

УДК 004.932

СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ПОИСКА СТРУКТУРНЫХ РАЗЛИЧИЙ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Ф.А. КОРНИЛОВ

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт математики
и механики им. Н.Н. Красовского Уральского отделения Российской академии наук
(ИММ УрО РАН)*

Рассматривается методика сравнения качества работы алгоритмов поиска структурных различий изображений. Приводятся результаты ее применения для трех конкретных алгоритмов. Получена эмпирическая формула для размера сканирующего окна алгоритма.

Ключевые слова: обработка изображений, структурные различия, морфология.

Корнилов Федор Андреевич – ведущий математик, e-mail: FAKornilov@mail.ru

A COMPARISON ALGORITHMS OF SEARCH FOR STRUCTURAL DIFFERENCES IN IMAGES

F.A. KORNILOV

Institute of Mathematics and Mechanics UB RAS

The method of comparing the performance of search algorithms for structural differences in the images is considered. The results of its application to three specific algorithms are provided. The empirical formula for the size of the scanning window of algorithm is obtained.

Key words: image processing, structural differences, morphology.

Kornilov Fedor Andreevich – Leading Mathematician, e-mail: FAKornilov@mail.ru

Введение

Проблема анализа данных дистанционного зондирования, в частности цифровых космических снимков, в настоящее время играет ключевую роль в решении многих практических задач. Одной из них является задача поиска структурных различий на разновременных снимках одного и того же участка земной поверхности. Под структурными различиями здесь понимаются существенные изменения сцены типа появления, исчезновения или изменения формы объектов. При этом изменения освещенности и цвета объектов структурными различиями не считаются.

Входными данными для задачи являются два разновременных полутоновых изображения. Предполагается, что они геометрически выровнены и имеют одинаковый размер в пикселях. Геометрическая выравненность означает, что каждый пиксель (x, y) соответствует одной и той же области на обоих изображениях.

Сложность решения поставленной задачи связана с наличием на снимках неструктурных различий, например из-за неодинаковых условий регистрации изображений. Для устранения подобного влияния предлагается алгоритм, основанный на применении функций преобразования яркости. Однако класс таких функций достаточно широк, поэтому встает вопрос об адекватной методике сравнения качества работы алгоритмов с различными функциями. В данной работе предлагается один из вариантов такой методики.

Общая схема алгоритма поиска структурных различий

В работе [1] предложен алгоритм, решающий задачу поиска структурных различий изображений. В этом алгоритме исходная пара изображений сканируется локальным окном заданного размера d . Для каждого положения окна строятся функции преобразования яркости $P_f g$ и $P_g f$ и изображения $f'(x) = P_f g(x)$ и $g'(x) = P_g f(x)$. Далее строится разностное изображение $R = \max(|f'(x) - g(x)|, |g'(x) - f(x)|)$ и проводится его пороговая обработка. Таким образом, обработка каждого сканирующего окна дает на результирующем изображении одну точку, яркость которой 255 или 0. Из этих точек формируются связные области структурных различий – конечный результат.

Функции преобразования яркости

Для устранения неструктурных различий, вызванных влиянием условий регистрации или изменением цвета объектов, необходимо провести “выравнивание” яркостей сравниваемых изображений с сохранением их структуры. Для такого “выравнивания” будут использоваться следующие функции преобразования яркости.

1. Морфологический проектор, предложенный в работах [2, 3], представляет собой усреднение яркости второго (g) изображения по уровням яркости первого (f):

$$P_f g(x) = \sum_{i=0}^{255} \left(\frac{\sum_{x' \in X} g(x') \chi_i^f(x')}{\sum_{x' \in X} \chi_i^f(x')} \chi_i^f(x) \right), \text{ где } \chi_i^f(x) = \begin{cases} 1, & f(x) = i; \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

Такой подход оптимален в случае отсутствия шума, т.е. когда каждый уровень яркости соответствует определенному объекту. Но при наличии на изображениях шума и появлении большого числа уровней яркости проекции будут близки к исходным изображениям как по яркости, так и по структуре. Поэтому предлагается использовать более узкие классы функций, например линейные и квадратичные.

2. Линейная функция $P_f g(x) = k f(x) + b$, коэффициенты k и b которой находятся с помощью МНК из соотношения $k f + b = g$.

3. Квадратичная функция $P_f g(x) = a f^2(x) + b f(x) + c$, коэффициенты a , b и c которой находятся с помощью МНК из соотношения $a f^2 + b f + c = g$.

Методика сравнения качества работы алгоритмов

При создании данной методики было необходимо учитывать следующие соображения:

1. Сравнение алгоритмов необходимо проводить на реальных, а не на синтезированных изображениях. Работа алгоритма будет оцениваться путем сравнения (с помощью анализа ROC-кривых) полученных результатов с ручной разметкой исходных изображений. Однако получение ручной разметки реальных снимков представляет собой сложную и трудоемкую задачу. Причиной является сложность дешифрирования таких снимков – даже в ручном режиме. Ины-

ми словами, на снимках могут (и будут) присутствовать области, которые нельзя однозначно отнести к областям структурных различий или областям их отсутствия.

2. Стандартным подходом к определению устойчивости работы алгоритма является оценка его работы при различных уровнях шума, для чего необходимы изображения с “нулевым” уровнем возмущения. Параметры присутствующего на реальных изображениях шума можно оценить лишь приближенно, и использование подобной оценки в качестве “нулевого” уровня, к которому будет добавляться новый шум с известными параметрами, приведет к получению недостаточно надежного аргумента функции качества работы алгоритма.

3. Результат работы каждого алгоритма зависит от выбранного набора его параметров. В данном случае таких параметров будет два: размер сканирующего окна и оптимальный порог. Выбор оптимального порога – отдельная сложная задача, решение которой представлено в [1, 4]. В данной работе рассмотрение влияния этого параметра будет скрыто путем использования анализа ROC-кривых, в котором будут перебираться все возможные значения порога. Вторым параметром – размер сканирующего окна – имеет не менее важное значение, поскольку его выбор определяет точность локализации объектов определенного размера. На реальных изображениях варьировать размер объектов представляется возможным только изменением масштаба всего изображения, что может быть невыгодно с точки зрения ограничения объема используемой информации: изображение может стать слишком маленьким, чтобы результаты его обработки представляли интерес. Также важным моментом является типовой состав объектов, так как в конкретных практических приложениях важна работа алгоритма для различных типов сцен (городская застройка, пригород и т.д.). Таким образом, методика сравнения алгоритмов должна включать в себя возможность изменения типа и размеров объектов.

Учет этих трех пунктов позволит создать пары изображений, в которых негативное влияние посторонних факторов будет сведено к минимуму, благодаря чему можно провести максимально объективное сравнение алгоритмов.

Построение пары изображений, которые станут входными данными для алгоритма поиска структурных различий и изображения с ручной разметкой, осуществляется следующим образом. Выбирается космический снимок некоторого участка земной поверхности. В зависимости от практических требований это может быть снимок городской застройки, пригород и т.д. Масштаб снимка варьируется, чтобы получить требуемый размер объектов. Далее этот снимок разделяется на две части: первый фрагмент и его копия становятся исходными изображениями, второй фрагмент – донором для генерации структурных различий.

Поскольку исходные изображения изначально идентичны, то одинаковы и присутствующие на них уровни яркости, вызванные влиянием шума. Таким образом, эти уровни яркости становятся в некотором смысле “содержательными”, т.е. определяют “объекты” на обоих изображениях. Применение алгоритмов поиска структурных различий к таким изображениям, очевидно, дает нулевое разностное изображение R .

Структурными различиями становятся объекты, вырезанные из второго фрагмента снимка и добавленные к исходным изображениям. При этом добавление объекта ко второму изображению эквивалентно его появлению, добавление к первому изображению – исчезновению объекта, добавление двух разных объектов к одной и той же области обоих снимков – изменению формы. Типы переносимых объектов также определяются требованиями задачи: дома, если это анализ городской застройки, участки лесного массива, если это задача мониторинга вырубки лесов, и т.д.

Таким образом строятся два изображения, содержащие необходимые структурные различия при “нулевом” уровне шума. Из них путем попиксельного вычитания получается изображение ручной разметки структурных различий. На рис.1 представлены фрагменты полученных таким способом изображений. Далее к этим изображениям добавляется шум с известным распределением и применяется алгоритм поиска структурных различий.



Рис. 1. Фрагменты изображений городской застройки с “нулевым” уровнем шума для сравнения алгоритмов поиска структурных различий и их ручная разметка

Эксперимент строится следующим образом: для каждого набора параметров (d , σ), где d – размер сканирующего окна; σ – стандартное отклонение добавленного на изображения шума, генерируется пара изображений по описанному выше способу. К этим изображениям применяется алгоритм поиска структурных различий с одной из функций преобразования яркости. По полученному разностному изображению R и ручной разметке, перебирая все возможные значения порога, строится ROC-кривая. Критерием качества работы алгоритма выбрана площадь под ROC-кривой – Area Under the Curve (AUC).

Далее приведены результаты сравнения алгоритмов с помощью данной методики.

Результаты эксперимента

Применение описанной выше методики будет показано на примере снимков с городской застройкой (см. рис. 1). Для этой пары изображений проводим серию испытаний по следующей схеме:

1. Выбор параметров: размер сканирующего окна $d \in [11, 51]$ с шагом 2 и стандартное отклонение для добавляемого на изображения шума $\sigma \in [0, 20]$ с шагом 1.

2. К полученной паре изображений применяется алгоритм с одной из функций преобразования яркости и выбранным параметром d . Результат работы алгоритма – разностное изображение R – сравнивается с ручной разметкой, и вычисляется значение AUC. В процессе перебора всех параметров формируется таблица результатов для выбранного варианта алгоритма.

3. Фиксируя значение σ , определяют значения d , соответствующие максимальному значению AUC. Полученные данные используются для построения эмпирической зависимости размера сканирующего окна d от величины σ . Аппроксимация проводится линейными функциями, и ее результаты таковы:

- для морфологического проектора: $d = 0,49 \sigma + 17,23$, точность аппроксимации, полученная с помощью пакета OriginPro 8.0, равна 87%;
- для линейной функции: $d = 1,31 \sigma + 10,36$, точность аппроксимации равна 92,6%;
- для квадратичной функции: $d = 1,25 \sigma + 9,24$, точность аппроксимации равна 98%.

На рис. 2 приведены результаты, полученные с помощью линейной аппроксимации функций.

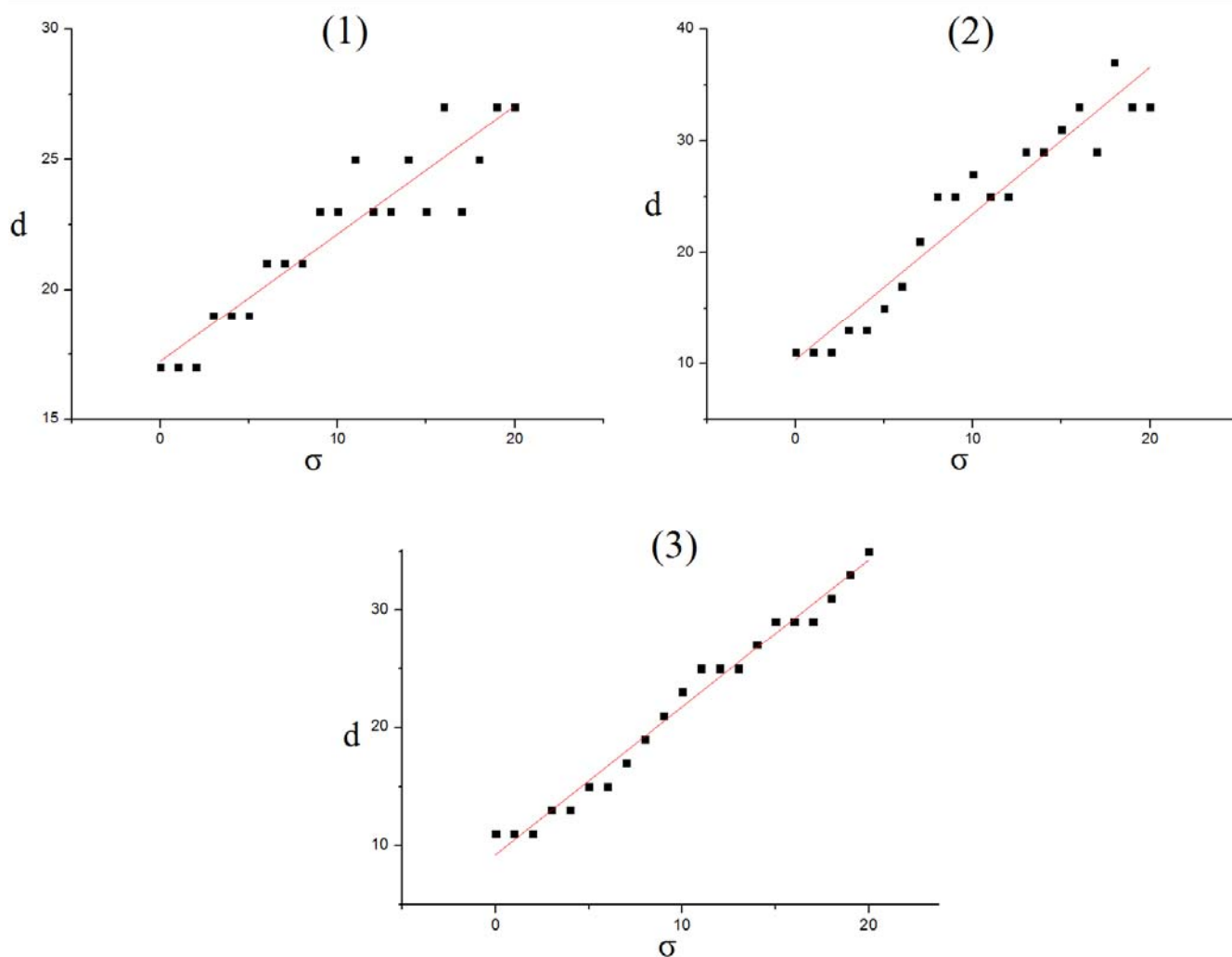


Рис. 2. Результаты линейной аппроксимации зависимости размера сканирующего окна от величины стандартного отклонения шума изображений для алгоритма, основанного на морфологическом проекторе (1), линейной функции преобразования яркости (2) и квадратичной функции преобразования яркости (3)

4. Полученные в п. 2 таблицы также используются для сравнения качества работы алгоритмов. На рис.3 представлены графики зависимости величины AUC от стандартного отклонения шума σ при различных фиксированных значениях d .

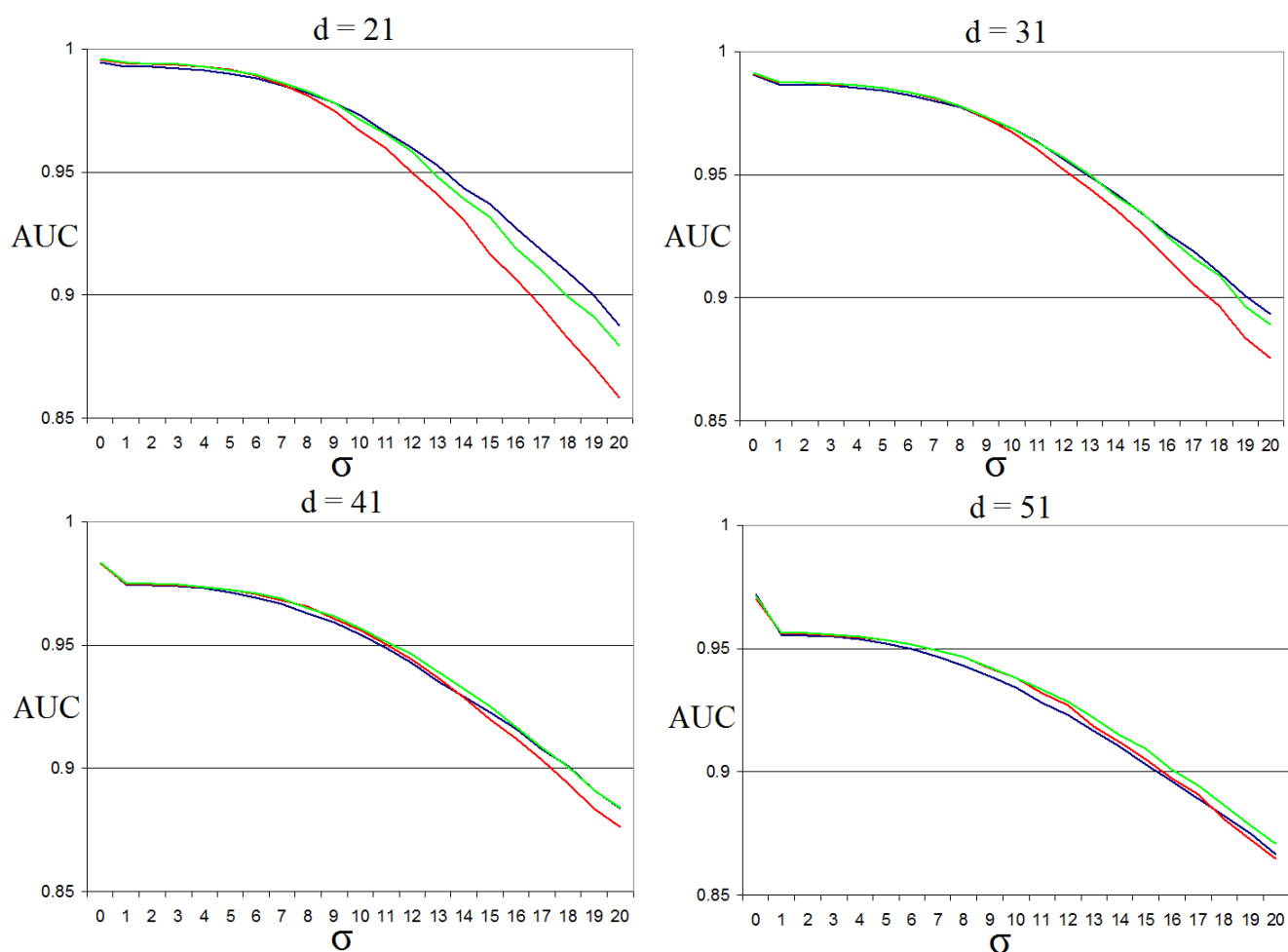


Рис. 3. Сравнение качества работы алгоритмов поиска структурных различий изображений в зависимости от величины присутствующего на изображениях шума для разных значений размера сканирующего окна. График синего цвета соответствует алгоритму, основанному на морфологическом проекторе, красного – на линейной функции преобразования яркости, зеленого – на квадратичной функции преобразования яркости

Можно сделать вывод, что алгоритмы, основанные на морфологическом проекторе и квадратичной функции преобразования яркости, дают близкие по качеству результаты, а алгоритм, основанный на линейной функции преобразования яркости, им уступает.

На рис. 4 приведены примеры работы алгоритма с различными функциями преобразования яркости для построенных с применением описанной выше методики снимков.

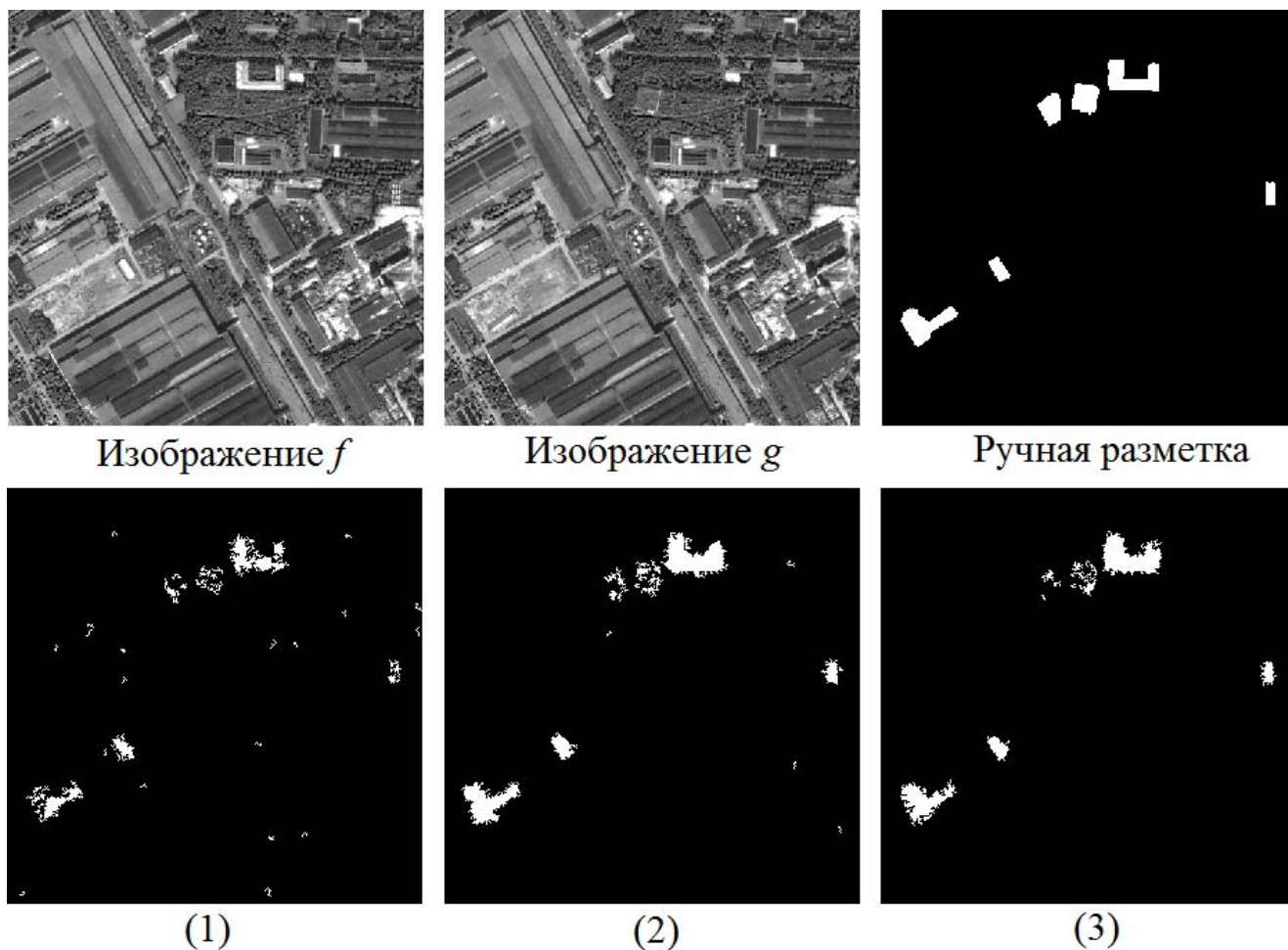


Рис. 4. Фрагменты изображений городской застройки с параметрами $d = 21$, $\sigma = 10$ и примеры работы алгоритма поиска структурных различий, основанного на морфологическом проекторе (1), линейной функции преобразования яркости (2) и квадратичной функции преобразования яркости (3)

Заключение

В работе предложена методика сравнения алгоритмов поиска структурных различий изображений. С ее помощью проведено сравнение качества работы трех алгоритмов и получены эмпирические формулы для параметра размера сканирующего окна. В дальнейшем предполагается провести подобное сравнение для алгоритмов, содержащих большее число параметров, и этим завершить общий эксперимент.

Работа выполнена в рамках программ фундаментальных исследований Президиума РАН при финансовой поддержке УрО РАН "Динамические системы и теория управления" (проект 12-П-1-1022) и "Информационные, управляющие и интеллектуальные технологии и системы" (проект 12-П-1-1023).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. КОРНИЛОВ Ф.А., ПЕРЕВАЛОВ Д.С. Задача обнаружения структурных различий изображений. – Алгоритмы и программные средства параллельных вычислений: Сб. науч. трудов/ УрО РАН. – Екатеринбург, 2011, вып. 11, с. 37 – 56.
2. ПЫТЬЕВ Ю.П. Морфологический анализ изображений/ДАН СССР, 1983, т. 269, № 5, с. 1061 – 1064.
3. ПЫТЬЕВ Ю.П., ЧУЛИЧКОВ А.И. Методы морфологического анализа изображений. – М.: Физматлит, 2010.
4. КОРНИЛОВ Ф.А. Исследование алгоритма поиска структурных различий изображений: Труды Института математики и механики УрО РАН / ИММ УрО РАН. – Екатеринбург, 2013, т. 19, № 1, с. 144 – 159.