



Ахтеров А.В., Барбашова Т.Ф.,
Белоусов А.И., Бобик А.А.,
Воронин А.Ю., Джегутанов Ф.Р.,
[Зуева Е.Ю.](#), [Кирильченко А.А.](#),
Кукушкин М.Л., Молоствов А.С.,
[Пряничников В.Е.](#),
Смирнова В.С., [Соколов С.М.](#),
Шакарова Н.Ш.

К вопросу о моделировании
двигательного поведения
крыс в
многоальтернативном Ж-
образном лабиринте

Рекомендуемая форма библиографической ссылки: К вопросу о моделировании двигательного поведения крыс в многоальтернативном Ж-образном лабиринте / А.В.Ахтеров [и др.] // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2008. № 68. 28 с. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2008-68>

**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.**

Российская Академия Наук
ОРДЕНА ЛЕНИНА ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ
им. М.В. Келдыша

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**

Москва, 2008 г.

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.

A.V. Ahterov, T.F. Barbashova, A.I. Belousov, A.A. Bobik, A.Yu. Voronin,
 F.R. Dzhegutanol, E.Yu. Zueva, A.A. Kiril'chenko, M.L. Kukushkin, A.S. Molostvov,
 V.E. Pryanichnikov, V.S. Smirnova, S.M. Sokolov, N.Sh. Shakarova
 ABOUT THE PROBLEM OF RAT'S MOVING BEHAVIOR IN THE MAZE.

АННОТАЦИЯ

В работе рассмотрены вопросы организации экспериментов с крысами в многоальтернативном Ж-образном лабиринте с целью сбора информации для численного моделирования их двигательного поведения.

ABSTRACT

The problems of experiments organization with rats in the maze for purpose of information considerations for computing modeling of their moving behavior are considered.

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ
 06-08-1151, 05-01-00-885.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Организация экспериментов	4
2. Решение для множества всех путей в Ж-образном лабиринте	5
3. Гистограммы путей	12
4. Согласование путей	12
5. Результаты экспериментов	12
6. Случайный поиск в Ж-образном лабиринте	15
7. Заключение	19
Литература	20
Приложение. Конспект статьи Э. Толмена Когнитивные карты у крыс и у человека	21

Введение

Ж-образные лабиринты, также как и Т-образные, восьмиконечные радиальные и крестообразные лабиринты широко используются для исследования проблемы обучаемости [1,2]. Из указанных выше структур Ж-образный лабиринт является наиболее сложным с геометрической точки зрения. Лабиринт состоит из 9 отделений: стартовой зоны, двух Т-образных разветвлений с правой и левой стороны, соединенных общим коридором и двух боковых отделений справа и слева для выхода животных из лабиринта в стартовую зону. Вход из стартовой зоны в лабиринт осуществляется через центральную дверь, которая расположена в центре общего коридора. Т-образные разветвления справа и слева заканчиваются кормушками. Выработка сложного замкнутого пищевого поведения у крыс осуществлялась методом предоставления животным свободного выбора движений в лабиринте. Для этого животные должны были выполнить следующие этапы:

1. Войти из стартовой зоны в лабиринт
2. Найти две кормушки и получить подкрепление
3. Выйти из лабиринта в стартовую зону

При правильном выполнении всех этапов, в кормушки вновь раскладывался корм и животное могло повторить весь цикл.

При обучении крыс в Ж-образном лабиринте обнаруживаются различные типы двигательного поведения и различные стратегии обучения, которые в основном характеризуются пассивностью или активностью подопытного объекта. Вместе с тем, крысы самостоятельно, без «подсказки оператора» достаточно быстро формируют целенаправленное пищевое поведение, используя для своего обучения особенности среды.

С другой стороны, для мобильных роботов (МР) и распределенных мобильных систем (РМС), наряду с задачами достижения целевого положения, информационного обхода ограниченного участка среды, поиска динамических объектов и слежения за ними и др., ставится задача поиска объекта. Решение задачи поиска объекта в среде в традиционной теории управления сводится к алгоритмам последовательного по координатного обхода и последовательного спиралевидного обхода. Крысы не реализуют эти алгоритмы, также как и другие животные (например, движение собаки у забора). Для их двигательного поведения характерно наличие остановок и зигзагов. Для МР остановка – это выход в статичной позиции на связь с оператором. При детерминированном поведении МР возможны и зигзаги. Наличие зигзагов означает, что объект реализует в одиночку широко известный алгоритм поиска на графе вширь, а не вглубь. Среда Ж-образного лабиринта в этом случае представляется графом районов.

При реализации алгоритмов поиска предполагается использовать методику мягких вычислений (software computing), включающих в себя нейронные сети, размытую логику, генетические алгоритмы и др.

Работы проводились совместно сотрудниками Института прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН и НИИ общей патологии и патофизиологии РАМН.

1. Организация экспериментов.

Постановка с экспериментами была описана во введении. На рис. 1 помещен план Ж-образного многоальтернативного лабиринта, а на рис. 2 – фрагменты опыта с одной из крыс в середине процесса обучения. В эксперименте участвуют два оператора: один занимается крысами, а второй ведет запись эксперимента с дискретностью 20 секунд. Весь лабиринт поделен на районы, обозначенные буквами или цифрами, как указано на рис.1. Фиксируются положения крысы и сопутствующие события - стойки, груминг, дефекация. Эксперимент длится 13 минут. Типичные эксперименты фиксировались телекамерой. Опыты с комплектом крыс (порядка 20 особей) проводятся в течение 10 дней каждый день.

В проведении экспериментов с отдельной крысой можно выделить следующие три стадии:

1. Ознакомительная стадия. Крыса знакомится с лабиринтом.
2. Стадия обучения.

3. Заключительная стадия, когда большинство крыс уже выработали адекватный путь с учетом подкрепления. Наиболее информативной с точки зрения приложений является вторая стадия.

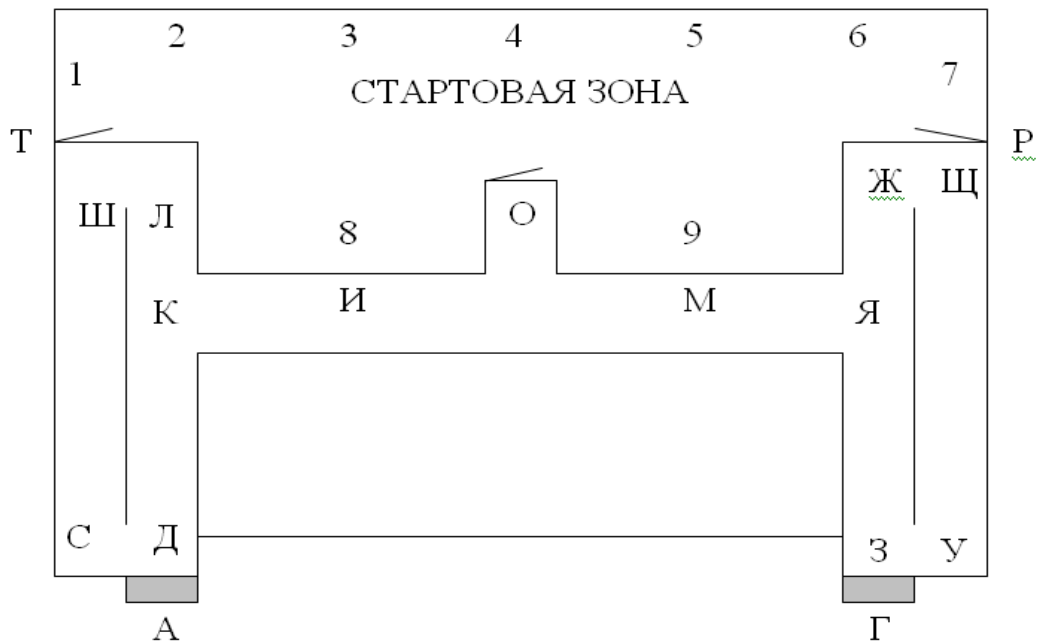


Рис. 1

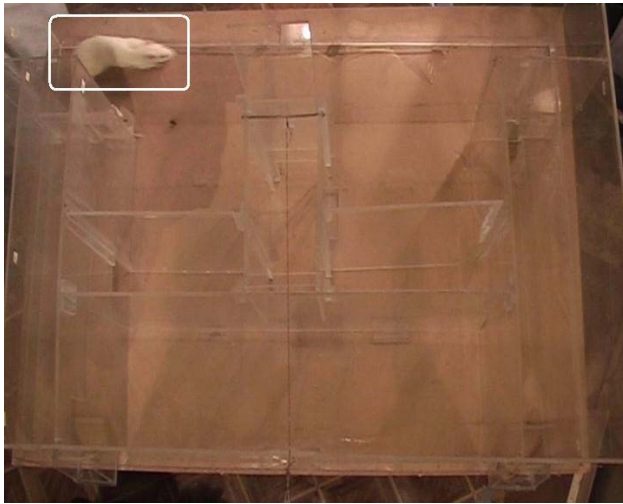


Рис. 2а. Крыса в стартовой зоне

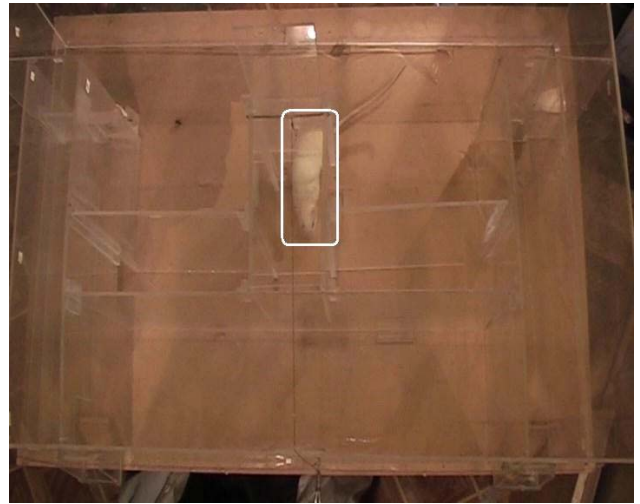


Рис. 2б. Крыса входит в лабиринт

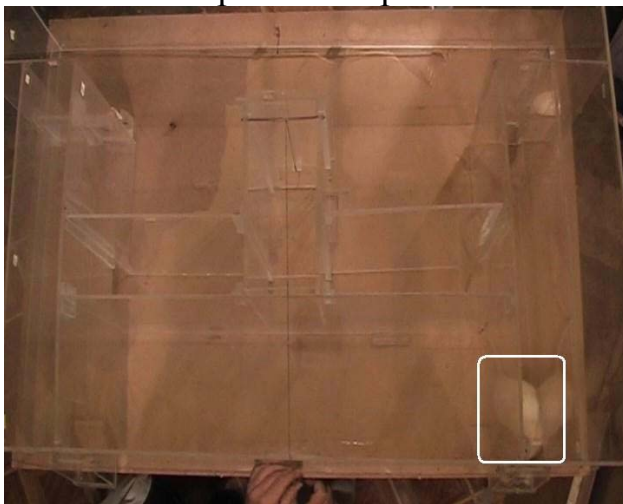


Рис. 2в. Крыса подходит к кормушке

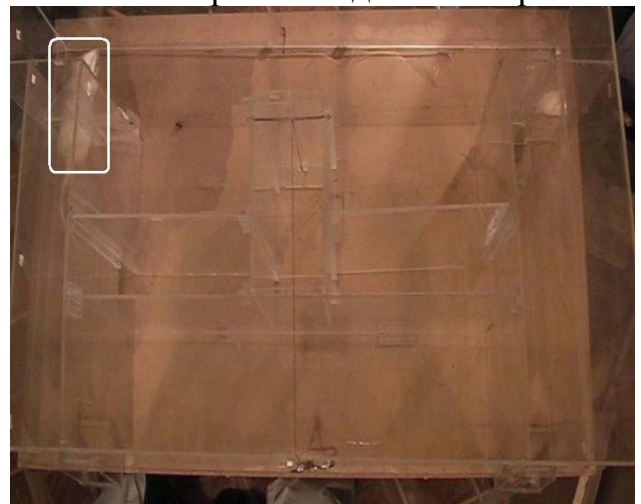


Рис. 2г. Крыса выходит из лабиринта в стартовую зону

Рис. 2. Различные стадии двигательного поведения крысы в лабиринте

2. Решение для множества всех путей в Ж-образном лабиринте.

Ж-образный лабиринт разбит на районы, которые указаны на рис.1, помеченные буквами и цифрами. Соответственно данному плану строится магистральный граф, где вершинам соответствуют районы, выделенные на плане, а ребра, ведущие из района в район помечены парой (исходный район, целевой район). Было решено на первом этапе исключить из протокола сопутствующие состояния (стойки, дефекацию и груминг). Кроме того, было решено отказаться от фиксации остановок. Все это было сделано для упрощения регулярного выражения, описывающего двигательное поведение крысы в лабиринте.

Здесь мы активно используем технику дискретной математики для регулярного выражения, описывающего все возможные пути с входа на выходы для автоматов- распознавателей (т.е. для автоматов без выходной ленты) [3].

Остановимся сначала на простом примере.

Задача перечисления путей в орграфе $G=(V,E)$, где V – множество вершин, а $E \subseteq V \times V$ – множество дуг (упорядоченных пар вершин), рассматривается как задача матрицы стоимостей орграфа, размеченного над полукольцом регулярных языков, носителем которого является множество регулярных языков в алфавите $W=E$ [3], т.е. символами алфавита являются имена дуг (обозначения их как упорядоченных пар вершин), в качестве операции сложения фигурирует объединение множеств, а в качестве операции умножения – соединение языков; нулем полукольца является пустое множество, а единицей – язык, состоящий из одной пустой цепочки.

Ради удобства пару (i,j) будем записывать как (ij) , а соединение меток смежных дуг (ij) и (jk) будем записывать в виде (ijk) . В общем случае для пути $(i_1 \dots i_k)$ и дуги $(i_k j)$ их соединение даст путь $(i_1 \dots i_k j)$.

Перечислим пути в графе, изображенном ниже на рис.3.

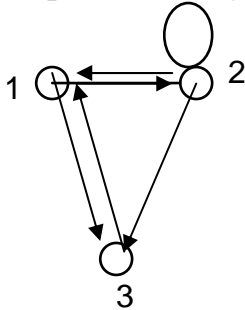


Рис.3

Запишем систему уравнений для первого столбца матрицы стоимостей:

$$x_1 = (12)x_2 + (13)x_3 + \lambda$$

$$x_2 = (21)x_1 + (22)x_2 + (23)x_3$$

$$x_3 = (31)x_1$$

Обратим внимание на то, что в первом уравнении в этом случае в качестве свободного члена стоит регулярное выражение λ , обозначающее язык $\{\lambda\}$ – единицу указанного полукольца.

Подставляя выражение для x_1 во второе уравнение, получим

$$x_2 = (21) ((12)x_2 + (13)x_3 + \lambda) + (22)x_2 + (23)x_3,$$

или

$$x_2 = ((212)+(22))x_2 + ((213)+(23))x_3 + (21),$$

откуда

$$x_2 = ((212)+(22))*(((213)+(23))x_3 + (21)),$$

где знак * означает итерацию (цикл).

Подставляя это выражение в первое уравнение и, учитывая в третьем, получим

$$x_1 = (12) ((212)+(22))*(((213)+(23))(31)x_1 + (21)) + (131)x_1 + \lambda,$$

откуда

$$x_1 = ((12) ((212)+(22))*(((2131)+(231)) + (131))*((12)((212)+(22))*(21) + \lambda).$$

Это выражение описывает множество всех путей, начинающихся и заканчивающихся в первой вершине. Аналогично вычисляются остальные столбцы, причем слагаемое λ будет стоять в уравнении, номер которого равен номеру вычисляемого столбца.

Вернемся к рассматриваемому алгоритму. Лабиринт представляется графом районов, изображенном на рис.4.

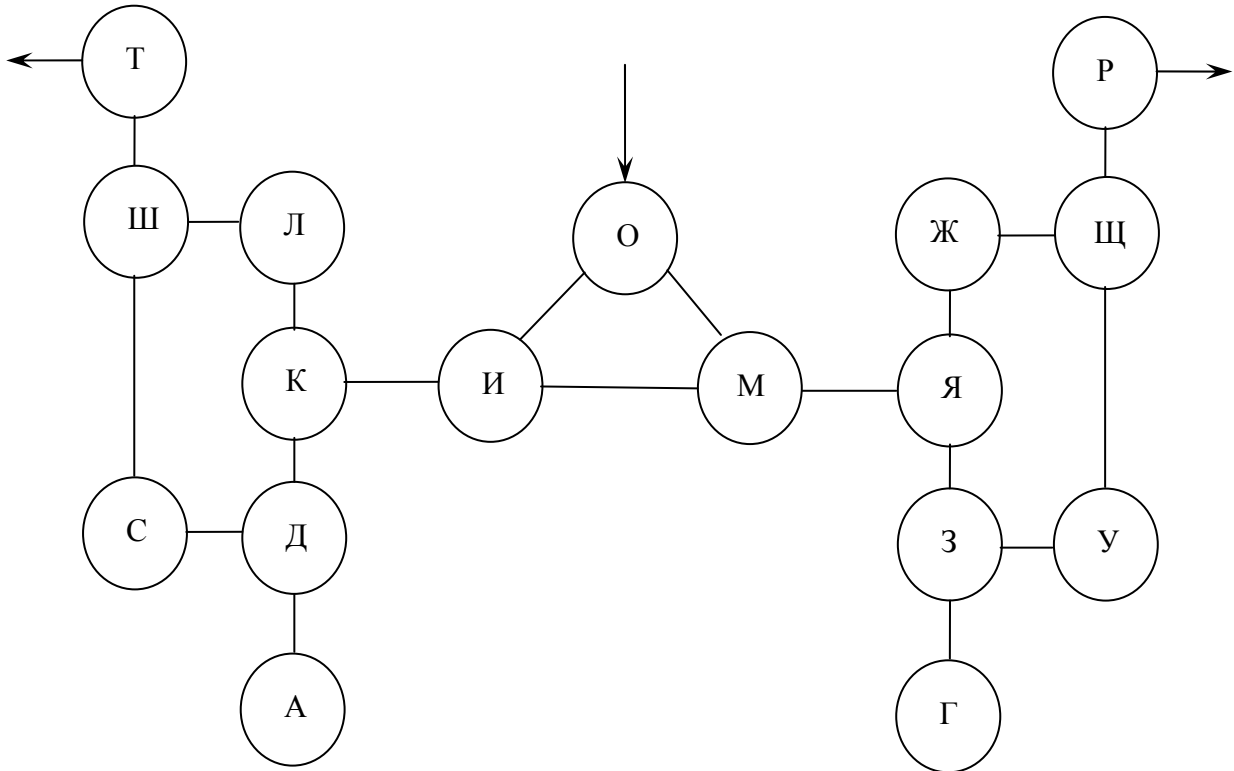


Рис.4.

Зададим соответствие между местами и переменными:

$X_1 - А, X_2 - Д, X_3 - С, X_4 - Ш, X_5 - Т, X_6 - Л, X_7 - Л, X_8 - И, X_9 - О, X_{10} - М,$
 $X_{11} - Я, X_{12} - Ж, X_{13} - З, X_{14} - Г, X_{15} - У, X_{16} - Щ, X_{17} - Р.$

Исключая стартовую зоны, все пути в лабиринте описывает следующая

Система 17-го порядка

$$x_1 = (АД)x_2$$

$$x_2 = (ДА)x_1 + (ДС)x_3 + (ДК)x_7$$

$$x_3 = (СД)x_2 + (СШ)x_4$$

$$x_4 = (ШТ)x_5 + (ШС)x_3 + (ШЛ)x_6$$

$$x_5 = (ТШ)x_4 + \lambda$$

$$x_6 = (ЛШ)x_4 + (ЛК)x_7$$

$$x_7 = (КД)x_2 + (КЛ)x_6 + (КИ)x_8$$

$$x_8 = (ИК)x_7 + (ИО)x_9 + (ИМ)x_{10}$$

$$x_9 = (ОИ)x_8 + (ОМ)x_{10} \quad (\text{начальная вершина})$$

$$x_{10} = (МИ)x_8 + (МО)x_9 + (МЯ)x_{11}$$

$$x_{11} = (ЯМ)x_{10} + (ЯЖ)x_{12} + (ЯЗ)x_{13}$$

$$x_{12} = (ЖЯ)x_{11} + (ЖЩ)x_{16}$$

$$x_{13} = (ЗЯ)x_{11} + (ЗГ)x_{14} + (ЗУ)x_{15}$$

$$x_{14} = (ГЗ)x_{13}$$

$$x_{15} = (УЗ)x_{13} + (УЩ)x_{16}$$

$$x_{16} = (ЩЖ)x_{12} + (ЩР)x_{17} + (ЩУ)x_{15}$$

$$x_{17} = (РЩ)x_{16} + \lambda$$

Решение этой системы, полученное «вручную», приведено ниже

$$\begin{aligned} & \{((ОИ) [(ИК) [(КД) (ДАД)* [(ДС) ([(СД) (ДАД)* (ДС)]*(СД)(ДАД)* (ДК)]+ \\ & [(СД) (ДАД)* (ДС)]* (СШ)][(ШТШ)+(ШС)* [(СД) (ДАД)* (ДС)]* (СШ)]]* \\ & [(ШС) [(СД) (ДАД)* (ДС)]*(СД)(ДАД)* (ДК)]+(ШЛ) [(ЛШ) [(ШТШ)+(ШС)* \\ & [(СД) (ДАД)* (ДС)]* (СШ)]]* (ШЛ)]* [(ЛШ) [(ШТШ)+(ШС)* [(СД) \\ & (ДАД)* (ДС)]* (СШ)]]* (ШС) [(СД) (ДАД)* (ДС)]*(СД)(ДАД)* (ДК)]+(ЛК)]]) + \\ & (ДК)]+ (КЛ) [(ЛШ) [(ШТШ)+(ШС)* [(СД) (ДАД)* (ДС)]* (СШ)]]* (ШЛ)]* \\ & [(ЛШ) [(ШТШ)+(ШС)* [(СД) (ДАД)* (ДС)]* (СШ)]]* (ШС) [(СД) \\ & (ДАД)* (ДС)]*(СД)(ДАД)* (ДК)]+(ЛК)]])*(КИ)]*(ИО)]*(ОИ) [(ИК) [(КД) \\ & (ДАД)* [(ДС) ([(СД) (ДАД)* (ДС)]*(СД)(ДАД)* (ДК)]+ [(СД) (ДАД)* (ДС)]* \\ & (СШ)][(ШТШ)+(ШС)* [(СД) (ДАД)* (ДС)]* (СШ)]]* [(ШС) [(СД) \\ & (ДАД)* (ДС)]*(СД)(ДАД)* (ДК)]+(ШЛ) [(ЛШ) [(ШТШ)+(ШС)* [(СД) \\ & (ДАД)* (ДС)]* (СШ)]]* (ШЛ)]* [(ЛШ) [(ШТШ)+(ШС)* [(СД) (ДАД)* (ДС)]* \\ & (СШ)]]* (ШС) [(СД) (ДАД)* (ДС)]*(СД)(ДАД)* (ДК)]+(ЛК)]]) + (ДК)]+ (КЛ) \\ & [(ЛШ) [(ШТШ)+(ШС)* [(СД) (ДАД)* (ДС)]* (СШ)]]* (ШЛ)]* [(ЛШ) \\ & [(ШТШ)+(ШС)* [(СД) (ДАД)* (ДС)]* (СШ)]]* (ШС) [(СД) \\ & (ДАД)* (ДС)]*(СД)(ДАД)* (ДК)]+(ЛК)]])*(КИ)]*(ИМ) + (ОМ)]\{ ((МИ) [(ИК) \\ & [(КД) (ДАД)* [(ДС) ([(СД) (ДАД)* (ДС)]*(СД)(ДАД)* (ДК)]+ [(СД) \\ & (ДАД)* (ДС)]* (СШ)][(ШТШ)+(ШС)* [(СД) (ДАД)* (ДС)]* (СШ)]]* [(ШС) \\ & [(СД) (ДАД)* (ДС)]*(СД)(ДАД)* (ДК)]+(ШЛ) [(ЛШ) [(ШТШ)+(ШС)* [(СД) \\ & (ДАД)* (ДС)]* (СШ)]]* (ШЛ)]* [(ЛШ) [(ШТШ)+(ШС)* [(СД) (ДАД)* (ДС)]* \\ & (СШ)]]* (ШС) [(СД) (ДАД)* (ДС)]*(СД)(ДАД)* (ДК)]+(ЛК)]]) + (ДК)]+ (КЛ) \\ & [(ЛШ) [(ШТШ)+(ШС)* [(СД) (ДАД)* (ДС)]* (СШ)]]* (ШЛ)]* [(ЛШ) \\ & [(ШТШ)+(ШС)* [(СД) (ДАД)* (ДС)]* (СШ)]]* (ШС) [(СД) \\ & (ДАД)* (ДС)]*(СД)(ДАД)* (ДК)]+(ЛК)]])*(КИ)]*(ИМ) + (МЯМ)]+(МЯЖ)](\\ & [(ЖЯЖ) + (ЖЩ) ((ЩРЩ) + (ЩУЩ))* (ЩЖ)] + [(ЖЯЗ) + (ЖЩ) ((ЩРЩ) + \\ & (ЩУЩ))* (ЩУЗ)] [(ЗЯЗ) + (ЗГЗ) + [(ЗУЗ) + (ЗУЩ) [(ЩРЩ) + (ЩУЩ)]* (ЩУЗ)]]* \\ & [(ЗЯЖ) + (ЗУЩ) [(ЩРЩ) + (ЩУЩ)]* (ЩЖ)])* [(ЖЯМ) + [(ЖЯЗ) + (ЖЩ) \\ & ((ЩРЩ) + (ЩУЩ))* (ЩУЗ)] [(ЗЯЗ) + (ЗГЗ) + [(ЗУЗ) + (ЗУЩ) [(ЩРЩ) + \end{aligned}$$

(ЩУЩ)* (ЩУЗ)]* (ЗЯМ)))+(МЯЗ)([(ЗЯЗ) + (ЗГЗ) + [(ЗУЗ)+ (ЗУЩ) [(ЩРЩ)+ (ЩУЩ)]* (ЩУЗ)] [(ЗЯМ) + [(ЗЯЖ) + (ЗУЩ) [(ЩРЩ)+ (ЩУЩ)]* (ЩЖ)] [(ЖЯЖ) + (ЖЩ) ((ЩРЩ)+ (ЩУЩ))* (ЩЖ)] + [(ЖЯЗ) + (ЖЩ) ((ЩРЩ)+ (ЩУЩ))* (ЩУЗ)] [(ЗЯЗ) + (ЗГЗ) + [(ЗУЗ)+ (ЗУЩ) [(ЩРЩ)+ (ЩУЩ)]* (ЩУЗ)]]* [(ЗЯЖ) + (ЗУЩ) [(ЩРЩ)+ (ЩУЩ)]* (ЩЖ)])* [(ЖЯМ)+ [(ЖЯЗ) + (ЖЩ) ((ЩРЩ)+ (ЩУЩ))* (ЩУЗ)] [(ЗЯЗ) + (ЗГЗ) + [(ЗУЗ)+ (ЗУЩ) [(ЩРЩ)+ (ЩУЩ)]* (ЩУЗ)]* (ЗЯМ))]*) * **(((МЯЖ)** (((ЖЯЖ) + (ЖЩ) ((ЩРЩ)+ (ЩУЩ))* (ЩЖ)) + [(ЖЯЗ) + (ЖЩ) ((ЩРЩ)+ (ЩУЩ))* (ЩУЗ)] [(ЗЯЗ) + (ЗГЗ) + [(ЗУЗ)+ (ЗУЩ) [(ЩРЩ)+ (ЩУЩ)]* (ЩУЗ)]]* [(ЗЯЖ) + (ЗУЩ) [(ЩРЩ)+ (ЩУЩ)]* (ЩЖ)])* [(ЖЯЗ) + (ЖЩ) ((ЩРЩ)+ (ЩУЩ))* (ЩУЗ)] [(ЗЯЗ) + (ЗГЗ) + [(ЗУЗ)+ (ЗУЩ) [(ЩРЩ)+ (ЩУЩ)]* (ЩУЗ)]]* [(ЗУЩ)[(ЩРЩ)+ (ЩУЩ)]* (ЩР)] + [(ЖЩ) ((ЩРЩ)+ (ЩУЩ))* (ЩР)) + **(МЯЗ)** [(ЗЯЗ) + (ЗГЗ) + [(ЗУЗ)+ (ЗУЩ) [(ЩРЩ)+ (ЩУЩ)]* (ЩУЗ)]]* [(ЗЯЖ) + (ЗУЩ) [(ЩРЩ)+ (ЩУЩ)]* (ЩЖ)] {[(ЖЯЖ) + (ЖЩ) ((ЩРЩ)+ (ЩУЩ))* (ЩЖ)] + [(ЖЯЗ) + (ЖЩ) ((ЩРЩ)+ (ЩУЩ))* (ЩУЗ)] [(ЗЯЗ) + (ЗГЗ) + [(ЗУЗ)+ (ЗУЩ) [(ЩРЩ)+ (ЩУЩ)]* (ЩУЗ)]]* [(ЗЯЖ) + (ЗУЩ) [(ЩРЩ)+ (ЩУЩ)]* (ЩЖ)])* [(ЖЯЗ) + (ЖЩ) ((ЩРЩ)+ (ЩУЩ))* (ЩУЗ)] [(ЗЯЗ) + (ЗГЗ) + [(ЗУЗ)+ (ЗУЩ) [(ЩРЩ)+ (ЩУЩ)]* (ЩУЗ)]]* [(ЗУЩ)[(ЩРЩ)+ (ЩУЩ)]* (ЩР)] + [(ЖЩ) ((ЩРЩ)+ (ЩУЩ))* (ЩР)) + **(МИ)** [(ИК) [(КД) (ДАД)* [(ДС) ([[СД) (ДАД)* (ДС)]* (СД)(ДАД)* (ДК)]+ [[СД) (ДАД)* (ДС)]* (СШ)][(ШТШ)+(ШС)* [[СД) (ДАД)* (ДС)]* (СШ)]* [(ШС) [[СД) (ДАД)* (ДС)]* (СД)(ДАД)* (ДК)]+(ШЛ) [[(ЛШ) [(ШТШ)+(ШС)* [[СД) (ДАД)* (ДС)]* (СШ)]* (ШЛ)]* [(ЛШ) [(ШТШ)+(ШС)* [[СД) (ДАД)* (ДС)]* (СШ)]* (ШС) [[СД) (ДАД)* (ДС)]* (СД)(ДАД)* (ДК)]+(ЛК)]))] + (ДК)]+(КЛ) [[(ЛШ) [(ШТШ)+(ШС)* [[СД) (ДАД)* (ДС)]* (СШ)]* (ШЛ)]* [(ЛШ) [(ШТШ)+(ШС)* [[СД) (ДАД)* (ДС)]* (СШ)]* (ШС) [[СД) (ДАД)* (ДС)]* (СД)(ДАД)* (ДК)]+(ЛК)]])* (КИ)* (ИК) ([(КД) (ДАД)* [(ДС) ([[СД) (ДАД)* (ДС)]* (СД)(ДАД)* (ДК)]+ [[СД) (ДАД)* (ДС)]* (СШ)][(ШТШ)+(ШС)* [[СД) (ДАД)* (ДС)]* (СШ)]* [(ШС) [[СД) (ДАД)* (ДС)]* (СД)(ДАД)* (ДК)] + (ШЛ) [[(ЛШ) [(ШТШ)+(ШС)* [[СД) (ДАД)* (ДС)]* (СШ)]* (ШЛ)]* [(ЛШ) [(ШТШ)+(ШС)* [[СД) (ДАД)* (ДС)]* (СШ)]* (ШТ)]] + (КЛ) [[(ЛШ) [(ШТШ)+(ШС)* [[СД) (ДАД)* (ДС)]* (СШ)]* (ШЛ)]* (ЛШ) [(ШТШ)+(ШС)* [[СД) (ДАД)* (ДС)]* (СШ)]* (ШТ)]] + [[(ЛШ) [(ШТШ)+(ШС)* [[СД) (ДАД)* (ДС)]* (СШ)]* (ШЛ)]* (ЛШ) [(ШТШ)+(ШС)* [[СД) (ДАД)* (ДС)]* (СШ)]* (ШТ)]] + ((ОИ) [(ИК) [(КД) (ДАД)* [(ДС) ([[СД) (ДАД)* (ДС)]* (СД)(ДАД)* (ДК)]+ [[СД) (ДАД)* (ДС)]* (СШ)][(ШТШ)+(ШС)* [[СД) (ДАД)* (ДС)]* (СШ)]* [(ШС) [[СД)

$$\begin{aligned}
& ((\text{ДАД})^*(\text{ДС})^*(\text{СД})(\text{ДАД})^*(\text{ДК}))+(\text{ШЛ}) [((\text{ЛШ}) [(\text{ШТШ})+(\text{ШС})^* [((\text{СД}) \\
& (\text{ДАД})^*(\text{ДС})^*(\text{СШ})]^*(\text{ШЛ})]^* [(\text{ЛШ}) [(\text{ШТШ})+(\text{ШС})^* [((\text{СД}) (\text{ДАД})^*(\text{ДС})^* \\
& (\text{СШ})]^*(\text{ШС}) [((\text{СД}) (\text{ДАД})^*(\text{ДС})^*(\text{СД})(\text{ДАД})^*(\text{ДК}))+(\text{ЛК}))]])+ (\text{ДК}))+ (\text{КЛ}) \\
& [((\text{ЛШ}) [(\text{ШТШ})+(\text{ШС})^* [((\text{СД}) (\text{ДАД})^*(\text{ДС})^*(\text{СШ})]^*(\text{ШЛ})]^* [(\text{ЛШ}) \\
& [(\text{ШТШ})+(\text{ШС})^* [((\text{СД}) (\text{ДАД})^*(\text{ДС})^*(\text{СШ})]^*(\text{ШС}) [((\text{СД}) \\
& (\text{ДАД})^*(\text{ДС})^*(\text{СД})(\text{ДАД})^*(\text{ДК}))+(\text{ЛК}))]]^*(\text{КИ})^*(\text{ИО})^*(\text{ОИ}) [((\text{ИК}) [(\text{КД}) \\
& (\text{ДАД})^* [(\text{ДС}) [((\text{СД}) (\text{ДАД})^*(\text{ДС})^*(\text{СД})(\text{ДАД})^*(\text{ДК}))+ [((\text{СД}) (\text{ДАД})^*(\text{ДС})^* \\
& (\text{СШ})][(\text{ШТШ})+(\text{ШС})^* [((\text{СД}) (\text{ДАД})^*(\text{ДС})^*(\text{СШ})]^*(\text{ШС}) [((\text{СД}) \\
& (\text{ДАД})^*(\text{ДС})^*(\text{СД})(\text{ДАД})^*(\text{ДК}))+(\text{ШЛ}) [((\text{ЛШ}) [(\text{ШТШ})+(\text{ШС})^* [((\text{СД}) \\
& (\text{ДАД})^*(\text{ДС})^*(\text{СШ})]^*(\text{ШЛ})]^* [(\text{ЛШ}) [(\text{ШТШ})+(\text{ШС})^* [((\text{СД}) (\text{ДАД})^*(\text{ДС})^* \\
& (\text{СШ})]^*(\text{ШС}) [((\text{СД}) (\text{ДАД})^*(\text{ДС})^*(\text{СД})(\text{ДАД})^*(\text{ДК}))+(\text{ЛК}))]])+ (\text{ДК}))+ (\text{КЛ}) \\
& [((\text{ЛШ}) [(\text{ШТШ})+(\text{ШС})^* [((\text{СД}) (\text{ДАД})^*(\text{ДС})^*(\text{СШ})]^*(\text{ШЛ})]^* [(\text{ЛШ}) \\
& [(\text{ШТШ})+(\text{ШС})^* [((\text{СД}) (\text{ДАД})^*(\text{ДС})^*(\text{СШ})]^*(\text{ШС}) [((\text{СД}) \\
& (\text{ДАД})^*(\text{ДС})^*(\text{СД})(\text{ДАД})^*(\text{ДК}))+(\text{ЛК}))]]^*(\text{КИ})^*(\text{ИК}) [((\text{КД}) (\text{ДАД})^* [(\text{ДС}) (\alpha_1+ \\
& [((\text{СД}) (\text{ДАД})^*(\text{ДС})^*(\text{СШ})][(\text{ШТШ})+(\text{ШС})^* [((\text{СД}) (\text{ДАД})^*(\text{ДС})^*(\text{СШ})]^* \\
& [(\text{ШС}) [((\text{СД}) (\text{ДАД})^*(\text{ДС})^*(\text{СД})(\text{ДАД})^*(\text{ДК}))+(\text{ШЛ}) [((\text{ЛШ}) [(\text{ШТШ})+(\text{ШС})^* \\
& [((\text{СД}) (\text{ДАД})^*(\text{ДС})^*(\text{СШ})]^*(\text{ШЛ})]^* [(\text{ЛШ}) [(\text{ШТШ})+(\text{ШС})^* [((\text{СД}) \\
& (\text{ДАД})^*(\text{ДС})^*(\text{СШ})]^*(\text{ШС}) [((\text{СД}) (\text{ДАД})^*(\text{ДС})^*(\text{СД})(\text{ДАД})^*(\text{ДК}))+(\text{ЛК}))]])+ \\
& (\text{ДК}))+ (\text{КЛ}) [((\text{ЛШ}) [(\text{ШТШ})+(\text{ШС})^* [((\text{СД}) (\text{ДАД})^*(\text{ДС})^*(\text{СШ})]^*(\text{ШЛ})]^* \\
& [(\text{ЛШ}) [(\text{ШТШ})+(\text{ШС})^* [((\text{СД}) (\text{ДАД})^*(\text{ДС})^*(\text{СШ})]^*(\text{ШС}) [((\text{СД}) \\
& (\text{ДАД})^*(\text{ДС})^*(\text{СД})(\text{ДАД})^*(\text{ДК}))+(\text{ЛК}))]]^*[(\text{КД}) (\text{ДАД})^* (\text{ДС}) [(((\text{СД}) \\
& (\text{ДАД})^*(\text{ДС})^*(\text{СШ})][(\text{ШТШ})+(\text{ШС})^* [((\text{СД}) (\text{ДАД})^*(\text{ДС})^*(\text{СШ})]^*[(\text{ШТ}) + \\
& (\text{ШЛ}) [((\text{ЛШ}) [(\text{ШТШ})+(\text{ШС})^* [((\text{СД}) (\text{ДАД})^*(\text{ДС})^*(\text{СШ})]^*(\text{ШЛ})]^*(\text{ЛШ}) \\
& [(\text{ШТШ})+(\text{ШС})^* [((\text{СД}) (\text{ДАД})^*(\text{ДС})^*(\text{СШ})]^*(\text{ШТ}))]) +(\text{КЛ}) [((\text{ЛШ}) \\
& [(\text{ШТШ})+(\text{ШС})^* [((\text{СД}) (\text{ДАД})^*(\text{ДС})^*(\text{СШ})]^*(\text{ШЛ})]^*(\text{ЛШ}) [(\text{ШТШ})+(\text{ШС})^* \\
& [((\text{СД}) (\text{ДАД})^*(\text{ДС})^*(\text{СШ})]^*(\text{ШТ}))]]))},
\end{aligned}$$

* означает итерацию (цикл).

Из теории следует, что любой путь, ведущий со входа на выходы входит в эту запись.

Дальнейшее исследование проблемы «в лоб» требует вычленение каждого пути из регулярного выражения и составление гистограмм пути для различных крыс с целью их сравнения. В силу сложности такого пути он оставлен на будущее, т.к. требует развитого программного обеспечения для решения систем регулярных выражений в полукольце регулярных языков и вычленения отдельных путей из регулярного выражения.

Полученное выражение позволяет определить характеристики сложности лабиринта. Таких характеристик две. Первая характеристика называется суммой символов и равна сумме всех символов за исключением знака итерации (*) и скобок. Вторая характеристика называется циклическим числом и равна числу знаков итерации в записи.

3. Гистограммы путей.

Гистограмма пути строится следующим образом: по оси абсцисс откладываются ребра магистрального графа, а по оси ординат количество вхождения данного ребра в путь.

Представление пути в виде гистограммы неоднозначно. Одной и той же гистограмме могут соответствовать разные пути. Допустим, из вершины графа выходят два цикла – первый и второй. Путь А вначале проходит первый цикл, а потом второй, а путь В вначале проходит второй цикл, а потом первый. Если в остальном пути А и В одинаковы, то у них будут одинаковые гистограммы.

Очевидно, что если различные пути А и В циклов не имеют, то их гистограммы различны.

4. Согласование путей

Мерой рассогласования двух множеств служит, очевидно, симметричная разность. Для путей без циклов эта мера сохраняет свое значение. В общем случае берется сумма модулей разности показателей гистограмм ребер или вершин путей. Этот показатель называется рассогласованностью гистограмм. Нетрудно видеть, что он будет метрикой.

Прежде всего, предполагается выделять опорные оптимальные пути в лабиринте, которые гарантируют посещение обеих кормушек и выход. Таких путей восемь. Затем вычисляется рассогласование пути крысы с множеством оптимальных путей. Это может делаться двумя способами. В первом случае берется минимум рассогласованности пути крысы с оптимальными путями. Во втором случае требуется, чтобы гистограмма хотя бы одного оптимального пути целиком лежала в гистограмме пути крысы. Показатель рассогласованности путей остается тем же.

5. Результаты экспериментов.

Пример протокола экспериментов приведен на таблице 1 на рис.5 приведены пример условного восстановления пути крысы по записи в эксперименте.

По сути дела результаты эксперимента получаются по следующей схеме: эксперимент -> рукописный протокол эксперимента -> протокол в таблице Excel -> восстановление пути по формальной схеме.

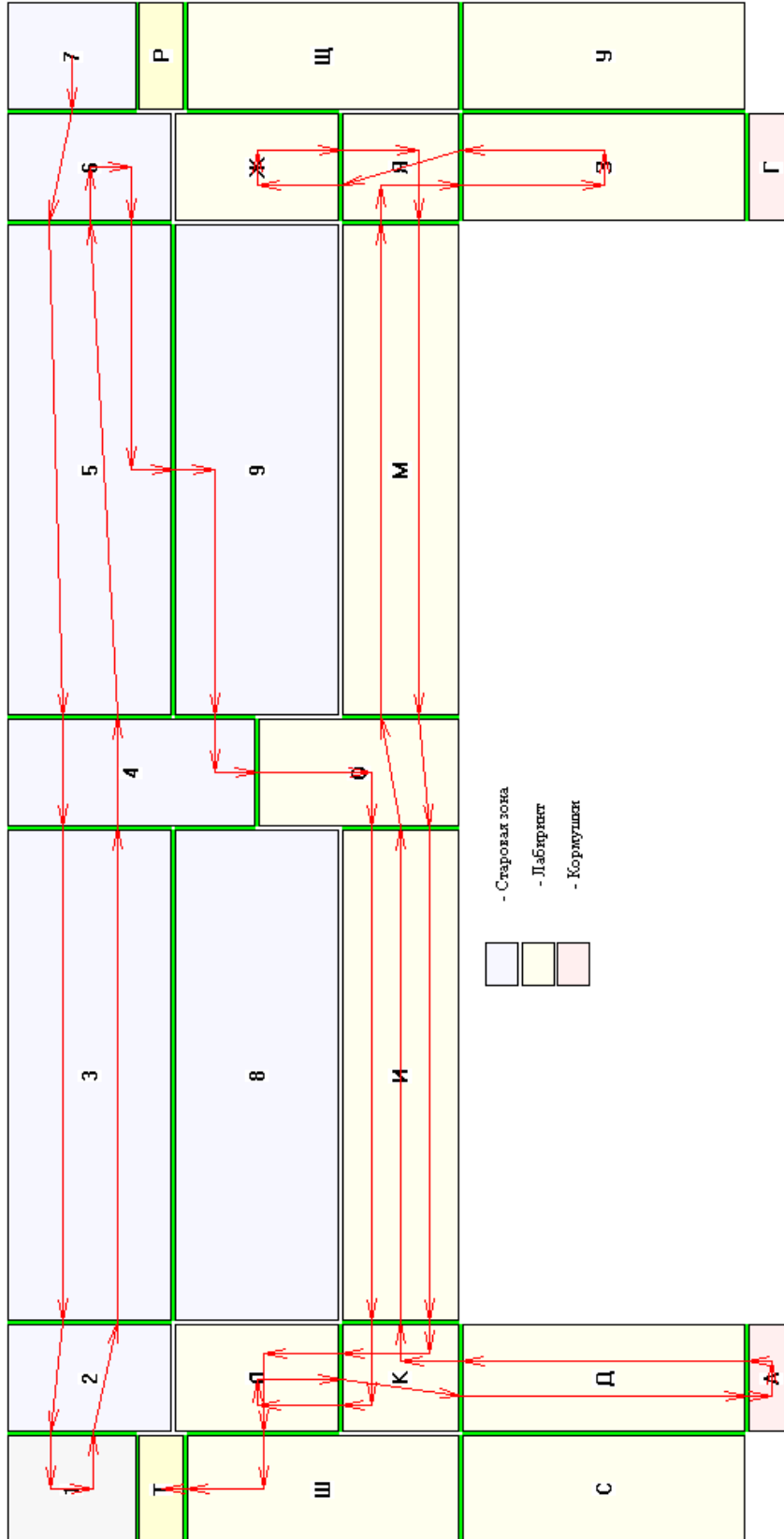
Таблица 1

мин	сек	путь
1	20	7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 9
	40	4 О И К Л К Д А
	60	Д К И М Я
2	20	3 Ж Я М И К Л Т
	40	7 1 2 3 4 5 6 7

	60	6 5 4 О И К Д А
3	20	К И М Я З Г Р
	40	7 6 5 4
	60	О И К Д А К Д
4	20	К Л К Д К И М
	40	Я З Г
	60	З У Щ
5	20	Р 7 6 4 О
	40	М Я З Г
	60	У Щ Р 7 6 5
6	20	4 О И К Д А
	40	Д К
	60	И М Я З
7	20	Я М И К Д
	40	К И М Я З
	60	У Щ Ж
8	20	Щ
	40	Р 7554321
	60	2340МЯЗУЩ
9	20	Ж Я И
	40	К Д А
	60	К И М
10	20	Я З У
	40	Щ
	60	Р7654
11	20	О М Я У Щ
	40	Ж Я М И К
	60	Д А С Ш
12	20	С Д
	40	Д К
	60	И М Я З Я М И К Д
13	20	К И М Я З Я М И К Д
	40	К И М Я З У Щ Р
	60	

Серия №1. Эксперимент номер № 1 Маршрут № 1.

Protocol # 1 Route #01



Маршрут: 7654321234565940ИКПКДАДКИОМЯЗЯЖЯМЮИКИПШТ
 Гистограмма: 0з Из К4 Л2 К4 Д2 А1 Д2 К4 И3 0з М2 Яз Э1 Яз Ж1 Яз М2 0з Из К4 Л2 Ш1 Т1

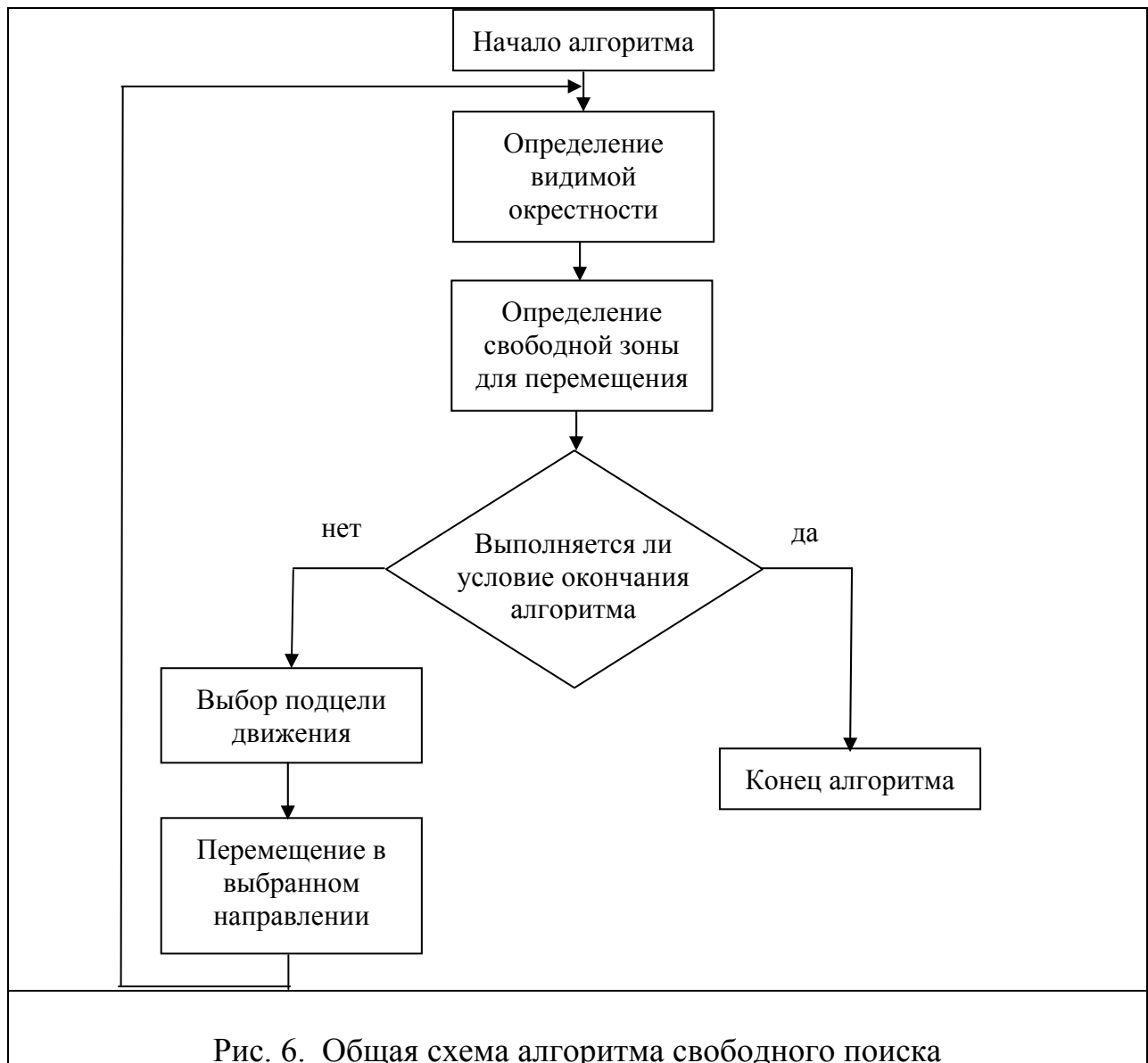
Рис.5.

6. Случайный поиск в Ж-образном лабиринте (ПНЧ-алгоритм).

На начальном этапе исследований было решено запустить в лабиринт для ВК алгоритмы, которые используются при численном моделировании двигательного поведения мобильного робота.

Название алгоритма обусловлено использованием трёх параметров – порог, направление и частота.

Алгоритм свободного поиска, основывается на случайном выборе подцелей движения. Общая схема алгоритма представлена на рис. 6:



Разберём эту схему. «Определение видимой окрестности» происходит с помощью измерительной системы МР. «Определение свободной зоны для перемещения» - определение сектора, свободного от препятствий, на основе Параметра №1 (см. ниже). Если свободных зон несколько, выбирается наибольшая по площади). Наиболее интересным представляется блок «Выбора

подцели движения». В данной интерпретации алгоритма при выборе подцели движения необходимо указать следующие три параметра:

Параметр №1: Порог выбора подцели (в долях от радиуса видимости измерительной системы) - α ($0 < \alpha \leq 1$). Этот параметр означает, на каком максимальном расстоянии от МР может находиться препятствие, что бы данный луч был отнесён к свободной для перемещения зоны, т.е. если препятствие находится на расстоянии меньшем αR (R – радиус видимости измерительной системы), то данный луч не относится к свободной зоне;

Параметр №2: Выбор направления движения. Возможны два варианта:

1. направление на середину свободной зоны. В качестве направления для подцель движения выбирается середина свободной зоны;

2. случайный выбор направления в свободной зоне. Направление на подцель движения в свободной зоне выбирается случайно.

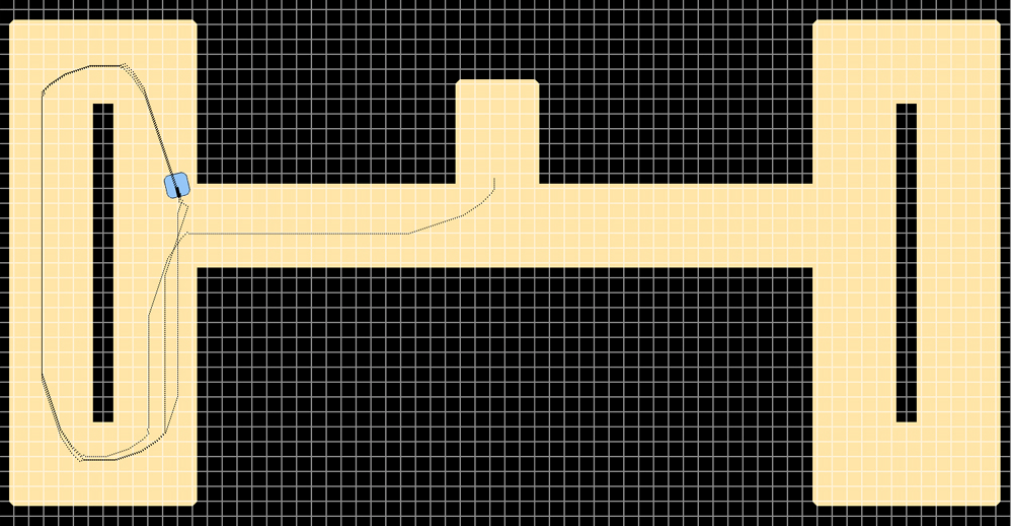
Параметр №3: Частота выбора подцели. Здесь также возможны два варианта:

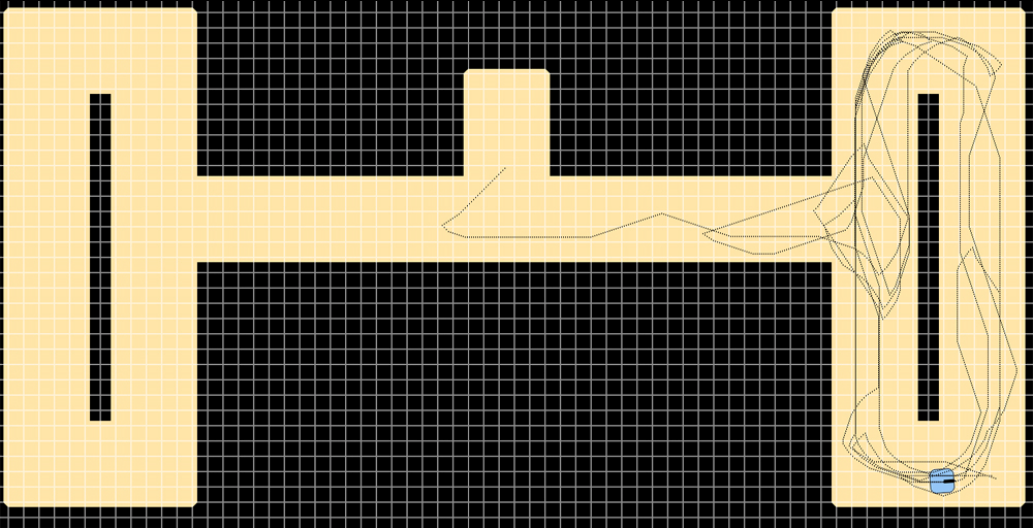
1. выбор текущей подцели происходит на каждом такте движения;

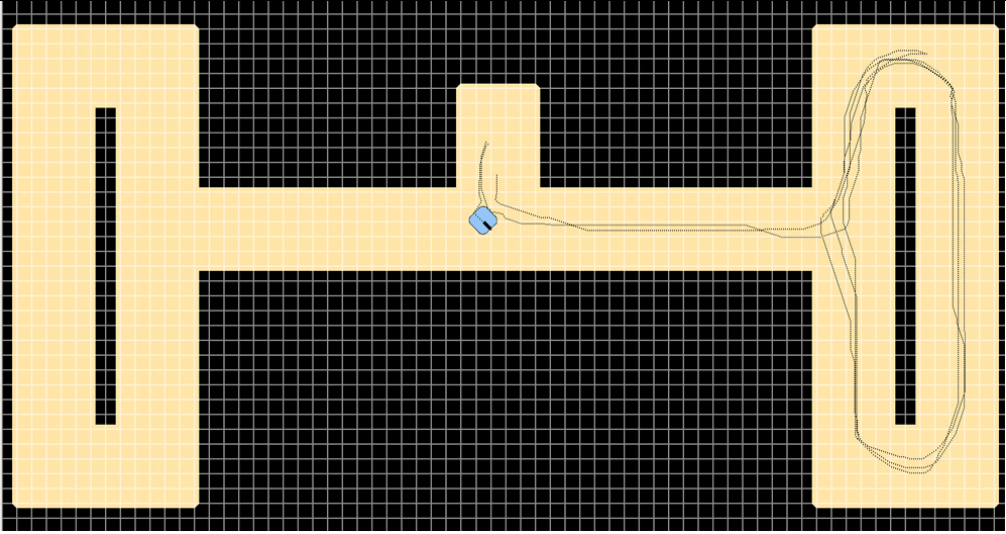
2. выбор подцели движения происходит только после того, как МР достиг предыдущей подцели.

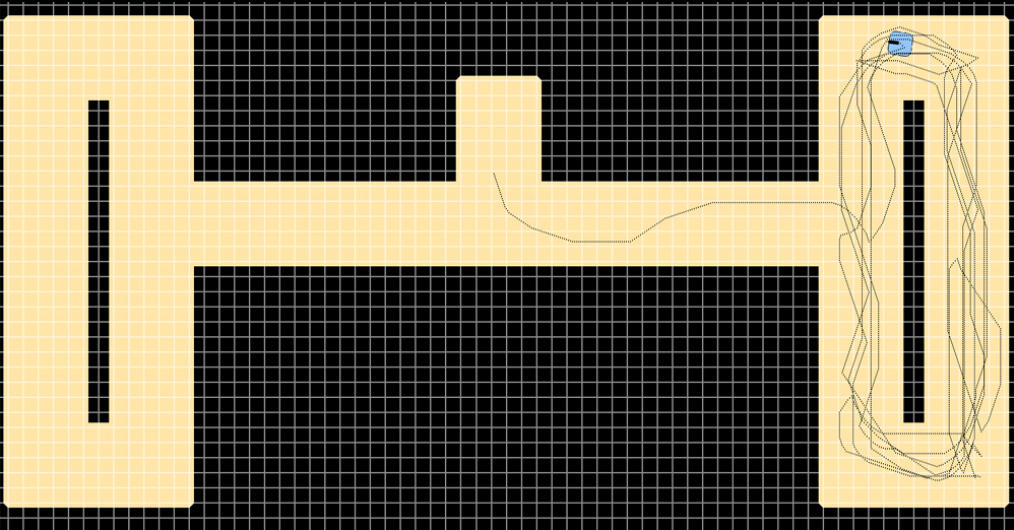
Результаты моделирования показывают, что изменения описанных параметров влияют на «поведение» МР. Так при выборе текущей подцели на каждом такте движения (Параметр №3), траектория движения МР выглядит «рваной», тогда как при выборе подцели только после подхода к предыдущей подцели, перемещения МР становятся более гладкими.

Работа алгоритма иллюстрируют рис. 7-10

Параметр	Значение
Эксперимент №1	
Порог	1
Направление	на середину свободной зоны
Частота	на каждом такте
	
Рис. 7.	

Эксперимент №2	
Порог	1
Направление	случайный выбор в свободной зоне
Частота	на каждом такте
	
Рис. 8.	

Эксперимент №3	
Порог	1
Направление	случайный выбор в свободной зоне
Частота	при подходе к предыдущей цели
	
Рис. 9.	

Эксперимент №4	
Порог	0,5
Направление	случайный выбор в свободной зоне
Частота	при подходе к предыдущей цели
	
Рис.10.	

Заключение

В работе получены следующие результаты:

1. Проведено несколько десятков экспериментов с крысами по полному двухнедельному циклу обучения в многоальтернативном лабиринте.
2. Для наглядного представления пути разработана программа восстановления пути крысы по протоколу.
3. На основе решения соответствующей системы уравнений в полукольце регулярных языков получено решение лабиринта – описано множество возможных путей с входа на выходы лабиринта.

На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. В качестве основного показателя обучаемости крысы в многоальтернативном лабиринте следует брать меру рассогласования текущего ее пути в эксперименте с опорными оптимальными путями.
2. Перечисление всех возможных путей с входа на выход дает многоальтернативному лабиринту меру сложности.

В дальнейшем предполагается прежде всего исследовать движение в режиме «свободный поиск» и сравнить его с типичными маневрами крыс. Предполагается исследовать и другие типы виртуальных крыс, базируясь на классическом исследовании [4,5].

Литература

1. Никольская К.А., Сагимбаева Ш.К. Закономерности интегративной деятельности мозга позвоночных. //Механизмы адаптивного поведения, Л.: Наука, 1986, с. 120-130.
2. Удалова Г.П. Участие правого и левого полушарий в реализации лабиринтного навыка у мышей-самцов линии BALB/c. //Журнал высшей нервной деятельности, 1996, т. 46, вып.1, с. 84-91.
3. Белоусов А.И., Ткачев С.Б. Дискретная математика. //М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002, 743 с.
4. Толмен Э. Когнитивные карты у крыс и у человека. //Хрестоматия по истории психологии, М.: МГУ, 1980, с. 68-82.
5. Tolman E.C. Cognitive maps in rats and men. – “Psychological Review”, 1948, v.55, N4, p. 189 – 208.

ПРИЛОЖЕНИЕ.

Э. Толмен. КОГНИТИВНЫЕ КАРТЫ У КРЫС И У ЧЕЛОВЕКА.

(В данном приложении мы приводим, в значительном сокращении, статью [4,5])

Основная часть статьи посвящена описанию экспериментов с крысами. В заключение рассмотрено значение данных, полученных на крысах, для понимания поведения человека.

В типичном эксперименте голодная крыса помещается у входа в лабиринт, она блуждает по различным его участкам, заходит в тупики, пока, наконец, не придет к кормушке и будет есть. При повторении опыта животное имеет тенденцию делать все меньше и меньше ошибок и тратить меньше времени от старта до цели, пока, наконец, оно перестает заходить в тупики и пробегает весь путь от старта до цели за несколько секунд.

Все исследователи соглашались с фактами. Они расходятся, однако, в теории и в объяснении этих фактов.

1. Существует школа зоопсихологов, которые считают, что поведение крыс в лабиринте сводится к образованию простых связей между стимулом и реакцией. Согласно этой точке зрения, центральную нервную систему крысы можно сравнить с работой телефонной станции. Сюда попадают сигналы от органов чувств и отсюда исходят команды к мускулам. С помощью соединяющих переключателей (т. е. синапсов на языке физиолога) цепь замыкается различными путями. Научение, по этой теории, состоит в относительном усилении одних и ослаблении других связей; т.е. связи, которые приводят животное к верному результату, становятся относительно более открытыми для прохождения нервных импульсов.

Подгруппа исследователей внутри этой школы утверждает, что причиной упрочения связей является редукция потребности. Голодная крыса в лабиринте стремится к получению пищи, и ее голод ослабляется в результате верных ответов. И такое «положительное подкрепление» усиливает связи, которые непосредственно ему предшествовали.

2. Существует другая группа исследователей (я также принадлежу к ней), которая может быть названа теоретиками поля. Наша позиция сводится к следующему. В процессе научения в мозгу крысы образуется нечто, подобное карте поля окружающей обстановки. Мы согласны с другими школами в том, что крыса в процессе пробежки по лабиринту подвергается воздействию стимулов и в конце концов в результате этого воздействия появляются ее ответные реакции. Однако вмешивающиеся мозговые процессы являются более сложными, более структурными и часто более независимыми, чем об этом говорится в теории «стимул — реакция». Признавая, что крыса бомбардируется стимулами, мы утверждаем, что ее нервная система удивительно избирательна по отношению к каждому из этих стимулов.

Затем, мы утверждаем, что сама центральная инстанция гораздо более похожа на пульт управления, чем на устаревшую телефонную станцию. Поступающие стимулы не связываются с ответными реакциями с помощью простого переключателя по принципу «один к одному». Стимулы перерабатываются в особую структуру - когнитивную карту окружающей обстановки. И именно эта карта, указывающая маршруты и линии поведения и взаимосвязи элементов окружающей среды, окончательно определяет, какие ответные реакции будет в конечном счете осуществлять животное.

Наконец, я считаю, что важно исследовать, почему эти карты бывают относительно узкими, охватывающими небольшую часть ситуации, или относительно широкими, охватывающими большое поле. Как узкие, так и широкие карты могут быть правильными или неправильными в том смысле, насколько успешно они направляют животное к цели. Различия между такими узкими и широкими картами могут проявиться только в том случае, если окружающая обстановка или задача изменится. Тогда более узкая исходная карта, включающая относительно небольшой участок, окажется непригодной применительно к новой проблеме; тогда как широкая карта может оказаться адекватным средством и в новых условиях.

Эксперименты, приведенные ниже, подтверждают предлагаемую теоретическую позицию. Они распадаются на 5 типов: 1) латентное научение, 2) викарные пробы и ошибки, 3) поиски стимула, 4) эксперименты с гипотезами, 5) эксперименты на пространственную ориентацию.

1. ЭКСПЕРИМЕНТЫ НА ЛАТЕНТНОЕ НАУЧЕНИЕ

Первые эксперименты на латентное научение были проведены Блоджетом в 1929 г. Он же и ввел это понятие. Он заставлял 3 группы крыс пробегать через лабиринт. Одна группа была контрольной, а две другие — экспериментальные.

Животные первой, контрольной группы осуществляли пробег по лабиринту традиционным образом. Эксперимент проводился один раз в день, в конце опыта крысы находили в кормушке пищу. Группы II и III были экспериментальными. Животных II группы не кормили в лабиринте в течение первых шести дней, они получали пищу в своих клетках через 2 ч после опыта. На 7-й день крысы впервые находили пищу в конце лабиринта и продолжали находить ее там и в последующие дни. С животными III группы поступали подобным образом, с той только разницей, что они впервые находили пищу в конце лабиринта на 3-й день и продолжали находить ее в последующие дни. Наблюдалось, что экспериментальные группы, пока не находили пищу, по-видимому, не научались (их кривая ошибок не снижалась). Но в дни, непосредственно следующие за первым подкреплением, их кривая ошибок поразительно снижалась. Это научение, которое не проявляется до тех пор, пока не вводится пища, Блоджет назвал «латентным научением». Как только

животные узнавали, что будут получать пищу, по их поведению обнаруживалось, что в течение этих предыдущих неподкрепляемых проб, в процессе которых было много заходов в тупики, они научились. У них образовалась «карта», и позднее, когда был соответствующий мотив, они смогли использовать ее.

Лучшим экспериментом, демонстрирующим явление латентного научения, был проведенный Спенсом и Липпитом в Университете Иова. Использовался простой У-образный лабиринт с двумя целевыми ящиками. В правом конце лабиринта помещали воду, в левом - пищу. Во время обучения крысы не были голодны и не испытывали жажды. Перед каждым из ежедневных опытов они были накормлены и напоены.

В критическом опыте животные были разбиты на 2 подгруппы: одну из них не кормили, другой не давали пить. Обнаружилось, что уже с первой попытки подгруппа голодных крыс бежала в левый конец, где была пища, чаще, чем в правый, а подгруппа крыс, испытывавших жажду, - к правому концу, где была вода, чаще, чем к левому. Эти результаты показывают что в условиях предыдущих недифференцированных и не подкрепляемых опытов животные тем не менее научились тому, где была вода и где была пища. Они приобрели когнитивную карту, т. е. ориентацию в лабиринте в том смысле, что пища находится в левом его конце, а вода — в правом, хотя в ходе приобретения этой карты они не проявляли какой-либо большей склонности — в виде реакций на стимул — идти к тому концу, который позднее становится соответствующим цели.

2. ВИКАРНЫЕ ПРОБЫ И ОШИБКИ

Термин «викарные пробы и ошибки» был предложен профессором Мюнцингером из Колорадо для обозначения нерешительного поведения с попеременными возвращениями то в одни участки, то в другие, при котором у крыс можно наблюдать «увлечение» выбором, прежде чем они реально будут следовать по тому или иному пути.

В нашей лаборатории было выполнено достаточно большое число таких экспериментов. В большинстве из них использовалась установка для исследования способности к различению. В сконструированном Лешли приборе для исследования зрительного различения животное помещают на площадку для прыжка перед двумя дверцами, которые отличаются друг от друга тем, что одна заштрихована вертикальными линиями, а другая — горизонтальными. Один из каждой пары зрительных стимулов был всегда правильным, а другой — ошибочным; они чередовались местами в случайном порядке. Животное должно было научиться, что реакция на вертикально заштрихованную дверцу является всегда правильной. Если оно прыгало к этой дверце, она открывалась, и животное получало пищу. Если животное совершало неправильный выбор, оно находило дверцу закрытой.

В процессе эксперимента было обнаружено, что задача подразделяется для животных на два этапа. Сначала крысам приходится открывать, что различие, на которое они должны обратить внимание, — это различие в видимой яркости, а не различие, например, между левым и правым. Их викарные пробы появляются тогда, когда они начинают это «схватывать». Чем больше различие между двумя стимулами, тем больше оно привлекает животных. Период, в течение которого происходит процесс понимания задачи, сопровождается наибольшим количеством викарных проб. После того как крысы, наконец, угадывали свои инструкции, они переходили к следующему этапу, непосредственно различения яркостей. При этом они делали тем больше викарных проб, чем более трудным было различение.

Как влияют эти данные о викарных пробах на наши теоретические представления? Мой ответ состоит в том, что эти данные подтверждают доктрину образования карт. Викарные пробы, с моей точки зрения, доказывают, что в решающие моменты — такие как первое предъявление инструкции или на более позднем этапе в процессе действия после установления того, какой же стимул имеет место, животные не демонстрируют пассивные ответы на отдельные стимулы. Это скорее поведение активного выбора и сравнения стимулов. Этот вывод привел меня затем к третьему типу эксперимента.

3. ПОИСК СТИМУЛА

Я сошлюсь на важный эксперимент, выполненный Хадсоном. Он первый заинтересовался вопросом, смогут ли крысы научиться избеганию реакции за один опыт. Он проводил с животными следующий эксперимент. В клетке на той ее стороне, на которой была установлена чашка с пищей, имелся небольшой рисунок в полоску. Голодная крыса приближалась к этой чашке с пищей и ела. Электрическое приспособление было предусмотрено таким образом, что, когда крыса прикасалась к чашке, она получала удар электрическим током. Одного такого удара было, по-видимому, достаточно, ибо когда крысу помещали в эту же клетку спустя несколько дней или даже недель, она обычно немедленно демонстрировала сильную реакцию избегания на рисунок. Животное уходило от этой стороны клетки, или собирало опилки и закрывало рисунок, или демонстрировало различные другие забавные реакции, каждая из которых была, по сути, реакцией избегания на рисунок или действием, направленным на исчезновение рисунка.

Но особые данные, которыми я теперь заинтересовался, появились как результат модификации этой стандартной процедуры. Хадсон отметил, что часто казалось, будто животные после удара оглядываются вокруг как бы для того, чтобы увидеть, что же это было такое, что ударило. Он предположил, что если бы опыт поставить так, чтобы скрыть рисунок в момент появления удара, тогда крысы не смогли бы установить ассоциацию. Хадсон видоизменил опыт так, что, когда животное получало во время еды удар, гас свет, рисунок и чашка

с пищей исчезали из поля зрения, а затем свет зажигался снова. Когда такие животные через 24 ч вновь помещались в клетку, большой процент их не показал реакции избегания на рисунок.

Я полагаю, что этот эксперимент подкрепляет представление об активном селективном характере процесса образования крысами своих когнитивных карт. Крыса часто должна активно рассматривать значащие стимулы, чтобы образовать свою карту, а не просто пассивно воспринимать их и реагировать на все физически наличные стимулы.

Обратимся теперь к четвертому типу экспериментов.

4. ЭКСПЕРИМЕНТЫ С «ГИПОТЕЗАМИ»

Понятие о гипотезах у крыс и план эксперимента на демонстрацию таких гипотез следует приписать Кречу. Креч использовал ящик для различения, состоящий из четырех отсеков. В таком ящике, содержащем 4 альтернативы для выбора, правильная дверца в каждой точке выбора могла быть определена экспериментатором по признакам светлого или темного, левого или правого или их различными комбинациями.

Креч нашел, что каждая крыса проходит через ряд систематических выборов. Одно животное, возможно, может начать, выбирая практически все двери, расположенные с правой стороны, затем оно может отказаться от этого в пользу выбора практически всех дверей, расположенных с левой стороны, затем будет выбирать все темные двери и т. д. Эти относительно устойчивые систематические типы поведения активного выбора, которые значительно превосходят просто случайные попытки, Креч назвал «гипотезами». При использовании этого термина он, конечно, не подразумевал наличие у крыс вербальных процессов, но просто указал на то, что я называю когнитивными картами, которые, как это выступает из его экспериментов, устанавливаются экспериментальным путем, т. е. путем «примеривания» первой карты, затем другой и так до тех пор, пока, если возможно, не будет найдена та, которая «работает». Наконец, необходимо отметить, что эксперименты с «гипотезами», подобно опытам с латентным научением, опытам с викарными пробами и ошибками и опытам с ожиданием стимула указывают как на характерную черту процесса научения — образование нечто, подобного карте ситуации, хотя сами по себе эти опыты еще и не проливают света на вопрос о степени широты карт.

Для того чтобы приступить к разрешению проблемы широты карт, перейдем к последней группе экспериментов.

5. ОПЫТЫ С ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТАЦИЕЙ

Еще в 1929 г. Лешли сообщил о случае с парой своих крыс, которых после того, как они выучили расположение коридоров в лабиринте, заставляли подняться на крышу около пусковой камеры. Они поднимались и бежали по крыше к цели, где спускались вниз и ели. Другие исследователи сообщали близкие к этим

данные, эти наблюдения предполагают, что у крысы в действительности образуются широкие пространственные карты, которые включают больше, чем только одни выученные определенные участки ситуации. Теперь необходимо описать эксперименты, в которых эти предположения подвергались дальнейшей проверке.

В первом эксперименте Толмен, Рич и Калиш использовали поднятый над землей лабиринт. Животное бежало от пункта А, пересекало открытую круглую площадку, затем через коридор в пункт В, где была пища. Когда крысы научались бежать прямо и без колебаний от А к В, установку переделывали, так, что она приобретала вид солнечного диска с лучами. Пусковая камера и круглая площадка оставались без изменения, но была добавлена серия радиальных участков. Животные также стартовали от пункта А и бежали через круглую площадку в коридор и оказывались там запертыми. Тогда они возвращались на круглую площадку и начинали исследовать практически все радиальные участки. После захода в любой участок только на несколько сантиметров каждая крыса выбирала наконец один, который пробегала весь. Преобладающей тенденцией был выбор участка, который находился всего на 4 дюйма впереди от участка, имеющего выход к кормушке.

Данные результаты, по-видимому, показывают, что в этом эксперименте крысы не только научались быстро пробегать по первоначальному пути, но и, когда этот путь был закрыт, а радиальные участки открыты, научались выбирать маршрут, непосредственно направленный к месту, где была пища, или по крайней мере перпендикулярный к той стороне, на которой находилась пища.

В качестве результата этого первоначального научения крысы приобрели, по-видимому, не узкую карту, ведущую к результату и содержащую данные о первоначально выученном определенном участке, ведущем к пище, но скорее широкую всестороннюю карту, в которой пища была локализована в определенном направлении в пространстве лабиринта.

Это были эксперименты с латентным научением, эксперименты на викарные пробы, эксперименты на поиск стимула, эксперименты с гипотезами и последние — эксперименты на ориентацию в пространстве.

ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ВЫВОДЫ

Теперь, наконец, я подошел к очень важной и существенной проблеме: каковы условия, способствующие возникновению узких карт, ограниченных отдельными участками пути, и каковы условия, которые приводят к образованию широких карт — и не только у крыс, но и у человека?

Имеются литературные данные по этому вопросу в отношении как крыс, так и человека. Не вдаваясь в детали, скажу кратко, что образование узких карт, ограниченных определенным участком, в отличие от широких, может быть связано со следующими причинами: 1) повреждение мозга; 2) неудачное расположение раздражителей из внешней среды; 3) слишком большое число

повторений первоначально выученного пути; 4) наличие избыточной мотивации или условий, вызывающих слишком сильную фрустрацию.

На последнем пункте я хочу остановиться. Ибо именно он связан с объяснением «психологических механизмов», которые открыли клинические психологи и другие исследователи личности в качестве причин, лежащих в основе многих индивидуальных и социальных отклонений, которые можно интерпретировать как результат узости наших когнитивных карт, обусловленный избыточной мотивацией или слишком сильной фрустрацией. С помощью примеров рассмотрим три вида динамики: «регресс», «фиксацию» и «перемещение агрессии на другие группы».

а) Регресс. Этот термин используется для обозначения тех случаев, когда индивид перед лицом слишком трудной проблемы возвращается к более ранним детским формам поведения. Иллюстрацией регресса может служить следующий пример. Женщина средних лет, после того как лишилась мужа, регрессировала (к большому горю своих подрастающих дочерей). Это выразилось в том, что она стала одеваться несоответственно своему возрасту, увлекаться поклонниками и затем, наконец, вести себя как ребенок, который требует постоянного внимания и заботы. В этом и аналогичных примерах моя мысль сводится к тому, что 1) такой регресс является результатом слишком сильной эмоциональной ситуации и 2) что он состоит в возврате к слишком узкой карте, которая сама обусловлена сильной фрустрацией или избыточной мотивацией в раннем детстве.

б) Фиксация. Регресс и фиксация обычно идут рука об руку. Ибо, формулируя иначе факт чрезмерной устойчивости ранних карт, следует сказать, что они зафиксировались. Это проявлялось уже у крыс. Если крысы избыточно мотивированы при своем первоначальном обучении, им очень трудно переучиться, когда первоначальный путь переставал быть правильным. Если же после того, как они переучились, им дать удар электрическим током, то они, подобно этой бедной женщине, будут проявлять тенденцию вновь вернуться к выбору более раннего пути.

в) «Перемещение агрессии на другие группы». Приверженность к собственной группе — тенденция, свойственная приматам. Мы также являемся приматами, действующими в условиях группового существования. Каждый индивид в такой группе имеет тенденцию идентифицировать себя со всей группой в том смысле, что цели группы становятся его целями, жизнь и смерть группы — его жизнью и смертью. Более того, каждый индивид вскоре усваивает, что, находясь в состоянии фрустрации, он не должен выносить свою агрессию на членов своей группы. Он научается перемещать свою агрессию на другие группы. Такое перемещение агрессии есть не что иное, как сужение, ограничение когнитивной карты. Индивид становится больше неспособным верно локализовать причину своего раздражения. Физики, у которых особый дар критиковать гуманитарные науки, или мы, психологи, которые критикуют все другие отделения, — все мы,

по крайней мере отчасти, занимаемся не чем иным, как иррациональным перемещением своей агрессии на другую группу.

Что мы можем сделать с этим? Мой ответ состоит в том, чтобы проповедовать снова силы разума, т. е. широкие когнитивные карты. Учителя могут сделать детей разумными (т. е. образовать у них широкие карты), если при этом они позаботятся о том, чтобы ни один ребенок не был бы избыточно мотивирован или слишком раздражен. Только тогда дети смогут научиться смотреть вокруг, научиться видеть, что часто существуют обходные и более осторожные пути к нашим целям, научатся понимать, что все люди взаимно связаны друг с другом.

Давайте постараемся не становиться сверхэмоциональными, не быть избыточно мотивированными в такой степени, чтобы у нас могли бы сложиться только узкие карты. Каждый из нас должен ставить себя в достаточно комфортные условия, чтобы быть в состоянии развивать широкие карты, быть способным научиться жить в соответствии с принципом реальности, а не в соответствии со слишком узким и непосредственным принципом удовольствия.

Конец цитаты.