

Сравнительный анализ методов восстановления изображений по хаотично разбросанному набору точек

Ю.Д. Выборнова¹, А.И. Максимов¹

¹Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34А, Самара, Россия, 443086

Аннотация. Алгоритмы быстрой интерполяции предполагают, что значение в конкретной точке изображения вычисляется на основе некоторой окрестности, выбор которой может значительно повлиять на результат прогноза. В статье исследуются известные методы интерполяции, в частности, зависимость их качества интерполяции от выбранного алгоритма формирования набора опорных точек. Представлены результаты сравнения зависимости среднеквадратичной ошибки от доли зашумления тестовых изображений, а также результаты исследования вычислительной сложности.

1. Введение

В задаче обработки изображений для прогнозирования значений растровых ячеек при наличии некоторого ограниченного числа входных точек на двумерной сетке, как правило, применяются методы интерполяции [1]. Быстрые алгоритмы интерполяции предполагают, что значение в некотором местоположении на изображении будет предсказано по нескольким ближайшим точкам, а не по всему набору известных значений. В связи с этим в данной работе приведен сравнительный анализ существующих методов интерполяции с учетом выбора конкретного алгоритма формирования набора опорных точек

2. Исследуемые методы и алгоритмы

В данной работе исследуются 17 методов восстановления изображений по хаотично разбросанному набору точек.

Рассмотрены три метода классической интерполяции: линейная [2], по ближайшему соседу [2], кубическая [2], а также широко известные методы пространственной интерполяции: метод обратных взвешенных расстояний [3] и метод, предложенный Akima [4].

Для классических методов интерполяции оценка неизвестных значений производится по опорным точкам, полученным с помощью перехода к 1-D сигналу, а также на основе 2-D треугольного разбиения, построенного на основе триангулированной нерегулярной сети. Переход к 1-D сигналу осуществляется на основе построчной и зигзагообразной разверток [5], а также кривых Мортонa [6] и Гильберта-Пеано [7]. Триангулированная нерегулярная сеть строится на основе триангуляции Делоне [8].

3. Экспериментальные исследования

3.1. Исследование качества восстановления

В данной работе было произведено исследование зависимости среднеквадратического отклонения (СКО) интерполированного по набору хаотически расположенных точек изображения от доли зашумления.

В качестве тестового набора был взят Waterloo Greyscale Set 2 [9]. изображения которого представлены на рисунке 1.

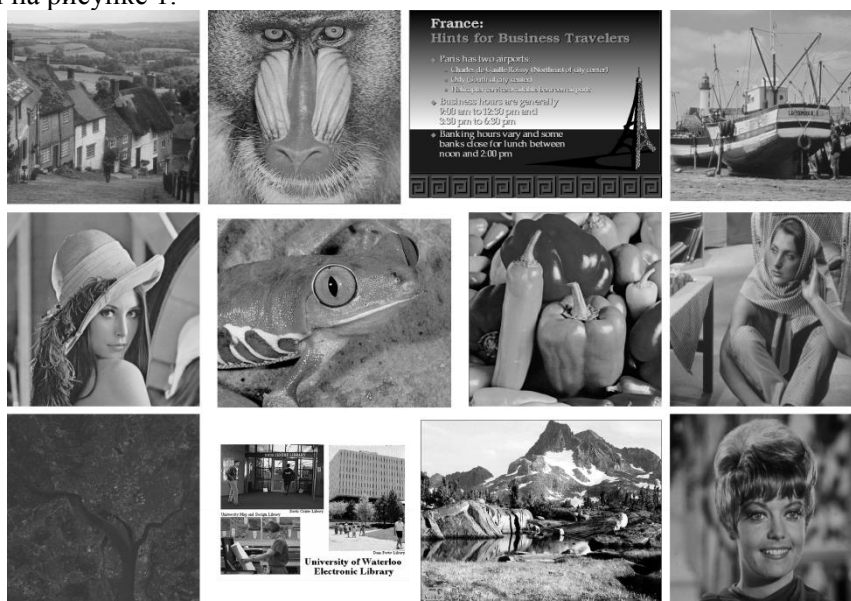


Рисунок 1. Изображения тестового набора Waterloo Greyscale Set 2.

Для данного набора был сгенерирован набор псевдослучайных масок с нормальным распределением и долей выколотых отсчетов (зашумления) от 0.1 до 0.9 с шагом 0.1. Маски представлены на рисунке 2.

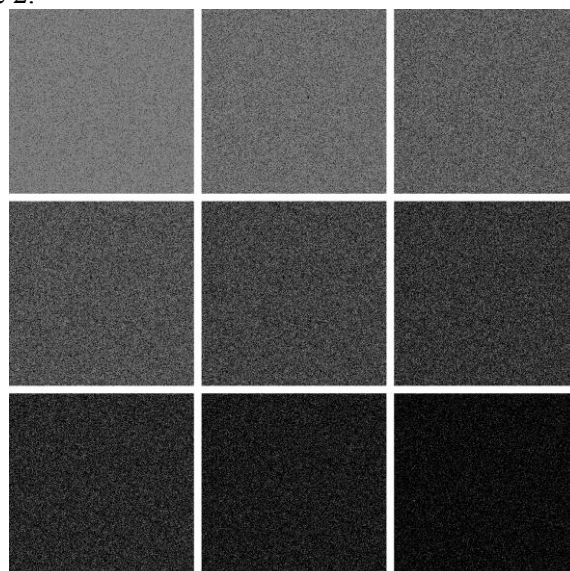


Рисунок 2. Используемые в экспериментальном исследовании маски, черным цветом обозначены выколотые отсчеты.

Экспериментальное исследование производилось следующим образом - на тестовое изображение накладывалась маска, после чего изображение с выколотыми отсчетами

интерполировалось одним из выбранных методов. После вычислялась СКО интерполяции относительно исходного изображения. Полученные результаты усреднялись по тестовому набору для фиксированной доли опорных точек, метода интерполяции и метода формирования набора опорных точек. Результаты данного экспериментального исследования представлены на рисунке 3.

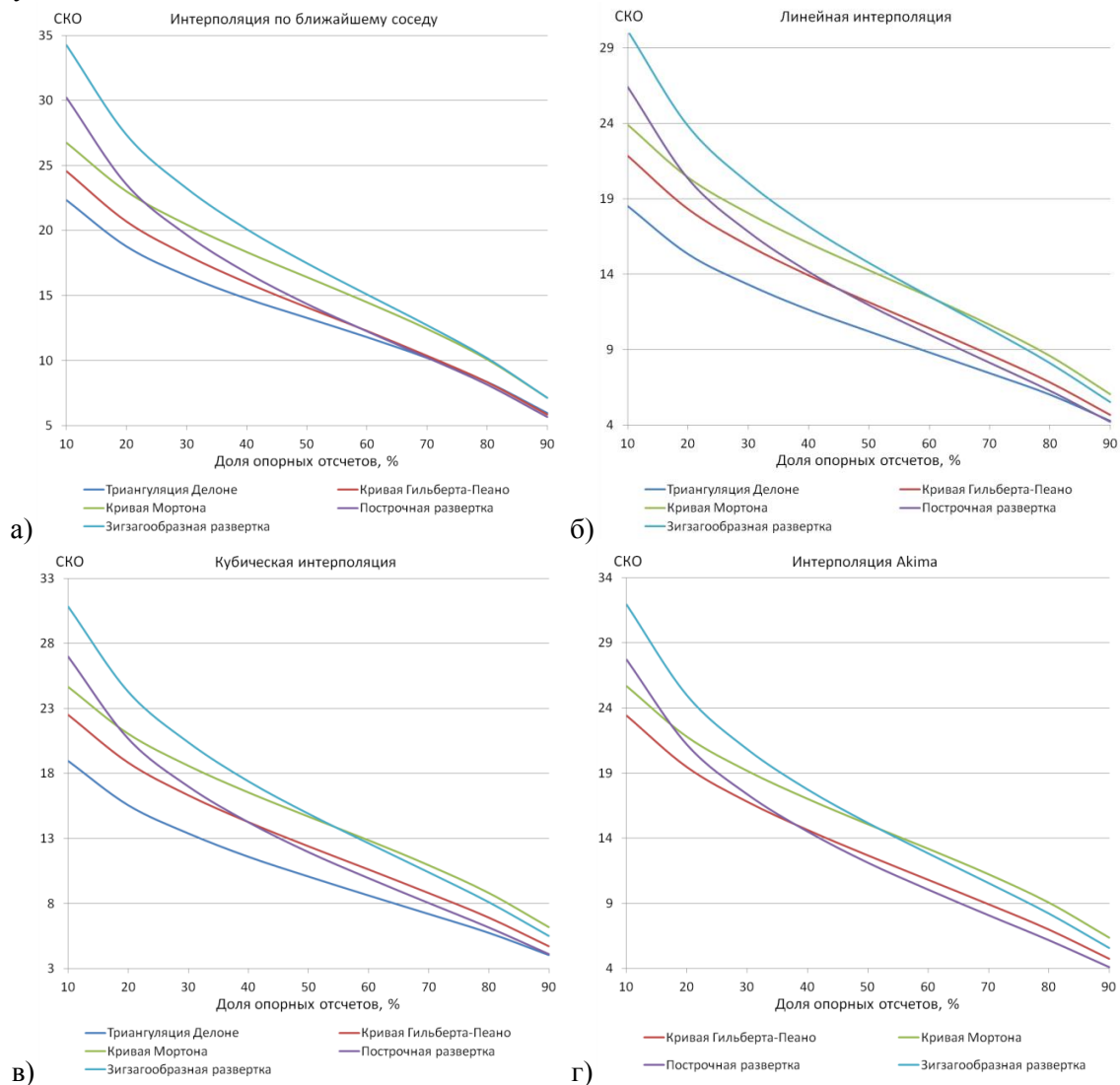


Рисунок 3. Зависимости СКО интерполяции от доли опорных отсчетов изображений при использованных методах формирования набора опорных отсчетов для а) интерполяции по ближайшему соседу, б) линейной интерполяции, в) кубической интерполяции, г) метода Akima.

Также для метода обратных взвешенных расстояний были исследованы зависимости СКО от доли зашумления при различных настройках алгоритма – при постоянной степени и переменном радиусе, и при постоянном радиусе и переменной степени. Зависимости приведены на рисунке 4.

Примеры некоторых восстановленных изображений при одинаковых параметрах зашумления представлены на рисунке 5. Итоговые зависимости представлены на рисунке 6.

Как можно видеть из представленных зависимостей, среди одномерных методов формирования опорных точек интерполяции, наименьшая СКО (при интерполяции по ближайшему соседу, линейной и кубической интерполяции, а также при использовании метода Akima) дает использование кривой Гильберта-Пеано. Однако использование кривой Гильберта-Пеано все же дает бóльшую ошибку, чем использование двухмерного треугольного разбиения

на основе триангуляции Делоне. Среди методов интерполяции значительное преимущество в терминах СКО интерполяции дает применение метода обратных взвешенных расстояний.

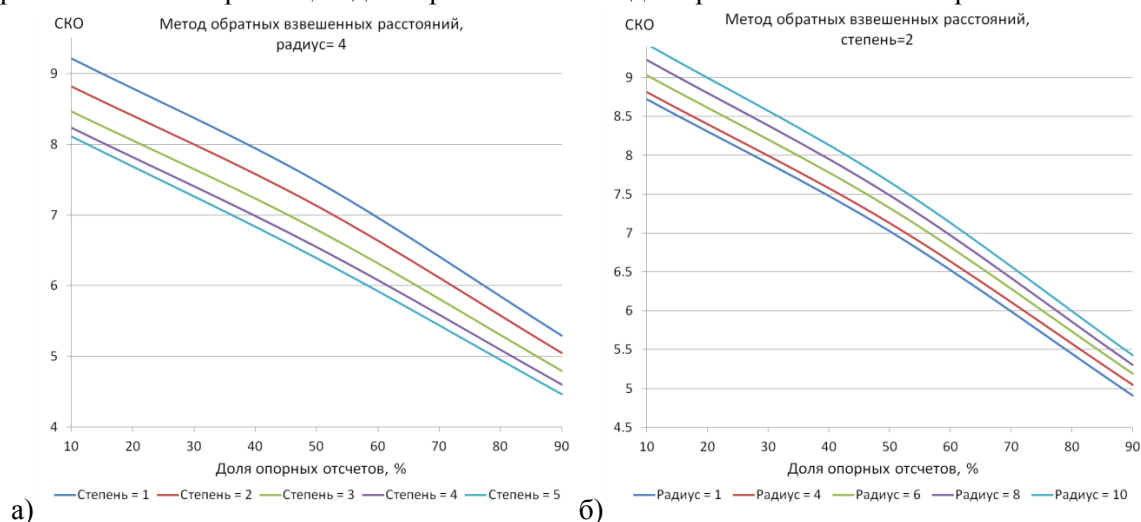


Рисунок 4. Зависимость СКО интерполяции от доли опорных отсчетов для метода взвешенных расстояний: а) при постоянном радиусе, б) при постоянной степени.

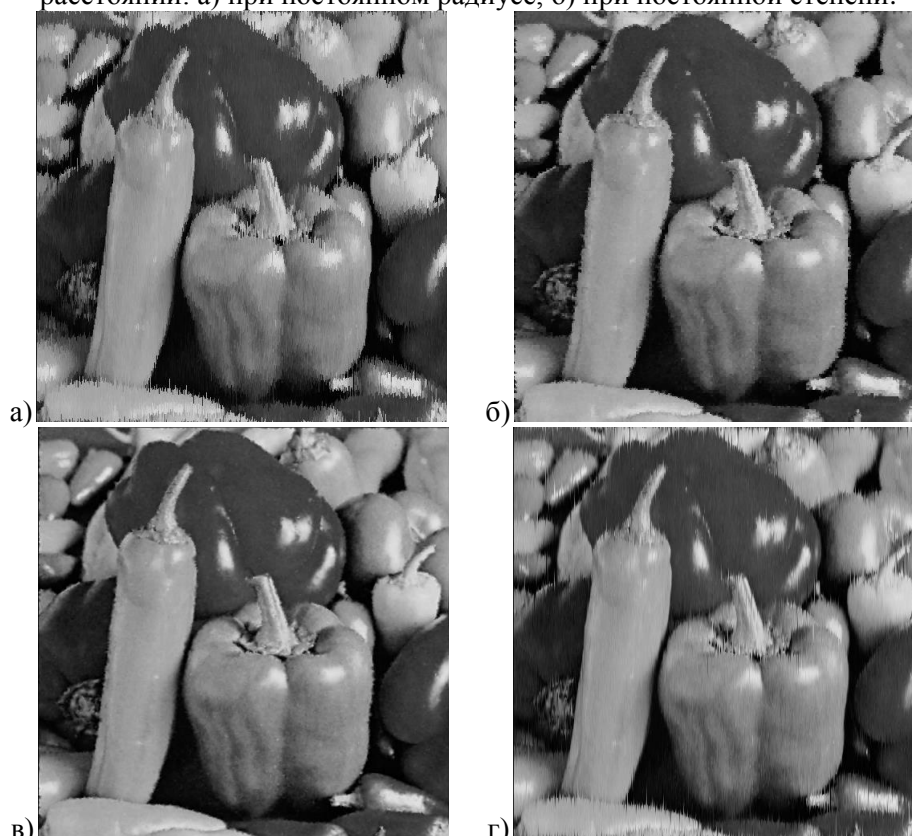


Рисунок 5. Примеры восстановленных изображений при доле выколотых отсчетов 0.8 для изображения peppers.tif тестового набора: а) 1а; б) 2д; в) 3е; г) 4а (индекс соответствует методу интерполяции, перечисленному в таблице 2).

3.2. Исследование вычислительной сложности

Проведен анализ вычислительной сложности исследуемых методов. Параметры вычислительной машины, на которой производилось исследование, приведены в таблице 1. Графический акселератор при проведении экспериментального исследования не использовался. Усредненное время обработки одного изображения тестового набора приведено в таблице 2.

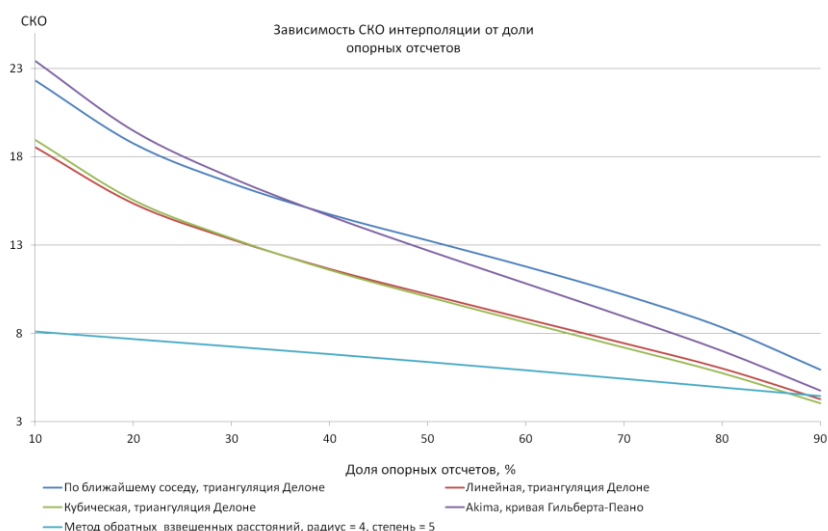


Рисунок 6. Зависимости СКО интерполяции от доли опорных отсчетов изображений для рассматриваемых методов интерполяции с использованием параметров, продемонстрировавших наименьшую СКО в зависимостях, представленных на рисунках 3 и 4.

Таблица 1. Параметры вычислительной машины.

Параметр вычислительной машины		Значение параметра
Процессор	Модель	Intel Core i5 3470
	Число ядер	4 шт.
	Тактовая частота	3.20 ГГц
	Объем оперативной памяти	8 Гб

Таблица 2. Усредненное по тестовому набору время обработки одного изображения.

Название метода	Среднее время обработки изображения, с
1а. По ближайшему соседу, построчная развертка	0.0777
1б. По ближайшему соседу, зигзагообразная развертка	0.1087
1с. По ближайшему соседу, кривая Мортон	0.0870
1д. По ближайшему соседу, кривая Гильберта-Пеано	0.1189
1е. По ближайшему соседу, триангуляция Делоне	1.2409
2а. Линейная интерполяция, построчная развертка	0.1165
2б. Линейная интерполяция, зигзагообразная развертка	0.1124
2с. Линейная интерполяция, кривая Мортон	0.0751
2д. Линейная интерполяция, кривая Гильберта-Пеано	0.1271
2е. Линейная интерполяция, триангуляция Делоне	1.0566
3а. Кубическая интерполяция, построчная развертка	0.0770
3б. Кубическая интерполяция, зигзагообразная развертка	0.1141
3с. Кубическая интерполяция, кривая Мортон	0.0861
3д. Кубическая интерполяция, кривая Гильберта-Пеано	0.1235
3е. Кубическая интерполяция, триангуляция Делоне	1.3289
4а. Akima, построчная развертка	0.0501
4б. Akima, зигзагообразная развертка	0.0737
4с. Akima, кривая Мортон	0.0577
4д. Akima, кривая Гильберта-Пеано	0.0709
5. Метод обратных взвешенных расстояний с радиусом 4 и степенью 5	505.0556

Как можно видеть из таблицы 2 и рисунка 6, метод обратных взвешенных расстояний, дает наименьшая СКО при много большем времени обработки по сравнению со всеми остальными

методами (выделен жирным шрифтом). Компромиссным решением, обеспечивающим приемлемое качество восстановления изображения в сочетании со средним временем обработки, будет формирование опорного набора точек при помощи триангуляции Делоне в сочетании с линейной или кубической интерполяцией (выделены курсивом в таблице 2, красная и салатная линии на рисунке 6). Как можно видеть, данные методы дают близкие значения СКО и времени обработки.

4. Заключение

В данной работе исследовано пять широко известных интерполяционных методов (три классических – по ближайшему соседу, линейный, кубический, а также метод обратных взвешенных расстояний и метод за авторством Akima) с использованием различных методов формирования опорных точек интерполяции для решения задачи восстановления изображений по набору хаотически разбросанных точек.

Для классических методов и метода Akima оценены зависимости среднеквадратической ошибки интерполяции от доли опорных точек при использовании различных методов формирования опорных точек. Для метода обратных взвешенных расстояний получены аналогичные зависимости при разных вариациях параметров радиуса и степени. Помимо СКО в работе оценено быстродействие исследуемых методов.

Метод обратных взвешенных расстояний продемонстрировал наименьшую СКО и наибольшее среднее время обработки среди исследованных методов. Для классических методов наименьшее значение СКО достигнуто при использовании триангуляции Делоне.

5. Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 19-29-09045, № 19-31-90113 и № 19-07-00474.

6. Литература

- [1] Выборнова, Ю.Д. Исследование методов пространственной интерполяции в задаче восстановления частично определенных изображений / Ю.Д. Выборнова // Сборник трудов IV международной конференции и молодежной школы «Информационные технологии и нанотехнологии» (ИТНТ). – САМАРА: Новая техника, 2018. – С. 683-690.
- [2] Гашников, М.В. Методы компьютерной обработки изображений / М.В. Гашников, Н.И. Глумов, Н.Ю. Ильясова, В.В. Мясников, С.Б. Попов, В.В. Сергеев, В.А. Сойфер, А.Г. Храмов, А.В. Чернов, В.М. Чернов, М.А. Чичева, В.А. Фурсов – М.: Физматлит, 2003. – 784 с.
- [3] Shepard, D. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data // ACM '68: Proceedings of the 23rd ACM national conference, 1968. – P. 517-524.
- [4] Akima, H. A new method of interpolation and smooth curve fitting based on local procedures // Journal of the ACM (JACM), 1970 [Electronic resource]. – Access mode: <https://doi.org/10.1145/321607.321609>.
- [5] Candra, R. The Implementation of an Efficient Zigzag Scan / R. Candra, S. Madenda, S.A. Sudiro, M. Subali // Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering. – 2017. – Vol. 9(2). – P. 95-98.
- [6] Jin, G. SFCGen: A framework for efficient generation of multi-dimensional space-filling curves by recursion / G. Jin, J.M. Mellor-Crummey // ACM Transactions on Mathematical Software. – 2005. – Vol. 31(1). – P. 120-148.
- [7] Сергеев, В.В. Обработка изображений с использованием развертки Гильберта-Пеано / В.В. Сергеев // Автометрия. – 1984. – Т. 2. – С. 30-36.
- [8] Zalik, B. An efficient sweep-line Delaunay triangulation algorithm / B. Zalik // Computer-Aided Design. – 2005. – № 37. – P. 1027-1038.
- [9] Waterloo Greyscale set Repository – Waterloo Fractal - University of Waterloo 2 [Electronic resource]. – Access mode: <http://links.uwaterloo.ca/Repository.html> (23.11.19).

A comparative study of restoration techniques for images defined by chaotically scattered point set

Y.D. Vybornova¹, A.I. Maksimov¹

¹Samara National Research University, Moskovskoe Shosse 34A, Samara, Russia, 443086

Abstract. Fast interpolation algorithms suggest that the value at a particular element of the image is calculated based on some neighbourhood, the choice of which can significantly affect the interpolation result. In this paper, we consider some well-known interpolation methods and research on how the choice of reference image elements affects their quality. Results of the experimental research, such as the dependencies of RMSE on the noise proportion in test images, are presented, as well as computational complexity assessment.