

Научная статья

УДК 621.397

<https://doi.org/10.31854/1813-324X-2025-11-6-26-33>

EDN:BEKYTQ



# Усовершенствованная методика совмещения изображений городской местности при съемке беспилотным летательным аппаратом

Альфия Асхатовна Диязитдинова, [a.diyazitdinova@psuti.ru](mailto:a.diyazitdinova@psuti.ru)

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики,  
Самара, 443010, Российская Федерация

## Аннотация

**Актуальность.** Сокращение вычислительной сложности процедуры совмещения изображений является актуальной областью исследования. В статье рассматривается задача обработки изображений городской местности, полученных при съемке беспилотным летательным аппаратом. Разработка быстродействующей методики совмещения позволит строить цифровую карту местности по изображениям, снимаемым несколькими летательными аппаратами за ограниченное время (в идеале в режиме реального времени), что может быть использовано для решения оперативных задач.

**Цель (исследования).** Снижение вычислительной сложности процедуры совмещения за счет предварительной оценки параметров по ограниченной выборке так называемых точек интереса.

**Методы:** аналитический обзор релевантных научных публикаций, эксперимент, алгоритмизация.

В ходе **решения** научной задачи была разработана методика совмещения изображений, снятых беспилотным летательным аппаратом, для создания цифровой карты местности; была предложена модификация ранее разработанной методики, позволяющая снизить вычислительную сложность при обработке изображений, основанная на предположении об ограниченности диапазона изменения параметров трансформаций; отмечено преимущество усовершенствованной методики и удовлетворительные результаты проверки на данных натурной видеосъемки.

**Результат.** Предложена усовершенствованная методика совмещения изображений, которая характеризуется меньшим временем обработки, чем исходная. Экспериментальная проверка показала снижение времени в два раза (с 50 до 23 с), а также удовлетворительный результат совмещения 100 пар снимков.

Научная новизна работы определяется авторским подходом к сужению диапазона коэффициента масштабирования и угла поворота при сопоставлении фрагментов совмещаемых изображений. Подход предложен впервые.

**Значимость (теоретическая).** Было подтверждено предположение, что фрагменты изображения городской местности, снятые беспилотным летательным аппаратом, имеют ограниченный диапазон трансформации по коэффициенту масштабирования и углу поворота.

**Значимость (практическая).** Результаты исследований могут быть использованы при создании системы технического зрения для формирования цифровой карты местности в режиме реального времени, обеспечивающей решение оперативных задач по обнаружению и отслеживанию перемещения объектов интереса.

**Ключевые слова:** совмещение, беспилотный летательный аппарат, изображение, точки интереса, геометрические ограничения, уникальные фрагменты, масштабный коэффициент, угол поворота, быстродействие

**Ссылка для цитирования:** Диязитдинова А.А. Усовершенствованная методика совмещения изображений городской местности при съемке беспилотным летательным аппаратом // Труды учебных заведений связи. 2025. Т. 11. № 6. С. 26–33. DOI:10.31854/1813-324X-2025-11-6-26-33. EDN:BEKYTQ

Original research

<https://doi.org/10.31854/1813-324X-2025-11-6-26-33>

EDN:BEKYTQ

# Enhanced Method for Image Alignment of Urban Infrastructure Images by UAV Shooting

 Alfiya A. Diyazitdinova, a.diyazitdinova@psuti.ru

Povelzhskiy State University of Telecommunications and Informatics,  
Samara, 443010, Russian Federation

## Annotation

**Relevance.** Reducing the computational cost of image alignment procedures is an important field of research. The article considers the problem of processing urban infrastructure images obtained by UAV. The development of a high-speed method will make it possible to construct a digital map of an area by images from several UAVs in a limited time (ideally in real-time), which can be used to solve operational problems.

**Purpose of the work.** Reducing the computational cost of the alignment procedure by preliminary estimating the parameters based on a limited sample of interest points.

**Methods used:** analytical review of relevant scientific publications, experiment, algorithmization.

The method for Image Alignment of Urban Infrastructure Images by UAV Shooting to make a digital map was developed to **solve** a scientific problem; the previously developed technique was enhanced; it reduced the computational complexity of image processing; the basis of the enhancement was the assumption that the transformation parameters range is limited; the advantage of the enhanced methodology were noted in the research.

**Results.** An enhanced method of image alignment is proposed, which is characterized by shorter processing time than the original one. Experimental testing showed a reduction in time by half (from 50 s to 23 s), as well as a satisfactory result in combining 100 pairs of images.

The work scientific novelty is determined by the author's approach to narrowing the range of the scaling coefficient and rotation angle for fragments matched of the alignment images. The approach is proposed for the first time.

**Theoretical significance.** The assumption was confirmed that fragments of the image of urban infrastructure taken by UAV have a limited range of transformation of scaling and rotation.

**Practical significance.** The research results can be used to make a machine vision system for digital map constructions in real-time. It provides a solution to operational problems of objects detecting and tracking the movement.

**Keywords:** alignment, unmanned aerial vehicle, image, points of interest, geometric restriction. unique fragment, scale, rotate angle, computational cost

**For citation:** Diyazitdinova A.A. Enhanced Method for Image Alignment of Urban Infrastructure Images by UAV Shooting. *Proceedings of Telecommunication Universities.* 2025;11(6):26–33. (in Russ.) DOI:10.31854/1813-324X-2025-11-6-26-33. EDN:BEKYTQ

## Введение

Широкое практическое применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) стимулировало развитие многих областей науки в радиотехнике. Кроме традиционных направлений, связанных с приемом и передачей сигналов по радиоканалам, стремительно развиваются исследования в области обработки изображений, снимаемых видеокамерой БПЛА. Обработка изображений используется для оперативного управления, а также для сбора информации об объектах контроля, содержа-

щихся на изображениях [1–3]. В данной работе рассматривается задача совмещения изображений городской местности, снятых БПЛА. Актуальность исследования связана с построением цифровой карты местности по изображениям, которые существенно отличаются по размеру и ориентацией (примечание: отличаются масштабным коэффициентом и углом поворота) за ограниченное время (в идеале – в режиме реального времени). Решение этой проблемы позволит проводить съемку несколькими БПЛА, и за короткий промежуток вре-

мени обеспечит построение цифровой карты местности, которая может быть использована для решения оперативных задач.

Несомненно, поставленная задача должна решаться в комплексе, который охватывает технические, организационные и методико-теоретические вопросы. Например, желательно использовать камеры, оснащенные видеоматрицами с близкими техническими параметрами, чтобы снимаемые изображения мало отличались яркостными характеристиками (контрастностью и мощностью шума). Это, в свою очередь, обеспечивает стабильность обработки данных и высокую помехозащищенность. Ракурс съемки различных БПЛА должен обеспечивать достаточную зону перекрытия сцен, чтобы была практическая возможность совмещения изображения. А методы распознавания образов должны обеспечить разработку способов и алгоритмов совмещения, обладающих высоким быстродействием. Исследованию последнего вопроса посвящена данная работа.

### Обзор работ

Вопрос совмещения изображений и проблема обеспечения высокого быстродействия являются известными и широко освещаются в научном сообществе.

В работах [4, 5] предложена идея распознавания так называемых точек интереса и формирования их описателей (дескрипторов). Дескрипторы используются для сопоставления точек интереса, после чего проводится расчет параметров модели совмещения по сопоставленным парам точек. Дополнительно для борьбы с неверно сопоставленными точками применяется метод RANSAC [6], благодаря чему погрешность совмещений снижается, обеспечивая приемлемый для практики результат. Недостатком этих методов является высокое время обработки при вычислении дескрипторов.

В работах [7, 8] представлены методы, ориентированные на совмещение контуров постилающей поверхности. Метод основан на распознавании особых точек на контурах, но без необходимости расчета дескрипторов. Совмещение определяется в результате проверки гипотез, а метрикой сравнения служит количество совпадающих контурных точек. Недостатком метода является узкая практическая применимость, связанная с выделением контуров на изображениях постилающей поверхности, фактически, границ рек, озер, полей, лесов и т. д. При анализе изображений, содержащих произвольные сцены, формируемые контуры не обеспечивают требуемую помехозащищенность.

Алгоритм быстрого совмещения изображений представлен в работе [9]. Высокая скорость обеспечивается за счет предварительного распознава-

ния прямых линий. Соответственно, если на изображении отсутствуют объекты, которые могут быть описаны прямыми линиями, то разработанный алгоритм будет неработоспособен.

Также известна работа [10], в которой совмещаются изображения, полученные со спутников. Однако различия по масштабному коэффициенту не должны превышать 2 %, а различия по углу поворота – 5 градусов. Это ограничивает возможности практического применения разработанного метода.

Анализ работ по решаемой задаче позволил выбрать общую стратегию построения методики совмещения.

Во-первых, было определено, что для решения поставленной задачи следует ориентироваться на распознавание точек интереса на изображениях, так как оценка параметров модели совмещения путем предварительного сопоставления в вычислительном плане более экономична, чем пиксельное сравнение изображений.

Во-вторых, необходимо уменьшить время, связанное с сопоставлением точек, которые зависят от времени вычисления дескриптора и количества точек. Уменьшение количества точек может вести к снижению помехозащищенности, поэтому перспективным является уменьшение времени и вычисление дескриптора.

Дескриптор содержит информацию о фрагментах, а фрагменты различных изображений могут отличаться размерами и ориентацией (коэффициентом масштабирования углом поворота). Для сравнения двух фрагментов дескриптор должен быть независимым от масштаба и поворота, поэтому процедура его вычисления занимает значительное время, чтобы учесть широкие диапазоны изменений этих параметров. Если найдется способ, чтобы сузить эти диапазоны, то это позволит сократить время вычисления дескриптора, и, соответственно, повысить скорость совмещения.

На основании этих положений проводится разработка и усовершенствование методики совмещения изображений, представленной в работах [11, 12].

### Исходная методика совмещения

Пусть даны изображения  $F(x, y)$  и  $G(x', y')$ , которые связаны между собой проективной моделью преобразования:

$$x = \frac{h_{11} \cdot x' + h_{12} \cdot y' + h_{13}}{h_{31} \cdot x' + h_{32} \cdot y' + 1}, \quad (1)$$

$$y = \frac{h_{21} \cdot x' + h_{22} \cdot y' + h_{23}}{h_{31} \cdot x' + h_{32} \cdot y' + 1}. \quad (2)$$

Совмещение означает оценку 8 параметров:  $\{h_{11} \dots h_{32}\}$ .

Выражения (1) и (2) являются линейными относительно неизвестных параметров  $\{h_{11} \dots h_{32}\}$ , поэтому для их оценки достаточно составить 8 линейных уравнений. В контексте обработки необходимо сопоставить четыре точки между изображениями (примечание: каждая точка имеет две координаты, соответственно, 4 точки  $\times$  2 координаты = 8 координат, которые необходимы для составления 8 линейных уравнений). В качестве точек можно использовать точки интереса: Harris, SUSAN, SPDN, Shi-Tomasi и т. д.

Если обозначить  $N$  и  $M$  как количество точек на совмещаемых изображениях, то количество вариантов из четырех точек можно вычислить по выражению:

$$V = C_M^4 \cdot A_N^4, \quad (3)$$

где  $C$  – сочетание;  $A$  – размещение.

Каждому варианту можно поставить в соответствие некоторую метрику [13] (например, коэффициент корреляции общего фрагмента, среднее квадратичное отклонение, количество совпадающих точек и т. д.), и в соответствии с критерием выбрать наиболее правдоподобный вариант.

Данный подход требует значительных вычислительных ресурсов и времени, что связано с перебором большого количества гипотез, поэтому были предложены и экспериментально проверены ряд процедур, которые позволили уменьшить количество гипотез.

#### Предварительное сопоставление точек интереса

Чтобы учитывать различия в масштабе и повороте, использовалось логарифмически-полярное представление, которое исключает необходимость формирования множества шаблонов [11, 14]. На рисунке 1 показан пример сравнения фрагментов изображений городской местности, снятых БПЛА с помощью логарифмически-полярной системы координат.

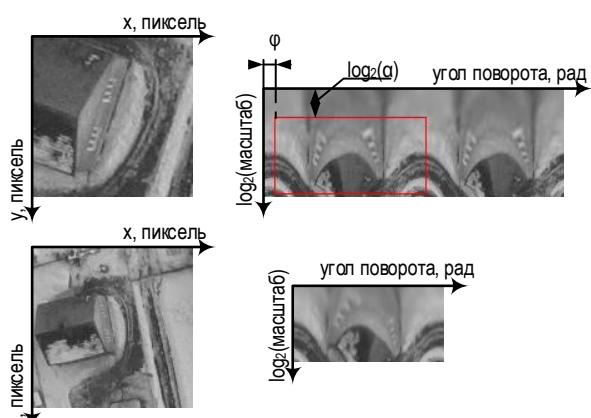


Рис. 1. Сравнение фрагментов с использованием логарифмически-полярного представления

Fig. 1. Fragments Comparing in Log-Polar Coordinate System

Удаление точек интереса, соответствующих «неуникальным» фрагментам

Суть этой процедуры заключается в том, что если фрагмент изображения  $F(x, y)$  похож одновременно на несколько фрагментов  $G(x', y')$ , то он приводит к кратному увеличению числа проверяемых гипотез. Поэтому для уменьшения вычислительной сложности данную точку выгоднее убрать из анализа, чем проверять гипотезы, большая часть которых заведомо является ошибочной.

#### Использование геометрических ограничений

Положение 4 точек на изображении  $F(x, y)$  будет соответствовать определенному положению 4 точек на  $G(x', y')$ . На рисунке 2 показан пример, иллюстрирующий эту идею.

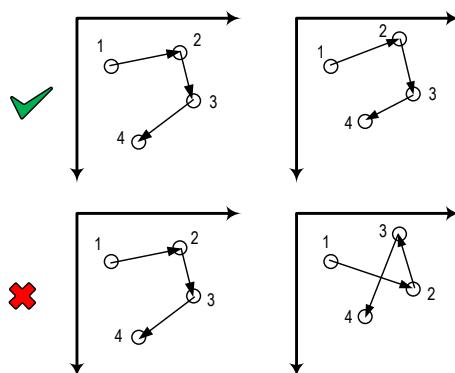


Рис. 2. Геометрические ограничения

Fig. 2. Geometric Restrictions

В работе [15] представлены способы задания геометрических ограничений.

Все вышеперечисленные усовершенствования позволили значительно сократить время обработки. Однако оно остается значительным. Время обработки [12] одной пары изображений размером 2272×1704 пикселей представлено в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Время обработки в зависимости от процессора и метрики сравнения

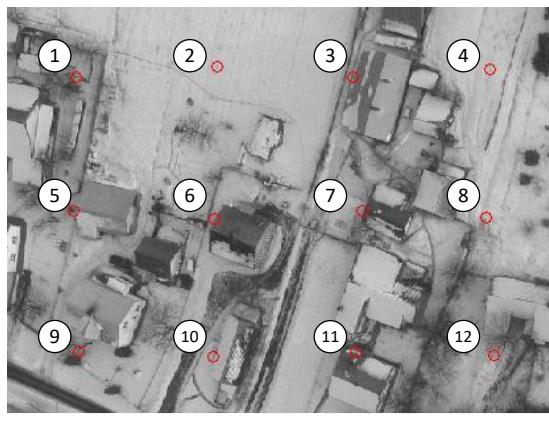
TABLE 1. Processing Time on Different Processors with Different Metrics

№ п/п	Процессор	Метрика	Время, с
1	i7-2760QM	коэффициент корреляции	390
2		количество совпадающих точек	62
3	i7-3770	коэффициент корреляции	310
4		количество совпадающих точек	50

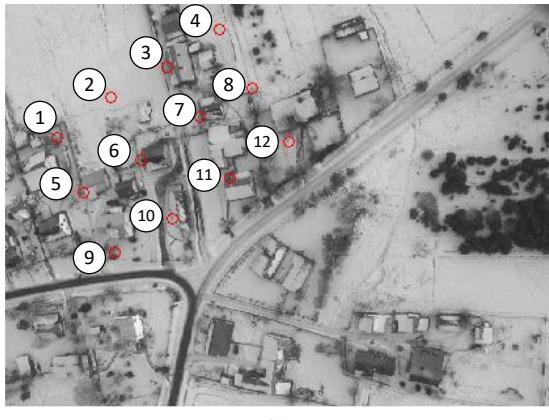
Как можно видеть из таблицы 1, время обработки можно значительно сократить за счет метрики сравнения и при переходе на более скоростные процессоры. Однако даже для самого наилучшего варианта время составляет порядка 50 с. Поэтому было предложено еще одно усовершенствование, которое направлено на сокращение времени сравнения фрагментов.

### Усовершенствование методики

Суть усовершенствования заключается в следующем: точки интереса, которые были распознаны на изображении  $F(x, y)$ , делятся на две группы. Первая группа точек сопоставляется с точками изображения  $G(x', y')$ , полагая, что масштаб и угол поворота могут меняться в широких диапазонах. После сопоставления оцениваются эти параметры. Вторая группа точек сопоставляется с точками изображений с учетом более узкого диапазона изменений масштаба и поворота, которые были определены по точкам первой группы. Это позволяет сократить количество вычислений для сравнения фрагментов. На рисунке 3 представлены примеры совмещаемых изображений и сопоставленные точки интереса. Если совместить фрагменты, соответствующие точкам интереса, независимо друг от друга, и оценить масштаб и угол поворота (примечания, параметры совмещения фрагментов), то можно заметить, что эти параметры распределены в достаточно узком диапазоне (рисунок 4). Полученный результат позволяет усовершенствовать процедуру, сократив время обработки.



a)



b)

Рис. 3. Сопоставленные точки на совмещаемых изображениях: а) точки интереса на первом изображении; б) соответствующие им точки на втором изображении

Fig. 3. Points Matching of Images:  
a) Interest Points of the First Image; b) the Corresponding Points of the Second Image

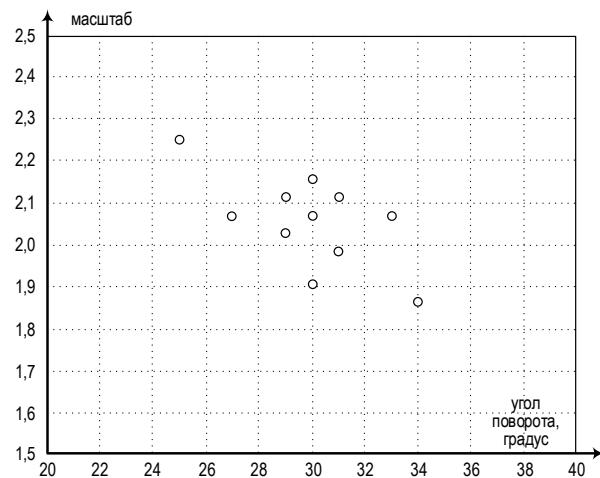


Рис. 4. Масштаб и угол поворота для совмещения фрагментов, совпадающих точкам интереса

Fig. 4. Scale and Rotation Angle for Image Fragments Superposition

На рисунке 5 приведен пример сокращения вычислений.

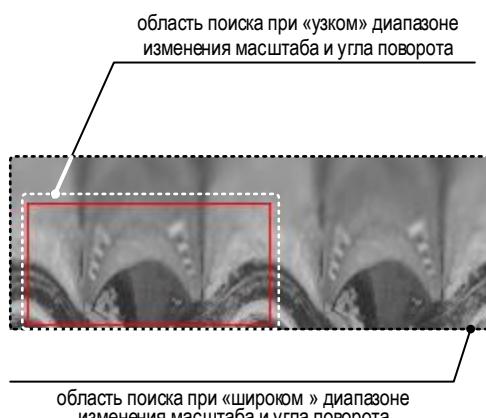


Рис. 5. Сокращение вычислений за счет уменьшения области поиска: «широкая» область поиска отмечена черной рамкой, «узкая» — белой

Fig. 5. Reducing Computation Costs by Reducing the Search Space: the "Wide" Search Area is Marked with a Black Border, the "Narrow" Search Area is Marked with a White Border

С учетом этого усовершенствования методику совмещения можно описать пошагово.

**Шаг 1.** Распознавание точек интереса на изображении  $F(x, y)$  и  $G(x', y')$ .

**Шаг 2.** Разделение точек интереса  $F(x, y)$  на две группы.

**Шаг 3.** Сопоставление точек первой группы  $F(x, y)$  с точками  $G(x', y')$  при «широком» диапазоне масштаба и поворота и удаление «не уникальных» точек из группы.

**Шаг 4.** Оценка параметров масштаба и угла поворота (примечание: для оценки в работе использовалась медиана).

**Шаг 5.** Сопоставление точек второй группы  $F(x, y)$  при «узком» диапазоне масштаба и поворота, затем — удаление «не уникальных» точек из группы.

*Шаг 6.* Формирование гипотез, определяемых 4 точками с учетом геометрических ограничений, и расчет метрики.

*Шаг 7.* Итоговая оценка параметров проективного совмещения в соответствии с критерием выбора по метрике.

## Эксперимент

Разработанная методика была реализована в виде программы, которая проверялась на изображениях со сценами городской местности, снятых БПЛА. В ходе проверки было обработано 100 пар снимков, которые показали удовлетворительный результат совмещения. На рисунке 6 представлен пример совмещения.

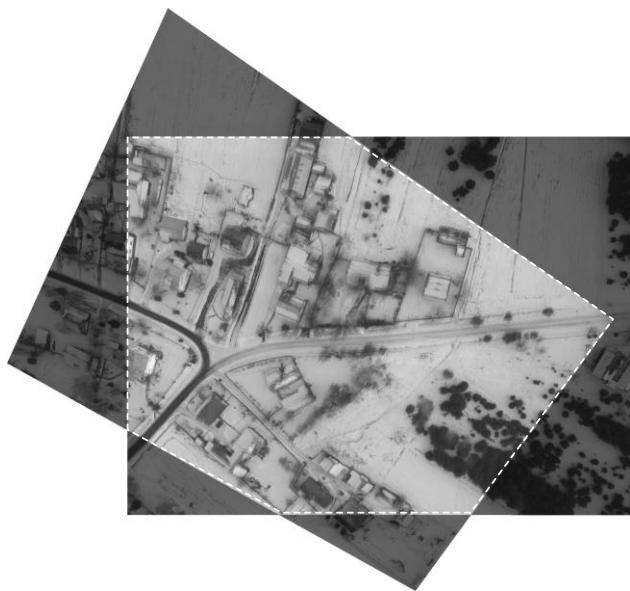


Рис. 6. Результат обработки

Fig. 6. Experiment

Время обработки изображения (см. таблицу 1) составило 23 с на процессоре i7-3770 с метрикой «количество совпадающих точек». Таким образом, оно уменьшилось более чем в два раза (по сравнению с аналогичным вариантом, время которого составляло 50 с).

## Выводы и результаты

В работе представлена усовершенствованная методика, которая позволяет уменьшить вычислительную сложность на алгоритмическом уровне за счет уменьшения интервала поиска для коэффициента масштабирования и угла поворота.

Подобные процедуры можно применить не только при сравнении фрагментов в логарифмически-полярном представлении, как это реализовано в данной работе, но и при использовании дескрипторов [4, 5]. Сокращение времени обработки более чем в два раза по сравнению с первоначальной методикой и удовлетворительные экспери-

ментальные результаты показывают целесообразность и эффективность предложенного усовершенствования.

С теоретической точки зрения было подтверждено предположение, что фрагменты изображения городской местности, снятые летательным аппаратом, имеют ограниченный диапазон трансформации по коэффициенту масштабирования и углу поворота.

Один из практических выводов, который следует из приведенного исследования, заключается в том, что при совмещении изображений параметры трансформации у фрагментов, представляющие собой окрестности точек интереса, меняются в ограниченном диапазоне. Полученное знание можно рассматривать как дополнительный источник информации или как ограничение, которое можно использовать для снижения вычислительной сложности при сравнении фрагментов. Вместо независимого сравнения фрагментов, как это идеологически заложено в методах совмещения по дескрипторам, можно ограничиться обработкой относительно небольшого числа «точек интереса», чтобы на последующих этапах упростить расчеты дескрипторов и процедуру их сравнения.

Результаты исследований могут быть использованы при создании системы технического зрения для формирования цифровой карты местности в режиме реального времени, обеспечивающей решение оперативных задач по обнаружению и отслеживанию перемещения объектов интереса.

Дальнейшие исследования будут проводиться в направлении сокращения вычислительной сложности при сравнении фрагментов и уменьшения количества точек интереса, используемых для определения значений масштаба и поворота на этапе предварительной обработки.

Для кардинального сокращения вычислительной сложности (в 10 и более раз), которое необходимо для режима реального времени, планируется разработать методику, соединяющую полученные результаты со следующими приемами обработки:

- использование проекций изображений (одномерных сигналов, полученных путем суммирования яркости пикселей вдоль столбцов и строк изображений), что в вычислительном плане выгоднее, так как исходные изображения содержат больше отсчетов (пикселей), чем проекции;

- применение метода пирамид для многократного уменьшения количества пикселей в изображениях и использования приема последовательного уточнения параметров трансформаций при переходе на более высокий уровень пирамиды по стратегии так называемого «жадного алгоритма»;

- учет ограничений, связанных с преобразованием «прямых линий в прямые» при проективных трансформациях [9].

## Список источников

1. Федосов В.П., Ибадов Р.Р., Ибадов С.Р. Модифицированный метод постобработки карты глубины изображений для задач безаварийного вождения беспилотных летательных аппаратов в городской инфраструктуре // Радиотехника. 2023. Т. 87. № 9. С. 113–123. DOI:10.18127/j00338486-202309-10. EDN:TTOLWC
2. Васильева Д.В., Дворников С.В. Структуризация первичных признаков изображений систем мониторинга окружающей среды // Радиотехника. 2024. Т. 88. № 8. С. 5–17. DOI:10.18127/j00338486-202408-01. EDN:CXJBKD
3. Наумов И.И., Ибадов Р.Р., Трехсвятский П.В., Азнабаев М.И. Применение беспилотных летательных аппаратов для осмотра линий электропередач // Радиотехника. 2025. Т. 89. № 3. С. 169–180. DOI:10.18127/j00338486-202503-15. EDN:OJDJYE
4. Lowe D.G. Object recognition from local scale-invariant features // Proceedings of the 7th International Conference on Computer Vision (ICCV, Kerkyra, Greece, 20–27 September 1999). IEEE, 1999. PP. 1150–1157. DOI:10.1109/ICCV.1999.790410
5. Bay H., Tuytelaars T., Gool L.V. SURF: Speeded up robust features // Proceedings of the 9th European Conference on Computer Vision (ECCV, Graz, Austria, 7–13 May 2006). Lecture Notes in Computer Science. 2006. Vol. 3951. PP. 404–417. DOI:10.1007/11744023\_32
6. Raguram R., Frahm J.M., Pollefeys M. A Comparative Analysis of RANSAC Techniques Leading to Adaptive Real-Time Random Sample Consensus // Proceedings of the 10th European Conference on Computer Vision (ECCV, Marseille, France, 12–18 October 2008). Lecture Notes in Computer Science. Berlin, Heidelberg: Springer, 2008. Vol. 5303. PP. 500–513. DOI:10.1007/978-3-540-88688-4\_37
7. Ефимов А.И., Новиков А.И. Алгоритм поэтапного уточнения проективного преобразования для совмещения изображений // Компьютерная оптика. 2016. Т. 40. № 2. С. 258–265. DOI:10.18287/2412-6179-2016-40-2-258-265. EDN:VWWCHP
8. Сунгатуллина Д., Крылов А. Быстрый алгоритм совмещения контуров изображений, связанных изотропным аффинным преобразованием // 24-я Международная конференция по компьютерной графике и зрению (Графикон'2014, Ростов-на-Дону, Российская Федерация, 30 сентября – 03 октября 2014). Автономная некоммерческая организация Научное общество «Графикон», 2014. С. 92–95. EDN:ZBWXUN
9. Volegov D.B., Yurin D.V. Rough image registration via detected straight lines // Proceedings of the 16th International Conference on Computer Graphics and Vision (GraphiCon 2006, Novosibirsk, Russian Federation, 01–05 July 2006). 2006. PP. 463–466. EDN:RLZMQD
10. Гошин Е.В., Котов А.П., Фурсов В.А. Двухэтапное формирование пространственного преобразования для совмещения изображений // Компьютерная оптика. 2014. Т. 38. № 4. С. 886–891. DOI:10.18287/0134-2452-2014-38-4-886-891. EDN:TCGBNN
11. Осипов О.В., Диязитдинова А.А. Совмещение сигналов для повышения качества телевизионного изображения многокамерной системы видеонаблюдения // Радиотехника. 2020. Т. 84. № 12(23). С. 72–78. DOI:10.18127/j00338486-202012(23)-08. EDN:ZVQUIB
12. Диязитдинова А.А. Усовершенствование методики проективного совмещения изображений // Инфокоммуникационные технологии. 2022. Т. 20. № 4. С. 89–96. DOI:10.18469/ikt.2022.20.4.12. EDN:TDSXFE
13. Ташлинский А.Г., Коваленко Р.О., Ибрагимов Р.М. Использование взаимной информации как меры подобия при стохастической привязке изображений // VII Международная конференция и молодежная школа «Информационные технологии и нанотехнологии» (ИТНТ-2021, Самара, Российская Федерация, 20–24 сентября 2021). Самара: Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, 2021. С. 20882-1–20882-2. EDN:NXXCXP
14. Диязитдинова А.А. Повышение помехоустойчивости при оценке параметров проективного совмещения телевизионных сигналов // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2021. Т. 24. № 1. С. 58–66. DOI:10.18469/1810-3189.2021.24.1.58-66. EDN:BYZTCS
15. Диязитдинова А.А. Критерии совмещения изображений в двухкамерной системе технического зрения // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. 2024. Т. 16. № 2. С. 307–314. DOI:10.17725/rensit.2024.16.307. EDN:BBZVWW

## References

1. Fedosov V.P., Ibadov R.R., Ibadov S.R. Modified depth map post-processing method for problems of accident-free UAV driving in urban infrastructure. *Journal Radioengineering*. 2023;87(9):113–123. (in Russ.) DOI:10.18127/j00338486-202309-10. EDN:TTOLWC
2. Vasilyeva D.V., Dvornikov S.V. Structurization of primary features of environmental monitoring systems images. *Journal Radioengineering*. 2024;88(8):5–17. (in Russ.) DOI:10.18127/j00338486-202408-01. EDN:CXJBKD
3. Naumov I.I., Ibadov R.R., Trekhsvyatsky P.V., Aznabaev M.I. Unmanned aerial vehicles for inspection of power lines. *Journal Radioengineering*. 2025;89(3):169–180. (in Russ.) DOI:10.18127/j00338486-202503-15. EDN:OJDJYE
4. Lowe D.G. Object recognition from local scale-invariant features. *Proceedings of the 7th International Conference on Computer Vision*, ICCV, 20–27 September 1999, Kerkyra, Greece. IEEE; 1999. p.1150–1157. DOI:10.1109/ICCV.1999.790410
5. Bay H., Tuytelaars T., Gool L.V. SURF: Speeded up robust features. *Proceedings of the 9th European Conference on Computer Vision*, ECCV, 7–13 May 2006, Graz, Austria. *Lecture Notes in Computer Science*, vol.3951. 2006. p.404–417. DOI:10.1007/11744023\_32
6. Raguram R., Frahm J.M., Pollefeys M. A comparative analysis of RANSAC techniques leading to adaptive real-time random sample consensus. *Proceedings of the 10th European Conference on Computer Vision*, ECCV, 12–18 October 2008, Marseille,

- France. *Lecture Notes in Computer Science*, vol.5303. Berlin, Heidelberg: Springer; 2008. p.500–513. DOI:10.1007/978-3-540-88688-4\_37
7. Efimov A.I., Novikov A.I. An algorithm for multistage projective transformation adjustment for image superimposition. *Computer Optics*. 2016;40(2):258–265. (in Russ.) DOI:10.18287/2412-6179-2016-40-2-258-265. EDN:VWWCHP
8. Sungatullina D., Krylov A. A fast algorithm for aligning the contours of images related by an isotropic affine transformation. *Proceedings of the XXIVth International Conference on Computer Graphics and Vision, Graphicon'2014, 30 September – 03 October 2014, Rostov-on-Don, Russian Federation*. Graphicon Publ.; 2014. p.92–95. (in Russ.) EDN:ZBWXUN
9. Volegov D.B., Yurin D.V. Rough image registration via detected straight lines. *Proceedings of the 16th International Conference on Computer Graphics and Vision International Conference on Computer Graphics and Vision, GraphiCon 2006, 01–05 July 2006, Novosibirsk, Russian Federation*. 2006. p.463–466. (in Russ.) EDN:RLZMQD
10. Goshin Ye.V., Kotov A.P., Fursov V.A. Two-stage formation of a spatial transformation for image matching. *Computer Optics*. 2014;38(4):886–891. DOI:10.18287/0134-2452-2014-38-4-886-891. (in Russ.) EDN:TCGBNN
11. Osipov O.V., Diyazitdinova A.A. Signal superposition for improving quality of television video surveillance system. *Journal Radioengineering*. 2020;84(12):72–78. (in Russ.) DOI:10.18127/j00338486-202012(23)-08. EDN:ZVQUB
12. Diyazitdinova A.A. Improvement of methodology for homography superposition of images. *Infokommunikacionnye technologii*. 2022;20(4):89–96. (in Russ.) DOI:10.18469/ikt.2022.20.4.12. EDN:TDSXFE
13. Tashlinsky A.G., Kovalenko R.O., Ibragimov R.M. Using Mutual Information as a Measure of Similarity in Stochastic Image Matching. *Proceedings of the VII International Conference and Youth School on Information Technologies and Nanotechnology, 20–24 September 2021, Samara, Russian Federation*. Samara: Samara National Research University Publ.; 2021. p.20882-1–20882-2. (in Russ.) EDN:NXXCXP
14. Diyazitdinova A.A. Improving noise immunity of homography superposition for television signals. *Physics of Wave Processes and Radio Systems*. 2021;24(1):58–66. (in Russ.) DOI:10.18469/1810-3189.2021.24.1.58-66. EDN:BYZTCS
15. Diyazitdinova A.A. Criteria for image superposition in a two-camera technical vision system. *RENSIT: Radioelectronics. Nanosystems. Information technologies*. 2024;16(2):307–314. (in Russ.) DOI:10.17725/rensit.2024.16.307. EDN:BBZVWW

Статья поступила в редакцию 14.09.2025; одобрена после рецензирования 24.09.2025; принята к публикации 08.10.2025.

The article was submitted 14.09.2025; approved after reviewing 24.09.2025; accepted for publication 08.10.2025.

## Информация об авторе:

ДИЯЗИТДИНОВА  
Альфия Асхатовна

кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем и технологий  
Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики  
ID: <https://orcid.org/0000-0001-8940-4543>

Автор сообщает об отсутствии конфликтов интересов.

The author declares no conflicts of interests.