

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. Ломоносова**

Факультет вычислительной математики и кибернетики

На правах рукописи

Насонова Александра Андреевна

**Методы повышения качества размытых изображений
с помощью деформации пиксельной сетки окрестностей
границ**

Специальность 05.13.18 — математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Москва, 2015

Диссертационная работа выполнена на кафедре математической физики факультета вычислительной математики и кибернетики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова».

Научный руководитель

Крылов Андрей Серджевич

доктор физико-математических наук, профессор кафедры математической физики факультета вычислительной математики и кибернетики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова»

Официальные оппоненты:

Рычагов Михаил Николаевич

доктор физико-математических наук, профессор, директор Управления высокопроизводительных алгоритмов ООО «Исследовательский Центр Самсунг»

Лемпицкий Виктор Сергеевич

кандидат физико-математических наук, старший преподаватель Сколковского института науки и технологий

Ведущая организация:

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша
РАН

Защита состоится 20 мая 2015 г. в __ ч. __ мин. на заседании диссертационного совета Д 501.001.43 при Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, расположенном по адресу: 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, МГУ, 2-й учебный корпус, факультет вычислительной математики и кибернетики, ауд. 685.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке факультета ВМК МГУ имени М.В. Ломоносова.

Автореферат разослан «__» _____ 2015 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 501.001.43,
доктор физико-математических наук,
профессор

Е.В. Захаров

Общая характеристика работы

Актуальность темы

Рост производительности вычислительной техники открывает возможности для использования все более сложных и наукоемких методов обработки цифровых изображений. Из-за несовершенства формирующих и регистрирующих систем записанное ими изображение представляет собой искаженную копию оригинала. Это делает затруднительным дальнейшее применение методов обработки и анализа изображений и приводит к необходимости разработки алгоритмов повышения качества изображений.

Актуальность задачи повышения качества изображений подчеркивается большим количеством работ в современной литературе по данной тематике и широким спектром применяемых для ее решения методов. Сложность данной задачи заключается в необходимости сохранения содержания и структур, характерных для обрабатываемых изображений, в недопустимости внесения артефактов и искажений, а также в важности высокого уровня качества: как субъективного, так и объективного, определяемого численно с помощью метрик оценки качества изображений. Задача повышения качества изображений особенно важна для обработки медицинских изображений в связи с повышенными требованиями к точности и практической невозможностью получения изображений высокого качества.

Размытие изображений является одним из наиболее часто встречающихся искажений изображений. Причиной размытия могут быть как естественные причины на этапе формирования изображения, например, дефокусировка или движение объекта, так и искусственные, например, потеря высокочастотной информации при сжатии и передаче изображения или побочный эффект методов подавления шума. Задача определения уровня размытия и повышения резкости в настоящий момент не

является решенной.

Цель работы

Целью диссертационной работы является разработка методов анализа уровня размытия изображений и методов локального повышения качества в окрестностях границ изображений, позволяющие проводить анализ и повышение качества зашумленных изображений и достаточно эффективно решать практические задачи для широкого класса изображений, в том числе медицинских изображений.

Научная новизна работы

В диссертации получены следующие результаты:

- Предложен и алгоритмически реализован метод оценки уровня размытия изображения.
- Разработаны и обоснованы деформационные методы повышения качества размытых изображений.

Теоретическая и практическая значимость работы

- Создан программный комплекс для анализа и повышения качества размытых изображений.
- Разработанные в диссертационной работе методы анализа и повышения качества размытых изображений могут быть применены как составная часть комплексных алгоритмов обработки и анализа изображений.

Апробация работы

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на:

1. 11-й международной конференции по анализу и распознаванию изображений ICIAR, Виламура, Португалия, 2014 [3];
2. 10-й Российско-Германской конференции по биомедицинской инженерии, Санкт-Петербург, 2014 [4];
3. 12-й международной конференции по обработке сигналов ICSP, Ханчжоу, Китай, 2014 [5];
4. 16-й международной конференции и выставке «Цифровая обработка сигналов и ее применение» DSPA, Москва, 2014 [6];
5. 5-й международной конференции по биомедицинской инженерии BMEI, Чунцин, Китай, 2012 [7];
6. 22-й международной конференции по компьютерной графике и зрению Графикон, Москва, 2012 [8];
7. конференции «Ломоносовские чтения 2014», ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова (Москва, 2014);
8. Заседании кафедры математической физики факультета ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, г. Москва, 26 ноября 2014 г.

Публикации

Результаты диссертации представлены в 8 научных работах, из них 4 работы [1–4] опубликованы в журналах из перечня ВАК, статья [2] индексируется в системе Web of Science, статьи [1–3] — в Scopus.

Во всех работах автором постановки задач является научный руководитель Крылов А.С.

Насонова А.А. является автором алгоритмов и комплексов программ [1-8].

В работах [1, 2, 4, 6, 7] материалы для публикации были подготовлены Насоновой А.А. самостоятельно.

В работах [5, 8] Насонов А.В. составил обзор, остальные материалы для публикации были подготовлены Насоновой А.А.

В работе [3] Насонова А.А. является автором одной из частей представленного алгоритма, Печенко И. и Умнов А. проводили исследования по другой части алгоритма, Насонов А.В. составил обзор и подготовил материалы для публикации, Махнева Н.В. предоставила медицинские данные и консультации.

Автор диссертации благодарит научного руководителя Крылова Андрея Серджевича за постановку задач, за ценные указания и консультации в процессе работы над ними, за критические замечания к тексту диссертации и автореферата.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы. Объем работы — 90 страниц. Список литературы включает 81 наименование.

Содержание работы

Во **введении** обосновывается актуальность темы диссертации, ставятся цели диссертационного исследования.

В **первой главе** рассматривается задача анализа уровня размытия изображений. Разработанный алгоритм основан на методе нерезкого маскирования (*unsharp masking*), направленного на повышение резкости изображений и определяемого для некоторого сигнала I как

$$U_{\sigma,\alpha}[I] = (1 + \alpha)I - \alpha I * G_{\sigma},$$

где $*$ обозначает операцию свертки, $\sigma, \alpha > 0$ — параметры метода, $G_{\sigma}(x)$ — ядро фильтра Гаусса.

В диссертационной работе предложена модель профиля границы изображения в виде свертки идеальной ступенчатой функции единичной высоты $H(x)$ и ядра фильтра Гаусса $G_\sigma(x)$

$$E_\sigma(x) = [H * G_\sigma](x).$$

Показано, что метод нерезкого маскирования с фиксированным значением α при применении к модельному профилю границы изображения обладает двумя свойствами:

1. свойством растяжения:

$$U_{\sigma_1, \alpha}[E_{\sigma(x)_1}](x) = U_{\sigma_2, \alpha}[E_{\sigma(x)_2}](\frac{\sigma_2}{\sigma_1}x);$$

2. свойством монотонности:

$$U_{\sigma_2, \alpha}[E_{\sigma_0}](x) > U_{\sigma_1, \alpha}[E_{\sigma_0}](x) \text{ при } \sigma_2 > \sigma_1 > 0, x > 0.$$

Предложенная модель позволяет характеризовать профиль границы изображения среднеквадратичным отклонением σ фильтра Гаусса, и задача анализа уровня размытия изображения сводится к задаче нахождения ширины выделенного профиля. Последняя задача имеет однозначное решение благодаря доказанным свойствам операции нерезкого маскирования при ее применении к модельному профилю $E_\sigma(x)$.

Вторая глава посвящена повышению качества размытых изображений. Представлен метод обработки изображений, основанный на деформации пиксельной сетки изображения. В отличие от традиционных подходов, основанных на преобразовании интенсивности пикселей изображения, предложенный подход предполагает изменение только положения пикселей из окрестностей заранее детектированных границ изображения. Окрестность сжимается к центру границы (см. рис. 1), что обеспечивает полное отсутствие артефактов, характерных для традиционных методов повышения резкости изображений. Результирующее изображение получается путем интерполяции интенсивностей пикселей изображения с деформированной сетки на исходную равномерную сетку.

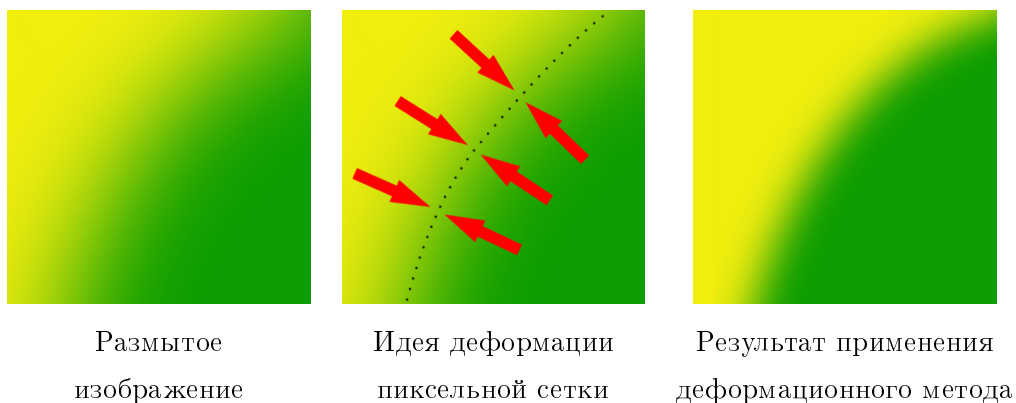


Рис. 1: Пример работы деформационного метода

В работе рассмотрены три способа вычисления векторного поля смещения положения пикселей. Первый способ подразумевает сдвиг каждого пикселя из окрестностей границ в направлении вектора градиента в ближайшей точке границы p_e , величина смещения Δx зависит только от расстояния x до точки p_e :

$$\Delta x = \tilde{x} - x = AG'_\sigma(\tilde{x}),$$

где G_σ — функция Гаусса со среднеквадратичным отклонением σ , A — параметр, контролирующий силу деформации.

Второй способ (односторонний) является развитием первого и подразумевает деформацию пиксельной сетки только с одной стороны от границы. Это оказывается полезно при наличии на изображении структур, таких как неширокие кровеносные сосуды — стенки сосуда, детектированные как две параллельные границы, расположены слишком близко друг от друга, что приводит к недостатку пикселей для сдвига.

Вышеописанные способы являются достаточно быстрыми, но не всегда корректно обрабатывают углы и концы границ (см. рис. 2): в случае близко расположенных границ возможно образование разрыва в поле смещения между границами. Третий способ вычисления смещений позволяет избавиться от этих недостатков, пусть и за счет увеличения времени обработки изображения. Этот метод работает в предположении, что пиксель окрестности «притягивается» всеми пикселями границы —

ближними сильнее, дальними слабее, — и конечное смещение является равнодействующей этих сил. Реализующий его алгоритм основан на численном решении первой краевой задачи для уравнения Пуассона:

$$\begin{cases} \Delta u &= p(x, y) - 1, \\ u(x, y) &= 0 \text{ на краях изображения,} \end{cases}$$

функция близости $p(x, y)$ характеризует деформацию пиксельной сетки — в пикселе (x, y) при $p(x, y) > 1$ происходит разрежение пиксельной сетки, при $p(x, y) < 1$ происходит сгущение пиксельной сетки. Предложен следующий способ построения функции близости $p(x, y)$:

$$P(x, y) = \frac{\sum_{(x_e, y_e) \in N(x, y)} w(x_e, y_e) p(x_n)}{\sum_{(x_e, y_e) \in N(x, y)} w(x_e, y_e)}, \quad w(x_e, y_e) = G_\sigma(x_t) |\vec{g}(x_e, y_e)|$$

где $N(x, y)$ — множество пикселей границы из некоторой окрестности (x, y) . Величины x_n и x_t являются модулями проекций вектора $(x - x_e, y - y_e)$ на вектор градиента $\vec{g}(x_e, y_e)$ и на касательную к границе соответственно. Функция $p(x_n)$ является одномерной функцией близости, $G_\sigma(x_t)$ — весовая функция со среднеквадратичным отклонением, равным уровню размытия изображения σ .

В **третьей главе** рассмотрены применения предложенных методов анализа и повышения качества к изображениям для задач обработки и анализа медицинских изображений, таких как изображения глазного дна и дерматологические снимки, а также рассмотрена модификация деформационного метода для повышения разрешения изображений.

Изображения глазного дна используются для диагностики заболеваний сетчатки. Их особенностью является неинвазивная природа получения, что позволяет использовать их для дистанционной диагностики. Одной из возникающих проблем в такой дистанционной системе является контроль качества входных изображений, поскольку съемка производится не специалистом и изображение может быть дефокусировано.

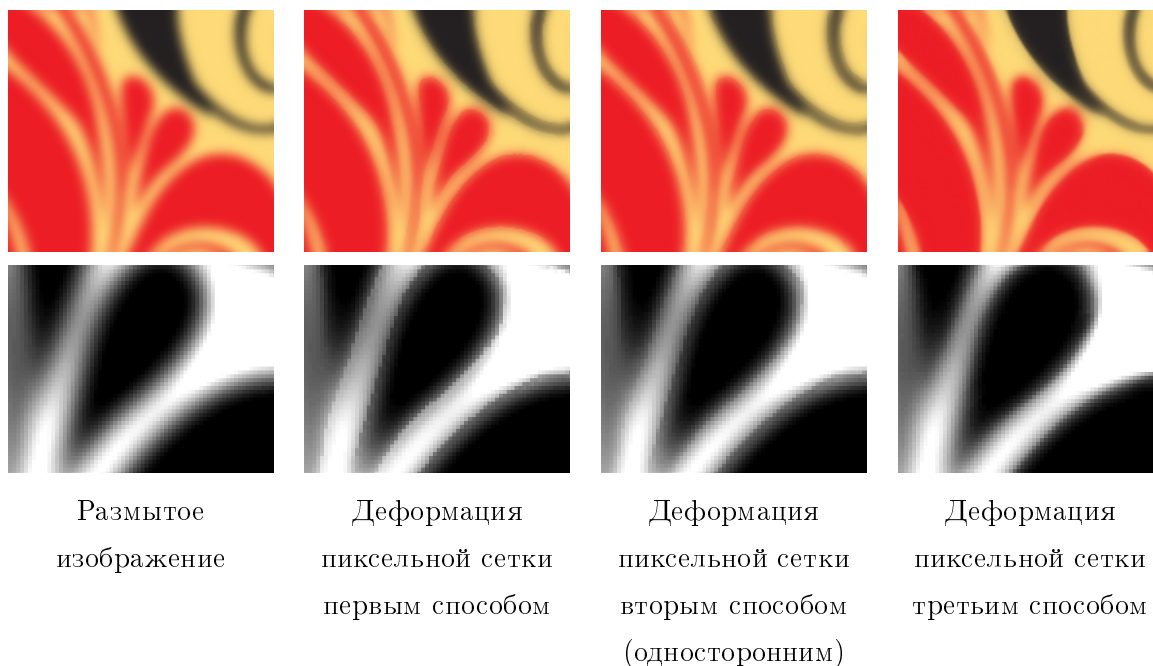


Рис. 2: Пример работы деформационного метода

Предложенный метод анализа качества изображений успешно позволяет определить нерезкие изображения и предотвратить возможные ложные диагностические решения автоматизированных систем анализа изображений глазного дна. Повысить качество изображений глазного дна эффективно позволяет односторонний деформационный метод: в задаче детектирования сосудов, которые на изображениях всегда темнее общего фона, важно иметь как можно более резкие границы сосудов.

В обработке дерматологических изображений основную проблему представляет присутствие волос на изображении, которые обычно закрашивают в цвет фона, и в связи с автоматизацией процесса удаления волос на изображении неизбежно появляются артефакты, в том числе и размытие. В определенных задачах, например, обработки изображений пятна, подозрительного на меланому, важно знать четкую границу пятен на коже, что влечет за собой необходимость повышения резкости изображений. Традиционные методы повышения резкости изображений усиливают артефакты после процедуры удаления волос. Деформационный метод позволяет избежать усиления артефактов и сделать границы

пятна резкими.

Также показано, что предложенный деформационный метод хорошо подходит для постобработки изображений, резкость которых была повышена одним из методов, основанных на обращении свертки. Деформационный метод позволяет использовать все достоинства и при этом значительно снижает количество артефактов, характерных для этих методов. Результат улучшения работы на двух наборах, состоящих из 29 искаженных изображений с разным уровнем размытия и шума (в наборе Иск. 1 уровень размытия и шума меньше, чем в наборе Иск. 2), представлен в таблице 1.

Метод	До		После	
	Иск. 1	Иск. 2	Иск. 1	Иск. 2
Искаженные изображения	22.84	21.77	—	—
Метод нерезкого маскирования	23.00	20.87	23.54	21.55
Регуляризация полной вариации	23.30	20.72	23.35	20.98
Низкочастотная регуляризация полной вариации	23.08	21.64	23.15	21.78
TVMM	23.31	21.50	23.33	21.54
Метод Люси-Ричардсона	23.83	21.27	23.94	21.58
Винеровская фильтрация	24.00	21.94	24.08	22.01
MatLab blind deconvolution	23.79	20.98	23.93	21.44
Только деформационный метод	—	—	23.29	22.14

Таблица 1: Среднее значение PSNR для размытых зашумленных изображений из базы данных LIVE до и после применения деформационного метода с двумя способами получения искаженных изображений.

Еще одним из рассмотренных применений деформационного метода является повышение разрешения изображений. Интерполяция является неотъемлемой частью деформационного метода, и, вообще говоря, на результирующую равномерную пиксельную сетку нет жестких ограничений. Таким образом, деформационный метод позволяет проводить повышение разрешения изображения с контролем резкости границ.

Четвертая глава посвящена описанию разработанного программного комплекса и реализации некоторых используемых в работе численных

методов.

В **заключении** сформулированы основные результаты, полученные в диссертационной работе.

Основные результаты

1. Предложен и алгоритмически реализован метод оценки уровня размытия изображения.
2. Разработаны и обоснованы деформационные методы повышения качества размытых изображений.
3. Создан программный комплекс для анализа и повышения качества размытых изображений.

Работы автора по теме диссертации

- [1] A. A. Nasonova, A. S. Krylov Determination of Image Edge Width by Unsharp Masking // *Computational Mathematics and Modelling*. — 2014. — Vol. 25, no. 1. — Pp. 72–78.
- [2] A. Nasonova, A. Krylov Deblurred images post-processing by Poisson warping // *IEEE Signal Processing Letters*. — 2015. — Vol. 22, no. 4. — Pp. 417–420.
- [3] A. Nasonova, A. Nasonov, A. Krylov, I. Pechenko, A. Umnov, N. Makhneva Image warping in dermatological image hair removal // *Lecture Notes in Computer Science*. — 2014. — Vol. 8815. — Pp. 159–166.
- [4] A. A. Насонова, А. С. Крылов Выделение сосудов на изображениях глазного дна и его оценка качества // *Биотехносфера*. — 2014. — № 3. — С. 24–25.

- [5] *A. Krylov, A. Nasonova, A. Nasonov* Grid warping for image sharpening using one-dimensional approach // *In Proceedings of International Conference on Signal Processing (ICSP2014)*. — 2014. — Pp. 672–677.
- [6] *А. А. Насонова* Деформационный метод повышения разрешения изображений с сохранением резкости границ // *Труды 16-й международной конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применение» (DSPA'2014)*. — 2014. — Т. 2. — С. 452–455.
- [7] *A. A. Chernomorets, A. S. Krylov* Blur detection in fundus images // *IEEE Proceedings of 5th International Conference on BioMedical Engineering and Informatics (BMEI 2012)*. — 2012. — Pp. 186–189.
- [8] *A. A. Chernomorets and A. V. Nasonov* Deblurring in fundus images // *22-th Int. Conf. GraphiCon'2012*. — 2012. — Pp. 76–79.