МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСиС»**

*ИНСТИТУТ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ИТКН*

*КАФЕДРА \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ИНЖЕНЕРНОЙ КИБЕРНЕТИКИ*

*НАПРАВЛЕНИЕ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_09.04.03 ПРИКЛАДНАЯ ИНФОРМАТИКА*

**ВЫПУСКНАЯ**

**КВАЛИФИКАЦИОННАЯ**

**РАБОТА МАГИСТРА**

**на тему:** Математическое и программное обеспечение для решения каузально-логических игр с использованием технологий самообучения

*Студент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Д. А. Новицкий*

*Руководитель работы \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_А. С. Кожаринов*

*Нормоконтроль проведен*

*Проверка на заимствования проведена \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_*

**Работа рассмотрена кафедрой и допущена к защите в ГЭК**

*Заведующий кафедрой*

*Директор института*

Москва, июнь 2022 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСиС»**

**УТВЕРЖДАЮ**

**Институт** ИТКН

**Кафедра** Инженерной Кибернетики **Зав. кафедрой:** Ефимов А. Р.

**Направление** 09.04.03Прикладная информатика 24 декабря 2021 г.

**ЗАДАНИЕ**

**НА ВЫПОЛНЕНИЕ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ БАКАЛАВРА**

**Студенту группы** МПИ-20-4-2, Новицкому Дмитрию Александровичу \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

1. **Тема работы:** «Математическое и программное обеспечение для решения каузально-логических игр с использованием технологий самообучения».
2. **Цель работы:** Разработка комплекса алгоритмов с элементами самообучения и их программной реализации для независимого от человека поиска эффективного решения каузально-логических игр (на примере игры «Minesweeper»/«Сапёр»).
3. **Исходные данные:** свободно распространяемые данных о полях игры «Сапёр», имеющих детерминированное решение.
4. **Основная литература, в том числе:**
   1. Монография, учебники и т. п.
      * В. В. Круглов, М. И. Дли, Р. Ю. Голунов. Нечёткая логика и искусственные нейронные сети. Изд. Физматлит, 2001.
      * Г. Нойнер, Ю. К. Бабанский. Педагогика. М.: Педагогика. 1984.
   2. Периодическая литература
   3. Научные работы:

* М. Г. Доррер. Психологическая интуиция искусственных нейронных сетей. Сибирский государственный технологический университет. Красноярск, 1998.
* А. Д. Комаров. Осторожно, мины! Алгоритм решения игры Сапёр. Компьютерные инструменты в образовании. № 5, 2006.
* Е. Ю. Корлякова, М. О. Корлякова. Подход к разработке самообучающегося алгоритма игры в «Сапёр». Наукоёмкие технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе. Материалы Всероссийской научно-технической конференции. Том 2. Изд. КФ МГТУ им. Баумана, Калуга, 2016. С. 23-24.

1. **Перечень основных этапов исследования и форма промежуточной отчетности по каждому этапу**:

* Литературный обзор предметной области
* Формулировка содержательной постановки задачи
* Формулировка математической постановки задачи
* Разработка методов решения задачи
* Анализ и оценка эффективности разработанных методов
* Разработка программной реализации методов
* Сбор и анализ полученных результатов

1. **Аппаратура и методики, которые должны быть использованы в работе:** Методы искусственного интеллекта, машинное обучение.
2. **Использование ЭВМ:** Разработка программы с использованием языка программирования Python.
3. **Перечень (примерный) основных вопросов, которые должны быть рассмотрены и проанализированы в литературном обзоре**:

* Анализ и выбор подходящего класса логических задач и примера задачи для построения системы с элементами самообучения
* Обзор методов искусственного интеллекта
* Сравнение процессов обучения человека и машины
* Обзор методов решения выбранного класса логических задач и примера для реализации

1. **Перечень (примерный) графического и иллюстрированного материала:**

* Описание предметной области
* Содержательная постановка задачи
* Математическая постановка задачи
* Функциональная схема
* Схемы основных алгоритмов
* Основные экранные формы
* Анализ полученных результатов
* Выводы

1. **Руководитель работы** доцент, к.т.н., Кожаринов А. С.

(подпись)

(Должность, звание, ф.и.о.)

**Дата выдачи задания** 24.12.2021

**Задание принял к исполнению студент**  Изображение выглядит как спортивная игра, спорт

Автоматически созданное описание Новицкий Д. А

(подпись)

(ф.и.о.)

**РЕФЕРАТ**

Выпускная квалификационная работа выполнена на 85 страницах, содержит 47 рисунков, 29 формул, 13 таблиц, список использованных источников из 33 пунктов.

Ключевые слова: АЭРОВОКЗАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС, ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ, ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ, СИСТЕМА МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ, ПУНКТ ОБСЛУЖИВАНИЯ ЗАЯВОК

Выпускная квалификационная работа посвящена разработке системы, которая выступает в качестве системы поддержки принятия решений для персонала аэровокзального комплекса.

Целью данной работы является разработка математического, алгоритмического и программного обеспечения, позволяющего моделировать аэровокзальный комплекс и находить значения его параметров.

В ходе работы проанализированы методы оценки пропускной способности международного аэропорта, методы исследования и классификации систем массового обслуживания, методы и пакеты имитационного моделирования, а также особенности моделирования пассажиропотока аэровокзального комплекса.

Основным результатом данной работы имитационная модель аэровокзального комплекса для нахождения значений его характеристик. Данная программа протестирована на различных множествах входных значений, определяющие структуру системы, интенсивности поступления заявок в систему, интенсивности обслуживания.

Разработанное программное обеспечение рассчитано на использование в коммерческой сфере в качестве системы поддержки принятия решений для персонала аэровокзального комплекса.

Имитационная модель реализована с помощью программного обеспечения AnyLogic с использованием библиотек Enterprise Library, Process Modeling Library. База данных для имитационной модели реализована на языке программирования SQL.

**ABSTRACT**

Graduation work was completed on 85 pages, contains 47 figures, 29 formulas, 13 tables, a list of sources used from 33 points.

Keywords: AERO STATION COMPLEX, SIMULATION MODEL, CAPACITY, MASS SERVICE SYSTEM, APPLICATION SERVICE ITEM

The final qualification work is devoted to the development of a system that acts as a decision support system for the personnel of the airport complex.

The aim of this work is the development of mathematical, algorithmic and software that allows you to simulate the airport complex and find the values ​​of its parameters.

In the course of the work, the methods for assessing the capacity of the international airport, the methods of research and classification of queuing systems, the methods and packages of simulation modeling, as well as the features of modeling the passenger flow of the airport complex are analyzed.

The main result of this work is a simulation model of the airport complex to find the values ​​of its characteristics. This program was tested on various sets of input values ​​that determine the structure of the system, the intensity of receipt of applications in the system, the intensity of service.

The developed software is designed to be used in the commercial sphere as a decision support system for the personnel of the airport complex.

The simulation model is implemented using AnyLogic software using the Enterprise Library, Process Modeling Library. The database for the simulation model is implemented in the SQL programming language.

1. **Оглавление**

[СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ОСНОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ 8](#_Toc101506647)

[ВВЕДЕНИЕ 9](#_Toc101506648)

[Цель работы 9](#_Toc101506649)

[1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР 10](#_Toc101506650)

[1.1 Обзор логических задач 10](#_Toc101506651)

[1.1.1 Виды головоломок 11](#_Toc101506652)

[1.1.2 Выбор класса логических задач 13](#_Toc101506653)

[1.2 Обзор методов искусственного интеллекта 14](#_Toc101506654)

[1.2.1 Искусственная нейронная сеть 14](#_Toc101506655)

[1.2.2 Экспертная система 15](#_Toc101506656)

[1.3 Сравнение процессов обучения человека и машины 15](#_Toc101506657)

[1.3.1 Процесс обучения у человека 16](#_Toc101506658)

[1.3.2 Процесс обучения у машины 18](#_Toc101506659)

[1.3.3 Сравнительный анализ 18](#_Toc101506660)

[1.4 Методы решения игры «Сапёр» 18](#_Toc101506661)

[1.4.1 Гибридные модели анализа ситуаций 18](#_Toc101506662)

[1.4.2 Разработанный метод с элементами самообучения 20](#_Toc101506663)

[1.4.3 Анализ алгоритмов построения самообучающихся систем 24](#_Toc101506664)

[2 СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ 26](#_Toc101506665)

[2.2 Содержательная постановка задачи 27](#_Toc101506666)

[2.3 Математическая постановка задачи 28](#_Toc101506667)

[2.4 Дополнительные данные 32](#_Toc101506668)

[2.5 Методы поиска решения 34](#_Toc101506669)

[2.5.1 Метод поиска однозначного решения 34](#_Toc101506670)

[2.5.2 Метод гипотез 36](#_Toc101506671)

[2.5.3 Метод связанных клеток 1 38](#_Toc101506672)

[2.5.4 Метод связанных клеток 2 41](#_Toc101506673)

[2.6 Методы повышения эффективности решения 43](#_Toc101506674)

[2.6.1 Критерии оценки для метода поиска однозначных значений 43](#_Toc101506675)

[2.6.2 Критерии оценки для метода проверки гипотез 44](#_Toc101506676)

[2.6.3 Критерии оценки для метода связанных клеток 1 44](#_Toc101506677)

[2.6.4 Критерии оценки для метода связанных клеток 2 44](#_Toc101506678)

[ВЫВОДЫ 46](#_Toc101506679)

[ТЕЗАУРУС 47](#_Toc101506680)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 49](#_Toc101506681)

[ПРИЛОЖЕНИЕ А. Правила игры «Minesweeper»/«Сапёр» 50](#_Toc101506682)

# СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ОСНОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

* **ИНС** – искусственные нейронные сети;
* **КЛИ** – каузально-логическая игра;
* **СЭС** – система с элементами самообучения;
* **ОДЗ** – область допустимых значений.

# ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия в научно-техническом обществе большое внимание уделяется развитию такой отрасли, как машинное обучение. Оно применяется во многих сферах деятельности людей, например, при поиске информации в интернете, при подборе музыки по предпочтениям, при доступе к банковским данным с применением биометрии, и это далеко не полный список, где используются методы машинного обучения. На данный момент наиболее популярными методами машинного обучения являются нейронные сети и экспертные системы. Нейронные сети позволяют решать большой объём задач, не связанных с логической обработкой данных, а экспертные системы позволяют решать задачи по строго заданному алгоритму. Однако, ни один из данных методов не позволяет найти решение логических задач без предварительной настройки, поскольку у данных методов отсутствуют алгоритмы самообучения. Разработка алгоритмов самообучения позволит решать широкий круг задач, связанных с логической обработкой данных.

Однако, для того чтобы определить основы для построения алгоритмов самообучения, необходимо пройти долгий путь. Для начала необходимо выбрать круг логических задач, разработать алгоритм их решения, затем разделить алгоритм на блоки, для каждого блока найти наиболее подходящий самообучающийся алгоритм (это может быть ИНС или что-то другое) и затем из самообучающихся блоков построить самообучающуюся систему для решения определённого круга задач. И это лишь примерный алгоритм разработки самообучающейся системы.

В данной работе рассматриваются методы построения системы с элементами самообучения для поиска эффективного решения определённого класса задач, связанных с логической обработкой данных. На основе данных методов разработаны алгоритмы и их программная реализация.

## Цель работы

Цель работы – разработка комплекса алгоритмов с элементами самообучения и их программной реализации для независимого от человека поиска эффективного решения каузально-логических игр (на примере игры «Minesweeper»/«Сапёр»).

# 1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

## 1.1 Обзор логических задач

Всего существует огромное множество логических задач и важно определить тот класс задач, на основе которых будет разрабатываться СЭС. Для определения класса логических задач необходимо задать критерии, по которым будет происходить их выбор. Это такие критерии, как:

* сложность;
* формализуемость;
* наличие однозначного решения (детерминированность);

Поясним необходимость данных критериев. Сложность логической задачи – это основополагающий критерий выбора. Хотя данный критерий можно считать субъективным, поскольку нет единого стандарта оценки сложности той или иной логической задачи, в данном случае под сложностью будем подразумевать:

* количество входных данных,
* уровень однотипности логических операций,
* «объём» логических операций, необходимых для решения задачи.

Если задача будет сложной, то и алгоритм для СЭС также должен быть сложным, а, поскольку в данной работе предполагается разработка СЭС для поиска решения не трудных логических задач, в приоритете будут задачи с низким и средним уровнями сложности.

От уровня формализуемости зависит сложность представления логической задачи в математических терминах, а, чем выше сложность представления логической задачи в математических терминах, тем выше вероятность запутаться в данных, установить неверные зависимости между ними, не учесть тот или иной элемент задачи. Таким образом, будем также ориентироваться на задачи с высоким и средним уровнями формализуемости.

Наличие однозначного решения также важно при выборе логической задачи для СЭС. Задачи, имеющие однозначные решения, проще решать, поскольку такие задачи могут решаться по «шаблону», которому СЭС необходимо научиться. Задачи, не имеющие однозначного решения, хоть и могут также решаться по шаблону, но такой метод не всегда может быть эффективным, поскольку в некоторых ситуациях необходим творческий подход к решению задачи, которому пока обучить машину не получилось. В данной работе будем отдавать предпочтение логическим задачам, которые имеют однозначное решение.

Головоломки – это распространённые и интересные логические задачи, решение которых зависит не от специальных знаний и творческих умений, а от сообразительности, а, говоря на языке машины, зависит от алгоритма, определяющие порядок применения логических операций к тем или иным элементам задачи. Рассмотрим, какие бывают виды головоломок.

### 1.1.1 Виды головоломок

Ещё никто не придумал общей классификации для задач на логику, однако, исходя из их смысла, можно выделить четыре категории [1]:

* головоломки с предметами;
* механические головоломки;
* печатные головоломки;
* устные головоломки;
* компьютерные игры-головоломки.

Рассмотрим подробнее каждую из этих категорий.

#### 1.1.1.1 Головоломки с предметами

Не обязательно покупать головоломку, порой бывает достаточно предметов, которые имеются в каждом доме. Одной из таких, которая обрела невероятную популярность, является головоломка со спичками. Её суть сводится к тому, что нужно переставить определённое количество спичек, чтобы получилась другая фигура. Ещё одна разновидность: переставить спички так, чтобы вышло верное равенство (речь идёт о цифрах). Наподобие этого есть головоломка с монетками.

#### 1.1.1.2 Механические головоломки

Всемирно известный пример – кубик Рубика, автор которого также придумал «змейку». Также здесь можно вспомнить любимую игру детей – пятнашки. Все эти головоломки объединяет одно – это предметы, которые созданы для решения поставленных задач. Представленные игры найдутся далеко не в каждом доме, но есть и такая головоломка, в которую играли, пожалуй, все – это пазлы.

#### 1.1.1.3 Печатные головоломки

К печатным головоломкам относятся такие головоломки, которые напечатаны на бумаге, а для их решения понадобится ручка. Примерами таких задач являются:

* сканворды;
* кроссворды;
* ребусы;
* японские кроссворды;
* судоку и другие.

#### 1.1.1.4 Словесные головоломки

Словесные головоломки – это загадки, построенные на материале слов. В отличие от разного рода словесных игр, головоломки предназначены для индивидуального разгадывания. Словесные головоломки бывают разных типов. Рассмотрим некоторые словесные головоломки [13].

* Анаграмма – это перестановка букв в слове, приводящая к новому слову, например: луг – гул, карп – парк, адрес – среда, рост – сорт – торс – трос, клоун – колун – кулон – уклон. Часто анаграммами называют сами слова, составленные из одинаковых букв.
* Метаграммы – это слова, различающиеся одной буквой (звуком). Метаграммами часто называют также головоломки, основанные на изменении в слове одной буквы. В метаграммах принято загадывать не любые слова, а существительные в форме именительного падежа (допустимо использовать имена собственные).
* Палиндром – такой текст, который читается от конца к началу так же, как от начала к концу (пробелы и знаки препинания не принимаются во внимание). В том же значении иногда используются термин «перевертыш». Один из известнейших примеров – А роза упала на лапу Азора.
* Шарада один из наиболее популярных видов словесных головоломок. Шарада заключается в отгадывании слова, части которого могут быть самостоятельными словами. Эти части слов называются слогами. Понятие слога в шарадах не совпадает с понятием слога в фонетике. Слог в шараде лишь в частном случае может представлять собой фонетический слог, но может состоять и из нескольких фонетических слогов, а может вообще не содержать гласных.

Также в качестве словесных головоломок могут рассматриваться сканворды, кроссворды и ребусы, рассмотренные ранее.

#### 1.1.1.5 Компьютерные игры-головоломки

К этой категории головоломок можно отнести наиболее известные игры, выпущенные как встроенные приложения в операционную систему Windows ещё в 90-е годы:

* сапёр;
* пинбол;
* пасьянс;
* червы;
* косынка;
* солитер;
* маджонг и другие.

### 1.1.2 Выбор класса логических задач

Итак, из большого количества логических игр выберем ту, для которой будем разрабатывать самообучающуюся систему.

Головоломка со спичками имеет достаточно узкий круг возможных задач, притом, данная задача может решаться с помощью полного перебора вариантов решения, поэтому данная задача не подходит.

Кубик Рубика является достаточно сложной задачей, хотя и достаточно популярной с имеющимся алгоритмом решения. Основная проблема при решении данной задачи – возможность визуализации процесса решения, поэтому данная задача также не подходит.

Сканворды, кроссворды и ребусы основаны на поиске информации по заданным данным, а также на игре слов, и при их решении практически не используются логические элементы, а «Судоку» уже подходит по критериям, поскольку данная логическая задача имеет средний уровень сложности, хорошо формализуема, а также при некоторых ограничениях имеет однозначное решение.

Карточные игры, наподобие игр «Пасьянс», «Червы», «Косынка», «Солитер», а также «Маджонг» не всегда могут иметь однозначное решение, «Пинбол» достаточно трудно формализуемая задача, а «Сапёр» подходит по рассматриваемым критериям.

Исходя из того, что весь класс головоломок, как логических задач для построения системы с элементами самообучения, не соответствует представленным ранее требованиям, необходимо по-другому определить класс подходящих для рассмотрения логических задач. Будем опираться на представленные ранее критерии выбора задач, а именно:

* задачи со средним или низким уровнями сложности;
* задачи со средним или высоким уровнями формализуемости;
* задачи, имеющие однозначное (детерминированное) решение.

Главным критерием в данном случае является детерминированность решения. Также, при рассмотрении логических задач, чётко прослеживается причинно-следственная связь между действиями и поставленной целью, что можно охарактеризовать с помощью термина «каузальный». Таким образом, определим свой класс рассматриваемых задач – детерминированные каузально-логические игры и дадим ему определение. Детерминированные каузально-логические игры – это класс логических задач или игр среднего или низкого уровня сложности, среднего или высокого уровня формализуемости и имеющие однозначное (детерминированное) решение.

К данному классу можно отнести большое количество задач. Исходя из рассмотренных логических задач, это такие задачи как «Судоку» и «Сапёр». Однако, важно понимать, что далеко не все задачи могут иметь однозначное решение. Если рассматривать «Судоку», то, как правило, каждая задача имеет детерминированное решение, поскольку, в противном случае, задача не имеет смысла, а если рассматривать игру «Сапёр», то в ней могут присутствовать «элементы случайностей», что не соответствует критерию детерминированности решения. Однако, если ввести ограничение на наличие однозначного решения задачи (если это ограничение, конечно, возможно ввести), то рассматриваемую логическую задачу возможно отнести к классу каузально-логических.

## 1.2 Обзор методов искусственного интеллекта

Рассмотрим теперь наиболее распространённые методы искусственного интеллекта, которые используются чаще всего.

### 1.2.1 Искусственная нейронная сеть

Искусственная нейронная сеть – это математическая модель и её программное или аппаратное воплощение, которое построено по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей – сетей нервных клеток живого организма. Составной частью нейронной сети являются нейроны. Структура нейрона представлена на рисунке 1.



Рисунок – Структура искусственного нейрона

В состав нейрона входят умножители (синапсы), сумматор и нелинейный преобразователь [14]. Синапсы осуществляют связь между нейронами и умножают входной сигнал на число, характеризующее силу связи, – вес синапса. Сумматор выполняет сложение сигналов, поступающих по синаптическим связям от других нейронов и внешних входных сигналов. Нелинейный преобразователь реализует нелинейную функцию одного аргумента – выхода сумматора. Эта функция называется «функция активации» или «передаточная функция» нейрона. Нейрон в целом реализует скалярную функцию векторного аргумента. Математическая модель нейрона описывается соотношениями:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (1) |

где – вес синапса ();

b – значение смещения;

s – результат суммирования;

– компонента входного вектора (входной сигнал);

y – выходной сигнал нейрона;

f – нелинейное преобразование (функция активации или передаточная функция).

Таким образом, нейрон полностью описывается своими весами и передаточной функцией . Получив набор чисел (вектор) в качестве входов, нейрон выдаёт некоторое число y на выходе.

Описанный вычислительный элемент можно считать упрощённой математической моделью биологических нейронов – клеток, из которых состоит нервная система человека и животных.

### 1.2.2 Экспертная система

## 1.3 Сравнение процессов обучения человека и машины

Прежде чем перейти к построению самообучающейся системы или системы с элементами самообучения, необходимо рассмотреть, как происходит процесс обучения у человека, поскольку большая часть алгоритмов машинного обучения основана на тех принципах получения и обработки знаний, которые происходят у человека. Таким образом, появится возможность «позаимствовать» у человека модель обучения, которую получится реализовать в дальнейшем. Рассмотрение процессов обучения у машины позволит определить те достоинства и недостатки, которые также необходимо будет учесть при разработке системы с элементами самообучения.

### 1.3.1 Процесс обучения у человека

Рассмотрим сначала несколько формулировок понятия «обучение».

Обучение – педагогический процесс, в результате которого учащиеся под руководством учителя овладевают знаниями, умениями и навыками, общими и специальными [6].

Обучение – это сознательная целенаправленная деятельность педагогов и учащихся [7].

Понятие «обучение» характеризует организованный процесс, порождаемый взаимодействием двух деятельностей, — преподавания и учения [8].

Обучение — основной путь получения образования, целенаправленный, планомерно и систематически осуществляемый процесс овладения знаниями, умениями и навыками под руководством опытных лиц — педагогов, мастеров, наставников и т. д [9].

Обобщая разные формулировки, процесс обучения можно наглядно представить в виде следующей схемы (рисунок 1).

Таким образом, во время обучения при помощи учителя, а именно, лица, обладающего достаточными компетенциями, у обучающегося формируются знания, умения и навыки. Важным будет отметить, что является знаниями, полученными в процессе обучения. Знание — это осведомленность или понимание кого и чего угодно, которое можно логически или фактически обосновать и эмпирически или практически проверить [10]. Главной фразой в данном определении будет «понимание и возможность логически обосновать». Таким образом, понимание позволяет человеку связать уже имеющиеся у него знания с новыми знаниями, позволяет заново вывести данное знание логически в случае утраты данного знания, например, в случае забывания.

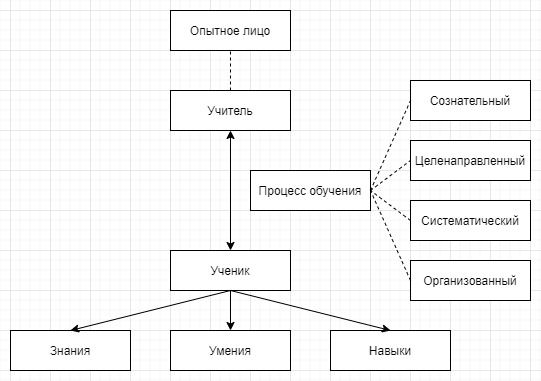


Рисунок – Общая схема процесса обучения

Также необходимо обратить внимание на то, что является умением. Умение – это возможность эффективно выполнять действие (деятельность) в соответствии с целями и условиями, в которых приходится действовать [11]. В данном случае ключевой является фраза «эффективно выполнять». Получается, что важно не только наличие знаний в той или сфере, но и умение эффективно применять их для решения поставленных задач. И, наконец, навык – это действие, сформированное путём повторения, характеризующееся высокой степенью освоения и отсутствием поэлементной сознательной регуляции и контроля [12]. Таким образом, можно сказать, что навык – это некоторое действие, доведённое до автоматизма, которое может происходить без сознательной регуляции.

В качестве примера процесса обучения можно привести обучение чистке зубов детей. Изначально ребёнок, как правило, под руководством родителя получает знания, в том числе для чего необходим данный процесс

### 1.3.2 Процесс обучения у машины

### 1.3.3 Сравнительный анализ

Взаимодействие обучающего с обучающимся

## 1.4 Методы решения игры «Сапёр»

Рассмотрим теперь существующие алгоритмы для поиска решения игры «Сапёр».

### 1.4.1 Гибридные модели анализа ситуаций

Наиболее частым подходом к построению современных интеллектуальных систем является использование гибридных моделей анализа ситуаций [2].

Рассмотрим обучаемую модель игры в составе следующих блоков:

1. Создание поля. Создание игрового поля состоит из двух этапов:

* с помощью функции генерации случайных чисел размещается заданное число единиц - «мин» по полю заданного размера в матрице **A**;
* для каждой клетки матрицы **A** вычисляется сумма окружающих ее «мин», значение записывается в соответствующую ячейку матрицы **B** того же размера.

При решении задачи «сапера» пользователь или программа обращаются к матрице B во время открытия неизвестных ячеек; с помощью матрицы A проверяется количество оставшихся «мин» и условия проигрыша и победы. В матрице C того же размера ведется учет вероятностей нахождения «мин» в той или иной клетке. Матрица D содержит описание текущей видимой ситуации. В начальный момент все , т. е. не опознаны. Для клеток с «миной» будем использовать маркер , открытые клетки содержат маркеры от («мин» рядом нет) до , (вокруг только «мины»).

1. Модуль обработки жесткой логики содержит следующие правила:

* если количество «мин» вокруг данной клетки соответствует ее числу, можно открыть все остальные ячейки вокруг нее, т. е. вероятность нахождения «мины» устанавливается равной 0;
* если количество неизвестных «мин» вокруг данной клетки равно числу свободных клеток вокруг нее, то можно поставить там «мины», т. е. вероятность нахождения «мины» устанавливается равной 1;

1. Модуль принятия решения содержит следующие правила:

* при неоднозначной расстановке «мин» следует выбрать наиболее вероятные точки путем составления матрицы вероятных положений с учетом обучения и расположения открытых клеток;
* при равнозначном выборе в режиме обучения запросить помощь пользователя. Описать решение пользователя в виде модели размера извлеченной из матрицы **D**. На основании его решений изменить параметры вероятности соответствующей клетки и проверить качество принятого решения: «удача\ошибка». Если решение было удачным, то вероятность отсутствия «мины» для клеток, соответствующих области типа увеличить, иначе следует ее уменьшить. В начальный момент считаем, что , т. е. для всех образцов «мины» есть;
* в режиме игры при равнозначном выборе полагаться на выбор. На основании получившегося результата изменить параметры вероятности;

1. Модуль изменения параметров вероятности. Работа с матрицей вероятностей C включает в себя следующие правила:

* свободные закрытые клетки имеют собственную вероятность нулевого уровня, являющуюся суммой вероятностей нахождения «мины» около открытых ячеек. Соответствующие слагаемые вычисляются как отношение количества недостающих «мин» к количеству свободных закрытых клеток вокруг открытых ячеек, расположенных вокруг текущей клетки;
* изменение вероятности при поощрении решения вычисляется следующим образом: ;
* изменение вероятности при наказании решения вычисляется как: .

Таким образом, картина вероятности для каждой клетки, неоткрытой в текущий момент, обуславливается опытом удачных или неудачных решений в схожей ситуации и, с увеличением объема накопленных результатов, изменяется на соответствующую величину.

Результаты применения данного алгоритма представлены в таблице 1 [3].

Таблица 1 – Результаты применения алгоритма

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Без анализа вероятностей** | | | **С анализом вероятностей** | | |
| **число мин** | **игр** | **побед** | **%** | **игр** | **побед** | **%** |
|  | **50** | **38** | **76,0** | **49** | **34** | **69,4** |
|  | **50** | **6** | **12,0** | **49** | **23** | **46,9** |
| **q=20** | **50** | **0,5** | **1,0** | **72** | **6** | **8,3** |

### 1.4.2 Разработанный метод с элементами самообучения

Основная идея данного метода заключается в синтезе новых (производных) правил решения задачи на основе базовых правил.

Синтез новых правил будет происходить при помощи обучения на мини-полях размером 3\*3, 4\*4, 5\*5 и 6\*6 клеток. В данных полях для каждой клетки генерируются значения, которые могут находиться в клетках (это цифры [0; 8], мина (М), стена (С), закрытая клетка (З)). С помощью полного перебора значений в клетках и с помощью применения базовых правил выявляются:

* недопустимые (запретные) комбинации;
* единственно возможные комбинации (для прогнозирования значений в закрытых клетках).

Все выявленные комбинации записываются в отдельный список правил, которые являются производными правилами от базовых правил логической задачи.

Затем полученные правила анализируются и выявляются зависимости (для определения основных свойств отношений, применяемых в дискретной математике: рефлексивность, симметричность, транзитивность и др.). Это позволит компактнее сформировать уже синтезированные правила, а также провести синтез новых правил, таким образом сформировав набор шаблонов, по которым можно будет выявлять, есть ли в той или клетке мина.



Рисунок – Блок-схема разработанного алгоритма

Выявлять новые правила при помощи мини-полей будем итеративно. На первой итерации будут применяться только базовые правила игры. На последующих итерациях будут применяться правила, основанные на принципе «что, если», то есть, сначала, по определённым правилам, будет выдвигаться предположение для закрытой клетки (например: предположим, что в данной клетке мина) и, исходя из данного предположения, будут проверяться уже имеющиеся правила и синтезироваться новые.

Блок-схема данного метода представлена на рисунке 1.

Рассмотрим подробнее описание применения логики n-ого порядка.

Логика 1-го порядка основана на правиле поскольку в клетке 1 значение *x*, то в клетке 2 значение *y*. Пример логики 1-го порядка приведён на рисунке 2.

Изображение выглядит как стол

Автоматически созданное описание

Рисунок – Пример логики 1-го порядка

Логика 2-го порядка основана на следующем правиле. Исходя из базовых правил и правил, полученных в ходе применения логики 1-го порядка, установлено, что мина может быть в *клетке 1* или в *клетке 2*. Тогда можно выделить 2 пункта для синтеза новых правил:

* Если мина находится в *клетке 1*, то, исходя из данного предположения, в соседних клетках будет определённый набор значений (назовём его *набор 1*). Если мина находится в *клетке 2*, то, исходя из данного предположения, в соседних клетках будет другой набор значений (назовём его *набор 2*). Тогда к *набору 1* и *набору 2*, а, точнее, к соответствующим закрытым значениям клеток *набора 1* и *набора 2* можно применить логическую операцию **И**, чтобы выявить схожие значения.
* Для *набора 1* и *набора 2* производится применение правил низших порядков для выявления ошибочных значений.

Таким образом, если в первом пункте будут найдены схожие значения для закрытых клеток двух полей и/или во втором пункте будут найдены ошибки при применении правил низших порядков, полученные схемы будут занесены в список правил 2-го порядка.

Пример применения первого пункта логики 2-го порядка представлен на рисунке 3.

Изображение выглядит как стол

Автоматически созданное описание

Рисунок – Пример применения первого пункта логики 2-го порядка

Пример применения второго пункта логики 2-го порядка представлен на рисунке 4.

Изображение выглядит как стол

Автоматически созданное описание

Рисунок – Пример применения второго пункта логики 2-го порядка

### 1.4.3 Анализ алгоритмов построения самообучающихся систем

Для определения предпочтительного метода для разработки самообучающегося алгоритма для решения логической задачи необходимо чётко определить критерии выбора.

Главным критерием является точность решения задачи. Задача, которая была выбрана в качестве задачи для реализации самообучающейся системы, имеет однозначное решение, поэтому для достижения максимальной эффективности важно, чтобы каждое поле головоломки решалось безошибочно.

Первый рассмотренный подход к разработке самообучающегося алгоритма основан на использовании вероятностной обучаемой стратегии. Данный алгоритм хоть и демонстрирует повышение эффективности при решении логической задачи «Сапёр», тем не менее, алгоритм не гарантирует безошибочность решения поля. Более того, данный алгоритм показывает невысокие значения доли побед для полей с числом мин *q*, равным 10 и 15 (0,694 и 0,469 соответственно), а для полей, с числом мин q, равным 20 алгоритм демонстрирует низкое значение доли побед (0,083). При заданных ограничениях применение данного подхода к разработке самообучающегося алгоритма недопустимо.

Второй рассмотренный подход основан на «запоминании» схем (шаблонов), которые увеличивают вероятность нахождения подходящего шаблона для того, чтобы найти хотя бы одну такую клетку, в которой отсутствует мина. Важным фактом является то, что в случае, если самообучающаяся система не сможет найти хотя бы одну такую клетку, в которой отсутствует мина, то самообучающаяся система «уйдёт на дообучение», то есть будет тренироваться для нахождения зависимостей с применением «логики более высоких порядков» и, получив новые схемы, система продолжит пытаться найти решения поля. Таким образом, худшим вариантом при нахождении решения логической задачи может стать зацикливание алгоритма, который с каждым разом будет искать шаблоны, используя логику и более и более высоких порядков. При этом возникать таких ситуаций, в которых поле решено с ошибкой, не должно.

Исходя из представленного анализа, можно сделать вывод о том, что разработанный метод для решения логической задачи является более подходящим, чем гибридная модель анализа ситуаций. Тем не менее, разработанный метод необходимо доработать, чтобы избежать зацикливания при самообучении на полях, не подходящих под требования к исходным данным.

# 2 СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Цель работы – разработка комплекса алгоритмов с элементами самообучения и их программной реализации для независимого от человека поиска эффективного решения каузально-логических игр (на примере игры «Minesweeper»/«Сапёр»).

Разработка специальной части начинается с описания правил игры «Сапёр». Далее, исходя из правил, будут представлены содержательная и математическая постановки задачи исследования. Исходя из них, будет разработана теоретическая часть, которая будет описывать связь входных и выходных данных. На основе теоретической части будет разработан алгоритм поиска эффективных решений, который впоследствии будет разделён на части (блоки), где далее для части блоков будет описан самообучающийся алгоритм, который будет выполнять функции данного блока. В завершении будет описано и представлено программное обеспечение, реализующее разработанный алгоритм с элементами самообучения, а также будут представлены результаты работы программы. Блок-схема специальной части представлена на рисунке 5.



Рисунок – Блок-схема специальной части

Правила игры «Сапёр» представлены в приложении А.

## 2.2 Содержательная постановка задачи

Содержательная постановка задачи представляет из себя выжимку и краткое содержание правил игры. Таким образом, содержательная постановка задачи – это точная и небольшая по объёму формулировка, понятная читателю.

Основным элементом игры является поле с заданными значениями длины и ширины. Элементами поля являются клетки. Клетка может быть открыта или закрыта. В открытой клетке хранится целое значение [0; 8] или мина. Значения [0; 8] в клетке означает количество мин, находящихся в соседних клетках. В закрытой клетке находится флаг мины, знак вопроса или не находится ничего – пользователь сам решает, что будет находиться в закрытой клетке. Если клетка закрыта, то неизвестно, что в ней находится, в противном случае – известно.

На вход подаётся поле, большая часть клеток которого закрыты, а также число, означающее общее количество мин, находящихся на поле. Пользователь может открыть закрытую клетку, чтобы узнать значение, которое в ней хранится. Если это значение [0; 8], то данное значение отображается в открываемой клетке. Если в открываемой клетке находится мина, то она также отображается в открываемой клетке, но при этом игра заканчивается поражением. Для победы необходимо открыть все клетки поля, в которых отсутствуют мины. Цель: победить.

Также определено, что решение задачи является детерминированным.

Таким образом, исходными данными для решения поставленной задачи являются:

* поле с заданными значениями длины и ширины, состоящее из клеток;
* общее количество мин, которое находится на поле.

Для исходных данных заданы следующие характеристики и логические связи:

1. клетка может быть открыта или закрыта;
2. если клетка закрыта, то неизвестно, что в ней находится, в противном случае – известно;
3. в открытой клетке хранится целое значение [0; 8] или мина;
4. в закрытой клетке находится флаг мины, знак вопроса или не находится ничего – пользователь сам решает, что будет находиться в закрытой клетке;
5. пользователь может открыть клетку, чтобы узнать значение в ней;
6. набор условий, определяющие правила игры, а именно:

* цифра в клетке определяет количество мин в соседних клетках;
* условие победы (цель игры): открыть все клетки поля, не содержащие мины;
* условие поражения: открыть клетку с миной;

1. решение задачи является детерминированным.

## 2.3 Математическая постановка задачи

Математическая постановка задачи представляет из себя переработанную содержательную постановку задачи, представленную с помощью математических терминов. Большинство терминов, которые представлены в данном разделе можно найти в тезаурусе, но, для лучшего понимания, определение некоторых терминов будет приведено сразу.

Основным элементом игры является поле. Будем называть полем кортеж кортежей, длина кортежа которого равна l (length – длина), а длина каждого подкортежа равна w (width – ширина). Параметры l и w являются входными данными. Элементом поля является клетка, для которой определено несколько свойств:

* клетка может быть открыта или закрыта;
* в открытой клетке поля может находиться одно значение из множества допустимых значений: {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, мина (M)};
* в закрытой клетке поля может находиться одно значение из множества допустимых значений: {нет значения, флаг мины, знак вопроса}.

Для каждого свойства клетки определим отдельное поле.

Определим поле S (status – статус), элементы которого будут отвечать за состояние клетки: закрыта или открыта. Таким образом, определим множество SS (set of status – множество статусов), состоящее из двух элементов {O, C} (O (open) – открыта, C (close) -- закрыта). Тогда элементами поля S являются элементы множества SS. Элементы поля S являются входными данными.

Определим поле VOC (values in open cells – значения в открытых клетках), элементы которого будут отвечать за значение, которое находится в открытой клетке. Множество допустимых значений для открытой клетки {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, мина (M)} назовём SVOC (set of values in open cells – множество значений в открытых клетках). Тогда элементами поля VOC являются элементы множества SVOC. Элементы поля VOC являются входными данными.

Определим поле VCC (values in close cells – значения в закрытых клетках), элементы которого будут отвечать за значение, которое находится в закрытой клетке. Для множества допустимых значений для закрытой клетки {нет значения, флаг мины, знак вопроса} определим упрощённое множество: {E, MF, Q}, где между элементами двух множеств установлено следующее взаимно однозначное соответствие (формула 1):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (1) |

Назовём упрощённое множество допустимых значений закрытой клетки SVCC (set of values in close cells – множество значений в открытых клетках). Тогда элементами поля VCC являются элементы множества SVCC. Изначально каждый элемент поля VCC рассчитывается следующим образом (формула 2):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2) |

Определим поле VC (values of cells – значения клеток), элементы которого будут отвечать за значение клетки, которое отображается пользователю. Поскольку клетка может быть как открытой, так и закрытой, то и значение клетки, которое отображается пользователю в данный момент соответствовать как множеству SVOC, так и множеству SVCC, то есть . Изначально элементы поля VC рассчитываются следующим образом (формула 3):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3) |

Теперь необходимо определить тот факт, что цифра в клетке означает количество мин, находящихся в соседних клетках. Для этого определим поле MC (mines in cells – мины в клетках), элементы которого будут отвечать, находится в заданной клетке мина или нет. Данное поле необходимо для того, чтобы для выбранной клетки можно было бы посчитать количество мин в соседних клетках. Множество допустимых значений для элементов поля MC состоит из двух элементов: {в клетке отсутствует мина, в клетке находится мина}. Для данного множества определим упрощённое множество: {0, 1}, где элементы первого множества «в клетке отсутствует мина», «в клетке находится мина», соответствуют значениям второго множества «0», «1». Назовём упрощённое множество допустимых значений закрытой клетки BS (binary set – двоичное множество). В таком случае элементы поля MC рассчитываются следующим образом (формула 4):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (4) |

Общее количество мин на поле задаётся параметром tm (total mines – общее количество мин), значение которого рассчитывается по следующей формуле (формула 5):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (5) |

Параметр tm является входным значением.

Рассмотрим теперь тот факт, что если в клетке находится цифра, то выполняется условие, что данная цифра означает количество мин в соседних клетках. Сначала определим соответствия между множеством координат клетки и множеством координат соседних клеток с заданной клеткой (формула 6):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (6) |

Теперь можно часть содержательной постановки задачи, в которой говорится, что число в клетке означает количество мин в соседних клетках, записать в виде системы равенств (формула 7):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (7) |

Определим теперь поле полей k, элементы будут определять, является ли клетка с координатами соседней для клетки с координатами . Таким образом, элементы поля полей k рассчитываются следующим образом (формула 8):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (8) |

Тогда систему (8) можно записать следующим образом (формула 9):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (9) |

Или в общем виде (формула 10):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (10) |

где VOC – вектор-столбец,

k – матрица системы размером l\*w,

MC – вектор-столбец.

Для тех элементов полей VOC и MC, для которых выполняется следующее равенство (формула 11):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (11) |

вместо значений определим переменные , а вместо значений определим переменные . Тогда систему уравнений/равенств, записанную в общем виде, можно записать так (формула 12):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (12) |

где – бинарный вектор-столбец,

– бинарная вектор-столбец (),

– сильно разряженная бинарная матрица (двумерный кортеж),

– сильно разряженная бинарная матрица (двумерный кортеж) ().

Перепишем систему (12) в следующем виде (формула 13):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (13) |

Теперь определим тот факт из содержательной постановки задачи, что при открытии закрытой клетки поля, в ней отображается имеющееся значение. В системе уравнений/равенств (13) неизвестными являются значения y и x, однако, значение переменной однозначно определяется при вычислении переменной . Это можно записать в виде формулы (14):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (14) |

Но, если в клетке находится мина, то к данной клетке не применимо условие того, что цифра в клетке означает количество мин в соседних клетках. Таким образом, уравнение системы, содержащее теперь уже известное значение переменной , уже не имеет смысла, поэтому данное уравнение необходимо исключить из системы.

Также необходимо определить содержательной постановки задачи, который определяет значение общего количества мин на поле. Это можно записать в виде следующего уравнения (формула 15):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (15) |

Или с учётом переменных (формула 16):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (16) |

Добавим данное уравнение в систему (13) и получим формулу 17:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (17) |

Исключим из системы (17) равенства, таким образом получится система уравнений.

Теперь можно дать определение значению детерминированности решения игры «Сапёр». Решение игры «Сапёр» будет считаться детерминированным, если система уравнений (17) имеет единственное решение.

Итак, входными данными являются:

* параметры l, w,
* поля S, VOC,
* параметр tm.

Успешным выполнением задачи является нахождение решения системы (17).

## 2.4 Дополнительные данные

Назовём дополнительными данными такие данные, которые не используются для достижения цели, но которые присутствуют в содержательной постановке задачи и которые должны быть формализованы.

Определим множество пользовательских допустимых изменений состояний (переходов) UT (user transition – пользовательский переход) и множество условных переходов CT (conditional transition – условный переход). Будем называть пользовательским переходом такое изменение переменной и/или элемента или элементов тех или иных двумерных кортежей/матриц, которое может осуществить пользователь. Условным переходом будем называть такое изменение переменной и/или элемента или элементов тех или иных двумерных кортежей/матриц, которое происходит в ответ на изменение элементов с помощью пользовательского перехода. Условный переход состоит из двух частей: условной (которое, в свою очередь является пользовательским переходом) и действенной части (определяет переход, который осуществляется при условии выполнения указанного пользовательского перехода). Множество UT состоит из следующих элементов:

* Для ,
* Для ,
* Для ,
* Для ,
* Для ,
* Для ,
* Для .

. Множество CT состоит из следующих элементов:

* ЕСЛИ для ,

ТО для ,

* ЕСЛИ для ,

ТО для ,

* ЕСЛИ для ,

ТО для ,

* ЕСЛИ для ,

ТО для ,

* ЕСЛИ для ,

ТО для ,

* ЕСЛИ для ,

ТО для ,

* ЕСЛИ для ,

ТО для ,

* ЕСЛИ для ,

ТО ,

* ЕСЛИ для ,

ТО ,

* ЕСЛИ для ,

ТО ,

* ЕСЛИ для ,

ТО .

## 2.5 Методы поиска решения

### 2.5.1 Метод поиска однозначного решения

Рассмотрим первый способ поиска решения системы (17).

#### 2.5.1.1 Содержательное описание метода

Поскольку переменные системы уравнений (17) имеют дискретные значения, то одним из простых способов поиска решения системы является перебор допустимых значений для каждого уравнения системы. Тогда если любое уравнение системы (17) будет верным только при определённых значениях переменных , принадлежащие ОДЗ, то данные переменные равны именно этим определённым значениям.

Данный метод можно представить следующим образом. Рассмотрим рисунок 6. На нём представлено небольшое поле «Сапёра». Белые клетки – это открытые клетки поля, в которых находится значение. Синяя клетка – закрытая клетка. Проверим возможные значения в закрытой клетке и посмотрим, как данные значения будут влиять на правило о количестве мин в соседних клетках для зелёной клетки. Предположим, что в синей клетке отсутствует мина, тогда количество соседних для зелёной клетки клеток без мин будет равно нулю, что не соответствует значению в зелёной клетке. Если в синей клетке находится мина, то количество соседних для зелёной клетки клеток без мин будет равно единице, что соответствует значению в зелёной клетке. Поскольку количество соседних закрытых с зелёной клеткой клеток всего одна и для неё верно только одно значение, то данное значение и будет в данной клетке.

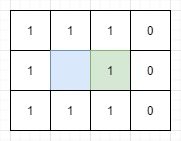


Рисунок – Пример 1 для метода 1

Рассмотрим теперь пример 2 (рисунок 7). Проверим возможные значения в закрытых клетках и посмотрим, как данные значения будут влиять на правило о количестве мин в соседних клетках для зелёной клетки. Предположим, что в обоих синих клетках отсутствуют мины, тогда количество соседних для зелёной клетки клеток без мин будет равно нулю, что не соответствует значению в зелёной клетке. Пусть тогда в одной из синих клеток находится мина, а в другой отсутствует. В таком случае количество соседних для зелёной клетки клеток без мин будет равно единице, что также не соответствует значению в зелёной клетке. Предположим теперь, что в обоих синих клетках находятся мины, тогда количество соседних для зелёной клетки клеток без мин будет равно двум, что соответствует значению в зелёной клетке. Поскольку количество соседних закрытых с зелёной клеткой клеток две и для каждой из них верно только одно значение, то данное значение и будет в данной клетке.

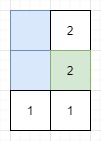


Рисунок – Пример 2 для метода 1

#### 2.5.1.2 Математическое описание метода

Рассмотрим одно из уравнений системы (17) (формула 18):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (18) |

Пусть для данного уравнения , тогда . В таком случае уравнение (18) записывается следующим образом (формула 19):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (19) |

Уравнение (19) можно переписать в следующем виде (формула 20):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (20) |

Тогда для данного уравнения можно записать первое правило вычисления значений :

* Если , то для тех значений и , для которых выполняется равенство , можно однозначно вычислить значение по формуле (21):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (21) |

* Если и если для тех значений и , для которых выполняется равенство , уравнение (20) верно только при всех или при всех , то данные или соответственно.

#### 2.5.1.3 Оптимизация метода

### 2.5.2 Метод гипотез

Рассмотрим второй способ поиска решения системы (17).

#### 2.5.2.1 Содержательное описание метода

Рассмотрим ситуацию для системы (17), когда для переменной задаём некоторое значение или . Поскольку система (17) имеет единственное решение, существует 2 варианта:

* Если заданное значение не равно истинному значению данной переменной, то при подстановке данного значения в другие уравнения системы и при вычислении других значений с применением первого правила может быть найдено такое уравнение или равенство системы, которое не имеет решений на ОДЗ (если это уравнение) или являются неверным (если это равенство).
* Если заданное значение равно истинному значению данной переменной, то при подстановке данного значения в другие уравнения системы и при вычислении других значений с применением первого правила не может быть найдено такое уравнение или равенство системы, которое не имеет решений на ОДЗ (если это уравнение) или являются неверным (если это равенство).

Стоит заметить, что при данном предположении нельзя вычислить значения , поскольку в данном методе делается лишь предположение о возможном значении , а становится известным только когда однозначно вычислено значение .

Данный метод можно представить следующим образом. Рассмотрим рисунок 8. На нём представлено небольшое поле «Сапёра». Белые клетки – это открытые клетки поля, в которых находится значение. Синие клетки – закрытые клетки. Определим для каждой клетки нумерацию. Попробуем применить данный метод для клетки с координатами (2, 2).

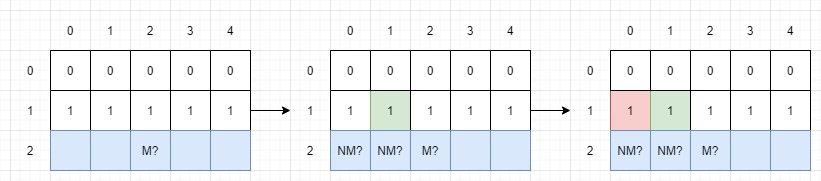


Рисунок – Пример для метода 2

Предположим, что в клетке с координатами (2, 2) находится мина (рисунок 8, левое поле). Тогда попытаемся вычислить значения в других закрытых клетках, исходя из значений в открытых клетках. Рассмотрим клетку с координатами (1, 1). В соседних с ней клетках находится всего одна мина и, поскольку было выдвинуто предположение о том, что в клетке (2, 2) находится мина (а данная клетка является соседней для клетки с координатами (1, 1)), то в клетках с координатами (2, 0) и (2, 1) отсутствуют мины (рисунок 8, среднее поле). Однако, можно заметить, что в соседних клетках с клеткой с координатами (1, 0) отсутствуют мины, хотя в соседних клетках должна находиться хотя бы одна мина. Таким образом, можно сделать вывод о том, что предположение о том, что в клетке с координатами (2, 2) находится мина – неверное.

#### 2.5.2.2 Математическое описание метода

Рассмотрим систему уравнений (17) для рисунка (8) (формула 22):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (22) |

Первое уравнение системы соответствует клетке с координатами (1, 0), второе – (1, 1), третье – (1, 2), четвёртое – (1, 3) и пятое – (1, 4). По аналогии с представленным примером для рисунка (8) предположим, что переменная . Тогда уравнение 2 системы (22) будет следующим (формула 23):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (23) |

Поскольку ОДЗ для переменных , то уравнение (23) будет верным только при и , но, в таком случае, при подстановке данных значений в уравнение 1 системы (22) получается неверное равенство 0 = 1. Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что предположение – неверное.

#### 2.5.2.3 Оптимизация метода

### 2.5.3 Метод связанных клеток 1

Рассмотрим третий способ поиска решения системы (17).

#### 2.5.3.1 Содержательное описание метода

Данный метод основан на методе исключения переменных из системы (17) без применения последнего уравнения системы, в котором отражается подсчёт общего количества мин на поле.

Данный метод можно представить следующим образом. Рассмотрим рисунок 9. На нём представлено небольшое поле «Сапёра». Белые клетки – это открытые клетки поля, в которых находится значение. Синие клетки – закрытые клетки. Определим для каждой клетки нумерацию. Рассмотрим клетку с координатами (1, 0). В соседних с данной клеткой клетках должна находиться одна мина. Поскольку клетки с координатами (0, 0), (0, 1) и (1, 1) открыты и в них отсутствуют мины, то мина находится в одной из двух клеток с координатами (2, 0) или (2, 1). Рассмотрим теперь клетку с координатами (1, 1). В соседних с ней клетках также должна находиться одна мина. Поскольку клетки с координатами (1, 0), (0, 0), (0, 1), (0, 2) и (1, 2) открыты и в них отсутствуют мины, то мина должна находиться в одной из трёх соседних клеток с координатами (2, 0), (2, 1) или (2, 2). Однако, при рассмотрении клетки с координатами (1, 0) было определено, что одна мина однозначно находится в одной из клеток с координатами (2, 0) или (2, 1). Исходя из этого, получается, что в клетке с координатами (2, 2) отсутствует мина, поскольку единственная мина, которая находится в соседних с клеткой с координатами (1, 1) клетках находится в одной из клеток с координатами (2, 0) или (2, 1), а, в таком случае, в остальных соседних клетках мины отсутствуют.

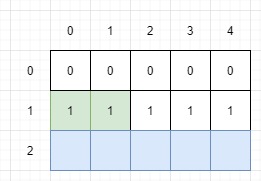


Рисунок – Пример 1 для метода 3

Рассмотрим ещё один пример работы данного метода (рисунок 10). Рассмотрим клетку с координатами (1, 2). В соседних с данной клеткой клетках находится одна мина. Мина может находиться в одной из двух клеток с координатами (2, 1) или (2, 3). Рассмотрим теперь клетку с координатами (2, 2). В соседних с данной клеткой клетках также находится одна мина. Мина может находиться в одной из пяти клеток с координатами (2, 1), (3, 1), (3, 2), (3, 3), (2, 3), но, поскольку при рассмотрении клетки с координатами (1, 2) было определено, что мина находится в одной из двух клеток с координатами (2, 1) или (2, 3), следовательно, в клетках с координатами (3, 1), (3, 2) и (3, 3) мины отсутствуют.

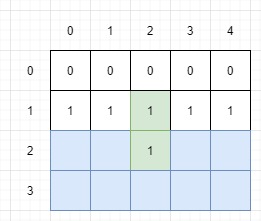


Рисунок – Пример 2 для метода 3

#### 2.5.3.2 Математическое описание метода

Математическое описание метода следующее. Рассмотрим систему уравнений (17). Необходимо из данной системы уравнений найти два таких уравнений, чтобы для уравнения, полученного при вычитании одного уравнения из другого, оказался применим первый метод. При этом нельзя использовать последнее уравнение системы, в котором отображается подсчёт общего количества мин на поле.

Рассмотрим несколько примеров.

Рассмотрим систему уравнений (17) для рисунка (9) (формула 22). Данная система уравнений совпадает с системой уравнений (22):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (24) |

Рассмотрим первое и второе уравнения данной системы. Вычтем первое уравнение системы из второго, таким образом, исключив переменные и :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (25) |

Таким образом, получилось найти однозначное значение переменной .

Рассмотрим систему уравнений (17) для рисунка (10) (формула 22):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (26) |

Поясним сначала, почему в системе присутствуют повторяющиеся уравнения 1, 2 и 4, 5. Уравнение 1 соответствует клетке с координатами (1, 0), уравнение 2 соответствует клетке с координатами (1, 1). Исходя из того, что в клетках с данными координатами находится цифра 1 и того, что в соседних с данными клетками находятся две одинаковые закрытые клетки, получается, что уравнения одинаковые для двух данных клеток. Аналогичная ситуация для уравнений 4 и 5.

Теперь рассмотрим третье и шестое уравнения данной системы. Вычтем третье уравнение системы из шестого, таким образом, исключив переменные и (формула 25):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (27) |

Уравнение (25) имеет единственное решение на ОДЗ, а именно (формула 26):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (28) |

#### 2.5.3.3 Оптимизация метода

### 2.5.4 Метод связанных клеток 2

Рассмотрим четвёртый способ поиска решения системы (17).

#### 2.5.4.1 Содержательное описание метода

Данный метод основан на методе исключения переменных из системы (17), но теперь уже только с применением последнего уравнения системы, в котором отражается подсчёт общего количества мин на поле.

Данный метод можно представить следующим образом. Рассмотрим рисунок 11. На нём представлены три небольших поля «Сапёра». Белые клетки – это открытые клетки поля, в которых находится значение. Синие клетки – закрытые клетки. Определим для каждой клетки нумерацию. Рассмотрим сначала левое поле (рисунок 11). Известно, что общее количество мин на данном поле – 2. Используем данную информацию, чтобы вычислить значения в закрытых клетках поля. Рассмотрим клетку с координатами (2, 2). В данной клетке находится цифра 2, что означает, что в соседних с данной клеткой клетках находится 2 мины. Поскольку известно, что на поле всего находится 2 мины и эти 2 мины находятся в соседних с клеткой с координатами (2, 2) клетках (данные клетки поля отмечены розовым цветом), то в других клетках поля мины отсутствуют (а именно в клетках с координатами (1, 0), (0, 0), (0, 1), (0, 3), (0, 4), (1, 4), (3, 4), (4, 4), (4, 3), (4, 1), (4, 0), (3, 0)). Таким образом, получилось вычислить значение в 12-ти закрытых клеток поля (рисунок 11, среднее поле). Исходя из полученных значений несложно вычислить значения в оставшихся четырёх закрытых клетках поля (рисунок 11, правое поле).

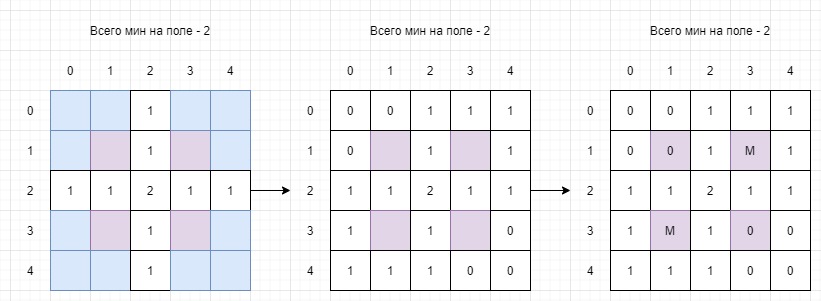


Рисунок – Пример для метода 4

#### 2.5.4.2 Математическое описание метода

Математическое описание метода следующее. Рассмотрим систему уравнений (17). Необходимо из данной системы уравнений найти два таких уравнений, чтобы для уравнения, полученного при вычитании одного уравнения из другого, оказался применим первый метод. При этом необходимо использовать последнее уравнение системы, в котором отображается подсчёт общего количества мин на поле.

Рассмотрим систему уравнений (17) для рисунка (11) (формула 22):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (29) |

Рассмотрим пятое и последнее уравнения данной системы. Вычтем пятое уравнение системы из последнего, таким образом, исключив переменные и (формула 27):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (30) |

Уравнение (25) имеет единственное решение на ОДЗ, а именно (формула 28):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (31) |

#### 2.5.4.3 Оптимизация метода

## 2.6 Методы повышения эффективности решения

Рассмотрим критерии для оценки эффективности описанных ранее методов. Виды точек:

* Угловая
* Крайняя
* Крайняя угловая
* Соседняя
* Соседняя угловая
* Смешанная соседняя
* Смешанная угловая
* Смешанная (все остальные)
* Расчёт вероятностей нахождения/отсутствия мины в закрытой клетке
* Для каждой соседней с выбранной закрытой клеткой открытой клетки
* Среднее арифметическое для всех соседних открытых клеток
* Максимальное/минимальное значения для соседних с выбранной закрытой клеткой открытых клеток

### 2.6.1 Критерии оценки для метода поиска однозначных значений

* Общее количество проверок уравнений системы
* Количество успешных/неуспешных проверок уравнений системы
* Доля успешных/неуспешных проверок уравнений системы
* Количество успешных/неуспешных проверок уравнений системы для разных видов точек
* Доля успешных/неуспешных проверок уравнений системы для разных видов точек
* Среднее время поиска успешных уравнений системы
* Возможно ли найти решение только с помощью применения данного метода (универсальность метода)

### 2.6.2 Критерии оценки для метода проверки гипотез

* Общее количество проверенных гипотез
* Количество успешно/неуспешно проверенных гипотез
* Количество проверенных гипотез с минами и без мин
* Количество успешно/неуспешно проверенных гипотез с минами и без мин
* Количество успешно/неуспешно проверенных гипотез для разных видов точек с минами и без мин
* Среднее время поиска успешно проверенных гипотез
* Среднее время проверки успешных/неуспешных гипотез
* Для успешных и неуспешных проверок: расчёт вероятностей наличия/отсутствия мины в закрытой клетке
* Возможно ли найти решение только с помощью применения данного метода (универсальность метода)

### 2.6.3 Критерии оценки для метода связанных клеток 1

* Общее количество проверок пары уравнений системы
* Количество успешных/неуспешных проверок пары уравнений системы
* Среднее время поиска успешной пары уравнений системы
* Среднее время обработки успешной пары уравнений системы
* Возможно ли найти решение только с помощью применения данного метода (универсальность метода)

### 2.6.4 Критерии оценки для метода связанных клеток 2

# ВЫВОДЫ

В данной работе произведён поиск и анализ логических задач, которые подходили по заданным критериям для разработки системы с элементами самообучения. Из рассмотренного списка логических задач выбран класс каузально-логических игр, а в качестве примера игры для рассмотрения выбрана игра «Сапёр»/«Minesweeper».

Для выбранной каузально-логической игры представлены правила, описана содержательная постановка задачи исследования и математический аппарат. Также описан алгоритм, включающий в себя ряд методов поиска эффективного решения. Некоторые методы алгоритма содержат самообучающиеся элементы, что позволяет системе проходить процесс самообучения, в ходе которого вычисляются схемы, которые по завершении обучения позволят эффективно находить решения каузально-логической игры «Сапёр».

В дальнейшем планируется добавить описание нескольких методов, содержащих элементы самообучение, представить доказательство достаточности представленных методов для достижения цели игры при любых входных данных с описанными ограничениями, а также описать, разработать и протестировать программу, основанную на представленном алгоритме с элементами самообучения.

# ТЕЗАУРУС

* **Поле** – это кортеж кортежей F, длина кортежа которого равна l (length – длина), а длина каждого подкортежа равна w (width – ширина). Элементами подкортежей кортежа F являются кортежи C.
* **Клетка** – это кортеж C (cell – клетка), состоящий из 4-ёх элементов:

где s – (status – состояние) – элемент множества St, которое отвечает за состояние клетки – открыта она или закрыта,

cv – (close value – закрытое значение) – элемент множества CCV, которое отвечает за значение, находящееся в закрытой клетке,

ov (open value – открытое значение) – элемент множества OCV, которое отвечает за значение, находящееся в открытой клетке,

v (value – значение) – элемент множества CCV ∪ OCV, означающий значение, находящееся в клетке.

* **Множество** **CCV** (close cell values - значения закрытых клеток) - множество, содержащее элемент MF (mine flag - флаг мины), элемент Q (question - вопрос/сомнение), элемент E (emptiness - пустота).
* **Множество OCV** (open cell values - значения открытых клеток) - множество, содержащее целые числа [0; 8], элемент M (mine - мина).
* **Множество St** (status – состояние) – множество статусов клетки, состоящее из двух элементов: C (close – закрыта), O (open – открыта).
* **Закрытая клетка** – клетка, значение s которой равно C.
* **Открытая клетка** – клетка, значение s которой равно O.
* **Мина** – это элемент **M** множества **OCV**. Словосочетание «в клетке находится мина» означает, что в заданной клетке значение . Словосочетание «в клетке отсутствует мина» означает, что в заданной клетке значение .
* **Координаты клетки** – это упорядоченная пара , элементы которой позволяют получить клетку поля .
* **Соседние клетки** (для заданной клетки поля ) – это кортеж клеток . Соседняя клетка (для заданной клетки поля ) – это клетка поля .
* **Множество GS** (game status - статус игры) – это множество статусов игры, состоящее из 3-ёх элементов: V (victory - победа), D (defeat - поражение) и N/O (not over - игра не окончена).
* **Изолированная клетка** – это такая клетка поля, для которой все соседние клетки – закрытые.
* **Связанные клетки** – это кортеж кортежей закрытых клеток поля, в котором суммарное количество мин в клетках .
* **Гипотеза** – это предположение, что в выбранной закрытой клетке C поля F значение , где .
* **Множество H** (hypothesis - гипотеза) – это множество, состоящее из 2-ух элементов: M и множества [0; 8].
* **Противоположные гипотезы** – это две гипотезы из множества гипотез **H**.
* **Проверка гипотезы** – подтверждение или опровержение гипотезы практическим путём.
* **Фокусная клетка** – при проверке гипотезы это закрытая клетка, для которой проверяется выполнение гипотезы.
* **Схема** – это кортеж кортежей S (scheme – схема), элементами подкортежей которого являются пары *{клетка; состояние}*, для которых выполняется логическое условие: **ЕСЛИ** *{клетка\_1; 0}* **И** *{клетка\_2; 0}* **И** ... **И** *{клетка\_n; 0}*, **ТО** *{клетка\_n+1; 1}*.
* **Применение схемы** (к полю) – для каждой клетки заданного подкортежа кортежа S поиск подобных клеток поля F
* **Корректная клетка** – это такая открытая клетка C поля , для которой выполняется функция .
* **Нейтральная клетка** –это такая открытая клетка C поля , для которой пока невозможно проверить выполнение функции .
* **Некорректная клетка** – это такая открытая клетка C поля , для которой не выполняется функция .

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Виды головоломок. Саморазвитие 2.0. URL: http://pruslin.ru/vidy-golovolomok/ (дата обращения: 26.12.21).
2. Е. Ю. Корлякова, М. О. Корлякова. Подход к разработке самообучающегося алгоритма игры в «Сапёр». Наукоёмкие технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе. Материалы Всероссийской научно-технической конференции. Том 2. Изд. КФ МГТУ им. Баумана, Калуга, 2016. С. 23-24.
3. Е. Ю. Корлякова. Подход к разработке самообучающегося алгоритма игры в «Сапёр». Презентация к докладу. Калужский филиал МГТУ им. Баумана, Калуга, 2016.
4. Комаров А. Д. Осторожно, мины! Алгоритм решения игры Сапёр. Компьютерные инструменты в образовании. №5, 2006.
5. Доррер М. Г. Психологическая интуиция искусственных нейронных сетей. Сибирский государственный технологический университет. Красноярск, 1998.
6. Большая Советская Энциклопедия. – 1954. – Т. 30., 406.
7. М. А. Данилова, М. Н. Скаткина. Дидактика средней школы. М.: Просвещение, 1975, с. 5.
8. Г. Нойнер, Ю. К. Бабанский. Педагогика. М.: Педагогика, 1984, с. 109.
9. Советский Энциклопедический Словарь. М.: Сов. энциклопедия, 1984, с. 908.
10. А. А. Ивин. Философия: Энциклопедический словарь. М.: Гардарики, 2004.
11. Педагогическая энциклопедия. М., 1968, с. 362.
12. Бим-Бад Б. М. Педагогический энциклопедический словарь. М.: Большая Российская энциклопедия, 2002, с. 156–157.
13. Минскин Е.М. Занимательные задачи и головоломки для больших и маленьких. – В кн.: Всегда всем весело. М., 1969.
14. В. В. Круглов, М. И. Дли, Р. Ю. Голунов. Нечёткая логика и искусственные нейронные сети. Изд. Физматлит, 2001.

# ПРИЛОЖЕНИЕ А. Правила игры «Minesweeper»/«Сапёр»

Игра имеет три уровня сложности: Новичок, Любитель и Профессионал. Уровни различаются размером игрового поля, а также общим количеством мин на поле.

На уровне Новичок размер поля равен 8х8, однако в операционной системе Windows XP он равен 9х9.

На уровне Любитель размер поля равен 16х16; на уровне Профессионал размер поля равен 30х16.

Суть игры заключается в том, что некоторые клетки поля свободны, а некоторые заминированы. Каждая клетка поля либо свободна, либо заминирована; третьего не дано.

Перед началом игры точно известно, сколько всего мин будет установлено на поле. По умолчанию, на уровне Новичок устанавливается 10 мин; на уровне Любитель — 40 мин; на уровне Профессионал — 99 мин. Это число можно изменить. Количество необнаруженных мин указывается в левом верхнем углу.

Однако при этом неизвестно, какие именно клетки заминированы. До того, как игрок не откроет клетку или не закончится игра, неизвестно, какие именно клетки свободны, а какие заминированы.

Если игрок считает, что некая клетка свободна, он может нажать её левой кнопкой мыши. При этом клетка откроется. Возможны три варианта:

* + 1. Если открываемая клетка была заминирована, то игра показывает это. В той клетке, которая была открыта, появляется мина, залитая красным. Также при этом открываются все остальные клетки с минами: появляется рисунок мины, но уже без красной заливки. Игра немедленно заканчивается, игрок умер (проиграл).
    2. Если открываемая клетка была свободна, но хотя бы одна из соседних клеток содержит мину, то в открываемой клетке появляется цифра, указывающая общее количество мин в соседних клетках. 1 — одна соседняя клетка заминирована; 2 — две соседние клетки заминированы, и так далее. Соседними в Сапёре считаются клетки, которые имеют либо общую сторону (соприкасаются по горизонтали или по вертикали), либо имеют общий угол (соприкасаются в углу по диагонали). Очевидно, что в клетке может появляться одна из цифр от 1 до 8. Каждая цифра имеет свой цвет: 1 — голубой, 2 — зелёный, 3 — красный, 4 — синий, 5 — коричневый, и так далее. Игра продолжается.
    3. Если открываемая клетка была свободна и все соседние клетки тоже свободны, то все соседние клетки, как и открываемая клетка, автоматически разминируются и пометятся как свободные (окрасятся в серый цвет). Если какая-либо из разминированных клеток также будет иметь только свободных соседей, то процесс автоматического разминирования на этом же ходу продолжится далее. И так далее, пока не обнаружатся клетки, имеющие заминированных соседей, и не появятся цифры. Игра продолжается.

Если игрок считает, что в клетке находится мина, он может нажать её правой кнопкой мыши. При этом клетка пометится как потенциально заминированная: в этой клетке появится своеобразный флажок. Кроме того, количество необнаруженных мин при этом уменьшится на единицу. Подчёркиваю, что флажок означает мнение игрока о наличии мины, но вовсе не означает фактическую мину.

Нельзя открывать (нажимать левой кнопкой) клетки, помеченные флажком. Нельзя помечать флажками разминированные клетки — то есть серые либо помеченные цветными цифрами.

Но если игрок сомневается, то он может нажать на помеченную флажком клетку правой кнопкой мыши вторично. При этом флажок поменяется на вопросительный знак. Вопросительный знак в клетке означает, что клетка имеет неопределённый статус и заслуживает внимания. Эту клетку можно оставить на время и вернуться к ней позже.

Можно нажать на клетку со знаком вопроса правой кнопкой мыши в третий раз. При этом знак вопроса исчезнет, и клетка вернётся к своему изначальному состоянию — неопределённое состояние, отсутствие изображения.

Игра продолжается до тех пор, пока каждая клетка поля не будет иметь один и только один из следующих двух статусов:

1. разминирована (либо серая, либо содержит цветную цифру);
2. правильно помечена флажком как содержащая мину.

Если игрок пройдёт всё поле — он выиграл.

Очевидно, что часто игрок в любой момент может наткнуться на мину, это означает, что он проиграл. При этом часто бывает, что одна или несколько клеток помечены игроком неверно. В этом случае игра помечает такие клетки перечёркнутой миной, что означает, что мины там не было, несмотря на то что игрок поставил там флажок.