

АЛГОРИТМЫ ПРОВЕРКИ СООТВЕТСТВИЯ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ УСЛОВИЯМ СЪЁМКИ

Кузнецов А.В., Мясников В.В.

Институт систем обработки изображений РАН,
Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

Аннотация

Настоящая работа посвящена решению задачи проверки данных дистанционного зондирования Земли, включающих цифровые оптические изображения и метаданные с параметрами съёмки, на их непротиворечивость. Решение задачи основано на анализе значений специальных числовых характеристик изображения, напрямую зависящих от параметров съёмки: положения Солнца, положения космического аппарата и ориентации устройства регистрации. В работе представлены две полностью автоматические вычислительные процедуры (алгоритмы) проведения такого анализа и принятия решения о взаимном соответствии или несоответствии данных.

Ключевые слова: космический снимок, векторная карта, модельно-ориентированный дескриптор, амплитудно-фазовое рассогласование, детектор границ Канны, трассировка границ.

Введение

Широко используемые в современном мире данные оптического дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) включают две основные составляющие: цифровое изображение и соответствующие ему метаданные, характеризующие процесс и условия съёмки. В ходе передачи от источника к получателю данные дистанционного зондирования Земли могут быть искажены как случайно (в результате ошибок), так и преднамеренно (злоумышленниками). При этом изменениям может подвергаться как сам космический снимок (КС), так и его метаданные. Отдельная задача обнаружения искусственных искажений цифровых изображений, когда метаданные и параметры съёмки не используются или не известны в принципе, рассматривалась в работах [1–4].

В настоящее время существуют работы, посвящённые анализу изображений на предмет несогласованности освещённости отдельных частей одного объекта [5]. В этих алгоритмах при анализе используется только само изображение, так как отсутствующая информация об условиях съёмки отсутствует (в работах исследования проводятся на изображениях, полученных обычными фотоаппаратами, которые не сохраняют данные о параметрах съёмки). Ввиду отсутствия этих данных сравнивать параметры теней на изображении фактически не с чем. Наличие метаданных в составе данных ДЗЗ, а также пространственных данных в виде векторных карт территории съёмки позволяет производить анализ согласованности объектов и теней на изображении. Работ, направленных на обнаружение несоответствий теней и объектов на КС, в ходе анализа литературы обнаружено не было.

В настоящей работе предлагается решение, направленное на выявление несоответствия цифрового изображения и параметров метаданных, характеризующих условия его съёмки.

Для выявления указанного несоответствия мы анализируем значения специальных числовых характеристик изображения, напрямую зависящих от параметров съёмки: положения Солнца, положения кос-

мического аппарата и ориентации устройства регистрации. Эти числовые характеристики, вычисляемые с использованием модельно-ориентированного дескриптора, рассчитываются на основании информации о расположении теней высотных объектов на изображении, которая получается по метаданным КС. Расположение высотных объектов, характеризующихся выравненной прямоугольной геометрией, в предлагаемом решении получается либо из векторной карты (при наличии информации о территории съёмки в геоинформационных системах), либо определяется автоматически (при отсутствии такой информации).

Работа построена следующим образом. В первом разделе формируется задача, приводится описание параметров метаданных, значения которых используются в предлагаемом решении. Второй раздел содержит краткую информацию об аппарате модельно-ориентированных дескрипторов (МОД) [6, 7], с использованием которых рассчитываются специальные числовые характеристики изображения, зависящие от параметров съёмки. Третий раздел посвящён описанию алгоритма, позволяющего обнаруживать несоответствие условиям съёмки изображения при наличии векторной карты местности на территорию съёмки. В четвёртом разделе приводится описание алгоритма обнаружения несоответствий при отсутствии векторной информации о территории съёмки.

1. Постановка задачи

Для выявления несоответствий между анализируемым изображением и его метаданными, как было указано выше, будем анализировать тени высотных объектов на этом изображении. В качестве подобных высотных объектов могут быть использованы постройки высотой от 12 метров (например, дома высотой не менее 5 этажей), имеющие на изображении при надирной съёмке вид простых геометрических объектов – прямоугольников. Длина анализируемой тени от такого здания составляет 10-15 м – в случае превышения этого значения возможно наложение тени на соседние постройки (в условиях плотной го-

родской застройки), что может ухудшить качество анализа. Объекты и их тени с такими линейными характеристиками лучше определять по снимкам высокого разрешения (0,5–1 м), поэтому в качестве анализируемых КС выбраны снимки, полученные с КА Geoeye-1 (0,5 м). Указанные выше параметры характеризуют ограничения, при которых представленные ниже алгоритмы могут корректно работать.

Метаданные КС содержат следующие параметры, которые используются в предлагаемых далее алгоритмах:

1) координаты съёмки $\mathbf{s} = (s_1, s_2, \dots, s_k)^T$, где $s_i = (x_i, y_i)$ – координаты точки привязки КС, k – количество точек привязки КС;

2) координаты положения КА $\mathbf{p} = (\phi_{az}, \phi_{el}, h_{alt})$, где ϕ_{az} – азимутальный угол наклона сенсора КА, ϕ_{el} – вертикальный угол наклона сенсора КА, h_{alt} – высота над уровнем моря, на которой расположен КА;

3) координаты положения Солнца $\mathbf{a} = (\alpha_{az}, \alpha_{el})^T$, где α_{az}, α_{el} – азимутальный и вертикальный углы наклона Солнца соответственно.

На рис. 1 показано взаимное расположение азимутальных и зенитных углов Солнца и КА.

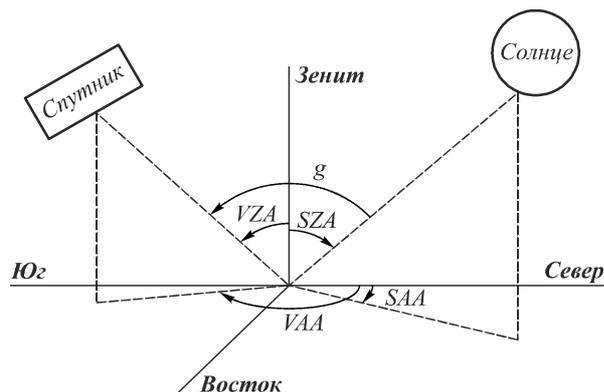


Рис. 1. Схема расположения углов КА и Солнца (VAA – азимутальный угол съёмки, VZA – зенитный угол съёмки, SAA – азимутальный угол Солнца, SZA – зенитный угол Солнца, g – фазовый угол)

2. Амплитудно-фазовое рассогласование

Модельно-ориентированный дескриптор цифрового изображения был предложен В.В. Мясниковым в работах [6, 7]. Он представляет из себя новый тип дескриптора, формируемый на основе дифференциальных и вероятностных свойств локальной окрестности анализируемого изображения [7].

В основе построения дескриптора лежит использование вероятностного распределения поля градиента, характеризующего модель анализируемого фрагмента изображения. Значения компонент дескриптора для конкретной области изображения вычисляются как значения этой плотности вероятностей с аргументом в виде конкретного поля градиента или отдельных его составляющих. Такая специфика расчёта дескриптора позволяет классифицировать его как *модельно-ориен-*

тированный и использовать как напрямую в составе решающего правила классификатора, так и в качестве численных характеристик (признаков) некоторой локальной области изображения. Для некоторых задач обработки и анализа изображений удобно использовать не компоненты самого дескриптора, а его производные величины, называемые признаками дескриптора и введённые в работе [7]. Как показано в [7], все введённые признаки дескриптора обладают удобным для использования свойством – их диапазон возможных значений лежит в интервале [0, 1]. При этом большие значения признаков соответствуют большей схожести конкретной реализации изображения (и, как следствие, градиентного поля) на потенциально-возможные реализации случайного поля градиента (на модель), а меньшие – меньшей. Для ряда типовых моделей случайного поля градиента были получены явные выражения для признаков модельно-ориентированного дескриптора [7]. Одна из этих моделей и соответствующий ей признак (амплитудно-фазовое рассогласование) и используются ниже в окончательном виде, приведённом в работах [6, 7].

Для формального определения указанного признака введём некоторые обозначения. Пусть D – анализируемая область изображения (потенциально – область тени некоторого реального объекта), для которой определена функция $\phi(t_1, t_2)$, значения которой определяют ориентацию (угол) линии перепада яркости (границы тени) в соответствующей позиции (t_1, t_2) . С использованием указанной функции задаётся распределение вероятностей поля градиента, которое в явном виде указано в работе [6].

Амплитудно-фазовым рассогласованием (АФР) ζ области D будем называть величину

$$\zeta = \frac{SGD}{SGM}, \quad \zeta \in [0, 1], \quad (1)$$

где SGM и SGD задаются в виде:

$$SGM = \sum_{(t_1, t_2) \in D} |g(t_1, t_2)|,$$

$$SGD = \sum_{(t_1, t_2) \in D} |g(t_1, t_2)| \times \left(\frac{\cos(\phi(t_1, t_2) - \arg(g(t_1, t_2))) + 1}{2} \right).$$

Здесь $g(t_1, t_2)$ – конкретная реализация поля градиента для рассматриваемого фрагмента изображения, $|g(t_1, t_2)|$ и $\arg |g(t_1, t_2)|$ – его модуль и направление (фаза). Очевидно, что чем ближе значение АФР ζ к 1, тем больше область D соответствует шаблону, определяемому функцией $\phi(t_1, t_2)$. По смыслу приведённая величина АФР характеризует относительную суммарную величину проекции модуля градиента на наиболее вероятное его направление, задаваемое функцией $\phi_{(n_1, n_2)}$.

3. Проверка соответствия условиям съёмки при наличии векторной карты местности

Рассмотрим ситуацию, когда в качестве априорной информации о территории съёмки присутствует векторная карта местности. Осуществив геометрическую привязку КС и наложив на него векторную карту территории съёмки, можно определить положение физических объектов на изображении. В зависимости от значения угла ϕ_{el} , крыши объектов могут быть смещены в сторону наклона КА в вертикальной плоскости, в то время как векторные объекты соответствуют положению фундамента здания и расположены так, как это было бы при $\phi_{el} = 0$ (когда КА расположен в надире). Пример космической съёмки КА Geoeye-1 (0,5 м), $\phi_{el} = 35$, представлен на рис. 2.

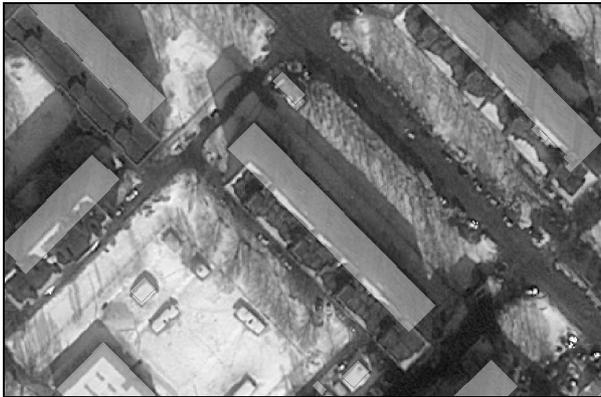


Рис. 2. Наложение векторной карты местности г.о. Самара на КС Geoeye-1 (0,5 м), $\phi_{el}=35$

Среди всех векторных объектов, находящихся на КС, будем выбирать только многоэтажные постройки высотой $h_b > 10$ (будем считать, что данные о высоте зданий указаны в семантических данных векторного слоя). Контур каждого здания описывается четырьмя точками: $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4)\}$. Расстояние между точками будем обозначать:

$$d_i^j = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}.$$

Выберем в системе координат КС положение Солнца (x_{sun}, y_{sun}) так, чтобы

$$d_i^{sun} \gg \max_{i,j} d_i^j, i, j \in \overline{1,4}, i \neq j.$$

Для анализируемого объекта необходимо определить такие стороны, для которых сохраняется прямой угол тени, отбрасываемой ими (угол, вершина которого наиболее удалена от Солнца):

$$i_{max} = \arg \max_{i \in \overline{1,4}} d_i^{sun}.$$

На рис. 3 представлен пример объекта $ABDC$ и отбрасываемой им тени (предполагаем, что съёмка производилась в надире). Стороны объекта AB и AC образуют угол, вершина которого наиболее удалена от положения Солнца.

Определив длину тени s объекта как $s = h_b \cdot \text{tg} \alpha_{el}$, можно вычислить границы *буферной зоны (области) границы тени* – геометрическое место точек, находя-

щееся на границе тени, отбрасываемой одной из сторон объекта (на рис. 3 выделена буферная зона границы тени $A'C'$).

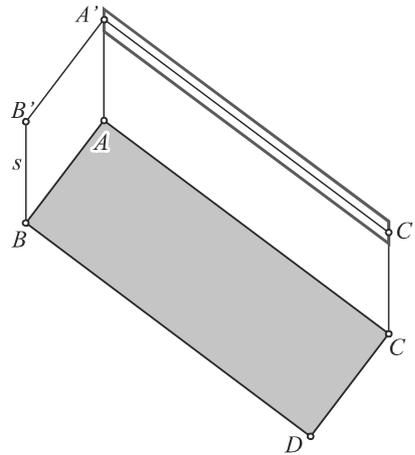


Рис. 3. Пример буферной зоны границы тени одной из сторон здания

Буферная зона представляет из себя параллелограмм, две стороны которого параллельны стороне AC , а две другие принадлежат прямым, лежащим под углом наклона тени (вычисляется относительно направления оси X прямоугольной системы координат изображения) на $КС \alpha_s$. *Направлением буферной зоны границы тени* будем называть угол наклона большей стороны параллелограмма. Буферная зона границы всей тени объекта лежит вдоль ломаной $BB'A'C'C$ и состоит из 4 частей: вдоль отрезков $BB', B'A', A'C', C'C$.

Пусть L – высота буферной зоны (рис. 4), тогда длина стороны параллелограмма, ограничивающая буферную зону стороны тени $A'C'$, вычисляется следующим образом:

$$d_{A'_-}^{A'_+} = H = \frac{L}{\sin \beta}, \text{ где } \beta = \alpha - \alpha_s.$$

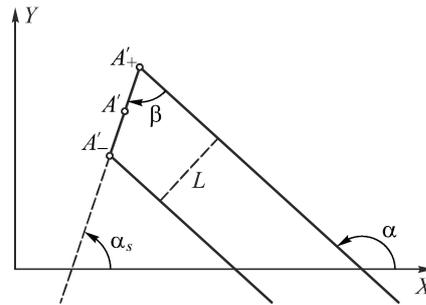


Рис. 4. Вычисление границ буферной зоны границы тени

Границы буферной зоны тени, параллельные стороне AC , будут находиться на расстояниях $s - H/2$ и $s + H/2$ от стороны AC . Координаты углов буферной зоны вычисляются тривиальным образом.

Проделав аналогичные вычисления для трёх других границ тени, получим координаты углов всех буферных зон. Результат построения буферной зоны тени здания (D) показан на рис. 5.

Для каждой буферной зоны будем далее вычислять значение АФР (1), которое будет характеризовать соответствие расположения реальной тени, при-

сутствующей на КС, тому направлению тени (ориентации буферной зоны), которое вычисляется на основании параметров метаданных.

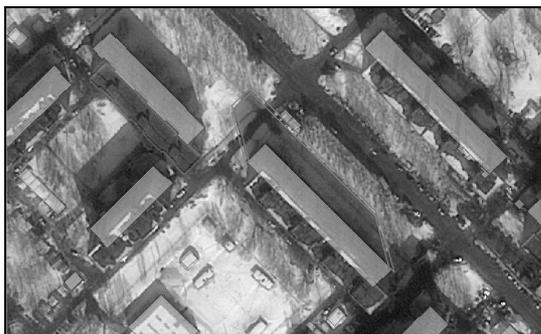


Рис. 5. Буферная зона тени объекта

В рамках проведения исследований разработанного алгоритма определим пороговые значения АФР, которые будут использоваться далее при принятии решения о несоответствии метаданных снимку. Для этого выберем для анализа КС (Геоeye-1, 0,5 м) и 26 векторных объектов, случайным образом выбранных среди объектов, принадлежащих территории КС. Ввиду случайности выбора объектов некоторые буферные зоны границы тени могут попасть в область тени других векторных объектов либо перекрыться другими объектами на КС. Значения АФР будем вычислять по любому из каналов анализируемого КС двумя способами:

- 1) вычислением значения АФР для каждой буферной зоны стороны тени объекта (обучающая выборка будет состоять из 104 величин – по 4 значения на каждый векторный объект);
- 2) вычислением значения АФР для буферной зоны всей тени объекта (размер обучающей выборки составит 26 величин). Построение буферной зоны границы тени формируется для верно заданного угла направления Солнца ($\alpha_s = 75^\circ$), которое было вычислено на основе значений параметров метаданных КС.

Пусть далее L – объём обучающей выборки, тогда пороговое значение АФР для i -го способа формирования обучающей выборки зададим следующим образом:

$$t_i = \min_{k \in L} \{ \zeta_k \} \cdot 0,9, \quad i \in \{1, 2\},$$

где ζ_k – значение АФР для k объекта обучающей выборки, 0,9 – константа, определённая экспериментальным путём.

На рис. 6 и рис. 7 представлено распределение величин АФР для обоих способов формирования обучающей выборки и соответствующие пороговые значения. Пороговые значения на рисунках: $t_1=0,34$, $t_2=0,6$.

Процедура принятия решения о несоответствии анализируемого КС его метаданным осуществляется следующим образом. Для КС делается выборка из 20 векторных объектов-зданий. На первом этапе вычисляются значения АФР для каждой стороны буферной зоны границы тени, и объект считается не прошедшим проверку, если

$$\exists j \in \overline{0,3}, \zeta_j < t_1. \tag{2}$$

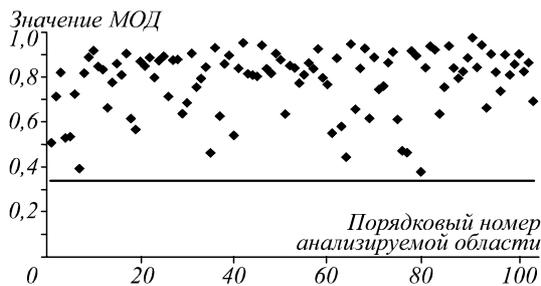


Рис. 6. Распределение значений АФР для первого способа построения

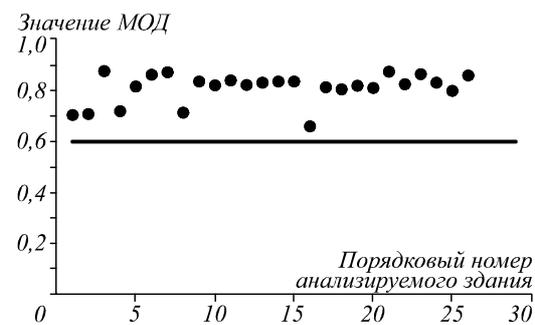


Рис. 7. Распределение значений АФР для второго способа построения

На втором этапе производится вычисление значений АФР для всей буферной зоны границы тени, и решение об объекте принимается аналогичным образом:

$$\zeta < t_2. \tag{3}$$

КС будем считать не прошедшим проверку, если хотя бы один объект выборки не пройдёт двухэтапную процедуру проверки (2) – (3).

Для того, чтобы подтвердить корректность способа выбора значений порогов t_1, t_2 для АФР, выберем КС и контрольную выборку из 20 векторных объектов-зданий, принадлежащих территории КС. Построим зависимость между значениями углов наклона Солнца и количеством объектов, не прошедших двухэтапную процедуру проверки КС (рис. 8).

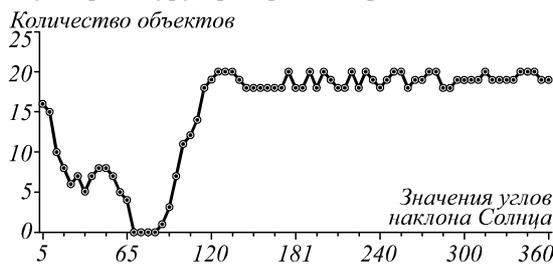


Рис. 8. Распределение количества не прошедших проверку объектов контрольной выборки от значений углов наклона Солнца

По результатам проведённых исследований можно сделать вывод, что разработанный алгоритм обнаруживает несоответствия КС условиям съёмки при отклонении угла наклона Солнца от истинного значения на величину $\Delta_{\alpha_s} > 5^\circ$ для вычисленных значений порогов t_1, t_2 АФР, что является приемлемым результатом при анализе КС. Предложенный алгоритм обладает низкой вычислительной сложностью, что позволяет использовать его в режиме реального времени.

4. Проверка соответствия условиям съёмки при отсутствии векторной карты местности

В ситуации, когда векторная карта территории съёмки отсутствует, обнаруживать на КС здания и соответствующие им тени возможно только посредством анализа изображения. В качестве анализируемых КС будем предъявлять снимки высокого разрешения, как и в предыдущем алгоритме. В данной работе представлен алгоритм, позволяющий выявлять соответствующие углы зданий и их теней при помощи детектора Канни [8, 9]. Преимущества этого способа выделения границ заключаются в лучшем обнаружении при наличии шума (ввиду использования порогового значения) и в том, что ширина обнаруженных границ не превосходит один пиксель, что позволяет проводить их дальнейшую трассировку [10].

Рассмотрим изображение (для примера будем использовать изображение, представленное на рис. 9):

$$f(m, n), m \in [0, M], n \in [0, N],$$

где M, N – линейные размеры КС.



Рис. 9. Анализируемый фрагмент КС

Прежде чем приступить к его анализу, необходимо произвести его преобработку:

- 1) преобразование изображения в полутоновое (в случае наличия более одного канала);
- 2) фильтрацию шума в целях сглаживания границ. Результатом проделанных операций будет изображение $f'(m, n)$.

Будем далее применять детектор границ Канни к изображению $f'(m, n)$. Формирование границ будем производить при помощи средств библиотеки OpenCV, в которой для настройки детектора применяются два параметра: первый используется для отбора наиболее выраженных границ (th_1), второй – для объединения сегментов границ в контуры (th_2).

В данной работе использовались эмпирически подобранные параметры выделения границ $th_1 = 50$, $th_2 = 120$ – при этих значениях наилучшим образом выделялись интересные границы объектов. Результат применения детектора Канни будем обозначать $c_f(m, n)$.

Алгоритм анализа изображения границ $c_f(m, n)$ состоит из двух этапов: поиск соответствующих прямых углов и поиск границ тени, сонаправленных с углом наклона тени, вычисленного по значениям параметров метаданных.

Первый этап анализа заключается в обработке результата выделения границ и обнаружения на изображении углов, близких к прямым. Близость значения будет определяться параметром порога $\Delta_{rightAngle}$. У каждого объекта-здания найдётся один прямой угол крыши, которому соответствует прямой угол тени. Для каждого пикселя (x_b, y_b) границы на изображении $c_f(m, n)$ будем производить 8-связную трассировку [10] в противоположных направлениях до заданной заранее границы и оценивать угол γ между ними. Если при этом выполняется условие $\gamma \in [(\pi/2) - \Delta_{rightAngle}, (\pi/2) + \Delta_{rightAngle}]$, то (x_b, y_b) помещается в список точек, которые могут являться углами здания или тени – при этом в отдельном списке сохраняется угол наклона биссектрисы γ_{bis} найденного прямого угла для дальнейшего сравнения направлений углов. Из сформированного списка точек будем далее выбирать только те пары $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$, для которых выполняется условие близости к углу наклона Солнца:

$$\left| \arctg 2 \left(\frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} \right) - \alpha_s \right| < \Delta_{sun}.$$

Также при отборе точек учитываются максимальная и минимальная высота зданий, от значений которых зависит длина тени или расстояние между углами. Отсюда следует ограничение на расстояние между соответствующими прямыми углами:

$$height_{min} < \sqrt{(y_1 - y_2)^2 + (x_1 - x_2)^2} < height_{max}.$$

Результат определения соответствующих прямых углов представлен на рис. 10.

Второй этап анализа изображения заключается в обнаружении границ тени, направление которых совпадает с углом наклона Солнца. В основе этапа также лежит трассировка границ на изображении $c_f(m, n)$.

Пусть K_s – ограничение на максимальную длину трассированных пикселей границы. Получив для данной точки список из K_s точек, аппроксимируем его прямой [8] при помощи функции Line2DFitting библиотеки OpenCV. В результате мы получим точку, принадлежащую этой прямой (x_{line}, y_{line}) , и вектор направления прямой (d_x, d_y) . При этом возникает следующая проблема, представленная на рис. 11 (серым цветом указаны все обнаруженные участки, для которых аппроксимированные прямые имеют направление, близкое к углу наклона Солнца). Из рисунка видно, что направление искривлённого участка границы совпадает с направлением прямолинейного участка, являющегося частью границы

(для примера, на рис. 11 чёрным цветом выделены некоторые обнаруженные искривлённые и прямолинейные участки, для которых углы наклона прямых, построенных по этим точкам, близки).



Рис. 10. Результат обнаружения прямых углов



Рис. 11. Результат обнаружения границ тени объекта

Для того, чтобы избежать данной ситуации, предлагается разбивать обнаруженный участок на k последовательных фрагментов и аппроксимировать каждый из них. Если среди k аппроксимированных прямых найдётся больше $k/2$ таких, чьи направления отличаются от направления Солнца больше допустимой величины Δ_{sunAngle} , то этот участок будем исключать из списка возможных границ тени. Используя данную модификацию, результат выделения границ тени будет выглядеть, как показано на рис. 12. Из него видно, что практически все ложные границы тени были исключены (чёрным цветом

выделены границы тени, наиболее близко расположенные по отношению к прямой, проходящей через обнаруженные прямые углы на первом этапе).



Рис. 12. Результат фильтрации границ тени объекта

В результате работы алгоритма по списку соответствующих прямых углов и списку наиболее близко расположенных к ним границ тени формируется геометрическая модель тени объекта, для которой вычисляются значения АФР, как было описано в предыдущем разделе. Для представленного на рис. 9 объекта значение АФР составляет $\zeta=0,77$, что выше значения разделяющей границы, вычисленного в предыдущем разделе. Это позволяет утверждать, что данный объект на КС соответствует предъявляемым условиям съёмки. Скорость работы данного алгоритма позволяет использовать его в режиме реального времени при анализе реальных КС.

Выводы и рекомендации

В данной работе были представлены два новых алгоритма обнаружения несоответствий КС условиям его съёмки: при наличии и при отсутствии векторной информации о территории съёмки. Предложенное решение позволяет обнаруживать несоответствия теней объектов условиям съёмки КС при наличии отклонения угла наклона тени от истинного на величину, превышающую 5° . В работе также даны рекомендации по выбору параметров алгоритмов обнаружения и определены границы применимости.

Благодарности

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке:

- грантов РФФИ, проекты № 13-07-12103-офи-м, 13-01-12080-офи-м, 12-07-00021-а;
- программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Фундаментальные проблемы информатики и информационных технологий», проект 2.12;

– Министерства образования и науки Российской Федерации (в рамках постановления Правительства Российской Федерации от 09.04.2010 г. № 218: договор № 02.Г36.31.0001 от 12.02.2013).

Литература

1. **Глумов, Н.И.** Обнаружение на изображениях искусственных изменений локального происхождения / Н.И. Глумов, А.В. Кузнецов // Автометрия. – 2011. – № 47(3). – С. 4-12.
2. **Глумов, Н.И.** Обнаружение дубликатов на изображениях / Н.И. Глумов, А.В. Кузнецов // Компьютерная оптика. – 2011. – Т. 35, № 4. – С. 508-512.
3. **Глумов, Н.И.** Поиск дубликатов на цифровых изображениях / Н.И. Глумов, А.В. Кузнецов, В.В. Мясников // Компьютерная оптика. – 2013. – Т. 37, № 3. – С. 360-367.
4. **Кузнецов, А.В.** Алгоритм обнаружения дубликатов на цифровых изображениях с использованием эффективных линейных локальных признаков / А.В. Кузнецов, В.В. Мясников // Компьютерная оптика. – 2013. – Т. 37, № 4. – С. 489-495.
5. **Farid, H.** Image Forgery Detection // IEEE Signal Processing Magazine. – 2009. – P. 16-25.
6. **Мясников, В.В.** Метод обнаружения транспортных средств на цифровых аэрофото- и космических изображениях дистанционного зондирования Земли // Компьютерная оптика. – 2012. – Т. 36, № 3. – С. 429-438.
7. **Мясников, В.В.** Модельно-ориентированный дескриптор поля градиента как удобный аппарат распознавания и анализа цифровых изображений // Компьютерная оптика. – 2012. – Т. 36, № 4. – С. 596-604.
8. Методы компьютерной обработки изображений / М.В. Гашников, Н.И. Глумов, Н.Ю. Ильёва, В.В. Мясников, С.Б. Попов, В.В. Сергеев, В.А. Соифер, А.Г. Храмов, А.В. Чернов, В.М. Чернов, М.А. Чичёва, В.А. Фурсов. – Под ред. В.А. Соифера. – 2-е изд., испр. – М.: Физматлит, 2003. – 784 с.
9. **Canny, J.** A computational approach to edge detection // Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE

- Transactions on PAMI. – 1986. – V. 8, Issue 6. – P. 679-698.
10. **Ren, M.** Tracing boundary contours in a binary image / M. Ren, J. Yang, H. Sun // Image and Vision Computing. – 2002. – V. 20, Issue 2. – P. 125-131.

References

1. **Glumov, N.I.** Detection of Local Artificial Changes in Images / N.I. Glumov, A.V. Kuznetsov // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 2011. – V. 47(3). – P. 4-12.
2. **Glumov, N.I.** Image copy-move detection / N.I. Glumov, A.V. Kuznetsov // Computer Optics. – 2011. – V. 35(4). – P. 508-512. – (In Russian).
3. **Glumov, N.I.** The algorithm for copy-move detection on digital images // N.I. Glumov, A.V. Kuznetsov, V.V. Myasnikov // Computer Optics. – 2013. – V. 37(3). – P. 360-367.
4. **Kuznetsov, A.V.** Efficient linear local features based copy-move detection algorithm // A.V. Kuznetsov, V.V. Myasnikov // Computer Optics. – 2013. – V. 37(4). – P. 489-495.
5. **Farid, H.** Image Forgery Detection // IEEE Signal Processing Magazine. – 2009. – P. 16-25.
6. **Myasnikov, V.V.** Method for detection of vehicles in digital aerial and space remote sensed images // Computer Optics. – 2012. – V. 36(3). – P. 429-438.
7. **Myasnikov, V.V.** Model-based gradient field descriptor as a convenient tool for image recognition and analysis // Computer optics. – 2012. – V. 36(4). – P. 596-604.
8. Methods of computer image processing / M.V. Gashnikov, N.I. Glumov, N.U. Pyasova, V.V. Myasnikov, S.B. Popov, V.V. Sergeev, V.A. Soifer, A.G. Khramov, A.V. Chernov, V.A. Fursov: ed. By V.A. Soifer. – 2-nd edition reviewed. – Moscow: "Fizmatlit" Publisher, 2003. – 784 p. – (In Russian).
9. **Canny, J.** A computational approach to edge detection // Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on PAMI. – 1986. – V. 8, Issue 6. – P. 679-698.
10. **Ren, M.** Tracing boundary contours in a binary image / M. Ren, J. Yang, H. Sun // Image and Vision Computing. – 2002. – V. 20, Issue 2. – P. 125-131.

ALGORITHMS FOR VERIFICATION OF SPACE IMAGES BY SHOOTING OPTIONS

A.V. Kuznetsov, V.V. Myasnikov

Image Processing Systems Institute, Russian Academy of Sciences,
Samara State Aerospace University

Abstract

This paper presents a solution of remote sensing data verification problem. This data includes optical digital image data and metadata containing shooting parameters. The current solution is based on the analysis of special numerical characteristics, which directly depend on the shooting parameters: sun position, satellite position and registration camera orientation. We propose two fully automatic computational procedures for remote sensing data analysis and decision-making based on data compatibility.

Key words: satellite image, vector map, buffer zone, model-oriented descriptor, Canny edge detector, border tracing.

Сведения об авторах

Кузнецов Андрей Владимирович, родился в 1987 году. В 2010 году окончил Самарский государственный аэрокосмический университет (СГАУ) с отличием по специальности «Прикладная математика и информатика». В 2010 поступил в аспирантуру СГАУ, в 2013 г. защитил диссертацию на соискание степени кандидата технических наук. В настоящее время работает младшим научным сотрудником в Институте систем обработки изображений РАН. Круг научных интересов включает обработку и анализ изображений, обнаружение локальных изменений на изображениях, распознавание образов, геоинформатику. Имеет 18 публикаций, в том числе 5 научных статей.

E-mail: kuznetsoff.andrey@gmail.com.



Andrey Vladimirovich Kuznetsov (b. 1987) graduated with honours (2010) from Samara State Aerospace University (SSAU), majoring in Applied Mathematics and Informatics. He studied as a post-graduate student in SSAU from 2010 and received his PhD in Technical Sciences in 2013. Nowadays he is a researcher at the Image Processing Systems Institute of the Russian Academy of Sciences (IPSI RAS). His research interests are currently focused on image processing and analysis, local images changes detection, pattern recognition, geoinformatics. He has 18 publications, including 5 scientific papers.

*Сведения об авторе **Мясников Владислав Валерьевич** см стр. 296 этого номера.*

Поступила в редакцию 5 марта 2014 г.