|  |  |
| --- | --- |
| Подп. и дата |  |
| Инв. № дубл. |  |
| Взам. инв. № |  |
| Подп. и дата |  |
| Инв. № подл | RU.17701729.04.13-01 51 01-1-ЛУ |

**ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»**

Факультет компьютерных наук  
Департамент программной инженерии

|  |  |
| --- | --- |
| СОГЛАСОВАНО  Доцент департамента больших данных и информационного поиска факультета компьютерных наук, к.ф.-м.н.  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ В. Л. Чернышев «\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2020 г. | УТВЕРЖДАЮ  Академический руководитель образовательной программы «Программная инженерия» профессор департамента программной инженерии, канд. техн. наук  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ В. В. Шилов  «\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2020 г. |

**ПРОГРАММА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ТОЧЕК НА**

**ОРИЕНТИРОВАННОМ МЕТРИЧЕСКОМ ГРАФЕ, С УСЛОВИЕМ**

**СИНХРОНИЗАЦИИ В ВЕРШИНАХ**

**Программа и методика испытаний**

**ЛИСТ УТВЕРЖДЕНИЯ**

**RU.17701729.04.13-01 51 01-1-ЛУ**

Исполнитель

студент группы БПИ196

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ / А. А. Баранова /

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2020 г.

|  |  |
| --- | --- |
| Подп. и дата |  |
| Инв. № дубл. |  |
| Взам. инв. № |  |
| Подп. и дата |  |
| Инв. № подл | RU.17701729.04.13-01 51 01-1-ЛУ |

УТВЕРЖДЕНRU.17701729.04.13-01 51 01-1-ЛУ

**ПРОГРАММА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ТОЧЕК НА**

**ОРИЕНТИРОВАННОМ МЕТРИЧЕСКОМ ГРАФЕ, С УСЛОВИЕМ**

**СИНХРОНИЗАЦИИ В ВЕРШИНАХ**

**Программа и методика испытаний**

**RU.17701729.04.13-01 51 01-1**

**Листов 32**

СОДЕРЖАНИЕ

[**1.** **ОБЪЕКТ ИСПЫТАНИЙ** 3](#_Toc40869004)

[**1.1.** **Наименование программы** 3](#_Toc40869005)

[**1.2.** **Краткая характеристика и область назначения:** 3](#_Toc40869006)

[**2.** **ЦЕЛЬ ИСПЫТАНИЙ** 4](#_Toc40869007)

[**3.** **ТРЕБОВАНИЯ К ПРОГРАММЕ** 5](#_Toc40869008)

[**3.1.** **Требования к функциональным характеристикам** 5](#_Toc40869009)

[**3.1.1.** **Требования к составу выполняемых функций** 5](#_Toc40869010)

[**3.1.2. Требования к организации входных данных** 6](#_Toc40869011)

[**3.1.3. Требования к организации выходных данных** 6](#_Toc40869012)

[**3.2.** **Требования к надежности** 6](#_Toc40869013)

[**3.3.** **Требования к интерфейсу** 6](#_Toc40869014)

[4. **ТРЕБОВАНИЯ К ПРОГРАММНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ** 8](#_Toc40869015)

[**4.1.** **Состав программной документации** 8](#_Toc40869016)

[**4.2.** **Специальные требования к программной документации** 8](#_Toc40869017)

[**5.** **СРЕДСТВА И ПОРЯДОК ИСПЫТАНИЙ** 9](#_Toc40869018)

[**5.1.** **Технические средства, используемые во время испытаний** 9](#_Toc40869019)

[**5.2.** **Программные средства, используемые во время испытаний** 9](#_Toc40869020)

[**5.3.** **Порядок проведения испытаний** 9](#_Toc40869021)

[**6.** **МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ** 10](#_Toc40869022)

[**6.1.** **Испытание выполнения требований к программной документации** 10](#_Toc40869023)

[**6.2.** **Испытание выполнения требований к интерфейсу** 10](#_Toc40869024)

[**6.3.** **Испытание выполнения требований к функциональным характеристикам приложения.** 12](#_Toc40869025)

[**6.3.1.** **Требования к составу выполняемых функций** 12](#_Toc40869026)

[**6.3.2.** **Требования к организации входных данных** 21](#_Toc40869027)

[**6.3.3.** **Требования к организации выходных данных.** 21](#_Toc40869028)

[**6.3.4.** **Требования к надежности.** 22](#_Toc40869029)

[**1.** **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ** 24](#_Toc40869030)

[**ПРИЛОЖЕНИЕ 1** 25](#_Toc40869031)

[**ПРИЛОЖЕНИЕ 2** 26](#_Toc40869032)

[**ПРИЛОЖЕНИЕ 5** 27](#_Toc40869033)

1. **ОБЪЕКТ ИСПЫТАНИЙ**
   1. **Наименование программы**

Наименование программы – «Программа для моделирования движения точек на ориентированном метрическом графе, с условием синхронизации в вершинах».

«The Program for Modeling the Movement of Points on Directed Metric Graph, with the Condition of Synchronization at the Vertices».

* 1. **Краткая характеристика и область назначения:**

«Программа для моделирования движения точек на ориентированном метрическом графе, с условием синхронизации в вершинах» – это программа, позволяющая строить соответствующие графы и моделировать на таких сильно связных графах движение точек двух разных типов: стандартного (с синхронизацией в вершинах по установленным порогам) и модели песка (с синхронизацией по степени вершины) [см. Приложение 3]; получать визуализацию процесса распространения точек на графе, минимальный анализ их поведения, а также сохранять анимацию процесса в формате GIF-изображения.

Данная программа несет научно-образовательный характер и может использоваться исследователями, работающими в различных областях математики и информатики при рассмотрении разнообразных задач на графах или при изучении абелевой модели песка, области, содержащей много открытых проблем и интенсивно развивающейся. Программа также потенциально может найти применение в нейробиологии при моделировании различных процессов в нейронных сетях с использованием данной математической модели.

1. **ЦЕЛЬ ИСПЫТАНИЙ**

Целью проведения испытаний является проверка корректности работы программы, а также проверка соответствия разработанной программы функциональным требованиям и требованиям к надежности, изложенным в документе «Программа для моделирования движения точек на ориентированном метрическом графе, с условием синхронизации в вершинах» Техническое задание.

# **ТРЕБОВАНИЯ К ПРОГРАММЕ**

* 1. **Требования к функциональным характеристикам**
     1. **Требования к составу выполняемых функций**

Программа должна обеспечивать возможность выполнения следующих функций:

1) Создание и редактирование графа:

* построение графа с использованием специальных инструментов путем проставления вершин на поле для отрисовки и соединения этих вершин дугами с заданием их весов;
* удаление вершин (с последующим удалением инцидентных дуг) и дуг графа;
* перемещение любой из вершин графа с его последующей перерисовкой, а также перемещение графа целиком;
* масштабирование изображения графа;
* изменение цветов отрисовки графа;
* отменить последнее действие и вернуть последнее отмененное действие;
* изменение радиуса вершин;
* очистка поля для рисования;
* генерация случайного сильно связного графа;
* генерация треугольной и квадратной решетки.

2) Задание дополнительных параметров, необходимых для работы алгоритма:

* порогов, по которым будет происходить синхронизация при стандартном моделировании;
* периодов восстановления вершин после выпускания точек;
* начальных состояний вершин, то есть количества точек в них в начальный момент времени;
* типа моделирования (стандартный или модель песка)
* дополнительных действий (построение графика, сохранение GIF)
* выбор скорости распространения.

3) Анализ графа и введенных значений на корректность.

4) Моделирование движения точек:

* запуск движения, его остановка и сброс;
* параллельное с анимацией заполнение данных графиков;
* выбор вершины стока перед началом моделирования движения песка;
* выбор вершины для добавления песчинки после завершения движения в процессе моделирования движения песка;

**3.1.2. Требования к организации входных данных**

Входные данные программе должны либо передаваться из файла .dgmm, либо вноситься пользователем вручную, то есть программа должна предоставлять возможность построить новый ориентированный метрический граф и задать все необходимые параметры.

**3.1.3. Требования к организации выходных данных**

Программа должна выводить все полученные в ходе работы результаты в отведенные окна и по желанию пользователя сохранять их в файл.

Должна предоставляться возможность сохранения построенного графа в файл формата .dgmm, изображением .jpg или папкой, содержащей как файл с данными графа, так и его изображение. Полученное в процессе моделирования движения точек GIF-изображение таже должно сохраняться в файл соответствующего формата. Данные графиков должны сохраняться в файлы формата .csv, а также .jpg изображением или папкой с обоими файлами.

* 1. **Требования к надежности**

1. Выполнение программы не должно аварийно завершаться ни при каком наборе входных данных;
2. Программа не должна давать сбой при некорректных действиях пользователя;
3. Программа должна обеспечивать проверку корректности входных данных;
4. Программа должна обрабатывать все исключительные ситуации;
5. Программа должна выводить сообщение об ошибке в случае возникновения исключительной ситуации.
   1. **Требования к интерфейсу**

1) Приложение должно иметь интуитивно понятный оконный Windows-интерфейс, содержащий основное окно, в котором происходит основная работа с графом, настройка параметров моделирования, управление процессом моделирования, а также вспомогательные окна для генерации случайных графов и решеток и окна для отображения графиков, полученных в процессе моделирования;

2) Интерфейс должен быть реализован на международном языке (английский);

3) Интерфейс окна для выбора типа входных данных должен быть простым, позволяющим выбрать способ предоставления программе графа;

4) Создание нового графа должно происходить на специальном поле, а инструменты отрисовки, расположенные в боковом меню, должны быть удобны в использовании;

5) Приложение должно иметь верхнее меню, реализующее возможности сохранения, открытия нового проекта, открытия графа из файлов, возврата к стартовому окну, предоставления информации о разработчике и кнопка запуска движения, отображающаяся, когда пользователь находится в редакторе, а также кнопки остановки моделирования и сброса, отображающиеся, когда моделирование запущено.

1. **ТРЕБОВАНИЯ К ПРОГРАММНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ**
   1. **Состав программной документации**
2. «Программа для моделирования движения точек на ориентированном метрическом графе, с условием синхронизации в вершинах». Техническое задание (ГОСТ 19.201-78);
3. «Программа для моделирования движения точек на ориентированном метрическом графе, с условием синхронизации в вершинах». Программа и методика испытаний (ГОСТ 19.301-79);
4. «Программа для моделирования движения точек на ориентированном метрическом графе, с условием синхронизации в вершинах». Текст программы (ГОСТ 19.401-78);
5. «Программа для моделирования движения точек на ориентированном метрическом графе, с условием синхронизации в вершинах». Пояснительная записка (ГОСТ 19.40479);
6. «Программа для моделирования движения точек на ориентированном метрическом графе, с условием синхронизации в вершинах». Руководство оператора (ГОСТ 19.505-79).
   1. **Специальные требования к программной документации**

Документы к программе должны быть выполнены в соответствии с ГОСТ 19.106-78 и ГОСТами к каждому виду документа (см. п. 5.1.);

Пояснительная записка должна быть загружена в систему Антиплагиат через LMS «НИУ ВШЭ».

Документация и программа сдаются в электронном виде в формате .pdf или .docx. в архиве формата .zip или .rar;

За один день до защиты комиссии все материалы курсового проекта:

* техническая документация,
* программный проект,
* исполняемый файл,
* отзыв руководителя
* лист Антиплагиата

должны быть загружены одним или несколькими архивами в проект дисциплины «Курсовой проект 2019-2020» в личном кабинете в информационной образовательной среде LMS (Learning Management System) НИУ ВШЭ.

1. **СРЕДСТВА И ПОРЯДОК ИСПЫТАНИЙ**
   1. **Технические средства, используемые во время испытаний**

Во время испытаний был использован компьютер со следующими техническими

характеристиками:

1. Четырех-ядерный процессор (x64) Intel(R) Core(TM) i7-8565U с тактовой частотой более 1.80 ГГц;
2. 8 ГБ оперативной памяти (ОЗУ);
3. более 300 ГБ свободного места на жестком диске;
4. Видеокарта Intel UHD Graphics 620;
5. монитор с разрешением 1920х1080 точек;
6. клавиатура и мышь.
   1. **Программные средства, используемые во время испытаний**
7. 64-разрядная операционная система Windows 10;
8. установленный Microsoft .NET Framework 4.7.
   1. **Порядок проведения испытаний**
9. Проверка требований к программной документации;
10. Проверка требований к интерфейсу;
11. Проверка требований к функциональным характеристикам;
12. Проверка требований к надежности.
13. **МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ**

Для корректного функционирования приложения необходимо скачать архив с необходимыми файлами для соответствующей операционной системы. Разархивировав папку, нужно запустить приложение «DotsMovementModelingApp.exe».

* 1. **Испытание выполнения требований к программной документации**

Состав программной документации проверяется визуально, проверяется наличие всех подписей и наличие программной документации в системе LMS. Также визуально проверяется соответствие документации требованиям ГОСТ. Все документы удовлетворяют представленным требованиям.

* 1. **Испытание выполнения требований к интерфейсу**

Соответствие интерфейса приложения установленным требованиям проверяется визуально. Проверяется наличие всех требуемых элементов и их соответствие перечисленным в документе «Программа для моделирования движения точек на ориентированном метрическом графе, с условием синхронизации в вершинах» Техническое задание требованиям.

1. Начальный экран представляет собой главное меню приложения, позволяющее выбрать тип входных данных: граф можно построить заново, открыть из файла формата .dgmm, а также либо сгенерировать случайным образом, либо построить треугольную или квадратную решетку заданных размеров.

Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 1 – главное меню приложения.

2. Приложение содержит специальные вспомогательные окна для генерации графов

Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание Изображение выглядит как снимок экрана

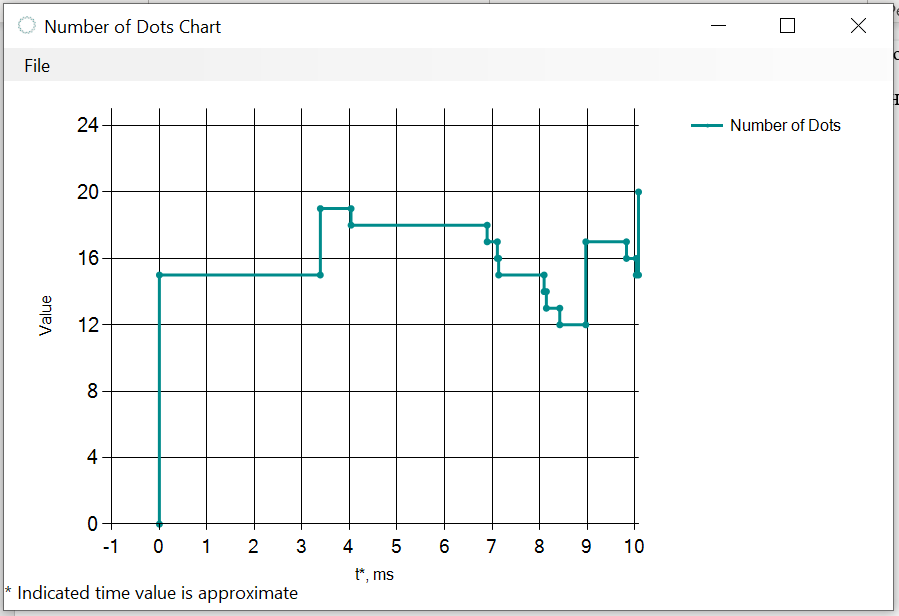
Автоматически созданное описание Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

a) Случайный граф b) Квадратная решетка c) Треугольная решетка

Рисунок 2 - Вспомогательные окна для генерации графов.

Также к дополнительным окнам приложения относятся окна, отображающие построенные в процессе моделирования графики.

 Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 3 – окна, отображающие построенные графики.

3. Основной экран приложения содержит боковую панель, предоставляющую доступ к инструментам построения и редактирования графа, позволяющим добавлять и удалять вершины и ребра графа, двигать граф, изменять его размер, радиус вершин и цвет отрисовки. Боковая панель также позволяет полностью удалять граф, отменять последние действия и возвращать последние отмененные.

Также на основном экране расположено поле для отрисовки графа, в котором происходит его построение и редактирование, а также визуализация процесса движения точек.

Правая панель представляет собой TabControl, каждая страница которого отвечает за определенные параметры, связанные непосредственно с построенным графом, либо с моделированием движения точек на нем.

Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 4 – основной экран приложения

Изображение выглядит как снимок экрана, монитор

Автоматически созданное описание Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

1. Задание параметров моделирования
2. Параметры графа
3. Матрица смежности и задание длин дуг

Рисунок 5 – Задание дополнительных параметров графа и моделирования.

3. Верхнее меню приложения реализует возможности открытия графа из файла и сохранения графа тремя различными способами, приведенными в требованиях к программе. Помимо этого, меню содержит кнопку, предоставляющую краткую справку о программе.



Рисунок 6 – верхнее меню приложения в главном меню.

На основном экране приложения верхнее меню также отображает кнопку возврата к главному меню, запуска моделирования движения точек (во время построения и редактирования графа) и кнопки приостановки и завершения моделирования (во время самого моделирования).



Рисунок 7 – верхнее меню приложения во время создания и редактирования графа.



Рисунок 8 – верхнее меню приложения во время моделирования движения точек.

Элемент верхнего меню File предоставляет доступ к открытию и сохранению графа.

Изображение выглядит как снимок экрана, компьютер, внутренний, монитор

Автоматически созданное описание

Рисунок 9 – сохранение и открытие графа.

* 1. **Испытание выполнения требований к функциональным характеристикам приложения.**
     1. **Требования к составу выполняемых функций**

Выполнения требований к составу выполняемых функций проверяются путем совершения действий, потенциально влекущих к выполнению определенной функции программы, и проверки результата совершения данного действия.

* + - 1. **Создание и редактирование графа**

1. При выбранном инструменте добавления вершин по клику на поверхность рисования в граф добавляется новая вершина.

Изображение выглядит как снимок экрана, компьютер

Автоматически созданное описание

Рисунок 10 – результат проставления вершин.

2. При выбранном инструменте добавления дуг, при последовательных кликах сначала по вершине начала, затем по вершине конца в граф добавляется соответствующая дуга, если такой еще нет в графе и была выбрана не петля.

Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 11 – Процесс добавления дуги и результат.

Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание Изображение выглядит как снимок экрана, компьютер

Автоматически созданное описание

Рисунок 12 – Отказ в добавлении петли и повторного добавления существующей дуги.

3. При выбранном инструменте «Ластик» по двойному клику по вершине или дуге она удаляется. В случае выбора вершины удаляются также инцидентные дуги.

Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 13 – Удаление вершины и дуги.

4. При выбранном инструменте «Курсор» зажатая вершина может быть перемещена.

Изображение выглядит как снимок экрана, компьютер

Автоматически созданное описание Изображение выглядит как снимок экрана, компьютер

Автоматически созданное описание

Рисунок 14 – Перемещение вершины.

5. По нажатию сочетания клавиш Ctrl+Up, Ctrl+Right, Ctrl+Down, Ctrl+Left, вращению колесика мыши, а также нажатию соответствующих кнопок боковой панели граф может быть передвинут целиком.

Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 15 – Перемещение графа.

6. По нажатию сочетания клавиш Ctrl+Plus, Ctrl+Minus, вращению колесика мыши при зажатой клавише Ctrl, а также нажатию соответствующих кнопок боковой панели размер графа можно увеличить или уменьшить.

Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание Изображение выглядит как снимок экрана, компьютер

Автоматически созданное описание

Рисунок 16 – Изменение размеров графа.

7. Цвет отрисовки графа можно изменить.

Изображение выглядит как снимок экрана, компьютер, ноутбук

Автоматически созданное описание Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 17 – Изменение цветов отрисовки.

8. В правом окне на странице TabControl “Adjacency and Arcs Length”, выбрав ребро, в текстовом поле можно ввести новое значение длины этого ребра. Подтверждение того, что длина действительно изменилась, можно увидеть, запустив моделирование на разных длинах, как следствие, время прохождение ребра будет меняться соответственно.

Изображение выглядит как внутренний, компьютер, монитор, снимок экрана

Автоматически созданное описаниеИзображение выглядит как внутренний, компьютер, монитор, снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 18 – Изменение длины дуги.

9. Последние совершенные действия из вышеперечисленных могут быть отменены. Отмененные действия можно вернуть. Ниже на рис. 19 и рис. 20 представлены возврат и отмена для изменения цвета отрисовки и длины дуги, для других команд результат аналогичный.

Изображение выглядит как внутренний, компьютер, монитор, снимок экрана

Автоматически созданное описание Изображение выглядит как внутренний, компьютер, монитор, снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 19 – Отмена действий.

Изображение выглядит как внутренний, компьютер, монитор, снимок экрана

Автоматически созданное описание Изображение выглядит как внутренний, компьютер, монитор, снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 20 – Возврат отмененных действий.

10. Граф может быть полностью удален, после чего редактор очищается от всех изменений.

Изображение выглядит как снимок экрана, внутренний, компьютер, монитор

Автоматически созданное описание Изображение выглядит как снимок экрана, компьютер, монитор, внутренний

Автоматически созданное описание

Рисунок 21 – Удаление графа.

11. Программа позволяет сгенерировать случайный сильно связный граф, а таже построить квадратную или треугольную решетку.

Изображение выглядит как компьютер, монитор, внутренний, снимок экрана

Автоматически созданное описание Изображение выглядит как компьютер, внутренний, монитор, сидит

Автоматически созданное описаниеИзображение выглядит как компьютер, снимок экрана, внутренний, монитор

Автоматически созданное описание

c) Пример построенной треугольной решетки 6х3 со случайными параметрами.

b) Пример построенной квадратной решетки 4х5 с умалчиваемыми параметрами.

a) Пример сгенерированного случайного сильно связного графа на 10 вершинах

Рисунок 22 – Примеры построенных программой графов.

* + - 1. **Задание дополнительных параметров, необходимых для работы алгоритма:**

1. Программа позволяет менять такие параметры графа, как пороги, продолжительности рефракторных периодов вершин, их начальные состояния. Изменения значений в соответствующей таблице ведет к изменению соответствующих параметров, что было заключено в результате серии запусков моделирования на различных параметрах одного графа.

Изображение выглядит как компьютер, снимок экрана, монитор, внутренний

Автоматически созданное описание Изображение выглядит как компьютер, снимок экрана, монитор, внутренний

Автоматически созданное описание

Рисунок 23 – Изменение параметров графа.

2. Программа позволяет задавать дополнительные параметры моделирования и выбирать его тип, что было заключено после серии запусков моделирования на различных выбранных опциях.

Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описаниеИзображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описаниеИзображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описаниеИзображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 24 – Изменение параметров моделирования и скорости движения.

* + - 1. **Моделирование движения точек.**

1. Программа позволяет запускать моделирование, приостанавливать его, возобновлять и завершать по желанию пользователя.

Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

a) До начала движения

Изображение выглядит как снимок экрана, компьютер

Автоматически созданное описание

b) Движение запущено.

Изображение выглядит как снимок экрана, компьютер

Автоматически созданное описание

c) Движение приостановлено.

Изображение выглядит как снимок экрана, компьютер

Автоматически созданное описаниеИзображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

d) Движение возобновлено.

e) Движение завершено нажатием кнопки Reset.

Рисунок 25 – Запуск, остановка, возобновление и завершение движения точек.

2. Если среди дополнительных необходимых при моделировании действий было выбрано построение графика, он будет строиться параллельно с моделированием.

Изображение выглядит как снимок экрана

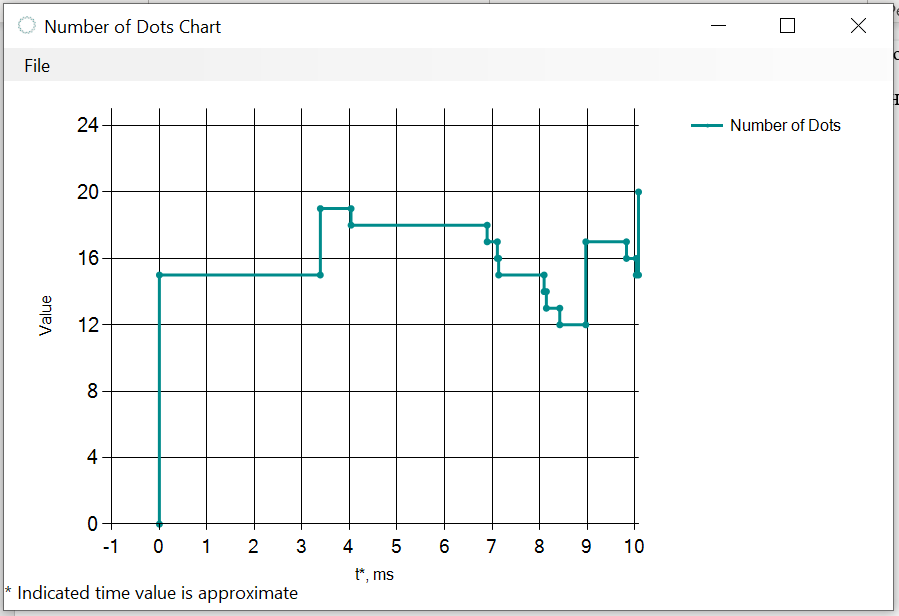
Автоматически созданное описание 

Рисунок 26 – Примеры построенных графиков.

3. Если пользователем было запрошено сохранение анимации GIF-изображением, после завершения движения, пользователю предлагается выбрать файл для сохранения полученного изображения. Изображение сохраняется.

4. Перед началом моделирования движения песка пользователю предлагается выбрать стоковые вершины. В выполнении выбора можно убедиться, запустив моделирование. Обвалы в стоковых вершинах действительно не происходят.

Изображение выглядит как снимок экрана, компьютер, грузовик, ноутбук

Автоматически созданное описаниеИзображение выглядит как снимок экрана, компьютер, внутренний, ноутбук

Автоматически созданное описание

Рисунок 27 – Выбор стоковых вершин.

5. Когда при моделировании движения песка в результате релаксации система приходит к стабильному состоянию, пользователю предлагается добавить песчинку в одну из вершин, либо же добавить ее случайным образом.

Изображение выглядит как снимок экрана, компьютер, внутренний, ноутбук

Автоматически созданное описание Изображение выглядит как снимок экрана, компьютер, внутренний, ноутбук

Автоматически созданное описание

Рисунок 28 – Добавление песчинки.

* + 1. **Требования к организации входных данных**

Данные для моделирования движения точек программе могут быть предоставлены двумя способами:

1. Пользователь может сам построить граф в редакторе, а также запросить у программы либо сгенерировать его случайно, либо построить квадратную или треугольную решетку (см. 6.3.1.1.)
2. Данные о графе могут передаваться программе из файлов формата .dgmm, содержащих информацию об орграфе в сериализованном с использованием XML сериализации виде.

Изображение выглядит как снимок экрана, компьютер, монитор, грузовик

Автоматически созданное описание Изображение выглядит как снимок экрана, компьютер

Автоматически созданное описание

Рисунок 29 – Процесс и результат открытия графа из файла .dgmm

* + 1. **Требования к организации выходных данных.**

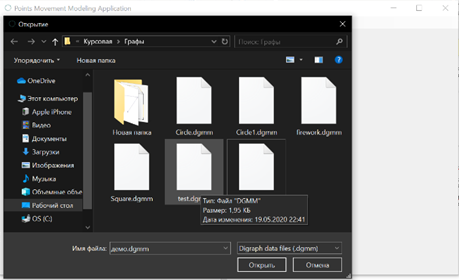
1. Программа выводит все получающийся в ходе работы результаты на основной экран приложения. В отдельные окна выводятся строящиеся в процессе моделирования движения точек графики (рис. 26).

Изображение выглядит как снимок экрана, компьютер, грузовик, ноутбук

Автоматически созданное описание

Рисунок 30 – Пример вывода анимации движения в основное окно приложения.

2. Программа предоставляет возможность сохранить построенный граф в файл формата .dgmm, изображением .jpg, или папкой, содержащей как файл с данными графа, так и изображение графа. Полученное в процессе моделирования движения точек GIF-изображение таже сохраняется в файл соответствующего формата. Данные графиков сохраняются в файлы формата .csv, а также .jpg изображением, или папкой с обоими файлами.

 Изображение выглядит как снимок экрана, монитор, черный, экран

Автоматически созданное описание

Рисунок 31 – Пример сохранения графов и графиков (соответственно).

* + 1. **Требования к надежности.**

1. При попытке передать программе неподходящий файл, пользователь получит соответствующее сообщение, например:

Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 32 – Сообщение при открытии неподходящего файла.

2. При попытке построить в качестве ребра петлю, повторно создать уже существующее ребро (рис. 12) пользователь также получит сообщение о некорректности действий. Аналогично, программа обрабатывает случаи некорректного ввода длин дуг (выводится сообщение об ошибке) и параметров графа (значение не обновляется).

Изображение выглядит как снимок экрана

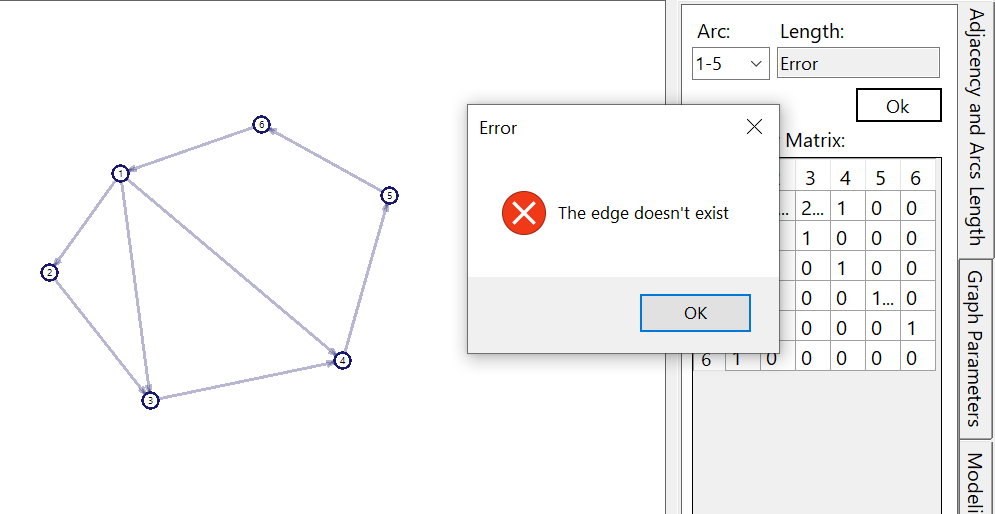
Автоматически созданное описание 

Рисунок 33 – Сообщения при некорректном вводе длин дуг.

3. Также программа не производит моделирование движения точек на не сильно связных графах, поэтому, при попытке запуска моделирования на таком графе, выводится соответствующее сообщение.

Изображение выглядит как снимок экрана

Автоматически созданное описание

Рисунок 34 – сообщение при попытке запуска моделирования на не сильно связном графе.

1. **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**
2. Abelian sandpile model: [Электронный ресурс]: Режим доступа: URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Abelian_sandpile_model>, свободный. (дата обращения: 17.05.20).
3. ГОСТ 19.101-77 Виды программ и программных документов. //Единая система программной документации. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 126 с
4. ГОСТ 19.102-77 Стадии разработки. //Единая система программной документации. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 126 с.
5. ГОСТ 19.103-77 Обозначения программ и программных документов. //Единая система программной документации. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 126 с.
6. ГОСТ 19.104-78 Основные надписи. //Единая система программной документации. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 126 с.
7. ГОСТ 19.105-78 Общие требования к программным документам. //Единая система программной документации. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 126 с.
8. ГОСТ 19.106-78 Требования к программным документам, выполненным печатным способом. //Единая система программной документации. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 126 с.
9. ГОСТ 19.201-78 Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению. //Единая система программной документации. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 126 с.
10. ГОСТ 19.603-78 Общие правила внесения изменений. //Единая система программной документации. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 126 с.
11. ГОСТ 19.604-78 Правила внесения изменений в программные документы, выполненные печатным способом. //Единая система программной документации. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 126 с.
12. Евстигнеев В. А. Толковый словарь по теории графов в информатике и программировании / Евстигнеев В.А., Касьянов В.Н. – Россия, Наука, Сибирское предприятие РАН, 1999.
13. Калинин, Н. С. Модель пересыпания песка и дивизоры на графах [Электронный ресурс]: курс лекций — Электрон. дан. — Дубна: Летняя школа «Современная математика», 2017. — Режим доступа: URL: <https://www.mccme.ru/dubna/2017/courses/kalinin.html>, свободный. (дата обращения: 14.05.20).

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1**

**ТЕРМИНОЛОГИЯ**

Ниже приведен список необходимых терминов для ознакомления.

**Вершина** – базовое понятие. Точка, где могут сходиться/выходить рёбра и/или дуги.

**Ребро** – базовое понятие. Ребро соединяет две вершины графа.

**Дуга** – ребро, имеющее направление. Упорядоченная пара вершин (v, w), где вершину v называют началом, а w - концом дуги. Можно сказать, что дуга v → w ведет от вершины v к вершине w, при этом вершина w смежная с вершиной v.

**Граф** – базовое понятие. Включает множество вершин и множество рёбер, являющееся подмножеством декартова квадрата множества вершин (то есть каждое ребро соединяет ровно две вершины).

**Орграф** – ориентированный граф G = (V, E) есть пара множеств, где V - множество вершин (узлов), E – множество дуг.

**Сильно связный граф** – ориентированный граф, в котором все вершины сильно связаны, т. е. существует путь из первой во вторую и из второй в первую и т. д.

**Метрический граф** – граф, каждое ребро которого имеет заданное вещественное время прохождения.

**Инцидентность** — отношение между ребром (дугой) и его концевыми вершинами, т.е. ребро e = (a,b) инцидентно вершинам a и b и вершины a, b инцидентны ребру e = (a,b).

**ПРИЛОЖЕНИЕ 2**

**ТЕРМИНОЛОГИЯ ПЕСОЧНЫХ МОДЕЛЕЙ**

**Модель песчаной кучи** (англ. sandpile model) — классическая модель теории самоорганизованной критичности, связанная со многими областями математики. Ниже приведен список необходимых терминов для ознакомления [подробнее см. Список литературы 1, 12].

Состояние модели на графе задаётся количествами песчинок в вершинах графа и эволюционирует по следующему правилу: если количество песчинок в вершине не меньше её степени, то вершина отдаёт по одной песчинке каждому из своих соседей. Такая операция называется **обвалом** (toppling).

Процесс выполнения обвалов пока это возможно называется **релаксацией**, а ее размер называется **размером лавины** и равен количеству вершин, в которых произошли при релаксации обвалы.

**Сток** – множество вершин, в которых запрещены обвалы, песок, попадающий в одну из стоковых вершин, попросту исчезает.

Состояние системы называется **стабильным** если ни в одной точке обвал произойти не может.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 5**

**ОПИСАНИЕ ФОРМАТА .DGMM**

Файл формата .dgmm содержит в сереализованном с использованием XML сериализации виде информацию об орграфе, созданном в программе.

Программа позволяет открыть файл формата .dgmm, и при этом осуществляет корректное открытие только файлов данного формата, созданных в этой программе.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Лист регистрации изменений | | | | | | | | | |
| Изм. | Номера листов | | | | Всего листов (страниц) в документе | № документа | Входя- щий № сопро- водит. докум. и дата | Под- пись | Дата |
| изменен- ных | заменен- ных | новых | аннулиро- ванных |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |