

Научная статья

УДК 681.518.5

DOI:10.31854/1813-324X-2023-9-2-57-64



## Итерационное совмещение геометрически подобных изображений с использованием контуров

✉ Ринат Радмирович Диязитдинов, rinat.diyazitdinov@gmail.com

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

**Аннотация:** Совмещение геометрически подобных изображений проводится по методике с отдельной оценкой параметров. В декартовой системе координат оценивается смещение вдоль координатных осей, в логарифмически-полярной системе – оцениваются масштаб и поворот. Для повышения точности оценки параметров модели (смещений, масштаба и поворота) обработка данных проводится итерационным способом. Для уменьшения времени совмещения предлагается вместо сравнения изображений по коэффициенту корреляции использовать сравнение контуров по количеству совпадающих точек. Для проверки разработанной методики использовались кадры с изображением вагона. Выигрыш по времени обработки модифицированной методики «со сравнением контуров» оценивался в сравнении с исходной методикой «со сравнением изображений».

**Ключевые слова:** совмещение, контур, изображение, итерационный, декартовый, логарифмически-полярный, время обработки

**Ссылка для цитирования:** Диязитдинов Р.Р. Итерационное совмещение геометрически подобных изображений с использованием контуров // Труды учебных заведений связи. 2023. Т. 9. № 2. С. 57–64. DOI:10.31854/1813-324X-2023-9-2-57-64

## Superposition of the Similarity Images by Contour

✉ Rinat Diyazitdinov, rinat.diyazitdinov@gmail.com

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

**Abstract:** Superposition of the similarity images is implemented by the methodology with divided estimation of parameters. The offsets along the coordinate axes are estimated in the Cartesian coordinate system. The scale and the rotate are estimated in the log-polar coordinate system. The accurate estimation of parameters of similarity models (offsets, scale and rotate) is achieved by the iteration processing. Optimization of the processing time is achieved by contour comparison instead of the image comparison. The test data for experiment is image with the freight car. The decreasing of the processing time for the modified methodology of “contour comparison” was estimated by comparison with the source methodology of “image comparison”.

**Keywords:** superposition, contour, image, Iteration, Cartesian, log-polar, processing time

**For citation:** Diyazitdinov R. Superposition of the Similarity Images by Contour. Proc. of Telecom. Universities. 2023;9(2):57–64. (in Russ.) DOI:10.31854/1813-324X-2023-9-2-57-64

## Введение

Задача совмещения изображений является актуальной задачей в интеллектуальных системах видеонаблюдения.

Совмещение используется при решении таких практических задач, как:

- формирование общего изображения из изображений-фрагментов (формирование панорамных фотографий);
- сравнение изображений в медицинских целях (определение изменений и патологий в органах человека);
- поиск кадра в видеопотоке по заданному видеоизображению;
- измерение расстояний и трехмерная реконструкция в результате совмещения изображений, полученных от различных камер;
- повышение эффективности работы оператора за счет совмещения изображений низкого и высокого разрешения (просмотр изображений на экране одного монитора с автоматическим переключением между данными разных камер при масштабировании эффективнее, чем просмотр двух мониторов с изображениями различных масштабов) и т. д.

Для совмещения изображений широко применяется модель геометрического подобия, которая, с одной стороны, достаточно просто описывается (модель содержит четыре параметра), а с другой стороны, достаточно точно описывает реальные преобразования [1, 2].

Обработка изображений требует огромных вычислительных затрат, что связано с огромным объемом данных, содержащихся в них. В данной статье предлагается алгоритм совмещения геометрически подобных изображений, который позволяет сократить время обработки за счет использования контуров.

## Модель

Модель геометрического подобия, связывающая совмещаемые изображения, описывается четырьмя параметрами: двумя смещениями вдоль координатных осей, масштабом и поворотом:

$$\begin{aligned} x' &= x \cdot \alpha \cdot \cos(\varphi) - y \cdot \alpha \cdot \sin(\varphi) + h; \\ y' &= y \cdot \alpha \cdot \sin(\varphi) + x \cdot \alpha \cdot \cos(\varphi) + p, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $(x, y)$ ,  $(x', y')$  – координаты точек в системах координат, связанных моделью подобия;  $h, p$  – смещения,  $\alpha$  – масштаб,  $\varphi$  – угол поворота.

Изображения  $f(x_i, y_i)$  и  $g(x_i, y_i)$ , связанные моделью геометрического подобия, описываются следующими формулами:

$$\begin{aligned} f(x_i, y_i) &= s(x_i, y_i) + k(x_i, y_i); \\ g(x_i, y_i) &= \lambda s(x'_i, y'_i) + \gamma + m(x_i, y_i), \end{aligned} \quad (2)$$

где  $s(x_i, y_i)$  – детерминированное, но неизвестное изображение;  $k(x_i, y_i)$ ,  $m(x_i, y_i)$  – помехи;  $\lambda, \gamma$  – мультипликативная и аддитивная составляющая, соответственно.

Совмещение геометрически подобных изображений является актуальной задачей, которую можно рассматривать как в качестве самостоятельной задачи, так и в качестве задачи, решаемой в составе комплексных. Типичным примером комплексных задач является оценка параметров аффинного преобразования и преобразование перспективы, в которых идея оценки базируется на предварительном сопоставлении «небольших» фрагментов по модели подобия, после чего проводится непосредственная оценка параметров интересующей модели преобразования.

Примечание: логика подобного подхода заключается в том, что для «небольших» фрагментов отличия между интересующей и моделью подобия незначительны [1, 2].

Однако одной из основных проблем при оценке параметров модели подобия является значительное время обработки. Например, время обработки изображений  $720 \times 1080$  пикселей может достигать нескольких десятков минут в зависимости от используемого алгоритма, размера совмещаемого фрагмента и условий съемки. По этой причине актуальной проблемой в задаче совмещения геометрически подобных изображений является сокращение времени обработки.

Решением этой проблемы занимались различные исследователи. Ниже представлены работы, в которых приведены приемы для уменьшения времени совмещения изображений.

## Релевантные работы

В работе [3] приведен алгоритм совмещения изображений, связанных аффинным преобразованием. Алгоритм предполагает выполнение следующих этапов: вычисление контура на изображении, определение особых точек на контуре и сопоставление особых точек по дескрипторам. На основе сопоставленных точек вычисляются параметры совмещения. Недостатком этой работы является узкая область применения – обработка медицинских изображений, на которых фактически содержится единственный контур, описывающий человеческий орган.

Авторы работ [4, 5] предлагают методику проактивного совмещения изображений, которая также основана на совмещении контуров. Но вместо сопоставления особых точек по дескрипторам используется процедура проверки гипотез, которые определяются четырьмя точками контура. Оценка параметров совмещения определяется той гипотезой, которая обеспечивает максимальное совпадение контуров. Недостатком данных работ

является специфическая обработка, связанная с выделением контура, которая применима только для изображения поверхности Земли.

В исследованиях [1, 2] представлен алгоритм совмещения изображений, который использует особые точки изображений. Сопоставление точек определяется с помощью дескрипторов, а параметры совмещения рассчитываются по методу наименьших квадратов. Недостатком работы, по заявлению самих авторов, является 5-процентная вероятность неверного сопоставления. Для устранения этого недостатка могут быть использованы способы обработки, обеспечивающие борьбу с импульсными выбросами/неверным сопоставлениями [6], однако их использование существенно увеличивает время обработки.

Работа [7] предлагает алгоритм совмещения, который очень похож на алгоритм из работ [1, 2], но сопоставление особых точек проводится по методу «ближайшего соседа». Параметры аффинного преобразования для совмещения изображений определяются с помощью метода наименьших квадратов. Недостатки данной работы такие же, как у предыдущей.

Как можно видеть, основное направление для уменьшения времени совмещения изображений – это использование особых точек. Однако необходимость проверки правильности сопоставления или узкая область применения является сдерживающим фактором, который не позволяет разработать одновременно и «универсальную» и «быструю» методику совмещения изображений.

В основе данной работы лежит методика, описанная в статье [8]. Однако вместо сравнения изображений по коэффициенту корреляции будет использоваться сравнение предварительно распознанных контуров по количеству совпадающих контурных точек. Это отличие позволит значительно уменьшить время обработки, так как сравнение контуров проводится за гораздо меньшее время, чем сравнение изображений.

### Методика

Методика совмещения, описанная в работе [8], рассматривает следующую ситуацию: первое изображение представляет собой фрагмент второго. Для совмещения (для оценки смещений, масштаба и поворота) необходимо точке первого изображения поставить в соответствие точку второго изображения (примечание: в таком случае эти точки будут являться реперными). Это позволит оценить масштаб и поворот с помощью корреляционно-экстремального способа [9, 10], используя представление изображений в логарифмически-полярной системе координат. Оценив масштаб и поворот, и зная координаты реперных точек, оцениваются параметры смещений.

Таким образом, если известны реперные точки на изображениях, то задача совмещения изображений имеет достаточно простое решение. Однако определение реперных точек на изображениях может быть трудоемкой задачей. Например, пусть первое изображение имеет размеры 100×100 пикселей, а второе – 320×240 пикселей. В качестве реперной точки на первом изображении может выступать центральная точка. А чтобы определить для этой точки соответствие на втором изображении, нужно проверить все точки второго изображения, то есть  $320 \cdot 240 = 76\,800$  точек. Такое большое количество проверок требует огромных вычислительных затрат, и, как следствие, значительного времени обработки.

Для уменьшения времени обработки в работе [8] была представлена методика итерационной обработки. Для совмещения достаточно, чтобы точка, выбранная на втором изображении, находилась в некоторой окрестности относительно реперной точки (рисунок 1). Методика итерационной обработки позволяет совмещать изображения при таком выборе точек на изображениях, даже если они не являются реперными. Эта особенность позволяет выбирать точки с некоторым шагом. Например, если шаг равен 5 пикселям, то количество точек, которое нужно проверить на втором изображении уменьшится в  $5^2$  раз, то есть  $320 \cdot 240 / 5^2 = 3\,072$  точки (рисунок 2).

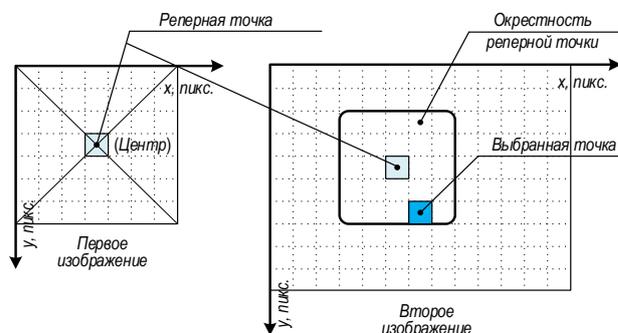


Рис. 1. Выбор точки на изображении для совмещения

Fig. 1. Searching the Point for Image Superposition

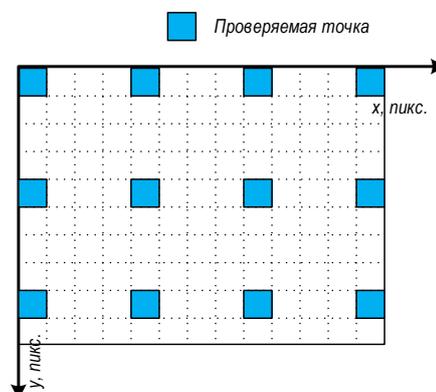


Рис. 2. Проверяемые точки на изображении для методики итерационной обработки

Fig. 2. The Points of Image for Iteration Processing

Таким образом, методика итерационной обработки позволяет значительно уменьшить время совмещения изображений.

Методика итерационной обработки состоит из следующих шагов.

**Шаг 1.** Загрузка изображений.

**Шаг 2.** Определение реперной точки на первом изображении. Она будет соответствовать центральной точке –  $(X_0, Y_0)$ .

**Шаг 3.** Определение совокупности выбранных

точек на втором изображении  $(u_i, w_i), i = 1 \dots K$ , где  $K$  – количество выбранных точек.

**Шаг 4.** Проверка  $i$ -ой выбранной точки  $(U_0, W_0) = (u_i, w_i)$ , которая выявляет параметры совмещения и коэффициент корреляции, определяющий меру совпадения обрабатываемых изображений (3), где  $f(x_i, y_i | \theta)$  – первое изображение (фрагмент), преобразованное в соответствии с параметрами совмещения  $\theta$ ;  $g(x_i, y_i)$  – второе изображение;  $N$  – количество пикселей (элементов) изображения;  $\theta = \{h, p, \varphi, \alpha, \lambda, \gamma\}$  – параметры совмещения.

$$R(\theta) = \frac{(\sum_{i=1}^N g(x_i, y_i) \cdot f(x_i, y_i | \theta)) / N - ((\sum_{i=1}^N g(x_i, y_i)) / N) \cdot ((\sum_{i=1}^N f(x_i, y_i | \theta)) / N)}{((\sum_{i=1}^N g^2(x_i, y_i)) / N - (\sum_{i=1}^N g(x_i, y_i) / N)^2)^{1/2} \cdot ((\sum_{i=1}^N f^2(x_i, y_i | \theta)) / N - (\sum_{i=1}^N f(x_i, y_i | \theta) / N)^2)^{1/2}}, \quad (3)$$

Шаг 4 соответствует итерационной обработке, которая выполняется поэтапно.

**Этап 1.** Определение исходных точек  $(X_0, Y_0), (U_0, W_0)$  на первом и втором изображении, соответственно.

**Этап 2.** Расчет положения точек в соответствии с номером итерации  $j$ :

– если  $j = 1$ , то  $X_0^j = X_0, Y_0^j = Y_0, U_0^j = U_0, W_0^j = W_0$ ;

– если  $j > 1$ , то  $X_0^j = X_0, Y_0^j = Y_0$ .

$$U_0^j = X_0 \cdot \alpha^{j-1} \cos(\varphi^{j-1}) - Y_0 \cdot \alpha^{j-1} \sin(\varphi^{j-1}) + h^{j-1}, \quad (4)$$

$$W_0^j = X_0 \cdot \alpha^{j-1} \sin(\varphi^{j-1}) + Y_0 \cdot \alpha^{j-1} \cos(\varphi^{j-1}) + p^{j-1}, \quad (5)$$

где  $h^{j-1}, p^{j-1}, \alpha^{j-1}, \varphi^{j-1}$  – смещения, масштаб, угол поворота, оцененные на  $(j-1)$ -й итерации.

**Этап 3.** Проверка на завершение итерационной обработки.

Если:

$$|U_0^j - U_0^{j-1}| < TU \text{ и } |W_0^j - W_0^{j-1}| < TW, \quad (6)$$

где  $TU, TW$  – это пороги (примечание: для проведения экспериментов значения порогов выбирались равными 0,5 пикселя), то итерационная процедура завершается, в противном случае проводится уточнение параметров.

**Этап 4.** Преобразование первого изображения в логарифмически-полярную систему координат относительно точки  $(X_0^j, Y_0^j)$ .

**Этап 5.** Преобразование второго изображения в логарифмически-полярную систему координат относительно точки  $(U_0^j, W_0^j)$ .

**Этап 6.** Оценка масштаба и поворота по изображениям в логарифмически-полярной системе координат [8, 11] –  $\alpha^j, \varphi^j$ .

**Этап 7.** Преобразование первого изображения в соответствии с оцененным масштабом и поворотом. Масштабирование и поворот изображения проводится относительно точки  $(X_0^j, Y_0^j)$ . Это эквивалентно трем преобразованиям:

– смещение изображения, чтобы точка  $(X_0^j, Y_0^j)$  совпала с точкой  $(0, 0)$ :

$$M1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -X_0^j \\ 0 & 1 & -Y_0^j \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

– масштабирование и поворот в соответствии с  $\alpha^j, \varphi^j$ :

$$M2 = \begin{bmatrix} \alpha^j \cos(\varphi^j) & -\alpha^j \sin(\varphi^j) & 0 \\ \alpha^j \sin(\varphi^j) & \alpha^j \cos(\varphi^j) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

– смещение изображения для возврата в точку  $(X_0^j, Y_0^j)$ :

$$M3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & X_0^j \\ 0 & 1 & Y_0^j \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Преобразование, эквивалентное этим трем последовательным преобразованиям, записывается следующим образом:

$$M = M3 \cdot M2 \cdot M1 = \begin{bmatrix} \alpha^j \cos(\varphi^j) & -\alpha^j \sin(\varphi^j) & X_0^j - X_0^j \cdot \alpha^j \cos(\varphi^j) + Y_0^j \cdot \alpha^j \sin(\varphi^j) \\ \alpha^j \sin(\varphi^j) & \alpha^j \cos(\varphi^j) & Y_0^j - X_0^j \cdot \alpha^j \sin(\varphi^j) - Y_0^j \cdot \alpha^j \cos(\varphi^j) \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Этап 8. Оценка смещений по преобразованному первому (этап 7) и второму изображению в декартовой системе координат [10] –  $H, P$ .

Этап 9. Вычисление смещений  $h^j, p^j$ :

$$h^j = X_0^j - X_0^j \cdot \alpha^j \cos(\varphi^j) + Y_0^j \cdot \alpha^j \sin(\varphi^j) + H, \quad (8)$$

$$p^j = Y_0^j - X_0^j \cdot \alpha^j \sin(\varphi^j) - Y_0^j \cdot \alpha^j \cos(\varphi^j) + P. \quad (9)$$

Этап 10. Преобразование первого изображения в соответствии с оцененным масштабом, поворотом и смещениям согласно матрице:

$$\begin{bmatrix} \alpha^j \cos(\varphi^j) & -\alpha^j \sin(\varphi^j) & h^j \\ \alpha^j \sin(\varphi^j) & \alpha^j \cos(\varphi^j) & p^j \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Этап 11. Оценивание параметров  $\{\lambda^j, \gamma^j\}$  по методу наименьших квадратов:

$$\lambda^j = \frac{Sg \cdot Sf - N \cdot Sfg}{Sf^2 - N \cdot Ef}, \gamma^j = \frac{Sg \cdot Sfg - Sg \cdot Ef}{Sf^2 - N \cdot Ef}, \quad (11)$$

где

$$Sf = \sum_{i=1}^N f(x_i, y_i | \theta), Sg = \sum_{i=1}^N g(x_i),$$

$$Sfg = \sum_{i=1}^N f(x_i, y_i | \theta) \cdot g(x_i), Ef = \sum_{i=1}^N f^2(x_i, y_i | \theta),$$

$$\theta = \{h^j, p^j, \varphi^j, \alpha^j\},$$

$f(x_i, y_i | \theta)$  – сигнал после преобразования с учетом найденных смещений и угла поворота.

Этап 12. Вычисление коэффициента корреляции по формуле (3).

Этап 13. Переход к этапу 2.

В описанной методике большую часть процессорного времени занимает оценка масштаба, поворота и смещений (этапы 6 и 8), так как в них происходит сравнение изображений множество раз (рисунок 3).

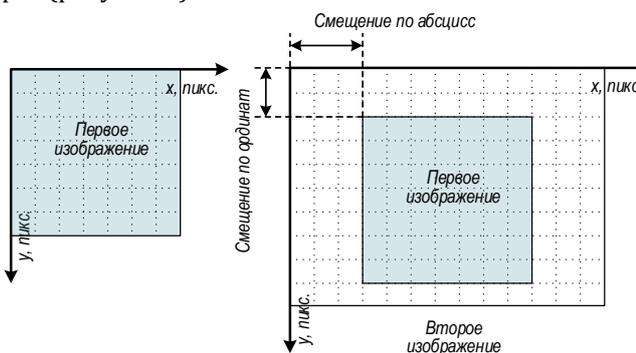


Рис. 3. Процесс сравнения изображений

Fig. 3. Comparison of Images

Шаг 5. Из  $K$  вариантов совмещений выбирается тот, который соответствует максимальному коэффициенту корреляции, то есть такому совмещению, при котором изображения будут совпадать наилучшим образом.

Количество сравнений будет равно количеству проверяемых смещений, а каждое сравнение – это расчет коэффициента корреляции (примечание: корреляция используется в качестве метрики сходства изображений [9–11]). Операция расчета коэффициента корреляции является очень затратной с точки зрения процессорного времени (примечание: для ускорения вычислений можно использовать преобразование Фурье [12, 13], однако использование этого преобразования не приводит к кардинальному уменьшению времени обработки).

Для уменьшения времени совмещения была предложена модификация методики, которая представлена в следующем параграфе.

### Модификация методики совмещения

Для уменьшения времени обработки предлагается распознавать на изображениях контуры и использовать их для оценки параметров совмещения. В контурах количество элементов (контурных точек) намного меньше, чем количество элементов (пикселей) на изображениях. Вместо вычисления корреляции (этапы 6 и 8) будет вычисляться количество совпавших точек между контурами (примечание: количество совпавших точек используется в качестве метрики сходства контуров; точки считаются совпавшими, если расстояние между ними меньше некоторого порога [3, 4, 14]). Такой подход гораздо выгоднее с точки зрения времени, затрачиваемого на обработку.

Таким образом, за счет уменьшения количества обрабатываемых элементов (контурных точек вместо пикселей) и за счет более быстрого вычисления метрики «сходства» (совпадение контурных точек вместо коэффициента корреляции) предложенная модификация будет обеспечивать более высокую скорость совмещения изображений.

В следующем параграфе представлен эксперимент, показывающий результаты обработки в соответствии с исходной и модифицированной методикой.

### Эксперимент

Для определения времени обработки в соответствии с исходной и модифицированной методикой совмещения был проведен эксперимент с использованием реальных кадров с изображением вагона.

На рисунке 4 показаны примеры совмещаемых изображений.

В результате совмещения изображений (рисунок 5) были оценены параметры совмещения:

$$\hat{\alpha} = 0,6598; \hat{\varphi} = 30^\circ; \hat{h} = 200,4 \text{ пикселей};$$

$$\hat{p} = 21,0 \text{ пикселей}, \hat{\lambda} = 1,1808, \hat{\gamma} = 21,8487.$$

Время совмещения составило 2 минуты.



Рис. 4. Совмещаемые изображения

Fig. 4. The Images for Superposition



Рис. 5. Совмещение изображений

Fig. 5. The Result of Images Superposition

Усовершенствованная методика с предварительным распознаванием контуров по алгоритму Canny [15] (рисунок 6) оценила параметры совмещения как:

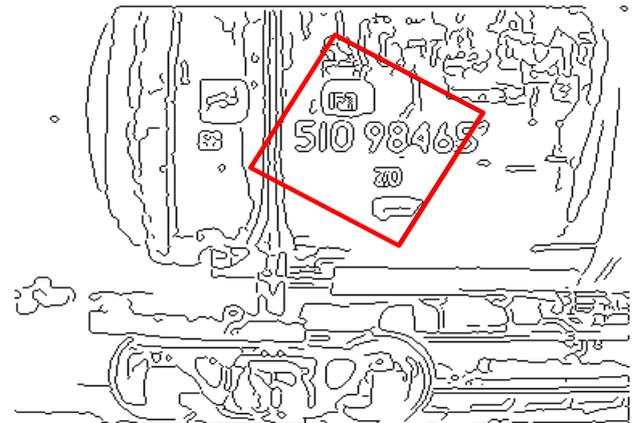
$$\hat{\alpha} = 0,6598; \hat{\varphi} = 30^\circ; \hat{h} = 200,0 \text{ пикселей};$$

$$\hat{p} = 21,2 \text{ пикселей}; \hat{\lambda} = 1,1803; \hat{\gamma} = 21,7039.$$

Время совмещения составило 20 секунд.



a)



b)



c)

Рис. 6. Распознанные контуры (а), совмещение контуров (б), совмещение изображений по параметрам, оцененным при совмещении контуров (с)

Fig. 6. Detecting Contours (a), the Result of Contours Superposition (b), the Result of Images Superposition by Parameters of Contours Superposition (c)

Как можно видеть, результаты совмещения (см. рисунки 5 и 6с) практически одинаковые, однако время обработки сократилось в 6 раз. Таким образом, предложенная модификация позволяет значительно уменьшить время обработки для совмещения изображений.

### Заключение

В работе представлена модификация методики итерационного совмещения изображений. Модификация заключается в замене сравнения изображений по коэффициенту корреляции на сравнение контуров по количеству совпадающих точек.

Обработка контура отличается от обработки изображения тем, что в контуре меньше количества элементов (контурных точек), чем элементов (пикселей) на изображении, а процедура подсчета совпадающих точек занимает меньше времени, чем расчет коэффициента корреляции. За счет этого предложенная модификация позволила значительно уменьшить время совмещения изображений. Скорость обработки в описанном эксперименте возросла в 6 раз.

С точки зрения качества совмещения модифицированная методика не ухудшила результаты обработки по сравнению с исходной методикой. Визуальных различий между результатами обработки не наблюдается.

Представленная методика совмещения изображений с использованием контуров может быть применена для совмещения изображений в интеллектуальных системах видеорегистрации. Например, для поиска кадров в видеопотоке, совмещения фрагментов изображений, принадлежащих различным кадрам, в целях проведения измерений [16], совмещения разномасштабных изображений, чтобы повысить разрешающую способность, и т. д.

В подобных интеллектуальных системах одной из важнейших технико-эксплуатационных характеристик является время совмещения. Представленная модификация оптимизирует этот параметр, что говорит о целесообразности ее применения и внедрения в интеллектуальные системы видеорегистрации.

### Список источников

1. Ke Y., Sukthankar R. PCA-SIFT: A more distinctive representation for local image descriptors // *Computer Vision and Pattern Recognition*. 2004. Vol. 2. PP. 506–513. DOI:10.1109/CVPR.2004.1315206
2. Bay H., Tuytelaars T., Van Gool L. Surf: Speeded up robust features // *Proceedings of the 9th European Conference on Computer Vision (ECCV 2006, Graz, Austria, 7–13 May 2006)*. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 3951. Berlin, Heidelberg: Springer, 2006. PP. 404–417. DOI:10.1007/11744023\_32
3. Сунгатуллина Д., Крылов А. Быстрый алгоритм совмещения контуров изображений, связанных изотропным аффинным преобразованием // *GraphiCon*. 2014. С. 92–95. URL: <https://www.graphicon.ru/html/2014/papers/92-95.pdf> (дата обращения 11.05.2023)
4. Новиков А.И., Саблина В.А., Горячев Е.О. Применение контурного анализа для совмещения изображений // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2013. № 9-1. С. 260–270.
5. Елесина С.И., Ефимов А.И. Отбор критериальных функций для систем улучшенного и комбинированного видения // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2013. № 9-1. С. 229–236.
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 2008, Marseille, France, 12–18 October 2008)*. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 5303. Berlin, Heidelberg: Springer, 2008. PP. 500–513. DOI:10.1007/978-3-540-88688-4\_37
7. Создание бесшовного изображения. URL: [https://wiki.gis-lab.info/w/Создание\\_бесшовного\\_изображения](https://wiki.gis-lab.info/w/Создание_бесшовного_изображения) (дата обращения 31.03.2023)
8. Диязитдинов Р.Р., Васин Н.Н. Итерационный алгоритм оценки смещения и угла поворота при влиянии аддитивной и мультипликативной помехи для пространственно-временного совмещения телевизионных сигналов // *Труды учебных заведений связи*. 2020. Т. 6. № 4. С. 28–34. DOI:10.31854/1813-324X-2020-6-4-28-34
9. Кузьмин С.В. Инвариантное к масштабу определение задержек между двумя одномерными цифровыми сигналами // *Инфокоммуникационные технологии*. 2011. Т. 9. № 2. С. 7–10.
10. Губанов А.В., Ефимов В.М., Киричук В.С., Пустовских А.И., Резник А.Л. Методы оценивания взаимного смещения фрагментов изображений // *Автометрия*. 1988. № 3. С. 70–73.
11. Мясников Е.В. Определение параметров геометрических трансформаций для совмещения портретных изображений // *Компьютерная оптика*. 2007. Т. 31. № 3. С. 77–82.
12. De Castro E., Morandi C. Registration of Translated and Rotated Images Using Finite Fourier Transforms // *IEEE Transactions Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1987. Vol. 9. Iss. 5. PP. 700–703. DOI:10.1109/TPAMI.1987.4767966
13. Reddy B.S., Chatterji B.N. An FFT-based technique for translation, rotation, and scale-invariant image registration // *IEEE Transactions Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1996. Vol. 5. Iss. 8. PP. 1266–1270. DOI:10.1109/83.506761
14. 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
15. Canny J.F. A Computational Approach To Edge Detection // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1986. Vol. 8(6). PP. 679–698. DOI:10.1109/TPAMI.1986.4767851

16. Диязитдинов Р.Р., Васин Н.Н. Использование фрагментов телевизионного изображения системы технического зрения для верификации повышения помехоустойчивости измерений скорости протяженного объекта // Труды учебных заведений связи. 2022. Т. 8. № 1. С. 34–40. DOI:10.31854/1813-324X-2022-8-1-34-40

## References

1. Ke Y., Sukthankar R. PCA-SIFT: A more distinctive representation for local image descriptors. *Computer Vision and Pattern Recognition*. 2004;2:506–513. DOI:10.1109/CVPR.2004.1315206
2. Bay H., Tuytelaars T., Van Gool L. Surf: Speeded up robust features. *Proceedings of the 9th European Conference on Computer Vision, ECCV 2006, 7–13 May 2006, Graz, Austria. Lecture Notes in Computer Science. vol.3951*. Berlin, Heidelberg: Springer; 2006. p.404–417. DOI:10.1007/11744023\_32
3. Sungatullina D., Krilov A. A fast algorithm for contours image superposition, which connected by an isotropic affine transformation. *GraphiCon*. 2014:92–95. (in Russ.) URL: <https://www.graphicon.ru/html/2014/papers/92-95.pdf> [Accessed 11th May 2023]
4. Novikov A.I., Sablina V.A., Goryachev E.O. Contour analysis application for image superimposition. *Izvestiya TulGU. Technical Sciences*. 2013;9-1:260–270. (in Russ.)
5. Elesina S.I., Efimov A.I. Selection of criterial functions for combined and enhanced synthetic vision systems. *Izvestiya TulGU. Technical Sciences*. 2013;99-1:229–236. (in Russ.)
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 2008, 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. Creating a Seamless Image. (in Russ.) URL: [https://wiki.gis-lab.info/w/Создание\\_бесшовного\\_изображения](https://wiki.gis-lab.info/w/Создание_бесшовного_изображения) [Accessed 31st March 2023]
8. Diyazitdinov R., Vasin N. Iterative Algorithm Offset and Angle Rotation Estimation with Additive and Multiplicative Noise for Space-Time Superposition of Television Signals. *Proc. of Telecom. Universities*. 2020;6(4):28–34 (in Russ.) DOI:10.31854/1813-324X-2020-6-4-28-34
9. Kuzmin S.V. Scale-invariant delay estimation between two one-dimensional digital signals. *Infokommunikacionnye tehnologii*. 2011;9(2):7–10. (in Russ.)
10. Gubanov A.V., Efimov V.M., Kirichuk V.S., Pustovskih A.I., Reznik A.L. Methods for offset estimating of image fragments. *Avtometriya*. 1988;3:70–73. (in Russ.)
11. Myasnikov E.V. Geometric Transform Parameters Estimation for Superposition Portrait Images. *Computer Optics*. 2007;31(3):77–82. (in Russ.)
12. De Castro E., Morandi C. Registration of Translated and Rotated Images Using Finite Fourier Transforms. *IEEE Transactions Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1987;9(5):700–703. DOI:10.1109/TPAMI.1987.4767966
13. Reddy B.S., Chatterji B.N. An FFT-based technique for translation, rotation, and scale-invariant image registration. *IEEE Transactions Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1996;5(8):1266–1270. DOI:10.1109/83.506761
14. 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
15. Canny J.F. A Computational Approach To Edge Detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1986;8(6):679–698. DOI:10.1109/TPAMI.1986.4767851
16. Diyazitdinov R., Vasin N. Using Television Image Fragments of a Machine Vision for Verifying Noise Immunity of an Extended Object Velocity Measurement. *Proc. of Telecom. Universities*. 2022;8(1):37–40. (in Russ.) DOI:10.31854/1813-324X-2022-8-1-37-40

Статья поступила в редакцию 01.04.2023; одобрена после рецензирования 03.04.2023; принята к публикации 10.04.2023.

The article was submitted 01.04.2023; approved after reviewing 03.04.2023; accepted for publication 10.04.2023.

## Информация об авторе:

**ДИЯЗИТДИНОВ**  
**Ринат Радмирович**

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Сетей и систем связи  
Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики  
 <https://orcid.org/0000-0001-6360-0351>