

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра дискретной математики и информационных технологий

**РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ ИГРЫ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ
ДИСКРЕТНЫХ ЗОН ВЛИЯНИЯ С УЧЁТОМ ОРИЕНТАЦИИ
ОБЪЕКТОВ**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 421 группы
направления 09.03.01 — Информатика и вычислительная техника
факультета КНиИТ
Скворцова Владислава Максимовича

Научный руководитель
старший преподаватель

Н. Е. Тимофеева

Заведующий кафедрой
доцент, к. ф.-м. н.

Л. Б. Тяпаев

Саратов 2026

ВВЕДЕНИЕ

Задача квадратичного размещения (Quadratic Assignment Problem, QAP) является одной из фундаментальных NP-трудных проблем комбинаторной оптимизации, находящей применение в проектировании интегральных схем, планировке производств и логистике. Традиционные модели QAP часто опираются на симметричные метрики расстояний, что не всегда адекватно отражает реальные процессы, где взаимодействия носят направленный характер (например, влияние ветра или односторонние потоки).

Кроме того, обучение сложным алгоритмам оптимизации традиционно базируется на теоретических лекциях и решении абстрактных задач, что затрудняет формирование интуитивного понимания принципов работы эвристических методов у студентов технических специальностей. Внедрение игровых механик (геймификации) в образовательный процесс делает сложные концепции доступными для восприятия.

Целью работы является разработка прототипа обучающей игры, демонстрирующей возможности применения системы дискретных зон влияния для решения задачи квадратичного размещения с учётом ориентации объектов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить теоретические основы системы дискретных зон влияния, направленных матриц влияния и задачи Quadratic Assignment Problem.
2. Проанализировать существующие алгоритмы решения QAP и возможности их адаптации для работы с зонами влияния.
3. Спроектировать архитектуру компьютерной игры с применением жадного алгоритма и алгоритма локального поиска.
4. Реализовать прототип обучающей игры в среде Unity на языке C#.
5. Провести тестирование разработанного программного средства и оценить эффективность выбранных алгоритмов.

Объект исследования: методы комбинаторной оптимизации и алгоритмы решения задачи квадратичного размещения.

Предмет исследования: программная реализация обучающей игры с использованием системы дискретных зон влияния и направленных матриц влияния.

Структура работы. Бакалаврская работа состоит из введения, двух глав,

заклучения, списка использованных источников и пяти приложений на электронном носителе. Названия глав: «Теоретические основы решения задачи квадратичного размещения» и «Реализация обучающей компьютерной игры».

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первом разделе «Теоретические основы решения задачи квадратичного размещения» проведен анализ комбинаторных задач оптимизации и их приложений. Рассмотрена классическая постановка QAP, её свойства и вычислительная сложность. Проанализированы методы решения QAP: точные (полный перебор, ветви и границы) и эвристические (жадные алгоритмы, локальный поиск, метаэвристики). Обоснован выбор гибридного подхода, сочетающего быстрое действие жадных стратегий и качество локального поиска.

Особое внимание уделено системе дискретных зон влияния. Переход от попарного вычисления расстояний к оценке суммарного вклада объектов через аддитивное суммирование позволяет существенно ускорить вычисление итогового счёта при локальных изменениях конфигурации.

Разработана программная модель направленных матриц влияния. В отличие от классической QAP, где решение определяется только перестановкой объектов ($n!$ вариантов), в предложенной модели каждый объект имеет одну из четырёх дискретных ориентаций ($0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$), что расширяет пространство решений до $n! \cdot 4^n$. Ядро объекта i задаётся матрицей K_i , которая при выборе ориентации θ поворачивается на соответствующий угол, формируя матрицу $K_i^{(\theta)}$.

$$V(x, y) = \sum_{i=1}^n K_i^{(\theta_i)}(x - p_i^x, y - p_i^y).$$

Такая модель позволяет учитывать направленность взаимодействий, что важно для задач с асимметричными ограничениями среды.

Во втором разделе «Реализация обучающей компьютерной игры» описана архитектура программного средства, разработанного в среде Unity на языке C#. Игровое поле представляет собой изометрическую сетку 8×8 с различными типами ландшафта (поле, лес, река, скалы и др.). Игрок последовательно размещает здания (лесорубы, шахты, мельницы, склады, поселения), получая очки за покрытие ландшафта и логистические связи.

Ключевой особенностью реализации является система алгоритмической поддержки, учитывающая направленные матрицы влияния:

- Жадный алгоритм используется для подсказок на текущий ход. Он перебирает все доступные позиции и ориентации для текущего здания, выбирая вариант с максимальным локальным приростом очков. Время отклика алгоритма менее 500 мс, что обеспечивает оперативную поддержку игрока.
- Алгоритм локального поиска применяется для глобальной оптимизации готовой конфигурации. Алгоритм использует стратегию холмового восхождения, генерируя соседние состояния путем перемещения зданий или изменения их ориентации. Для предотвращения зависания интерфейса выполнение ограничено 50 итерациями или 30 секундами.

Приведены результаты тестирования эффективности разработанных инструментов. Тестирование проводилось на 9 уровнях с участием 10 игроков, которые предварительно прошли обучающий модуль в игре. Обучение позволило игрокам быстрее освоить механику игры и эффективнее использовать алгоритмические инструменты.

Результаты показали, что использование подсказок на основе жадного алгоритма повышает результат игрока в среднем на 13,5%, а применение алгоритма локального поиска улучшает итоговый счёт на 22,2% относительно базового сценария ручного размещения. При этом подсказки реализуют 93% потенциала улучшения, доступного через полную оптимизацию, что подтверждает высокую эффективность жадного алгоритма как обучающего инструмента. Наибольший эффект наблюдается на сложных уровнях со случайной генерацией, где улучшение достигает 30–50%.

Результаты тестирования представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Результаты тестирования 10 игроков по 9 уровням в очках

Игроки:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Среднее
Уровень 1	38	40	42	43	44	45	46	47	48	50	44.3
Уровень 2	28	30	32	33	34	35	36	37	38	38	33.8
Уровень 3	32	35	38	40	42	44	46	47	48	49	41.2
Уровень 4	40	42	43	44	45	46	47	48	49	50	45.4
Уровень 5	60	63	65	68	70	71	73	74	75	76	69.8
Уровень 6	55	58	60	62	64	66	68	69	70	70	63.5
Уровень 7	25	30	35	40	45	50	55	60	65	68	48.7
Уровень 8	45	48	50	52	55	58	60	62	65	68	57.2
Уровень 9	35	40	45	48	50	55	60	65	75	82	56.1

Таблица 2 – Сравнение эффективности подсказок (Н) и оптимизации (О)

Уровень	Игрок (средн.)	С подсказкой (Н)	После оптимизации (О)	Улучшение Н, %	Улучшение О, %	Н от О, %
1	44.3	48	50	+8.4	+12.9	96.0
2	33.8	36	38	+6.5	+12.4	94.7
3	41.2	46	49	+11.7	+19.2	98.0
4	45.4	49	50	+9.1	+13.6	98.0
5	69.8	73	76	+4.3	+8.9	97.4
6	63.5	65	71	+2.4	+11.8	91.5
7	48.7	60	65	+24.4	+37.6	93.8
8	57.2	66	75	+15.4	+31.1	88.0
9	56.1	78	87	+44.0	+51.1	96.1
Среднее	51.0	57.9	62.3	+13.5	+22.2	93.0

В приложениях приведен исходный код проекта: код для хранения данных о строениях и ландшафте (Приложение А), код жадного алгоритма и локального поиска (Приложение Б), код пользовательского интерфейса (Приложение В), код управление уровнями и навигации по сценам (Приложение Г), а также код встроенного модуля обучения (Приложение Д).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе работы было проведено исследование задачи квадратичного размещения и современных подходов к её решению. Были изучены теоретические основы системы дискретных зон влияния, направленных матриц влияния и алгоритмов комбинаторной оптимизации, а также проведён анализ их применения в образовательных целях.

Особое внимание в ходе проекта было уделено программной реализации модели размещения, разработке алгоритмов оптимизации и созданию интуитивного игрового интерфейса. Внедрение жадного алгоритма для оперативных подсказок и алгоритма локального поиска для финальной оптимизации позволяет продемонстрировать слаженную работу эвристических методов. Эти элементы способствуют повышению образовательной ценности проекта и вовлечённости пользователя, что особенно важно для современных обучающих систем.

В ходе разработки были освоены ключевые навыки:

- Настройка игровых сцен, объектов и их взаимодействия в среде Unity.
- Разработка скриптов на языке C# для реализации жадного алгоритма и алгоритма локального поиска.
- Программная реализация системы дискретных зон влияния с направленными матрицами.
- Работа с пиксельной графикой в Aseprite.
- Тестирование и оценка эффективности алгоритмов оптимизации.

В рамках работы были реализованы следующие задачи:

1. Изучены теоретические основы системы дискретных зон влияния, направленных матриц влияния и задачи Quadratic Assignment Problem.
2. Проанализированы существующие алгоритмы решения QAP и возможности их адаптации для работы с зонами влияния.
3. Спроектирована архитектура компьютерной игры с применением жадного алгоритма и алгоритма локального поиска.
4. Реализован прототип обучающей игры в среде Unity на языке C#.
5. Проведено тестирование разработанного программного средства и оценена эффективность выбранных алгоритмов.

Результаты тестирования показали, что использование подсказок на основе жадного алгоритма повышает результат пользователя в среднем на 13,5%, а применение алгоритма локального поиска улучшает результат в среднем на 22,2% относительно базового сценария. При этом подсказки реализуют 93,0% потенциала улучшения, доступного через оптимизацию, что подтверждает эффективность выбранного подхода.

Цель была достигнута и задачи выполнены.

Основные источники информации:

- 1 Кормен, Т. Х. Алгоритмы: построение и анализ / Т. Х. Кормен, Ч. Э. Лейзерсон, Р. Л. Ривест, К. Штайн. – 3-е изд. – М.: Вильямс, 2013. – 1328 с. [Электронный ресурс] URL: <https://matematika76.ru/fm/Кормен.pdf> (дата обращения: 14.03.2026)
- 2 Костенко, В. А. Алгоритмы комбинаторной оптимизации, сочетающие жадные стратегии и ограниченный перебор / В. А. Костенко // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2017. – № 2. – С. 48–56. [Электрон-

- ный ресурс] URL: https://asvk.cs.msu.ru/wp-content/uploads/2023/04/TiSU_2017_2_ZhA_perebor_rus.pdf (дата обращения: 19.03.2026)
- 3 Корте, Б. Комбинаторная оптимизация. Теория и алгоритмы / Б. Корте, Й. Фиген. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 520 с. [Электронный ресурс] URL: <https://djvu.online/file/In1HvKVJ4LdqP> (дата обращения: 26.03.2026)
- 4 Koopmans, T. C. Assignment Problems and the Location of Economic Activities / T. C. Koopmans, M. Beckmann // *Econometrica*. – 1957. – Vol. 25, No. 1. – P. 53–76.
- 5 Burkard, R. E. Assignment Problems / R. E. Burkard, M. Dell’Amico, S. Martello. – Philadelphia: SIAM, 2009. – 520 p. [Электронный ресурс] URL: <https://reallib.org/reader?file=583395&pg=2> (дата обращения: 05.04.2026)
- 6 Филимонов, А. Б. Конструктивные аспекты метода потенциальных полей в мобильной робототехнике / А. Б. Филимонов, Н. Б. Филимонов // *Автометрия*. – 2021. – Т. 57, № 4. – С. 45–54. [Электронный ресурс] URL: https://www.iae.nsk.su/images/stories/5_Autometria/5_Archives/2021/4/06_Filimonov.pdf (дата обращения: 10.04.2026)
- 7 Гибсон Бонд, Дж. Unity в действии. Многоплатформенная разработка игр на C# / Дж. Гибсон Бонд. – 5-е изд. – М.: ДМК Пресс, 2021. – 592 с.