

УДК 621.397.3: 536.3

АЛГОРИТМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

© 2007 г. В. С. Андреев*, А. Ф. Губкин**, канд. техн. наук; А. С. Ильяшенко*; А. Б. Кадыков*; Н. Н. Лапина*, В. Р. Луцев*, канд. техн. наук; И. А. Малышев*, канд. техн. наук; Т. А. Новикова*; А. С. Потапов*, канд. техн. наук

* НПК “Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова”, Санкт-Петербург

** Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет (ЛЭТИ), Санкт-Петербург

Представлен каталог алгоритмов автоматической обработки аэрокосмических снимков, включающий более пятидесяти наименований, систематизированных по следующим темам: структурное сопоставление изображений, сопоставление изображений на основе фурье-инвариантов, совмещение изображений в единой системе координат, обнаружение изменений местности на основе аэрокосмических снимков; восстановление и улучшение изображений, обработка информации, извлеченной из радиолокационных снимков, распознавание объектов заданных классов на аэрокосмических снимках, измерение возвышения объектов по их аэрокосмическим снимкам, поиск изображений в базах данных, геокодирование аэрокосмических снимков, сжатие изображений, разработка камуфлирующих материалов, вспомогательные алгоритмы вычисления признаков изображений. Для представленных алгоритмов кратко описаны входные и выходные данные и принципы работы.

Коды OCIS: 100.2980, 3000.30200.

Поступила в редакцию 10.11.2006.

Введение

На рынке программ представлен широкий спектр средств, ориентированных на интерактивную обработку изображений, – от богатейшего набора часто используемых инструментов, собранных в пакете Photoshop, и более автоматизированного пакета PaintShopPro, предназначенного для неискушенного потребителя, до множества специализированных программных инструментов, таких, например, как пакеты семейства Erdas, предназначенные для обработки аэрокосмических снимков. В меньшей степени наполнен рынок программ, ориентированных на автоматическую обработку изображений. Данная статья посвящена алгоритмам автоматической обработки аэрокосмических снимков, созданным в Государственном оптическом институте им. С.И. Вавилова (ГОИ). Такие изображения наиболее сложны для автоматического анализа ввиду высокой сезонно-суточной изменчивости реальных ландшафтов. Мы также разработали решения для многих практических задач автоматической обработки изображений, не связанных с аэрокосмическими снимками, однако в рамках данной статьи

они не представлены. Подробности можно найти на нашем сайте www.goi-bal.spb.ru¹.

Перечисленные ниже алгоритмы систематизированы по тринадцати разделам. Некоторые алгоритмы упоминаются в нескольких разделах, если возможно их применение для решения задач разных классов. Все алгоритмы реализованы в виде программ на языках C/C++. В основу представленных алгоритмов положены наши теоретические разработки [1–11].

1. Алгоритмы структурного сопоставления аэрокосмических снимков

Эти алгоритмы взаимно однозначно сопоставляют структурные элементы (СЭ) двух изображений. В результате сопоставления вычисляется также мера

¹ Через специальную страничку этого сайта можно отправить нам электронное письмо, задать вопросы и предложить нам обработать картинки, вызвавшие трудности у читателя. В ближайшее время на сайте будут размещены демоверсии некоторых наших программ, можно будет посылать туда изображения в режиме on-line, а затем считать оттуда результаты их автоматической обработки.

сходства изображений в целом. В качестве сопоставляемых СЭ используются фрагменты контуров, аппроксимированные отрезками прямых линий, углами между линиями, дугами окружности. Первые два типа СЭ являются инвариантами аффинных преобразований (АП) и проективных преобразований (ПП). Это также справедливо для локальных фрагментов дуг, если АП или ПП не приводят к сильному сжатию изображения в каком-либо направлении, что обычно справедливо при сопоставлении аэрокосмических снимков (АС). Выбор контуров в качестве источников СЭ позволяет сопоставлять формы границ объектов, абстрагируясь от случайных изменений свойств их поверхностей. Таким образом, представленные ниже алгоритмы структурного сопоставления (СС) двух изображений, производные от них алгоритмы СС изображений с картами местности (см. рис. 1а–1в) и алгоритмы поиска в базах данных (см. ниже в разделе 9) инвариантны по отношению к

- сезонно-суточным изменениям (ССИ) изображений ландшафтов (см. рис. 1г–1е);
 - различию типов применяемых сенсоров (можно сопоставлять радиолокационные снимки со снимками оптического диапазона и т. п., см. рис. 1ж–1и);
 - некоторому изменению масштаба изображений (см. рис. 1);
 - изменению ракурса наблюдения (см. рис. 1), если неровности поверхности Земли значительно меньше расстояния, с которого проводится наклонная съемка местности (алгоритм СС для случаев, когда это условие не выполняется, описан ниже в п. 4 раздела 3).
- Допускаются АП сопоставляемых изображений. Это характерно для формирования изображений при наклонной съемке с больших расстояний. Допустимы также небольшие локальные отклонения от АП, что позволяет иметь дело с ПП (это соответствует наклонной съемке с более близких расстояний) и с изображениями трехмерных сцен.

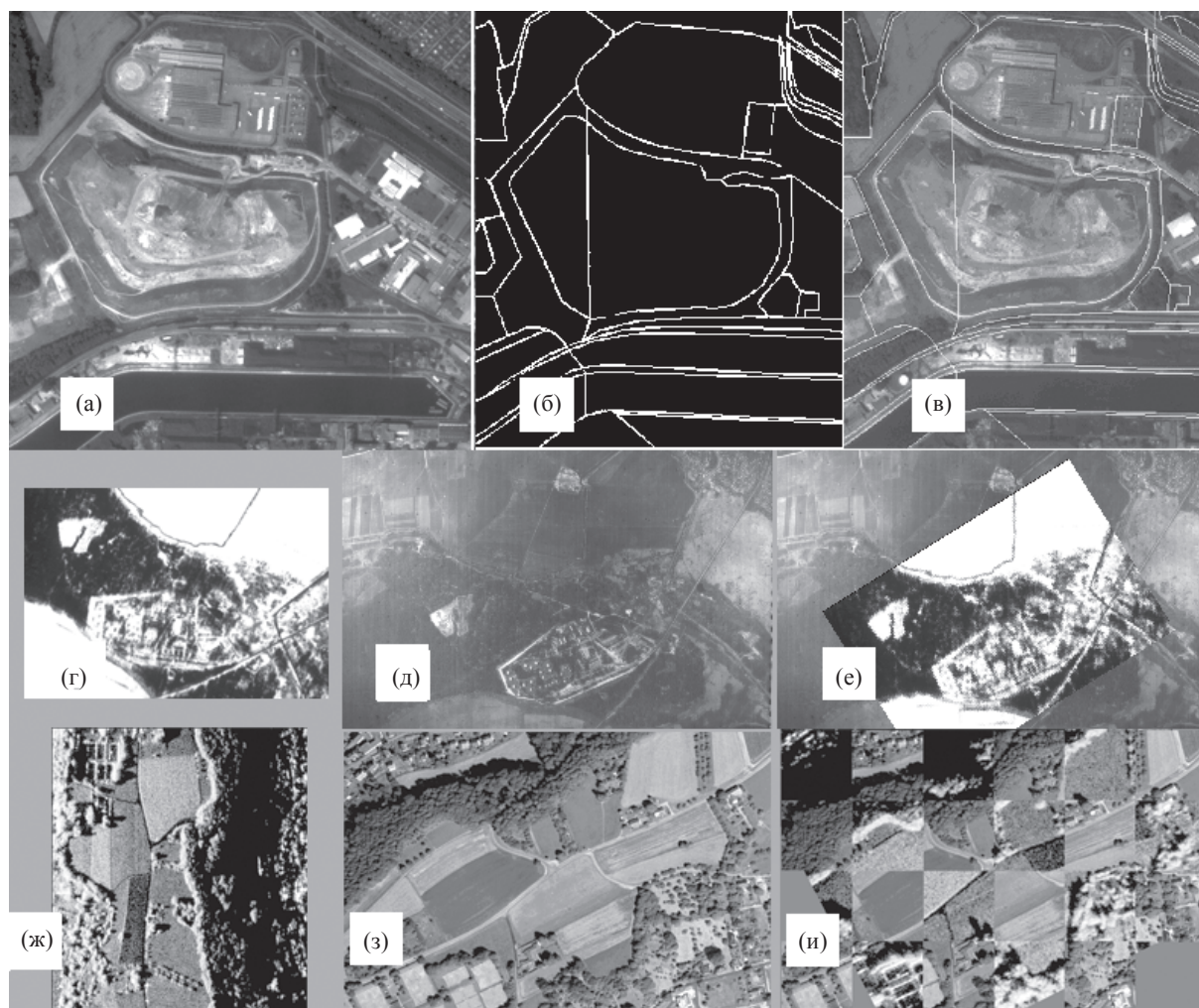


Рис. 1. Структурное сопоставление изображений, в – результат сопоставления изображения (а) с картой местности (б); е – результат сопоставления снимков (г) и (д), сделанных в разные сезоны; и – результат сопоставления радиолокационного снимка (ж) с оптическим снимком (з) (качество сопоставления показано путем мозаичного совмещения снимков).

Для уменьшения вычислительной сложности и увеличения надежности СС изображений их структурные описания (СО) делаются иерархическими: СЭ группируются по признаку принадлежности к одной непрерывной контурной линии либо по признаку пространственной близости. Каждая такая группа рассматривается как СЭ более высокого иерархического уровня.

Результаты СС изображений могут использоваться

- в задачах автоматической навигации и наведения,
- для узнавания конкретных целей либо всех объектов заданного класса,
- для поиска изображений в базах данных (БД),
- для совмещения (регистрации) изображений в единой системе координат (СК) с целью построения многослойных пакетов взаимно дополняющих видеоданных, улучшающих возможность зрительного восприятия или автоматического анализа изображений, либо для построения больших мозаичных изображений на основе их более мелких фрагментов.

Предлагаемые алгоритмы СС, различающиеся вычислительной сложностью и надежностью принимаемых решений, объединены в иерархическую систему. В ней менее надежные частные алгоритмы, требующие более скромных вычислительных ресурсов, выполняются вначале, а в случае неудачи выполняются более изощренные алгоритмы, имеющие большую вычислительную сложность. Таким образом при минимизации необходимых вычислительных ресурсов достигается высокая надежность сопоставления изображений. Частные алгоритмы, входящие в иерархическую систему СС, перечислены ниже в порядке увеличения их вычислительной сложности и надежности принимаемых решений. В этом разделе, помимо собственно алгоритмов СС, представлены также и вспомогательные алгоритмы, синтезирующие необходимые контурные СО изображений.

1. Выделение контуров изображения, робастное по отношению к шуму; применяется алгоритм Хильтрета–Марра, уровень детальности задается.

2. Выделение контуров изображения, робастное по отношению к шуму; применяется алгоритм Дерриша, уровень детальности задается.

3. СО контуров в виде набора прямых линий.

4. СС изображений по наборам прямых линий (самый быстрый метод).

5. СО контуров в виде цепочек углов и прямых.

6. СС изображений по цепочкам углов и прямых.

7. СО изображений в виде цепочек углов, дуг и прямых.

8. СС изображений по цепочкам углов, дуг и прямых.

9. СО изображений в виде совокупностей не связанных углов, дуг и прямых.

10. СС изображений по совокупностям не связанных углов, дуг и прямых (самый надежный метод).

Комментарии к перечисленным алгоритмам

Входной информацией для системы СС являются файлы сопоставляемых изображений. В результате работы алгоритмов формируются выходные файлы, описывающие координаты попарно сопоставленных СЭ и/или вычисленные параметры взаимного геометрического преобразования сопоставленных изображений. Выводится также информация о достоверности сопоставления. Указанные выше основные алгоритмы СС и вспомогательные алгоритмы обмениваются файлами, содержащими промежуточные результаты вычислений и инициализирующие параметры для соответствующих программ. Значения задаваемых извне параметров могут устанавливаться “по умолчанию”, что позволяет максимально гибко применять систему алгоритмов СС: система может работать полностью автоматически в типовых ситуациях либо может быть слегка пере настроена для работы в специфических случаях. Задаваемые извне параметры, управляющие системой в целом (имена файлов исходных и обработанных изображений, флаги режимов работы системы и т. п.), читаются из специального файла инициализации (ФИ).

2. Сопоставление изображений на основе фурье-инвариантов

Области применения этих алгоритмов те же, что перечислены выше в разделе 1. Допустимые взаимные геометрические преобразования сопоставляемых изображений описываются группой подобия, что характерно для ортогональной аэрокосмической съемки. По сравнению с алгоритмами, перечисленными в разделе 1, в значительной мере утрачена инвариантность сопоставления по отношению к ССИ ландшафтов и изменению типа сенсора или класса изображений. Однако рассмотренные здесь алгоритмы имеют преимущество при сопоставлении изображений, на которых не могут быть четко выделены контурные СЭ, например, изображений больших лесных массивов или изображений, сформированных гидролокаторами (см. рис. 2). Предлагается следующий алгоритм сопоставления изображений:

1. Измерение взаимного преобразования АС и регистрация их в единой системе координат на основе фурье-инвариантов.

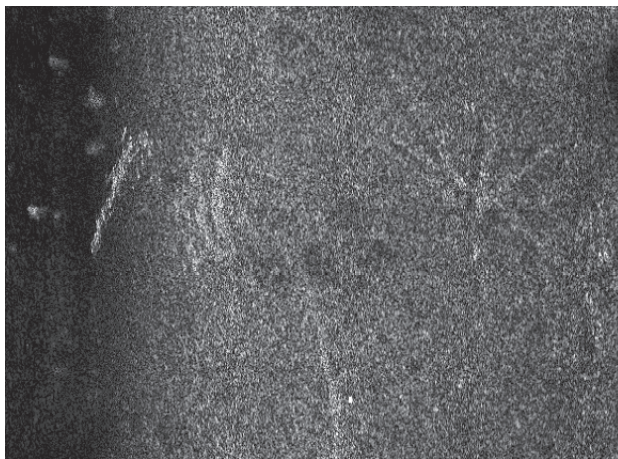


Рис. 2. Изображение, сформированное сонаром.

Комментарии к алгоритму

Входной информацией для представленного алгоритма являются файлы изображений, подлежащих сопоставлению. В результате работы алгоритма формируются выходные файлы, содержащие вычисленные параметры взаимного геометрического преобразования сопоставленных изображений и исходные изображения, записанные (зарегистрированные) в общей системе координат. Зарегистрированные изображения могут быть записаны в отдельных выходных файлах либо отображены в единственном файле, частично налагаясь друг на друга. Имена входных и выходных файлов, значения параметров и управляющих флагов задаются в ФИ.

3. Совмещение (регистрация) изображений в единой системе координат

Регистрация изображений (РИ) может проводиться с целью обнаружения изменений, формирования многослойных структур взаимно дополняющих видеоданных (для улучшения зрительного восприятия и облегчения автоматического анализа изображений, см. также ниже в разделе 5), для формирования больших мозаичных или панорамных изображений из множества их локальных фрагментов.

Регистрация изображений проводится на основе их сопоставления согласно разделам 1 и 2. Для нее предлагаются следующие алгоритмы:

1. РИ в единой СК на основе сопоставленных СЭ с применением единой модели АП (см. рис. 1).

2. РИ в единой СК с субпиксельной точностью на основе сопоставленных СЭ или заданных параметров преобразования и с применением локальной корреляции (ЛК), позволяющей реализовать локальные отклонения от модели АП (см. рис. 3а–3г).

3. РИ в единой СК на основе сопоставленных СЭ; в окрестности каждого СЭ проводится сплайн-аппроксимация отклонения его координат от координат, предписанных вычисленным взаимным АП изображений.

4. Измерение локального возвышения объектов местности (см. также ниже в п. 4 раздела 8) на основе автоматического определения стереосмещений их изображений, сформированных с разных ракурсов; корректное совмещение (регистрация) АС на уровне земли и на уровне вершин объектов (см. рис. 3д–3л).

Комментарии к перечисленным алгоритмам

Входной информацией для алгоритмов регистрации, описанных в пп. 1–3, являются файлы, содержащие подлежащие регистрации изображения и списки координат попарно сопоставленных СЭ. Вместо списка координат соответствующий входной файл может содержать вычисленные параметры взаимного АП изображений. В результате работы алгоритмов формируются выходные файлы, содержащие исходные изображения, записанные (зарегистрированные) в общей СК. Зарегистрированные изображения могут быть записаны в отдельных выходных файлах, либо они могут быть отображены в одном выходном файле, частично налагаясь друг на друга. В последнем случае изображения могут отображаться в “непрозрачном” режиме, когда одно из изображений частично загоразивает другое, и/или в “полупрозрачном” режиме, когда полностью видны оба наложенных друг на друга изображения, одно из которых представлено оттенками красного, а другое – оттенками зеленого цвета.

Алгоритм, упомянутый в п. 4, использует в качестве входной информации два файла, содержащих соответственно два фрагмента АС одной и той же местности, сделанных с разных ракурсов. Фрагменты (и содержащие их АС в целом) зарегистрированы (согласно п. 1 этого раздела) в общей СК на уровне поверхности земли и отображают одни и те же локальные объекты, вероятно имеющие достаточно большое возвышение. Указанная пара фрагментов сформирована с применением алгоритма, описанного ниже в п. 3 раздела 8. Дополнительная входная информация считывается из файла, содержащего навигационно-геометрические параметры съемки с разных ракурсов двух исходных изображений, включающих в себя эти фрагменты (см. подробнее ниже в комментарии к п. 3 раздела 8). Из этого файла также читается информация о положении фрагментов внутри изображений, размерах фрагментов в пикселах, размере пиксела в метрах, предварительной оценке относительного локального возвышения содержа-

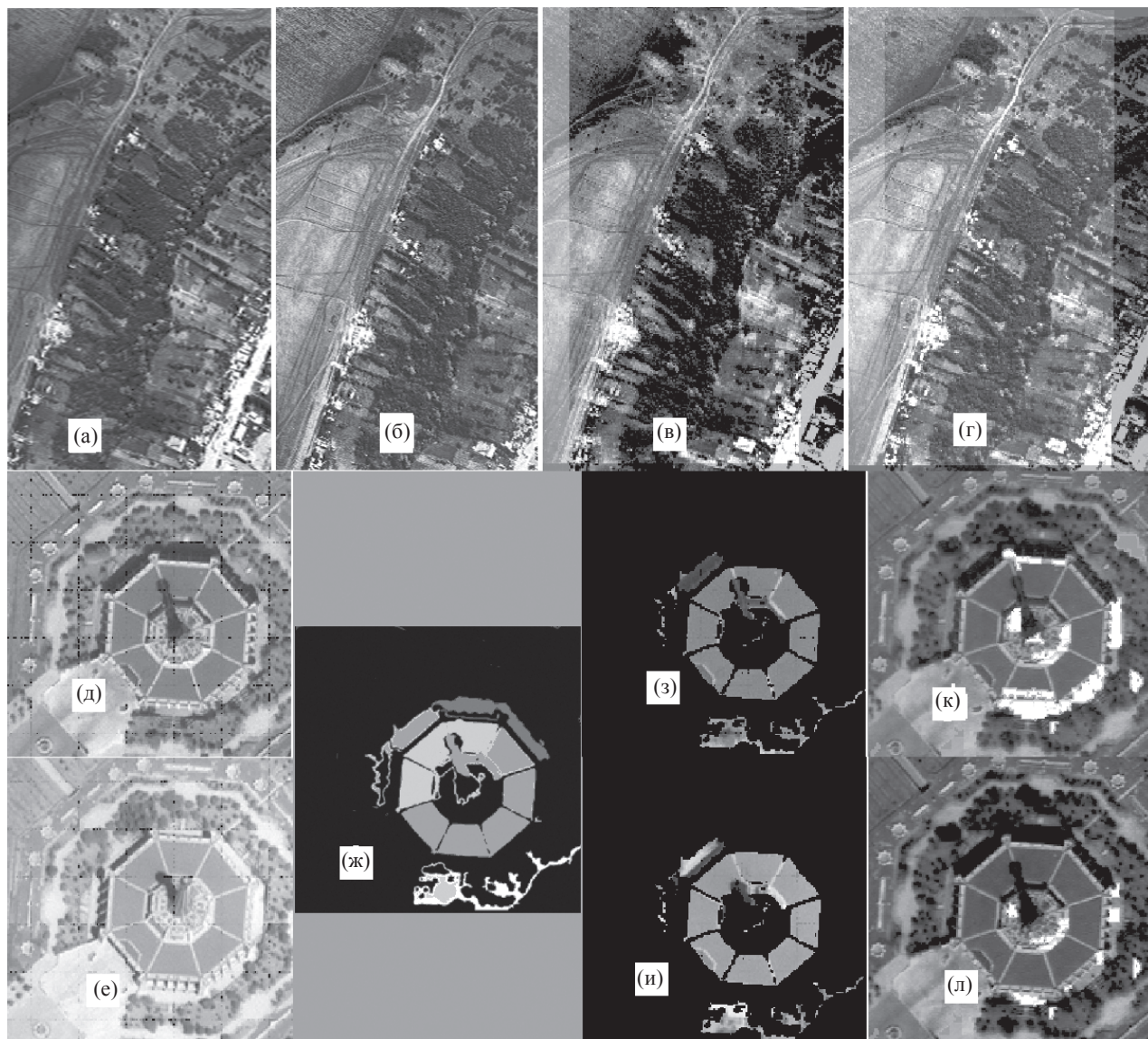


Рис. 3. Регистрация изображений. а, б – АС складки местности, снятые с разного ракурса; в – неточный результат совмещения изображений с применением единой модели АП (представление в полупрозрачном режиме позволяет видеть, что изображение двойится); г – корректный результат совмещения с применением ЛК; д, е – совмещенные на уровне земли фрагменты АС, сделанных с разных ракурсов, предположительно содержащие объекты большого локального возвышения; ж – поле локальных взаимных сдвигов, измеренных внутри фрагментов (величина сдвига показана яркостью пикселей); з, и – зоны большого локального возвышения, выделенные на двух фрагментах снимков; к – изменения (помечены белым цветом), некорректно выделенные при сравнении изображений, неточно совмещенных на разных уровнях возвышения; л – изменения, выделенные в основном в зонах перепада высот, при корректном совмещении изображений на разных уровнях возвышения.

щихся в этих фрагментах объектов. В результате работы алгоритма во входных фрагментах изображений выделяются объекты, локально возвышающиеся над поверхностью земли; для элементов этих объектов автоматически измеряются стереосмещения, на основании которых уточняется оценка их локального возвышения. Поле смещений, измеренное для пикселей второго фрагмента относительно соответствующих им пикселей первого фрагмента, записывается в выходной файл. В соответствии с эти-

ми смещениями область второго АС, соответствующая второму входному фрагменту, может быть модифицирована таким образом, чтобы положение изображения поверхности земли осталось неизменным, а изображение вершины локально возвышающегося объекта совпало с изображением этой вершины на первом изображении. В результате аналогичных операций с парами фрагментов исходных изображений, содержащими другие локально возвышающиеся объекты, два исходных изображения, сня-



Рис. 4. Выделение изменений объектов заданного масштаба путем локального сравнения их изображений. а, б – пара АС, в – найденные изменения.

тые с разных ракурсов, могут быть совмещены (зарегистрированы) как на уровне земли, так и на уровне вершин локально возвышающихся объектов.

Входная информация перечисленных в этом разделе алгоритмов (имена входных и выходных файлов, значения параметров и управляющих флагов) задается в ФИ.

4. Обнаружение изменений местности на основе ее АС

Поиск изменений может осуществляться в целях оценки эффективности применения оружия и в задачах военного, экономического и экологического мониторинга местности. Сопоставляемые снимки должны быть зарегистрированы с высокой точностью в единой СК с применением алгоритмов, описанных выше в пп. 3.2 и 3.4. Предлагаются следующие алгоритмы выявления изменений:

1. Выделение изменений в пакете зарегистрированных (совмещенных) изображений путем их локального статистического сравнения (см. рис. 3д–3л).
2. Выделение изменений объектов заданного масштаба в пакете зарегистрированных (совмещенных) изображений путем локального сравнения их цветояркихностных параметров (см. рис. 4а–4в).
3. Выделение изменений в пакете зарегистрированных (совмещенных) изображений путем нахождения несовпадения или взаимного смещения их контуров.

Комментарии к перечисленным алгоритмам

Входной информацией для алгоритмов обнаружения изменений являются файлы, содержащие изображения, зарегистрированные в общей СК. В результате работы алгоритмов формируются выходные файлы, в которые записываются карты выявленных изменений. Для алгоритмов 1 и 3 карта изменений содержит полупрозрачные цветовые

метки, наложенные на одно или оба исходных изображения. Цветовой оттенок метки означает вероятность присутствия изменений в данной части изображения. Для алгоритма 2 карта изменений бинарная (изменение есть/нет). Карты изменений отображают область пространственного наложения сравниваемых изображений. Имена входных и выходных файлов и значения параметров и флагов, управляющих работой алгоритмов, задаются во входных ФИ.

5. Восстановление и улучшение изображений в целях облегчения их зрительного восприятия и автоматического анализа

Для восстановления и улучшения изображений предлагаются перечисленные ниже алгоритмы.

1. Увеличение пространственного разрешения цветного изображения по высокоразрешающему панхроматическому изображению той же местности (Pansharpening), см. рис. 5а, 5б.
2. Компенсация неоднородности (полосатости) инфракрасных снимков, обусловленной неоднородностью параметров элементарных датчиков в сканирующей линейке инфракрасного сенсора (см. рис. 5в, 5г).
3. Нормализация яркости АС с учетом наклона поверхностей ландшафта.
4. Нормализация гистограммы яркости пикселей АС.
5. Медианная фильтрация снимков.
6. Гауссово размытие снимков.
7. Подавление спекл-шума радиолокационных снимков (РС) с применением геометрических фильтров (см. рис. 5д, 5е) и фильтров ASNHWS, GI, ISEF, Oddy, HK, MAP, Frost, EPOS, MMSE (включает фильтры Lee и Kuan – простые и расширенные с применением алгоритма Watershed).

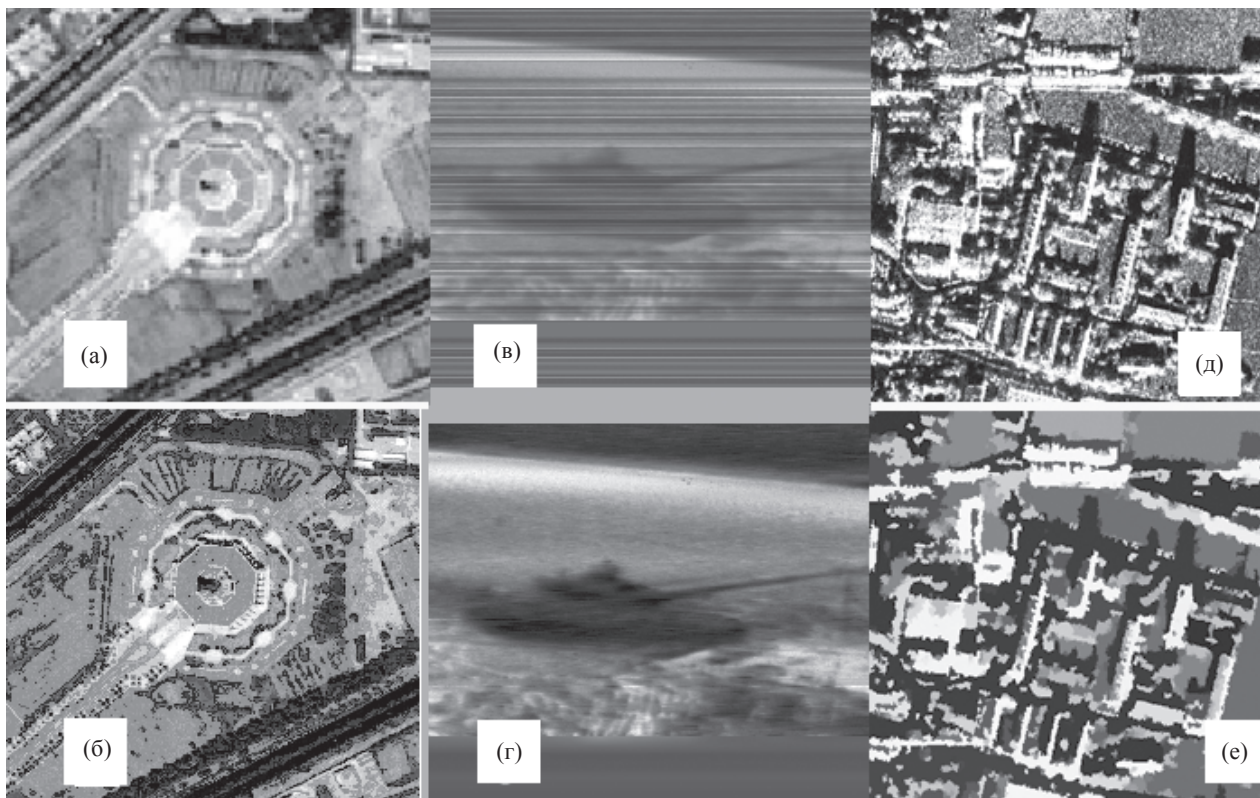


Рис. 5. Восстановление и улучшение изображений. а – исходное изображение (красный канал) с разрешением 4 м/пиксел, б – цветное изображение с разрешением 1 м/пиксел, сформированное с помощью операции “Pansharpening”; в – изображение, сформированное инфракрасным датчиком; г – результат компенсации неоднородной чувствительности инфракрасного датчика, д – изображение, сформированное радаром; е – результат компенсации спекл-шума радара с помощью геометрического фильтра.

8. Измерение параметров смаза АС в целях компенсации смазывания изображений, вызванного недостаточной пространственной стабилизацией сенсора относительно объекта съемки.

9. Восстановление информации, потерянной на РС за счет затенения, засвечивания либо за счет сжатия или наложения интерференционного радиосигнала (см. рис. 6). Восстановление осуществляется путем замещения потерянной информации данными, взятыми из соответствующих областей других снимков этой местности, сделанных с другого ракурса и зарегистрированных в одной СК с данным снимком (подробные объяснения см. ниже в комментарии к п. 11 раздела 6).

Комментарии к перечисленным алгоритмам

Входной информацией для перечисленных алгоритмов являются файлы, содержащие одно (для алгоритмов, перечисленных в пп. 2–8) или несколько (для алгоритмов, перечисленных в пп. 1 и 9) исходных изображений; карту высот (КВ) местности (для алгоритма, упомянутого в п. 3), совмещенную в общей СК с входным изображением; карты зон потерянной информации (для алгоритма, упомянутого

в п. 9). В результате работы алгоритмов формируется один (для алгоритмов, перечисленных в пп. 2–9) или несколько (улучшенные изображения *R*-, *G*- и *B*-каналов для алгоритма, упомянутого в п. 1) файлов, содержащих обработанные изображения. Имена входных и выходных файлов, параметры и флаги управления программами читаются из ФИ.

6. Обработка видеоинформации и информации о дальности, извлеченной из радиолокационных снимков

Снимки местности, сформированные интерференционным радиолокатором с синтезированной апертурой (РСА), имеют специфические искажения локальной яркости и СК. Ниже представлены алгоритмы, предназначенные для улучшения сформированных изображений, восстановления потерянной в них информации, формирования цифровых КВ, представления изображений и КВ в заданной картографической проекции (КП), распознавания элементов ландшафта на РС.

1. Подавление спекл-шума на РС (см. рис. 5д, 5е) с применением геометрических фильтров и фильтров ASNSW, GI, ISEF, Oddy, HK, MAP, Frost, EPOS,

MMSE (включает фильтры Lee и Kuan – простые и расширенные с применением алгоритма Watershed).

2. Выделение областей радиотени на снимках, сделанных интерференционным PCA (см. рис. 6).

3. Выделение областей сжатия (foreshortening) или наложения (layover) радиосигнала на снимках, сделанных интерференционным PCA.

4. Выделение областей чрезмерного засвечивания на снимках, сделанных интерференционным PCA.

5. Локальная нормализация яркости с учетом наклона поверхностей ландшафта на снимках, сделанных интерференционным PCA.

6. Построение КВ по фазе интерференционного радиосигнала PCA.

7. Автоматическое совмещение в общей СК (регистрация) РС местности с КВ этой местности, взя-

той из других источников (например, построенной с помощью лазерного дальномера).

8. Полуавтоматическое (интерактивное, по опорным точкам) совмещение в общей СК (регистрация) РС местности с КВ этой местности, взятой из других источников (например, построенной с помощью лазерного дальномера).

9. Выпрямление (орторектификация) РС из проекции с наклонной дальностью (НД) в одну из заданных КП с помощью КВ, совмещенной с этим снимком.

10. Автоматическое совмещение в общей СК (регистрация) двух или нескольких орторектифицированных РС одной и той же местности, сделанных с разных ракурсов (см. рис. 6). Регистрация проводится с применением алгоритмов, описанных в пп. 1

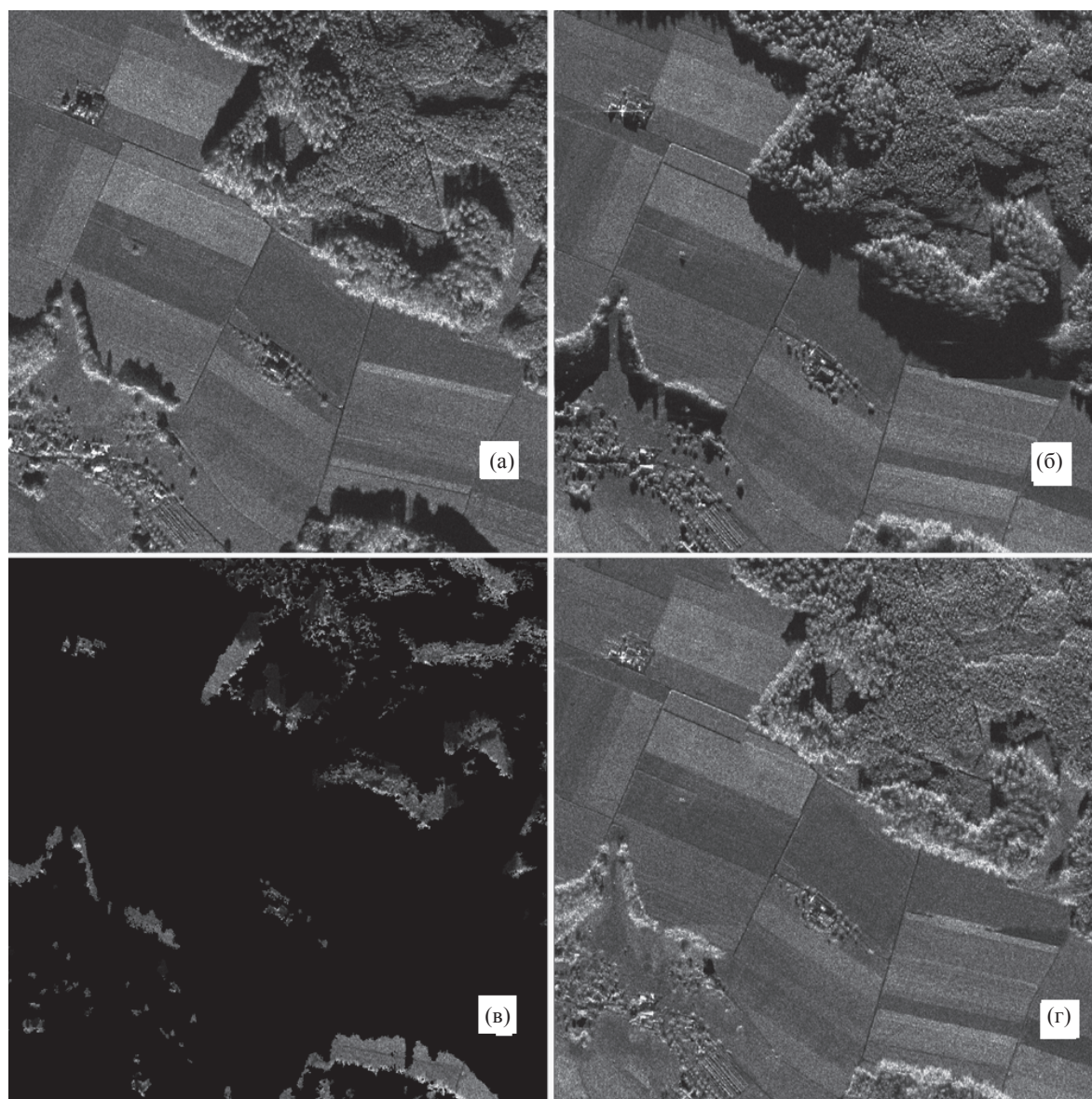


Рис. 6. Восстановление информации, потерянной в зонах радиотени на радиолокационных снимках. а, б – снимки, сделанные с разных ракурсов и совмещенные в общей системе координат; в – области снимка (б), соответствующие затененным областям снимка (а); г – снимок (а), в котором информация, потерянная в зонах затенения, замещена данными, показанными на фрагменте (в).

и 2 раздела 3. Регистрация проводится на основе предварительного сопоставления изображений с применением алгоритмов, описанных в пп. 4, 6, 8, 10 раздела 1, или алгоритма, описанного в разделе 2.

11. Восстановление информации, потерянной на РС за счет затенения, засвечивания либо за счет сжатия или наложения интерференционного радиосигнала (восстановление осуществляется путем замещения потерянной информации данными, взятыми из соответствующих областей других снимков данной местности, сделанных с других ракурсов и зарегистрированных в одной СК с данным снимком согласно п. 10 этого раздела), см. рис. 6.

12. Распознавание полей (сельскохозяйственных угодий) на снимках, сделанных РСА, по их характерной текстуре.

13. Распознавание дорог на РС по их признакам формы (см. примеры, приведенные ниже в разделе 7).

14. Распознавание искусственных сооружений полигональной формы на РС по их признакам формы (см. примеры, приведенные ниже в разделе 7).

15. Распознавание искусственных сооружений круглой и эллиптической формы на РС по их признакам формы (см. примеры, приведенные ниже в разделе 7).

16. Различение лесной местности, полей, поверхности воды, искусственных сооружений большой площади (площади, парковки, крыши промышленных зданий, инфраструктура аэропортов), сельской и частной городской застройки на снимках высокого разрешения (1 м на пиксел и лучше), сформированных РСА.

17. Обнаружение зон затопления на РС (см. рис. 10б–10г).

Комментарии к перечисленным алгоритмам

Алгоритмы, перечисленные в пп. 1, 2, 4, 12–17, используют в качестве входной информации файлы подлежащих обработке изображений. Алгоритм выделения зон радиотени, упомянутый в п. 2, также дополнительно использует в качестве входных данных файл когерентности радиолокационного сигнала. В результате работы этих алгоритмов формируются выходные файлы, содержащие результаты обработки (улучшенные изображения – для алгоритма, упомянутого в п. 1, или файлы-карты, на которых помечены обнаруженные объекты или зоны заданных классов, – для алгоритмов, перечисленных в пп. 2, 4, 12–17).

Алгоритмы РИ в общей СК и восстановления потерянной информации, перечисленные соответственно в пп. 10 и 11, используют в качестве входных данных несколько файлов орторектифицированных изображений, снятых с разных ракурсов, и

файлы масок (помечающих для каждого орторектифицированного РС зоны, в которых информация была потеряна за счет затенения, засвечивания либо за счет сжатия или наложения интерференционного радиосигнала).

В результате работы алгоритма регистрации, упомянутого в п. 10 (регистрация выполняется с применением алгоритмов, описанных выше в разделе 2 или в пп. 1 и 2 раздела 3), формируются выходные файлы, содержащие исходные изображения, записанные (зарегистрированные) в общей СК. Зарегистрированные изображения могут быть записаны в отдельных выходных файлах либо отображены в единственном файле. В последнем случае зарегистрированные изображения могут отображаться в “непрозрачном” режиме, частично загромождая друг друга, и/или в “полупрозрачном” режиме, когда полностью видны оба наложенных друг на друга изображения, одно из которых представлено оттенками красного, а другое – оттенками зеленого цвета. Маски для соответствующих РС также регистрируются в общей СК.

В результате работы алгоритма восстановления потерянной информации (см. п. 11) формируется один выходной файл, в котором все зарегистрированные входные изображения частично налагаются друг на друга. В зоне наложения изображений информация, утраченная в первом из них (в областях, помеченных в соответствующем файле масок), заменяется информацией, взятой из соответствующих областей других зарегистрированных изображений. Замещение информации в выбранной позиции возможно, если в этой позиции пространственно не совпадают метки масок для всех зарегистрированных изображений.

Входной информацией для алгоритма обнаружения зон искажения радиосигнала, описанного выше в п. 3, является файл, содержащий КВ местности (в проекции на поверхность земного эллипсоида), и файл, содержащий навигационные и геометрические параметры процесса радиолокационной съемки (пространственное положение антенны локатора относительно этой местности, размер КВ в пикселах, размер пиксела в метрах в направлениях, параллельном и перпендикулярном траектории летательного аппарата во время съемки). В результате работы алгоритма создается файл масок, в котором для соответствующих позиций КВ помечено наличие невозполнимых эффектов сжатия или наложения радиосигнала.

Входной информацией для алгоритма локальной нормализации яркости РС с учетом наклона поверхностей ландшафта (см. п. 5 этого раздела) являются файл РС (в проекции на поверхность земного эллипсоида) и файл, содержащий КВ (в проекции на

поверхность земного эллипсоида) участка местности, соответствующего этому РС. Входной информацией также является файл навигационных и геометрических параметров, аналогичный указанному выше в комментарии к п. 3 этого раздела. В результате работы алгоритма формируется файл нормализованного изображения.

Входной информацией алгоритма построения КВ, упомянутого выше в п. 6, являются файлы, описывающие поле фазы интерференционного радиосигнала и поле масок когерентности сигнала; в обоих файлах информация представлена в проекции с НД. Входной информацией является также файл навигационных и геометрических параметров процесса радиолокационной съемки. Кроме пространственного положения летательного аппарата относительно снимаемой местности, размера (в пикселях) полей масок и фазы сигнала и размера пиксела сформированных изображений и полей (в формате с НД) в направлениях, параллельном и перпендикулярном трассе полета, навигационные параметры включают скорость и направление полета, наклон и взаимное положение радарных антенн, параметры земного эллипсоида, высоту полета над поверхностью эллипсоида, географические координаты траектории летательного аппарата в процессе съемки. Алгоритм формирует КВ снятого участка местности (в проекции на поверхность земного эллипсоида). Выводятся также размеры сформированной карты в пикселях и цена пиксела (в метрах) в направлениях, параллельном и перпендикулярном траектории летательного аппарата в процессе съемки. При вычислениях КВ строится также карта локальных сдвигов пикселей при пересчете их позиций из проекции с НД в проекцию на поверхность эллипсоида.

Как следует из комментария к п. 6, при построении КВ (в проекции на земной эллипсоид) на основе поля фазы радиолокационного сигнала (в проекции с НД) вычисляется взаимно однозначное соответствие координат точек полей фазы координатам точек КВ. Таким образом, оказывается известным соответствие координат точек РС (также представленного в проекции с НД) координатам точек построенной КВ. Зная такое соответствие, можно провести “выпрямление” (орторектификацию) РС из проекции с НД в проекцию на поверхность земного эллипсоида. Результат выпрямления может быть представлен в одной из заданных КП, например, в проекции UTM или в наклонной проекции Меркатора. Таким образом, согласно п. 9 приведенного выше списка проводится выпрямление РС и полей масок из проекции с НД в одну из заданных КП. Входной информацией алгоритма являются файлы исходных изображений и масок, подлежащих вы-

прямлению; файл КВ, файл, сопоставляющий координаты точек в проекции с НД координатам точек в заданной КП; файлы, содержащие размеры (в пикселях) исходных изображений и КВ. Алгоритм создает файлы выпрямленных изображений и масок в заданной КП.

Пункты 7 и 8 приведенного выше списка относятся к случаю, когда при синтезе РС не генерировалось поле интерферометрической фазы. В этом случае для выпрямления снимков необходимо использовать КВ, сгенерированные другими способами. Для выполнения выпрямления такие карты (обычно они выполнены в проекции на поверхность земного эллипсоида) должны быть правильно сопоставлены РС, выполненному в проекции с НД. Алгоритм, упомянутый в п. 7, делает такое сопоставление автоматически, сравнивая специфические особенности РС и КВ. Алгоритм, упомянутый в п. 8, использует интерактивное сопоставление локальных особенностей снимков и КВ, основывающееся на опыте эксперта-дешифровщика. Входной информацией для обоих алгоритмов являются файлы сопоставляемого изображения и КВ. Автоматический алгоритм использует также в качестве дополнительной входной информации файлы, содержащие навигационно-геометрические параметры радиолокационной съемки (как это было описано выше в комментарии к п. 6), и файл, описывающий размеры (в пикселях) используемой КВ, размеры ее пиксела и ее географическое положение на земном эллипсоиде. Интерактивный алгоритм использует в качестве дополнительной входной информации размеры КВ в пикселях и размер пиксела в метрах. В качестве входной информации от эксперта-дешифровщика запрашиваются также результаты интерактивного сопоставления характерных деталей изображения и КВ. Результатом работы обоих алгоритмов являются выпрямленные РС, представленные в выбранной КП. Побочным результатом описанного совмещения и выпрямления является построение карты сдвигов пикселей при пересчете их позиций из проекции с НД в проекцию на поверхность эллипсоида. С помощью такой карты сдвигов могут быть также выпрямлены файлы масок, созданные в проекции с НД.

Имена входных и выходных файлов перечисленных в этом разделе алгоритмов, параметры и флаги управления алгоритмами читаются из ФИ.

7. Распознавание объектов заданных классов на аэрокосмических снимках местности

Распознавание может проводиться в целях картографирования местности, целеуказания, оценки эффективности применения оружия, военного, эко-

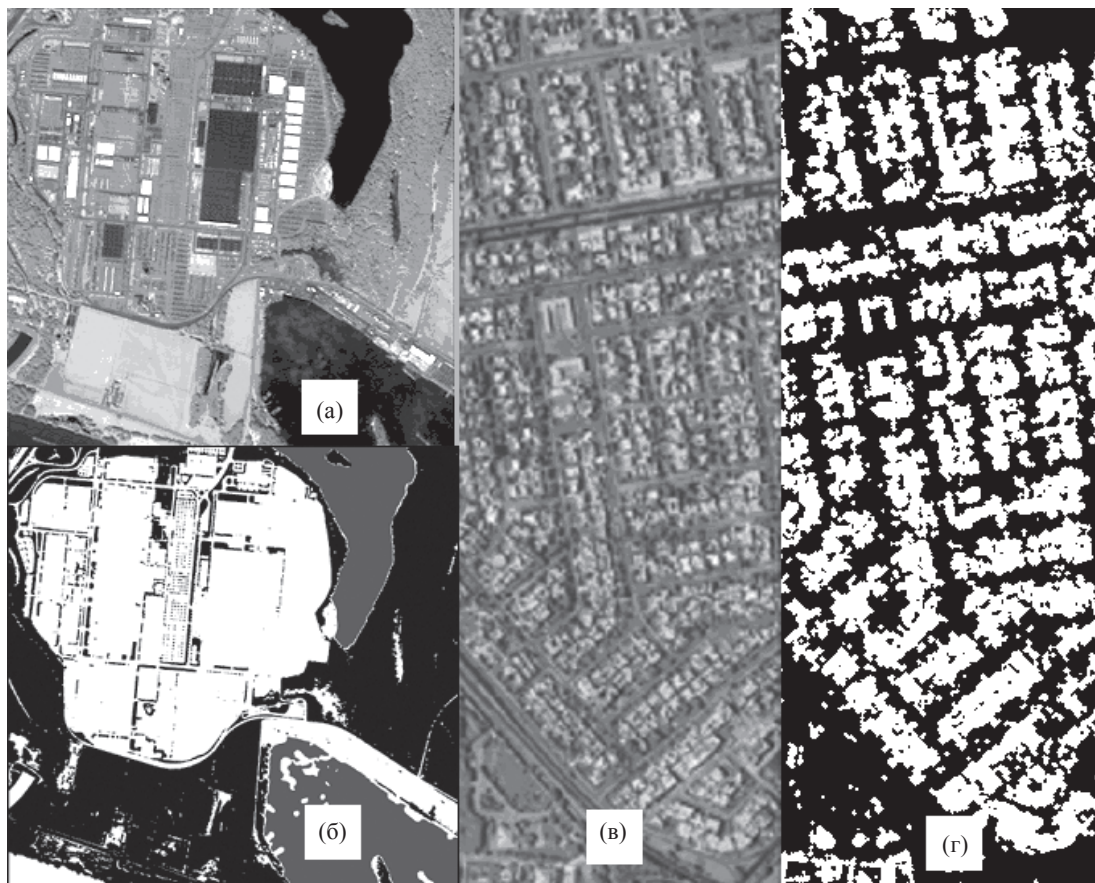


Рис. 7. Распознавание объектов по спектральным характеристикам и текстуре. а – фрагмент мультиспектрального снимка, б – результат классификации элементов местности по спектральным признакам (серым цветом показаны водоемы, черным – растительность, белым – сухая земля, асфальт, бетон, искусственные материалы); в – фрагмент панхроматического снимка, г – результаты распознавания крыш домов по признакам текстуры.

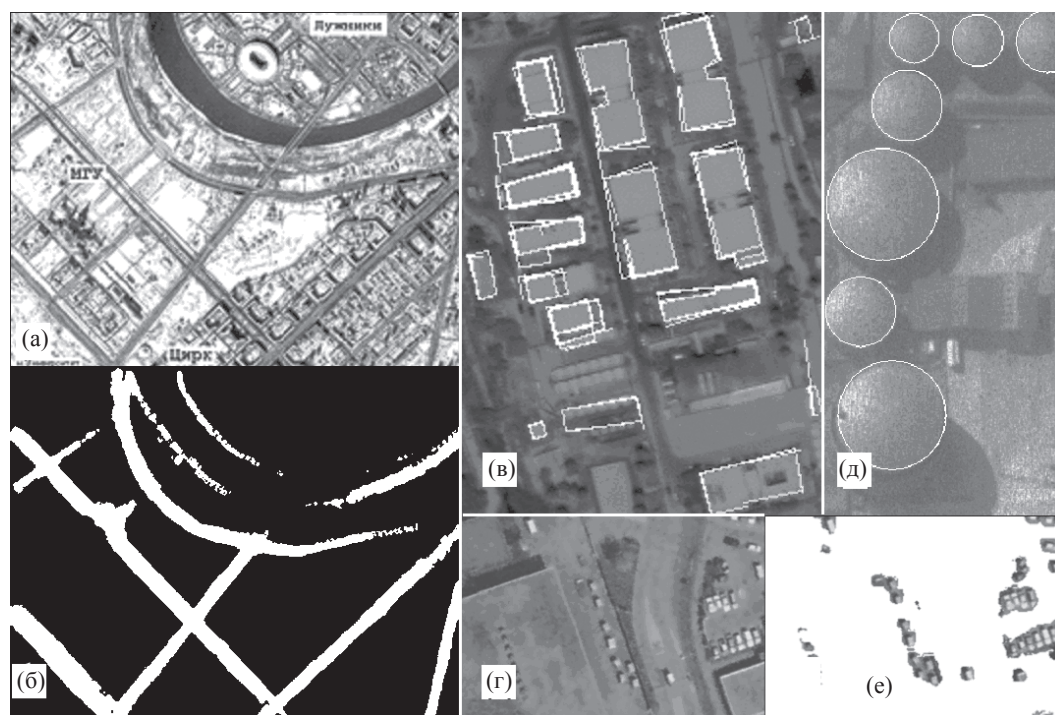


Рис. 8. Распознавание объектов местности по признакам формы и текстуры. а, б – фрагмент аэрофотоснимка и результат распознавания на нем дорог по признакам формы, в – результат распознавания сооружений полигональной формы на космическом снимке, д – результат распознавания объектов круглой формы на аэрофотоснимке, г, е – фрагмент аэрофотоснимка и результат распознавания на нем автомобилей по признакам текстуры.

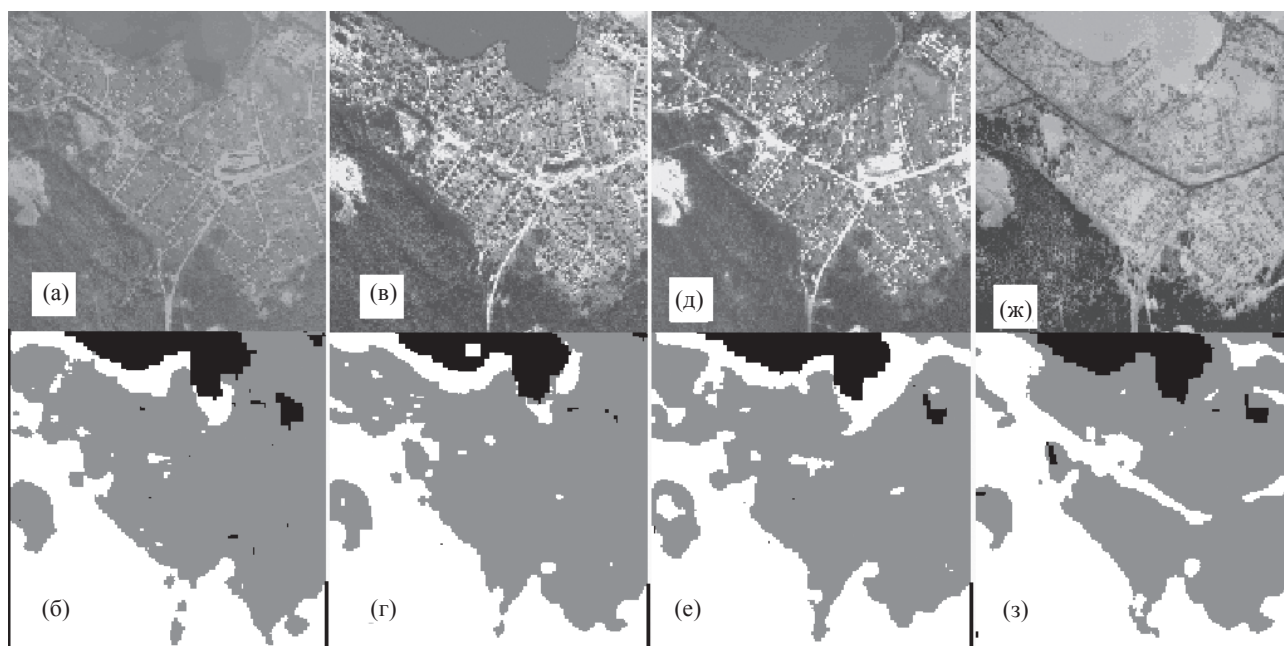


Рис. 9. Инвариантная к сезонно-суточным изменениям классификация элементов местности по признакам текстуры. а, в, д, ж – снимки, сделанные в разные сезоны; б, г, е, з – результаты распознавания элементов местности (черным показаны вода или лед, серым – сельская застройка, белым – лес).

номического и экологического мониторинга. Предлагаются следующие алгоритмы распознавания:

1. Распознавание поверхности водоемов на мультиспектральных АС по их специальным спектральным признакам (см. рис. 7а, 7б).

2. Распознавание областей массивной сочной растительности (сельскохозяйственные угодья, кусты, лес и т. п.) на мультиспектральных АС по их специальным спектральным признакам (см. рис. 7а, 7б).

3. Распознавание сооружений из искусственных материалов, бетона, камня, сухой земли, асфальта на мультиспектральных АС по их специальным спектральным признакам (см. рис. 7а, 7б).

4. Распознавание искусственных объектов инфраструктуры (дорог, площадей, парковок, крыш домов и т. п.) по признакам текстуры на панхроматических АС (см. рис. 7в, 7г).

5. Распознавание дорог на мультиспектральных, панхроматических, инфракрасных и радиолокационных АС по их признакам формы (см. рис. 8а, 8б).

6. Распознавание искусственных сооружений полигональной формы на мультиспектральных, панхроматических и радиолокационных АС по их признакам формы (см. рис. 8в).

7. Распознавание искусственных сооружений круглой и эллиптической формы на мультиспектральных, панхроматических и радиолокационных АС по их признакам формы (см. рис. 8д).

8. Обнаружение областей тени на мультиспектральных снимках (см. рис. 3д, 3е).

9. Обнаружение на мультиспектральных (или панхроматических) АС областей, вероятно содер-

жащих объекты достаточно большого локального возвышения (обнаружение проводится на основе выделенной информации о тенях этих объектов и известных параметров траектории летательного аппарата и положения Солнца во время съемки); оценка локального возвышения обнаруженных объектов местности (см. рис. 3д, 3е).

10. Обнаружение автомобилей на дорогах, площадях, парковках по признакам текстуры панхроматических снимков высокого разрешения (лучше 50 см на пиксел), см. рис. 8г, 8е).

11. Различение и узнавание характерных элементов ландшафтов (поверхность воды или льда, лес, поля и т. п.) на панхроматических АС высокого разрешения (лучше 50 см на пиксел) на основе текстурных признаков и с применением предварительного интерактивного обучения классификатора текстур экспертом-дешифровщиком; распознавание может быть инвариантно к ССИ местности (см. рис. 9).

12. Обнаружение заданных объектов на панхроматических, инфракрасных или радиолокационных АС путем СС этих снимков с эталонными описаниями объектов; в качестве эталонного описания для поиска могут использоваться даже контурные наброски необходимых объектов, сделанные вручную (см. рис. 11а–11в).

13. Обнаружение заданных элементов местности или объектов на панхроматических АС путем текстурного сопоставления этих снимков с эталонными описаниями объектов (см. рис. 11г, 11д).

14. Выделение дыма на панхроматических АС с целью обнаружения пожаров (см. рис. 10а).

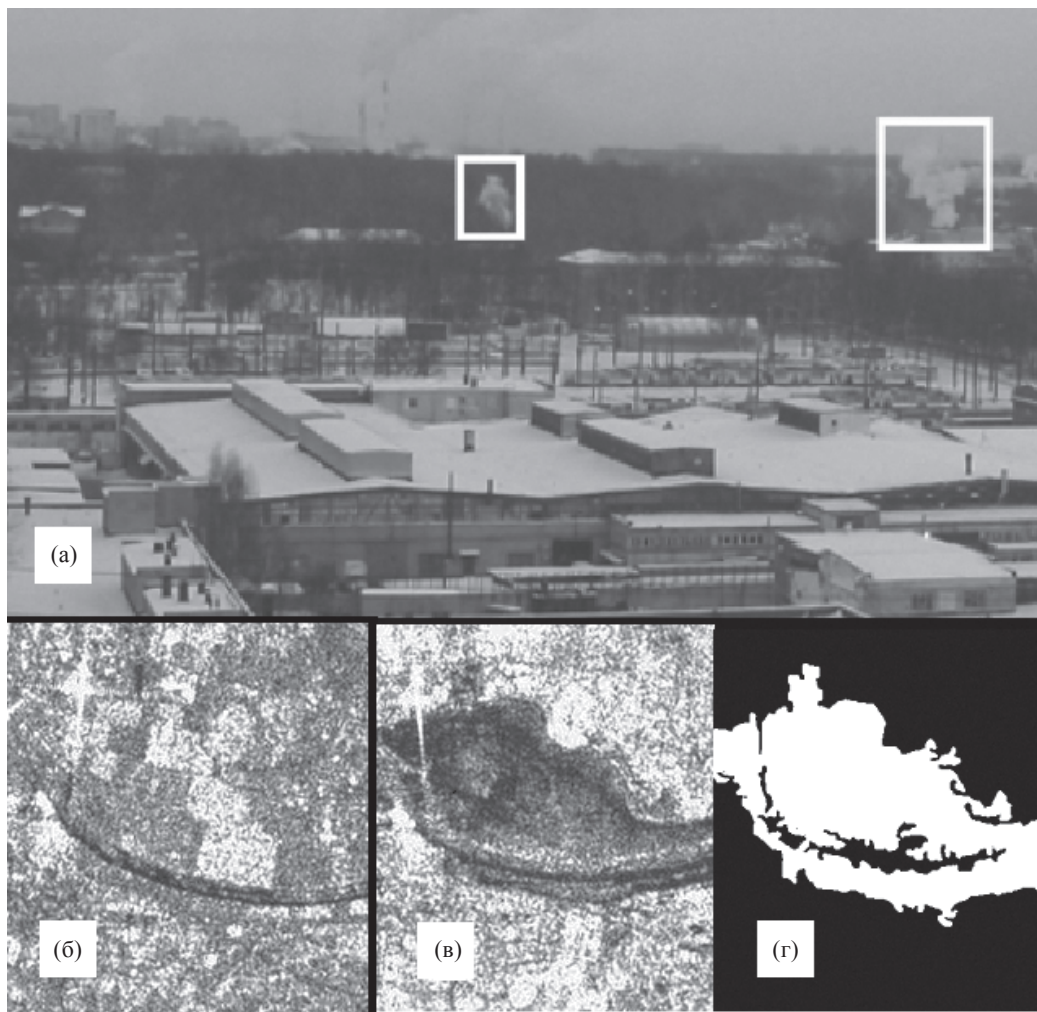


Рис. 10. Автоматическое обнаружение регионов катастроф. а – нахождение зон возгорания путем обнаружения дыма, б, в – сравниваемые космические снимки, г – результат выявления зон затопления по снимкам (б) и (в).

15. Обнаружение зон затопления на панхроматических и радиолокационных АС (см. рис. 10б–10г).

Комментарии к перечисленным алгоритмам

Алгоритмы, перечисленные в пп. 1–8 и 10–15, используют в качестве входной информации файлы подлежащих обработке изображений местности. В результате работы алгоритмов, перечисленных в пп. 1–8, 10, 11 и 15, формируются файлы масок, в соответствующих пикселах которых установлены метки обнаруженных объектов заданных классов. В результате работы алгоритмов, перечисленных в пп. 12–14, обнаруженные объекты помечаются на исходных изображениях рамками или крестиками, а преобразованные таким образом исходные изображения записываются в выходные файлы. Имена входных и выходных файлов перечисленных в этом разделе алгоритмов, их параметры и флаги управления читаются из ФИ.

Подробное описание алгоритма, указанного в п. 9, см. в комментариях к п. 3 раздела 8.

8. Измерение возвышения элементов ландшафта по АС Земли

Измерение может проводиться в целях построения КВ, “выпрямления” АС в одну из заданных КП, картографирования местности, обнаружения зданий. Предлагаются следующие алгоритмы измерения возвышения:

1. Построение КВ по фазе интерференционного радиосигнала РСА.

2. Измерение возвышения объектов местности по наборам снимков (два, три и более снимков), сделанных с разными параметрами фокусировки оптической системы.

3. Выделение на мультиспектральных (или панхроматических) АС областей, вероятно содержащих объекты достаточно большого локального возвышения (выделение проводится на основе информации о тенях этих объектов и известных параметров траектории летательного аппарата и положения Солнца во время съемки); оценка локального возвышения выделенных объектов местности (см. рис. 3д, 3е).

4. Измерение локального возвышения объектов местности (выделенных согласно п. 3 настоящего раздела) на основе автоматического определения стереосмещений их изображений, сформированных с разных ракурсов; совмещение (регистрация) АС как на уровне земли, так и на уровне вершин объектов (см. рис. 3ж–3л).

Комментарии к перечисленным алгоритмам

Алгоритм, указанный в п. 1, использует в качестве входной информации файлы, содержащие поле интерференционной фазы и поле когерентности радиолокационного сигнала. Кроме того, в качестве входной информации используется файл навигационно-геометрических параметров радиолокационной съемки (более детальные пояснения даны выше в комментариях к п. 6 раздела 6). В результате работы алгоритма формируется файл, содержащий КВ, построенную относительно поверхности земного эллипсоида в формате заданной КП. В другом выходном файле записываются параметры привязки сформированной карты к географическим координатам, размеры карты в пикселах и размеры пиксела в метрах. Формируется также файл, содержащий поле локальных сдвигов пикселей при пересчете их позиций из проекции с НД в заданную КП.

Алгоритм, упомянутый в п. 2, использует в качестве входной информации набор файлов, содержащих изображения одного и того же ландшафта, снятые с разными значениями параметров оптической системы камеры, т. е. по-разному расфокусированные изображения. В качестве входной информации также используется файл, перечисляющий значения параметров оптической системы, использованные при формировании каждого из входных изображений, и размеры этих изображений в пикселах. В результате работы алгоритма формируется файл расстояний в метрах от объектива камеры до точек поверхности ландшафта. Файл также содержит размеры построенной карты расстояний в пикселах.

Алгоритм, упомянутый в п. 3, использует в качестве входной информации файл-карту масок, помечающих тени солнечного освещения, выделенные на АС с помощью алгоритма, описанного выше в п. 8 раздела 7. В качестве входной информации используются также геометрические параметры съемки (пространственное положение летательного аппарата и Солнца относительно снимаемой местности), размеры карты теней в пикселах и размер пиксела в метрах. В результате работы алгоритма строится файл, содержащий координаты и размеры фрагментов изображения, вероятно содержащих объекты достаточно большого локального возвышения. Для каждого из фрагментов выводится оценка соответствующего ему максимального возвышения.

Алгоритм, упомянутый в п. 4, использует в качестве входной информации два файла, содержащих соответственно два фрагмента АС одной и той же местности, сделанных с разных ракурсов. Фрагменты (и содержащие их аэрокосмические снимки в целом) зарегистрированы в общей СК на уровне поверхности земли и отображают одни и те же локальные объекты местности, вероятно имеющие достаточно большое возвышение. Указанная пара фрагментов сформирована с применением алгоритма, описанного в п. 3 этого раздела. Дополнительная входная информация считывается из файла, содержащего навигационно-геометрические параметры съемки с разных ракурсов двух исходных изображений, включающих в себя эти фрагменты. Из этого файла также читается информация о положении фрагментов внутри изображений, размерах фрагментов в пикселах, размерах пиксела в метрах, предварительной оценке относительного локального возвышения содержащихся в этих фрагментах объектов. В результате работы алгоритма во входных фрагментах изображений выделяются объекты, локально возвышающиеся над поверхностью земли, для элементов этих объектов автоматически измеряются стереосмещения, на основании которых уточняется оценка их локального возвышения. Поле смещений, измеренное для пикселей второго фрагмента относительно соответствующих им пикселей первого фрагмента, записывается в выходной файл. В соответствии с этими смещениями область второго АС, соответствующая второму входному фрагменту, может быть модифицирована таким образом, чтобы положение изображения поверхности земли осталось неизменным, а изображение вершины локально возвышающегося объекта совпало с изображением его вершины на первом изображении.

Имена входных и выходных файлов перечисленных в этом разделе алгоритмов, параметры и флаги управления алгоритмами читаются из ФИ.

9. Поиск аэрокосмических снимков в базах данных

Поиск в БД снимков, содержащих объекты заданного класса может проводиться с помощью двух алгоритмов.

1. Поиск ведется на основе СС снимков с описаниями необходимых объектов. В качестве ключа для поиска могут использоваться даже контурные наброски необходимых объектов, сделанные вручную (см. рис. 11а–11в).

2. Поиск ведется на основе текстурного сопоставления снимков с описаниями необходимых объектов (см. рис. 11г, 11д).

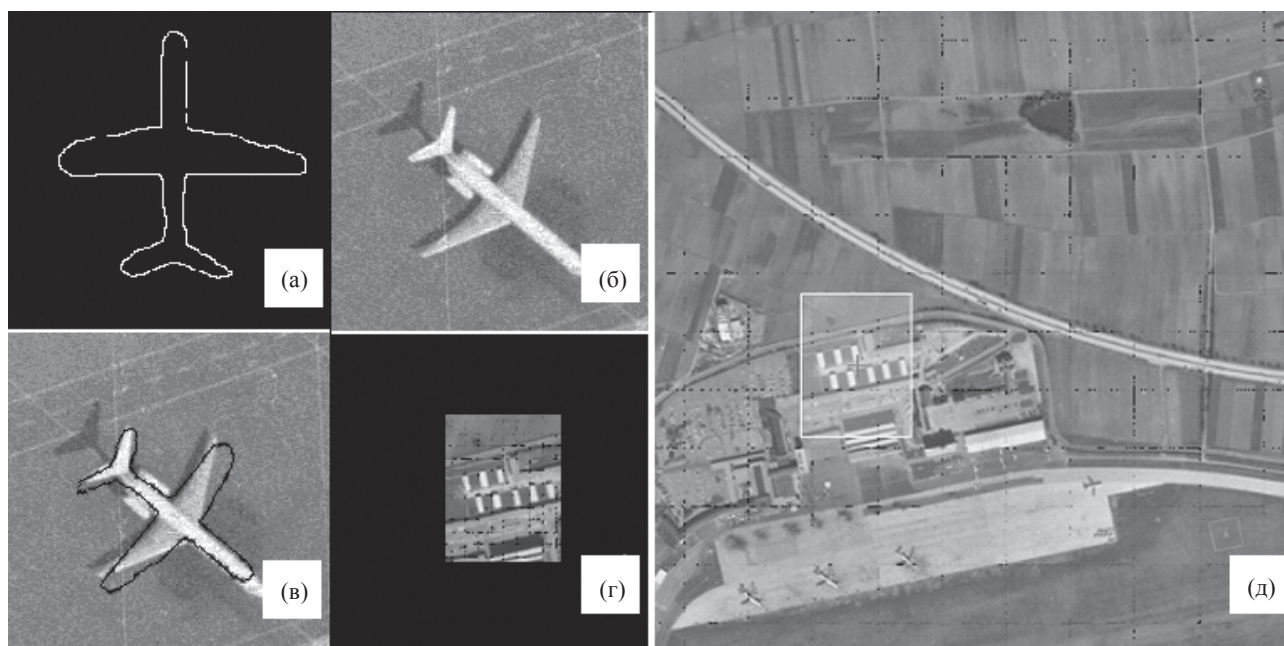


Рис. 11. Поиск изображений в БД. а – ключ для поиска (контурный набросок искомого объекта), б – одно из изображений искомого объекта, хранящееся в БД; в – искомое изображение, найденное путем структурного сопоставления (корректность СС показана автоматическим совмещением изображения-ключа с найденным АС); г – ключевой фрагмент для поиска в БД, д – изображение, найденное методом сопоставления текстур (ключевой фрагмент помечен рамкой на найденном изображении).

Комментарии к перечисленным алгоритмам

Алгоритмы, упомянутые в пп. 1 и 2 этого раздела, функционируют сходным образом и отличаются только системами признаков изображений, положенных в основу поиска в БД. В первом случае в БД хранятся изображения и их СО, построенные с применением алгоритма, упомянутого выше в п. 5 раздела 1, и поиск проводится по таким СО. Во втором случае хранящиеся изображения описываются и ищутся с помощью признаков текстуры, упомянутых ниже в п. 3 раздела 13. Для поиска изображения в БД алгоритму предъявляется ключ – изображение, аналог которого должен быть найден в базе. Возможен также поиск изображения, содержащего ключ в качестве фрагмента. Алгоритм строит для изображения-ключа описание, основанное соответственно на структурных или текстурных признаках, и сравнивает это описание с описаниями изображений, хранящихся в БД. Из БД извлекаются изображения, для которых (или для фрагментов которых) мера сходства их описания и описания ключа не меньше заданного порога. Фрагмент, найденный на извлеченном из БД изображении, помечается на нем рамкой или крестиком. Оба алгоритма могут функционировать в двух режимах: поиск в БД или построение БД.

Использование СО делает поиск инвариантным к ССИ ландшафтов, изменению типа сенсора, АП

изображения. Иногда в качестве ключа поиска можно использовать даже контурный набросок, сделанный от руки. При использовании текстурных описаний инвариантность поиска к указанным изменениям изображений в значительной мере утрачивается, однако процедура поиска делается более эффективной с точки зрения объема потребляемых вычислительных ресурсов. Последний алгоритм также более эффективен при поиске изображений, не содержащих четко выраженных контуров.

Имена входных и выходных файлов перечисленных в этом разделе алгоритмов, параметры и флаги управления алгоритмами читаются из ФИ.

10. Алгоритмы, предназначенные для геокодирования местности

Точность привязки элементов АС к географическим координатам (ГК) ограничивается точностью навигационных измерений, проводимых в моменты аэрокосмической съемки, и точностью последующего “выпрямления” (орторегификации) аэрокосмических снимков в одну из заданных КП. ГК сфотографированных объектов могут затем уточняться человеком-оператором непосредственно на местности с применением приемников GPS. Ниже приведены алгоритмы обработки АС, облегчающие выбор точек привязки (ТП), координаты которых могут потом уточняться с помощью GPS. Алгоритмы выбирают ТП

таким образом, что оператор GPS сможет находить их на местности с точностью, превосходящей пространственное разрешение снимков, на которых ТП были выбраны. ТП автоматически выбираются в местах пересечения характерных протяженных элементов местности, например, краев дорог. Координаты выбранных ТП измеряются алгоритмами с субпиксельной точностью за счет аппроксимации контуров соответствующих элементов местности отрезками прямых линий. Перечисленные ниже алгоритмы позволяют также автоматически переносить ТП на другие АС данной местности или сопоставлять ТП, найденные на разных снимках.

1. Автоматическое выделение на АС с субпиксельной точностью ТП, пригодных для геокодирования (локальной привязки местности к глобальным ГК с применением приемников спутникового геопозиционирования).

2. Автоматическое сопоставление ТП набора АС.

3. Автоматическое перенесение ТП на снимки более высокого разрешения.

4. Приблизительное определение ГК точек привязки по ГК снимка.

5. Нахождение аппроксимированных описаний ТП по точным измерениям на местности ГК.

6. Сопоставление точно измеренных на местности и грубо вычисленных координат ТП.

Комментарии к перечисленным алгоритмам

Входной информацией для перечисленных выше алгоритмов являются файлы АС в формате гео-TIFF. В заголовках таких файлов хранится информация о ГК, соответствующих углам снимков, размерах изображений в пикселах, размерах пиксела в метрах и т. п.

Алгоритм, упомянутый в п. 1, использует в качестве входной информации файл АС. В результате работы алгоритма формируются файлы, содержащие список координат (пикселей) найденных ТП и векторные описания аппроксимирующих отрезков прямых линий, соответствующих каждой найденной ТП. Алгоритм дает возможность наблюдать аппроксимирующие отрезки, наложенные в соответствующих местах на изображение местности, что облегчает оператору GPS поиск соответствующих ТП на местности.

Алгоритм, упомянутый в п. 2, использует в качестве входной информации набор файлов изображений одной и той же местности, сформированных датчиками разных типов. Каждый файл изображения сопровождается файлами (созданными с помощью алгоритма, упомянутого в п. 1), содержащими список координат найденных в этом изображении ТП и векторные описания аппроксимирую-

щих отрезков прямых линий, соответствующих каждой найденной ТП. В результате работы алгоритма формируются пакет изображений, зарегистрированных в общей СК, и модифицированные файлы, содержащие список координат найденных в этих изображениях ТП и векторные описания аппроксимирующих отрезков прямых линий, соответствующих каждой найденной ТП. Эти модифицированные файлы содержат информацию только о тех ТП, которые были найдены в каждом из зарегистрированных изображений.

Алгоритм, упомянутый в п. 3, использует в качестве входной информации АС некоторой местности и другой АС той же местности, имеющий более низкое пространственное разрешение. Последний снимок сопровождается файлами (созданными с помощью алгоритма, упомянутого в п. 1), содержащими список координат найденных в этом снимке ТП и векторные описания аппроксимирующих отрезков прямых линий, соответствующих каждой найденной ТП. В результате работы алгоритма модифицируются файлы, содержащие список координат ТП и векторные описания аппроксимирующих отрезков прямых линий, соответствующих каждой ТП. Координаты ТП и векторные описания аппроксимирующих линий соответствуют теперь положению и локальным особенностям формы объектов привязки на изображении более высокого пространственного разрешения.

Алгоритм, упомянутый в п. 4, использует в качестве входной информации ГК, соответствующие углам АС, которые могут быть прочитаны из заголовка файла формата гео-TIFF, содержащего этот снимок. В качестве входной информации используются также файлы (созданные с помощью алгоритма, упомянутого в п. 1), содержащие список координат найденных в этом снимке ТП и векторные описания аппроксимирующих отрезков прямых линий, соответствующих каждой найденной ТП. На основе известных ГК, соответствующих углам снимка, приблизительно рассчитываются ГК всех ТП, описанных для этого снимка во входных файлах, и описания ТП, хранящиеся в этих файлах, дополняются их вычисленными приближенными ГК. Выходной информацией алгоритма являются модифицированные файлы описания ТП.

Алгоритм, упомянутый в п. 5, читает из входных файлов точные ГК, измеренные оператором GPS на местности. Предполагается, что координаты были измерены для точек, расположенных вдоль границ локально прямолинейных объектов местности вблизи места их пересечения (например, измеряются координаты точек, расположенных на границах дорог вблизи их пересечения). Алгоритм выбирает среди множества координат такие, для которых

соответствующие им точки местности образуют локальные компактные группы. Точки такой группы должны с заданным приближением лежать на прямой линии. Для каждой пары линий ищется точка их пересечения, не слишком сильно удаленная от обеих групп точек, соответствующих этим линиям. Найденная точка может быть использована как ТП, и для нее формируется описание, содержащее ее ГК и векторные описания двух соответствующих ей пересекающихся линий. Файлы таких описаний являются выходной информацией этого алгоритма.

Алгоритм, упомянутый в п. 6, читает в качестве входной информации файлы описаний (координаты ТП и векторные описания соответствующих им отрезков прямых линий), составленные для АС алгоритмом, упомянутым в п. 4. В качестве входной информации также читаются аналогичные файлы описаний ТП, составленные алгоритмом, упомянутым в п. 5, для участка местности, отображенного на этом АС. Алгоритм находит ТП, соответствующие друг другу в приблизительных описаниях, составленных по АС, и в точных описаниях, составленных с помощью измерения ГК на местности. Описания сопоставленных ТП являются выходной информацией алгоритма.

Имена входных и выходных файлов перечисленных в этом разделе алгоритмов и флаги управления алгоритмами читаются из ФИ.

11. Сжатие изображений

Сжатие изображений может осуществляться в целях повышения эффективности их хранения и передачи по каналам связи. Предлагаются следующие алгоритмы сжатия/распаковки.

1. Сжатие АС. Алгоритм формирует сжатые изображения, которые можно визуальнo анализировать, так как они топологически подобны исходным. Это дает возможность в дальнейшем “распаковывать” либо передавать только выбранные фрагменты изображений.

2. “Распаковка” сжатых АС. Алгоритм позволяет “распаковывать” только выбранные фрагменты сжатых изображений.

Комментарии к перечисленным алгоритмам

Алгоритм, упомянутый в п. 1, использует в качестве входной информации файл изображения, подлежащего сжатию. В результате работы алгоритма формируется файл сжатого изображения и файл, содержащий библиотеку графических примитивов, ссылки на которые используются в файле сжатого изображения.

Алгоритм, упомянутый в п. 2, использует в качестве входной информации файл сжатого изобра-

жения и файл, содержащий библиотеку графических примитивов, ссылки на которые используются в файле сжатого изображения. Эти входные файлы должны быть сформированы алгоритмом, упомянутым в п. 1 этого раздела. В качестве входной информации могут также запрашиваться координаты и размеры фрагмента сжатого изображения, который подлежит распаковке. В результате работы алгоритма формируется файл распакованного изображения, соответствующий всему сжатому входному изображению или заданному его фрагменту.

Имена входных и выходных файлов перечисленных в этом разделе алгоритмов, параметры и флаги управления алгоритмами читаются из ФИ.

12. Алгоритмы для разработки камуфлирующих материалов

Описанный ниже алгоритм оценивает качество камуфлирующих материалов на основании сходства параметров их цвета и текстуры с параметрами цвета и текстуры изображений реальных фонов (изображений ландшафтов, которые должен имитировать камуфлирующий материал).

1. Оценка камуфлирующей способности специальных материалов с точки зрения их сходства с фоном на АС.

Комментарии к алгоритму

В качестве входной информации алгоритм использует файл, содержащий изображение камуфлирующего материала, и файл, содержащий фрагмент АС, подлежащий сравнению с камуфлирующим материалом. В результате работы алгоритма в выходной файл записывается числовой показатель меры сходства, рассчитанный для заданного реального изображения и камуфлирующего материала. Имена входных и выходных файлов алгоритма, параметры и флаги управления алгоритмом читаются из ФИ.

13. Вспомогательные алгоритмы вычисления признаков изображений

Алгоритмы, представленные в этом разделе, являются базовыми составными частями прикладных алгоритмов автоматической обработки изображений, перечисленных в приведенных выше разделах.

1. Выделение контуров изображения, робастное по отношению к шуму; применяется алгоритм Хильтрета–Марра, уровень детальности задается.

2. Выделение контуров изображения, робастное по отношению к шуму; применяется алгоритм Дерриша, уровень детальности задается.

3. Формирование признаков текстуры АС на основе моделей Харалика, MRSAR, RISAR, энергии, “моментов”, нейронной, функций Габора, вэйвлет и т. п.

4. Классификация текстуры изображения в заданное число классов методом адаптивной кластеризации.

Комментарии к перечисленным алгоритмам

В качестве входной информации алгоритмы, перечисленные в пп. 1–3, используют файлы изображений, подлежащих обработке. Пиксели входных изображений кодируют уровень серого тона. В результате работы алгоритмов, упомянутых в пп. 1 и 2, формируется файл-изображение, кодирующий наличие контура или его отсутствие в каждом пикселе исходного аэрокосмического снимка. Найденные контуры также могут быть представлены в виде совокупности цепных кодов, указывающих координаты начального пиксела каждой непрерывной контурной линии и направление от каждого текущего пиксела к последующему при обходе линии. Сформированные контурные линии имеют единичную толщину.

В результате работы алгоритма, указанного в п. 3, формируется файл, содержащий двумерное поле признаков текстуры. Каждому элементу этого поля соответствует окрестность некоторого пиксела, имеющего такие же двумерные координаты во входном изображении. Внутри этой окрестности вычисляется вектор признаков текстуры в соответствии с одной из моделей, перечисленных в п. 3. В каждый из элементов сформированного двумерного поля записывается соответствующий его позиции вектор признаков текстуры. Размеры двумерного поля признаков и длина вычисленных векторов признаков записываются в выходной файл инициализации.

Алгоритм, упомянутый в п. 4, использует в качестве входной информации файл двумерного поля векторов признаков текстуры и ФИ, сформированные алгоритмом, упомянутым в п. 3. Входной информацией также является число классов текстуры, которое должно быть использовано при ее классификации, и номер ведущего компонента векторов описания текстуры. Сортировка векторов описания текстуры по значению заданного ведущего компонента, как правило, обеспечивает сохранение за определенными типами текстур одних и тех же (постоянных) номеров (меток) классов при классификации текстур методом адаптивной кластеризации. В результате работы алгоритма формируется файл-изображение, отображающий результаты классификации текстуры, описанной во входном файле этого алгоритма, содержащем двумерное поле векторов признаков текстуры некоторого изображения. Каж-

дый пиксел выходного файла содержит метку класса текстуры для соответствующего пиксела исходного изображения.

Имена входных и выходных файлов перечисленных в этом разделе алгоритмов, параметры и флаги управления алгоритмами читаются из ФИ.

Заключение

Описанные алгоритмы составляют полезный набор инструментов автоматического анализа аэрокосмических снимков. Некоторые из алгоритмов также могут быть успешно применены в сферах, не связанных с такими снимками. Для таких областей применения автоматической обработки изображений характерны свои специфические особенности. В дальнейшем мы планируем опубликовать описание алгоритмов, разработанных в ГОИ для решения других классов задач, например, для автоматизации сборочных процессов, контроля качества производства, для применения в медицине, криминалистике, в охранных системах и т. п.

Мы считаем своим долгом упомянуть, что в разное время в разработке вышеописанных алгоритмов также участвовали А.К. Жеребко, А.С. Иванов, А.Н. Майшева и В.А. Пепелка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Luciv V., Jerebko A., Barabanov N., Allinson N. Neural net based image matching // Proc. SPIE. 2000. V. 3962. P. 128–137.
2. Lutsiv V., Malyshev I., Pepelka V. Automatic fusion of the multiple sensor and multiple season images // Proc. SPIE. 2001. V. 4380. P. 174–183.
3. Lutsiv V., Malyshev I., Pepelka V., Potapov A. The target independent algorithms for description and structural matching of aerospace photographs // Proc. SPIE. 2002. V. 4741. P. 351–362.
4. Lutsiv V., Malyshev I., Potapov A. Hierarchical structural matching algorithms for registration of aerospace images // Proc. SPIE. 2003. V. 5238. P. 164–175.
5. Lutsiv V., Malyshev I., Novikova T. Hierarchical approaches to analysis of natural textures // Proc. SPIE. 2004. V. 5426. P. 144–154.
6. Lutsiv V., Potapov A. Information-theoretic approach to image description and interpretation // Proc. SPIE. 2003. V. 5400. P. 277–283.
7. Потанов А.С., Малышев И.А., Луцив В.Р. Совмещение аэрокосмических изображений с субпиксельной точностью методом локальной корреляции // Оптический журнал. 2004. Т. 71. № 5. С. 31–36.
8. Lutsiv V., Lapina N., Novikova T., Potapov A. Hierarchical 3D structural matching in the aerospace pho-

- tographs and indoor scenes // Proc. SPIE. 2005. V. 5807. P. 455–466.
9. *Потапов А.С.* Влияние взаимных геометрических искажений на возможность пространственного совмещения изображений методом локальной корреляции // Оптический журнал. 2004. Т. 71. № 8. С. 74–80.
10. *Potapov A.S.* Image matching with the use of the minimum description length approach // Proc. SPIE. 2004. V. 5426. P. 164–175.
11. *Луцев В.Р., Новикова Т.А., Петроченков С.А., Сильников М.В.* О количественной оценке маскировочных свойств специзделий и спецобмундирования // Тез. докл. V Всероссийской научно-практич. конфер. “Актуальные проблемы защиты и безопасности”. СПб., 2.04.2002–5.04.2002. С. 36–37.
-