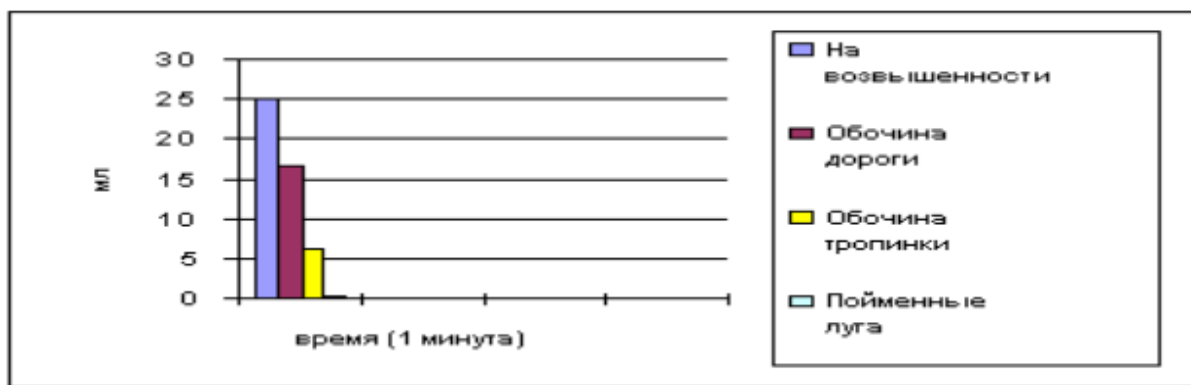


Рис. 2. Диаграмма водопроницаемости почв

Но у дороги больше песка, мелких камней, остающихся после зимней посыпки. Наименьшей проницаемостью обладают почвы пойменного луга, достаточно увлажнённые. Это сказывается и на видовом составе растительных сообществ.

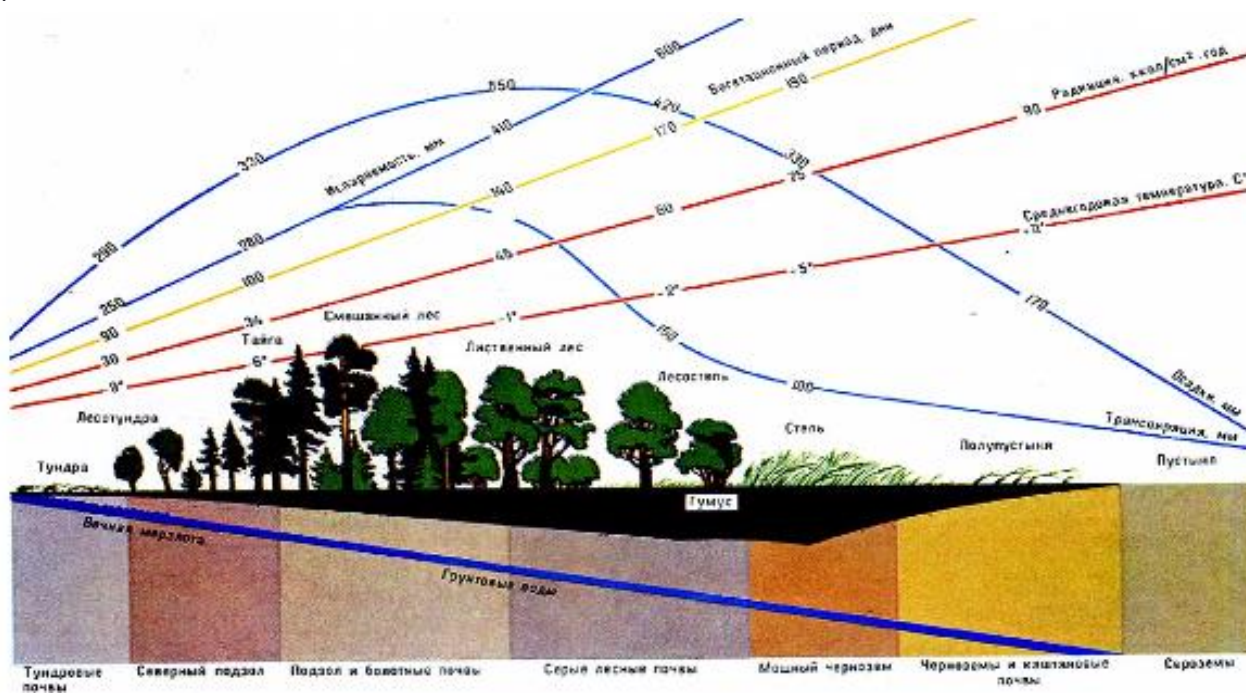


Рис. 3. Связь водопотребления растений с почвенно-климатическими факторами

Водопроницаемость лесных почв (за исключением песков) выше, чем полевых. В лесных почвах этому способствуют относительно хорошая структурность, более рыхлое сложение, ходы корней и роющих животных, лесная подстилка.

Фильтрацией называется движение свободно-гравитационной воды в грунтах в различных направлениях под воздействием гидравлического градиента

(уклона, равного потере напора на пути движения) напора. Коэффициентом фильтрации принято считать скорость фильтрации при гидравлическом градиенте, равном единице. При этом скорость фильтрации (V) прямо пропорциональна гидравлическому градиенту (J): $v = k_f * i$.

Зная скорость фильтрации, нетрудно дать определение коэффициента фильтрации: k_f (коэффициент фильтрации) – это скорость фильтрации при $i = 1$ (см/сек; м/сут). Коэффициент фильтрации для различных грунтов имеет значительный диапазон изменений, так, средние значения k_f для песков и глин может отличаться на несколько порядков: $k_{ф.песок} = n * 10^{-2}$ см/сек, $k_{ф.глина} = n * 10^{-8}$ см/сек.

Вода проникает в почву с поверхности под воздействием силы тяжести по крупным порам, параллельно рассасываясь в стороны под влиянием капиллярных явлений. Процесс восприятия воды сухой или слабо увлажнённой почвой называется впитыванием воды и характеризуется коэффициентом впитывания.

ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ

Для разработки симуляции наводнений были выбраны платформа Unity3d и язык программирования C#. Разработанная программа состоит из двух модулей: программной оболочки, предоставляющей удобный интерфейс пользователю, и программной модели, содержащей данные и методы работы. С одной стороны, без этих двух составляющих работа с программой не возможна, с другой стороны, любую из них при необходимости можно легко обновить или заменить. Опишем основные классы в программной модели.

RainController – отвечает за основные параметры симуляции (время осадков, интенсивность, скорость впитывания), на основе которых регулирует визуальное отображение выпадения осадков, уровня воды. Также в нем существует два типа настроек: пользовательские (внешние) и программные (внутренние). Пользовательские настройки отображены в меню настроек и регулируются непосредственно в процессе работы симулятора. Внутренние (множители внешних параметров, минимальный и максимальный пороги уровня воды, минимальный и максимальный уровни воды в сантиметрах и т. д.) регулируются в редакторе. Там же присутствует опция включения и выключения осадков для определения типа наводнения (осадки или паводок). Любые внутренние настройки, при необходимости, будут выведены в пользовательское подменю в следующих версиях программы.

UIController – хранит набор элементов интерфейса, а также отображает сравнение скорости впитывания влаги разной почвой. Интерфейс подключается библиотекой UnityEngine.UI.

CameraMove – отвечает за управление камерой. За основу взят интерфейс системы ввода от Unity – Input. Скрипт адаптирован под сенсорное управление, где таким же образом ловятся позиции одного (если вращать камеру) или двух касаний (для приближения/отдаления). В режиме редактора отображены детальные настройки (скорость, плавность, пороги углов поворота камеры, пороги приближения и удаления камеры).

Взаимодействие пользователя с системой осуществляется в диалоговом режиме. Основным связующим элементом разрабатываемой программы является система меню. При выборе настроек пользователь попадает в подменю, в котором определены регуляторы: времени за секунду, интенсивность осадков, всего времени. Настройки можно регулировать как до, так и во время показа наводнения. Настройки можно сохранить в любой момент, и при запуске программы они автоматически загружаются.

Программная оболочка является ответственной за управление и отображение информации, а также представление её в удобном для пользователя виде. Благодаря графическому интерфейсу обучиться работе с программой не представляет особых усилий, а настройка программы в виде регуляторов обеспечивает интуитивно-понятное функциональное объяснение их назначения.

ТЕСТИРОВАНИЕ НА ЗОННЫХ МОДЕЛЯХ

В качестве тестовых зонных моделей были выбраны две локации с разными причинами возникновения наводнения: деревня Репатово, Чекмагушевский район; Курганская область, г. Курган.

В деревне Репатово в 2015 году из-за обильных осадков произошел потоп. Наводнение началось 4 июня. Уровень воды поднялся местами до 1,82 метра. Пострадали сельские угодья, техника. Пострадавших нет (см. рис. 4). В деревне Репатово преобладают 2 типа почв: чернозем и почвы речных пойм. Чернозём обладает хорошей впитываемостью, почвы речных пойм – меньшей впитываемостью (см. рис. 5).

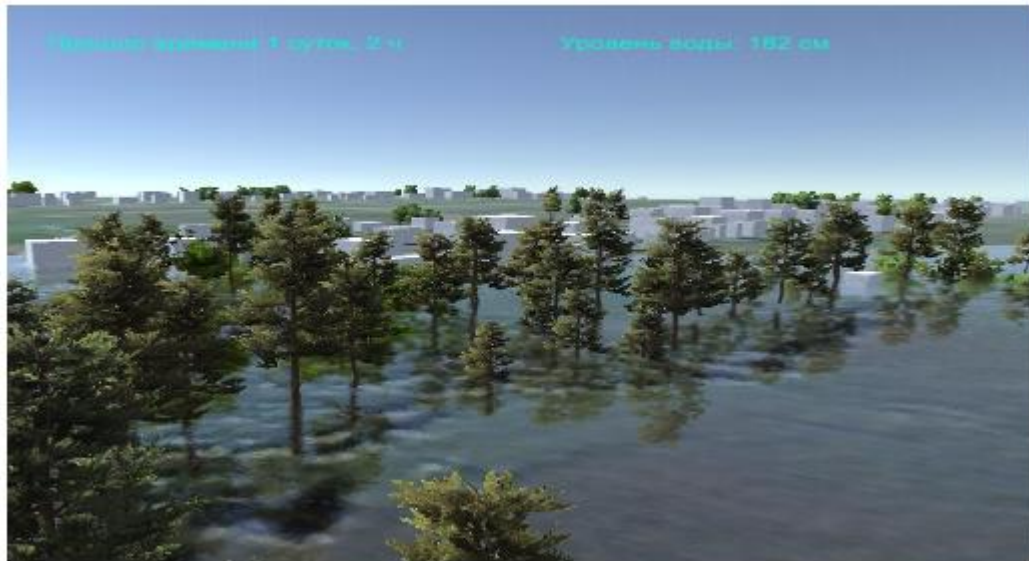


Рис. 4. Моделирование наводнения в Репатово

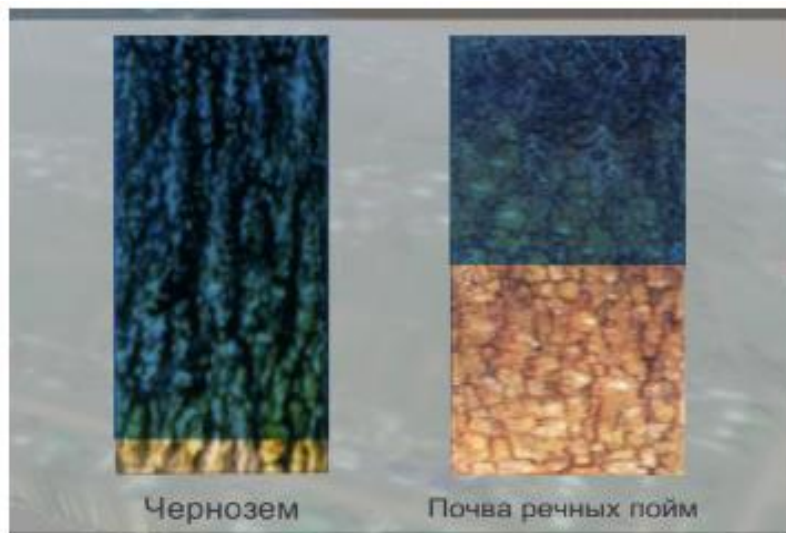


Рис. 5. Типы почв в Репатово

В 2015 году в Курганской области был наисильнейший потоп за последние 15 лет. Причинами стали весенние паводки, добавился также прорыв плотины, которую не укрепили до паводков. Были попытки укрепить дамбу посредством техники после прорыва, но результаты оказались безуспешными. В период с 23 по 30 апреля вода в реке Тобол на территории города поднялась до максимального уровня.

Рассмотрим хронику наводнения в городе Курган (рис. 6). Уровень воды достиг максимальной отметки 806 см, только 1 мая вода пошла на спад.



Рис. 6. Диаграмма хроники наводнения в городе Курган

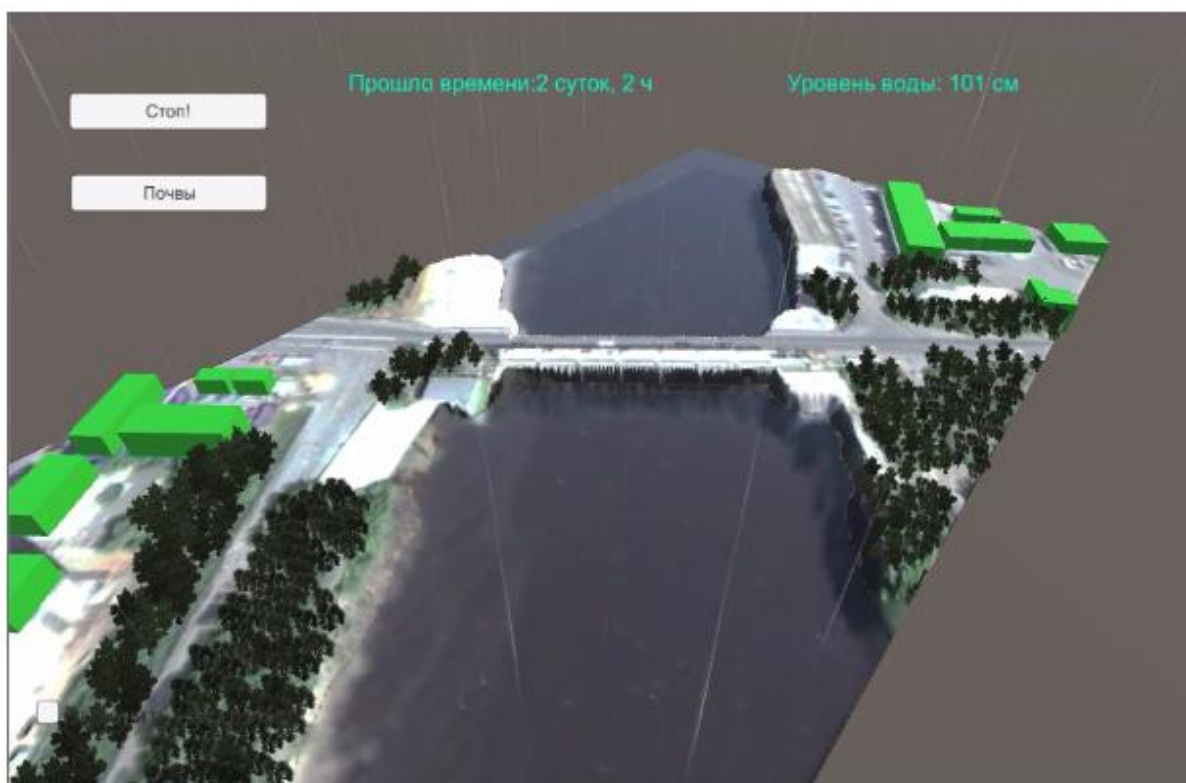


Рис. 7. Визуализация моделирования наводнения в Кургане

Почвы: наиболее распространены выщелоченные и обыкновенные чернозёмы. Местами существенную роль в почвенном покрове играют солонцы и чернозёмно-луговые почвы, встречаются лугово-чернозёмные и болотные почвы. В городе Курган преобладают боровые пески (рис. 8).

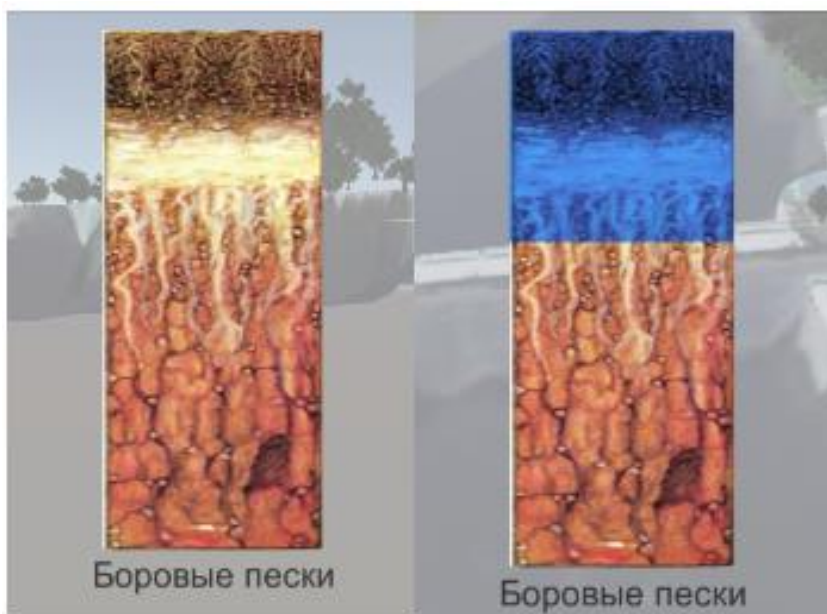


Рис. 8. Типы почв в городе Курган

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предсказание наводнений и их динамики – важная современная проблема, и мы сделали шаг в её решении. Среди достоинств разработанного симуляционного программного обеспечения отметим его гибкость и высокую конфигурируемость, позволяющую легко расширять спектр поддерживаемых ландшафтов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. TUFLOW. URL: <http://www.tuflow.com/>.
2. Защита от наводнений. URL: <https://ru.grundfos.com/industries-solutions/applications/flood-control.html>.
3. Методика моделирования волны прорыва для предотвращения возможного ущерба, вызванного затоплением земель. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=10831>.
4. Научное обеспечение реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 г.»: Сборник научных трудов. Т. 2. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. С 164.
5. Бузин В.А. Заторы льда и заторные наводнения на реках. С.-Пб.: Гидрометеоиздат, 2014. С. 203.
6. Ресурсы поверхностных вод России. Т. 17: Лено-Инди́гирский район. С.-Пб.: Гидрометеоиздат, 2012. С. 651.

7. Зоны катастрофического затопления. URL: http://libraryno.ru/6-5-2-zony-katastroficheskogo-zatopleniyasecur_in_chrez_sit/.
 8. Коэффициент фильтрации. URL: <http://lektsii.com/1-91376.html/>.
 9. Реферат: Гидродинамические аварии. URL: <https://domashke.com/referati/referaty-po-bezopasnostizhiznedeyatelnosti/referat-gidrodinamicheskie-avarii>.
 10. Водопроницаемость почв. URL: <http://www.eco.nw.ru/lib/data/09/3/070309.htm>.
-

DEVELOPMENT OF SIMULATIONAL SOFTWARE OF DESTRUCTION BY THE FLOODS WITH MULTIFACTORS

L. Rimova¹, V. Kugurakova², R. Yakushev³

Kazan (Volga Region) Federal University

¹laysanitis@gmail.com; ²vlada.kugurakova@gmail.com; ³sultanich@rambler.ru

Abstract

Floods were and are continuing to be a great threat to human properties, farms, agriculture, and households. To reduce the flood-related damage, we have to be able to reliably predict the flood dynamics, and the best way to do this is a computer simulation. Such simulational software must take into consideration many factors, such as the landscape qualities, human infrastructure, protective buildings, and more. In this paper, we try to systematize all those factors and create the software that will adhere to those requirements.

Keywords: *3D, virtual reality, virtual simulation, flood, floodwaters*

REFERENCES

1. TUFLOW. URL: <http://www.tuflow.com/>.
2. Flood control. URL: <https://ru.grundfos.com/industries-solutions/applications/flood-control.html>.
3. Methodology of wave breakthrough simulation for prevention of flood damage. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=10831>.

4. Scientific proofs of the implementation of «Water-related strategies of Russian Federation till the year 2020» – collection of scientific papers, Karel science centre, 2015. P. 164.
5. *Buzin V.* Ice congestions and ice-related river floods. Gidrometeoizdat, 2014. 203 p.
6. Surface water resources of Russia. T. 17: Leno-Indigirskiy region. Gidrometeoizdat, 2012. 651 p.
7. Catastrophical floods zones. URL: http://libraryno.ru/6-5-2-zony-katastroficheskogo-zatopleniya-secur_in_chrez_sit/.
8. Filtration coefficient. URL: <http://lektsii.com/1-91376.html>.
9. Essay: Hydrodynamical accidents and breaks. URL: <https://domashke.com/referati/referaty-po-bezopasnosti-zhiznedeyatelnosti/referat-gidrodinamicheskie-avarii>.
10. Soil permeability. URL: <http://www.eco.nw.ru/lib/data/09/3/070309.htm>.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



РИМОВА Ляйсан Зиннуровна – выпускница 2016 года Высшей школы информационных технологий и информационных систем Казанского (Приволжского) федерального университета.

Laysan Zinnurovna RIMOVA, bachelor, graduate in 2016 of Higher School of Information Technology and Information Systems of Kazan Federal University.

email: laysanitis@gmail.com



КУГУРАКОВА Влада Владимировна – старший преподаватель Высшей школы информационных технологий и информационных систем Казанского (Приволжского) федерального университета, руководитель Научно-исследовательской лаборатории «Виртуальные и симуляционные технологии в биомедицине».

Vlada Vladimirovna KUGURAKOVA, senior Lecturer of Higher School of Information Technology and Information Systems of Kazan Federal University, Head of Laboratory “Virtual and simulational technologies in biomedicine”.

email: vlada.kugurakova@gmail.com



ЯКУШЕВ Ринат Султанович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры теоретической механики Казанского (Приволжского) федерального университета.

Rinat Sultanovich YAKUSHEV, associate professor of Department of Theoretical Mechanics of Kazan Federal University.

email: sultanich@rambler.ru

Материал поступил в редакцию 25 февраля 2016 года

УДК 611.81 + 004.81 + 159.942

НИЗКОУРОВНЕВАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ НОРАДРЕНАЛИНОВОЙ ПОДСИСТЕМЫ НЕЙРОННОЙ ИМПУЛЬСНОЙ СЕТИ

Ю.С. Сафандеева¹, М.О. Таланов²

Казанский (Приволжский) федеральный университет

¹ julia.safandeeva@gmail.com; ²max.talanov@gmail.com

Аннотация

На основе модели «Куба эмоций» Лёвхейма [1] и нейронных сетей предложено воспроизвести базовые эмоциональные состояния, описанные Сильвенном Томкинсом [2]. Рассмотрено влияние на параметры вычислительной системы нейромодулятора норадреналина с учетом его роли и функции в головном мозге. Описаны реализация низкоуровневой модели норадреналиновой подсистемы и её моделирование во фреймворке «Nest Initiative».

Ключевые слова: NEST, NeuCogAR, куб Лёвхейма, норадреналин

МОДЕЛЬ КУБА ЭМОЦИЙ ЛЁВХЕЙМА

Эмоции – важный механизм внутренней регуляции психической деятельности и поведения, они позволяют человеку давать оценку всему, что происходит вокруг и внутри него, и отвечают за удовлетворения актуальных потребностей индивидуума. Эмоции участвуют в поддержании постоянства организма, сообщая об опасностях, которые угрожают жизни организма, в том числе болезнях. Человек принимает решения в соответствии с внутренним эмоциональным состоянием и накопленным опытом [3]. Искусственный интеллект не обладает вышеуказанными способностями.

Создание когнитивных архитектур дает возможность вычислительным системам анализировать, принимать решения, обучаться, воспроизводить эмоции, познавать окружающий мир.

Основой проведенного исследования является модель куба эмоций Лёвхейма [4], позволяющая связать между собой психологию и нейробиологию. Куб

эмоций использует восемь базовых аффектов, которые описаны Сильвенем Томкинсом, и три моноаминовых нейромедиатора (дофамин, серотонин, норадреналин), отвечающие за процессы в головном мозге и воспроизводство базовых эмоций.

На рис. 1 показано, что куб эмоций имеет восемь вершин, которые обозначают конкретные эмоции, и три оси, которые соответствуют нейромедиаторам. Все три нейромедиатора имеют низкое значение в точке начала координат, которая обозначает состояние стыда и унижения. Высокое содержание всех трех нейромодуляторов, напротив, говорит о состоянии возбуждения и интереса.

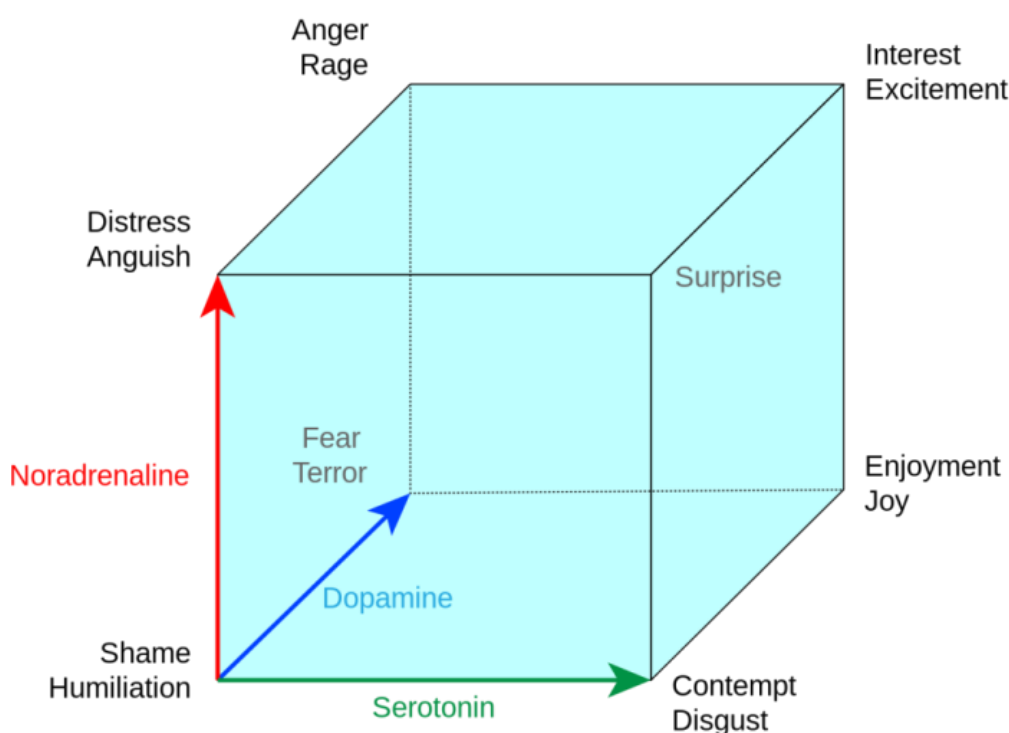


Рис. 1. Куб эмоций Лёвхейма

Данную модель можно отобразить на вычислительных процессах внутри вычислительных систем. В частности, важно понимать, как Лёвхейм определяет зависимость эмоционального состояния от содержания норадреналина в организме. Высокий уровень содержания норадреналина соответствует грани куба, где определены такие эмоции, как тоска, гнев, удивление и возбуждение.

Так как данное исследование не учитывает взаимодействия других нейромедиаторов с норадреналином, модель подсистемы норадреналина позволяет

воспроизвести эмоциональное состояние тоски. Именно это состояние определяет низкое содержание дофамина и серотонина и высокое содержание норадреналина.

НЕЙРОННЫЕ СЕТИ

Искусственная нейронная сеть имитирует структуру и свойства организации нервной системы живых организмов. Работа искусственной нейронной сети аналогична работе биологической нейронной сети.

Биологической нейронная сеть работает следующим образом. Нервная система и мозг человека состоят из нейронов, соединенных между собой нервными волокнами. Нейрон – это нервная клетка, являющаяся основным строительным блоком для нервной системы. Нейроны специализируются на передаче информации по всему телу. Нервные волокна обладают способностью передавать электрические импульсы между нейронами. Передача реакций на внешнее воздействие от органов чувств к мозгу, управления действиями и мыслительные процессы реализуются в живом организме как передача между нейронами электрических импульсов [5].

Нейрон состоит из тела клетки, дендритов и аксона, каждая часть со своими взаимосвязанными функциями. Дендриты принимают импульсы, единственный аксон передает импульс и контактирует с дендритами других нейронов через специальные образования – синапсы, которые влияют на силу импульса [6].

Нервный импульс (спайк) – процесс распространения возбуждения по аксону от тела клетки до окончания аксона; это основная единица информации, передаваемая по волокну. Сигналы суммируются в теле клетки: если суммарный сигнал в течение некоторого короткого промежутка времени является достаточно большим, то клетка возбуждается, формируя собственный импульс и передавая его через аксон следующим клеткам. Можно считать, что при прохождении синапса сила импульса изменяется в определенное число раз, которое называется весом синапса. Веса синапсов могут изменяться со временем, соответственно, изменяется и поведение данного нейрона [6]. Строение нейрона изображено на рис. 2.

Искусственная нейронная сеть – это набор искусственных нейронов, соединенных между собой синаптическими соединениями. Она получает на вход набор

входных сигналов, обрабатывает их и в процессе изменения своего состояния во времени формирует совокупность выходных сигналов, причем это преобразование задается весами нейронной сети [7].

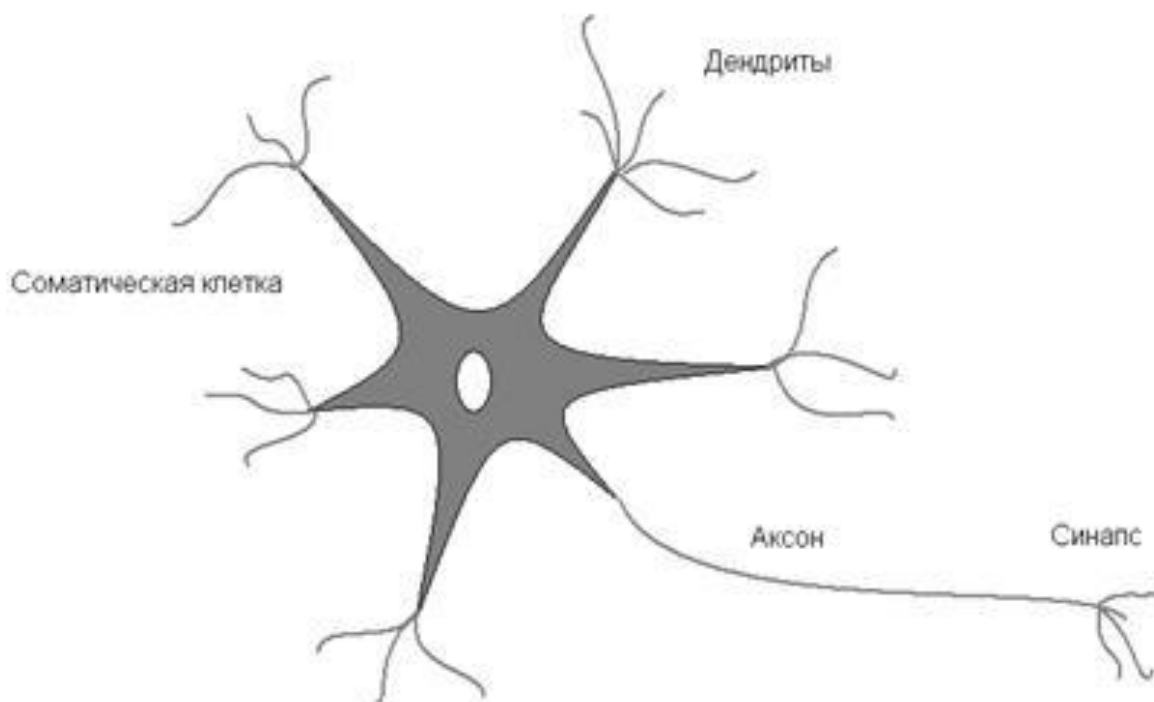


Рис. 2. Строение нейрона

Существует множество моделей нейронных сетей. Наиболее близка к реальной биологической нейронной сети модель импульсной нейронной сети. Как и биологические нейроны, она обменивается импульсами пренебрежимо малой длины и, как биологические нейронные сети, не составляет каких-то строго упорядоченных структур. Самое главное, нейронные сети велики: как и нейронов в мозгу, их очень много [8].

Модели нейронной сети опираются только на систему весов, память в системе отсутствует, в отличие от биологической сети. Также нейроны биологической сети обмениваются импульсами, а модели нейронной сети – действительными числами.

В модели импульсной нейронной сети количество и веса связей каждого нейрона выбираются на основе данных нейрофизиологических исследований.

Нейронные сети дают возможность лучше понять организацию нервной системы человека и животных [8].

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О НОРАДРЕНАЛИНЕ

Норадреналин является нейромедиатором нейронов и гормоном мозгового вещества надпочечников, так называемым гормоном стресса [9].

Нейрон – это единица нервной системы, представляющая собой клетку, которая обрабатывает и передает информацию посредством электрических и химических сигналов. В среднем человеческий мозг имеет примерно 86 миллиардов нейронов [9].

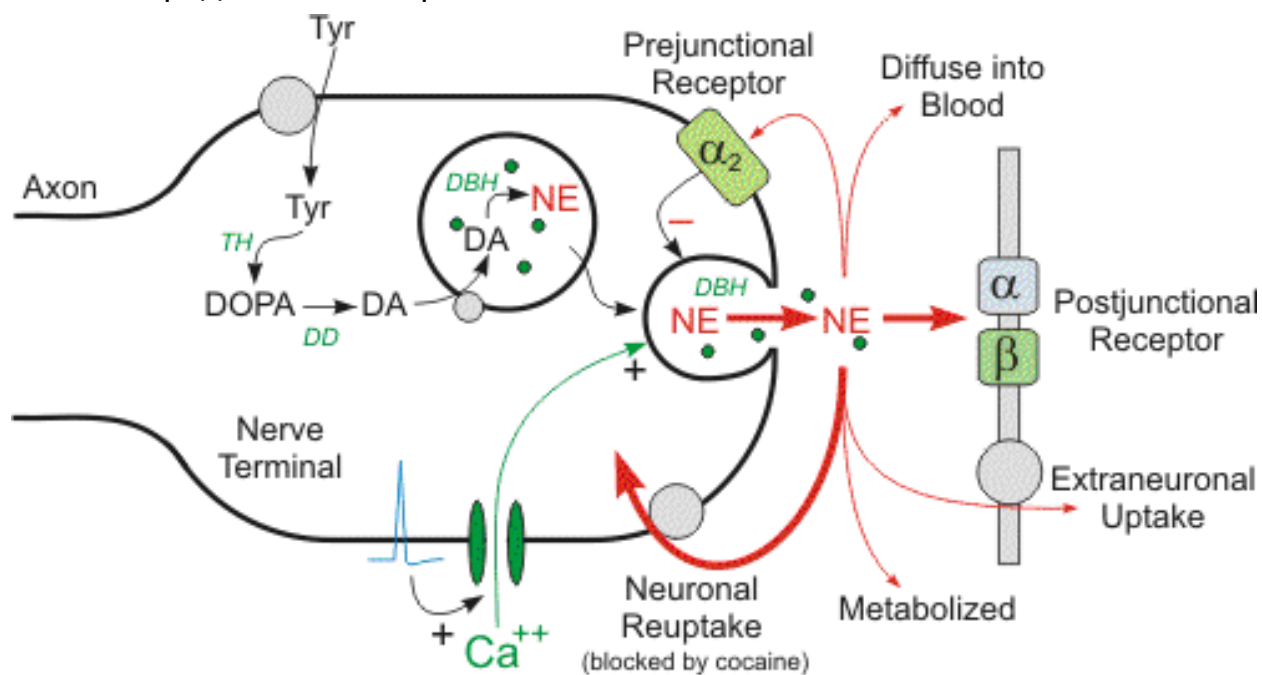
Нейромедиаторы – это биологические активные химические вещества, участвующие в нейрофизиологии мозга, обеспечивающие передачу информации от нейрона к нейрону. Функция норадреналина, как нейромедиатора, состоит, прежде всего, в передаче электрических импульсов между нейронами [10].

Одно и то же химическое вещество может быть нейромедиатором и гормоном. Высвобождение и механизм действия нейромедиатора в синапсах отличаются от механизма гормонов. Высшие животные имеют две регуляторные системы, которые помогают приспосабливаться к внутренним и внешним изменениям организма. Первая – нервная, которая быстро передает сигналы в виде импульсов через сеть нейронов и нервных клеток. Вторая – эндокринная, она осуществляет химическую регуляцию с помощью гормонов. Названные системы взаимодействуют друг с другом. Определенные гормоны исполняют функцию посредников между нервной системой и органами, отвечающими на воздействие. Гормоны вырабатываются эндокринными железами и избирательно воздействуют на органы. Нейромедиаторы в свою очередь синтезируются нервными клетками.

Норадреналин входит в состав группы моноаминов, содержащей группу катехоламинов, в которую входят дофамин, норадреналин, адреналин. Также к моноаминам относится серотонин [9].

Синтез норадреналина из аминокислоты тирозина происходит во всех частях постганглионарного нейрона. Основная часть медиатора синтезируется в периферических отделах аксона и хранится в гранулах синаптических пузырьков и далее выделяется в синапс.

Синапс – это щель шириной 10–50 нм между двумя нейронами или нейроном и другой клеткой. Первая клетка называется пресинаптической, вторая – постсинаптической. Нейромедиатор образуется и выделяется в синапс пресинаптическим нейроном. Наглядное изображение синапса под воздействием норадреналина представлено на рис.3.



Tyr = tyrosine; TH = tyrosine hydroxylase; DD = DOPA decarboxylase; DA = dopamine; DBH = dopamine β-hydroxylase; NE = norepinephrine

Рис. 3. Синапс под воздействием норадреналина

Освобождение медиатора в синаптическую щель происходит квантами под влиянием импульса возбуждения. Процесс высвобождения норадреналина протекает с помощью кальция (Ca), далее норадреналин связывается с адренергическими рецепторами [11].

Норадренергические нейроны находятся среди ядер варолиева моста и продолговатого мозга. Варолиев мост является частью заднего мозга и входит в состав ствола мозга. В нем располагаются ядра черепно-мозговых нервов, ретикулярной формации, ядра самого моста. Продолговатый мозг представляет собой продолжение спинного мозга, он соединяет головной мозг со спинным.

Наивысшая концентрация норадреналина, по сравнению с другими исследу-

дованными ядрами, находится в голубом пятне: 9000 – 10000 нейронов в головном мозге человека. Голубое пятно расположено в стволе мозга на уровне моста.

Нейроны норадреналина включены в клеточные группы от А1 до А7.

Группы А1 и А2 состоят из нейронов, окружающих латеральное ретикулярное ядро и дорсальное моторное ядро блуждающего нерва. Латеральное ретикулярное ядро относится к ядрам ретикулярной формации, находится латеральнее и ниже нижней оливы. Блуждающий нерв относится к черепным нервам и является смешанным. С ним соединены 4 ядра: дорсальное ядро блуждающего нерва, двойное ядро, ядро одиночного пути, спинномозговое ядро тройничного нерва. Дорсальное моторное ядро блуждающего нерва содержится в продолговатом мозге. К группе А1 относятся клетки от перекреста пирамид до передних отделов нижней оливы. Группа А2 имеет наибольшую плотность в промежуточном ядре, а также включает небольшую группу вблизи ядра одиночного пути.

Группы А5 – А7 представляют собой совокупность клеток, находящихся от ростральных отделов моста между верхней оливой и ядром лицевого нерва до вентролатеральных отделов центрального серого вещества среднего мозга. Группа А6 соответствует центру голубого пятна [12]. Расположение норадреналин-содержащих ядер А1 – А7 в мозге крысы показано на рис. 4.

Функция норадреналина характеризуется ответом «бей или беги» на опасность или сильный стресс.

«Бей или беги» – это состояние, при котором организм мобилизуется для устранения угрозы [13]. При этом повышается артериальное давление, расширяются зрачки, повышается частота сердечных сокращений. Это помогает быстро принимать решения в чрезвычайной ситуации. После того, как опасность миновала, и стрессовая ситуация прошла, концентрация норадреналина быстро уменьшается.

Однако норадреналин – это еще гормон счастья и облегчения. Он синтезируется, когда мы смотрим на красивые пейзажи, слушаем шум прибоя или музыку. Благодаря воздействию норадреналина человека посещают гениальные идеи. Низкое содержание норадреналина может повергнуть человека в депрессию. Повышенное его содержание, в свою очередь, приводит к эмоционально неустойчивому состоянию [14].

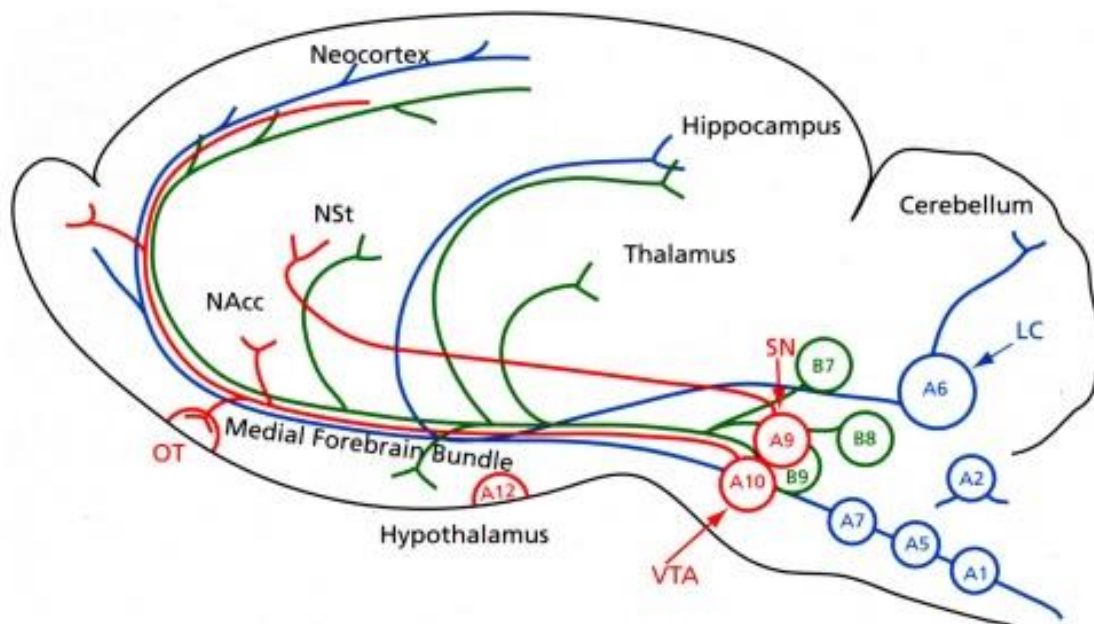


Рис. 4. Расположение норадреналин-содержащих ядер в мозге крысы

СХЕМА ПУТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ НОРАДРЕНАЛИНА В ГОЛОВНОМ МОЗГЕ МЛЕКОПИТАЮЩЕГО

На рис. 5 изображена схема пути распространения норадреналина в головном мозге. Стрелки, обозначенные зеленым цветом, соответствуют норадреналиновой связи. Норадреналин является только возбуждающим нейромедиатором. Глутамат также является возбуждающим, и его связь обозначена желтым цветом.

Связь синего цвета принадлежит гамма-аминомасляной кислоте (ГАМК), которая оказывает тормозящее воздействие на нейроны. Красный цвет обозначает связь ацетилхолина, он может оказывать возбуждающее и тормозящее воздействие, как и дофамин и серотонин, связи которых обозначены розовым и серым цветами соответственно.

Норадреналин вырабатывается в голубом пятне и ядре одиночного пути и впоследствии расходится по различным отделам головного мозга [15]. Существуют два основных пути: дорсальный и вентральный.

Вентральный путь начинается в ядре одиночного пути и выходит в следующие зоны мозга [15]: латерально-спинное ядро покрышки; слой ядра бороздки на терминале; двигательная кора; миндалевидное тело; таламус; паравентрикулярное ядро.

Дорсальный путь начинается в голубом пятне и распространяется по следующим зонам головного мозга [15]: вентральная область покрышки; ядра paragigantocellular; perirhinal кора; ядра шва; стриатум; двигательная кора.

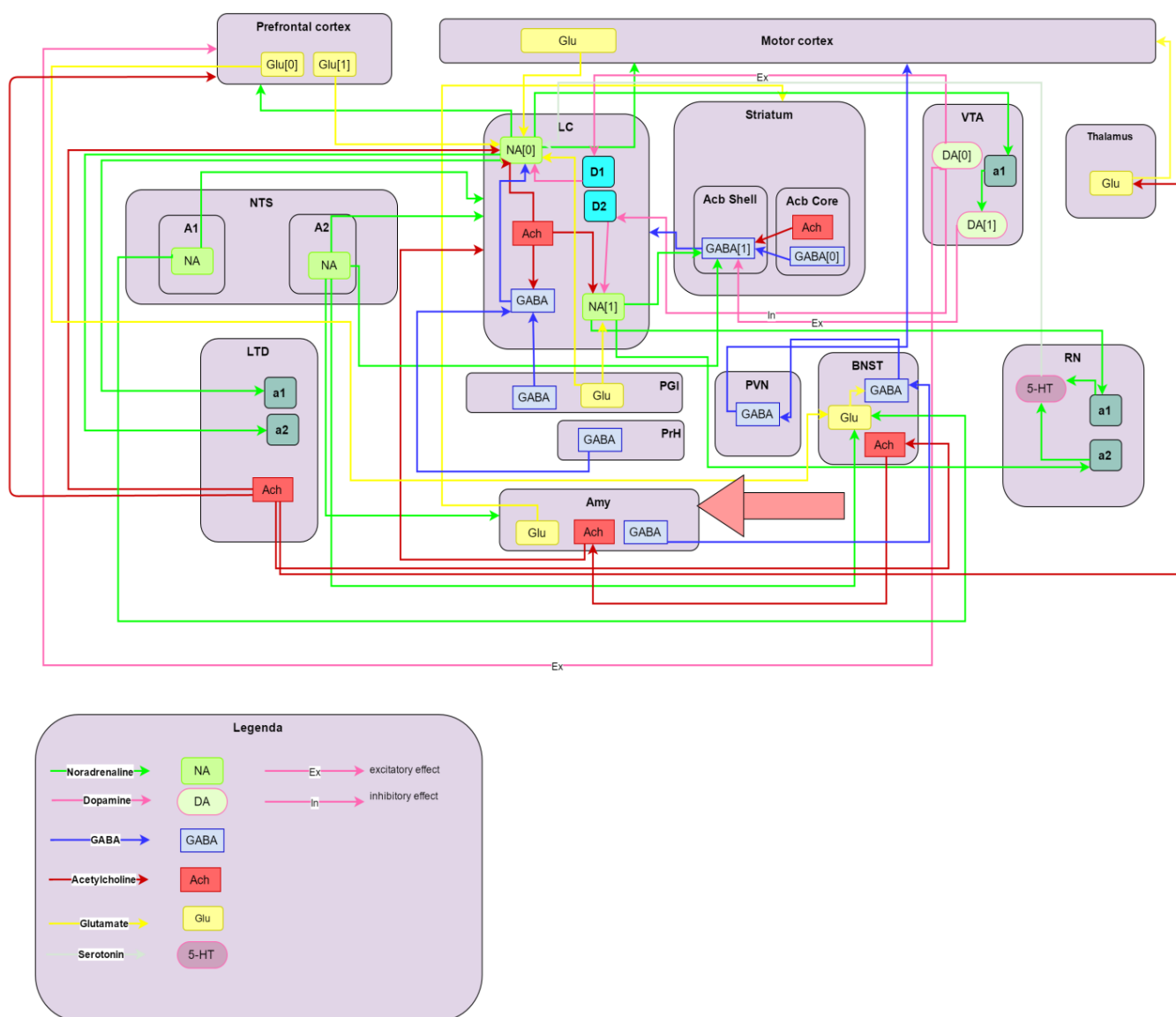


Рис. 5. Высокоуровневая архитектура норадреналиновой подсистемы нейронной импульсной сети мозга. LC – голубоватое пятно, VTA – вентральная область покрышки, NTS – ядро одиночного пути, PGI – ядра paragigantocellular, PrH – perirhinal кора, LTD – латерально-спинное ядро покрышки, RN – ядра шва, BNST – слой ядра бороздки на терминале, Striatum – стриатум, Prefrontal cortex – префронтальная кора, Motor cortex – двигательная кора, Amy – миндалевидное тело, Thalamus – таламус, PVN – паравентрикулярное ядро

МОДЕЛИРОВАНИЕ НОРАДРЕНАЛИНОВОЙ ПОДСИСТЕМЫ

Для моделирования сети биологических нейронов используется симулятор спайковых сетей NEST Initiative, выпущенный под названием SYNOD в 1994 году, впоследствии улучшенный и переименованный в NEST. Сейчас он имеет поддержку мирового сообщества и открыто распространяется под лицензией GNU в исходных кодах. Причиной такого выбора стала возможность с его помощью проводить моделирование больших спайковых сетей на суперкомпьютерах с поддержкой PI и OpenMP [16].

NEST подходит для моделей, сосредоточенных на динамике, размерах и структуре, а не на морфологических и биопсихических свойствах нейронов, таких, как модели обработки информации, например, в визуальной или слуховой коре млекопитающих; импульсной синхронизации сети; обучения и пластичности сенсорных процессов. В открытом доступе сейчас предоставлено более 50 моделей нейронных сетей.

Контролирует симуляционное ядро NEST пользовательский интерфейс PyNEST – пакет для языка Python. Он прост в использовании и хорошо взаимодействует с Python и его библиотеками. В связи с этим для реализации искусственной нейронной подсистемы на основе модели норадреналиновой подсистемы были сгенерированы файлы на языке программирования Python.

Высокоуровневая архитектура норадреналиновой системы представлена в виде xml-файла. На его основе генерируются файлы на языке программирования Python. Они содержат следующие исходные данные: зоны головного мозга, участвующие в пути распространения норадреналина; нейромедиаторы, участвующие в пути распространения норадреналина; связи между нейронами различных отделов мозга; количество нейронов в зонах головного мозга крысы; веса синаптических связей нейронов различных отделов мозга.

Моделирование норадреналиновой подсистемы происходит с помощью фреймворка NEST, его результаты представлены в виде диаграмм нейрональной активности различных отделов мозга модели, которые строятся Python-скриптами.

Так как вычислительные возможности современных компьютеров не позволяют воспроизвести модель норадреналиновой подсистемы, в которой задействовано большое количество нейронов, нами были использованы параметры

мозга крысы, а именно, количество нейронов в отделах ее головного мозга. Оно было найдено с использованием различных научных источников. Для отделов мозга, для которых не было найдено количество нейронов, использовались приближенные данные, установленные, исходя из физиологических характеристик. Полученное количество нейронов представлено в табл. 1.

Таблица 1. Количество нейронов в отделах мозга крысы

Отдел мозга	Количество нейронов
Motor cortex [Glu]	$29000000 * 0.8 / 6 + 29000000 * 0.2 / 6^D$
Prefrontal cortex [Glu0]	18 3000 ^D
Prefrontal cortex [Glu1]	18 3000 ^D
Ventral tegemntal area [DA0]	20 000 ^D
Ventral tegemntal area [DA1]	20 000 ^D
Striatum [ACh]	1 500 ^D
Striatum [GABA0]	14 250 ^D
Striatum [GABA1]	14 250 ^D
Amygdala [Glu]	30 000 ^D
Amygdala [ACh]	6 632 [17]
Amygdala [GABA]	3 629 [18]
Locus coeruleus [NA0]	1 750 [19]
Locus coeruleus [NA1]	1 750 [19]
Locus coeruleus [GABA]	400 [20]
Locus coeruleus [ACh]	500 *
Lateral dorsal tegmental nucleus [ACh]	1811 [21]
Perirhinal cortex [GABA]	3 627 [22]
Bed nucleus of stria terminalis [GABA]	12 000 *
Bed nucleus of stria terminalis [ACh]	2 200 *
Bed nucleus of stria terminalis [Glu]	31 500 *
Nucleus paragigantocellularis lateralis [GABA]	15 000 [23]
Nucleus paragigantocellularis lateralis [Glu]	15 000 [23]
Raphe nuclei [5-HT]	5 800 [24]
Nucleus tractus solitarii A1 [NA]	3 500 [24]
Nucleus tractus solitarii A2 [NA]	1 300 [25]
Paraventricular nucleus [GABA]	1 000 *
Thalamus [Glu] ^D	5000000 / 6

^D – значение взято из материалов по моделированию дофаминовой подсистемы нейронной сети мозга

* – значение приближенное

Далее, в качестве входных данных необходимы также веса синаптических связей нейронов. Во время распространения норадреналина они определяют, насколько сильно зоны головного мозга воздействуют друг на друга. Этот параметр подбирался в ходе экспериментальных запусков программы.

В силу имеющихся вычислительных возможностей построенная нейронная сеть состояла из 10000 нейронов. Ее моделирование осуществлялось на протяжении 200 мс, а активность нейронов регистрировалась каждую 0.1 мс.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ АКТИВАЦИИ ВЕНТРАЛЬНОГО ПУТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ НОРАДРЕНАЛИНА

Моделирование вентрального пути распространения норадреналина в головном мозге проводилось с целью определения влияния норадреналиновой нейромодуляции на зоны, участвующие в активации норадреналинового пути. Основным источником норадреналина здесь являются группы нейронов норадреналина A1 и A2, которые находятся в ядре одиночного пути (Nucleus tractus solitarius – NTS). Импульс возникает в латерально-спинном ядре покрышки (Lateral dorsal tegmental nucleus – LTD). Далее идет сигнал на таламус, после – на моторную кору. Из ядра одиночного пути сигнал идет в ядро ложа концевой полоски (bed nucleus of stria terminalis – BNST). Если сигнал будет сильнее ингибирующего воздействия аминокислоты, то он перейдет в паравентрикулярное ядро (paraventricular nucleus – PVN). В ходе моделирования активность нейронов в паравентрикулярном ядре не была обнаружена, это говорит о том, что сигнал, поступающий из норадреналиновой группы A2, был не настолько сильным, чтобы перейти в паравентрикулярное ядро [15].

При моделировании генератор спайков был подключен к зоне ядра одиночного пути и латерально-спинному ядру покрышки.

Полученные результаты отображают зависимости от времени частоты импульса нейрона и потенциала на мембране нейрона. Активность нейронов различных областей мозга, участвующих в вентральном пути распространения норадреналина, изображена на рисунках 6 – 11. Мембранный потенциал нейронов

различных областей мозга, участвующих в вентральном пути распространения норадреналина, изображен на рисунках 12 – 17.

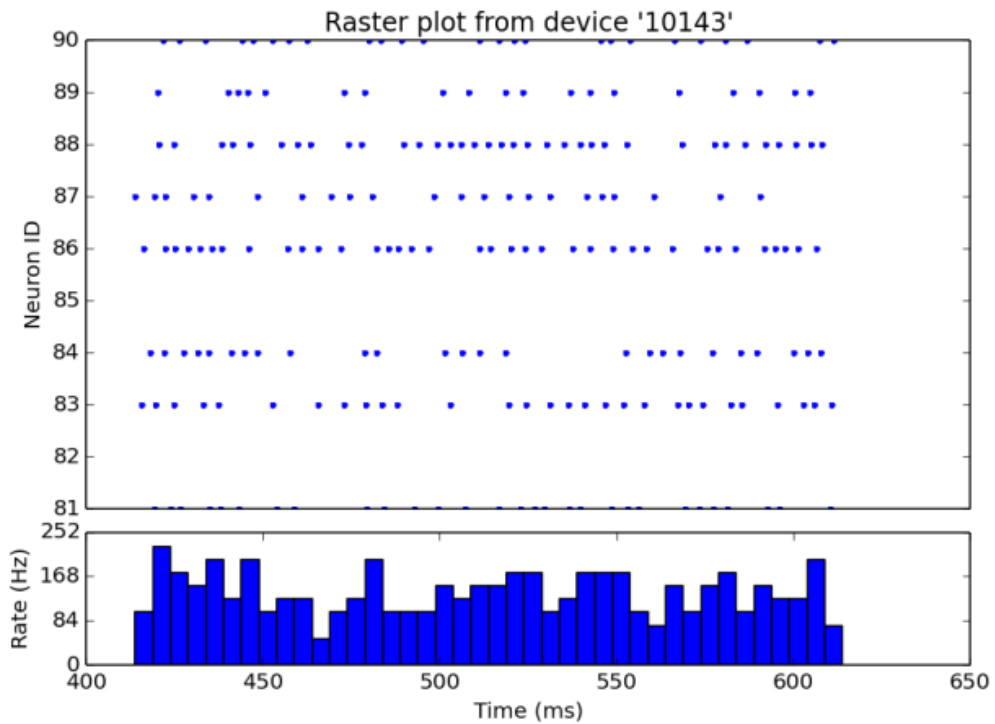


Рис. 6. Частота импульса (Гц) группы BNST [Glu] нейронов A2

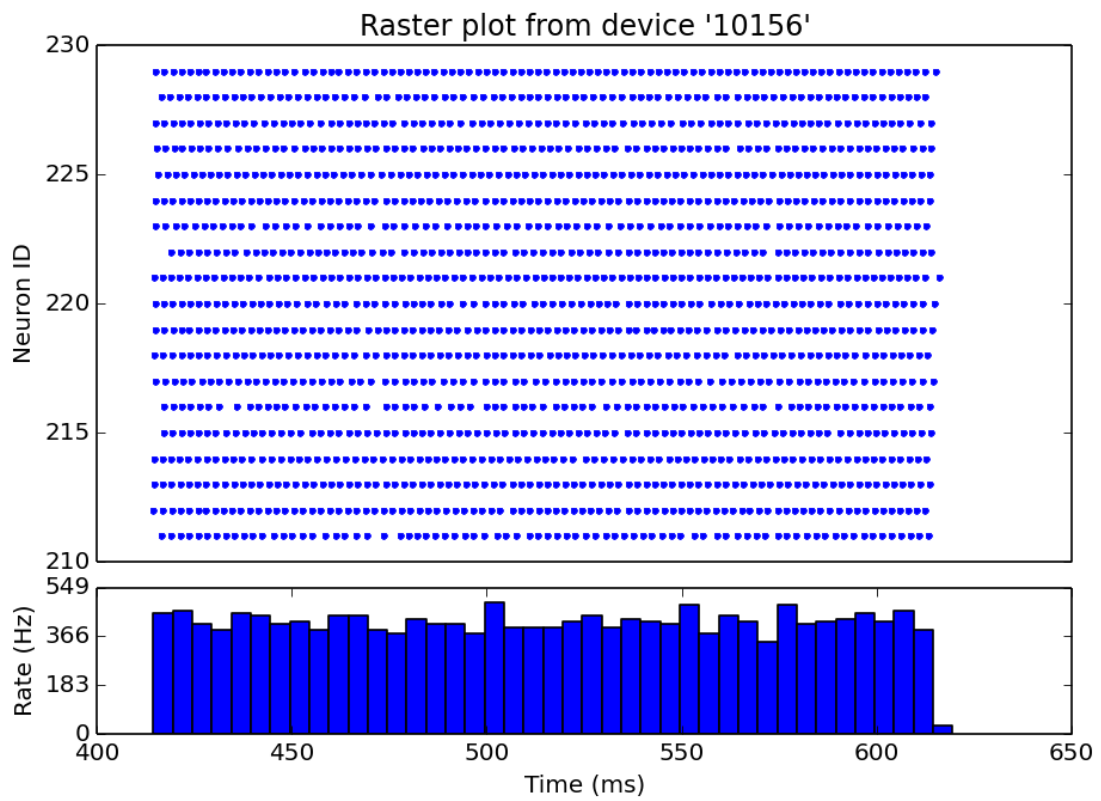


Рис. 7. Частота импульса (Гц)

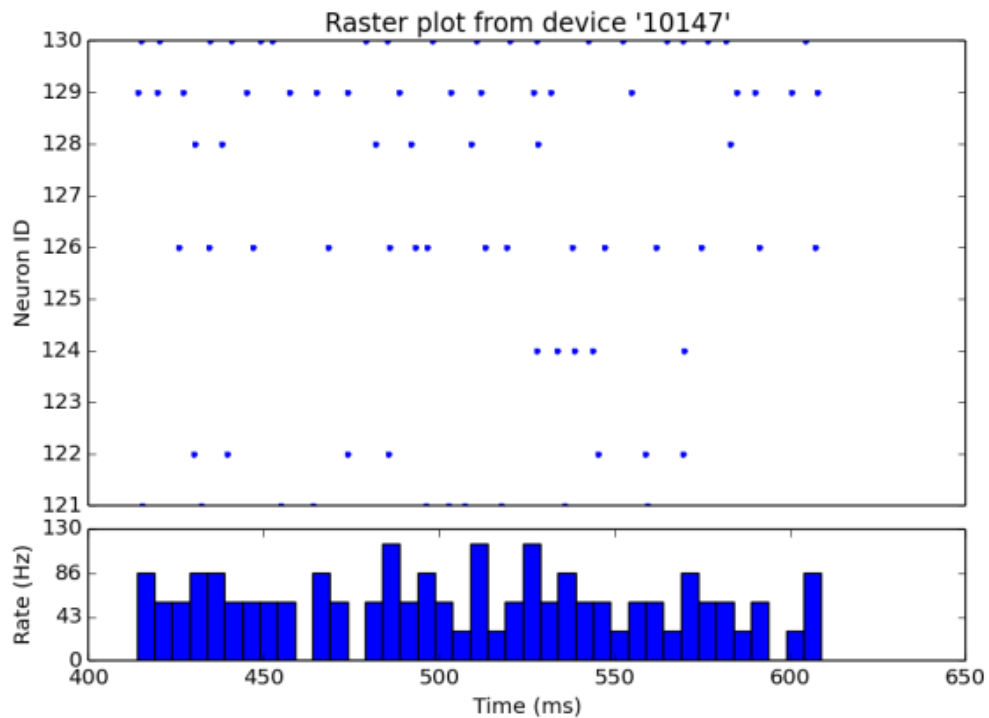


Рис. 8. Частота импульса (Гц) BNST [GABA]

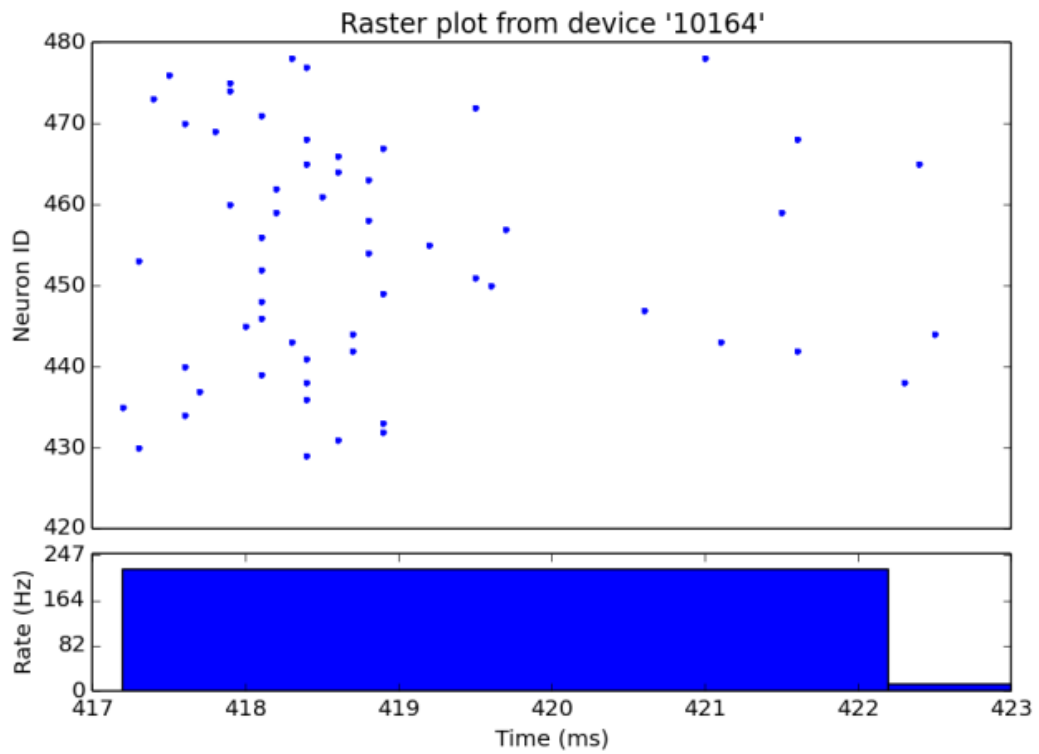


Рис. 9. Частота импульса (Гц) LTD

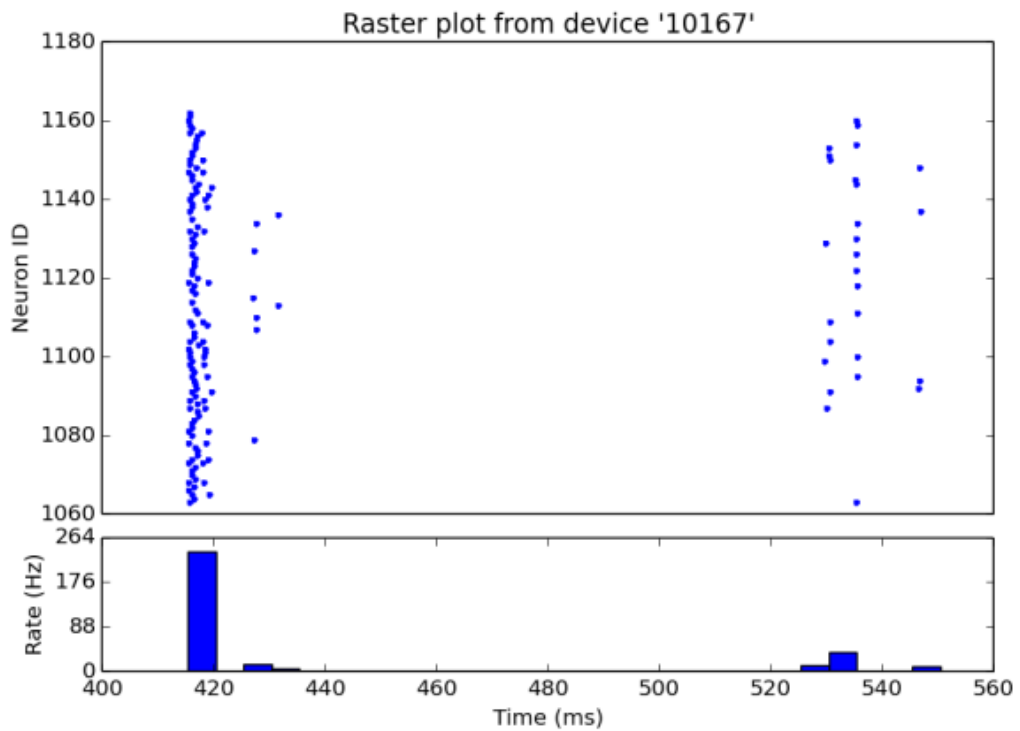


Рис. 10. Частота импульса (Гц) Thalamus

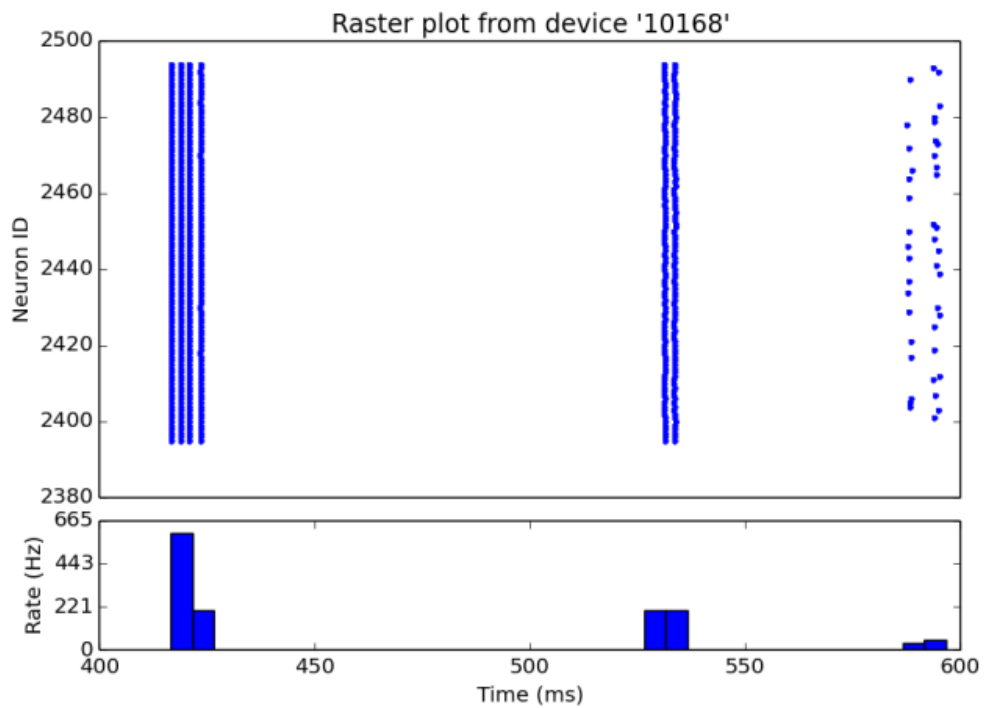


Рис. 11. Частота импульса (Гц) Motor cortex

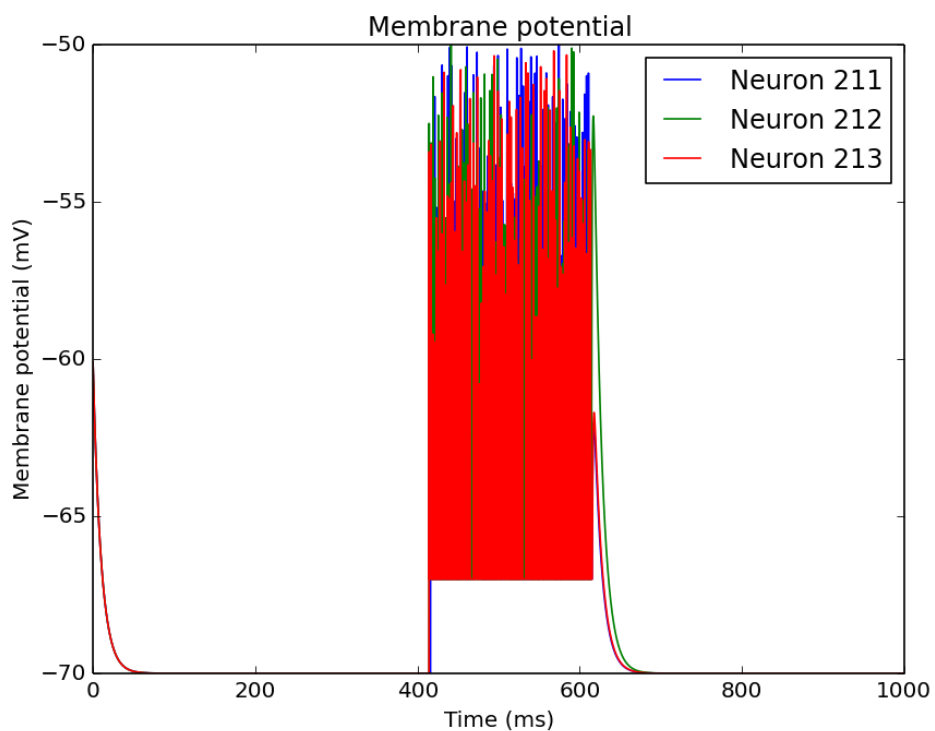


Рис. 12. Потенциала мембраны нейронов группы нейронов норадреналина A2

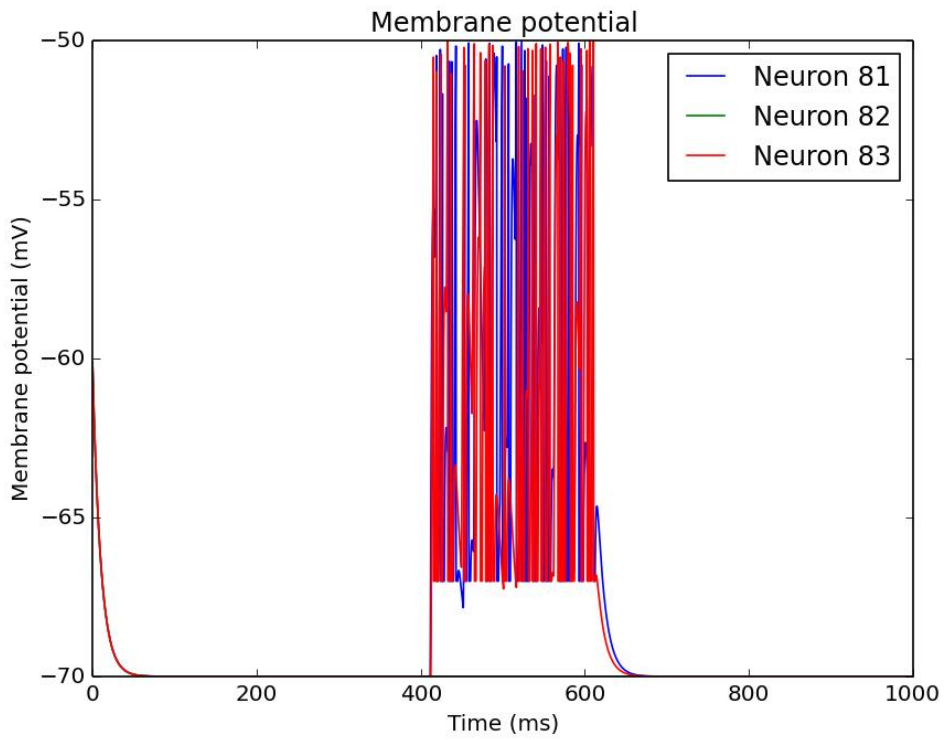


Рис. 13. Потенциала мембраны глутамата в BNST

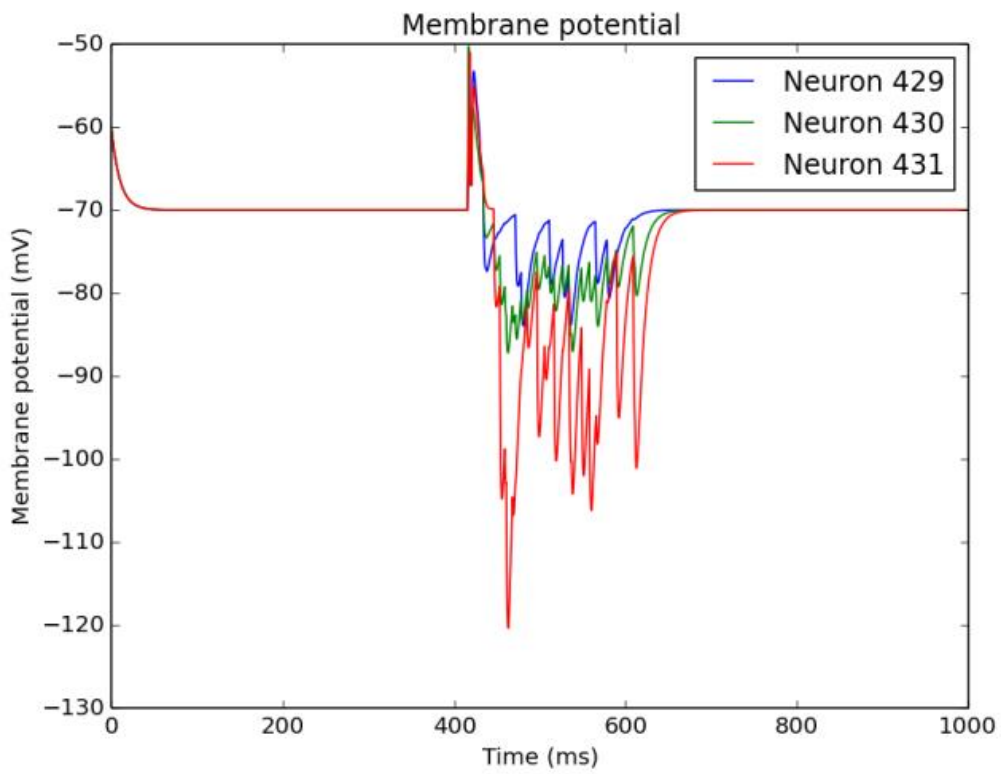


Рис. 14. Потенциала мембраны нейронов ГАМК в BNST

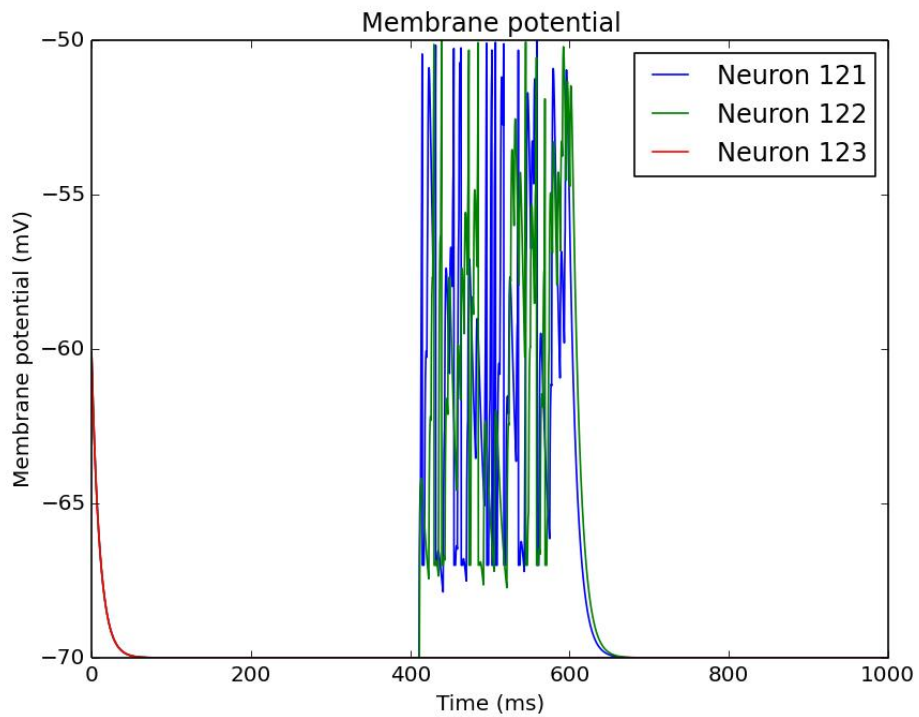


Рис. 15. Потенциала мембраны нейронов ацетилхолина в LTD

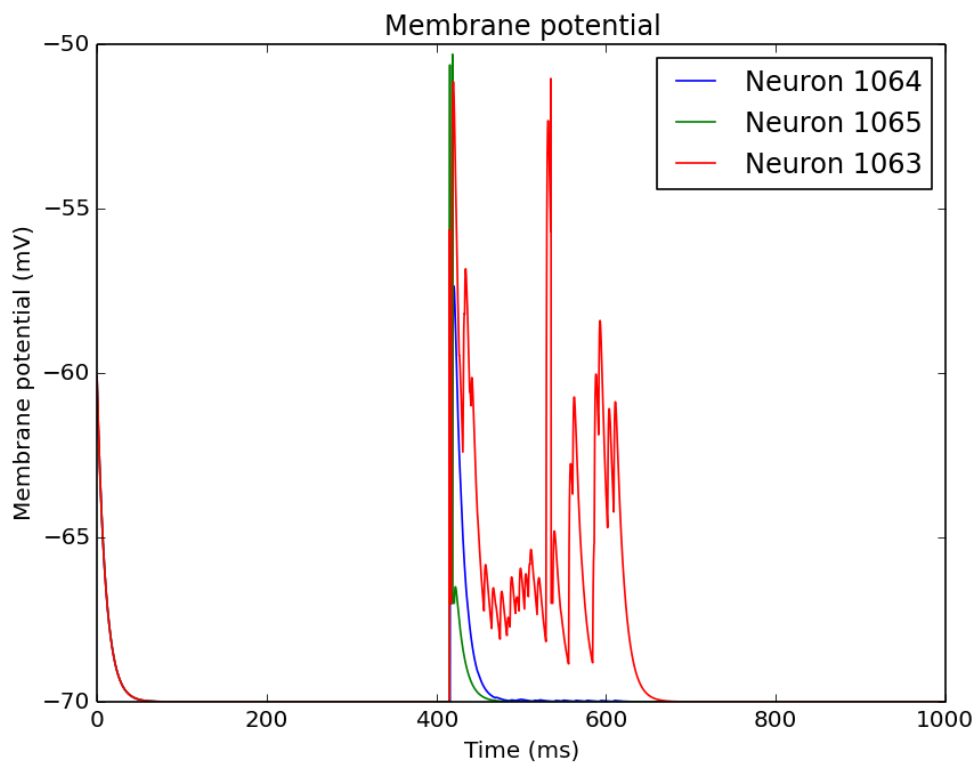


Рис. 16. Потенциал мембраны нейронов глутамата в Thalamus

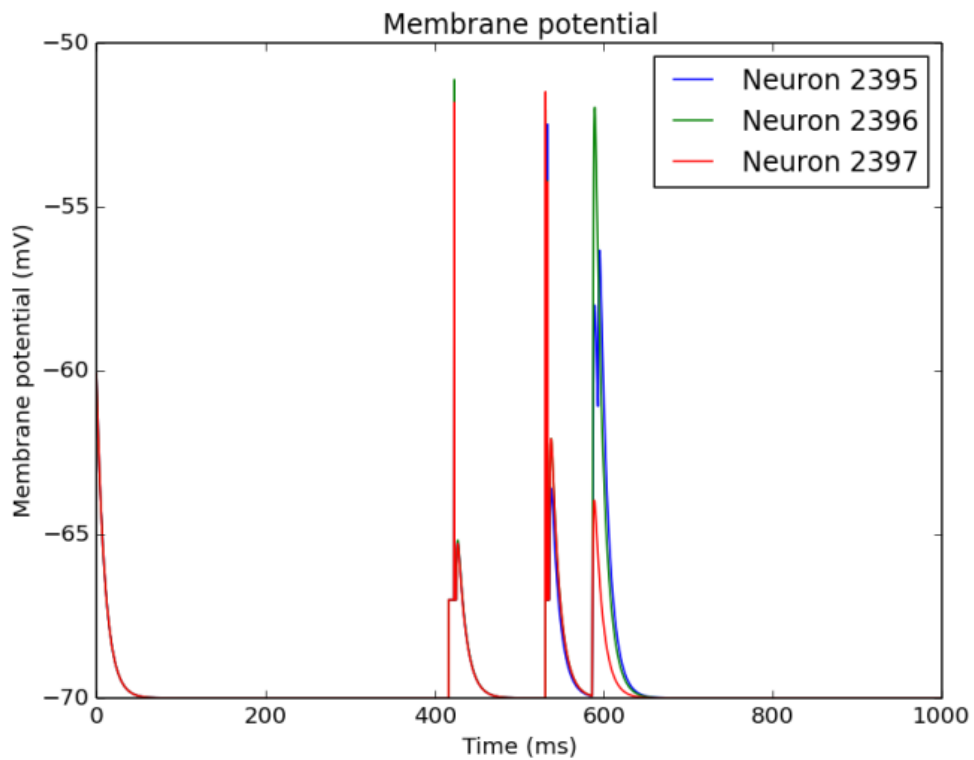


Рис. 17. Потенциала мембраны нейронов глутамата в Motor cortex

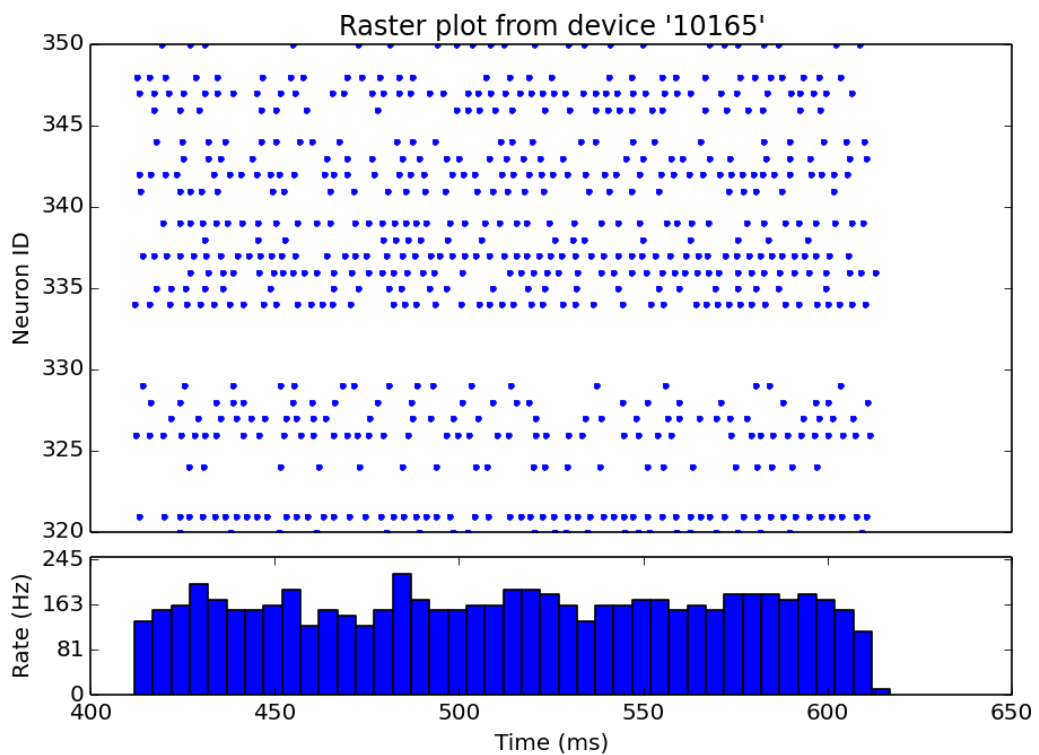


Рис. 18. Частота импульса (Гц) VTA[DA]

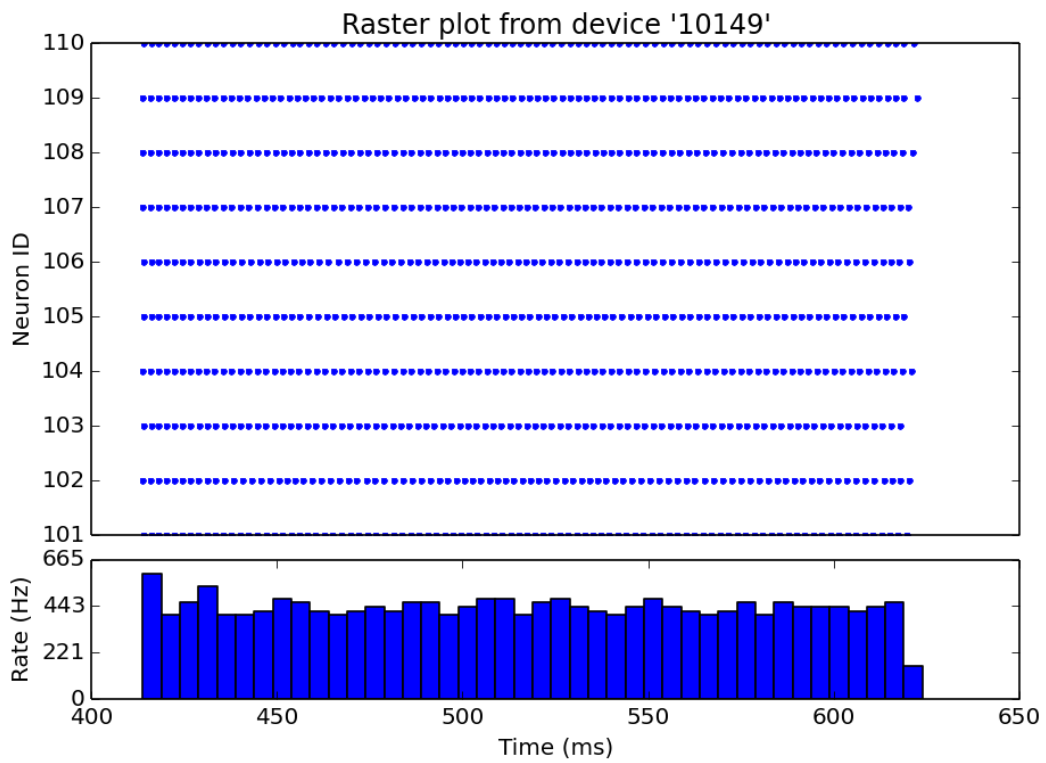


Рис. 19. Частота импульса (Гц) Locus Coeruleus [NA0]

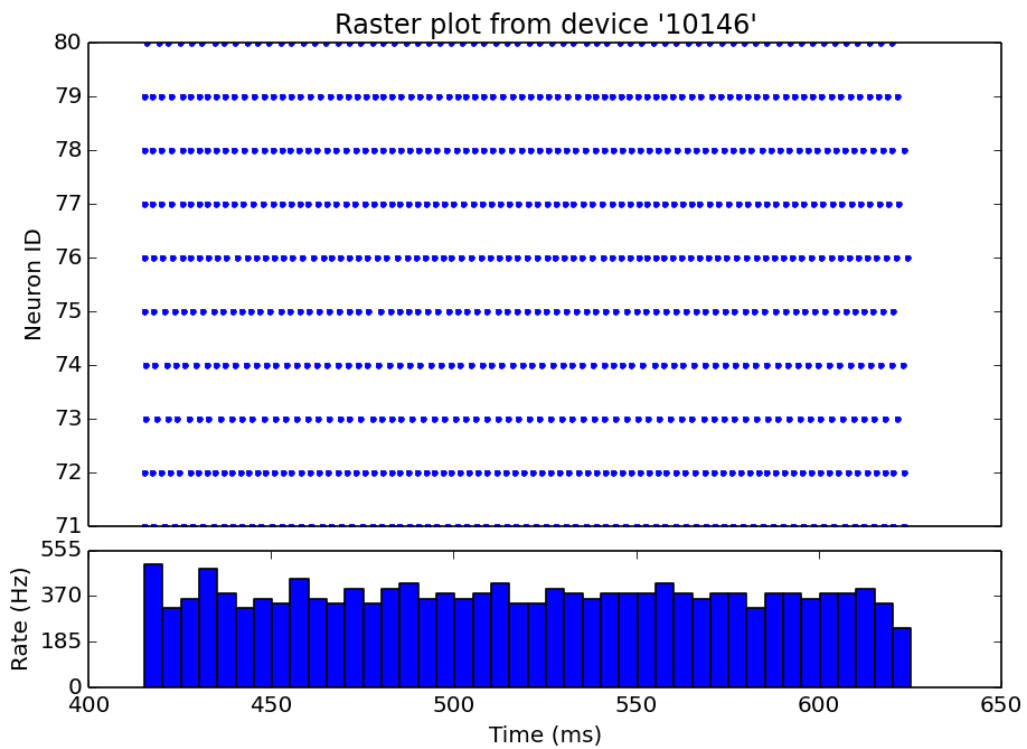


Рис. 20. Частота импульса (Гц) VTA [$\alpha 1$]

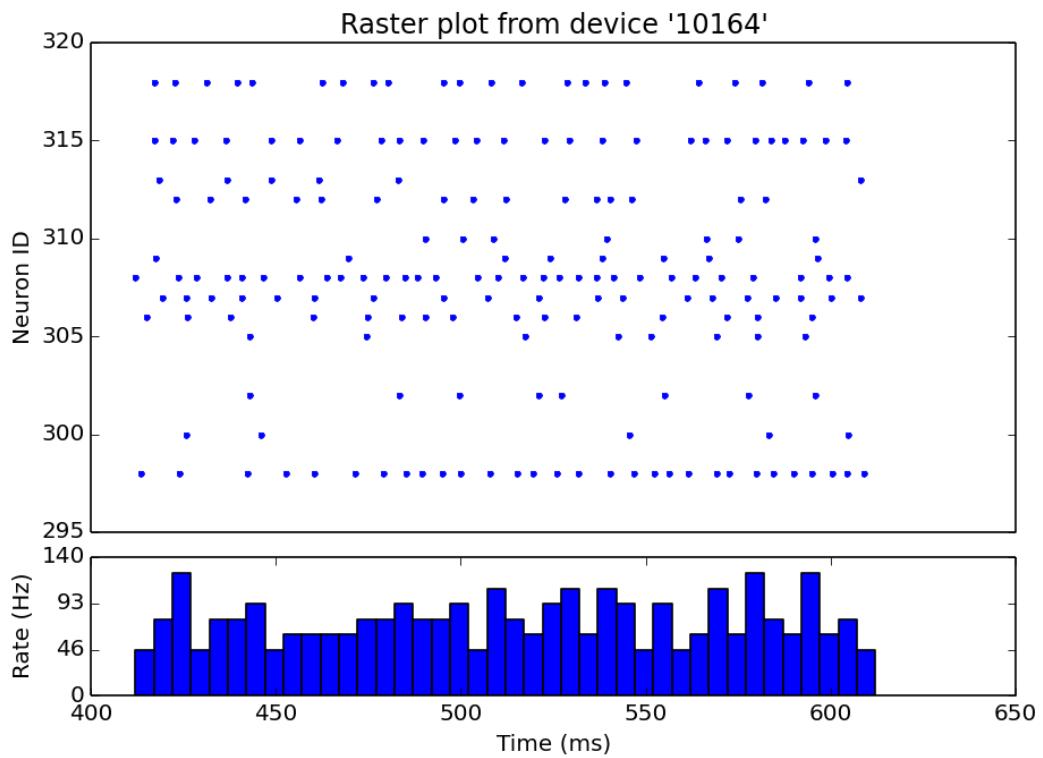


Рис. 21. Частота импульса (Гц) PGI[Glu]

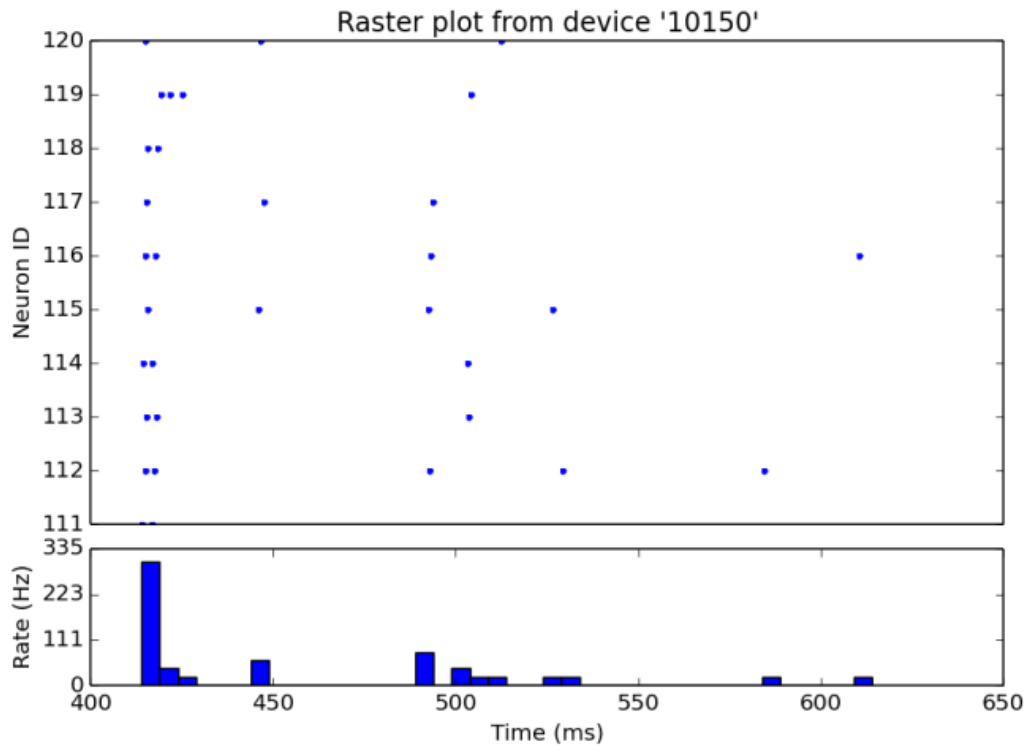


Рис. 22. Частота импульса (Гц) Locus Coeruleus [NA1]

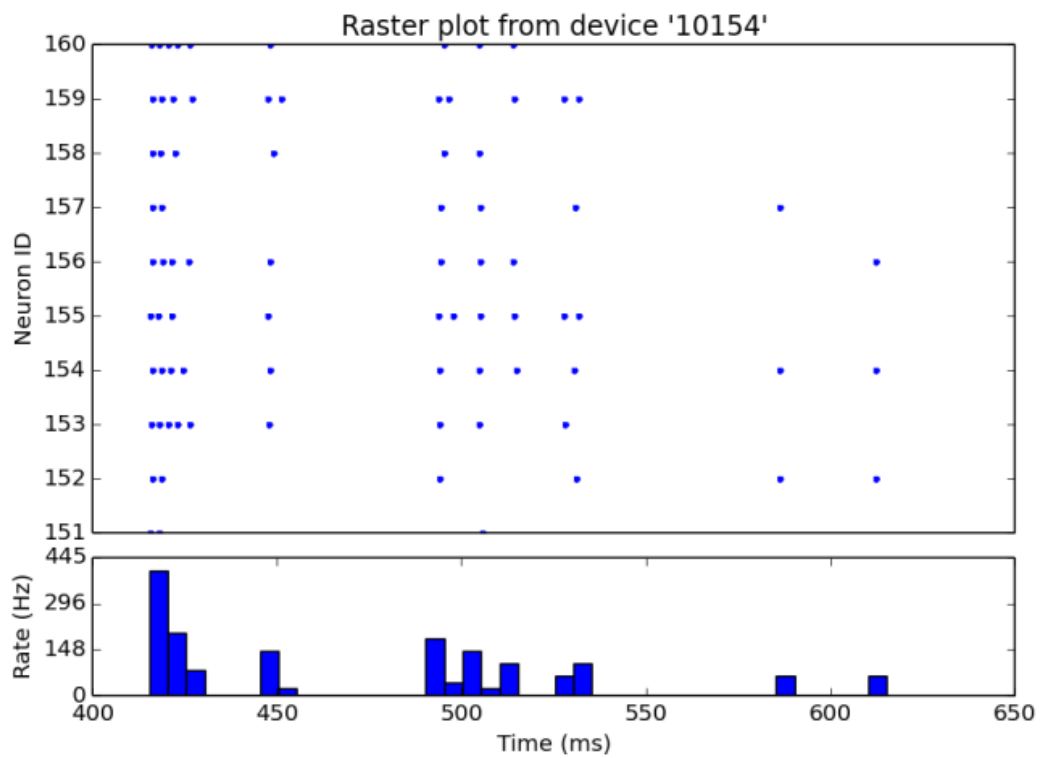


Рис. 23. Частота импульса (Гц) RN[α 1]

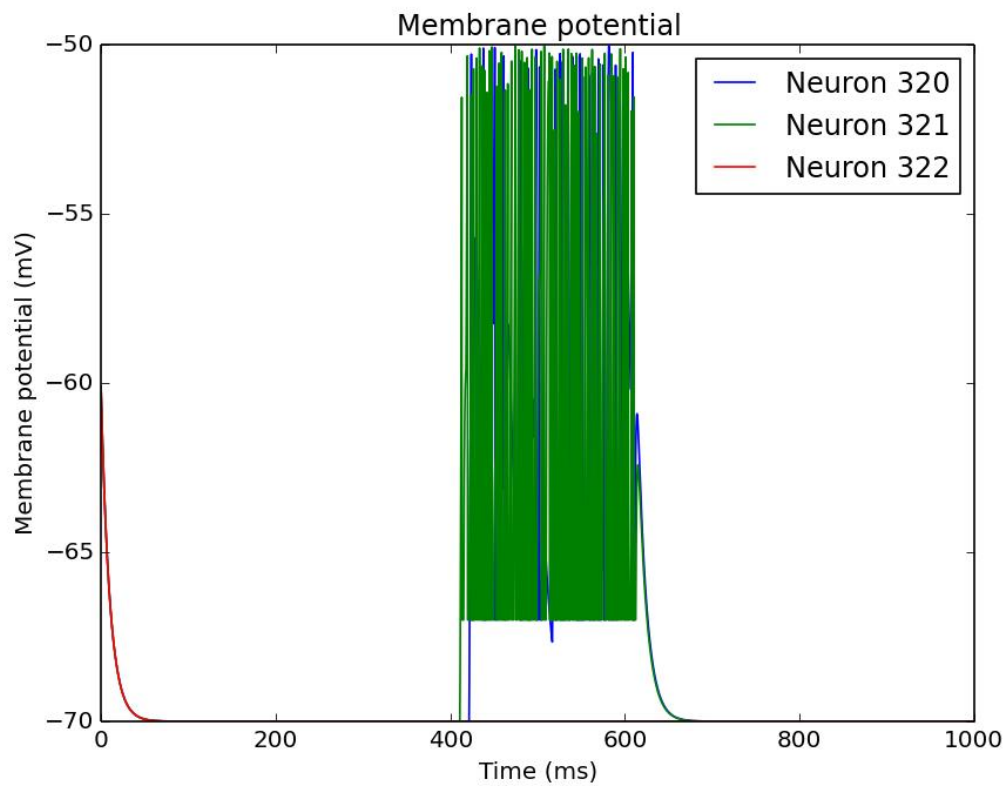


Рис. 24. Потенциала мембраны нейронов дофамина в VTA

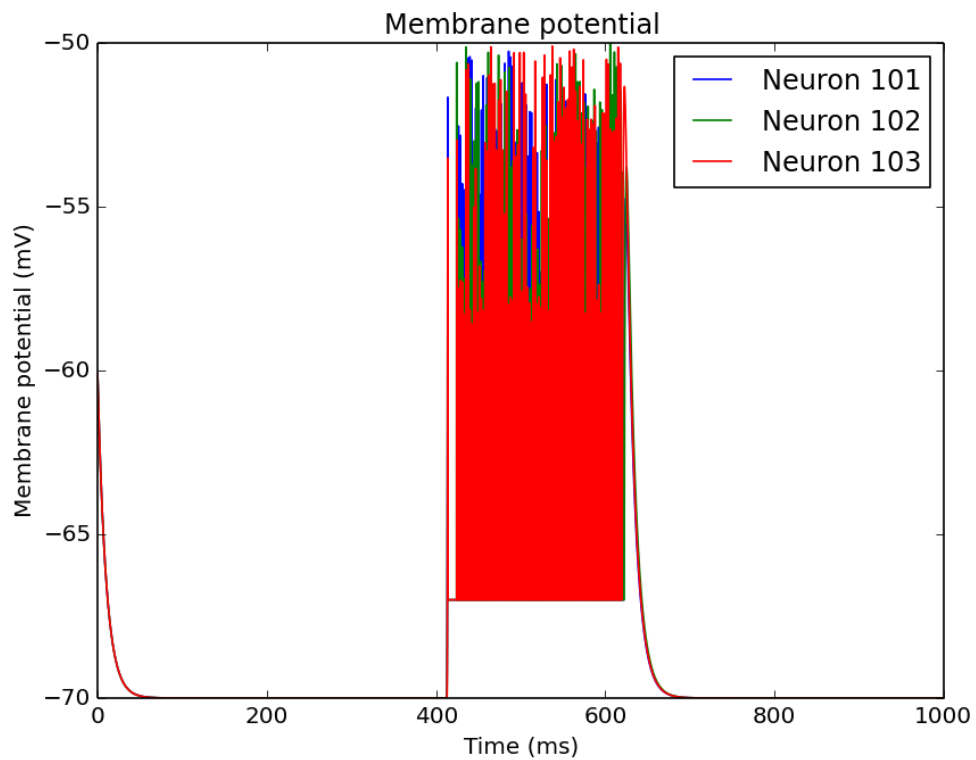


Рис. 25. Потенциала мембраны нейронов норадреналина [NA0] в Locus Coeruleus

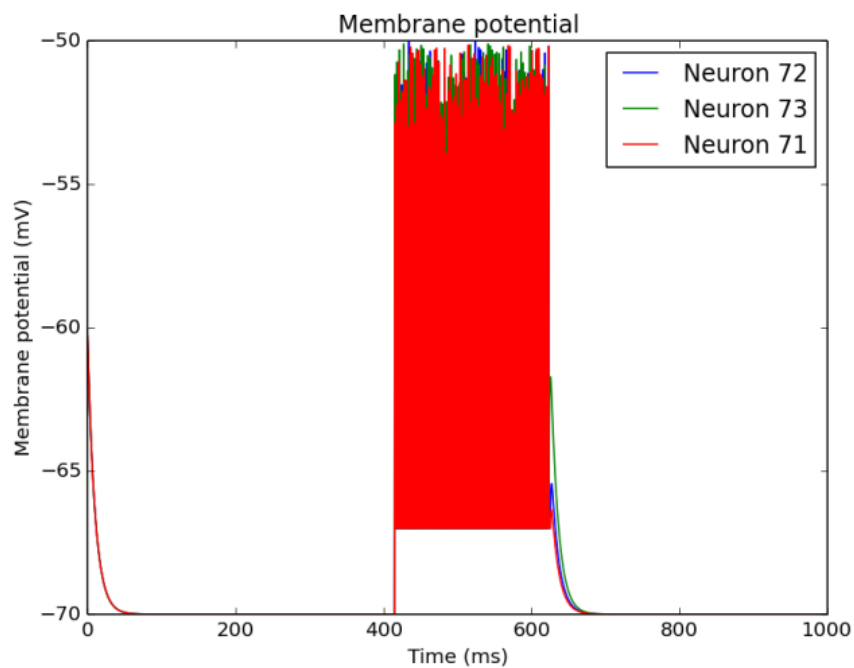


Рис. 26. Потенциала мембраны нейронов $\alpha 1$ в VTA

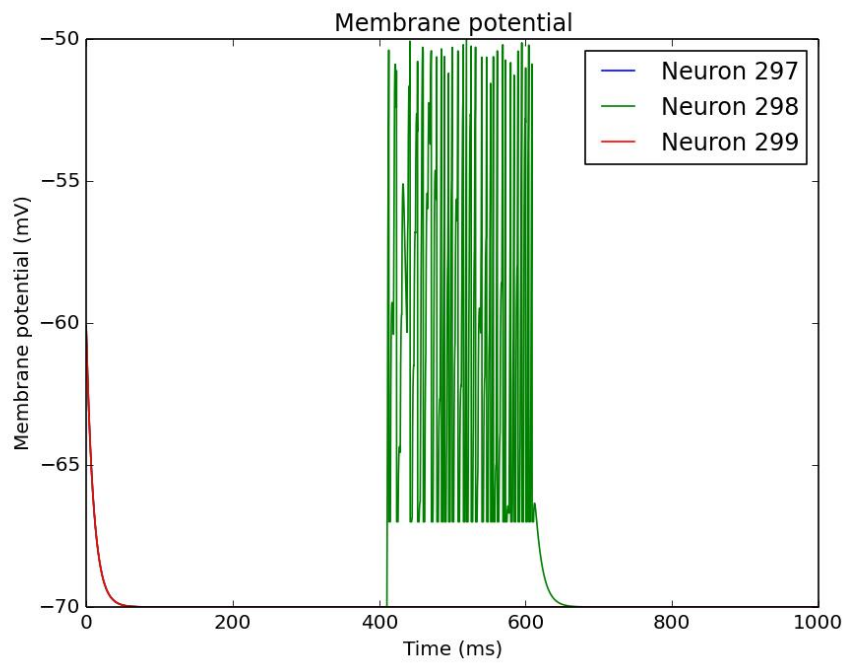


Рис. 27. Потенциала мембраны нейронов глутамата в PGI

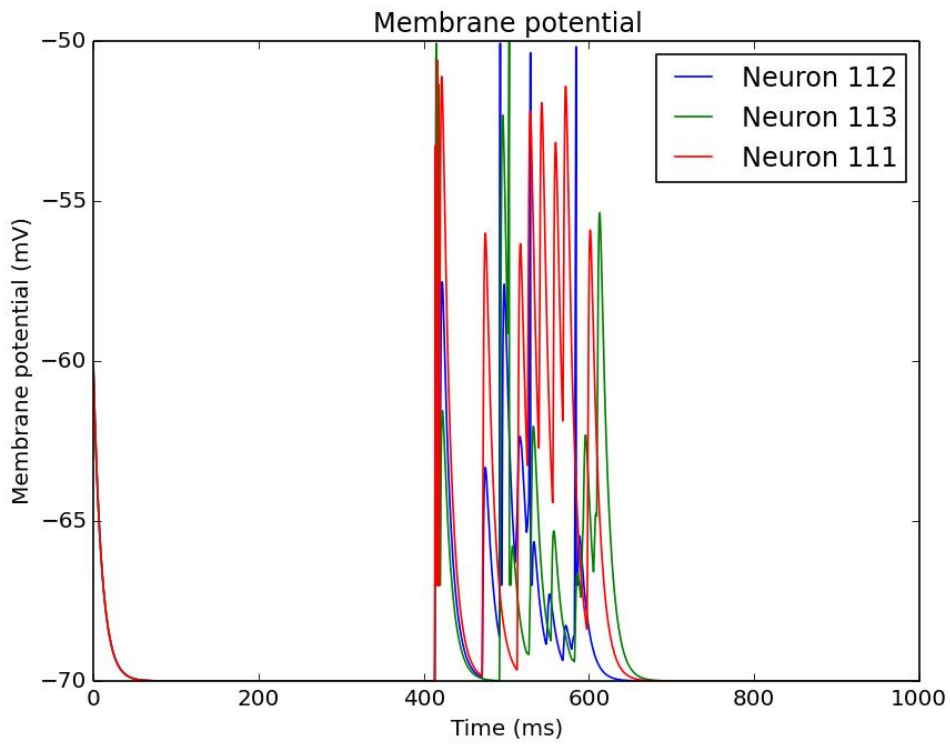


Рис. 28. Потенциала мембраны нейронов норадреналина [NA1] в Locus Coeruleus

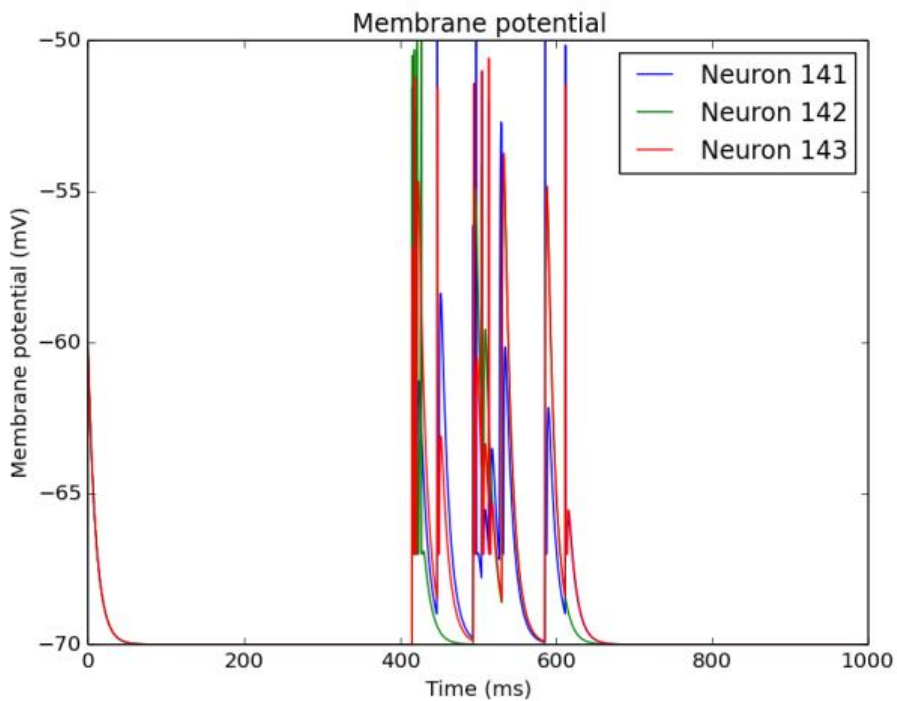


Рис. 29. Потенциала мембраны нейронов $\alpha 1$ в RN

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ АКТИВАЦИИ ДОРСАЛЬНОГО ПУТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ НОРАДРЕНАЛИНА

Моделирование дорсального пути распространения норадреналина в головном мозге активирует его отделы следующим образом. Основным источником норадреналина является голубое пятно (*Locus coeruleus*). Активируют его высвобождение рецепторы D1 и D2, на которые проецируется дофамин из вентральной области покрышки (*Ventral tegemntal area – VTA*). Проекция на D1 оказывает возбуждающее воздействие, на D2 – тормозящее. Также афферентами к голубому пятну являются ядро *paragigantocellularis (PGI)* и вентромедиальный аспект *prepositus hypoglossi (PrH)*. Стимуляция PGI сильно возбуждает нейроны локуса. Торможение вырабатывается при стимуляции PrH [15]. При проведении моделирования генератор спайков был подключен к *Motor cortex*, PGI, PrH, VTA. Активность нейронов различных областей мозга, участвующих в дорсальном пути распространения норадреналина, изображена на рисунках 18–23. Мембранный потенциал нейронов различных областей мозга, участвующих в дорсальном пути распространения норадреналина, изображен на рисунках 28–33.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ НОРАДРЕНАЛИНОВОЙ ПОДСИСТЕМЫ

На рис. 30 показана активность нейронов ацетилхолина в латерально-спинном ядре покрышки (*LTD*), глутамата в таламусе (*Thalamus*) и глутамата в моторной коре (*Motor cortex*). Активность нейронов возникает в *LTD*, далее она передается на таламус и моторную кору.

Объединенные результаты работы дорсального пути норадреналина изображены на рисунках 31 и 32. На первом из них демонстрируются частота импульса нейронов норадреналина [*NA0*] в голубом пятне (*Locus coeruleus*) и активность адренергических рецепторов $\alpha 1$ в вентральной области покрышки (*VTA*). Нейроны дофамина [*DA0*] в вентральной области покрышки оказывают возбуждающее воздействие на нейроны норадреналина в голубом пятне, через проекции к рецепторам дофамина [*D1*]. Высокая активность нейронов норадреналина показана на рис. 31.

Проекции норадреналина на рецепторы $\alpha 1$ активируют дофамин [*DA1*] в вентральной области покрышки. Эти нейроны оказывают тормозящее воздействие на нейроны норадреналина [*NA1*] в голубом пятне. Мы можем наблюдать

их низкую активность в голубом пятне на рис. 32. Далее нейроны норадреналина [NA1] посылают сигналы к серотонину в ядра шва (Raphes nuclei). Активность нейронов серотонина изображена на рис. 33.

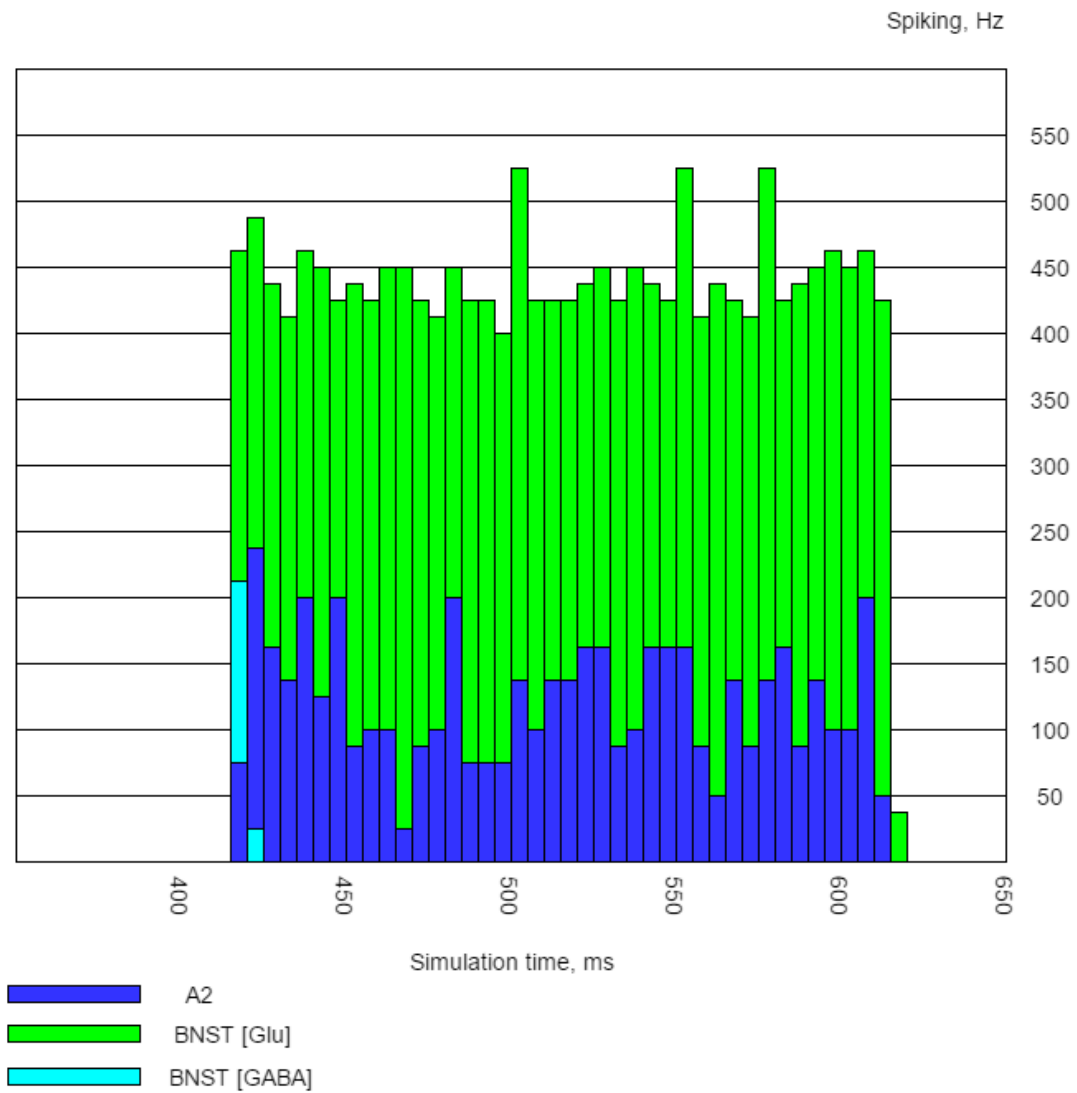


Рис. 30. Частота спайков нейронов группы A2 и BNST

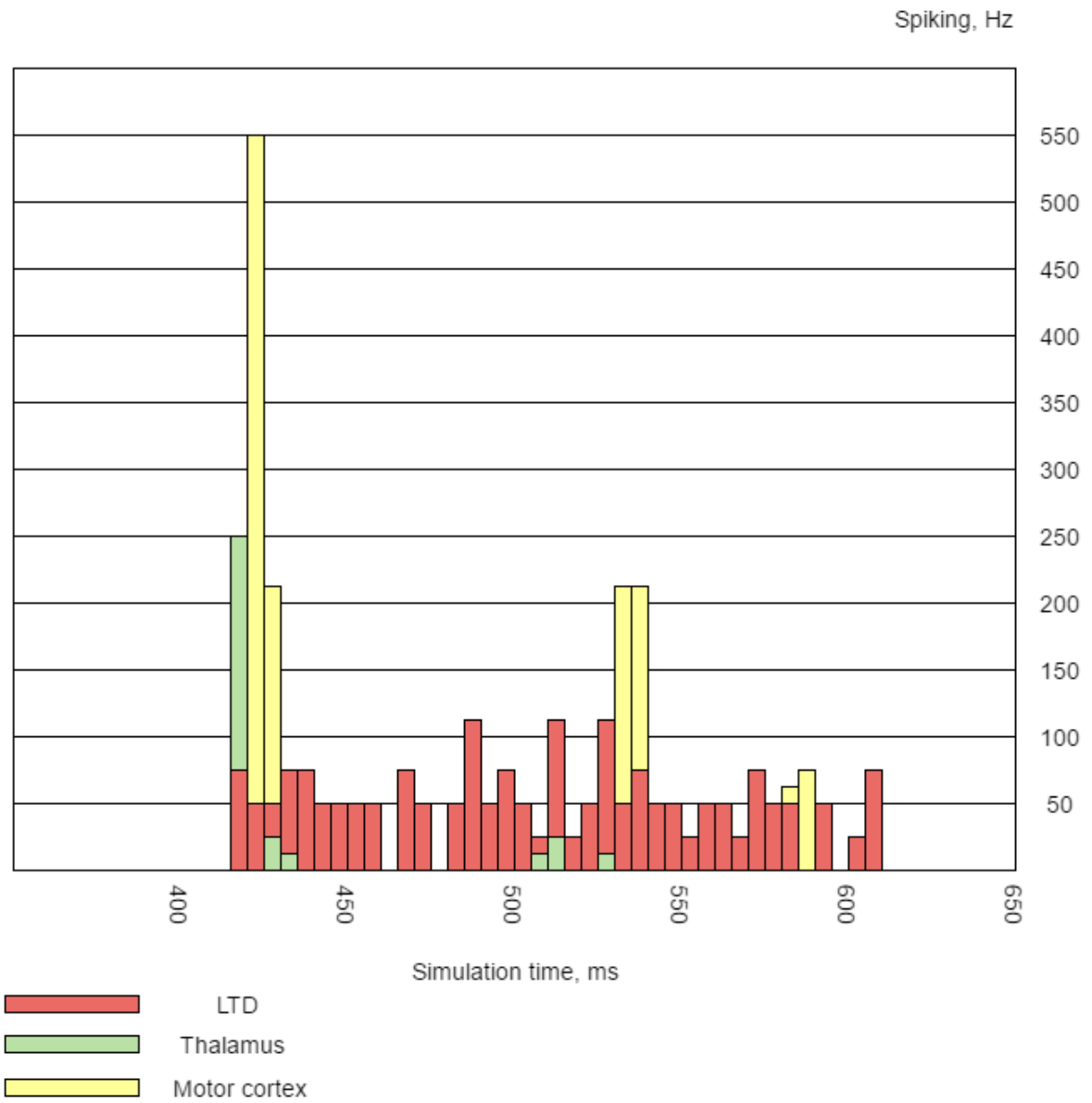


Рис. 31. Частота спайков LTD, Thalamus, Motor cortex



Рис. 32. Частота спайков Locus coeruleus, VTA

Таким образом, доказана работоспособность реализованной модели норадреналиновой подсистемы. Полученные результаты демонстрируют работу норадреналиновой подсистемы нейронной импульсной сети мозга млекопитающего. Говорить о реализации эмоционального состояния мы не можем, но наблюдаем рост вычислительной мощности.

При норадреналиновой нейромодуляции происходит повышенная спайковая активность в ядре ложа концевой полоски, вентральной области покрышки, моторной коре, что доказывает повышенную вычислительную мощность системы.

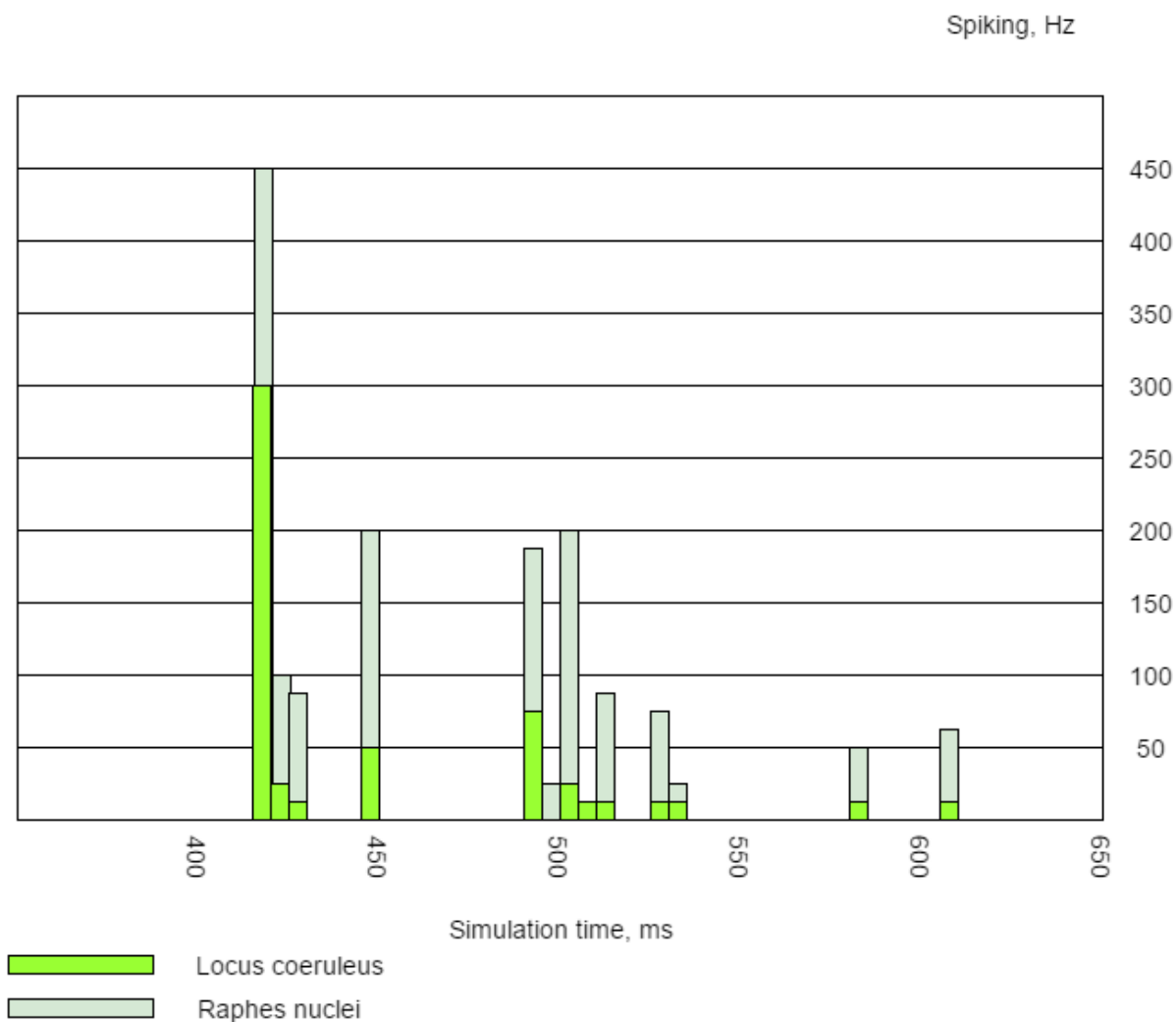


Рис. 33. Частота спайков Locus coeruleus, Raphes nuclei

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрена норадреналиновая подсистема, проведен эксперимент, изучающий влияние нейромедиатора норадреналина на параметры вычислительной системы. Выполнен активный поиск реального количества нейронов зон головного мозга, участвующих в схеме распространения норадреналина в головном мозге. Проведено моделирование вентрального и дорсального путей норадреналина и экспериментально доказано, что при норадреналиновой модуляции происходит повышенная спайковая активность в ядре ложа концевой полоски, вентральной области покрышки, моторной коре, что доказывает повышенную вычислительную мощность системы. Последняя проявляется как повышенная спайковая активность после норадреналиновой нейромодуляции.

Моделирование норадреналиновой подсистемы позволит проводить исследования в области медицины, психологии и других областях, а также приблизит нас к возможности реализовать эмоциональные процессы в вычислительных системах так, как это устроено у человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Lövheim H.* A new three-dimensional model for emotions and monoamine neurotransmitters // *Med Hypotheses*. 2012. V. 8. P. 341–348.
2. *Tomkins S.* Affect theory // In: P. Ekman, W. Friesen, P. Ellsworth, Eds. *Emotions in the Human Face*. Cambridge: Cambridge University Press, 1982. P. 355–395.
3. *Helena F., Debra K.* Emotions and social movements // *Routledge*. 2015. P. 19–41.
4. *Michael Cole M.* Culture and cognitive science // *Outlines*. 2003. No 1. P. 4.
5. *Ёлкин С.С., Клышинский Э.С., Максимов В.Ю., Мусаева Т.Н.* Модель бионической нейронной сети и ее применения // ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. 2008. С. 7–9.
6. *Purves D., Augustine G.J., Fitzpatrick D. et al.* *Neuroscience: 2nd edition* // (MA): Sinauer Associates. 2001. P. 4–8.
7. *Simon Haykin.* *Neural Networks A Comprehensive Foundation*. Second Edition. MsMaster University. 2006. P. 23–28.
8. *Колесницкий О.К., Бокоцей И.В., Яремчук С.С.* Аппаратная реализация элементов импульсных нейронных сетей с использованием биспин-приборов, Часть 1 // XII Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика», 2010. С. 122–127.
9. *Сланевская Н.М.* Мозг, мышление и общество. Часть 1. Центр Междисциплинарной нейронауки, 2012. С. 26–35.
10. *Lodish H., Berk A., Zipursky SL. et al.* *Molecular Cell Biology*, 4th edition. New York: W.H. Freeman, 2000. P. 287–298.
11. *Richard Finkel, Michelle Alexia Clark, Luigi X. Cubeddu.* *Pharmacology*. Lippincott Williams & Wilkins, 2008. P. 35–43.
12. *Päivi Marjamäki.* Imaging of dopamine and serotonin transporters Pre-

Clinical Studies with Radiotracers for Positron Emission Tomography // Turun Yliopisto University of Turku, 2011. P. 14–15.

13. *Cannon Walter B.* Bodily changes in pain, hunger, fear, and rage. Appleton-Century-Crofts, 1920. P. 184–214.

14. *Keith T., Bolshakov V.* Emotional enhancement of memory: how norepinephrine enables synaptic plasticity // Massachusetts: Molecular Brain, 2010. P. 1–3.

15. *Gregory A.O., Michael A.S., Frazer A.* Brain Norepinephrine: Neurobiology and Therapeutics. New York: Cambridge University Press, 2007. P. 157–257.

16. *Gewaltig Marc-Oliver, Diesmann Markus.* NEST (NEural Simulation Tool) // Scholarpedia. 2007. V. 2, No 4. P. 1430. URL: [http://www.scholarpedia.org/article/NEST_\(NEural_Simulation_Tool\)](http://www.scholarpedia.org/article/NEST_(NEural_Simulation_Tool)).

17. *Zaborszky L., Anthony van den Pol, Gyengesi E.* The Basal Forebrain Cholinergic Projection System in Mice. Academic Press Elsevier, 2012. 686 p.

18. *Mcdonlad A.J., Mascagni F.* Colocalization of calcium-binding properties and GABA in neurons of the rat basolateral amygdala // Department of Cell Biology and Neuroscience, 2000. P. 681–693.

19. *Masuko S., Nakajima Y., Nakajima S., Yamaguchi K.* Noradrenergic neurons from the Locus Ceruleus in dissociated cell culture: culture methods, morphology, and electrophysiology // Journal of Neuroscience. 1986. P. 3229–3241.

20. *Gary Aston-Jones, Yan Zhu, J. Patrick.* Card numerous GABAergic afferents to Locus Ceruleus in the pericerulear dendritic zone: possible interneuronal pool // Journal of Neuroscience. 2004. P. 2313–2321.

21. *Hui-Ling Wang, Marisela Morales.* Pedunculo-pontine and laterodorsal tegmental nuclei contain distinct populations of cholinergic, glutamatergic and GABAergic neurons in the rat // Eur. J. of Neuroscience. 2009. P. 340–358.

22. *Gavrilovici C., D'Alfonso S., O. Poulter M.* Diverse interneuron populations have highly specific interconnectivity in the rat piriform cortex // Journal of Comparative Neurology. 2010. P. 1570–1588.

23. *Rockhold R.W., Liu N., Coleman D., Commiskey S., Shook J., Ho I.K.* The nucleus paragigantocellularis and opioid withdrawal-like behavior // Journal of Comparative Neurology. 2010. P. 270–276.

24. Ford B., Colin J., Holmes Mainville L., Barbara E. GABAergic neurons in the rat pontomesencephalic tegmentum: codistribution with cholinergic and other tegmental neurons projecting to the posterior lateral hypothalamus // *Journal of Comparative Neurology*. 1995. P. 177–196.

25. Akira Monji, Nobumitsu Morimoto, Iwao Okuyama, Kazuo Umeno, Ikuko Nagatsu, Yasuhiko Ibata, Nobutada Tashiro. The number of noradrenergic and adrenergic neurons in the brain stem does not change with age in male Sprague-Dawley rats // *Brain Research*. 1994. P. 171–175.

THE LOW LEVEL IMPLEMENTATION OF THE NORADRENALINE PATHWAYS OF SPIKING NEURAL NETWORK

J. Safandeeva¹, M. Talanov²

Kazan (Volga Region) Federal University

¹tsyganova0410@gmail.com; ²max.talanov@gmail.com

Abstract

We propose to re-implement basic emotions described by Silvan Tomkins via "Cube of emotions" of Hugo Lövhelm, and spiking NNs. We use the basic mechanism of noradrenaline neuromodulation and map it to the influence over computational processes in modern computers. We implement noradrenaline pathways via neuro-biological simulator NEST.

Keywords: NEST, Lövhelm, nor-adrenaline, NeuCogAR

REFERENCES

1. Lövhelm H. A new three-dimensional model for emotions and monoamine neurotransmitters // *Med Hypotheses*. 2012. V. 8. P. 341–348.
 2. Tomkins S. Affect theory // In: P. Ekman, W. Friesen, P. Ellsworth, Eds. *Emotions in the Human Face*. Cambridge: Cambridge University Press, 1982. P. 355–395.
 3. Helena F., Debra K. *Emotions and social movements* // Routledge. 2015. P. 19–41.
-

4. *Michael Cole M.* Culture and cognitive science // Outlines. 2003. No 1. P. 4.
5. *Yolkin S.S., Yolkin S.V., Klyshinskiy E.S., Maximov M.Yu., Musaeva T.N.* Model bionicheskoy neyronnoy seti i eyo primenennye // IPM im. M.V. Keldysha RAN. 2008. S. 7–9.
6. *Purves D., Augustine G.J., Fitzpatrick D. et al.* Neuroscience: 2nd edition // (MA): Sinauer Associates. 2001. P. 4–8.
7. *Simon Haykin.* Neural Networks A Comprehensive Foundation. Second Edition. MsMaster University. 2006. P. 23–28.
8. *Kolesnitskiy O.K., Bokotsey I.V., Yaremchuk S.S.* Apparatsnaya realizatsiya elementov impulsnykh neyronnykh setey s ispolzovaniem bispin-priborov, P.1 // Neyroinformatika. 2010. S. 122–127.
9. *Slanevskaya N.M.* Mosg, myshlenie, obtschestvo, P. 1. Centr Mezhdisciplinarnoy neyronauki. 2012. S. 26–35.
10. *Lodish H., Berk A., Zipursky SL. et al.* Molecular Cell Biology, 4th edition. New York: W.H. Freeman, 2000. P. 287–298.
11. *Richard Finkel, Michelle Alexia Clark, Luigi X. Cubeddu.* Pharmacology. Lippincott Williams & Wilkins, 2008. P. 35–43.
12. *Päivi Marjamäki.* Imaging of dopamine and serotonin transporters Pre-Clinical Studies with Radiotracers for Positron Emission Tomography // Turun Yliopisto University of Turku, 2011. P. 14–15.
13. *Cannon Walter B.* Bodily changes in pain, hunger, fear, and rage. Appleton-Century-Crofts, 1920. P. 184–214.
14. *Keith T., Bolshakov V.* Emotional enhancement of memory: how norepinephrine enables synaptic plasticity // Massachusetts: Molecular Brain, 2010. P. 1–3.
15. *Gregory A.O., Michael A.S., Frazer A.* Brain Norepinephrine: Neurobiology and Therapeutics. New York: Cambridge University Press, 2007. P. 157–257.
16. *Gewaltig Marc-Oliver, Diesmann Markus.* NEST (NEural Simulation Tool) // Scholarpedia. 2007. V. 2, No 4. P. 1430. URL: [http://www.scholarpedia.org/article/NEST_\(NEural_Simulation_Tool\)](http://www.scholarpedia.org/article/NEST_(NEural_Simulation_Tool)).
17. *Zaborszky L., Anthony van den Pol, Gyengesi E.* The Basal Forebrain Cholinergic Projection System in Mice. Academic Press Elsevier, 2012. 686 p.
18. *Mcdonlad A.J., Mascagni F.* Colocalization of calcium-binding properties and

GABA in neurons of the rat basolateral amygdala // Department of Cell Biology and Neuroscience, 2000. P. 681–693.

19. *Masuko S., Nakajima Y., Nakajima S., Yamaguchi K.* Noradrenergic neurons from the Locus Ceruleus in dissociated cell culture: culture methods, morphology, and electrophysiology // *Journal of Neuroscience*. 1986. P. 3229–3241.

20. *Gary Aston-Jones, Yan Zhu, J. Patrick.* Card numerous GABAergic afferents to Locus Ceruleus in the pericerulear dendritic zone: possible interneuronal pool // *Journal of Neuroscience*. 2004. P. 2313–2321.

21. *Hui-Ling Wang, Marisela Morales.* Pedunculopontine and laterodorsal tegmental nuclei contain distinct populations of cholinergic, glutamatergic and GABAergic neurons in the rat // *Eur. J. of Neuroscience*. 2009. P. 340–358.

22. *Gavrilovici C., D'Alfonso S., O. Poulter M.* Diverse interneuron populations have highly specific interconnectivity in the rat piriform cortex // *Journal of Comparative Neurology*. 2010. P. 1570–1588.

23. *Rockhold R.W., Liu N., Coleman D., Commiskey S., Shook J., Ho I.K.* The nucleus paragigantocellularis and opioid withdrawal-like behavior // *Journal of Comparative Neurology*. 2010. P. 270–276.

24. *Ford B., Colin J., Holmes Mainville L., Barbara E.* GABAergic neurons in the rat pontomesencephalic tegmentum: codistribution with cholinergic and other tegmental neurons projecting to the posterior lateral hypothalamus // *Journal of Comparative Neurology*. 1995. P. 177–196.

25. *Akira Monji, Nobumitsu Morimoto, Iwao Okuyama, Kazuo Umeno, Ikuko Nagatsu, Yasuhiko Ibata, Nobutada Tashiro.* The number of noradrenergic and adrenergic neurons in the brain stem does not change with age in male Sprague-Dawley rats // *Brain Research*. 1994. P. 171–175.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



САФАНДЕЕВА Юлия Сергеевна – выпускница 2016 года Высшей школы информационных технологий и информационных систем Казанского (Приволжского) федерального университета.

Julia Sergeevna SAFANDEEVA, bachelor of Higher School Information technologies and systems of Kazan Federal University.

email: julia.safandeeva@gmail.com



ТАЛАНОВ Максим Олегович – кандидат технических наук, руководитель Лаборатории машинного понимания Высшей школы информационных технологий и информационных систем Казанского (Приволжского) федерального университета.

Maxim Olegovich TALANOV, PhD, head of Machine Cognition Lab in Higher Institute of Information Technology in Kazan (Volga `Region) Federal University.

email: max.talanov@gmail.com

Материал поступил в редакцию 15 мая 2016 года