

Учреждение образования Белорусский  
государственный университет информатики и  
радиоэлектроники

УДК 621.391

Захаренко  
Ангелина Валерьевна

Алгоритмы повышения пространственного  
разрешения изображений земной поверхности

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра  
по специальности 1-45 80 01 «Системы и сети инфокоммуникаций»

---

Научный руководитель  
Шевчук О.Г.  
канд. техн. наук, доцент

---

Минск 2021

## **КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ**

При интерпретации снимков возникают проблемы, связанные с подавлением высокочастотных составляющих на изображении. Улучшение параметров изображений было бы возможным путем изготовления матриц с большим числом фотоприемных элементов и создания на их основе новых оптоэлектронных приборов. Однако подобный подход на сегодняшний день является плохо реализуемым из-за увеличения габаритов, веса и стоимости изделия. В связи с этим основным направлением обработки изображений являются цифровые методы, благодаря развитию которых задача повышения разрешения изображений стала крайне актуальной.

Целью диссертационной работы является повышение разрешения изображений с помощью алгоритма доменной интерполяции. Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие задачи:

- анализ существующих методов повышения разрешения;
- разработка алгоритма формирования изображений низкого пространственного разрешения;
- разработка алгоритма повышения разрешения изображения на основе доменной интерполяции;
- оценка эффективности алгоритма формирования изображений низкого пространственного разрешения;
- оценка эффективности алгоритма повышения разрешения изображений на основе доменной интерполяции.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Связь работы с крупными научными программами**

Тема диссертационной работы соответствует пункту 5 приоритетных направлений научных исследований Республики Беларусь на 2016–2020 гг., утвержденных Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 190 от 12 марта 2015 г. «Информатика и космические исследования».

### **Цель и задачи исследования**

Целью диссертационной работы является повышение разрешения параметров изображений с помощью алгоритма доменной интерполяции. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- анализ существующих методов повышения разрешения;

- разработка алгоритма формирования изображений низкого пространственного разрешения;
- разработка алгоритма повышения разрешения изображения на основе доменной интерполяции;
- оценка эффективности алгоритма формирования изображений низкого пространственного разрешения;
- оценка эффективности алгоритма повышения разрешения изображений на основе доменной интерполяции.

### **Личный вклад соискателя ученой степени**

Содержание диссертации отображает личный вклад автора. Он заключается в научном обосновании алгоритмов повышения разрешения изображения, оценке эффективности разработанных алгоритмов, обработке и анализе полученных результатов, формулировке выводов.

Определение целей и задач исследований, интерпретация и обобщение полученных результатов проводились совместно с научным руководителем к.т.н. О.Г. Шевчук и д.т.н. доцентом В.Ю. Цветковым.

### **Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов**

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 56-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР «Инфокоммуникации» (Минск, 2020), XVIII и XIX Белорусско-российской научно – технической конференции «Технические средства защиты информации» (Минск, 2020 – 2021) и Международной научно-практической конференции «Кодирование и цифровая обработка сигналов в инфокоммуникациях» (Минск, 2021).

### **Опубликование результатов диссертации**

По результатам исследований, представленных в диссертации, опубликовано 3 тезиса и 1 статья в сборниках и материалах конференций.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав с выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка, одного приложения и графического материала.

Общий объем диссертационной работы составляет 74 страниц, из них 53 страниц текста, 26 рисунка на 20 страницах, 2 таблиц на 2 страницах, список использованных библиографических источников (35 наименований на 3 страницах), список публикаций автора по теме диссертации (4 наименования на 1 страницах), 1 приложение на 14 страницах и графический материал на 8 страницах.

### **Проверка на заимствования**

Проведена экспертиза диссертационной работы на корректность использования заимствованных материалов с применением сетевого ресурса «Антиплагиат» (адрес доступа: <http://nlb.antiplagiat.ru>) в on-line режиме 14.04.2021 г. В результате проверки установлена корректность использования заимствованных материалов (оригинальность диссертационной работы составляет 93,6%).

### **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** дано краткое обоснование актуальности работы, сформулированы цель работы и задачи исследования.

В **первой главе** дан обзор и классификация методов повышения разрешения изображений.

Методы интерполяции заключаются в повышении дискретизации изображения.

При использовании нелинейных методов для каждого интерполируемого пикселя задается своя собственная функция, которая зависит от значений пикселей всего изображения. К нелинейным методам относятся градиентные методы, WADI, NEDI.

Линейные методы являются неадаптивными, то есть обрабатывают все пиксели одинаково. Они представляет собой свёртку. К линейным неадаптивным методам относится метод ближайшего соседа, билинейная интерполяция, интерполяция кубическими сплайнами, бикубическая интерполяция и т.д.

Фактически методы интерполяции улучшают разрешение изображения только на основе его собственных сигналов, не принося никакой дополнительной информации в изображении. Также эти методы часто вводят побочные эффекты, такие как алиасинг (ступенчатость контуров, эффект «лесенки»), размытие и эффект Гиббса. Текущая тенденция состоит в том,

чтобы заменить методы, основанные на интерполяции, методами суперразрешения.

Суперразрешение направлено на восстановление изображения с высоким разрешением из изображений с низким разрешением. Эти методы, в зависимости от количества используемых кадров, разделяются на суперразрешение многих изображений, или суперразрешения видео, и суперразрешение одного изображения. При суперразрешении многих изображений происходит восстановление изображения с высоким разрешением с использованием предыдущих, а иногда и последующих кадров с низким разрешением. Суперразрешение одного изображения улучшает разрешение изображения только с помощью информации, которая имеется на одном кадре низкого разрешения.

Для создания изображения высокого разрешения с помощью метода суперразрешения одного изображения используются нейронные сети. К методам суперразрешения одного изображения относятся такие группы методов, как предварительное увеличение разрешения, пост-увеличение разрешения, прогрессивное увеличение разрешения, итеративное повышение и понижение разрешения.

Для восстановления изображения высокого разрешения с помощью метода суперразрешения многих изображений используются методы как с использованием нейронных сетей, так и без, так называемые классические методы. К классическим методам суперразрешения многих изображений относятся такие группы методов, как частотные методы, пространственные методы, методы с использованием интерполяции и т.д. К методам суперразрешения многих изображений с использованием нейронных сетей относятся такие группы методов, как методы оценки и компенсации движения, методы деформируемой свертки, пространственные невыровненные методы и т.д.

На данный момент использование нейронных сетей в обработке изображений является передовым направлением. Несмотря на то, что современные методы суперразрешения, основанные на глубоком обучении, показывают хорошие результаты, все равно у них есть некоторые недостатки. Основными недостатками является необходимость огромных вычислительных ресурсов, памяти и временных затрат на обучение.

Во **второй главе** предложены алгоритм формирования изображений низкого пространственного разрешения и алгоритм повышения разрешения изображения.

Предложенный алгоритм формирования изображений низкого пространственного разрешения, смещенных друг относительно друга на доли пикселя в низком разрешении, может использоваться для уменьшения разрешения изображений в  $S = 2^N$  раз, где  $S$  – коэффициент масштабирования, а  $N$  – целое положительное число. При этом количество получаемых изображений совпадает с коэффициентом масштабирования.

Предложенный алгоритм может использоваться не только для понижения пространственного разрешения изображения, но и для формирования исходных данных в виде серии изображений низкого пространственного разрешения для тестирования алгоритмов суперразрешения.

Блок-схема алгоритма формирования изображений низкого пространственного разрешения представлена на рисунке 1.

Алгоритм повышения разрешения на основе доменной интерполяции может использоваться для повышения разрешения изображений в  $S = 2^N$  раз, где  $S$  – коэффициент масштабирования, а  $N$  – целое положительное. Исходными данными является серия изображений низкого пространственного разрешения. В ходе работы алгоритм формирует изображение высокого разрешения.

Блок-схема алгоритма увеличения разрешения изображения на основе доменной интерполяции представлена на рисунке 2.

В третьей главе произведена оценка эффективности предложенных алгоритмов.

В качестве критерия эффективности используется значение среднеквадратической ошибки ( $MSE$ ). Значение среднеквадратической ошибки рассчитывается по следующим формулам:

1 Для оценки подобию изображений с разным сдвигом при использовании разработанного алгоритма:

$$MSE = \frac{1}{N^2} \sum_{i=0}^{n-1} (X_i - X_i')^2,$$

где  $X_i$  – значение  $i$ -го пикселя изображения, сформированного предложенным алгоритмом,  $X_i'$  – значение  $i$ -го пикселя изображения, сдвинутого относительно изображения  $X_i$  на пиксель,  $N^2$  – общее число пикселей изображения.

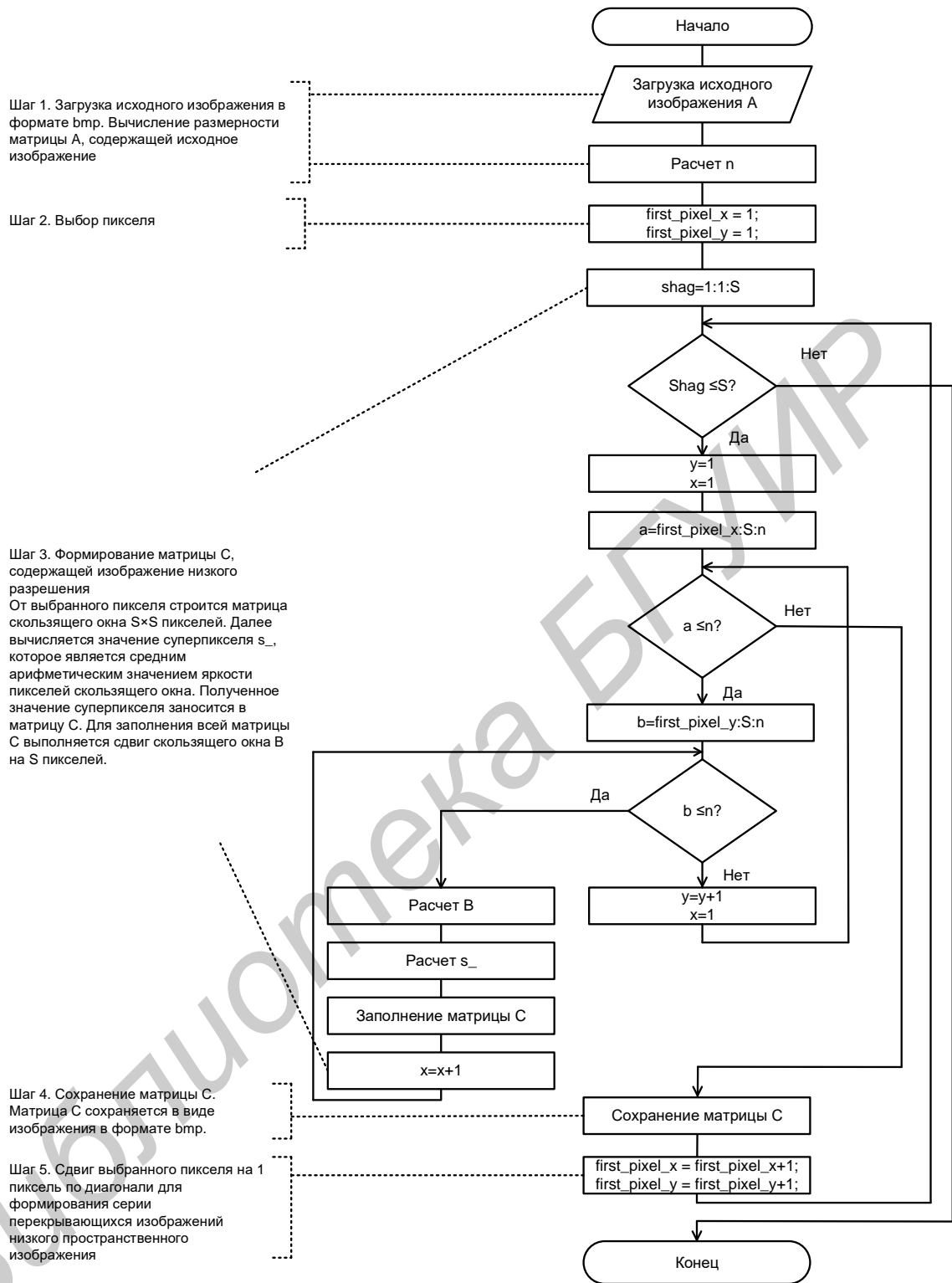


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма формирования изображения низкого пространственного разрешения

Шаг 1. Загрузка исходных изображений HP.  
Изображения HP загружаются в цикле в две матрицы в соответствии с каскадной схемой. В первую матрицу A загружаются изображения с 1 по  $S/2$ , во вторую матрицу B с  $S/2+1$  по S

Шаг 2. Заполнение массива R1.  
Для заполнения массива R1 сперва вычисляется значение яркости домена матрицы B путем суммирования всех четырех пикселей домена. Полученное значение яркости используется для вычисления промежуточного изображения, которое заносится в матрицу R1.

Шаг 3. Заполнение массива R2.  
Для заполнения массива R2 сперва вычисляется значение яркости домена матрицы A путем суммирования всех четырех пикселей домена. Полученное значение яркости используется для вычисления промежуточного изображения, которое заносится в матрицу R2.

Шаг 4. Заполнение массива Rs  
Промежуточное изображение из первого канала каскадной схемы R1 усредняется с промежуточным изображением из второго канала каскадной схемы R2 с округлением до целой части, образуя итоговое изображение повышенного разрешения Rs. Изображение Rs сохраняется в формате bmp. Цикл заканчивается, когда из двух изображений формируется последнее изображение высокого разрешения.

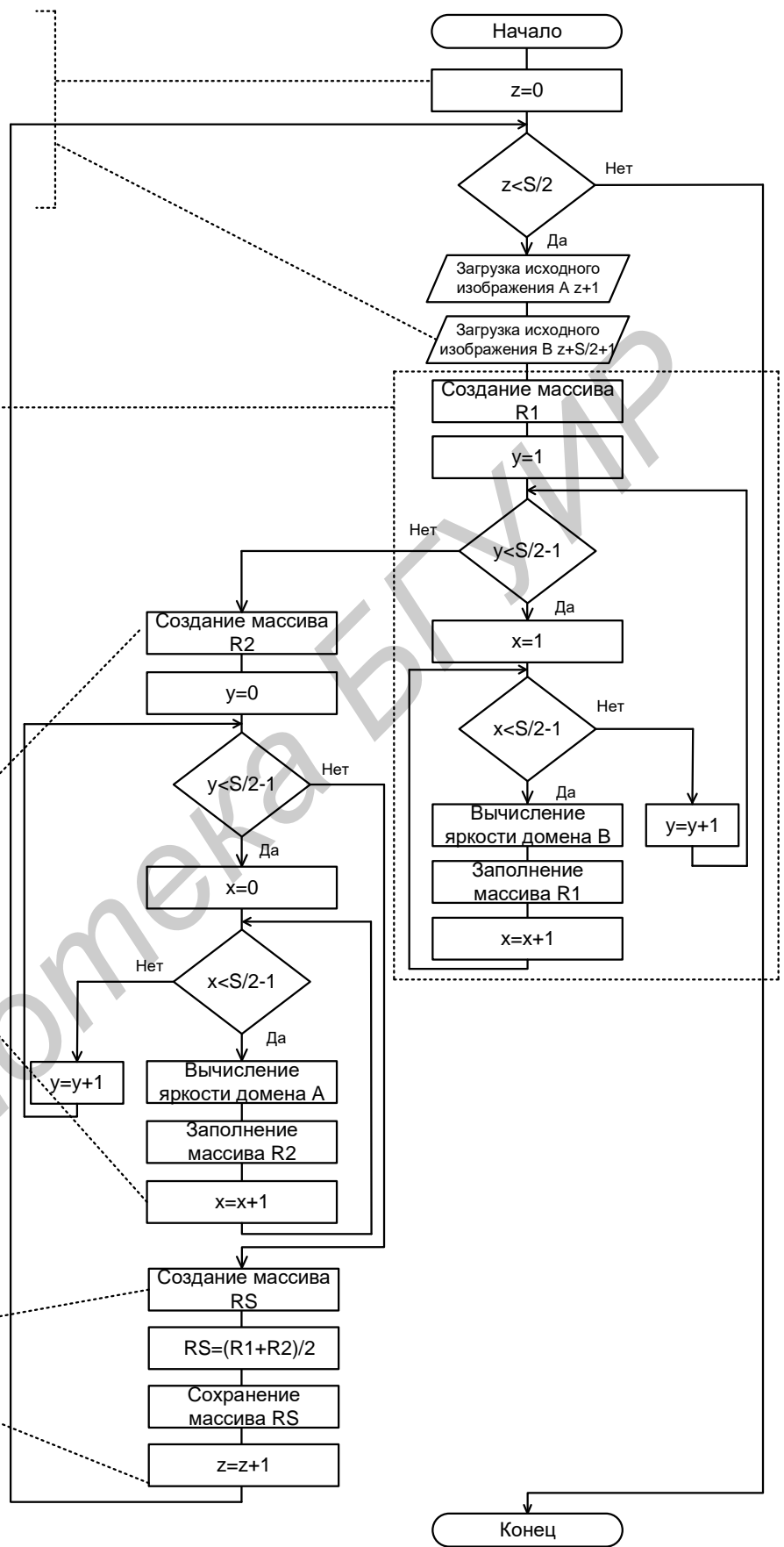


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма повышения разрешения изображения на основе доменной интерполяции



2 Для сравнительной работы тестируемых алгоритмов:

$$MSE = \frac{1}{N^2} \sum_{i=0}^{n-1} (X_i - X'_i)^2,$$

где  $X_i$  – значение  $i$ -го пикселя исходного изображения,  $X'_i$  – значение  $i$ -го пикселя изображения, сформированного тестируемым алгоритмом (билинейной, бикубической или доменной интерполяции),  $N^2$  – общее число пикселей изображения.

В результате оценки алгоритма формирования изображений низкого разрешения было установлено, что увеличение сдвига приводит к увеличению значения среднеквадратичной ошибки в среднем на 0,006 и, следовательно, к незначительному снижению схожести изображений. При сравнении с алгоритмами билинейной и бикубической интерполяции предложенный алгоритм имеет результаты незначительно отличающиеся по значению  $MSE$  от методов билинейной и бикубической интерполяции.

При нестабильности сдвига на этапе формирования серии изображений низкого пространственного разрешения увеличение либо уменьшение сдвига на величину нестабильности практически не влияет на работу представленного алгоритма

Предложенный алгоритм повышения разрешения изображений на основе доменной интерполяции имеет в среднем в 4 раза меньшее значение  $MSE$ , чем алгоритмы билинейной и бикубической интерполяции.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе диссертационной работы разработаны алгоритм формирования изображений низкого пространственного разрешения и алгоритм повышения пространственного разрешения изображений на основе доменной интерполяции.

Оценка эффективности алгоритма формирования изображений низкого пространственного разрешения показала, что при увеличении сдвига изображений низкого пространственного разрешения значение среднеквадратичной ошибки увеличивается в среднем на 0,006, что свидетельствует об отсутствии его влияния на работу алгоритма. Предложенный алгоритм демонстрирует схожие результаты по сравнению с методами билинейной и бикубической интерполяции по полученному значению среднеквадратической ошибки.

Оценка эффективности алгоритма повышения пространственного разрешения изображений на основе доменной интерполяции показала, что величина сдвига  $k = [\frac{1}{8} \dots \frac{1}{2}]$  доли пикселя практически не влияет на работу представленного алгоритма, а значение среднеквадратической ошибки в среднем в 4 раза меньше в сравнении с методами билинейной и бикубической интерполяции. Исходя из визуальной оценки можно сказать, что изображения, полученные с помощью предложенного алгоритма, имеют больший контраст и меньшее размытие в сравнении с методами билинейной и бикубической интерполяции, что приводит к лучшей видимости деталей объекта. Недостатком алгоритма повышения разрешения на основе доменной интерполяции является наличие артефактов в виде ярко выраженной сетки и белых пятен.

### СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА

1 – А. Захаренко А.В. Повышение разрешение изображений в системах видеонаблюдения / А.В. Захаренко // Технические средства защиты информации: тезисы докладов XVIII Белорусско-российской научно – технической конференции. – 2020. – С. 31.

2 – А. Захаренко А.В. Алгоритмы повышения разрешения изображений / А.В. Захаренко // Инфокоммуникации: сборник тезисов докладов 56-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. – 2020. – С. 78 – 79.

3 – А. Захаренко А.В. Оценка искажений изображений при субпиксельном сдвиге камеры / А.В. Захаренко, О.Г. Шевчук, В.Ю. Цветков // Международная научно-практическая конференция «Кодирование и цифровая обработка сигналов в инфокоммуникациях». – 2021. – С. 28 – 34.

4 – А. Захаренко А.В. Алгоритм повышения разрешения на основе доменной интерполяции / А.В. Захаренко // Технические средства защиты информации: тезисы докладов XIX Белорусско-российской научно – технической конференции. – 2021. – Принято к публикации.