

ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГАОУ ВО НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»

Факультет компьютерных наук

Образовательная программа «Прикладная математика и информатика»

УДК 57.087

Отчет об исследовательском проекте

на тему «Моделирование поведения крыс в лабиринте с помощью дискретных операторов на графе и кофеин»

(промежуточный, этап 1)

Выполнил:

студент группы БПМИ

09.02.2022

Дата



И.О. Фамилия

Принял:

руководитель проекта Чернышев Всеволод Леонидович

Имя, Отчество, Фамилия

Доцент департамента больших данных и информационного поиска, заместитель заведующего международной лабораторией алгебраической топологии и её приложений; кандидат физико-математических наук

Должность, ученое звание

ФКН НИУ ВШЭ

Место работы (Компания или подразделение НИУ ВШЭ)

Дата проверки 2022

Оценка
(по 10-тибалльной шкале)

Подпись

Москва 2022

Оглавление

Титульный лист	1
Оглавление	2
Основные термины, определения и сокращения.....	3
Введение, цель и задачи	4
Обзор и сравнительный анализ источников	6
Развернутый план.....	8
Список литературы	12
Календарный план работы над проектом	13

Основные термины, определения и сокращения

Биологически значимый элемент (сокращенно *БЗЭ*) – это элемент среды, который имеет отношение к удовлетворению биологической потребности (например, в еде). В рамках рассматриваемого далее лабиринта биологически значимыми элементами являются кормушки, вход, выход.

Дискретный оператор – это абстрактная функция мышления, которую представляется возможным реализовать в виде алгоритма.

Коэффициент разветвления (сокращенно *Kp*) вершины графа – это число ребер, выходящих из данной вершины; степень вершины графа.

Оператор сжатия – это вид дискретного оператора, в результате применения которого животное сокращает путь внутри лабиринта, не изменяя при этом начальную и конечную точки.

Оператор симметрии – это вид дискретного оператора, в результате применения которого животное повторяет ранее выполненную последовательность действий симметрично (относительно вертикальной или горизонтальной оси) в другой части лабиринта.

Оператор инверсии – это вид дискретного оператора, в результате применения которого животное производит ранее выполненные действия в обратном порядке.

Оператор кольца – вид дискретного оператора, в результате применения которого животное перемещается из одного участка лабиринта в другой, а затем возвращается обратно новым маршрутом (то есть множества вершин, соответствующих путям туда и обратно, не совпадают).

Условнорефлекторное поведение – это такое поведение живого организма, которое было приобретено благодаря обучению.

Условнорефлекторный процесс – это процесс приобретения условного рефлекса.

Условный рефлекс – это индивидуальная реакция или поведение, приобретенные животным посредством обучения.

Введение, цель и задачи

У нейробиологов есть основания полагать, что пищедобывательное поведение грызунов при прохождении лабиринта можно описать с помощью дискретных операторов на графе.

Нашими коллегами были выявлены маркеры, показывающие наличие когнитивных нарушений, действие кофеина или алкоголя. И замечательным является то, что эти маркеры напрямую связаны с дискретными операторами, с помощью которых предполагается описывать поведение грызуна в лабиринте.

Например, больные с тревожно-депрессивным расстройством склонны не улавливать фактор симметрии пространства, а мышам с поврежденным гиппокампом намного сложнее дается укорачивать свой путь. То есть тревожно-депрессивному расстройству соответствует отключение дискретного оператора симметрии, а повреждению гиппокампа – отключение оператора сжатия.

Тогда гипотеза нейробиологов, что пищедобывательное поведение грызунов в лабиринте можно реализовать с помощью дискретных операторов на графе, звучит правдоподобно. Поэтому **цель моей работы** следующая: проверить данную гипотезу, смоделировать процесс обучения (при прохождении лабиринта) у крысы: а) находящейся в обычном состоянии; б) находящейся под действием кофеина – в том числе с помощью дискретных операторов на графе. Тем самым, создать инструмент для исследований в области нейробиологии и обобщения вышеописанных фактов, замечательных с точки зрения как биологии, так и математики.

Для достижения цели поставлены следующие **задачи**:

- 1) изучение работ по поведению грызунов в лабиринте
- 2) обработка экспериментальных данных,
- 3) обобщение экспериментальных данных,
- 4) сравнение поведения крыс под действием кофеина и без него,
- 5) обобщение результатов сравнения,
- 6) программирование модели поведения крысы под действием кофеина и без него,
- 7) сравнение поведения двух моделей,

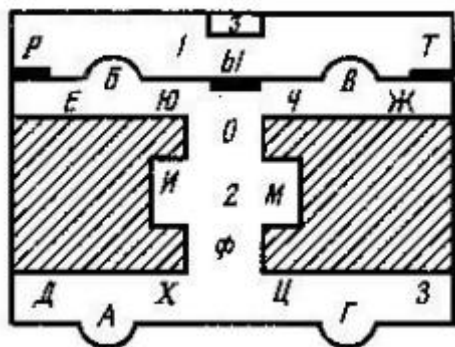
8) вывод о том, удалось ли (и почему?) с помощью моделей продемонстрировать различия в поведении крыс под действием кофеина и без него.

Если удастся смоделировать процесс пищедобывательного поведения крысы в лабиринте, то станет возможным проводить виртуальные эксперименты, что намного быстрее и дешевле. Более того, анализировать результаты экспериментов будет удобнее и быстрее, так как эти результаты сразу появятся на компьютере. Таким образом, в актуальности моделирования нет сомнения.

Обзор и сравнительный анализ источников

Важное место в области исследований пищедобывательного поведения грызунов в лабиринте занимает труд [1] «Структура внешней среды как системообразующий фактор условнорефлекторного поведения», авт. К.А. Никольская, Л.А. Дидык, Е.Р. Серебрякова. Из этой статьи я понял, как происходит эксперимент: «... была использована экспериментальная камера, состоящая из двух частей: свободного (1) и лабиринтного полей (2) (см рис. 1). В лабиринте имелись 4 кормушки – А, Б, В, Г, в двух из которых мыши всегда могли получить подкрепление (А и Г). При нажатии на полку 3 и попадании животного в лабиринт, входная Ы закрывалась и выйти в свободное поле животное могло через один из двух имеющихся выходов Р или Т», «... алгоритм условно-рефлекторной задачи заключался в следующем: при самопроизвольном нажатии на полку в свободном поле животное могло войти в лабиринт и взять подкрепление в А и/или в Г; повторное подкрепление в них можно было получить только в случае выхода в свободное поле и повторения ранее выполненной последовательности действий».

Рисунок 1



Анализируя вышесказанное, понимаем: животное хотело получить пищу, и для этого ему требовалось обходить лабиринт в заранее заданной биологами последовательности. В статье утверждается, что опыт для каждой мыши повторялся многократно. Благодаря этому наблюдалась «эволюция поведения»: животное понимало закономерность и училось выполнять требуемые действия, а именно обходить лабиринт в правильной последовательности. Иными словами, формировался условный рефлекс.

В статье ученые приходят к выводу, что потребность животного в пище является необходимым, но не достаточным условием для формирования условного рефлекса у животного. Более того, при увеличении уровня голода животные не начинают обучаться лучше. Казалось бы, чем больше потребность животного в еде, тем больший стимул к обучению и тем быстрее формируется условный рефлекс. Однако данное предположение ошибочно. Лучше обучаются голодные животные не стали.

Тем не менее, было установлено, что уровень голода влиял на поведение животных, у которых условный рефлекс уже сформировался (то есть которые уже научились проходить лабиринт). Чем выше был уровень голода, тем быстрее обученные грызуны выполняли требуемую задачу.

Особенно интересным, на мой взгляд, является следующий вывод: в очень простых

лабиринтах грызуны обучались плохо, а при усложнении лабиринта стали обучаться лучше. Однако если продолжить усложнять пространственную структуру лабиринта и далее, то у животного возникало невротическое состояние, и процесс обучения прекращался вообще.

В работе [2] «Cognitive bridge: rats, monkeys and humans in nonlinear multi-alternative maze» by V. Tolchennikova похожие эксперименты проводились не только на грызунах, но и на обезьянах с людьми. Было выявлено, что в результате обучения и крысы, и обезьяны, и люди приходили к маршруту «Вход – первая кормушка – вторая кормушка – выход». Еще одно сходство касалось уже не результата, а процесса обучения. Оно состояло в том, что в начале эксперимента испытуемые двигались по маршрутам либо «Вход - выход», либо «Вход – одна из кормушек – выход». Затем в процессе формирования условного рефлекса маршрут приобретал вид «Вход – первая кормушка – выход – вторая кормушка – выход».

Основное различие заключалось в том, как происходило исчезновение ошибок у крыс, обезьян и людей. У крыс исчезновение ошибок происходило постепенно, в то время как у обезьян и людей тот процесс происходил стремительно. Таким образом, у живых организмов с более сложной структурой мозга ошибки исчезали стремительнее.

В работе [3] «К вопросу о моделировании двигательного поведения крыс в многоальтернативном Ж-образном лабиринте» авторов А. В. Ахтеров, Т. Ф. Барбашова, А. И. Белоусов и др. также проводились аналогичные эксперименты над крысами. Были поставлены две задачи:

- 1) задача описания множества различных путей,
- 2) задача восстановления пути по записям в эксперименте.

При этом авторами было решено отказаться от фиксации остановок и исключить из рассмотрения сопутствующие состояния (например, стойки крысы или груминг). В данном проекте мы собираемся придерживаться таких же решений.

Развернутый план

План работы тесно связан с поставленными задачами и состоит из следующих пунктов:

1) Изучение работ-источников (список приведен в «ссылках») по поведению грызунов в лабиринте.

2) Обработка данных, полученных экспериментальным путем, для грызунов в нормальном состоянии (не под действием кофеина) и грызунов под действием кофеина.

В этом пункте я предполагаю записать информацию о результатах экспериментов в структуры данных нашей программной модели. Для этого потребуется функция считывания и обработки данных. В рамках программы путь грызуна будем описывать последовательностью чисел, которые взаимно-однозначно сопоставлены участкам лабиринта в реальной жизни. Например, если в реальной жизни участки лабиринта обозначаются буквами, то биекцию между буквами можно построить с помощью двух структур данных *map*. Один *map* отвечает за отображение из букв в числа, а другой – из чисел в буквы. Заметим, что вместо последнего *map* можно также использовать *vector*. Асимптотически это сложность, конечно, не изменит, однако константа будет меньше. Следовательно, будет неасимптотическая оптимизация.

3) Обобщение экспериментальных данных.

Здесь я вычислю средние значения, характеризующие процесс обучения грызуна при прохождении лабиринта. Такими значениями будут:

- а) средняя длина пути, б) наиболее часто встречающаяся длина пути (мода длины пути),
- в) среднее количество дважды посещенных вершин (ошибок),
- г) наиболее часто встречающееся количество (мода) дважды посещенных вершин.

Важно отметить, что эти значения мы находим не по всем экспериментам, а для каждой серии экспериментов отдельно.

4) Сравнение поведения крыс в зависимости от наличия действия кофеина.

В этом пункте я хотел бы посмотреть, прослеживаются ли какие-то явные различия в поведении крыс, находящихся под действием кофеина, и крыс в обычном состоянии. Особое внимание хотелось бы уделить сравнению значений из пункта 3.

5) Создание классов для грызуна и класса для лабиринта.

Весьма вероятно, классы будут занимать большое количество памяти. Поэтому если

передавать их как аргументы в функции, то будет происходить копирование, и программа станет работать долго. Можно передавать указатель на класс, чтобы избежать копирования большого количества данных. Также можно сделать класс глобальной переменной, чтобы не передавать и указатель. Класс, соответствующий лабиринту, создается один раз для каждого лабиринта и затем не меняется. Несмотря на большое количество грызунов и еще большее количество экспериментов, класс, соответствующий крысе, достаточно создать в единственном экземпляре. А затем, после рассмотрения процесса пробегания крысы по лабиринту, мы можем обновить информацию в полях класса, если это целесообразно.

б) Программирование прохождения крысы по лабиринту.

В этом пункте я предполагаю смоделировать процесс прохождения крысы по лабиринту без дискретных операторов на графе. Первоначально смоделированная крыса заходит в лабиринт и идет вперед до тех пор, пока не появится возможность смены траектории (повернуть вправо или влево). Когда такая возможность появится, крыса принимает решение. Решение принимается исходя из: а) того, какие направления дальнейшего движения доступны; б) численных значений вероятностей продолжения движения в направлении «прямо», поворота мыши влево, поворота мыши вправо, разворота. На данный момент, я думаю задать их равными $4/9$, $2/9$, $2/9$ и $1/9$ соответственно. Далее, в пункте 7, я планирую поэкспериментировать с тем, какие численные значения подходят лучше (но для этого уже понадобится метрика).

Следует добавить, что в случае, если некоторые из направлений движения не доступны, вероятности выбора других направлений движения увеличиваются.

7) Имплементация метрики и поиск наиболее удачных численных значений для вероятностей поворота мыши влево, поворота мыши вправо, разворота, продолжения движения в направлении «прямо».

Нужно уметь математически определять, насколько два пути грызуна в лабиринте похожи. Для этого запрограммируем вычисление метрики. Можно использовать, например, широко известную метрику Левенштейна или задать собственную. Теперь, когда у нас есть метрика, можно поэкспериментировать с пунктом б: исследовать, какие значения вероятностей подходят лучше.

Мы хотим определить это с точностью 0,05. Будем конструировать вектор из четырех элементов (элементы соответствуют вероятностям, являются числами вида $0,05 * k$, где k принимает натуральные значения от 1 до 19 включительно). Получить все возможные векторы

можно посредством рекурсивного перебора с отсечением невозможных вариантов. Отсечение будет происходить не только в конце рекурсии, но и на промежуточных стадиях. Далее, чтобы найти наиболее удачные численные значения вероятностей, следует несколько раз запустить смоделированную крысу по лабиринту и посчитать среднее расстояние (значение метрики) между смоделированными путями крысы и реальными. Чем меньше среднее значение метрики, тем более удачные значения вероятностей лежат в рассматриваемом векторе.

8) Внедрение дискретных операторов.

Реализовать дискретные операторы:

- а) симметрии,
- б) сжатия,
- в) кольца,
- г) инверсии.

Задать для каждого из них вероятность применения. Поэкспериментировать с подбором вероятностей, чтобы приблизить модель к реальной жизни. Целесообразно создать класс для дискретного оператора в общем виде, от которого будут наследоваться дискретные операторы, описанные выше.

9) Сравнение поведения смоделированных крыс под действием кофеина и смоделированных крыс, находящихся в обычном состоянии.

Нужно вычислить описанные в пункте 3 средние значения, но уже для смоделированных крыс, и сравнить эти значения. Сделать вывод о том, насколько это согласуется с результатом сравнения для живых грызунов.

10) Сравнение поведения смоделированных и живых крыс, вывод об успешности.

Сравнить средние значения из пункта 3 для крыс, смоделированных с помощью дискретных операторов на графе, и живых крыс. Сделать это отдельно в рамках каждой из категорий:

- а) крысы в обычном состоянии; б) крысы под действием кофеина.

С помощью метрики сделать вывод о том, насколько поведение смоделированной крысы похоже на поведение реальной. Сравнить поведение в начале, в середине, в конце эксперимента по обучению.

Также имеет смысл провести то же самое сравнение для модели без дискретных

операторов на графе. Посмотреть, какая модель из этих двух (без дискретных операторов на графе и с дискретными операторами на графе) наиболее близка к действительности.

11) Анализ проделанной работы, формулирование итогового вывода и дальнейших планов по работе над проектом.

Список литературы

[1]. Никольская К.А., Дидык Л.А., Серебрякова Е.Р. Структура внешней среды как системообразующий фактор условнорефлекторного процесса. // Сравнительная физиология высш. нервн. деят. человека и животных. 1990. М. Изд-во Наука. С. 69-90.

[2]. V. Tolchennikova. Cognitive bridge: rats, monkeys and humans in nonlinear multi-alternative maze

[3]. А. В. Ахтеров, Т. Ф. Барбашова, А. И. Белоусов, А. А. Бобик, А. Ю. Воронин, Ф. Р. Джегутанов, Е. Ю. Зуева, А. А. Кирильченко, М. Л. Кукушкин, А. С. Молоствов, В. Е. Пряничников, В. С. Смирнова, С. М. Соколов, Н. Ш. Шакарова. К вопросу о моделировании двигательного поведения крыс в многоальтернативном Ж-образном лабиринте. 2008. Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. 2008. 068, 28 с.

Приложение

Календарный план работы над проектом

Дата	Ожидаемый прогресс
21.01.2022	Зачисление на проект, посещение доклада В.В. Толченниковой по теме исследовательского проекта.
16.02.2022	Изучение работ-источников. Разработка подробного плана работы. Написание отчета для КТ-1.
06.03.2022	Обработка и обобщение экспериментальных данных, работа с ними без построения модели. Создание класса для грызуна и для лабиринта.
20.03.2022	Работа с моделью: программирование процесса прохождения крысы по лабиринту (без дискретных операторов на графе) и имплементация метрики на путях по лабиринту.
20.04.2022	Внедрение дискретных операторов в модель.
29.04.2022	Сравнение поведения смоделированных и живых крыс, анализ результатов.
15.05.2022	Написание отчета.
22.05.2022	Подготовка презентации.
30.05.2022	Перепроверка всего проекта, согласование отчета с руководителем.
Июнь 2022	Защита проекта