

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра информатики и программирования

**Сравнение интерполяционных методов масштабирования растровых
изображений**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 441 группы
направления 02.03.03 Математическое обеспечение и администрирование
информационных систем
факультета компьютерных наук и информационных технологий
Воронина Никиты Вячеславовича

Научный руководитель

доцент кафедры ИиП, к. ф.-м. н.

К. П. Савина

Зав. кафедрой

к.ф.-м.н., доцент

М. В.Огнева

Саратов 2020

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день существуют различные методы масштабирования изображений, для которых характерно различное соотношение быстродействия и качества. В компьютере изображение представлено конечным числом дискретных точек. Масштабирование цифровых изображений связано с приведением массива информации в соответствие с разрешением и размером иллюстрации. В зависимости от цели этот массив информации необходимо либо увеличить, либо сократить. Простое размножение или сокращение является не сложной задачей для компьютерных систем, мелкие детали могут получить искажение геометрии и на текстурах возможно появление ложных узоров. Чтобы эти потери при трансформации были минимальны, необходимо использовать интерполяционные алгоритмы. Но такие методы требуют больше машинного времени, чем простое размножение или сокращение. Для того чтобы сделать изображение больше при том же разрешении, в него нужно добавить новые пиксели. Задача состоит в том, чтобы рассчитать цвет новых пикселей, которые необходимо добавить между существующими. Наиболее популярными методами увеличения масштаба изображения являются методы, основанные на интерполяции цветов пикселей: линейной и билинейной интерполяции, интерполяции с использованием кубического В-сплайна и бикубической интерполяции.

Цель бакалаврской работы является сравнение различных алгоритмов для эффективного масштабирования растровых изображений.

Поставленная цель определила **следующие задачи**:

1. изучить алгоритмы интерполяции функций по точным данным, определенным на дискретном множестве точек;
2. реализовать программу масштабирования растровых изображений с использованием алгоритмов интерполяции;
3. проанализировать результаты работы различных алгоритмов по качеству получаемых изображений и быстродействию.

Методологические основы разработки приложений и сравнение интерполяционных алгоритмов в масштабировании изображений представлены в работе Половко А. М., Бутусов П. Н. [1].

В теоретической части изложена информация об основных понятиях и определениях относящихся к интерполяции, растровой графики, масштабировании изображений, описаны плохие эффекты, которые получаются при масштабирование изображения. Рассмотрены интерполяционные методы масштабирования растровых изображений, а именно: метод ближайшего соседа, линейная и билинейная интерполяция, бикубическая интерполяция, кубический В-сплайн. Были описаны достоинства и недостатки каждого алгоритма. Также, рассмотрена библиотека OpenCV, а именно функция (cv2.INTER_).

В практической части описан процесс работы приложения, рассмотрен каждый алгоритм на отдельной выбранной фотографии из тестовой коллекции изображений, произведено тестирование алгоритмов на время выполнения с изменениями различных коэффициентов масштабирования результаты которых приведены в таблице, а также в виде графика, после тестирования написаны выводы по каждому алгоритму и субъективная оценка по качеству изображений с использованием информации о плохих эффектах в теоритической части.

Структура и объем работы. Бакалаврская работа состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка использованных источников и одного приложения. Общий объем работы – 50 страниц, из них 42 страницы – основное содержание, включая 2 таблицы и 18 рисунков, список использованных источников информации – 20 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первый раздел «Основные понятия и определения» посвящен рассмотрению определений интерполяции и общим процессе интерполяции, описаны классификации методов интерполяции, масштабирование изображения, ресамплинг, сплайн-функции.

Интерполяция – это метод нахождения неизвестных промежуточных значений некоторой функции по имеющемуся дискретному набору ее известных значений [3].

В общем процесс интерполяции состоит в том, что по нескольким известным значениям некоторой функции $f(x)$ находят выраженную простой формулой функцию $\varphi(x)$, которая принимает в соответствующих точках те же значения, что и первоначальная функция $f(x)$. Эта функция $\varphi(x)$ служит приближенным выражением функции $f(x)$. Функция $\varphi(x)$ называется *интерполирующей функцией*. Точки $x_1, x_2 \dots x_n$ называются *узлами интерполяции*, их совокупность – *интерполяционной сеткой*, а расстояние между ее соседними узлами – *шагом интерполяции*, который может быть как равномерным, так и неравномерным. Задача заключается в поиске интерполирующей функции $\varphi(x)$. Иными словами, интерполяция позволяет узнать, какие значения принимает функция в точках, не являющихся ее узлами [1,2].

В настоящее время существует множество различных методов интерполяции. Выбор наиболее подходящего из них определяется требованием к точности, вычислительной сложности, гладкости интерполирующей функции, количеству точек данных и т.д. Чаще всего интерполирующую функцию ищут в виде многочлена, т.е.

$$\varphi(x) = a_0x^n + a_1x^{n-1} + \dots + a_n$$

Интерполяция при помощи многочлена называется *параболической*.

Наиболее простым методом является *линейная интерполяция*, когда предполагается, что промежуточные точки лежат на прямых, соединяющих ее узлы, как показано на рисунке 1.

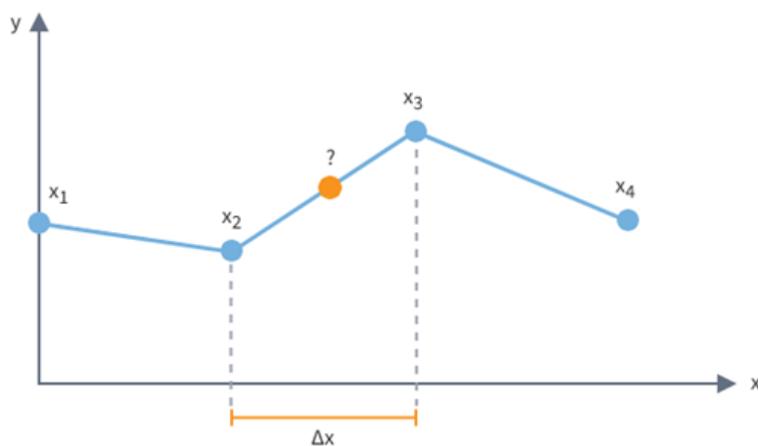


Рисунок 1 – Линейная интерполяция

Таким образом, в линейном случае имеем интерполяционный многочлен первой степени, который может быть выражен следующей формулой:

$$f(x) = \frac{1}{x_2 - x_1} \begin{vmatrix} f(x_1) & x_1 - x \\ f(x_2) & x_2 - x \end{vmatrix} = f(x_1) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} (f(x_2) - f(x_1)),$$

где $f(x_1)$, $f(x_2)$ значения функции в узлах x_1, x_2 .

Масштабирование изображения – изменение размера изображения с сохранением пропорций. Под масштабированием подразумевается, как увеличение (upscaling), так и уменьшение (downscaling) разрешения изображения. Широко применяется в компьютерной графике, а также обработке видео [3-5].

В своей основе интерполяция – это процесс, при котором имеющиеся данные используются для оценки значений в неизвестных точках. Интерполяция является основным инструментом, широко используемым при решении таких задач, как увеличение и уменьшение изображений, их поворот и коррекция геометрических искажений.

Использование интерполяции для изменения (увеличения или уменьшения) размеров цифрового изображения, по существу означает повторную дискретизацию (передискретизацию) исходного изображения.

Ресамплинг (resampling, передискретизация) – изменение объема данных изображения при изменении его размеров в пикселах или разрешения.

Предположим, что имеется изображение размерами 500×500 пикселей, которое необходимо увеличить в 1,5 раза до размеров 750×750 пикселей. Для достижения данной цели представим сетку размерами 750×750 точек с таким же шагом, что и между точками исходного изображения, и будем сжимать ее вплоть до точного совпадения краев с краями исходного полотна. В результате шаг сжатой сетки 750×750 будет меньше одного пикселя исходного изображения. Чтобы присвоить значение яркости любому элементу наложенного изображения, найдем ближайший к нему пиксель исходного изображения и припишем его яркость данному элементу сетки 750×750 . Присвоив так значения яркости всем элементам наложенной сетки, после растяжения ее до первоначальных размеров получим увеличенное цифровое изображение.

Такой способ называется *интерполяцией по ближайшему соседу*, поскольку в нем каждому пикселю нового изображения присваивается значение яркости ближайшего соседнего пикселя в исходном изображении. Данный метод редко применяют в работе, так как он имеет ряд недостатков, из которых можно выделить сильную пикселизацию особенно заметную на границах изображений.

Более подходящим методом является *билинейная интерполяция*, в которой для присвоения яркостей элементам нового изображения используются четыре ближайших соседа данной точки. Обозначим через (x, y) координаты точки нового изображения, которой нужно присвоить значение яркости, а через $v(x, y)$ обозначим уровень яркости. В случае билинейной интерполяции он задается соотношением:

$$v(x, y) = ax + by + cxy + d,$$

где коэффициенты a, b, c, d находятся из системы четырех линейных уравнений с четырьмя неизвестными для четырех ближайших соседей точки (x, y) .

Следующей по уровню сложности является *бикубическая интерполяция*, в которой участвуют шестнадцать ближайших соседей

рассматриваемой точки. Значение яркости, которое будет приписано точке (x, y) , определяется соотношением:

$$v(x, y) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 a_{ij} x^i y^j,$$

где шестнадцать коэффициентов a_{ij} находятся из системы 16 уравнений с 16 неизвестными, выписанной для шестнадцати ближайших соседей точки (x, y) .

Для интерполяции может использоваться большее число соседей, и существуют более сложные методы, например с использованием сплайнов.

Сплайн-функция – функция, область определения которой разбита на конечное число отрезков, на каждом из которых она совпадает с некоторым алгебраическим многочленом (полиномом). Максимальная из степеней использованных полиномов называется степенью сплайна [4,6].

Второй раздел «Эффекты возникающие при ресамплинге растровых изображений» посвящен описанию плохих эффектов при ресамплинге растровых изображений, в этом разделе перечисляются такие эффекты, как: алиасинг, эффект Гиббса, размытие изображений.

Алиасинг – эффект «зубчатости» («ступенчатости») линий. Наиболее часто проявляется при увеличении масштаба изображения (upscaling). Связан с проблемами отображения линий, не параллельных одной из осей координат, в случае когда точки на линиях пересекают строки или столбцы пикселей под небольшим углом и тогда возникает неопределенность рисовать эту часть как один пиксель на одном ряду, один пиксель на другом ряду или закрашивать оба пикселя. Данный недостаток наименее заметен для фото и более выражен для чертежей.

Эффект Гиббса - на изображениях проявляются ореолы возле резких перепадов интенсивности. Незначительное искажение изображений человек может не заметить, однако при больших потерях информации, например, при сильном изменении масштаба, данный артефакт по негативному эффекту может быть соизмерим с потерей цветности.

Размытие изображений - в целом, под размытостью понимают нерезкость, неясность очертаний структурных элементов изображения. Этот эффект связан с тем, что при увеличении изображений ряд методов приводят к «стиранию» границ, это не только искажает изображение визуально, но впоследствии так же приведет к усложнению процедуры сегментации и распознавания.

Третий раздел «Методы увеличения масштаба изображений, основанные на интерполяции цветов пикселей» посвящен описанию методов основанных на интерполяции цветов пикселей, в нем описываются такие алгоритмы: метод ближайшего соседа, линейная и билинейная интерполяция, бикубическая, и кубический B-сплайн.

Принцип действия методов увеличения масштаба изображений, основанных на интерполяции цветов пикселей, заключается в том, что для каждой точки конечного изображения берется определенный набор точек исходного и интерполируется в соответствии с его взаимным положением и выбранной функцией, от которой зависит количество выбранных точек. Функции, нашедшие применение для определения цветов пикселей, являются кусочно-линейными финитными функциям, которые также называют «функциями-крышками», «функциями-домиками». В методах интерполяции их принято называть функциями ядра интерполяции.

Метод ближайшего соседа

Этот метод является базовым из всех существующих алгоритмов интерполяции, требующий минимального времени обработки, так как учитывает единственный пиксель самый близкий к точке интерполяции. Например, если выполняется увеличение в целое число раз n , то одному пикселю исходного изображения соответствуют n^2 пикселей, имеющих тот же цвет, увеличенного изображения.

Линейная и билинейная интерполяция

В двумерном случае линейную интерполяцию называют билинейной интерполяцией. Ключевая идея заключается в том, чтобы провести обычную линейную интерполяцию сначала в одном направлении, затем в другом.

В компьютерной графике билинейная интерполяция наряду с другими методами интерполяций получила широкое распространение в процессе ресамплинга изображений. Билинейную интерполяцию в приложениях обработки изображений обычно называют *билинейной фильтрацией*. Применение этого метода обусловлено относительно низкой вычислительной ресурсоемкостью, что снижает время на ресамплинг при удовлетворительном качестве обработки изображений.

Бикубическая интерполяция

Метод билинейной интерполяции обеспечивает некоторое сохранение гладкости контуров рисунка, но все равно порождает довольно заметный «эффект лестницы». Более совершенным методом является использование бикубической интерполяции или сплайновой интерполяции третьего порядка.

Этот метод интерполяции основан на более сложном алгоритме расчета, чем методы ближайшего соседа и билинейной интерполяции, поэтому он требует больших вычислительных ресурсов, но дает более качественные результаты. Поверхность, полученная в результате бикубической интерполяции, является гладкой функцией, в отличие от поверхностей, полученных в результате интерполяции методом ближайшего соседа или билинейной интерполяции, поэтому бикубическая интерполяция часто используется в обработке изображений, давая более качественное изображение по сравнению с билинейной интерполяцией.

Интерполяция кубическим B-сплайном

Термин B-сплайн был введен И. Шёнбергом и является сокращением от словосочетания «базисный сплайн». В системах автоматизированного проектирования и компьютерной графике термин B-сплайн часто описывает

сплайн-кривую, которая задана сплайн-функциями, выраженными линейными комбинациями B-сплайнов.

Четвертый раздел «Реализация и сравнение методов увеличения масштаба изображений» посвящен описанию библиотеки OpenCV, описанию функции `cv2.INTER_` которая использовалась в работе, библиотеки Matplotlib, NumPy. Продемонстрирована тестовая коллекция изображений, на которой происходило тестирование интерполяционных методов масштабирования изображений. Также, произведен анализ изображений до обработки и после обработки различными методами. Произведено тестирование на быстродействие интерполяционных алгоритмов в виде таблицы и графика. Подробно описан каждый алгоритм, его достоинства, недостатки, сделаны выводы для какого изображения где лучше использовать тот или иной алгоритм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выпускной квалификационной работы были изучены такие методы интерполяции как метод ближайшего соседа, линейная и билинейная интерполяция, бикубическая интерполяция, интерполяция с использованием кубического В-сплайна, и их применение в масштабировании изображений.

Был произведен сравнительный анализ и замер времени работы изученных методов, полученные данные приведены в таблице и на графике. По результатам анализа данных было выявлено, что самым быстрым методом интерполяции является билинейный, так как с учетом погрешностей тестирования, алгоритм показал близкие результаты на всех этапах тестирования, самым медленным и ресурсоемким методом является интерполяция с использованием кубического В-сплайна. По качеству фотографии, с лучшей стороны показал себя алгоритм билинейной интерполяции, так как изображение потеряло меньше всего в качестве. Среди класса линейных методов невозможно выбрать наилучший метод. Любой линейный метод представляет собой баланс между тремя типами артефактов: размытия, алиасинга и эффекта Гиббса. Метод интерполяции с использованием кубического В-сплайна, не являющийся линейным, показал самое большое время выполнения.

Основные источники информации:

1. Половко А. М., Бутусов П. Н. Интерполяция. Методы и компьютерные технологии их реализации / А. М. Половко, П. Н. Бутусов. – М.: БХВ-Петербург, 2016. - 320 с.
2. Фаддеев М. А., Марков К. А. Численные методы Учебное пособие. — ННГУ, 2010. – 158 с.
3. Бахвалов Н. С. Численные методы (анализ, алгебра, обыкновенные дифференциальные уравнения) – Главная редакция физико-математической литературы. – М.: «Наука», 1975. – 632 с.
4. R. Bernstein, «Digital image processing of earth observation sensor data» IBMJ. Res. Develop., vol. 20, pp. 40-57, 1976.
5. Калиткин Н. Н. Численные методы – Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1978. – 512 с.