

DOI: 10.17725/rensit.2024.16.307

Критерии совмещения изображений в двухкамерной системе технического зрения

Диязитдинова А.А.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, <https://www.psuti.ru/>
Самара 443010, Российская Федерация

E-mail: a.diyazitdinova@psuti.ru

Поступила 06.11.2023, рецензирована 13.11.2023, принята 20.11.2023, опубликована 25.04.2024

Представлена действительным членом РАЕН А.С. Дмитриевым

Аннотация: Совмещение изображений является важной задачей в системах технического зрения. Двухкамерные системы проводят съемку одной и той же сцены, поэтому изображения содержат один и тот же сигнал. Эта особенность определяет возможные критерии для совмещения изображений. В работе исследуются три критерия совмещения изображений: критерий, основанный на коэффициенте корреляции; критерий, основанный на количестве совпавших точек контурных линий; критерий, основанный на количестве совпавших особых точек. Для исследования была разработана методика для проведения численного моделирования. Результаты моделирования показали, что наиболее помехоустойчивым является критерий на основе коэффициента корреляции, но он требует наибольшего времени обработки. Критерий, основанный на совпадении точек контурных линий, является наименее помехоустойчивым. Критерий на основе совпадения особых точек менее помехоустойчивый, чем критерий по коэффициенту корреляции, но он требует наименьшего времени обработки.

Ключевые слова: критерий, совмещение, двухкамерная система, техническое зрение, время обработки, помехоустойчивость, численное моделирование

УДК 681.518

Для цитирования: Диязитдинова А.А. Критерии совмещения изображений в двухкамерной системе технического зрения. РЭНСИТ: Радиозлектроника. Наносистемы. Информационные технологии, 2024, 16(2):307-314. DOI: 10.17725/rensit.2024.16.307.

Criteria for image superposition in a two-camera technical vision system

Alfiya A. Diyazitdinova

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, <https://www.psuti.ru/>
Samara 443010, Russian Federation

E-mail: a.diyazitdinova@psuti.ru

Received November 06, 2023, peer-reviewed November 13, 2023, accepted November 20, 2023, published April 25, 2024

Abstract: The image superposition is the important task in machine vision system. The scene which is shot by two-camera system is the same for each camera. So the images of each camera contain the same signal. This feature defines the possible criteria for image superposition. The research tests three criteria of superposition. These are criteria by correlation coefficient, the amount of the match contour points and the amount of match feature points. The numerical simulation was developed for this research. The results of simulation identified that the correlation coefficient criteria is the most noise resistance, but it demand the greatest processing time. The amount of match contour points criteria is the least noise resistance. The amount of match feature point's criteria is better, than correlation coefficient criteria by noise resistance, and processing time is the least.

Keywords: criteria, superposition, two-camera system, machine vision, processing time, noise resistance, numerical simulation

UDC 681.518

For citation: Alfiya A. Diyazitdinova. Criteria for image superposition in a two-camera technical vision system. RENSIT: Radioelectronics. Nanosystems. Information Technologies, 2024, 16(2):307-314e. DOI: 10.17725/j.rensit.2024.16.307.

Содержание

1. Введение (308)
 2. Обзор релевантных работ (308)
 3. Методика совмещения (309)
 4. Критерии совмещения (310)
 5. Методика проведения численного моделирования (311)
 6. Выводы (312)
 7. Заключение (313)
- Литература (314)**

1. ВВЕДЕНИЕ

Обработка сигналов в двухкамерных системах технического зрения представляет собой актуальную тему исследования. Двухкамерные системы представляют собой важный частный случай многокамерных систем, на которых можно отрабатывать различные алгоритмы обработки изображений с целью дальнейшего обобщения на случай n -камерной системы. Наиболее известными примерами прикладного применения подобных систем являются:

1. Повышение качества изображения. Съемка одной сцены с помощью камер с разными фокусными расстояниями позволяет формировать качественное изображение в большом диапазоне расстояний. Подобная система имеет гораздо меньшие габариты, чем система с механическим измерением фокусного расстояния объектива ("оптический зум"). А в сравнении с системой, использующей методы сверхразрешения на основе интерполяции ("цифровой зум") [1], такая система характеризуется более высоким качеством изображения.

2. Восстановление трехмерной формы объекта по двумерным проекциям (изображениям): реконструкция зданий, определение положения контактных проводов на трамвайном и железнодорожном транспорте, восстановление позы человека [2], трехмерная реконструкция местности с помощью беспилотных летательных аппаратов [3,4].

3. Построение панорамных сцен для получения расширенного поля зрения по сравнению с полем зрения отдельных камер [5,6].

Решение этих задач связано с совмещением изображений. Так как съемка двумя камерами проводится синхронно, то изображения в пересекающемся фрагменте содержат одинаковый двумерный сигнал (примечание: это предположение верно в том случае, если сцена является "условно плоской" и съемка под разными ракурсами эквивалентна проективной трансформации изображений).

Эта особенность определяет следующие критерии совмещения:

- по максимуму коэффициента корреляции (примечание: аналогичный критерий минимума евклидова расстояния требует предварительной нормировки для подавления аддитивной и мультипликативной составляющих [7];
- по максимуму совпадающих контурных точек [8,9];
- по максимуму совпадающих особых точек [10,11].

В зависимости от критерия алгоритм совмещения будет обладать определенной помехозащищенностью и временем обработки.

Необходимо отметить, что требования к алгоритмам совмещения очень высокие и для работы в системах технического зрения предполагают обработки в режиме реального времени.

Однако это требование может быть выполнено, если, во-первых, выбранный критерий обеспечивает соответствующее быстродействие, а во-вторых, отношение мощности сигнала к мощности помех выше некоторого порога, определяющего потенциальную помехозащищенность критерия. В противном случае решение задачи с требуемым временем обработки, но для сильно зашумленных изображений, не может быть получено.

Исходя из этих предпосылок, для задачи совмещения актуальными вопросами являются:

- формирование рекомендаций по выбору критерия в зависимости от отношения сигнал/шум,
- прогнозирование времени обработки в зависимости от критерия.

Исследованию этих вопросов посвящена данная статья.

2. ОБЗОР РЕЛЕВАНТНЫХ РАБОТ

Так как в системах технического зрения основным требованием является ограниченное время обработки изображений, то исследователи искали различные способы для сокращения количества проверяемых гипотез, а также учитывали статистические и геометрические особенности изображений, которые позволяли перейти от переборных к аналитическим подходам.

В работе [12,13] предложено использовать сжатие изображений на основе «пирамидного представления», чтобы в несколько раз повысить рабочий диапазон аналитического метода оценки смещений на основе оптического потока.

Однако этот способ используется для совмещения последовательности изображений при слежении за движущимся объектом и практически не используется при совмещении изображений, существенно отличающихся масштабом.

В работе [9,14] исследователями предложена идея использовать проверку гипотез на основе сопоставления особых точек контура, а в качестве метрики – количество совпавших точек контура. Однако количество гипотез даже на ограниченном количестве точек было очень велико, и разработанные алгоритмы были направлены на решение задачи в режиме "пост обработки". Однако описанная идея может быть модернизирована, чтобы существенно снизить время обработки: формировать гипотезы не простым перебором, а направленным. Например, с помощью предварительно рассчитанных дескрипторов.

По такому принципу работают алгоритмы [15,16,17], которые позволяют выявить однозначные пары особых точек. Недостаток этого подхода заключается в том, что существует достаточно высокая вероятность неверного сопоставления особых точек. По исследованию самих исследователей эта вероятность в среднем не менее 0.05.

Для решения этой проблемы широкое применение получил метод RANSAC (random sample consensus) [17,18,19], который ориентирован на формирование ограниченного числа гипотез, который позволяет многократно уменьшить вероятность неверного сопоставления.

Среди способов, снижающих вероятность неверного сопоставления особых точек, достаточно часто используется прием предварительной отбраковки фрагментов, если они являются неинформативными. Как правило, неинформативными являются фрагменты, у которых все элементы (пиксели) принадлежат очень узкому диапазону яркости. Похожим примером "неинформативности" является дисперсия фрагмента ниже некоторого порога [20].

Еще одним способом [21], который позволяет существенно повысить скорость обработки, является совмещение с помощью проекций (суммы яркости вдоль строк/столбцов). Однако значительная производительность этого способа достигается только при обработке достаточно крупных изображений.

Несмотря на то, что существует достаточно много работ, направленных на решение задачи повышения скорости обработки при совмещении изображений, в них не проводится сравнительного анализа помехоустойчивости и скорости обработки, которые зависят от выбранного критерия, а основной упор в работах делается на изложение разработанных алгоритмов, методик и методов, позволяющих решить прикладную задачу.

Для систематизации этой области исследования была разработана соответствующая методика, целью которой является установление взаимосвязи между помехоустойчивостью, временем обработки и критерием совмещения.

3. МЕТОДИКА СОВМЕЩЕНИЯ

Для совмещения изображений была разработана методика [22], на основе сопоставления особых точек изображения. В отличие от известного алгоритма SIFT (scale-invariant feature transform) дескриптор точки получается в результате логарифмически-полярного преобразования окрестности особой точки.

Как было сказано выше, рассматривается случай совмещения изображений, которые связаны проективной моделью преобразования.

Проективная трансформация описывается как:

$$\begin{aligned} x' &= \frac{h_{11}x + h_{12}y + h_{13}}{h_{31}x + h_{32}y + 1}, \\ y' &= \frac{h_{21}x + h_{22}y + h_{23}}{h_{31}x + h_{32}y + 1}, \end{aligned} \tag{1}$$

где $h_{11}, h_{12}, \dots, h_{32}$ – это параметры проективного преобразования.

Так как проективная модель описывается восемью параметрами, то для оценки параметров совмещения необходимо иметь не менее четырех точек (две координаты для каждой точки), чтобы сформировать систему из восьми линейных уравнений:

$$\begin{pmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_1x'_1 & -y_1x'_1 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 & -x_1y'_1 & -y_1y'_1 \\ x_2 & y_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_2x'_2 & -y_2x'_2 \\ 0 & 0 & 0 & x_2 & y_2 & 1 & -x_2y'_2 & -y_2y'_2 \\ x_3 & y_3 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_3x'_3 & -y_3x'_3 \\ 0 & 0 & 0 & x_3 & y_3 & 1 & -x_3y'_3 & -y_3y'_3 \\ x_4 & y_4 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_4x'_4 & -y_4x'_4 \\ 0 & 0 & 0 & x_4 & y_4 & 1 & -x_4y'_4 & -y_4y'_4 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} h_{11} \\ h_{12} \\ h_{13} \\ h_{21} \\ h_{22} \\ h_{23} \\ h_{31} \\ h_{32} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x'_1 \\ y'_1 \\ x'_2 \\ y'_2 \\ x'_3 \\ y'_3 \\ x'_4 \\ y'_4 \end{pmatrix}. \tag{2}$$

Для уменьшения вероятности неверного сопоставления дополнительно были введены геометрические ограничения, которые

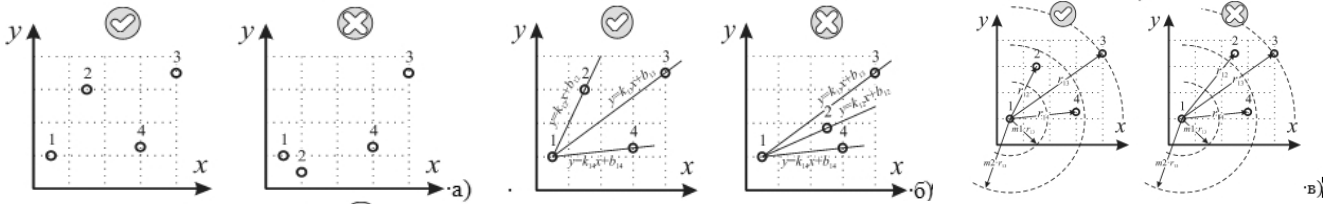


Рис. 1. Геометрические ограничения: ограничение на взаимное расположение точек (а), ограничение по углу наклона (б), ограничение по расстоянию (в)

учитывают взаимное расположение особых точек на изображениях.

Эти ограничения были сформулированы в соответствии с предположением, что если четыре точки на первом изображении образуют выпуклый четырёхугольник, то эти же четыре точки на втором (совмещаемом) изображении также будут образовывать выпуклый четырёхугольник.

На Рис. 1 показаны геометрические ограничения.

Физический смысл геометрических ограничений заключается в следующем:

1. Ограничение на взаимное расположение точек означает, что точка "1" должна иметь минимальное значение координат по обеим осям, а точка "3" – максимальное.

2. Ограничение по углу наклона означает, что прямая линия, проходящая через точки "1" и "3", должна располагаться между прямыми линиями, проходящая через точки "1" и "2", "1" и "4".

3. Ограничение по расстоянию означает, что расстояние между точками "1" и "3" (r_{13}) должно быть больше, чем "1" и "2" (r_{12}), "1" и "4" (r_{14}), а также расстояния r_{12} и r_{14} должны принадлежать интервалу $[m_1 \cdot r_{13}, m_2 \cdot r_{13}]$, где m_1, m_2 – множители ($m_1 = 0.4; m_2 = 0.6$).

Также для уменьшения времени обработки была использована концепция “уникальных” особых точек, как в SIFT: если на изображении существует два похожих фрагмента в окрестности найденных особых точек, то такие особые точки удаляются из анализа. Это гарантирует формирование только одной пары точек, которую можно сопоставить между изображениями. Если бы возможных пар было больше, то это приводило бы к значительному увеличению количества гипотез.

Для борьбы с неправильными сопоставлениями пар точек, которые неизбежно возникают при обработке изображений, использовался метод RANSAC. Согласно RANSAC проверяется только ограниченное количество гипотез. В работе использовалось 100 гипотез для проверки.

4. КРИТЕРИИ СОВМЕЩЕНИЯ

Выбор гипотезы в качестве решения определяется критерием.

В работе исследовалось три критерия:

1. Максимум коэффициента корреляции:

$$\hat{\theta} = \arg \max_{\theta} (R(\theta)), \tag{3}$$

где θ – это гипотеза, представляющая собой совокупность параметров преобразования для совмещения изображений; для проективного совмещения: $\theta = \{h_{11}, h_{12}, \dots, h_{32}\}$; $R(\theta)$ – коэффициент корреляции, соответствующий гипотезе θ ; $\hat{\theta}$ – оценка параметров совмещения.

Коэффициент корреляции рассчитывается по формуле:

$$R = \frac{\left(\sum_{i=1}^N F(x_i, y_i) \cdot G^*(x_i, y_i) \right) / N - \left(\left(\sum_{i=1}^N F(x_i, y_i) \right) / N \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^N G^*(x_i, y_i) \right) / N}{\left(\left(\sum_{i=1}^N F^2(x_i, y_i) \right) / N - \left(\left(\sum_{i=1}^N F(x_i, y_i) \right) / N \right)^2 \right)^{1/2} \cdot \left(\left(\sum_{i=1}^N G^{*2}(x_i, y_i) \right) / N - \left(\left(\sum_{i=1}^N G^*(x_i, y_i) \right) / N \right)^2 \right)^{1/2}}$$

где $F(x_i, y_i)$ – первое изображение; $G^*(x_i, y_i)$ – второе изображение после преобразования в соответствии с гипотезой θ ; (x_i, y_i) – координаты пикселей; N – количество пикселей.

2. Максимум совпавших контурных точек:

$$\hat{\theta} = \arg \max_{\theta} (S(\theta)), \tag{5}$$

где $S(\theta)$ – количество совпавших контурных точек, соответствующее гипотезе θ .

Совпадение контурных точек не может быть вычислено аналитически, как в случае с коэффициентом корреляции. Совпадение точек определяется в результате обработки. Для каждой точки контура № 1 рассчитывается расстояние до всех точек контура № 2, и определяется "ближайшая". Если расстояние между "ближайшими" точками меньше некоторого порога, то точки можно считать совпавшими.

Однако расчет расстояний между всеми точками является слишком затратным в вычислительном плане операций. По этой причине после преобразования контура № 2 в соответствии с гипотезой θ положение всех точек округляется до целых чисел, после чего достаточно проверить окрестность точки контура № 1 (Рис. 2), чтобы установить факт

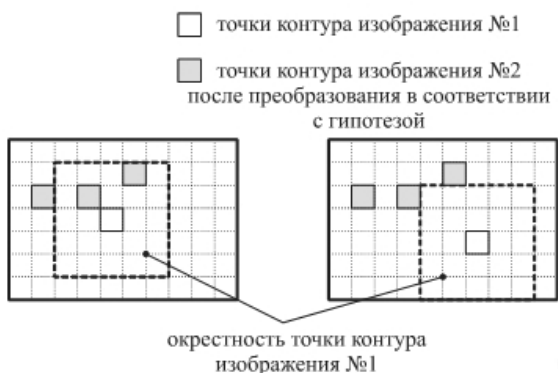


Рис. 2. Принцип совпадение контурных точек на изображениях: совпадают (слева) и не совпадают (справа).

совпадения контурных точек. Размер окрестности определяется порогом.

На Рис. 2 показано два возможных варианта. На изображении слева в окрестности точки контура № 1 находятся две точки контура № 2, что означает, что хотя бы одна из них будет являться совпадением, а на изображении справа в окрестности нет ни одной точки, то есть совпадение отсутствует.

3. Максимум совпавших особых точек:

$$\hat{\theta} = \arg \max_{\theta} (B(\theta)), \tag{6}$$

где $B(\theta)$ – количество совпавших особых точек, соответствующее гипотезе θ .

Количество совпавших особых точек определяется аналогичным образом, как и в случае с контурными точками.

5. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Для моделирования были выбраны по 100 изображений трех различных видов:

- здания домов, характеризующихся наличием периодически повторяющихся текстурных фрагментов (например, изображениями окон);
- поверхность земли, снятая с борта беспилотного летательного аппарата и в результате дистанционного зондирования, характеризующаяся наличием участков с однородной яркостью (примечание:

с точки зрения обработки такие участки характеризуются "пониженной информативностью");

- сцены природы (горы, озера, холмы и т.д.), характеризующиеся отсутствием периодически повторяющихся текстурных фрагментов.

На Рис. 3 приведен пример изображения [23] со сценой природы и результат совмещения.

Для определения погрешности совмещения к изображениям добавляется шум с заданной дисперсией в соответствии с выбранным значением отношения сигнал/шум, после чего запускалась процедура совмещения.

Дисперсия шума D_n рассчитывалась следующим образом:

$$D_n = \frac{D_s}{h^2}, \tag{7}$$

где D_s – дисперсия, вычисленная по яркости пикселей изображения; h^2 – отношение сигнал/шум.

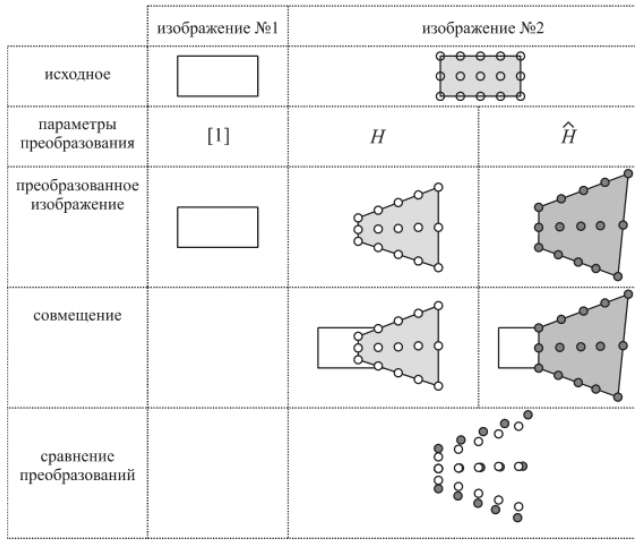
Результаты эксперимента с одинаковой мощностью шума усреднялись. В результате были построены графики зависимости погрешности от отношения сигнал/шум и в зависимости от критерия.

Сравнение различных критериев проводилось путем сравнения с эталонным совмещением (примечание: эталонное совмещение определялось при отсутствии шума). Для этого была разработана методика оценки погрешности. Принцип сравнения различных совмещений показан на Рис. 4. На исходное изображение накладывалась "сетка". При совмещении изображений положение точек сетки меняется в соответствии с параметрами совмещения. Чем меньше положение точек сетки, полученной при работе алгоритма, будет отличаться от положения точек эталонной сетки, тем меньше будет погрешность. Количественной мерой является значение среднеквадратичной величины:

$$SKV = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_i)^2 + (y_i - \hat{y}_i)^2}{N}}, \tag{8}$$



Рис. 3. Пример обрабатываемых изображений и совмещение



[1] - отсутствие преобразования
 H - эталонное преобразование
 \hat{H} - преобразование, оцененное в результате алгоритма
 ○ - точка сетки для эталонного совмещения
 ● - точка сетки для совмещения, полученного при работе алгоритма

Рис. 4. Вычисление погрешности совмещения.

где (x_i, y_i) – координаты сетки для эталонного совмещения; (\hat{x}_i, \hat{y}_i) – координаты сетки для совмещения, полученной при работе алгоритма; N – количество точек в сетке.

Результаты численного моделирования для трех изображений (по одному из каждого вида) показаны на Рис. 5.

Примечание: \overline{SKV} – значение среднеквадратичной величины, усредненной для экспериментов с одинаковой мощностью шума.

В Таблице 1 показано относительное время обработки для рассмотренных критериев.

В эксперименте участвовали изображения с различным разрешением и различным «перекрытием», что существенно влияет на время обработки даже при использовании одного критерия. Поэтому в таблице указаны измерения в относительных единицах, где значение "1" соответствует наименьшему времени обработки.

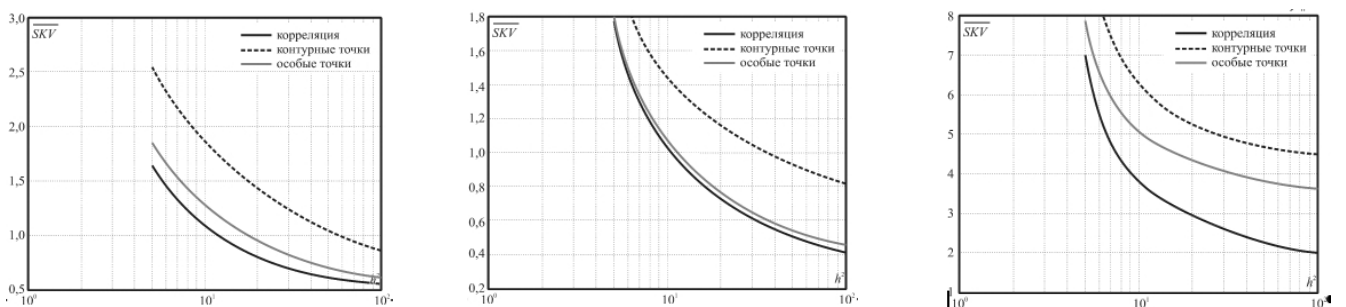


Рис. 5. Зависимость погрешности от отношения/сигнал шум для изображений: здания домов (а), поверхность земли (б), сцена природы (в)

Таблица 1

Относительное время обработки			
Критерий	Максимум коэффициента корреляции	Максимум совпавших контурных точек	Максимум совпавших особых точек
Относительное время обработки	500...2000	20...800	1

6. ВЫВОДЫ

Исходя полученных результатов, можно сделать следующие выводы.

1. Критерий максимума коэффициента корреляции обладает наибольшей помехоустойчивостью, а критерий максимума совпавших контурных точек обладает наименьшей помехоустойчивостью.

2. Критерий максимума совпавших особых точек характеризуется минимальным временем обработки, а критерий максимума коэффициента корреляции – наибольшим временем.

3. Сравнение критериев по погрешностям выявило только качественные различия между критериями совмещения, но при этом четких количественных значений выявить не удалось в результате простого сравнения полученных графиков. Однако более детальный анализ совмещаемых изображений выявил следующие закономерности:

- на критерий максимума коэффициента корреляции наибольшее “негативное” влияние оказывают фрагменты с низкой информативностью – однородные по яркости фрагменты; такие фрагменты можно совмещать самым различным образом и при этом вклад в коэффициент корреляции будет существенным независимо от параметров совмещения; другими словами, два однородных фрагмента можно совмещать самыми различными способами и в каждом случае они будут похожи;

- на критерий максимума совпавших контурных точек отрицательно влияет значительное

количество распознанных контурных точек; в отличие от критерия максимума коэффициента корреляции, в котором каждый пиксель изображения несет информацию о яркости, и по совокупности нескольких пикселей можно судить о «совпадении» фрагментов, в критерии максимума совпавших контурных точек – чем больше контурных точек, тем выше вероятность случайного совпадения точек контуров совмещаемых изображений.

4. При использовании критерия совпавших контурных точек целесообразным является выявление информативных контуров, чтобы обеспечивать качественное совмещение изображений; однако вопрос о том, как определять информативность контура является открытым. Например, в работе [9] для совмещения изображений поверхности земли был разработан метод, позволяющий предварительно выявлять контуры, принадлежащие одному и тому же объекту, вместо использования "стандартных" алгоритмов [24].

Другим примером использования "информативных" контуров являются работы по совмещению медицинских изображений (изображений УЗИ, МРТ и т.д.) [14], где на изображении, фактически, имеется только один контур, ограничивающий человеческий орган.

5. Наиболее перспективным, как с точки зрения помехоустойчивости (на Рис. 5а и Рис. 5б графики погрешности для критерия корреляции и особых точек располагаются близко друг к другу), так и с точки зрения времени обработки, является критерий максимума совпавших особых точек. Особые точки не располагаются на однородных по яркости фрагментах, и количество особых точек можно автоматически регулировать с помощью порога, чтобы уменьшить вероятность случайного совпадения точек, как в случае с контурами.

6. Представленная методика расчета погрешности совмещения является универсальной, что позволяет проводить сравнение не только различных критериев, но и различных алгоритмов совмещения, так как проводится сравнение не самих изображений (общего фрагмента), а искажений, к которым приводят параметры совмещения.

7. Представленная методика позволяет оценивать границы по значению отношения сигнал/шум при заданной "допустимой"

погрешности совмещения для различных критериев совмещения.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе был рассмотрен вопрос выбора критерия для совмещения изображений с точки зрения двух требований обработки, которые по своей сути противопоставлены друг другу. С одной стороны требование минимизации времени обработки, означает применение простейших, с вычислительной точки зрения, критериев, а с другой стороны, требование высокой помехоустойчивости означает непосредственное сравнение изображений, что определяет проведение наибольшего количества вычислений.

Основным результатом исследования является то, что первоначальное предположение, что критерий максимума коэффициента корреляции является наиболее предпочтительным для совмещения с точки зрения помехоустойчивости, правомерным только для некоторых видов изображений. Критерий максимума совпавших особых точек обеспечивает в ряде случаев практически ту же помехоустойчивость. При этом данный критерий обеспечивает минимальное время обработки, что в большинстве случаев является главным требованием при обработке в системах технического зрения.

Вторым немаловажным результатом исследования является то, что для построения алгоритмов совмещения необходимо ориентироваться на информативные признаки изображений: слишком много контурных точек или учет однородных по яркости фрагментов изображений может существенно влиять на результат совмещения.

Разработанная методика оценки погрешности совмещения изображений может быть использована в качестве инструмента объективной оценки, так как параметры совмещения определяют погрешность прямым, а не косвенным образом.

Полученные результаты будут использованы для проведения дальнейших исследований, направленных на разработку методов синтеза алгоритмов совмещения, а также формирования рекомендаций для выбора критерия зависимости от статистических характеристик обрабатываемых изображений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кокошкин АВ, Коротков ВА, Новичихин ЕП. Сравнение методов интерполяции при достижении сверхразрешения изображений на основе анализа нескольких кадров. *РЭНСИТ: Радиозлектроника. Наносистемы. Информационные технологии*, 2019, 11(1):85-91.
2. Морозов АА, Супикова ОС, Хохлова МН, Минько К, Петрова НГ. Разработка средств агентного логического программирования для многоканального интеллектуального видеонаблюдения. *РЭНСИТ: Радиозлектроника. Наносистемы. Информационные технологии*, 2018, 10(1):101-116.
3. Алаторцев ДВ, Хамухин АВ. Анализ эффективных методов оценки дальности и алгоритмов обработки видеoinформации на БПЛА. *Известия Тульского гос. университета*, 2020, 12:255-261.
4. Колесников АА. Анализ методов и средств искусственного интеллекта для анализа и интерпретации данных активного дистанционного зондирования. *Вестник Сибирского гос. университета геосистем и технологий*, 2022, 27(3):74-94.
5. Сшивание панорамных изображений с помощью OpenCV: <https://machinelearningmastery.ru/image-panorama-stitching-with-opencv-2402bde6b46c/> (дата обращения 01.11.2023).
6. Сшивание изображений: <https://russianblogs.com/article/39531123633/> (дата обращения 01.11.2023).
7. Lucas BD, Kanade T. An iterative image registration technique with an application to stereo vision. *Proceedings of Imaging Understanding Workshop*, 1981, pp.121-130.
8. Парингер РА, Донон Я, Куприянов АВ. Модификация метода сопоставления размытых изображений. *Компьютерная оптика*, 2020, 44(3):441-445.
9. Ефимов АИ, Новиков АИ. Алгоритм поэтапного уточнения проективного преобразования для совмещения изображений. *Компьютерная оптика*, 2016, 40(2):258-265.
10. Диязитдинова АА. Проективное совмещение телевизионных сигналов методом RANSAC для промышленных систем технического зрения. *Инфокоммуникационные технологии*, 2020, 18(4):443-449.
11. Бондаренко ВА, Каплинский ГЭ, Павлова ВА, Тушиков ВА. Метод поиска и сопоставления ключевых особенностей изображений для распознавания образов и сопровождения объектов. *Известия ЮФУ*, 2019, 1(203):281-293.
12. Bouquet J-Y. Pyramidal implementation of the Lucas Kanade feature tracker description of the algorithm: <https://web.stanford.edu/class/cs231m/references/pyr-lucas-kanade-feature-tracker-bouquet.pdf> (дата обращения 28.10.2023).
13. Смирнов СА, Бабаян ПВ, Ершов МД, Муравьев ВС. Разработка и оптимизация алгоритма слежения за транспортным средством на основе пирамидального метода Лукаса-Канаде. *Вестник кибернетики*, 2020, 2(38):58-67.
14. Сунгатулина ДИ, Крылов АС, Фёдоров ДН. Быстрые алгоритмы совмещения гистологических изображений. *Научная визуализация*, 2014, 6(4):61-71.
15. Rajalakshmi C, Alex MG, Balasubramanian R. Copy move forgery detection using key point localized super pixel based on texture features. *Computer Optics*, 2019, 43(2):270-276.
16. Константинов ИС, Гайворонский ВА. Разработка и исследование структурной модели построения объемного панорамного изображения. *Экономика. Информатика*, 2023, 50(1):133-143.
17. Чеховский ДВ, Цудиков МБ. Особенности поиска признаков изображений для получения панорамы из серии кадров. *Известия Тульского гос. ун-та*, 2019, 3:30-34.
18. Силицын АВ. Обзор методов создания панорамного изображения для системы технического зрения. *Столыпинский вестник*, 2023, 2:947-956.
19. Чеканов МО, Шипитько ОС, Ершов ЕИ. Одноточечный RANSAC для оценки величины осевого вращения объекта по томографическим проекциям. *Сенсорные системы*, 2020, 34(1):72-86.
20. Гошин ЕВ, Котов АП, Фурсов ВА. Двухэтапное формирование пространственного преобразования для совмещения изображений. *Компьютерная оптика*, 2014, 38(4):886-891.
21. Крашенинников ВР, Кадеев АД. Алгоритм оценивания сдвига и поворота изображений на основе метода неподвижной точки. *Известия Самарского научного центра РАН*, 2013, 15(4):931-935.
22. Diyazitdinova A. Homography superposition of multidimensional television signals in improving quality images issue for multicamera video surveillance system. *Proc. of SPIE 12295: 19th International Scientific and Technical Conference "Optical Technologies for Communications"*, pp.122950P. Samara, PSUTI, 2021; doi: 10.1117/12.2630869.
23. RANSAC Algorithm: <https://stackoverflow.com/questions/4655334/ransac-algorithm?noredirect=1> (дата обращения 01.11.2023).
24. Canny J. A computational approach to edge detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1986, 8(6):679-698.

Диязитдинова Альфия Асхатовна

старший преподаватель

Поволжский гос. ун-т телекоммуникаций и информатики

23, ул. А. Толстого, Самара 443010, Россия

E-mail: a.diyazitdinova@psuti.ru.

Сдано в набор 24.04.2024. Подписано в печать 26.04.2024. Формат 60×88/8.
Бумага офсетная. Печать цифровая. Печ.л. 15,6. Тираж 100 экз. Зак. 531-21.

Компьютерный набор, верстка, графика, фотоработы – Редакция журнала РЭНСИТ.