# Основная цель

Целью данной работы является разработка алгоритма, содержащего в себе элементы самообучения, придерживаясь которого, возможно найти решение каждого поля логической задачи (головоломки) «Сапёр». Сравнить эффективность разработанного алгоритма с уже имеющимися алгоритмами. На основе разработанного алгоритма разработать программу для решения логической задачи (головоломки) «Сапёр».

# Дополнительная цель

Разработанный алгоритм программы «разбить» на блоки и для каждого блока разработать полностью самообучающийся алгоритм, способный выполнять функцию выделенного блока. На основе разработанных алгоритмов для каждого блока разработать программу

Какие существуют поля «Сапёра» по уровню сложности?

# Выходные данные

Результатом работы программы является значение переменной **is\_mine (True/False)** для каждой клетки поля (i; j), которая означает, находится ли в клетке мина (значение **True**) или нет (значение **False**).

Первоначальный вариант отображения

* **Недопустимая ситуация** – это такая ситуация, выявление которой приводит к проигрышу.
* **Допустимая ситуация** – это ситуация, являющаяся необходимым условием для победы.
* **Некорректная ситуация** – это такая ситуация (относительно выбранной открытой клетки), при которой как минимум одно значение в соседних клетках вычислено неверно.
* **Корректная ситуация** – это такая ситуация (относительно выбранной открытой клетки), при которой выполняются базовые правила для выбранной открытой клетки.

Рассмотрим второй метод, с помощью которого можно вычислить значение в закрытой клетке.

Данный метод основывается на следующей теореме: Если при одновременной проверке двух противоположных гипотез для одной выбранной закрытой клетки поля, для другой закрытой клетки поля вычисляется одинаковое значение, исходя из значения в фокусной клетки, то в данной клетке находится вычисленное значение.

Рассмотрим доказательство данной теоремы. Всего имеется 2 гипотезы для проверки значения в закрытой клетки, из которых только одна является верной. При проверке гипотезы значения в закрытых клетках вычисляются по правилам, исходя из значения в фокусной клетки. Таким образом, если гипотеза окажется верной, то и верными будут все значения в закрытых клетках, которые вычислены, исходя из значения в фокусной клетке. Исходя из этого можно сделать вывод, что если при одновременной проверке двух противоположных гипотез для одной выбранной закрытой клетки поля, для другой закрытой клетки поля вычисляется одинаковое значение, исходя из значения в фокусной клетки, то в данной клетке находится вычисленное значение, поскольку вне зависимости от того, какая из гипотез окажется верной, значение в определённой закрытой клетке при проверке обоих гипотез вычислено одинаковое.

Будем называть закрытую клетку, для которой при проверке двух противоположных гипотез было рассчитано аналогичное значение, однозначной клеткой.

Вероятное свойство из теоремы 2

Если проверить неверную гипотезу для однозначной клетки, то среди соседних и соседних с соседними с фокусной клеткой найдётся хотя бы одна некорректная клетка.

Будем называть закрытую клетку, для которой при проверке двух противоположных гипотез было рассчитано аналогичное значение, однозначной клеткой.

### 2.4.6 Четвёртое правило вычисления значения в закрытой клетке

### 2.4.7 Описание применения схем

### 2.4.8 Достаточность правил для решения любого поля

## 2.6 Описание программной реализации

## 2.7 Результаты работы программы

Определим теперь поле AVOC (available values in open cells – доступные значения в открытых клетках), элементы которого определяют известные значения поля VOC для пользователя. То есть, если выбранная клетка поля открыта, то значение AVOC[i][j] = VOC[i][j], в противном случае значение AVOC[i][j] остаётся неизвестным. Таким образом, элементы поля AVOC рассчитываются следующим образом:

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

Для метода однозначного определения значений и метода гипотез – это следующие критерии:

1. Количество соседних клеток с заданной клеткой.
2. Количество соседних закрытых клеток с заданной клеткой.
3. Количество выявленных мин в соседних с заданной клеткой клетках.
4. Расположение соседних с заданной клеткой клеток.
5. Расположение соседних закрытых с заданной клеткой клеток.
6. Расположение соседних клеток с выявленными минами с заданной клеткой.
7. Число в заданной клетке, если клетка открыта.
8. Статус заданной клетки.
9. Значение *i*-координаты клетки.
10. Значение *j*-координаты клетки.

Для метода связанных клеток 1 – это следующие критерии:

1. Модуль разности i-координаты заданных клеток.
2. Модуль разности j-координаты заданных клеток.
3. Модуль разности чисел в заданных клетках, если клетки открыты.
4. Количество соседних клеток для каждой из двух заданных клеток.
5. Количество соседних закрытых клеток для каждой из двух заданных клеток.
6. Количество выявленных мин в соседних клетках для каждой из двух заданных клеток.
7. Расположение соседних клеток для каждой из двух заданных клеток.
8. Расположение соседних закрытых клеток для каждой из двух заданных клеток.
9. Расположение клеток с выявленными минами для каждой из двух заданных клеток.
10. Число в каждой из двух заданных клеток, если данные клетки открыты.
11. Статус каждой из двух заданных клеток.

Для этого будем называть проверкой уравнения (или уравнений) из системы уравнений 20 вычисление результата работы выбранного метода, на основе принимаемых на вход уравнений.

Будем называть проверкой уравнения (или уравнений) из системы уравнений 20 определение с помощью одного из методов, удалось ли с использованием данного уравнения вычислить хотя бы одно из значений переменных x. Тогда при каждой проверке для каждого критерия каждого метода можно собирать следующие данные:

1. Уникальный номер проверки.
2. Значения критериев.
3. Результат работы метода (принимает значения 0 или 1).

Стоит отметить, что каждый критерий имеет свою область допустимых значений, причём эта область допустимых значений конечна. Так, например, допустимое количество соседних клеток можно задать в виде множества {3, 5, 8}, допустимое количество соседних закрытых клеток можно задать в виде следующего множества {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8} и т. д. Таким образом, каждое значение каждого критерия можно представить в двоичном виде, где длина двоичного числа n должна быть минимальным значением, чтобы выполнялось следующее неравенство (формула 33):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (33) |

где |S| – мощность множества допустимых значений заданного критерия.

Исходя из того, что значение каждого критерия можно представить в двоичном виде, возникает вопрос, можно ли будет назвать таблицу с данными значениями таблицей истинности? Для того, чтобы ответить на данный вопрос, необходимо определить, можно ли для каждой уникальной комбинации значений от каждого критерия однозначно определить результат работы метода.

После n проверок для определённого метода для каждого критерия можно будет вычислить следующие статистические данные:

1. Общее количество проверок (количество строк в таблице).
2. Количество успешных проверок (количество строк в таблице, где значение столбца «Результат работы метода» равен 1).
3. Количество неуспешных проверок (количество строк в таблице, где значение столбца «Результат работы метода» равен 0).
4. Доля успешных проверок.
5. Количество уникальных значений в столбце «Значение критерия».
6. Общее количество проверок для каждого уникального значения столбца «Значение критерия».
7. Количество успешных проверок для каждого уникального значения столбца «Значение критерия».
8. Количество неуспешных проверок для каждого уникального значения столбца «Значение критерия».
9. Доля успешных проверок для каждого уникального значения столбца «Значение критерия».

Исходя из представленных статистических данных можно будет определить зависимость результата проверки выбранным методом от значения того или иного критерия. Однако, полученных статистических данных по каждому критерию каждого метода будет недостаточно для объективного анализа. Объясним, почему.

Для того, чтобы повысить эффективность алгоритмов, будем собирать статистические данные.

Рассмотрим критерии для оценки эффективности описанных ранее методов.

* 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

* **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 , с помощью которой возможно получить значение заданного элемента 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 .

**Поле S** (status – статус) – двумерный кортеж, элементы которого хранят состояние клетки. Элементы поля S принадлежат множеству SS.

**Множество SS** (set of status – множество статусов) – множество допустимых статусов клетки. . O (open) – клетка открыта, C (close) – клетка закрыта.

**Поле VOC** (values in open cells – значения в открытых клетках) – двумерный кортеж, элементы которого хранят значение, которое находится в открытой клетке. Элементы поля VOC принадлежат множеству SVOC.

**Множество SVOC** (set of values in open cells – множество значений в открытых клетках) – множество допустимых значений в открытых клетках. .

**Поле VCC** (values in close cells – значения в закрытых клетках) – двумерный кортеж, элементы которого хранят значение, которое находится в закрытой клетке. Элементы поля VCC принадлежат множеству SVCC.

**Множество SVCC** (set of values in close cells – множество значений в открытых клетках) – множество допустимых значений в закрытых клетках. . E (emptiness) – клетка без значения, MF (mine flag) – флаг мины, Q (question) – знак вопроса.

**Поле VC** (values of cells – значения клеток) – двумерный кортеж элементы которого хранят значение клетки, которое отображается пользователю. Элементы поля VC принадлежат множеству .

**Поле MC** (mines in cells – мины в клетках) – двумерный кортеж элементы которого хранят значение, которое определяет, находится в заданной клетке мина или нет. Элементы поля MC принадлежат множеству нулей и единиц .

Основными элементами игры является поля. Будем называть полем матрицу, количество строк которой равно *h* (height – высота), а количество столбцов которой равно *w* (width – ширина). Параметры *h* и *w* являются входными данными. Каждое поле 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}.

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

1. Виды головоломок. Саморазвитие 2.0. URL: http://pruslin.ru/vidy-golovolomok/ (дата обращения: 26.12.21).
2. Минскин Е.М. Занимательные задачи и головоломки для больших и маленьких. – В кн.: Всегда всем весело. М., 1969.
3. В. В. Круглов, М. И. Дли, Р. Ю. Голунов. Нечёткая логика и искусственные нейронные сети. Изд. Физматлит, 2001.
4. П. Джексон. Введение в экспертные системы. 3-е изд. М.: Вильямс, 2001.
5. Большая Советская Энциклопедия. – 1954. – Т. 30., 406.
6. М. А. Данилова, М. Н. Скаткина. Дидактика средней школы. М.: Просвещение, 1975, с. 5.
7. Г. Нойнер, Ю. К. Бабанский. Педагогика. М.: Педагогика, 1984, с. 109.
8. Советский Энциклопедический Словарь. М.: Сов. энциклопедия, 1984, с. 908.
9. А. А. Ивин. Философия: Энциклопедический словарь. М.: Гардарики, 2004.
10. Педагогическая энциклопедия. М., 1968, с. 362.
11. Бим-Бад Б. М. Педагогический энциклопедический словарь. М.: Большая Российская энциклопедия, 2002, с. 156–157.
12. К. В. Махотило. Разработка методик эволюционного синтеза нейросетевых компонентов систем управления. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Харьков, ХГПУ, 1998.
13. Бихевиоризм: Дж. Уотсон, Э. Торндайк, Б. Скиннер, Э. Толмен. Психология – Лекции, советы, материалы для студентов. URL: https://impsi.ru/general-psychology/biheviorizm-dzh-uotson-e-torndajk-b-skinner-e-tolmen/ (дата обращения: 25.04.22).
14. А. Гадаев. И. Павлов и Д. Уотсон создатели классического обусловливания. «Изба-читальня» – литературный портал, 2013. URL: https://www.chitalnya.ru/work/883280/ (дата обращения: 25.04.22).
15. Ян Прашко, Петр Можны, Милош Шлепецки и коллектив. Когнитивно-бихевиоральная терапия психических расстройств. Институт общегуманитарных исследований, М., 2015. С. 32.
16. T. Fawcett. An introduction to ROC analysis. Institute for the Study of Learning and Expertise. USA, 2005.
17. 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.
18. Е. Ю. Корлякова. Подход к разработке самообучающегося алгоритма игры в «Сапёр». Презентация к докладу. Калужский филиал МГТУ им. Баумана, Калуга, 2016.
19. Комаров А. Д. Осторожно, мины! Алгоритм решения игры Сапёр. Компьютерные инструменты в образовании. №5, 2006.
20. Google Play. Сапер GO – классическая игра. URL: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.EvolveGames.MinesweeperGo (дата обращения: 17.04.22).
21. Anaconda. Дистрибутив программирования Python. URL: https://www.anaconda.com (дата обращения: 17.04.22).
22. ZODB. Объектно-ориентированная база данных для Python-объектов URL: https://zodb.org/en/latest/ (дата обращения: 17.04.22).
23. Виды головоломок. Саморазвитие 2.0. URL: http://pruslin.ru/vidy-golovolomok/ (дата обращения: 26.12.21).
24. 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.
25. Е. Ю. Корлякова. Подход к разработке самообучающегося алгоритма игры в «Сапёр». Презентация к докладу. Калужский филиал МГТУ им. Баумана, Калуга, 2016.
26. Комаров А. Д. Осторожно, мины! Алгоритм решения игры Сапёр. Компьютерные инструменты в образовании. №5, 2006.
27. Доррер М. Г. Психологическая интуиция искусственных нейронных сетей. Сибирский государственный технологический университет. Красноярск, 1998.
28. Большая Советская Энциклопедия. – 1954. – Т. 30., 406.
29. М. А. Данилова, М. Н. Скаткина. Дидактика средней школы. М.: Просвещение, 1975, с. 5.
30. Г. Нойнер, Ю. К. Бабанский. Педагогика. М.: Педагогика, 1984, с. 109.
31. Советский Энциклопедический Словарь. М.: Сов. энциклопедия, 1984, с. 908.
32. А. А. Ивин. Философия: Энциклопедический словарь. М.: Гардарики, 2004.
33. Педагогическая энциклопедия. М., 1968, с. 362.
34. Бим-Бад Б. М. Педагогический энциклопедический словарь. М.: Большая Российская энциклопедия, 2002, с. 156–157.
35. Минскин Е.М. Занимательные задачи и головоломки для больших и маленьких. – В кн.: Всегда всем весело. М., 1969.
36. В. В. Круглов, М. И. Дли, Р. Ю. Голунов. Нечёткая логика и искусственные нейронные сети. Изд. Физматлит, 2001.
37. П. Джексон. Введение в экспертные системы. 3-е изд. М.: Вильямс, 2001.
38. К. В. Махотило. Разработка методик эволюционного синтеза нейросетевых компонентов систем управления. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Харьков, ХГПУ, 1998.
39. Бихевиоризм: Дж. Уотсон, Э. Торндайк, Б. Скиннер, Э. Толмен. Психология – Лекции, советы, материалы для студентов. URL: https://impsi.ru/general-psychology/biheviorizm-dzh-uotson-e-torndajk-b-skinner-e-tolmen/ (дата обращения: 25.04.22).
40. А. Гадаев. И. Павлов и Д. Уотсон создатели классического обусловливания. «Изба-читальня» – литературный портал, 2013. URL: https://www.chitalnya.ru/work/883280/ (дата обращения: 25.04.22).
41. Ян Прашко, Петр Можны, Милош Шлепецки и коллектив. Когнитивно-бихевиоральная терапия психических расстройств. Институт общегуманитарных исследований, М., 2015. С. 32.
42. T. Fawcett. An introduction to ROC analysis. Institute for the Study of Learning and Expertise. USA, 2005.
43. Google Play. Сапер GO – классическая игра. URL: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.EvolveGames.MinesweeperGo (дата обращения: 17.04.22).
44. Anaconda. Дистрибутив программирования Python. URL: https://www.anaconda.com (дата обращения: 17.04.22).
45. ZODB. Объектно-ориентированная база данных для Python-объектов URL: https://zodb.org/en/latest/ (дата обращения: 17.04.22).
46. GitHub. Репозиторий с файлами и программой для ВКР. URL: https://github.com/xex238/Diploma\_2022 (дата обращения: 19.05.22).
47. 77-е Дни науки НИТУ МИСиС. Сборник тезисов.: Издательский дом МИСиС, М. 2022.

### 2.5.4 Характеристики уравнения

Для того, чтобы вычислить результат работы метода однозначного определения значений в соседних клетках и метода связанных клеток необходимо произвести операцию с вектором, длина которого составляет *l\*w*. Поскольку значения данного вектора преимущественно нулевые, то большая часть операций связана с обработкой нулевых значений, которые не несут в себе значимой информации, что, конечно, не эффективно. Таким образом, возникает вопрос: «Возможно ли вместо данного списка использовать другие значения, которые бы ёмко характеризовали бы данный список?»

Для этого рассмотрим условие определения результата работы метода. Для метода однозначного вычисления значений в соседних клетках это следующее условие: или .

Для этого определим, зависит ли результат работы каждого из трёх методов только от входных уравнений системы или нет. Результат работы метода однозначного определения значений в клетках и метода связанных клеток 1 зависит только от принимаемого на вход уравнения, в то время как результат работы метода гипотез может зависеть и от других уравнений системы.

Рассмотрим ситуации, при которых результат метода проверки гипотез зависит только от входного уравнения. Результат работы метода определяется, исходя из уравнения: если уравнение не имеет решения на области допустимых значений переменных, то результат работы метода равен 1, в противном случае равен 0. Определим, в каких случаях результат работы метода будет равен 1. Для этого рассмотрим в качестве примера следующее уравнение (формула 33):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (37) |

Предположим, что . Тогда при *n* = 0 уравнение 33 не будет иметь решения на области допустимых значений (формула 34):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (38) |

Предположим, что . Тогда при n = 5 уравнение 33 не будет иметь решения на области допустимых значений (формула 35):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (39) |

Таким образом, можно заметить, что метод гипотез, при том ограничении, что результат работы метода должен зависеть только от входного уравнения, аналогичен методу вычисления значения в соседних клетках.

### 2.5.5 Сбор и анализ статистических данных

В математической постановке задачи определено, что решение задачи сводится к поиску решения системы уравнений (формула 20). Рассмотрим ещё раз, какие переменные и параметры присутствуют в данной системе и что они означают. Параметры и определяют, открыта ли выбранная клетка или нет. Параметр системы определяет соседние с выбранной клеткой закрытые клетки. Параметр VOC отвечает за значения в открытых клетках. Переменная *x* отвечает за то, находится ли в заданной закрытой клетке мина или нет. Переменная *y* отвечает за значения в закрытых клетках, если в данной клетке отсутствует мина. Параметр *tm* отвечает за общее количество мин, находящихся на поле.

Теперь вернёмся к методам решения. Для методов однозначного определения значений и метода гипотез на вход подаётся одно из уравнений системы 20. Также, в качестве альтернативы, может подаваться на вход номер данного уравнения или координаты той клетки, которая соответствует данное уравнение. Для метода связанных клеток 1 на вход подаётся уже 2 уравнения (их номера, координаты соответствующих клеток), а для метода связанных клеток 2 на вход подаётся уже n уравнений.

Результатом работы методов является бинарное значение, определяющее, удалось ли с помощью выбранного метода найти значение хотя бы одной переменной . Таким образом, для каждого уравнения, применяемого для метода однозначного определения значений и метода гипотез и для каждой пары уравнений, применяемых для метода связанных клеток, можно определить двоичную классификацию (0 или 1), где, исходя из параметров уравнения ( и ), можно однозначно определить номер класса.

Теперь на основе параметров и переменных, из которых формируется система уравнений 20, определим множество критериев, которые характеризуют каждое уравнение из системы и с помощью которых возможно восстановить значения параметров уравнения. Для метода однозначного определения значений и метода гипотез – это следующие критерии:

1. Статус заданной клетки.
2. Число в заданной клетке, если клетка открыта, за вычетом количества соседних закрытых клеток, для которых уже вычислено, что в них находится мина.
3. Расположение соседних закрытых с заданной клеткой клеток за вычетом тех закрытых клеток, для которых уже вычислено, что в них находится мина.
4. Значение *i*-координаты заданной клетки.
5. Значение *j*-координаты заданной клетки.

Заданная клетка в каждом случае соответствует уравнению системы, которое характеризует данную клетку.

Исходя из статуса клетки, можно однозначно вычислить значения и :

* если статус клетки равен «O», то ,
* если статус клетки равен «C», то .

Число в клетке определяет значение VOC уравнения системы. Исходя из расположения соседних закрытых клеток за вычетом тех закрытых клеток, для которых уже вычислено, что в них находится мина, значения *i*-координаты клетки и значения *j*-координаты клетки возможно однозначно определить параметр . Так, например, если расположение соседних закрытых клеток за вычетом тех закрытых клеток, для которых уже вычислено, что в них находится мина, задаётся с помощью бинарной матрицы , то значение параметра можно представить в следующем виде (таблица 4).

Таблица 4 – Значение параметра для переменных *x*, значения которых не найдены

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 0 | … | *j-1* | *j* | *j+1* | … | *l* |
| 0 | 0 | … | 0 | 0 | 0 | … | 0 |
| … | … | … | … | … | … | … | … |
| *i-1* | 0 | … | 0 | 0 | 1 | … | 0 |
| *i* | 0 | … | 0 | 0 | 1 | … | 0 |
| *i+1* | 0 | … | 0 | 0 | 1 | … | 0 |
| … | … | … | … | … | … | … | … |
| *w* | 0 | … | 0 | 0 | 0 | … | 0 |

Для метода связанных клеток 1 критерии будут аналогичны критериям для метода однозначного определения значений и метода гипотез. Различие будет лишь в том, что данные критерии будут собираться не для одного уравнения системы уравнений, а для двух. Метод связанных клеток 2 рассматриваться не будет, поскольку на вход данного метода может подаваться уравнений, критерии для метода будет проблематично сформулировать.

Таким образом, для каждого из трёх методов можно определить следующую таблицу (таблица 5):

Таблица 5 – Пример таблицы с данными для заданного метода

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Значение критерия 1 | Значение критерия 2 | … | Значение критерия n | Результат работы метода |
| 1 | 1 | … | O | 0 |
| 3 | 2 | … | O | 1 |
| … | … | … | … | … |
| 1 | 0 | … | O | 0 |

Стоит отметить, что каждый критерий имеет свою область допустимых значений, причём эта область допустимых значений конечна. Так, например, допустимое количество соседних клеток можно задать в виде множества {3, 5, 8}, допустимое количество соседних закрытых клеток можно задать в виде следующего множества {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8} и т. д.

Исходя из таблицы 5 можно выдвинуть предположение о том, что данная таблица может быть таблицей истинности. Действительно, можно ли назвать данную таблицу таблицей истинности? Посмотрим на значение столбца «Результат работы метода». Если значения данного столбца зависят только от принимаемых на вход уравнений, то, поскольку значения представленных критериев полностью характеризуют принимаемые на вход уравнения, таблицу 5 можно назвать таблицей истинности. В противном случае, поскольку для одних и тех же уникальной комбинации значений критериев результат работы метода может быть как положительным (принимать значение 1), так и отрицательным (принимать значение 0), таблицу 5 нельзя будет назвать таблицей истинности. Однако, в данном случае, можно изменить таблицу 5, чтобы получить таблицу, с помощью которой можно будет собирать статистические данные для дальнейшего анализа. Для этого будем называть проверкой уравнения (или уравнений) из системы уравнений 20 вычисление результата работы выбранного метода, на основе принимаемых на вход уравнений. Тогда для каждого проверяемого уравнения можно определить уникальный номер. Поскольку с помощью критериев того или иного метода возможно однозначно определить уравнение, то таблицу 5 можно будет изменить следующим способом (таблица 6).

Таблица 6 – Пример изменённой таблицы 5

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Уникальный номер | Значение критерия 1 | Значение критерия 2 | … | Значение критерия n | Результат работы метода |
| 1 | 1 | 1 | … | O | 0 |
| 2 | 3 | 2 | … | O | 1 |
| … | … | … | … | … | … |
| n | 1 | 0 | … | O | 0 |

Исходя из значений данной таблицы можно собирать следующие статистические данные:

* Общее количество проверок (количество строк в таблице 6).
* Количество успешных проверок (количество строк в таблице 6, где в столбце «Результат работы метода» хранится значение 1).
* Количество неуспешных проверок (количество строк в таблице 6, где в столбце «Результат работы метода» хранится значение 0).
* Доля успешных проверок.

Исходя из полученных данных, можно определить эффективность работы метода.