

ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ, РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ

МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ВЗАИМНОГО КОНТРАСТИРОВАНИЯ

А.Ю. Рубис¹, М.А. Лебедев¹, Ю.В. Визильтер¹, О.В. Выголов¹

¹ ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем»
(ФГУП «ГосНИИАС»), Москва, Россия

Аннотация

В статье предложен метод морфологической компаративной фильтрации на основе взаимного контрастирования изображений. Описана процедура нормализации фона на основе взаимного контрастирования с использованием пирамиды изображений, и предложен соответствующий алгоритм выделения отличий для изображений дистанционного зондирования. Проведено экспериментальное сравнение разработанного алгоритма выделения отличий с аналогом на тестовом наборе данных.

Ключевые слова: морфология изображений, обработка изображений, нормализация фона.

Цитирование: Рубис, А.Ю. Морфологическая фильтрация изображений на основе взаимного контрастирования / А.Ю. Рубис, М.А. Лебедев, Ю.В. Визильтер, О.В. Выголов // Компьютерная оптика. – 2016. – Т. 40, № 1. – С. 73-79. – DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-1-73-79.

Введение

В работе [1] была предложена непроективная диффузная морфология, непосредственно обобщающая морфологический анализ изображений Пытьева [2]. При этом диффузный фильтр строился так, как в [3], то есть на основании локальной информации о сходстве окрестностей точек описываемого изображения между собой. В силу этого, хотя построенный на основе диффузного фильтра морфологический коэффициент корреляции (МКК) показал существенное превосходство над обычным МКК в задаче взаимной привязки ТВ- и ИК-изображений, такая диффузная морфология обладает в целом традиционными для морфологии Пытьева достоинствами и ограничениями – она устойчива к изменениям яркости (цвета), но не допускает изменений геометрии съёмки сцены.

Между тем для мозаичных изображений известны модели формы и соответствующие метрики их сравнения, которые обеспечивают возможность сравнения формы изображений с учётом достаточно серьёзных изменений в их геометрии. Например, в [4] описаны обобщённые реляционные модели формы изображений и соответствующие им метрики. Однако такие метрики решают лишь задачу сравнения форм изображений и не позволяют решить задачу выделения отличий, которая легко решается в морфологии Пытьева. Кроме того, свойства получаемых метрик не всегда хороши с точки зрения их использования даже в задачах привязки изображений.

В связи с этим в данной статье мы сделали попытку показать, как компаративные морфологии пытьевского типа могут быть построены на основе реляционных моделей формы.

Под компаративной морфологией мы понимаем любую математическую теорию формы, которая, подобно морфологии Пытьева, обеспечивает решение следующих основных задач анализа изображений:

- оценка сходства изображений;
- взаимная привязка изображений;

- выделение отличий между изображениями (формами);
- сравнение изображений (форм) по сложности;
- оценка сходства/различия форм.

В зависимости от конкретного выбора базовой структурной модели и способа её формирования данная обобщённая схема компаративной морфологии может реализовываться в виде той или иной частной компаративной морфологии.

В статье приведены процедура и использующий её алгоритм, который решает задачу выделения отличий на изображениях. Задача заключается в поиске новых или, напротив, исчезнувших объектов на изображениях, полученных в разные моменты времени и возможно при различных условиях освещения, погодных или сезонных условиях. На текущий момент разработано множество методов выделения отличий [5]. Среди них можно выделить две основные категории: методы, основанные на анализе непосредственно пиксельных данных изображений, и методы, использующие более высокий объектный уровень обработки. Методы первой категории обычно обеспечивают высокую вычислительную эффективность, но относительно низкую точность определения изменений между изображениями. Методы второй категории, напротив, отличаются более высоким качеством поиска изменений, однако требуют гораздо больших вычислительных затрат.

Использование компаративных морфологических фильтров, преобразующих тестовое изображение посредством локальных особенностей формы эталонного изображения, может обеспечить желаемый компромисс между вычислительной эффективностью методов на основе анализа пиксельной информации и качеством результата методов объектного уровня. Следует отметить, что компаративная фильтрация близка в некотором смысле к фильтрации с помощью управляемых (guided) фильтров [6], однако предложенные морфологические фильтры обладают особыми математическими свойствами.

1. Морфологические фильтры на основе взаимного контрастирования изображений

Если исходить из того, что основная задача компаративной морфологии – это *сравнение изображений* по форме, то, возможно, наиболее естественным, хотя и не столь привычным будет обобщение морфологии Пытьева на основе компаративных фильтров, непосредственно принимающих на вход оба сравниваемых изображения из множества всех изображений Ω (эталонное и тестовое), но выдающих на выходе результат, который можно трактовать как результат фильтрации тестового изображения:

$$\psi(f, g): \Omega \times \Omega \rightarrow \Omega,$$

что при любом фиксированном $f \in \Omega$ фильтр $\Psi f(g) = \Psi(f, g)$ является морфологическим фильтром.

При этом компаративный фильтр будем называть *взаимным*, если невозможно как-либо заранее обучить некий фильтр выполнять такую операцию на эталоне f , чтобы потом фильтровать любое тестовое изображение g этим фильтром, т.е. если в каждой точке изображения в процессе фильтрации необходимо обрабатывать именно пару соответствующих изображений f и g (или пары их фрагментов).

Рассмотрим следующий пример взаимной фильтрации:

$$\begin{aligned} \phi(f(x, y), g(x, y)) &= \\ &= g_0(x, y) + |K(f, g)| (g(x, y) - g_0(x, y)), \end{aligned}$$

где $g_0(x, y) \equiv \text{mean}(g(x, y))$, $K(f, g)$ – нормированный коэффициент линейной корреляции

$$K(f, g) = \frac{(f - f_0, g - g_0)}{\|f - f_0\| \|g - g_0\|}.$$

Легко убедиться, что $\phi(f, f) = f$. Кроме того,

$$K_M(f, g) = \frac{\|\phi(f, g) - g_0\|}{\|g - g_0\|} = |K(f, g)|.$$

Данный пример может показаться искусственным и практически неприменимым, но стоит перейти к локальной фильтрации с окном $w(x, y)$ по той же схеме, как мы получим следующий достаточно интересный *взаимный компаративный фильтр на основе локальной корреляции изображений*:

$$\begin{aligned} \phi^w(f, g)(x, y) &= g_0^{w(x, y)}(x, y) + \\ &+ |K(f^{w(x, y)}, g^{w(x, y)})| (g(x, y) - g_0^{w(x, y)}(x, y)), \end{aligned}$$

где $g^{w(x, y)}(u, v) = \{g(x, y), \text{ если } (u, v) \in w(x, y); 0 - \text{ в противном случае}\}$; $g_0^{w(x, y)}$ – среднее значение $g(x, y)$ по окну $w(x, y)$; $K(f^{w(x, y)}, g^{w(x, y)})$ – локальный нормированный коэффициент корреляции в окне:

$$K(f, g) = \frac{(f^{w(x, y)} - f_0^{w(x, y)}, g^{w(x, y)} - g_0^{w(x, y)})}{\|f^{w(x, y)} - f_0^{w(x, y)}\| \|g^{w(x, y)} - g_0^{w(x, y)}\|}. \quad (1)$$

Легко убедиться, что $\phi^w(f, f) = f$, и при этом такой взаимный фильтр $\phi^w(f, g)$ сильно сглаживает такие локальные фрагменты изображения g , форма которых

наиболее непохожа на форму соответствующих фрагментов эталона f . Такие компаративные фильтры могут быть полезны для выделения отличий на изображениях.

Ещё более интересный эффект может дать *взаимный компаративный фильтр на основе локальной поисковой корреляции изображений*:

$$\begin{aligned} \phi^{w, p}(f, g)(x, y) &= g_0^{w(x, y)}(x, y) + \\ &+ K_{\max} (g(x, y) - g_0^{w(x, y)}(x, y)), \quad (2) \\ K_{\max} &= \max_{(u, v) \in p(x, y)} |K(f^{w(u, v)}, g^{w(x, y)})|, \end{aligned}$$

где $p(x, y)$ – зона поиска соответствия фрагментов изображения g на эталоне f . Такой фильтр $\phi^{w, p}(f, g)$ может обеспечить выделение отличий на изображениях, различающихся, помимо присутствия/отсутствия некоторых объектов, дополнительно ещё и небольшими отличиями в точках и ракурсах съёмки (как изображения стереопары).

Наконец, развивая эту идею, можно дать общее определение фильтров такого типа.

Определение. Компаративным фильтром на основе взаимного контрастирования (ВК-фильтром) будем называть функцию вида

$$\begin{aligned} \phi_a^w(f, g)(x, y) &= g_0^{w(x, y)}(x, y) + \\ &+ a(f, g^{w(x, y)}) (g(x, y) - g_0^{w(x, y)}(x, y)), \quad (3) \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} \forall f, g \in \Omega: a(f, g^{w(x, y)}) &\in [0, 1], \\ a(g, g^{w(x, y)}) &= 1, a(o, g^{w(x, y)}) = 0. \end{aligned}$$

Здесь $a(f, g^{w(x, y)})$ – *локальный коэффициент взаимного сходства* фрагмента изображения $g^{w(x, y)}$ с элементами изображения f , $o(x, y) = \text{const}$ – изображение с пикселями одной яркости.

Легко убедиться, что $\forall f \in \Omega \phi_a^w(f, f) = f$; $\phi_a^w(o, f) = f_0^w$; $\phi_a^w(f, o) = o$.

Соответственно, задача сравнения изображений решается при помощи следующих двух основных средств:

1) Оценка степени сходства изображений по форме на основе *морфологического коэффициента взаимного контрастирования* (МКВК)

$$K_M(f, g) = \frac{\|\phi_a^w(f, g) - g_0\|}{\|g - g_0\|}.$$

2) Выделение относительных изменений в сцене на основе *нормализации фона по взаимному контрастированию*:

$$\Delta g_f = |g - \phi_a^w(f, g)|. \quad (4)$$

Основное преимущество таких компаративных фильтров (как и диффузных) – в отсутствии необходимости предварительной сегментации изображения и, соответственно, зависимости качества сравнения изображений по форме от качества сегментации.

В качестве вариантов реализации $a(f, g^{w(x, y)})$, помимо рассмотренных выше локального и поискового коэффициентов корреляции, могут применяться:

- локальный и поисковый морфологический коэффициент корреляции Пытьева;
- локальная взаимная энтропия (точнее, некая нормированная функция от неё);
- различные локальные и поисковые коэффициенты геометрической корреляции форм;
- «тепловые» ядра взаимного сходства фрагментов изображения на основе сравнения векторов локальных признаков вида

$$a(f^{w(u,v)}, g^{w(x,y)}) = \exp(-d_v \mathbf{v}(g^{w(u,v)}) / \sigma),$$

$$(\mathbf{v}(f^{w(u,v)})),$$

где \mathbf{v} – вектора признаков из пространства V с метрикой d_v , σ – масштабный настроечный коэффициент и другие подобные меры сходства.

2. Процедура нормализации фона на основе взаимного контрастирования по пирамиде изображений

Описанный подход был реализован в виде алгоритмической процедуры, осуществляющей выделение относительных изменений в сцене на основе нормализации фона (4) с использованием компаративного фильтра (2). Для обеспечения фильтрации, инвариантной к размеру окна $w(x, y)$, процедура применялась к пирамиде изображений с постоянными размерами окна фильтрации. Предложенный алгоритм взаимной фильтрации изображения g с учётом формы f состоит из следующих этапов:

1. Произвести построение пирамид для изображений f и g :

$$\mathbf{f}^t = (f^0, f^1, \dots, f^{t-1}), \quad \mathbf{g}^t = (g^0, g^1, \dots, g^{t-1}),$$

где $f^0 = f$; $g^0 = g$; $g^{k+1} = Rdc_2 g^k$, $k=0, \dots, t-1$ (Rdc_2 – оператор пространственного уменьшения изображения в 2 раза); t – количество уровней пирамиды.

2. Для каждого k -го уровня пирамиды:

- а) рассчитать изображение отклика фильтра (2) с окном $w(x,y)$:

$$\phi^w(f, g)(x, y) = g_0^{w(x,y)}(x, y) + \max_{(u,v) \in (x,y)} |K_N(f^{w(x,y)}, g^{w(x,y)})|(g(x, y) - g_0^{w(x,y)}(x, y)),$$

где $p(x, y)$ – зона поиска соответствия фрагментов изображения g на эталоне f ;

$g_0^{w(x,y)}$ – среднее значение $g(x, y)$ по окну $w(x, y)$;

$K_N(F^{w(u,v)}, G^{w(x,y)})$ – нормированный коэффициент корреляции (1);

- б) рассчитать разность изображений:

$$\Delta g_f^k = |g^k - \phi^{w,p}(f, g)^k|. \tag{5}$$

3. Произвести восстановление разностного изображения по пирамиде, начиная с последнего уровня $t-1$ для каждого уровня k :

- а) увеличить разностное изображение Δg_f^k :

$$\Delta h^{k-1} = Inc_2 \Delta g_f^k, \quad k = t-1, \dots, 1$$

(Inc_2 – оператор пространственного увеличения изображения в 2 раза);

- б) усреднить реконструированное разностное изображение с более высокого уровня пирамиды и разностное изображение текущего уровня:

$$\Delta m^{k-1} = \max(\Delta h^{k-1}, \Delta g_f^{k-1}).$$

Результатом работы процедуры является изображение Δm^0 .

На рис. 1 представлены эталонное (рис. 1а) и тестовое (рис. 1б) изображения, примеры результатов фильтрации тестового изображения с помощью компаративного фильтра на основе взаимного контрастирования (рис. 1в) и фильтра по среднему (рис. 1з) с одинаковыми размерами окна фильтрации и соответствующие разностные изображения (5) (рис. 1д, е).

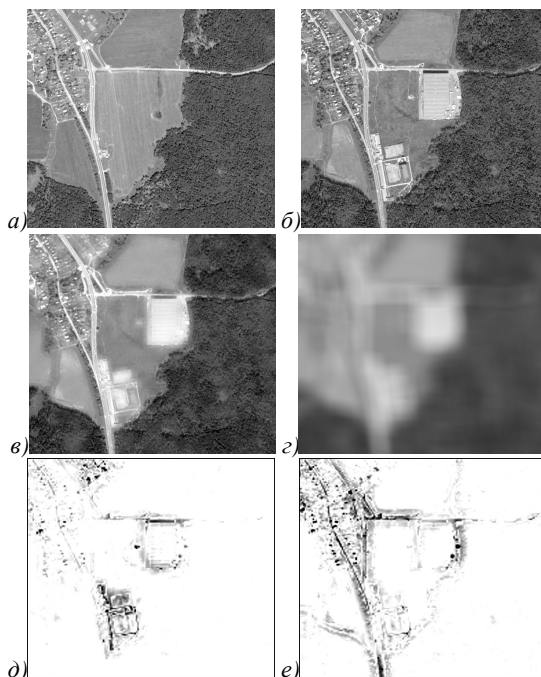


Рис. 1. Примеры исходных изображений (а, б), результатов фильтрации компаративным фильтром (в) и фильтром по среднему (з) соответствующих инвертированных разностных изображений (д, е)

На рис. 2, 3 представлены примеры результатов алгоритма нормализации фона на основе взаимного контрастирования: эталонные изображения (рис. 2а, б, 3а, б), тестовые изображения (рис. 2в, з, 3в, з) и результаты выделения отличий тестового изображения от эталонного (рис. 2д, е, 3д, е).

3. Алгоритм выделения отличий на основе взаимного контрастирования

Для задачи выделения отличий в данных дистанционного зондирования (спутниковая и аэрофото-съемка) был разработан алгоритм, основанный на компаративной фильтрации. Он содержит следующие основные шаги (рис. 4):

1. Компаративная фильтрация на основе взаимного контрастирования (2) и вычисление соответствующего разностного изображения отличий (4) с использованием пирамиды изображений.

2. Бинаризация и фильтрация разностного изображения отличий.
3. Формирование списка фрагментов с возможным содержанием отличий.
4. Проверка фрагментов на содержание значимых отличий с помощью локального морфологического коэффициента корреляции (5).
5. Формирование выходной бинарной маски изменений.

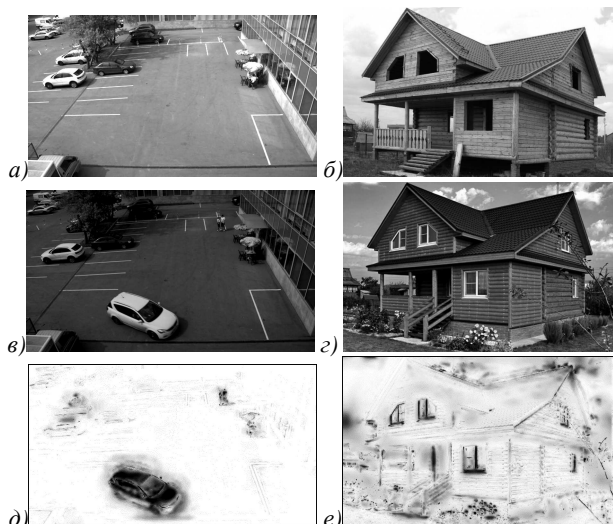


Рис. 2. Примеры результатов нормализации фона (инверсия (д, е) на основе взаимного контрастирования тестовых изображений (б, в) относительно эталонных (а, б)

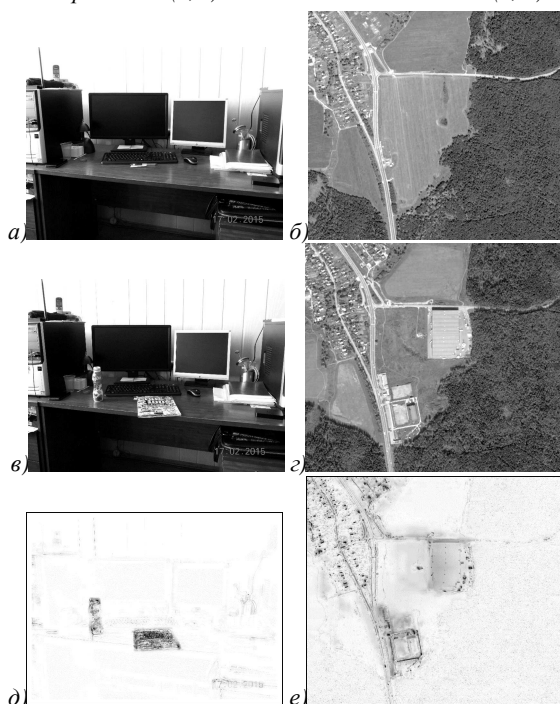


Рис. 3. Примеры результатов нормализации фона (инверсия (д), (е) на основе взаимного контрастирования тестовых изображений (б), (в) относительно эталонных (а), (б)

На первом шаге алгоритма применяется процедура морфологической нормализации фона, описанная выше. Использование фильтрации по пирамиде обеспечивает выделение отличий различных размеров.

Изображение результата нормализации фона, содержащее отличия, бинаризуется посредством метода разреза графов (Boykov and Kolmogorov, 2004). Затем полученное бинарное изображение фильтруется с помощью морфологических фильтров Серра (Serra, 1982) – последовательно закрытия, а затем открытия с дисковым структурирующим элементом малого размера. Такая фильтрация позволяет удалить содержащие шум участки на бинарном изображении отличий.

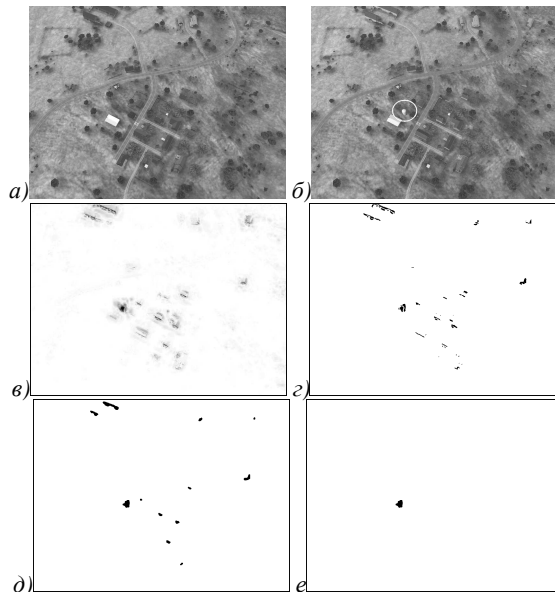


Рис. 4. Стадии предложенного алгоритма выделения отличий ((в)-(з) инвертированы): а) эталонное изображение; б) тестовое изображение; в) морфологическая нормализация фона; г) бинаризация изображения (в), д) фрагменты с возможным содержанием изменений (области изображения (г) после фильтрации Серра); е) результат алгоритма

Список фрагментов с возможным содержанием отличий формируется с помощью вычисления минимальных описывающих многоугольников для всех несвязных областей бинарной маски отличий. Затем каждый фрагмент проверяется посредством сравнения численного значения локального коэффициента морфологической корреляции [2] с пороговым значением.

Если значение МКК больше порога, то соответствующая область бинарной маски отличий сохраняется на выходной маске отличий.

Стоит отметить, что данная схема асимметрична – она обеспечивает выделение отличий на (новом) тестовом изображении *g* относительно (старого) эталонного изображения *f*. В случае необходимости поиска отличий на обоих изображениях необходимо выполнить процедуру два раза: с использованием *g* как тестового и *f* как эталонного и, наоборот, *g* как эталонного и *f* как тестового.

4. Эксперименты

Для экспериментального исследования предложенного алгоритма выделения отличий был использован публичный тестовый набор данных Change Detection dataset, представленный в [7]. Набор данных

содержит 1000 пар модельных изображений аэрофотосъёмки и 1000 соответствующих масок *ground truth* (все изображения обладают разрешением 800×600 пикселей, рис. 5). Некоторые пары изображений содержат как изменения в составе сцены, так и изменения в освещении. Каждая сцена получена с различных точек: камеры распределены по кругу радиусом 100 м с шагом в 10 градусов на высоте приблизительно 250 м с фиксированным наклоном около 70 градусов. Все изображения смоделированы с разрешением 50 см поверхности на пиксель.

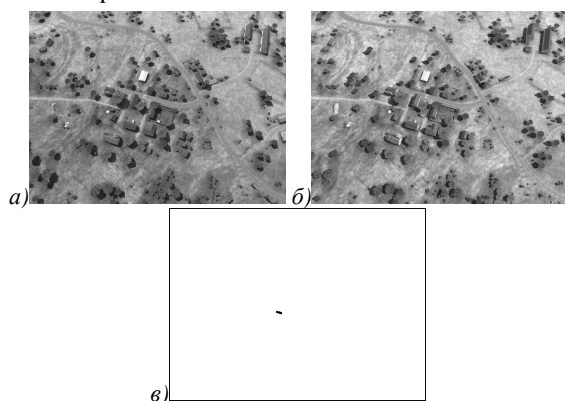


Рис. 5. Пример модельных данных из тестового набора: а) эталонное изображение, б) тестовое изображение, в) маска *ground truth* (инверсия)

Методология экспериментов состояла в следующем. Был выбран поднабор из 100 пар эталонных и тестовых изображений для 50 различных сцен с нулевым относительным углом камеры. По методике, описанной в [7], на уровне пикселей мы сравнивали результаты по отношению к маскам *ground truth*, показатели *Precision* и *Recall* рассчитывали на уровне объектов (областей). Для того, чтобы это сделать, был сформирован список объектов по проверочным изображениям (*ground truth*) и список выделенных объектов по результатам работы алгоритма (объекты, полученные после фильтрации и дополнительной проверки с помощью МКК областей бинаризованного изображения морфологической нормализации фона). Затем выполнялось попарное сравнение объектов из этих списков. Если область их пересечения составляла более 50 %, то принималось решение, что объекты друг другу соответствуют. Оценка соотношения верно и неверно найденных объектов определялась с помощью соответствующих значений *Precision* (6) и *Recall* (7):

$$P = tp / (tp + fp), \quad (6)$$

$$R = tp / (tp + fn), \quad (7)$$

где *tp* – число правильно выделенных объектов (*true positive*), *fp* – число ошибочно выделенных объектов (*false positive*), *fn* – число объектов, которые ошибочно не были выделены (*false negative*).

Эксперименты проводились со следующими настройками параметрами алгоритма: окно фильтра взаимного контрастирования составляло 7×7 пикселей, число уровней пирамиды изображений – 3, размер структурирующего элемента при фильтрации с помощью опера-

ций закрытия и открытия Серра – 5 пикселей, пороговое значение МКК на последнем этапе алгоритма – 0,5.

Для предложенного алгоритма выделения отличий на основе взаимного контрастирования были получены *Precision* = 0,6 и *Recall* = 0,64. Результат алгоритма, описанного в [7], на наборе тестовых данных составлял по показателю *Precision* около 0,51 и *Recall* – 0,52 (по графику). Такое сравнение не совсем корректно в том плане, что в приведённой работе использовалась несколько другая методология тестирования. Однако следует отметить, что наши результаты по крайней мере не хуже конкурирующих.

Таким образом, можно заключить, что предложенный алгоритм может быть применён в задаче выделения отличий данных дистанционного зондирования.

Заключение

В данной работе предложен и описан т.н. взаимный компаративный фильтр на основе взаимного контрастирования. В процессе расчёта отклика фильтра используется взвешивающий коэффициент, который является локальной мерой сходства фрагментов изображений. Реализован метод выделения относительных изменений в сцене на основе нормализации фона, использующий предложенную процедуру взаимной фильтрации. Предложен новый алгоритм выделения отличий с использованием компаративной фильтрации для анализа данных дистанционного зондирования. Алгоритм содержит разработанную процедуру морфологической нормализации фона по пирамиде изображений, расчёт морфологической маски отличий, бинаризацию, выделение фрагментов с возможным содержанием отличий и выявление корректных среди них с помощью МКК.

Как видно из приведённых примеров, задача выделения отличий на изображениях успешно решается предложенным способом, несмотря на изменение яркостной составляющей изображения, что характерно для морфологии Пытьева. При этом, как и в ранее предложенной схеме компаративной диффузной фильтрации, не требуется предварительная сегментация изображения. Принципиально новым результатом для морфологической фильтрации является то, что изменения выделяются при изменении как яркости, так и геометрии сцены (рис. 2е). В экспериментах на публичном тестовом наборе данных, содержащем модельные изображения аэрофотосъёмки, предложенный алгоритм выделения отличий показал свою применимость и адекватность в задаче выделения отличий на данных дистанционного зондирования.

Следует отметить, что перспективы модификации и оптимизации процедуры компаративной фильтрации на основе взаимного контрастирования широки вследствие гибкой настройки как параметров (размер скользящего окна, размер области локального поиска в каждой точке, количество уровней пирамиды, различные способы реконструкции пирамиды), так и структуры самого фильтра посредством использования различных мер сходства фрагментов изображений.

Дальнейшая работа над предложенными морфологическими схемами будет связана с разработкой и реализацией новых компаративных фильтров и алгоритмов для различных типов задач. В частности, могут быть получены другие виды фильтров на основе взаимного контрастирования посредством комбинаций различных сглаживающих процедур и мер локального сходства изображений. В части экспериментов планируется работа по тестированию реализованных компаративных фильтров и соответствующих алгоритмов на больших объемах модельных и реальных данных.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 14-07-00914 А, 13-08-01071 А.

Литература

1. **Vizilter, Yu.V.** Shape-Based Image Matching Using Heat Kernels and Diffusion Maps / Yu.V. Vizilter, V.S. Gorbatshevich, A.Yu. Rubis, S.Yu. Zheltov // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2014. – Vol. XL-3. – P. 357-364. – ISSN 1682-1750.
2. Методы морфологического анализа изображений / Ю.П. Пытьев, А.И. Чуличков – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 336 с.
3. **Coifman, R.** Diffusion maps / R. Coifman, S. Lafon // Applied and Computational Harmonic Analysis. – 2006. – Vol. 21(1). – P. 5-30. – ISSN 1063-5203.
4. **Визильтер, Ю.В.** Реляционные модели формы изображений и метрики их сравнения / Ю.В. Визильтер, А.Ю. Рубис, В.С. Горбачевич // 9-я международная конференция «Интеллектуализация обработки информации», Черногория, г. Будва. Сборник докладов. – 2012. – С. 410-414.
5. **Hussain, M.** Change detection from re-motely sensed images: From pixel-based to object-based approaches / M. Hussain, D. Chen, A. Cheng, H. Wei, D. Stanley // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2013. – Vol. 80 – P. 91-106. – ISSN 0924-2716.
6. **Zhang, Q.** Rolling Guidance Filter / Q. Zhang, X. Shen, L. Xu, J. Jia // Computer Vision – ECCV 2014. – 2014. – Vol. 8691. – P. 815-830.
7. **Bourdis, N.** Constrained optical flow for aerial image change detection / N. Bourdis, D. Marraud, H. Sahbi // Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) IEEE International – 2011. – P. 4176 – 4179. – ISSN 2153-6996.

Сведения об авторах

Рубис Алексей Юрьевич, 1986 года рождения, в 2009 году окончил ФГБОУ ВПО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)». В настоящее время является инженером ФГУП «ГосНИИ Авиационных систем» (ГосНИИАС). Является автором и соавтором 17 научных трудов (из них 8 статей в рецензируемых журналах из списка ВАК). Круг научных интересов: обработка изображений, системы улучшенного видения, распознавание образов, программирование. E-mail: arcelt@mail.ru.

Лебедев Максим Алексеевич, 1990 года рождения, в 2013 году окончил «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)». В настоящее время является инженером 2-й категории ФГУП «ГосНИИ Авиационных систем» (ГосНИИАС). Является автором и соавтором 20 научных трудов. Круг научных интересов: обработка изображений, системы улучшенного видения, распознавание образов, программирование. E-mail: MLebedev@gosniias.ru.

Визильтер Юрий Валентинович, 1970 года рождения, в 1992 году окончил ФГБОУ ВПО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)». В 1997 г. защитил кандидатскую, а в 2009 году – докторскую диссертацию. В настоящее время является начальником подразделения ФГУП «ГосНИИ Авиационных систем» (ГосНИИАС). Опубликовал более 80 научных работ (из них более 20 статей в рецензируемых журналах из списка ВАК). Область научных интересов: обработка и анализ изображений, цифровая фотограмметрия, машинное зрение, математическая морфология, распознавание образов, машинное обучение, биометрия. E-mail: viz@gosniias.ru.

Выголов Олег Вячеславович, 1977 года рождения, в 2000 году окончил ФГБОУ ВПО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)». В 2007 г. защитил кандидатскую диссертацию, кандидат технических наук. В настоящее время является начальником лаборатории ФГУП «ГосНИИ Авиационных систем» (ГосНИИАС). Область научных интересов: обработка и анализ изображений, математическая морфология, комплексирование информации в технических системах, навигация и управление мобильными объектами с использованием технического зрения. E-mail: o.vygalov@gosniias.ru.

Поступила в редакцию 7 декабря 2015 г.
Окончательный вариант – 12 февраля 2016 г.

MORPHOLOGICAL IMAGE FILTERING BASED ON GUIDED CONTRASTING

A.Yu. Rubis¹, M.A. Lebedev¹, Yu.V. Vizilter¹, O.V. Vygalov
¹ FGUP "GosNIIAS"

Abstract

In this paper a technique of morphological comparative filtering based on image guided contrasting is proposed. Also, a technique of image background normalization based on guided con-

trasting via an image pyramid and the corresponding change detection algorithm is presented. The approach is tested on a public change detection benchmark dataset.

Keywords: image morphology, image filtration, background normalization.

Citation: Rubis AYu, Lebedev MA, Vizilter YuV, Vygolov OV. Morphological image filtering based on guided contrasting. *Computer Optics* 2016; 40(1): 73-9. DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-1-73-79.

Acknowledgements: The work was partially funded by the Russian Foundation of Basic Research grants 14-07-00914 A, 13-08-01071 A.

References

- [1] Vizilter YuV, Gorbatshevich VS, Rubis AYu, Zheltov SYu. Shape-Based Image Matching Using Heat Kernels and Diffusion Maps. *ISPRS Archives* 2014, XL-3: 357-364.
- [2] Pyt'ev YuP, Chulichkov AI. Methods of morphological image analysis [In Russian]. Moscow: "Fizmatlit" Publisher; 2010.
- [3] Coifman R, Lafon S. Diffusion maps. *Applied and Computational Harmonic Analysis* 2006, 21(1): 5-30.
- [4] Vizilter YuV, Rubis AYu, Gorbatshevich VS. Relational models of image shapes and shape comparison metrics. Proc of 9-th Int Conf "Intelligent Information Processing", Montenegro, Budva 2012: 410-414.
- [5] Hussain M, Chen D, Cheng A, Wei H, Stanley D. Change detection from re-motely sensed images: From pixel-based to object-based approaches. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 2013, 80: 91-106.
- [6] Zhang Q, Shen X, Xu L, Jia J. Rolling Guidance Filter. *Computer Vision – ECCV* 2014; 8691: 815-830.
- [7] Bourdis N, Marraud D, Sahbi H. Constrained optical flow for aerial image change detection. *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2011 IEEE International*; 4176-4179.

Authors' information

Aleksey Yurievich Rubis (b.1986) graduated from Moscow Aviation Institute (National Research University) in 2009. Currently he works as the engineer at the FGUP "GosNIIAS". Author of 17 scientific papers. Research interests are image and video analysis, pattern recognition, programming, enhanced vision systems.

Lebedev Maxim Alekseevich (b, 1990) graduated from Moscow Aviation Institute (National Research University) in 2013. Currently he works as the engineer of the 2-nd category at the FGUP "GosNIIAS". Author and coauthor of 20 scientific papers. Research interests are image processing, enhanced vision systems, pattern recognition, programming. E-mail: MLebedev@gosniias.ru.

Yuri Valentinovich Vizilter (b.1970) graduated from Moscow Aviation Institute (National Research University) in 1992. Since 1997 is the Candidates of Technical Sciences, 2009 - the Doctor of Technical Sciences. Currently he works as the head of department at the FGUP "GosNIIAS". Author of 80 scientific papers. Research interests are processing and image analysis, digital photogrammetry, computer vision, mathematical morphology, pattern recognition, machine learning, biometry.

Oleg Viacheslavovich Vygolov (b.1977) graduated from Moscow Aviation Institute (National Research University) in 2000 and received Ph.D. degree in Technical Sciences in 2007. He has been working at FGUP "GosNIIAS" since 2000, currently holds the position of head of laboratory for Enhanced and Synthetic Vision Systems. His research interests include image processing and analysis, mathematical morphology, data fusion in technical systems, vision-based mobile objects navigation and guidance.

Received December 7, 2016. The final version – February 12, 2016.