Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 004.42:004.75

КОРШИКОВА
Дарья Валерьевна

АЛГОРИТМ МАСШТАБИРОВАНИЯ ГРАФИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ИГРОВОМ ПРИЛОЖЕНИИ

АВТОРЕФЕРАТ
на соискание академической степени магистра
по специальности 7-06-0612-03 – Системы управления информацией

_____
(подпись магистранта)

Научный руководитель
Жиляк Надежда Александровна
к.т.н., доц.

_____
(подпись руководителя)

Минск, 2026

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире игровые приложения превратились в неотъемлемую часть нашей повседневной жизни, предлагая не только развлечение, но и сложные визуальные впечатления, которые требуют технического совершенства. С развитием технологий и появлением разнообразных дисплеев задача качественного отображения графики стала одной из ключевых в игровой разработке.

Одной из ключевых составляющих визуализации любой игры является алгоритм масштабирования графических элементов. Этот алгоритм определяет, как графика адаптируется к разным разрешениям экранов, сохраняя при этом четкость, производительность и стилистическую целостность игрового мира. От его эффективности зависит читаемость интерфейса, качество пиксель-арта, плавность анимации и общее впечатление от игры. Алгоритм должен быть быстрым и точным, чтобы обеспечивать мгновенный отклик и адаптироваться к динамическим изменениям масштаба в реальном времени.

Разработка оптимизированных алгоритмов масштабирования может привести к значительному научно-практическому вкладу. Она не только повышает визуальное качество игр, но и продвигает вперед области компьютерной графики, обработки изображений и кроссплатформенной разработки. Инновации в этой сфере способны открыть новые горизонты в создании адаптивных интерфейсов, поддерживающих весь спектр современных устройств отображения.

Однако перед разработчиками стоит серьёзная проблема. Современные игры используют сотни графических ресурсов различных размеров, которые должны масштабироваться в реальном времени при изменении разрешения окна, масштаба интерфейса или при работе на дисплеях с разной плотностью пикселей. При этом требования к производительности остаются жёсткими – обработка должна укладываться в рамки одного кадра, чтобы не вызывать задержек и «фризов».

В этой связи вопрос оптимизации алгоритмов масштабирования становится чрезвычайно актуальным. Необходимо разработать методы, которые смогут эффективно работать в условиях ограниченного времени обработки, больших объемов графических данных и необходимости поддержки различных типов дисплеев. Оптимизированные алгоритмы позволят снизить нагрузку на систему, увеличить производительность и

предоставить игрокам безупречное визуальное восприятие на любом устройстве.

Алгоритмы интерполяции изображений являются активной областью исследований в компьютерной графике. Учёные и инженеры изучают различные подходы: от интерполяционных до бикубических и ланцошевых методов, от аппаратно-ускоренных решений до специализированных алгоритмов для пиксель-арта. Они ищут способы улучшения качества и скорости масштабирования, адаптируя их к современным требованиям игровой индустрии и разнообразию дисплейных технологий.

Таким образом, оптимизация алгоритмов масштабирования изображений является критически важной задачей, стоящей на пересечении интересов игровой индустрии, разработчиков графических движков и научного сообщества. Решения, найденные в этой области, имеют потенциал значительно продвинуть вперёд технологии визуализации и отображения, положительно влияя на качество цифрового контента в различных сферах – от видеоигр до профессиональных графических приложений.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Диссертационная работа посвящена решению актуальной задачи оптимизации алгоритма масштабирования графических элементов для игровых приложений в условиях реального времени. Особое внимание уделено обработке пиксель-арт графики, где критичны сохранение пиксельной чёткости, быстродействие при динамическом изменении масштаба и эффективное использование системных ресурсов в контексте игрового цикла.

Объект исследования – алгоритмы масштабирования графических элементов в игровых приложениях.

Предмет исследования – метод оптимизации алгоритма масштабирования «ближайший сосед» для достижения максимальной производительности в режиме реального времени при сохранении алгоритмической корректности.

Цель исследования – разработать оптимизированный алгоритм масштабирования графических элементов методом ближайшего соседа для игрового приложения, обеспечивающий максимальное быстродействие при сохранении визуальной целостности и пиксельной чёткости обрабатываемых изображений.

Для достижения цели решены следующие задачи:

– выполнен анализ классических и специализированных алгоритмов масштабирования графических элементов, применяемых в игровых приложениях;

– исследованы преимущества, недостатки и область применения каждого рассмотренного алгоритма, с акцентом на обработку пиксель-арт графики;

– разработан комплекс модификаций базового алгоритма ближайшего соседа, включающий оптимизацию вычислений, доступа к памяти и управления ресурсами;

– реализован и протестирован разработанный алгоритм в условиях, имитирующих реальное игровое приложение, для оценки достигнутого прироста производительности.

Методологическая основа работы включает общенаучные методы анализа, синтеза, сравнения и обобщения, а также прикладные методы вычислительной математики, анализа алгоритмической сложности и оптимизации производительности. На уровне реализации используются методы структурного и объектно-ориентированного программирования, методы управления памятью и кэширования данных. Свойства алгоритма

исследуются в форме вычислительных экспериментов с использованием специализированного тестового приложения, с применением метрик производительности, потребления ресурсов и визуальной корректности. Реализация алгоритма и тестового окружения выполнена на C++/CLI с использованием .NET Framework и Windows Forms.

Эмпирическая база исследования – специально разработанное тестовое игровое приложение, имитирующее условия реального игрового цикла с динамическим изменением масштаба графических элементов. Приложение позволяет проводить воспроизводимые измерения производительности и сравнивать различные модификации алгоритма в идентичных условиях. Использование контролируемой тестовой среды обеспечивает объективность оценки оптимизаций и возможность прямого сравнения с библиотечными аналогами.

Научная новизна работы состоит в разработке математической модели и архитектурного решения, которые преобразуют алгоритмически корректный, но вычислительно неэффективный метод ближайшего соседа в высокопроизводительный конвейер обработки, пригодный для интеграции в игровой цикл реального времени с гарантией битовой идентичности результатов. Предложен комплекс архитектурных оптимизаций, включающий предвычисление координат через LUT, адаптивное кэширование строк изображения с LRU-вытеснением, целочисленную арифметику фиксированной точки и систему управления памятью через пул буферов для полного устранения динамических аллокаций в реальном времени.

Практическая значимость работы заключается в том, что предложенный оптимизированный алгоритм позволяет:

– повысить производительность масштабирования графики в 10.2 раза по сравнению с базовой реализацией и в 6.7 раза по сравнению с библиотечным методом GDI+;

– обеспечить обработку до 36 спрайтов за один кадр при сохранении частоты 60 FPS, что на порядок превышает возможности стандартных реализаций;

– устранить микрофризы и стабилизировать потребление памяти за счёт полного исключения динамических аллокаций в «горячем» пути выполнения;

– обеспечить готовность решения к интеграции в коммерческие игровые проекты, особенно для разработчиков 2D-игр, пиксель-арт проектов и платформ с ограниченными вычислительными ресурсами.

Личный вклад автора состоит в разработке методологии оптимизации алгоритма ближайшего соседа, проектировании архитектуры

оптимизированного конвейера обработки, реализации всех компонентов алгоритма и тестового окружения, проведении комплексного тестирования и сравнительного анализа результатов. Все ключевые этапы исследования, от анализа существующих методов до реализации и тестирования оптимизированного алгоритма, выполнены автором самостоятельно при консультационной поддержке научного руководителя.

Апробация результатов работы. Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на международной научной конференции (Минск: БГУИР, 2023), 60-й и 61-й студенческих научно-технических конференциях аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (2024, 2025), что подтверждает их научную и практическую значимость.

Структурно диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, трёх глав основной части, заключения, библиографического списка и приложения. В первой главе выполнен теоретический анализ алгоритмов масштабирования. Во второй главе разработан алгоритм масштабирования и комплекс его оптимизаций. В третьей главе представлена практическая реализация, тестирование и сравнительный анализ производительности оптимизированного алгоритма.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Диссертационная работа состоит из введения, трёх глав, заключения, библиографического списка и приложения. Общий объём диссертации составляет 60 страницу, содержит 3 таблицы и 3 рисунка. Библиографический список включает 24 наименования.

В введении обоснована актуальность темы, определён объект, предмет, цель и задачи исследования, охарактеризованы научная новизна и практическая значимость результатов. Сформулирована проблема, связанная с необходимостью разработки высокопроизводительного алгоритма масштабирования графических элементов для игровых приложений, обеспечивающего максимальное быстродействие при сохранении визуальной целостности и пиксельной чёткости.

В первой главе «Теоретическая часть использования алгоритмов масштабирования графических элементов в игровом приложении» проведён анализ и классификация алгоритмов масштабирования. Детально рассмотрены алгоритм ближайшего соседа, билинейная и бикубическая интерполяция, алгоритм Ланцоша, а также гибридные подходы. Особое внимание уделено специфике работы с пиксель-арт графикой. По итогам главы сделан вывод о целесообразности выбора алгоритма ближайшего соседа в качестве основы для разработки оптимизированного решения для 2D-игр.

Во второй главе «Разработка алгоритма масштабирования графических элементов» спроектирован оптимизированный алгоритм. Сформулированы критерии оптимальности для алгоритмов масштабирования в игровом контексте (быстродействие, сохранение визуальной целостности, адаптивность, ресурсная эффективность). Представлена математическая модель и базовая реализация алгоритма ближайшего соседа, выявлена его ключевая проблема – вычислительная неэффективность при прямом использовании в реальном времени. Предложен и обоснован комплекс модификаций, включающий предвычисление координат, кэширование строк, целочисленную арифметику и систему пулов буферов.

В третьей главе «Разработка алгоритма оптимизации и тестирование» описана практическая реализация исследования. Разработана архитектура тестового окружения – специализированного игрового приложения на базе Windows Forms. Реализован класс ImageScaler с методами, соответствующими каждой из предложенных оптимизаций (таблица предвычисления координат, кэширование, целочисленная арифметика, пул буферов) и их комбинации. Проведено сравнительное тестирование производительности базового алгоритма, каждой оптимизации в отдельности, комбинированного метода и

библиотечного аналога (GDI+). Результаты подтвердили синергетический эффект: комбинированный алгоритм показал ускорение в 10.2 раза относительно базовой реализации и в 6.7 раза относительно GDI+, обеспечивая обработку до 36 спрайтов за кадр при сохранении частоты 60 FPS.

В заключении подведены итоги исследования, обобщены основные научные и прикладные результаты. Показано, что разработанный оптимизированный алгоритм масштабирования методом ближайшего соседа удовлетворяет поставленной цели и критериям оптимальности, готов к интеграции в коммерческие игровые проекты, особенно актуален для разработчиков 2D-игр, пиксель-арт проектов и платформ с ограниченными ресурсами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения магистерской диссертации была решена актуальная задача оптимизации алгоритма масштабирования графических элементов для использования в условиях игрового приложения реального времени. В качестве базового метода выбран алгоритм ближайшего соседа, который обеспечивает абсолютное сохранение чёткости границ и цветовой целостности, что критически важно для пиксель-арт графики и интерфейсных элементов.

Теоретический анализ показал, что классические алгоритмы масштабирования (билинейная, бикубическая интерполяция, Ланцош) не удовлетворяют требованиям производительности при работе в режиме реального времени, а специализированные методы для пиксель-арта обладают либо недостаточной гибкостью, либо чрезмерной вычислительной сложностью.

В качестве решения предложен комплекс модификаций алгоритма ближайшего соседа, включающий:

– предвычисление координат – замена операций деления с плавающей точкой на чтение из памяти;

– адаптивное кэширование строк – снижение промахов кэша процессора и увеличение локальности доступа к данным;

– целочисленную арифметику – полное исключение операций с плавающей точкой из критического пути выполнения;

– систему пулов буферов – устранение динамических аллокаций памяти и стабилизация потребления ресурсов.

Разработанные оптимизации были реализованы в виде единого конвейера обработки и интегрированы в тестовое игровое приложение на платформе Windows Forms. Проведённое тестирование подтвердило синергетический эффект комбинированного подхода: итоговый алгоритм показал ускорение в 10.2 раза по сравнению с базовой реализацией и в 6.7 раза – по сравнению с библиотечным методом GDI+ Graphics.DrawImage. При этом было гарантировано полное сохранение алгоритмической логики и визуальной идентичности результата.

Научная новизна работы заключается в разработке комплекса модификаций алгоритма ближайшего соседа, обеспечивающих нелинейное повышение производительности за счёт синергетического взаимодействия оптимизационных техник.

Практическая значимость подтверждена интеграцией алгоритма в игровой цикл с сохранением стабильной частоты кадров (60 FPS) и минимальным потреблением памяти. Разработанное решение готово к использованию в коммерческих игровых проектах, требующих высокопроизводительного масштабирования графики в реальном времени.

Таким образом, цель исследования достигнута: разработан и реализован оптимизированный алгоритм масштабирования графических элементов, удовлетворяющий критериям производительности, качества и ресурсной эффективности для современных игровых приложений.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

1. Д. В. Коршикова, Д. П. Кукин, Е. В. Купчина // Информационные технологии и системы 2023 (ИТС 2023) = Information Technologies and Systems 2023 (ITS 2023) : материалы Международной научной конференции, Минск, 22 ноября 2023 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники – Минск : БГУИР, 2023. – С. 147–148.

2. Д. В. Коршикова, Д. П. Кукин, Е. В. Купчина // Информационные технологии и системы 2023 (ИТС 2023) = Information Technologies and Systems 2023 (ITS 2023) : материалы Международной научной конференции, Минск, 22 ноября 2023 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники – Минск : БГУИР, 2023. – С. 149–150.

3. Е. А. Булынко, Д. В. Коршикова, Е. В. Купчина // Информационные технологии и управление : материалы 60-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 22–26 апреля 2024 года / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники – Минск, 2024. – С. 62.

4. В. И. Вербицкая, Д. В. Коршикова, Е. В. Купчина // Информационные технологии и управление : материалы 60-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 22–26 апреля 2024 года / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники – Минск, 2024. – С. 69.

5. Д. В. Коршикова, Е. В. Купчина // Информационные технологии и управление : материалы 61-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 21–25 апреля 2025 года / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники – Минск, 2025. – С. 15–16.

6. Е. В. Купчина, Д. В. Коршикова // Информационные технологии и управление : материалы 61-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 21–25 апреля 2025 года / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники – Минск, 2025. – С. 17–18.