

## О совмещении изображений и способах их реализации

*А.М. Сергеев*

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП)*

**Аннотация:** Рассматривается вопрос изменения научного интереса к методам совмещения изображений в технических системах. Материал основан на анализе открытых публикаций, патентов, представленных в научной электронной библиотеке eLibrary за период 1980 – 2021 гг., а также не вошедших в нее по каким-либо причинам. Рассматриваются виды источников формирования изображений, цели и особенности наиболее распространенных способов совмещения. Приводятся области преимущественного использования методов совмещения. Рассматриваются вопросы предобработки изображений для повышения информативности результата совмещения.

**Ключевые слова:** визуальные данные, опорное изображение, совмещение изображений, информационное совмещение, комбинирование изображений, предобработка изображений.

### Введение

Развитие методов и средств совмещения и обработки визуальной информации, получаемой в различных спектральных диапазонах, в последнее время привлекает к себе внимание ученых и инженеров. Основной задачей совмещения является перенос информационных составляющих изображений на результирующее.

Будем называть опорным изображение, полученное в видимом диапазоне, на которое каким-либо способом накладываются другие изображения, полученные в различных спектральных диапазонах или визуализацией результатов исследований.

Известны различные способы совмещения изображений. Во-первых, наложение изображения одного объекта на другой, как правило, в одном спектральном диапазоне. При этом, самым простым способом, накладываемый объект может скрывать часть изображения, на которое накладывается. В ряде исследований такой и подобные способы называют способами комплексирования [1].

Во-вторых, комбинирование изображений, которое заключается в том, что изображение накладываемого объекта воспринимается как «полупрозрачное» и не скрывает, а дополняет опорное изображение, на которое накладывается. Этот способ используется, в основном, в задачах, в которых оба изображения получают в одном масштабе, но различных спектральных диапазонах. Такие изображения информативно дополняют друг друга [2].

В-третьих, объединение изображений, которые получены в одном масштабе и в одном (или разных) спектральном диапазоне, путем их «склейки» по общей границе для определения отклонений (рассогласований) границ.

Стремительное развитие технологий совмещения изображений позволяет применять их в различных отраслях человеческой деятельности. Например, при мониторинге чрезвычайных ситуаций [3], картографировании местности [4], при оценке строительных объектов [5], а также при круглосуточной и всесезонной охране объектов критической инфраструктуры, мониторинге протяженных объектов – трубопроводов, коммуникаций и др.

Для реализации программ и устройств, использующих приведенные выше способы совмещения, создаётся всё больше и больше нетривиальных решений. Например, в медицине используется виртуальная сонография или объемная навигация в реальном времени [6, 7].

Целью настоящей работы является отражение научного интереса к реализации в цифровых системах различного назначения алгоритмов совмещения изображений и выделение из них основных по назначению, а также формулирование задач предобработки изображений для повышения их информативности.

## Анализ активности исследований в области совмещения изображений

Методы совмещения изображений возникли задолго до появления цифровой техники получения и обработки изображений. Системы создавались для изображений еще в стандартах PAL, SECAM и NTSC. Однако, резкому увеличению интереса к методам совмещения и средствам их реализации в начале 2000-х годов способствовал переход к цифровому представлению изображений.

Как следует из представленной на рис. 1 гистограммы, на основе анализа автора публикаций, представленных по данной тематике на ресурсе eLibrary.ru, количество публикаций с этого времени, в целом, увеличивается.

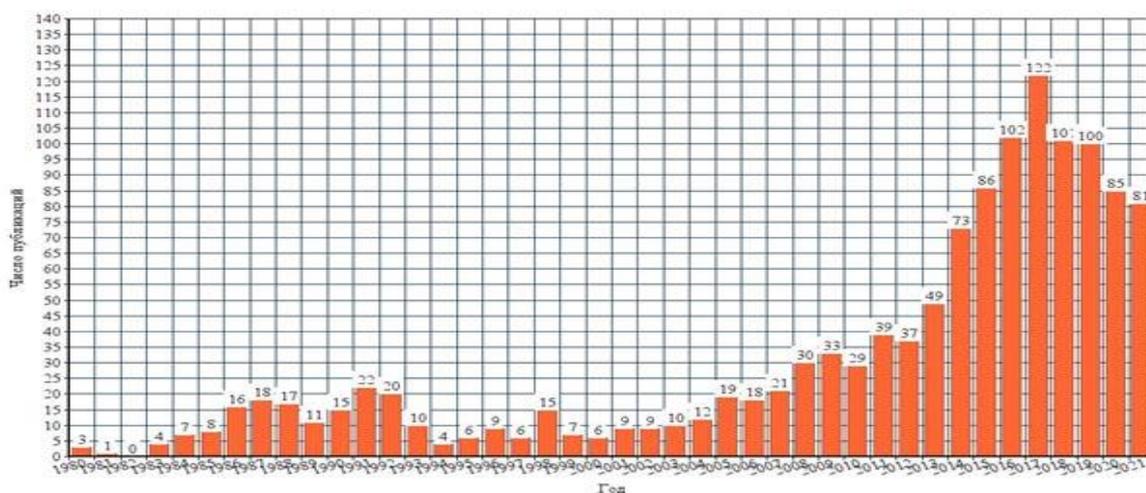


Рис. 1. – Гистограмма числа публикаций по рассматриваемой теме в период 1980 – 2021 гг. (авторская разработка)

Этот же период характеризуется и ростом количества выданных патентов на аппаратные решения в данной области, что отражено автором на гистограмме, представленной на рис. 2.

В целом следует отметить, что интерес к совмещению изображений и расширению областей их использования, возрастая, стимулирует исследования как в области самих методов совмещения, так и разработки технических решений для их реализации.

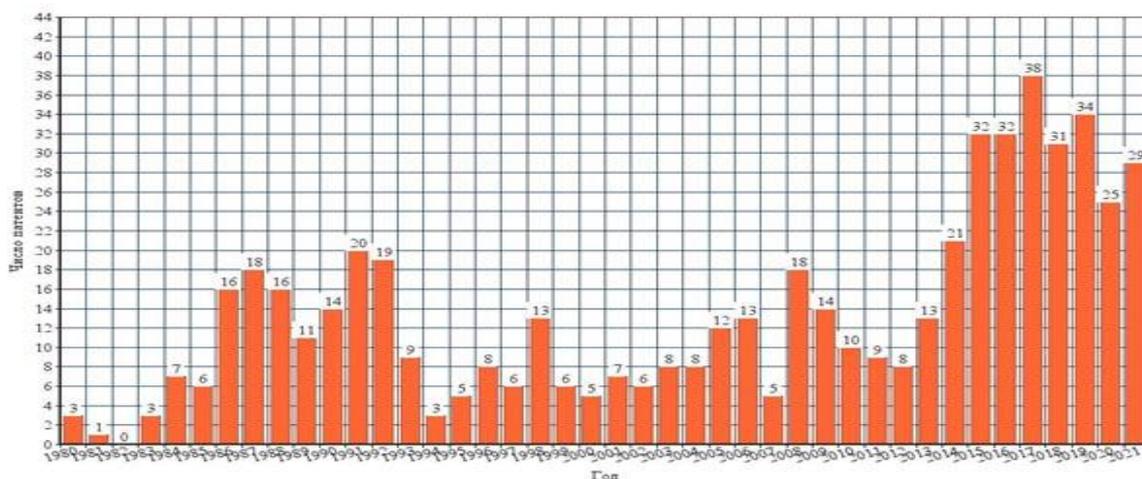


Рис. 2. – Гистограмма числа выданных патентов по рассматриваемой тематике в период 1980 – 2021 гг. (авторская разработка)

### **Возможные источники получения изображений и цели совмещения**

Как показывает анализ литературы, изображения для совмещения могут быть получены путем оцифровки данных от различных источников – матриц видимого телевизионного (далее ТВ), инфракрасного (далее ИК), ультрафиолетового (далее УФ) и рентгеновского диапазонов, ультразвуковых и электромагнитных приборов, радиолокационных станций (далее РЛС) и др.

Изображения, полученные на матрицах в разных спектральных диапазонах и изображения, визуализирующие данные от перечисленных приборов других диапазонов, имеют существенные различия как в конечном разрешении, качестве и цветности, так и в детализации объектов на них.

Эти и ряд других обстоятельств требуют значительной предобработки изображений перед совмещением. Например, сегодня не только разрешение матриц ИК диапазона существенно уступает матрицам ТВ диапазона. Следовательно, одной из основных является задача приведения изображений от разных источников к одинаковому масштабу с близким разрешением и качеством, позволяющим найти на них общие фрагменты и детали. Однако, следует упомянуть и существующие комплекты ИК- и ТВ-матриц с одинаковым

разрешением. Например, компания Proto выпускает ИК-камеру EH10F36IR и ТВ-камеру EK13F76IN, у которых одинаковое разрешение 1280×960 [8].

Применения технологий совмещения изображений для различных областей человеческой деятельности имеют различные цели. Однако их можно рассматривать в связи с происхождением (источником) изображений.

*Совмещение в одном спектральном диапазоне* – это, как правило, совмещение изображений объектов, полученных в разное время или в заданном интервале времени (медицина, ландшафтная съемка, кадастровая съемка, экологический мониторинг и др.) используется, как правило, для определения изменения границ объектов. Другое применение – совмещение изображений объекта и эталона (шаблона) для получения информации идентификационного характера, или определения несогласования видимых параметров, отнесения к классу объектов.

*Совмещение в разных спектральных диапазонах или от разных источников* используется, во-первых, для сопоставления местоположения аномалий на объекте с привязкой к объекту (фрагменту) или его размерам. Во-вторых, для информативного дополнения изображения объекта при формировании его обобщенного образа.

В качестве примера следует указать применение в медицине (магниторезонансная томография, рентгенография, ультразвуковые исследования и др.) для сравнения этапов состояния болезни по изображениям, полученным в разное время. При этом желательно при совмещении видеть в результате одновременно два (или более) изображения [9, 10]. В авиационном мониторинге лесных массивов совмещение изображений в ТВ и ИК диапазонах позволяет определять места возгораний или участков распространения пожара при обработке полученных видеозаписей.

Примером информативного дополнения изображения объектов может служить цифровая карта местности (далее ЦКМ) и карта высот зданий на

---

ней, полученная с использованием радиолокационной станции. Такой обобщенный образ местности сегодня, например, является основой для определения мест размещения антенн базовых станций операторов сотовой связи с учетом характера распространения радиоволн [11].

### **Способы совмещения изображений**

*Совмещение наложением.* Использование совмещения изображений способом наложения получили в последнее время существенное развитие. Связано это, в том числе, с появлением современных коллиматорных систем с элементами дополненной реальности, с проекционными экранами в автомобилях, проекционными экранами и очками в авиации.

Сегодня существуют уже готовые решения для совмещения изображений в виде программных систем. В работе [12], например, рассматривается задача совмещения радиолокационного изображения (далее РЛИ), сформированного бортовой аппаратурой малого летательного аппарата (далее МЛА), и цифровой географической карты местности с учетом высот в режиме реального времени.

Обобщённая схема функционирования системы совмещения РЛИ с цифровой картой местности, являющейся опорным изображением, представлена на рис. 3 (авторская разработка).

Для решения этой задачи используется алгоритм совмещения на основе корреляционно-экстремального метода [13, 14]. В качестве результата при использовании указанной системы на рис. 4 приведено изображение совмещения наложением объединенного радиолокационного изображения на цифровую карту местности для выделения разновысотных объектов на местности.

Аналогично реализуется формирование результирующего изображения на проекционных экранах в кабине пилота самолета или в автомобилях.

---

Отличие заключается лишь в том, что опорного цифрового изображения нет, а есть видимая часть наблюдаемой пилотом обстановки.

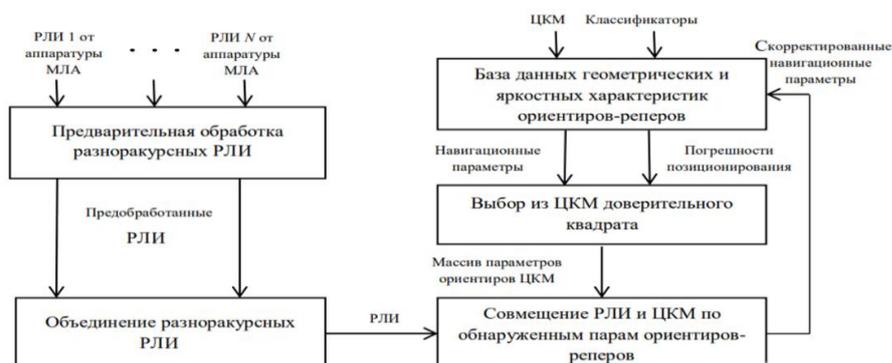


Рис. 3. – Схема функционирования системы совмещения ЦКМ и РЛИ (авторская разработка)



Рис. 4. – Результат совмещения изображений наложением (взято из работы [12])

**Комбинированное совмещение изображений.** В технической литературе описаны десятки методов комбинированного совмещения изображений. Многие из них могут быть отнесены к методам информационного совмещения [14–16]. Как правило эти методы используются для совмещения изображений видимого и инфракрасного (ИК) диапазонов.

Согласно исследованию [17], одним из наиболее удачных методов комбинированного совмещения изображений с разрешением  $n \times m$  пикселей является метод «шахматной доски». Это решение, использованное впервые в патенте [18], заключается в том, что считываются пиксели первого и второго

цифровых изображений с и последовательно записываются в результирующее цифровое изображение. Причем в нечетных строках записывают последовательно пиксели первого и второго изображений, а на четных строках – последовательно пиксели второго и первого изображений. Схема совмещения приведена на рис. 5, где  $A_{ij}$  – пиксели матрицы первого изображения,  $B_{ij}$  – пиксели матрицы второго изображения.

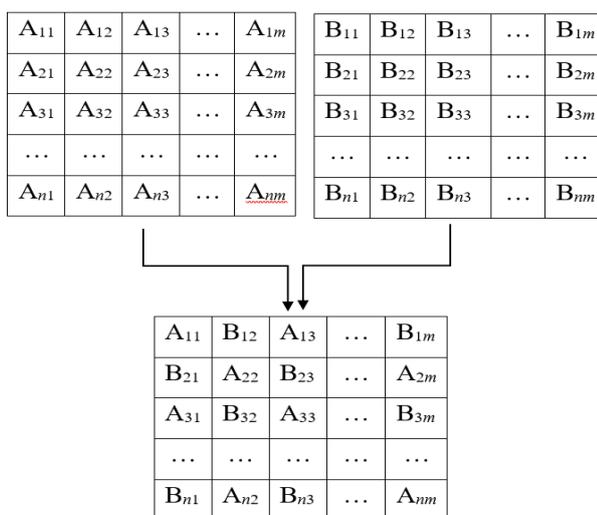


Рис. 5. – Схема совмещения по алгоритму «шахматная доска» (взята из источника [18])

Для двух изображений, полученных из одной точки в одинаковом масштабе двумя камерами – в видимом и ИК диапазоне, на рис. 6 приведен результат совмещения рассмотренным методом [18]. Слева изображение, полученное в ТВ диапазоне, справа – комбинированное с изображением, полученным в ИК диапазоне. Результирующее изображение позволяет детализировать сцену для ее изучения с привязкой к особенностям пейзажа.

Важной областью применения такого способа совмещения кроме строительства, медицины может стать, в отличие от используемого способа [13], решение задач с автоматической обработкой изображений в целях государственного мониторинга земель.

Решаемыми здесь задачами являются:

- выявление вновь появившихся или исчезнувших антропогенных и природных объектов на территории обследования,
- определение качественных изменений объекта в его границах,
- определение геометрических изменений объектов.



*а*



*б*

Рис.6. – Комбинированное совмещение методом «шахматной доски»: *а* – изображение в ТВ диапазоне, *б* – совмещенное ТВ и ИК изображения методом «шахматной доски» (ТВ и ИК изображения взяты из источника [19])

***Совмещение изображений объектов по их контурам.*** Один из таких методов – это быстрый алгоритм совмещения контуров изображений, связанных с изотропным аффинным преобразованием [20].

Алгоритм делится на три логические части: вычисление дескриптора граничных точек, поиск соответствий между граничными точками и вычисление параметров аффинного преобразования.

### **Общие процедуры предобработки совмещаемых изображений**

Для совмещения визуализированных изображений очевидно необходимо выполнить ряд преобразований, связанных с тем, что ТВ и ИК источники изображения имеют разное разрешение и объективы с разными углами зрения, получаемые от других источников визуализированные изображения имеют разные масштабы, разрешения, цветность и др.

Во-первых, требуется приведение изображений к единому масштабу цифрового представления за счет масштабирования. Это можно

осуществлять одновременно с уменьшением разрешения изображений прореживанием, либо объединением пикселов построчно и по столбцам с увеличением контраста и различимости фрагментов.

Вследствие несовпадения оптических осей информационных каналов на изображениях всегда присутствует пространственный сдвиг, который следует учитывать при предобработке. По причине непараллельности оптических осей возникают геометрические искажения. В большинстве случаев эти искажения присутствуют на изображении одновременно [21].

Рассмотренные способы наложения, комбинирования и совмещения изображений предполагают их высокое качество, способное обеспечить различимость фрагментов (объектов, деталей) [2] как на них, так и на результирующем изображении. Как правило, не всегда такое качество обеспечивается при реальной съемке и, соответственно, требуется коррекция. Коррекция изображений в цифровых системах обработки проводится в основном для подавления импульсных помех и, в целом, для улучшения качества изображений. Алгоритмы такой обработки хорошо известны и применяются в различных программных пакетах.

Для современных систем получения изображения в цифровом виде характерно почти полное отсутствие сколько-нибудь существенных яркостных и пространственных помех. Однако, иногда требуется повышение различимости отдельных фрагментов изображений, связанное с низкой или слишком большой освещенностью отображаемой сцены [22]. Кроме того, даже при современных способах управления матрицей и оптической системой возможен неправильный выбор фокусного расстояния, что при получении отдельного изображения может вызвать существенное размывание контурных линий.

Указанные выше причины в отдельности и в сочетании снижают возможность разделения отдельных соседних фрагментов, которые имеют

---

низкие контрастность и резкость одновременно. Для увеличения контрастности и, как следствие – резкости, следует воспользоваться преобразованием шкалы яркости, например, гамма-коррекцией [23]. Визуального эффекта повышения контрастности при расфокусировке крупных фрагментов можно добиться путем подчеркивания контура, например, широко известным методом с использованием лапласиана [22], позволяющим уменьшить яркость пикселей, находящихся в начале области перепада от меньшей яркости к большей, и повысить яркость пикселей в конце этой области. Это увеличит контрастность контурной линии и визуально усилит резкость изображения, как это показано на рис. 7 на примере обработки тестового изображения «Лена», выполненного с использованием авторского программного обеспечения.



Рис. 7. – Повышение контрастности и резкости изображения:  
*а* – исходное изображение (взято из источника [24]); *б* – расфокусированное изображение; *в* – обработанное лапласианом изображение (авторские разработки)

### Заключение

Интерес к тематике совмещения изображений, в том числе от источников разных спектральных диапазонов, в последнее время усиливается. Это связано с расширением использования многоспектральных видеосистем в мониторинге территорий, строительстве, идентификации, медицине и других областях человеческой деятельности.

Наиболее часто используются три рассмотренных способа: наложение, комбинирование и совмещение границ изображений объектов.

Разные по разрешению, размерам и качеству изображения, получаемые в видимом диапазоне и с помощью радиолокационных, ультразвуковых, рентгеновских, инфракрасных и других технологий, требуют предварительной обработки для повышения их информативности и различимости фрагментов.

### Литература

1. Васильев А.С., Трушкина А.В. Методы комплексирования изображений в многоспектральных оптико-электронных системах // 26-я Международная конференция (GraphiCon2016), Россия, Нижний Новгород, 19–23 сентября 2016 г. С. 314 – 318.

2. Ерош И.Л., Сергеев М.Б., Соловьев Н.В. Обработка и распознавание изображений в системах превентивной безопасности. СПб.: ГУАП, 2005. 154 с.

3. Васильев А.С., Краснящих А.В., Коротаев В.В., Лашманов О. Ю., Лысенко Д.Ю., Ненарокомов О.Н., Широков А.С., Ярышев С.Н. Разработка программно-аппаратного комплекса обнаружения лесных пожаров методом совмещения изображений // Известия вузов. Приборостроение. 2012. Т.55. № 12. С. 50-56.

4. Лимонов А.Н. Совмещение цифровых изображений при мониторинге линейных и площадных элементов ландшафта // Проблемы региональной экологии. 2009. № 6. С. 101-105.

5. Васильев А.С., Коротаев В.В., Ненарокомов О.Н. Совмещение тепловизионного и телевизионного изображений при обследовании строительных конструкций зданий и сооружений // Известия вузов. Приборостроение. 2012. Т. 55, № 4. С. 12 – 16.

6. Егорова Е.А., Лисицын А.С. Метод совмещения изображений срезов мультиспиральной и однофотонной эмиссионной компьютерной томографии

---

легких // Энергосбережение и эффективность в технических системах. Материалы V Международной научно-технической конференции студентов, молодых учёных и специалистов. 2018. С. 385-386

7. Sandulescu L., Sandulescu L., Saftoiu A., Dumitrescu D., Ciurea T. Real-time contrast-enhanced and real-time virtual sonography in the assessment of benign liver lesions // Journal of gastrointestinal and liver diseases: JGLD. 2008. № 17. P. 475–478.

8. Петриков И.А., Недорезов М.В., Ткаченко В.В. Совмещение изображений с двух камер с различными диапазонами излучения // Труды МФТИ. 2021. Том 13, № 4. С. 30 – 38.

9. Dekel B., Blaunstein N., Zilberman A., Cohen Y., Sergeev M., Varlamova L., Polishchuk G. Method of Infrared Thermography for Earlier Diagnostics of Gastric Colorectal and Cervical Cancer // Smart Innovation, Systems and Technologies. 2016. Vol. 60. P. 83-92.

10. Строев В.М., Ветров А.Н. Совмещение инфракрасных и оптических изображений при диагностике поражений кожи // В сборнике: Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2018. Сборник трудов международного научно-технического форума: в 11 томах. Под общ. ред. О.В. Миловзорова. 2018. С. 67-71.

11. Sergeev A.M., Blaunstein N.Sh. Evolution of Multiple-Access Networks – Cellular and Non-Cellular – in Historical Perspective. Part 3 // Information and Control Systems. 2018. № 6 (97). С. 82-94.

12. Сенцов А.А., Ненашев В.А., Иванов С.А., Турнецкая Е.Л. Совмещение сформированных радиолокационных изображений с цифровой картой местности в бортовых системах оперативного мониторинга земной поверхности // Труды МАИ. 2021. № 117. DOI: 10.34759/trd-2021-117-08

13. Кондратенков Г.С., Быков В.Н., Викентьев А.Ю. Методика автоматического совмещения радиолокационных изображений с цифровыми

---

картами и оптическими снимками местности // Радиотехника. 2007. № 8. С. 99–101.

14. Штейнбок М.Я. Иерархическое совмещение изображений в задаче корреляционно-экстремального управления: диссертация ... кандидата технических наук: 05.13.01. - Томск, 1991. - 138 с.

15. Богданов А.П., Костяшкин Л.Н., Морозов А.В., Павлов О.В., Романов Ю.Н., Рязанов А.В. Способ комплексирования цифровых полутоновых телевизионных и тепловизионных изображений. Патент на изобретение RU 2451338. Бюл. № 14. 2012. URL: [fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet?DB=RUPAT&rn=4614&DocNumber=2451338&TypeFile=html](https://fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=4614&DocNumber=2451338&TypeFile=html)

16. Ветров А.Н., Осипова А.А., Гахзар М.А., Артюхин И.Ю. Совмещение изображений от датчиков различных диапазонов частот // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. С. 173 – 180.

17. Фролов В.Н., Тупиков В.А., Павлова В.А., Александров В.А. Методы информационного совмещения изображений в многоканальных оптико-электронных системах // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. № 11-3. С. 95-104.

18. Ерош И.Л., Сергеев М.Б., Соловьев Н.В., Филатов Г.П., Козлов А.А., Литвинов М.Ю. Способ совмещения изображений, полученных с помощью различных фотодатчиков, и устройство для его реализации. Патент на изобретение RU 2435221. Бюл. № 33. 2011. URL: [fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet?DB=RUPAT&rn=3909&DocNumber=2435221&TypeFile=html](https://fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=3909&DocNumber=2435221&TypeFile=html)

19. Sensors Unlimited. SWIR Image Gallery. URL: [sensorsinc.com/gallery/images/](https://sensorsinc.com/gallery/images/) (accessed 12/06/16)

20. Сунгатуллина Д., Крылов А. Быстрый алгоритм совмещения контуров изображений, связанных изотропным аффинным преобразованием // В сборнике: Графикон'2014. Труды конференции. Академия архитектуры и

искусств, Институт механики, математики и компьютерных наук, Южный федеральный университет. 2014. С. 92-95.

21. Аксенов О.Ю. Совмещение изображений // Цифровая обработка сигналов. 2005. № 3. С. 51-55.

22. Строев В.М., Гладышева Ю.А., Жилина И.В., Михина А.В. Система предварительной обработки изображений на основе матриц фоточувствительных приборов с зарядовой связью // Инженерный вестник Дона. 2019. № 8. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2019/6130](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2019/6130)

23. Сергеев М.Б., Соловьев Н.В., Стадник А.И. Методы повышения контрастности растровых изображений для систем цифровой обработки видеoinформации // Информационно-управляющие системы. 2007. № 1 (26). С. 2-7.

24. Распознавание типов искажений изображения. URL: [coder-solution-ru.com/solution-ru-blog/532364](http://coder-solution-ru.com/solution-ru-blog/532364)

### References

1. Vasil'ev A.S., Trushkina A.V. Metody kompleksirovaniya izobrazhenij v mnogosppektral'nyh optiko-elektronnyh sistemah [Method of image aggregation in multispectral optoelectronic systems]. 26-ya Mezhdunarodnaya konferenciya (GraphiCon2016), Rossiya, Nizhnij Novgorod, 19–23 sentyabrya 2016 g. pp. 314 – 318.

2. Erosh I.L., Sergeev M.B., Solov'ev N.V. Obrabotka i raspoznavanie izobrazhenij v sistemah preventivnoj bezopasnosti [Image processing and recognition in preventive security systems. Sankt-Petersburg: GUAP, 2005. 154 p.

3. Vasil'ev A.S., Krasnyashchih A.V., Korotaev V.V., Lashmanov O. Yu., Lysenko D.YU., Nenarokomov O.N., SHirokov A.S., YAryshev S.N. Izvestiya vuzov. Priborostroenie. 2012. Vol. 55. № 12. pp. 50-56.

4. Limonov A.N. Problemy regional'noj ekologii. 2009. № 6. pp. 101-105.

5. Vasil'ev A.S., Korotaev V.V., Nenarokomov O.N. Izvestiya vuzov. Priborostroenie. 2012. Vol. 55, № 4. pp. 12 – 16.

6. Egorova E. A., Lisicyn A. S. Metod sovmeshcheniya izobrazhenij srezov mul'tispiral'noj i odnofotonnoj emissionnoj komp'yuternoj tomografii legkih [Method of combining images of slices of multispiral and single-photon emission computed tomography of the lungs]. Energoberezhenie i effektivnost' v tekhnicheskikh sistemah. Materialy V Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii studentov, molodyh uchyonyh i specialistov. 2018. pp. 385-386.

7. Sandulescu L., Sandulescu L., Saftoiu A., Dumitrescu D., Ciurea T. Real-time contrast-enhanced and real-time virtual sonography in the assessment of benign liver lesions. Journal of gastrointestinal and liver diseases: JGLD. 2008. № 17. pp. 475–478.

8. Petrikov I.A., Nedorezov M.V., Tkachenko V.V. Trudy MFTI. 2021. Vol. 13. № 4. pp. 30 – 38.

9. Dekel B., Blaunstein N., Zilberman A., Cohen Y., Sergeev M., Varlamova L., Polishchuk G. Method of Infrared Thermography for Earlier Diagnostics of Gastric Colorectal and Cervical Cancer. Smart Innovation, Systems and Technologies. 2016. Vol. 60. pp. 83-92.

10. Stroeв V.M., Vetrov A.N. Sovmeshchenie infrakrasnyh i opticheskikh izobrazhenij pri diagnostike porazhenij kozhi. [Combination of infrared and optical images in the diagnosis of skin lesions]. V sbornike: Sovremennye tekhnologii v nauke i obrazovanii – STNO-2018. Sbornik trudov mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskogo foruma: v 11 tomah. Pod obshch. red. O.V. Milovzorova. 2018. pp. 67-71.

11. Sergeev A.M., Blaunstein N.Sh. Informacionno-upravlyayushchie sistemy. 2018. № 6 (97). pp. 82-94.

12. Sencov A.A., Nenashev V.A., Ivanov S.A., Turneckaya E.L. Trudy MAI. 2021. № 117. DOI: 10.34759/trd-2021-117-08

13. Kondratenkov G.S., Bykov V.N., Vikent'ev A.Yu. Radiotekhnika. 2007. № 8. P. 99–101.

14. Shtejnbok M.Ya. Ierarhicheskoe sovmeshchenie izobrazhenij v zadache korrelyacionno-ekstremal'nogo upravleniya. [Hierarchical combination of images in the problem of correlation-extreme control]. Dissertaciya k.t.n. Tomsk, 1991. 138 p.

15. Bogdanov A.P., Kostyashkin L.N., Morozov A.V., Pavlov O.V., Romanov Yu.N., Ryazanov A.V. Sposob kompleksirovaniya cifrovyyh polutonovyh televizionnyh i teplovizionnyh izobrazhenij [A method for combining digital halftone television and thermal imaging images]. Patent na izobretenie RUS 2451338. 2012. URL: [fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet?DB=RUPAT&rn=4614&DocNumber=2451338&TypeFile=html](http://fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=4614&DocNumber=2451338&TypeFile=html)

16. Vetrov A.N., Osipova A.A., Gahzar M.A., Artyuhin I.Yu. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2013. № 6. P. 173 – 180.

17. Frolov V.N., Tupikov V.A., Pavlova V.A., Aleksandrov V.A. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2016. № 11-3. P. 95-104.

18. Erosh I.L., Sergeev M.B., Solov'ev N.V., Filatov G.P., Kozlov A.A., Litvinov M.Yu. Sposob sovmeshcheniya izobrazhenij, poluchennyh ot razlichnyh fotodatchikov, i ustrojstvo dlya ego realizacii [A method of combining images obtained from different photo sensors and a device for its implementation]. Patent na izobretenie RUS 2435221. 2011. URL: [fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet?DB=RUPAT&rn=3909&DocNumber=2435221&TypeFile=html](http://fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=3909&DocNumber=2435221&TypeFile=html)

19. Sensors Unlimited. SWIR Image Gallery. URL: [sensorsinc.com/gallery/images/](http://sensorsinc.com/gallery/images/) (accessed 12/06/16)

20. Sungatullina D., Krylov A. Bystryj algoritm sovmeshcheniya konturov izobrazhenij, svyazannyh izotropnym affinnym preobrazovaniem. [A fast algorithm for combining image contours connected by an isotropic affine transformation]. V sbornike: Grafikon'2014. Trudy konferencii. Akademiya arhitektury i iskusstv,

---



Institut mekhaniki, matematiki i komp'yuternyh nauk, Yuzhnyj federal'nyj universitet. 2014. P. 92-95.

21. Aksenov O.Yu. Cifrovaya obrabotka signalov. 2005. № 3. S. 51-55.

22. Stroev V.M., Gladysheva Yu.A., Zhilina I.V., Mihina A.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2019. № 8. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2019/6130](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2019/6130)

23. Sergeev M.B., Solov'ev N.V., Stadnik A.I. Informacionno-upravlyayushchie sistemy. 2007. № 1 (26). P. 2-7.

24. Raspoznavanie tipov iskazhenij izobrazheniya [Recognition of image distortion types]. URL: [coder-solution-ru.com/solution-ru-blog/532364](http://coder-solution-ru.com/solution-ru-blog/532364)