

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

**На диссертационную работу Кавневой Евгении Сергеевны
«Методы и алгоритмы субпиксельной обработки цифровых изображений»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.13.17 – теоретические основы информатики**

Диссертационная работа посвящена вопросам улучшения качества цифровых изображений. Особое внимание в работе уделено проблеме повышения разрешения цифровых изображений и, в частности, одному из перспективных направлений ее решения, связанного с субпиксельной обработкой изображений.

В настоящее время требования к качеству цифровых изображений в современных информационных технологиях непрерывно растут. Это относится, например, к таким областям науки и техники как дистанционное зондирование Земли из космоса, техническое зрение, микроскопия. Одной из наиболее важных характеристик цифрового изображения является пространственное разрешение. Разрешение исходного цифрового изображения определяется параметрами матрицы детекторов, используемой при его регистрации. Таким образом, пределы разрешающей способности регистрируемых цифровых изображений определяются уровнем развития средств регистрации. Для того, чтобы получить изображение более высокого разрешения, необходимо синтезировать его из нескольких изображений. Один из перспективных способов такого синтеза заключается в использовании так называемого субпиксельного сканирования объекта съемки. При этом создается группа цифровых изображений одного и того же объекта, отличающихся тем, что объект съемки располагается на них с относительными смещениями на доли пикселя. Синтез изображения высокого разрешения на основе такой группы изображений называют сверхразрешением. Проблема создания и разработки таких методов и в настоящее время остается до конца не решенной. Это дает

основание утверждать, что научная проблема синтеза изображения высокого разрешения, сформулированная в диссертации, является **актуальной**.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы.

Первая глава диссертации имеет обзорный характер – автор последовательно описывает существующие методы улучшения качества цифровых изображений. В главе автор формирует основные требования к этим методам, описывает подходы к понятию субпиксельной обработки изображений, формулирует задачу сверхразрешения. В качестве подхода к субпиксельной обработке изображений и проблеме сверхразрешения в главе рассмотрены способы ресайзинга (изменения размера) изображений, которые автором реализованы в виде программ математического пакета MathCad и проиллюстрированы на примере конкретных изображений.

Вторая глава посвящена методам субпиксельного сканирования и способам обработки получаемых при этом групп цифровых изображений. Здесь автором сначала решена задача синтеза изображения с разрешением, увеличенным в k_1 раз по горизонтали и k_2 раз по вертикали на основе $k_1 \cdot k_2$ исходных изображений. При этом получено основное соотношение, связывающее значения смежных пикселей исходных изображений («больших» пикселей) с пикселями синтезируемого изображения («малыми» пикселями. Кроме того, автором были разработаны алгоритмы формирования модельной группы исходных изображений низкого разрешения и алгоритмы синтеза изображения высокого разрешения. При этом реализованы схемы сверхразрешения как для одномерного, так и двумерного изображений. Работа алгоритмов проиллюстрирована на примере конкретных цифровых изображений, что позволило подтвердить обоснованность предложенной теоретических модели сверхразрешения.

В третьей главе автором предлагаются ряд новых способов получения сверхразрешения. Первый способ основан на использовании специальной

маски, располагаемой над матрицей детекторов (пикселей) на некоторой дистанции от нее. Маска представляет собой экран с диафрагмами размером в один пиксель, расположенными над регистрирующей матрицей в определенном порядке. Изображение фокусируется на маске, а на матрицу попадают части расфокусированного изображения, прошедшие через диафрагмы. При этом каждый из этих расфокусированных фрагментов изображения будет регистрироваться девятью пикселями матрицы и не перекрываться на ней с другими фрагментами. Путем смещений изображения на маске с шагом в один пиксель могут быть получены девять изображений с увеличенным втрое линейным разрешением, которые в сумме дадут полное изображение разрешением с таким же разрешением. Поскольку степень расфокусировки изображения известна (она определяется расстоянием от маски до матрицы детекторов), то резкость изображения может быть восстановлена с использованием представленных математических соотношений. Эффективность этого метода проиллюстрирована автором на примере реального изображения.

Кроме того, в главе рассмотрены способы и исследованы реализующие их алгоритмы получения разрешения, превышающего разрешение регистрирующей матрицы детекторов (т.е. собственно получения сверхразрешения), на основе использования сканирующих линеек специальной конфигурации. Представлены также программные реализации алгоритмов в выбранной программной среде.

В целом научные результаты представляются **научно обоснованными и достоверными**. Такой вывод определяется использованием взаимно дополняющих друг друга методов теоретических и экспериментальных исследований и подтверждается соответствием полученных выводов известным теоретическим представлениям и результатам, экспериментальной проверкой на реальных изображениях, согласованностью результатов теоретических

расчетов с данными, полученными автором в модельных экспериментах, а также с результатами других исследователей.

Апробация результатов исследования в научной печати и на российских конференциях также подтверждает корректность выводов и правильность полученных в диссертации результатов. При проведении исследования автор проявил уверенное владение методами цифровой обработки изображений, а также технологиями проведения компьютерного эксперимента.

Таким образом, **научная новизна** полученных результатов работы определяется следующим.

1. Предложен и теоретически обоснован алгоритм повышения разрешения, реализующий наложение нескольких смещенных изображений низкого разрешения (субпиксельное сканирование), основанный на полученном соотношении, связывающем значения смежных пикселей группы изображений низкого разрешения и значения пикселей изображения высокого разрешения одного и того же объекта. При решении задачи определены краевые условия, которые обеспечили полноту исходных для решения задачи синтеза данных.

2. Предложен метод и разработан реализующий его алгоритм синтеза изображения высокого разрешения на основе группы расфокусированных изображений низкого разрешения, полученных при использовании специальной маски в виде экрана с диафрагмами размером в один пиксель, расположенными над регистрирующей матрицей над каждым третьим ее пикселем по горизонтали и вертикали.

3. Разработаны способы повышения разрешения изображений, основанные на выполнении процедур линейного сканирования изображения специальными трехрядными линейками детекторов, расположенными за маской с диафрагмами, или выполнения сканирования изображения группой однорядных линеек детекторов, сдвинутых относительно друг друга на долю пикселя, равную $1/n$, где n – количество линеек.

В целом, работа производит хорошее впечатление. Автором проведено серьезное исследование задачи, рассмотрен широкий спектр разработанных подходов и аккуратно проанализированы их недостатки. При этом автор достаточно грамотно подошел к построению новых моделей, четко указал их ограничения, с их использованием разработал и успешно реализовал соответствующие алгоритмы

Положения диссертации, представленные в теоретической и практической части отражают степень достоверности результатов проведенных исследований. Решаемые задачи сформулированы на основании глубокого предварительного анализа современного состояния проблемы.

Научная значимость результатов исследований сомнений не вызывает. Она заключается в том, что результаты работы отвечают потребностям развития важного научного направления в области обработки и анализа цифровых изображений. Предложенные методы и алгоритмы позволяют осуществлять улучшение качество изображений в условиях ограниченных возможностей средств регистрации. Полученное автором основное соотношение между пикселями исходных изображений и синтезируемого изображения и также алгоритмы синтеза раскрывают сущность метода сверхразрешения и позволяют оценивать степень возможного повышения разрешения изображения.

Практическое значение работы определяется тем, что решенные задачи могут найти применение в технике получения цифровых изображений с разрешением, превышающим разрешение регистрирующей его матрицы детекторов. Результаты диссертационной работы имеют практическое значение для разработки специализированного программного обеспечения в интересах осуществления автоматизированной обработки тематических изображений.

Считаю, также, целесообразным продолжение работы в направлении разработки комплексов детектирующих матриц, позволяющих создавать группы изображений с известными субпиксельными относительными

сдвигами, однозначно определяющими процедуру синтеза изображения высокого разрешения.

Замечания по диссертационной работе

1. В работе рассмотрены только идеальные условия решения задачи сверхразрешения и не исследованы вопросы оценивания относительных субпиксельных сдвигов различных изображений одного и того же объекта, а также влияния ошибок оценивания на эффективность сверхразрешения. Такое же замечание касается других используемых в моделях параметров, например степени расфокусировки изображений.

2. В используемых моделях получения сверхразрешения отсутствуют шумы регистрации, что не позволяет сделать вывод об эффективности предложенных алгоритмов в условиях низких и умеренных отношениях сигнал-шум. Трудно оценить качество работы алгоритмов в условиях импульсных шумов, а также возможность совмещения предлагаемых алгоритмов с алгоритмами масочной и медианной фильтрации шумов.

3. В диссертации отсутствует количественное сравнение полученных алгоритмов с известными, представлены только качественные соображения.

4. Чтение работы сильно затрудняет используемый автором подход для описания алгоритмов в виде фрагментов программного кода в Mathcad. Было более правильным и корректным по отношению к читателю текста диссертации привести алгоритмы полностью в математической форме, дополненной рисунками в виде стандартной блочной формы, либо в виде псевдокода.

5. Отдельные материалы обзорной главы перегружены, в них много известных и тривиальных рассуждений.

Заключение. Несмотря на отмеченные недостатки общее впечатление от диссертационной работы Е. С. Кавиевой положительное. Результатом работы является решение важной научной задачи, связанной с актуальным

направлением развития информационных технологий. Приведенные результаты можно классифицировать как новые, обоснованные и имеющие практическое и научное значение.

Работа является законченной и выполнена автором самостоятельно на достаточном научном уровне. Диссертация написана доходчиво, грамотно и аккуратно оформлена. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации. Работа отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор Кавиева Евгения Сергеевна заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.17 – «Теоретические основы информатики».

Заведующий кафедрой технологий обработки и защиты информации
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»,
доктор технических наук, профессор

«16» марта 2016 г.

Сирота Александр Анатольевич

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»,
ФГБОУ ВПО «ВГУ»

394006, Воронеж, Университетская пл.1.

тел. (473) 2-208-909, email: sir@cs.vsu.ru

Домашний адрес: 394036, г. Воронеж

ул. Ф.Энгельса, д. 12, кв.196

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ВГУ»)	
Подпись	<i>Сирота А.А.</i>
Сверяю	начальник отдела кадров УКАП
	должность
	О.И. Зверева 16.03.16
	расшифровка подписи

