

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» (НИУ «БелГУ»)



**НИУ
БелГУ**
BELGOROD STATE
UNIVERSITY (BSU)

Победы ул., д. 85, г. Белгород, 308015; e-mail: info@bsu.edu.ru,
тел.: (4722) 30-12-11, факс 30-10-12, Web: http://www.bsu.edu.ru
ОКПО 02079230, ОГРН 1023101664519, ИНН/КПП 3123035312/312301001

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и инновациям ФГАОУ
ВО «Белгородский государственный
национальный исследовательский
университет»,

кандидат физико-математических наук

Репников Николай Иванович

«01» сентября 2022 года



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Саввина Сергея Викторовича «Алгоритмы обработки изображений с достижением эффекта сверхразрешения на основе методов оптимальной фильтрации и машинного обучения», представленную в диссертационный совет 24.2.288.05 на базе ФГБОУ ВО «ВГУ» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Актуальность темы диссертации.

Функционирование многих современных информационных систем в различных отраслях связано с решением задач обработки цифровых графических данных (отдельных изображений, последовательностей изображений или видеоданных). Зачастую эффективность такой обработки напрямую зависит от качества поступающих на вход изображений. При этом можно выделить различные факторы, негативно влияющие на обрабатываемые цифровые изображения и, как следствие, на качество получаемых результатов. Одним из таких факторов является недостаточное пространственное разрешение цифровых изображений, приводящее к низкой детализации отображаемой сцены. При этом повышение разрешения за счёт улучшения технических средств регистрации и передачи данных во многих случаях не представляется возможным (например, из-за технических ограничений), что влечёт необходимость в разработке алгоритмов повышения разрешения изображений (алгоритмов сверхразрешения) для первичной обработки поступающих на вход данных.

Другой проблемой, возникающей при обработке цифровых графических материалов, является наличие на них различного рода помех, появляющихся как из-за технического несовершенства систем регистрации и передачи изображений, так и из-за изменчивых условий внешней среды. Отсюда возникает необходимость в дополнительной первичной обработке входных изображений с целью компенсации помех, которую можно проводить совместно с процедурой повышения разрешения. Здесь особый интерес представляют помехи аппликативного характера, проявляющиеся в появлении на изображениях отдельных областей закрытия, порождающих локализованные в пределах каждого изображений аномальные наблюдения, носящие случайный характер.

В существующих работах рассматривался вопрос синтеза алгоритмов многокадрового сверхразрешения с одновременным устранением воздействия аппликативных помех на основе использования постулируемых математических моделей данных в рамках статистической теории решений (в частности, на основе методов оптимальной фильтрации). Однако в этих работах не уделяется достаточное внимание вопросу синтеза алгоритмов в условиях статистической неопределенности относительно параметров используемых математических моделей. Остается открытым, в частности, вопрос об адекватности используемых моделей данных (в частности, гауссовской модели) для описания изображений.

Кроме того, в настоящее время перспективным подходом к решению различных задач обработки изображений, является использование методов машинного обучения. Данный подход значительно отличается от статистического, так как он не опирается на явное задание математических моделей, описывающих обрабатываемые данные, а основан на использовании значительных по объему обучающих выборок. При этом в известных работах, использующих сверточные нейронные сети для построения сверхразрешения, не рассматривается вопрос компенсации аппликативных помех на входных изображениях.

Очевидно, также, что в настоящее время назрела необходимость сопоставления результатов, получаемых при реализации этих двух фундаментальных подходов к построению алгоритмов обработки изображений и, в частности, алгоритмов СР в условиях АП, для формирования объективной оценки их возможностей, преимуществ и недостатков.

Таким образом, тема диссертации Саввина С.В., посвященная разработке и исследованию моделей и алгоритмов построения сверхразрешения для последовательностей изображений, подверженных воздействию аппликативных помех, на основе методов оптимальной фильтрации и машинного обучения представляется актуальной.

Тема работы непосредственно связана с научно-исследовательскими работами, выполняемыми в высших учебных заведениях и научно-исследовательских организациях РФ, и соответствует научным направлениями ФГБОУ ВО «ВГУ» «Математическое моделирование, программное и информационное обеспечение, методы вычислительной и прикладной математики и их применение к фундаментальным исследованиям в естественных науках», «Проблемы передачи, получения, обработки и хранения информации».

Диссертационная работа содержит введение, четыре раздела основного текста, заключение и список литературы. Во введении обоснована актуальность работы, ясно сформулированы цель и задачи исследования, отражены научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов исследования.

В первом разделе диссертации на основе публикаций отечественных и зарубежных авторов проведён подробный анализ известных алгоритмов и методов построения сверхразрешения, рассмотрены известные подходы к устранению воздействия аппликативных помех на цифровые изображения, в том числе основанные на классической модели спиновых стёкол, модели спиновых стёкол с учетом инерционного движения аппликативной помехи, модели случайных марковских полей. Представлена общая схема проведения исследований алгоритмов обработки последовательностей изображений на основе методов оптимальной фильтрации и машинного обучения с целью построения сверхразрешения в условиях аппликативных помех.

Во втором разделе представлена и обоснована общая итеративная схема обработки последовательности изображений для построения многокадрового сверхразрешения. На её основе синтезирован и исследован комплексный алгоритм многокадрового сверхразрешения на основе методов оптимальной линейной и нелинейной фильтрации в условиях воздействия аппликативных помех, учитывающий статистическую неопределенность относительно параметров используемых математических моделей. Предложен двухэтапный алгоритм сегментации областей, подверженных воздействию аппликативных помех, на основе алгоритмов суперпиксельной сегментации и кластеризации на основе EM - метода, который включен в синтезированный комплексный алгоритм построения сверхразрешения.

В третьем разделе диссертации рассматривается вопрос синтеза комплексных алгоритмов многокадрового сверхразрешения на основе использования глубоких сверточных нейронных сетей. Синтезированы и исследованы два алгоритма многокадрового сверхразрешения: с проведением сегментации областей, подверженных воздействию аппликативных помех, и без выполнения подобной сегментации.

В четвертом разделе синтезируются и исследуются два алгоритма сверхразрешения видеоданных на основе использования глубоких свёрточных нейронных сетей: на основе предложенного ранее алгоритма многокадрового сверхразрешения и на основе использования особой многовходовой нейронной сети в виде ненаправленного ациклического графа, учитывающей особенности обработки видеоданных.

Научная новизна результатов работы определяется следующим.

1. Проведена декомпозиция процесса обработки последовательности изображений, подверженных воздействию аппликативных помех, в интересах повышения их разрешения и общего качества в условиях получения аномальных наблюдений, порождаемых аппликативными искажениями.

2. Синтезирован и исследован комплексный алгоритм многокадрового сверхразрешения в условиях аппликативных помех, основанный на методах адаптивной нелинейной фильтрации с целью учёта статистической неопределённости относительно параметров используемой математической модели наблюдений. Проведено сравнение синтезированного алгоритма с известными аналогами – алгоритмами построения сверхразрешения на основе классической модели спиновых стёкол, модели спиновых стёкол с учетом инерционного движения аппликативной помехи, модели случайных марковских полей.

3. Синтезирован и исследован алгоритм сегментации на поступающих изображениях областей, подверженных воздействию аппликативных помех, который основан на суперпиксельной сегментации изображения с последующим кластерным анализом полученных суперпикселей. Получены математические соотношения для оценки вероятности принадлежности пикселей к полезным и аномальным наблюдениям, необходимые для вычисления весовых коэффициентов в процессе адаптивной фильтрации в рамках синтезированного комплексного алгоритма сверхразрешения.

4. Синтезированы и исследованы комплексные алгоритмы многокадрового сверхразрешения в условиях аппликативных помех на основе использования ансамбля свёрточных нейронных сетей. Предложена и обоснована архитектура искусственной нейронной сети в виде направленного ациклического графа, используемая на этапе обновлений оценки после поступления нового изображений в последовательности, в интересах повышения детализации обрабатываемых изображений.

Проведено масштабное сопоставительное исследование указанных алгоритмов с алгоритмами, синтезированными на основе методов оптимальной фильтрации.

5. Синтезированы и исследованы комплексные алгоритмы сверхразрешения видеоданных в условиях аппликативных помех на основе использования ансамбля свёрточных нейронных сетей. Предложена и обоснована архитектура искусственной

нейронной сети в виде направленного ациклического графа в интересах повышения детализации обрабатываемых кадров с учётом особенностей обработки видеоданных. Предложен оригинальный алгоритм сегментации областей видеок кадров, подверженных воздействию аппликативных помех, основанный на использовании априорного неискаженного изображения сцены. Проведено экспериментальное сравнение синтезированных алгоритмов сверхразрешения видеоданных между собой.

Степень обоснованности и достоверность результатов диссертации. Представленные в диссертационной работе выводы и рекомендации, в целом, следует признать обоснованными и достоверными. Это подтверждается корректным использованием в работе взаимно дополняющих друг друга теоретических и экспериментальных (обработка реальных изображений) методов исследований, совпадением результатов, полученных с использованием различных методов, между собой, а также, в ряде частных случаев, с результатами, представленными в известной литературе, наглядным физическим истолкованием установленных закономерностей и соотношений.

Автор проявил достаточно уверенное владение методами математического анализа, теории вероятностей, теории оптимальной марковской фильтрации, машинного обучения.

Теоретическая и практическая значимость для соответствующей отрасли науки определяется возможностью использования развитого в диссертации методического аппарата для проведения синтеза алгоритмов обработки информации в интересах анализа цифровых изображений в современных системах обработки информации, а также управляющих и информационно-измерительных системах различного назначения.

В рамках решаемой задачи впервые дана объективная оценка преимуществ и недостатков двух альтернативных подходов, базирующихся на применении методов оптимальной динамической фильтрации изображений, и методов машинного обучения с использованием глубоких нейронных сетей.

Полученные в работе результаты позволяют проводить анализ различных подходов к синтезу алгоритмов повышения разрешения и детализации изображений для последовательностей изображений и видеоданных в интересах выбора наиболее подходящего для конкретной задачи алгоритма.

Предложенные и обоснованные модели и алгоритмы сверхразрешения могут использоваться для первичной обработки входных данных во многих задачах анализа изображений. Результаты диссертационной работы также имеют практическое значение для разработки математического и программного обеспечения в интересах автоматической обработки цифровых изображений в информационных системах различного назначения.

Реализация результатов и рекомендации по их дальнейшему использованию. В настоящее время полученные в диссертации результаты в части разработки алгоритмов обработки изображений в интересах повышения их пространственного разрешения использованы при выполнении НИР, проводимых ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» в период 2018-2020 гг.

В дальнейшем, результаты, полученные в работе, целесообразно использовать в организациях, занимающихся вопросами создания систем компьютерного зрения, цифровой обработки изображений, систем управления и принятия решений. В частности, полученные результаты могут быть использованы в научных теоретических и прикладных исследованиях, осуществляемых в **Белгородском государственном национальном исследовательском университете**, Воронежском государственном университете, в Федеральном исследовательском центре «Информатика и управление» РАН (г. Москва), в Институте систем обработки изображений РАН (г. Самара), Санкт-Петербургском институте информатики и автоматизации РАН, Ярославском государственном университете им. П.Г. Демидова, Юго-Западном государственном университете (г. Курск).

Результаты работы также целесообразно использовать в учебном процессе вузов, осуществляющих подготовку бакалавров, магистров и специалистов соответствующих специальностей и направлений.

Следует отметить достаточно полную апробацию основных результатов диссертации и достаточный уровень публикаций. По теме диссертации опубликовано 11 научных работ, причем 6 из них – в журналах, рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертационных работ, в том числе 4 статьи в журналах, индексируемых в БД Scopus и Web of Science.

По диссертации необходимо сделать следующие замечания.

1. Рассмотренная модель аппликативных помех учитывает закрытие полезных наблюдений аномальными наблюдениями без учёта эффекта полупрозрачности, который может возникать на практике, в используемых моделях аппликативных помех в недостаточной степени учтена возможность наличия статистической связи их реализаций на соседних кадрах.

2. В главе 2 не было проведено сравнение предложенного двухэтапного алгоритма сегментации областей аномальных наблюдений с альтернативными вариантами алгоритмов аналогичного назначения.

3. В главах 3 и 4 при описании синтезированных алгоритмов сверхразрешения, основанных на методах машинного обучения, недостаточно чётко описаны критерии и принципы выбора количества слоев, их структуры и параметров при описании архитектур предлагаемых сверточных нейронных сетей в виде ненаправленного ациклического графа.

4. При исследовании алгоритмов сверхразрешения видеоданных на синтетических изображениях в главе 4 не учитывается размытие кадров в результате движения камеры или объектов сцены.

5. Имеется умеренное количество опечаток и стилистических неточностей.

Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку представленной работы. Диссертация Саввина С.В. является законченной научно-квалификационной работой, содержит новые результаты в области обработки и восстановления изображений и удовлетворяет требованиям п. 9, 10, 11, 13 и 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ от 24.09.2013, № 842 (в ред. Постановления Правительства РФ от 01.10.2018 № 1168), предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор диссертации – Саввин Сергей Викторович — заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертационной работы.

Отзыв обсужден и утвержден на заседании кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий **ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»**, протокол № 1 от 29 августа 2022 г.

Отзыв составили:

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий

Жиляков Евгений Георгиевич

доктор физико-математических наук,
доцент, профессор кафедры прикладной информатики и информационных технологий

Ломазов Вадим Александрович

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»

Почтовый адрес: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

Телефон: +7 (4722) 30-12-11

E-mail: info@bsu.edu.ru, Web-сайт: <http://www.bsu.edu.ru/>

