

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2705423

Способ совмещения одновременно получаемых изображений от матричных фотоприёмников разного спектрального диапазона

Патентообладатель: *Общество с ограниченной ответственностью
"РАСТР ТЕХНОЛОДЖИ" (RU)*

Авторы: *Бондаренко Максим Андреевич (RU), Бондаренко
Андрей Викторович (RU), Ядчук Константин Александрович
(RU), Князев Михаил Геннадьевич (RU), Докучаев Игорь
Вадимович (RU)*

Заявка № 2019101203

Приоритет изобретения 17 января 2019 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 07 ноября 2019 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 17 января 2039 г.

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Г.П. Ивлиев





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(51) МПК

[G06T 3/00](#) (2006.01)

(52) СПК

[G06T 7/00](#) (2019.05)[G06T 3/0068](#) (2019.05)[G06T 1/00](#) (2019.05)**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**(21)(22) Заявка: [2019101203](#), 17.01.2019

(24) Дата начала отсчёта срока действия патента: 17.01.2019

Дата регистрации: 07.11.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 17.01.2019

(45) Опубликовано: [07.11.2019](#) Бюл. № [31](#)

Адрес для переписки:
117593, Москва, Соловьиный пр-д, 4, к. 1,
кв. 152, ООО "РАСТР ТЕХНОЛОДЖИ",
Бондаренко А.В.

(72) Автор(ы):

**Бондаренко Максим Андреевич (RU),
Бондаренко Андрей Викторович (RU),
Ядчук Константин Александрович (RU),
Князев Михаил Геннадьевич (RU),
Докучаев Игорь Вадимович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Общество с ограниченной
ответственностью "РАСТР
ТЕХНОЛОДЖИ" (RU)**

(56) Список документов, цитированных в
отчёте о поиске: **RU 2013134645, 27.01.2015.
RU 2007145889, 20.06.2009. US 2011150275,
23.06.2011. CN 104427211, 18.03.2015.**

RU 2 7 0 5 4 2 3 C 1

(54) Способ совмещения одновременно получаемых изображений от матричных фотоприёмников разного спектрального диапазона**(57) Реферат**

Изобретение относится к способам цифровой обработки изображений, в частности к совмещению цифровых изображений. Технический результат заключается в непрерывном аппаратно-независимом обеспечении совмещения изображений в реальном масштабе времени, которые одновременно формируются матричными фотоприёмниками разного спектрального диапазона, для последующего вывода совмещённой информации на один дисплей без потерь по разрешающей способности. Указанный технический результат достигают тем, что заявляемый способ совмещения включает в себя действие выбора эталонного изображения с максимальным полем зрения и наибольшей разрешающей способностью, выполнение нормировки системы координат изображений, визуальный выбор на эталонном изображении четырёх характерных точек наблюдаемых объектов в качестве опорных, определение их координат, визуальный выбор тех же четырёх точек наблюдаемых объектов на всех остальных изображениях и определение их координат для вычисления проективных матричных преобразований гомографии с последующим запоминанием полученных параметров преобразований гомографии и осуществлением совмещения каждой последующей серии изображений с использованием этих сохранённых параметров. 3 ил.

(12) Описание изобретения

Изобретение относится к способам цифровой обработки изображений, в частности к совмещению цифровых изображений.

Необходимость совмещения изображений связана с одновременным использованием оптико-электронных цифровых камер (видеоканалов) на базе фотоприёмных датчиков разного спектрального диапазона, а также с требованиями вывода на общий экран комбинированного изображения, одновременно содержащего информационные признаки от совмещаемых изображений. Под фотоприёмными датчиками понимаются фотоприёмные матрицы, формирующие цифровые изображения. В настоящий момент промышленно выпускаются фотоприёмные матрицы, которые могут быть включены в состав мультиспектральной видеосистемы, работающие в следующих спектральных диапазонах: ультрафиолетовый (УФ, 0,2 – 0,4 мкм), видимый или телевизионный (ТВ, 0,4 – 0,9 мкм), ближний инфракрасный (ближний ИК, 0,9 – 1,7 мкм), средний ИК (3 – 5 мкм) и дальний ИК или тепловизионный (ТП, 8 – 14 мкм). Известно, что фотоприёмники, чувствительные в указанных диапазонах, изготавливаются по разным топологическим нормам и с использованием разных материалов. Соответствующая фокусирующая оптика, также выполняется из различающихся материалов, которые пропускают излучение в нужном диапазоне спектра (для УФ диапазона обычно применяют кварцевое стекло, для ТВ – оптическое стекло разных марок на основе оксида кремния, для оптики ИК диапазона применяют селенид цинка, для ТП диапазона - германий). Этот факт существенно затрудняет, а часто делает физически невозможным при текущем уровне технологий формирование комбинированных мультиспектральных изображений на одной фотоприёмной матрице без необходимости процедуры совмещения их компонент, например, широко известным способом наложения RGB светофильтра-шаблона Байера на матричный фотоприёмник для формирования цветного трёхкомпонентного изображения (в данном случае видимый ТВ диапазон спектрально разделяется на 3 области: красную «R», зелёную «G» и синюю «B»). Если же спектральный диапазон системы технического зрения существенно шире или существенно отличается от ТВ диапазона, то физические и технологические ограничения могут требовать использование нескольких фотоприёмников, которые, очевидно, будут формировать изображения в разных ракурсах, что делает задачу их совмещения актуальной.

Заявляемый способ может быть использован в рамках класса видеосистем, одновременно формирующих два и более цифровых изображения разного спектрального диапазона, которые совмещаются, затем комплексированы, и результирующее комбинированное изображение выводится на монитор.

В частности, способ может быть использован в мультиспектральных системах информационного обеспечения экипажей пилотируемой мобильной техники, когда комбинированное изображение подстилающей поверхности выводится на пилотажно-навигационный дисплей в кабине пилотов и операторов беспилотной мобильной техники при управлении в сложных условиях видимости, так называемые многоканальные системы усиленного видения (СУВ, например, см. статью «Анализ алгоритмов совмещения видеоинформации в авиационных системах», Международный журнал Открытых информационных технологий (InJOIT), ISSN: 2307-8162, том 4, № 10, 2016); в пассивных системах оптико-электронной разведки; в системах охраны периметра объектов при сложных условиях наблюдения, когда все ключевые наблюдаемые объекты могут быть видимы только с помощью двух и более датчиков разного диапазона спектра; в видеосистемах неразрушающего контроля для автоматического сопоставления данных от разнородных фотоприёмных датчиков и проведения спектрального анализа объектов, например комплексная диагностика воздушных линий электропередач одновременно в УФ (контроль утечки заряда) и ТП (контроль электропроводности) диапазонах (см, например, Завидей В. И., Вихров М. А., Крупенин Н. В., Голубев А. В. Электронно-оптическое оборудование при контроле технического состояния элементов сетей и подстанций на рабочем напряжении, //

Электро, № 1. – 2006. – С. 19-23.); в системах фотографического анализа документов на предмет скрытых деталей для исторической и криминалистической проверки, см., например, Архипова Е. В. Использование электромагнитных излучений для определения подлинности документов и ценных бумаг // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: сборник статей XLI междунар. студ. науч.-практ. конф. № 4(40). – С. 290-299.

В качестве аналога изобретения можно было бы выбрать способ совмещения изображений, полученных с помощью разнодиапазонных фотодатчиков (см. патент РФ № 2538340, опубл. 10.01.2015 г.). Однако, на самом деле авторами заявляется способ комплексирования изображений за счёт использования собственной терминологии, в отличие от принятой в рассматриваемой предметной области, например, «совмещение двух изображений в одно». При этом часть патентов, которые они приводят в качестве аналогов, являются именно способами комплексирования. Вообще, в большинстве источников (см., например, Бондаренко М.А. Разработка методов и алгоритмов совмещения 2D и 3D информации для авиационных систем улучшенного и синтезированного видения, дисс. канд. тех. наук: 05.13.11. – Москва, 2016. – 113 с.) под совмещением двух изображений понимается процедура их пространственной трансформация такая, что координаты объектов на одном изображении переходят в координаты им отвечающих объектов на другом. Под комплексированием же понимается процедура слияния, микширования или объединения двух и более изображений в одно с целью записать полезную информацию от нескольких изображений в общее изображение, называемое комбинированным. Часто в публикациях комплексирование изображений используют для наглядности представления результата их совмещения. Настоящая работа подтверждает это правило: в Приложении на фиг. 1, 2 и 3 изображены именно комбинированные изображения, только вот для получения комбинированного изображения на фиг. 1 не выполнялось предварительное совмещение его составляющих. Если всё же при этом считать патент РФ № 2538340 «способом совмещения изображений», то такой способ является непригодным для практического применения, так как, очевидно, чересстрочная запись двух изображений в одно с последующей интерполяцией элементов строк результирующего изображения не способна решить задачу совмещения изображений, отснятых в различающихся ракурсах.

Аналогом изобретения является способ совмещения изображений, полученных с помощью различных фотодатчиков, и устройство для его реализации, патент РФ № 2435221, опубл. 27.11.2011 г. Заявленное устройство, содержит телекамеру видимого спектра, телекамеру инфракрасного спектра, светоделитель, последовательно соединённые блок попиксельного считывания первого изображения, переключатель записи пикселей, память совмещённого изображения и блок попиксельного считывания второго изображения. В заявляемом способе предварительно световой поток разделяют на два потока, из первого потока формируют изображение видимого спектра, из второго – изображение инфракрасного спектра, считывают пиксели первого и второго изображения и попеременно записывают в память общее изображение этих пикселей. На нечётных строках записывают последовательно пиксели первого и второго изображения, а на чётных строках – последовательно пиксели второго и первого изображения. Технический результат – повышение точности определения взаимного расположения фрагментов изображений и возможность вычисления их параметров положения.

Основные недостатки аналога вытекают из наличия светоделителя, предварительно разделяющего световой поток от наблюдаемой сцены на две части: ослабленный входной сигнал за счёт светоделения и невозможность масштабирования или реконфигурации видеосистемы путём замены видеодатчиков или их добавления, так как невозможно универсальным образом разделить световой поток для произвольного числа и типа датчиков, принимающих сигнал в разных спектральных диапазонах.

Другим аналогом является способ «предварительного грубого совмещения изображений» (см. статью Волегов Д. Б., Юрин Д. В. Предварительное грубое совмещение изображений по найденным на них прямым линиям для построения мозаик, сверхразрешения

и восстановления трёхмерных сцен // Программирование. – 2008. – Т. 34, № 5. – С. 47-66.). Предлагаемый способ заключается в выделении контурного препарата (например, помощью известного фильтра Собеля) на совмещаемых изображениях, поиске параметрических линий с помощью быстрого варианта известного преобразования Хафа, вычислении параметров проективного матричного преобразования сцены, зависящего от параметров найденных прямых, которое находят путём минимизации суммы квадратов разности яркости элементов изображений в окрестности соответствующих прямых и применении найденного преобразования для одного из изображений.

Ключевым недостатком этого аналога для совмещения разносектральных изображений является невозможность оценки точности совмещения по близости их соответствующих деталей по яркости, что говорит о применимости метода только для совмещения изображений одного спектрального диапазона. Этим же недостатком обладают классические корреляционно-экстремальные методы (см., например, книгу «Совмещение изображений в корреляционно-экстремальных навигационных системах» под ред. Л. Н. Костяшкина, М. Б. Никифорова, изд. Радиотехника: 2015, 208 с.), которые ищут искомое преобразование для совмещения также по мере соответствия яркости.

Известным зарубежным аналогом (владелец – компания Интел Корпорейшн, США) является способ совмещения игрового поля на основе модели (см. патент РФ № 2480832, опубл. 27.04.2013, бюл. № 12), который заключается в том, что выделяют ключевые точки на реальном изображении сцены, формируемого цифровой видеокамерой, и на совмещаемой проекции предварительно созданной трёхмерной (3D) модели этой сцены определяют, достаточное ли количество точек было выделено, выполняют оценку изображения и затем генерируют гомографическую матрицу преобразования изображения. При этом для оценки взаимного положения опорных точек используют цветовые характеристики фона: «... обработка включает в себя выполнение изучения доминирующих цветов и классификацию типа обзора...», линии разметки «игрового поля», найденные с помощью известного преобразования Хафа, и оценки движения объектов на последовательности изображений от видеокамеры.

Как видно из описания, подход Интел Корпорейшн для вычисления параметров совмещения не применим к рассматриваемой области техники (совмещение разносектральных изображений), так как совмещаемые изображения, полученные в спектральных диапазонах, отличных от ТВ, не содержат по определению информацию о цвете и являются монохромными. Также предлагаемый способ ограничен применением для тех изображений, для которых заведомо известна их 3D модель определенного типа, при этом способ не может обеспечивать устойчивое совмещение для последовательности изображений, где нет однородного простого фона, движения объектов и характерных особенностей типа прямых линий, так как для выполнения необходимых действий способа не будет требуемых входных данных.

В качестве прототипа выбран способ совмещения изображений, формируемых видеосистемой, состоящей из нескольких независимых видеодатчиков. Способ изложен в статье (см. Новиков А. И., Саблина В. А., Горячев Е. О. Применение контурного анализа для совмещения изображений // Известия ТулГУ. Технические науки, 2013, Вып. 9, Ч. 1, стр. 260-269), который заключается в поиске на разносектральных изображениях одних и тех же объектов, их сопоставлении и вычислении проективного преобразования гомографии изображений к плоскости эталонного изображения по четвёркам опорных точек в каждом видеоканале. При этом поиск опорных точек предлагается осуществлять путём выделения бинарных растровых контуров объектов на изображениях с последующим их векторным приближением с помощью поиска аппроксимирующего многоугольника с минимальным количеством вершин для тех точек контура, где достигается локальный максимум косинусов углов при вершинах. Окончательно полученные точки контуров сопоставляются с помощью оценки сходства углов при их вершинах и их взаимному расположению, что позволяет выбрать четвёрки опорных точек для получения искомых преобразований гомографии.

Способ-прототип не накладывает ограничения на аппаратную конфигурацию видеосистемы, одновременно формирующей входные изображения, и позволяет их совмещать без использования специального оптико-электронного решения: использования светоделительных призм, особых зеркал, изготовления специальных объективов или заказных матричных фотоприёмников.

Однако способ-прототип не гарантирует устойчивость совмещения изображений в каждый момент времени в условиях изменчивости сцены из-за неточностей при распознавании контуров и их аппроксимации многоугольниками и накладывает повышенные требования к вычислительной части видеосистемы. Также в прототипе отсутствуют указания на принцип выбора эталонного изображения, что может повлечь за собой потери разрешающей способности изображений видеоканалов при совмещении.

В цифровой обработке изображений, если не оговорено дополнительно, для вычисления координат элементов цифровых (растровых) изображений используется целочисленная дискретная система координат, «матрица из строк и столбцов» (см., например, Р. Гонсалес, Р. Вудс Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005, стр. 102), где её начало совпадает с левым верхним элементом изображения, ось абсцисс (ось «X») параллельна столбцам изображений и направлена вниз, а ось ординат (ось «Y») параллельна их строкам и направлена вправо. Таким образом, ещё одним недостатком является то, что в прототипе нет уточнений по выбору системы координат, в которой производится совмещение изображений: если она не нормированная (вещественные значения координат изображений меняются в диапазоне от 0 до 1, переход к такой системе осуществляется операцией нормировки: делением координаты «X» на число элементов изображения по ширине и делением координаты «Y» на число элементов изображения по высоте), то это не обеспечивает аппаратную независимость (возможность представления результатов совмещения на дисплеях разного разрешения) и может служить причиной появления артефактов дискретизации за счёт преобразования координат в целых числах.

Задача изобретения заключается в непрерывном аппаратно независимом обеспечении совмещения изображений разного спектрального диапазона, формируемых матричными фотоприёмниками, без потерь по разрешающей способности и в реальном масштабе времени. Сущность изобретения заключается в том, что выбирают эталонное изображение с максимальным полем зрения, при этом выбранное изображение должно также иметь максимальную разрешающую способность как по ширине, так и по высоте, по сравнению с остальными (не эталонными) изображениями, иначе будут потери по разрешению, затем определяют его относительные размеры, нормируют координатную систему эталонного изображения по ширине и высоте, определяют размеры не эталонных изображений и преобразуют их координаты в нормированную координатную систему эталонного изображения, визуально вручную выбирают в качестве опорных точек четыре координаты на эталонном изображении, визуально находят на каждом из не эталонных изображений соответствующие четыре точки, которые принадлежат одним и тем же объектам, вычисляют проективные матричные преобразования гомографии, их число равняется числу не эталонных изображений, преобразования имеют вид:

$$H(x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3, x_4, y_4, u_1, v_1, u_2, v_2, u_3, v_3, u_4, v_4) = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & 1 \end{bmatrix},$$

где (u_i, v_i) – точки эталонного изображения, (x_i, y_i) – точки одного из не эталонных изображений, $i = 1, 2, 3, 4$; неизвестные коэффициенты a, b, c, d, e, f, g, h для каждого не эталонного изображения находят с помощью решения системы линейных уравнений (например, общеизвестным методом Гаусса):

$$\begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix}, \quad i = 1, 2, 3, 4,$$

что равносильно системе

$$\begin{cases} u_i = \frac{ax_i + by_i + c}{gx_i + hy_i + 1} \\ v_i = \frac{dx_i + ey_i + f}{gx_i + hy_i + 1} \end{cases} \quad i = 1, 2, 3, 4,$$

затем запоминают полученные преобразования для каждого из не эталонных изображений и их применяют на каждом из входных изображений, кроме эталонного, для последующего формирования синтезированного изображения. Для вывода результата совмещения на цифровой дисплей произвольного разрешения и размеров последовательно применяют известные процедуры масштабирования, интерполяции и растеризации изображений.

Техническим результатом является обеспечение возможности одновременного вывода и сопоставления изображений, полученных от цифровых камер разного спектрального диапазона на одном дисплее, что достигается аппаратной независимостью предлагаемого способа, универсальностью его применения за счёт работы в единой системе нормированных координат, простотой реализации, отсутствием потерь по разрешающей способности, а также его реализуемостью на компактных бортовых вычислителях с низким энергопотреблением за счёт предварительного вычисления параметров совмещения. Выполненная программная реализация способа с использованием вычислительных ресурсов графического процессора показала скорость совмещения изображений в реальном масштабе времени – со скоростью не ниже скорости формирования изображений в видеоканалах.

Вариант реализации заявляемого способа совмещения изображений видеоканалов на примере оптико-электронной трёхспектральной системы (ТВ, ближний ИК, ТП) заключается в том, что исходные растровые изображения, одновременно формируемые тремя видеоканалами, взаимное расположение которых не меняется при эксплуатации, преобразуют в текстуры (под текстурами здесь, как и в компьютерной графике, понимают плоские растровые изображения в нормированных вещественных координатах, подготовленные для наложения на выбранную полигональную поверхность), которые накладывают на общий полигон в режиме слияния их текселей (элемент текстуры, аналог пикселя цифрового (растрового) изображения: если изображение имеет, например, w элементов по ширине, h элементов по высоте, и размер элемента в обоих измерениях равен 1, то в нормированной системе координат тексель текстуры имеет размер $1/w$ по ширине и $1/h$ по высоте), выбирают в качестве эталонного видеоканала видеоканал с максимальным разрешением и полем зрения, переводят не эталонные изображения в нормированную систему координат эталонного изображения, визуально выбирают на эталонном изображении четыре точки и на не эталонных изображениях – им соответствующие точки, далее производят независимое перемещение четвёрок соответствующих точек текстур на изображениях от не эталонных видеоканалов, при этом перемещается та точка текстуры, к которой ближе курсор компьютерной мыши. Матричные преобразования и последующую линейную интерполяцию с растеризацией изображений-текстур производят в подпрограмме для видеокарты – пиксельном шейдере. Перемещение точек текстур изображений осуществляют при их предварительном визуальном совмещении на оптической мире, видимой одновременно всеми видеоканалами, так, чтобы целевые объекты на изображениях от разных видеоканалов совпадали. Коэффициенты искомым матричных преобразований томографии для изображений-текстур относительно изображения эталонного видеоканала находят путём решения соответствующей системы линейных уравнений известным методом Гаусса. Затем запоминают матричные преобразования томографии для видеоканалов, для эталонного видеоканала матричное преобразование единичное (тождественное), и загруженные настройки применяют в процессе эксплуатации. На фиг. 1 и 2 в Приложении показано наложение (комплексирование) видеоканалов без совмещения и с совмещением по предлагаемому способу. Процесс программного совмещения изображений видеоканалов показан на фиг. 3 в Приложении.

(57) Формула изобретения

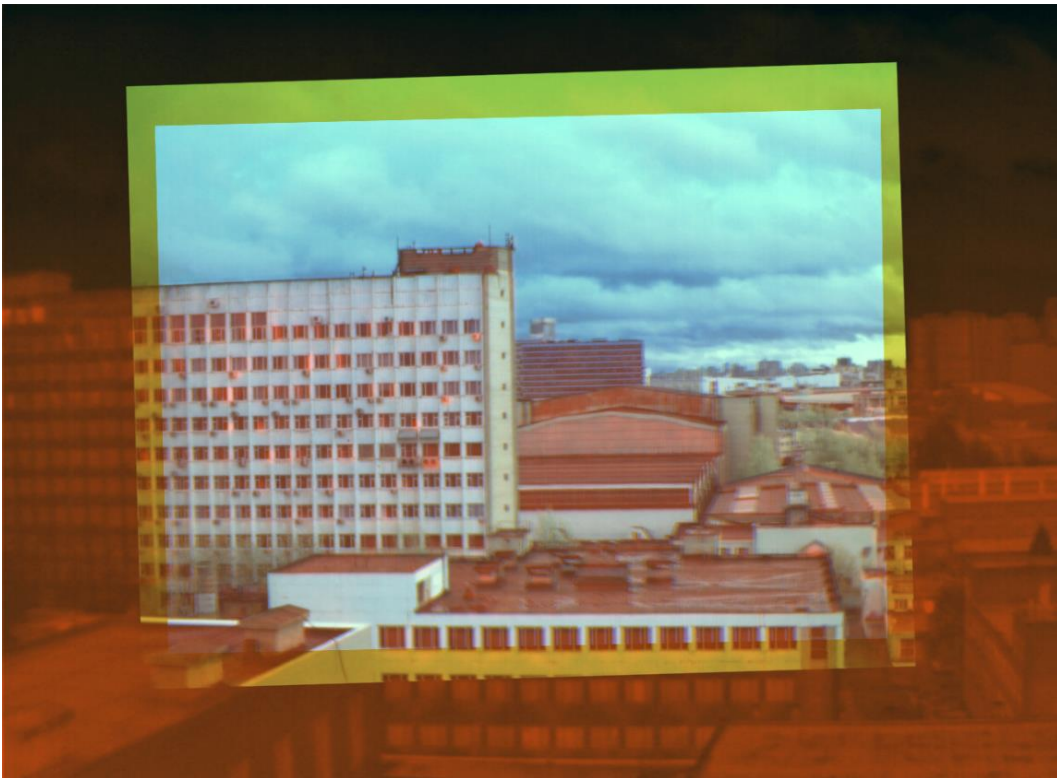
Способ совмещения одновременно получаемых изображений от матричных фотоприёмников разного спектрального диапазона, заключающийся в том, что одновременно получают несколько изображений разного спектрального диапазона, из числа этих изображений выбирают эталонное изображение, выбирают начало координат и четыре опорные точки на эталонном изображении, определяют координаты этих точек, затем находят те же точки на всех остальных изображениях и также определяют их координаты, далее по этим измерениям вычисляют параметры проективных матричных преобразований гомографии, полученные преобразования применяют для совмещения всех изображений к эталонному, отличающийся тем, что наблюдают картину удалённых объектов, эталонное изображение выбирают с максимальным полем зрения и наибольшей разрешающей способностью, выполняют нормировку системы координат изображений, на эталонном изображении визуально выбирают четыре характерные точки наблюдаемых объектов в качестве опорных и определяют их координаты, визуально выбирают те же четыре точки наблюдаемых объектов на всех остальных изображениях и определяют их координаты для определения проективных матричных преобразований гомографии, запоминают полученные параметры проективных матричных преобразований гомографии, а затем производят совмещение каждой последующей серии изображений с использованием этих сохранённых параметров.

R U 2 7 0 5 4 2 3 C 1

Приложение



Фиг. 1. Комплексование (попиксельное слияние) ТВ, ближнего ИК и ТП видеоканалов без совмещения.



Фиг. 2. Комплексование (попиксельное слияние) видеоканалов с совмещением по предлагаемому способу. Оттенки красного, зелёного и голубого – изображения от ТП, ближнего ИК и ТВ видеоканалов соответственно.

RU 2705423 C1



Фиг. 3. Вариант реализации процесса совмещения изображений по предлагаемому способу. Вкладки «ТВ», «ИК», «ТП» – определяют, изображение от какого видеоканала совмещают путём перемещения выбранных точек его текстуры. «Опорные точки» – координаты четырёх опорных точек изображений в пиксельных координатах эталонного изображения для совмещения. «Преобразование» – вычисленная матрица преобразования гомографии выбранного изображения видеоканала. Радиокнопка «Эталон» – назначает видеоканал эталонным. Нижний ряд кнопок на управляющей панели слева направо: «применить настройки». «сбросить настройки», «загрузить настройки» и «сохранить настройки».