

# Универсальный метод извлечения скрытых изображений из полиграфических документов

Вл. Сергеев, В. Федосеев  
Институт систем обработки изображений РАН,  
Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королёва  
(национальный исследовательский университет),  
Самара, Россия  
vsereg@geosamara.ru, vicanfed@gmail.com

## Аннотация

В данной работе предложен метод извлечения из изображений полиграфических документов скрытых изображений (цифровых водяных знаков), встроенных в регулярные (двумерные квазипериодические) текстуры. Он заключается в спектральном анализе входного изображения, синтезе по результатам этого анализа банка фильтров Габора, многоканальной фильтрации изображения для формирования полей текстурных признаков, а также отборе, группировке и сегментации полей признаков. Приведены примеры моделирования работы предложенного метода на реальных и синтезированных образцах, подтверждающие его работоспособность и потенциальную эффективность.

**Ключевые слова:** полиграфический документ, регулярная текстура, текстурный анализ, цифровой водяной знак, фильтр Габора, сегментация.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Для защиты важных полиграфических документов (паспортов, виз, дипломов, билетов и т.д.) от подделок и/или несанкционированного копирования используются различные способы, применяемые на стадии их дизайна. Одним из наиболее распространенных способов является использование текстурных цифровых водяных знаков (ТВЗ), т.е. специальной защитной информации – графических маркеров, меток, изображений, «скрытых» в вариациях каких-либо параметров регулярной (двумерной квазипериодической) текстуры, покрывающей документ или его отдельные части.

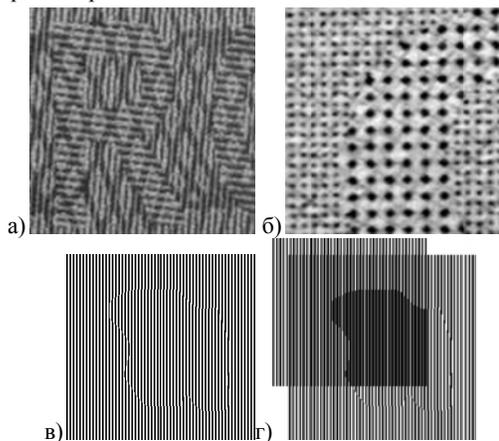
Указанный тип текстур представляет собой множество примитивов (текстурных элементов), повторяющихся по полю документа в некотором регулярном или близком к регулярному порядке [6]. ТВЗ может быть встроен посредством изменения шага (периода) примитива, его формы, размера, пространственной ориентации или смещения относительно точной периодичности повторения (фазы). Локальная средняя яркость текстурированной области документа при этом не меняется, чем обеспечивается визуальная неразличимость водяного знака. В данной работе рассматривались следующие виды ТВЗ:

- 1) вариация направления линий;
- 2) вариация масштаба;
- 3) вариация фазы;
- 4) вариация размера точек;
- 5) вариация толщины линий;
- 6) вариация нескольких параметров.

Примеры водяных знаков первых двух типов показаны на рис. 1, а и б. Особенностью третьего типа является возможность его визуального выявления при помощи согласованной с ним оптической решетки (рис. 1 в и г). Более подробно все

упомянутые типы ТВЗ описаны в работах [9, 12]. Большинство из них предназначены для встраивания бинарных изображений, поэтому в данной работе будет рассматриваться именно этот случай.

Важной практической задачей является извлечение скрытых изображений, встроенных одним из рассмотренных методов, в условиях отсутствия достаточной априорной информации о конкретном способе их встраивания в текстурированный документ. Усложняется она тем, что в одной и той же области может быть встроено несколько изображений. Именно эта задача рассматривается нами.



**Рис. 1.** Увеличенные фрагменты изображений с ТВЗ, встроенных за счёт вариации направления линий (а) масштаба (б) и фазы (в). Извлечение «фазового» ТВЗ с помощью решётки – линзового раstra (г).

## 2. ВЫБОР ПРИЗНАКОВ

Ввиду того, что в рассматриваемой группе методов встраиваемое изображение является бинарным, задача извлечения ТВЗ фактически – задача сегментации изображения на два класса по текстурным признакам. Если встроенных изображений несколько, то столько же будет и способов сегментации.

В литературе описано множество различных текстурных признаков, используемых в различных задачах текстурного анализа. К их числу среди многих других можно отнести признаки Харалика на основе матрицы вхождений, энергетические признаки Лоуса, локальные бинарные шаблоны (LBP), признаки на основе пирамиды Гаусса и пирамиды Лапласа, а также признаки на основе банков вейвлет-фильтров и габоровских фильтров [8]. Ряд известных работ также посвящён исследованиям разделяющих свойств различных текстурных признаков [2, 5, 7]. Разумеется, в каждой из них исследовались только несколько текстурных признаков и на

ограниченном классе изображений, однако в целом в большинстве случаев наилучшие результаты достигались при помощи признаков Харалика, Лоуса и Габора, причём последние наилучшим образом проявляли себя именно при анализе регулярных текстур.

С другой стороны, структурно-полиграфическое изображение, содержащее встроенный ТВЗ, состоит из двух областей, каждая из которых заполнена периодической или близкой к периодической текстурой, имеющей постоянные параметры (период, направление, форму шаблона). При этом один или несколько из этих параметров различны у двух областей. Таким образом, разумным способом выявления областей на изображении, заполненных каждой из текстур, является узкополосная фильтрация изображения, а подходящим фильтром – фильтр Габора, который помимо оптимальной локализации в пространственной и частотной областях обладает также и рядом других полезных свойств.

Импульсная характеристика фильтра Габора – произведение комплексной экспоненты на функцию Гаусса [4]:

$$g(n_1, n_2) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2} e^{-\frac{(n_1')^2}{2\sigma_1^2} - \frac{(n_2')^2}{2\sigma_2^2}} e^{2\pi i(n_1\Omega_1 + n_2\Omega_2)}.$$

Параметрами её являются угол  $\theta$  поворота ядра функции Гаусса  $((n_1')_\theta, (n_2')_\theta)$  – пространственные координаты  $(n_1, n_2)$  после поворота на угол  $\theta$ , частота комплексной синусоиды  $(\Omega_1, \Omega_2)$  и пространственные масштабы  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ . Ввиду особенностей формирования анализируемых полиграфических документов для решения рассматриваемой задачи допустимо использовать параметры  $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$  и  $\theta = 0$ . Результатом обработки изображения  $x(n_1, n_2)$  фильтром Габора  $g(n_1, n_2)$  является комплексное поле.

В большинстве алгоритмов текстурного анализа, использующих фильтры Габора, рассматриваются только амплитудные составляющие откликов [4, 10], однако в предлагаемом методе принято решение использовать также и фазовые составляющие, особенно информативные при извлечении ТВЗ типа «Вариация фазы». Для её использования необходимо осуществить демодуляцию фазового поля с

последующей постобработкой, заключающейся в развёртке фазы. Расчёт выбранных признаков может быть быстро реализован при помощи алгоритмов БПФ или рекурсивного алгоритма [13].

### 3. ОБЩАЯ СХЕМА МЕТОДА. ФОРМИРОВАНИЕ БАНКА ФИЛЬТРОВ

Предлагаемая метод состоит из следующих последовательно выполняемых этапов:

1. Формирование банка фильтров Габора с импульсными характеристиками  $g_k(n_1, n_2)$ ,  $k = 0..N_y - 1$ .
2. Линейная фильтрация изображения  $x(n_1, n_2)$  каждым из фильтров  $g_k(n_1, n_2)$ :

$$y_k(n_1, n_2) = x(n_1, n_2) ** g_k(n_1, n_2).$$

3. Формирование  $2N_y$  вещественных полей признаков на основе полученных результатов фильтрации.
4. Отбор информативных полей признаков и разделение их на  $N_z$  групп, отражающих различные встроенные изображения.
5. Многокомпонентная сегментация на два класса по каждой из групп признаков.

На рис. 2 показана структурная схема метода. Отличия его от известных методов текстурного анализа, использующих банки фильтров Габора [4, 10], заключаются в использовании фазы отклика, наличии стадий отбора и группировки признаков, возможности множественной сегментации, а также в ином методе формирования набора фильтров.

В отличие от традиционных методов, использующих predetermined набор фильтров, в предлагаемом методе применяется адаптивная процедура построения банка фильтров, заключающаяся в поиске периодически повторяющихся пиков на спектре изображения, обусловленных наличием несинусоидальных периодических структур. Частоты фильтров Габора формируемого набора определяются координатами найденных пиков. Подробнее данный метод описан в работе [3].

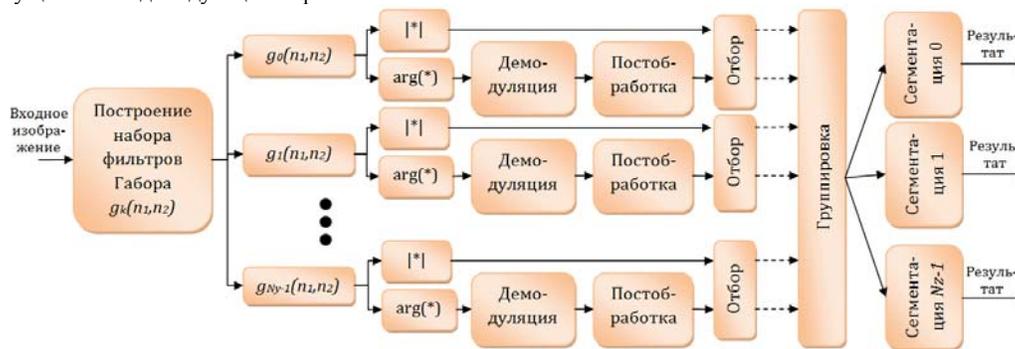


Рис. 2: Общая схема метода извлечения текстурного водяного знака

### 4. ОТБОР, ГРУППИРОВКА И СЕГМЕНТАЦИЯ ПОЛЕЙ ПРИЗНАКОВ

В результате фильтрации формируются  $2N_y$  признаков, причём число  $N_y$  не является predetermined, а получено на этапе формирования банка фильтров. В дальнейшем необходимо отбросить неинформативные поля признаков, а оставшиеся разделить на группы, соответствующие разным скрытым изображениям. Обе задачи могут быть легко решены пользователем в интерактивном режиме, однако зачастую при

работе подобной системы желательна полная автоматизация всех процессов.

Информативные амплитудные отклики должны содержать высокие значения в областях текстуры, согласующихся с частотой фильтра Габора, и низкие значения – в остальных областях. Поэтому для проверки их информативности может быть использована сегментация на два класса (например, при помощи EM-алгоритма [1]) с последующим расчётом их характеристик (среднее, выборочная дисперсия, количество элементов) и проверкой ряда ограничений. Так, поле признака

отбрасывается, если максимум амплитуды по всему полю ниже определённого порога, если невелика разница между средними двух классов, если количество элементов одного из них слишком мало и т.д.

Критерием исключения фазовых полей является высокая плотность линий разрыва (линий одной фазы), а также их незамкнутость. В свою очередь, их малое количество и замкнутость свидетельствуют о точности определения частоты текстуры, а значит, об информативности признака. Примеры информативных и неинформативных амплитудных и фазовых признаков показаны на рис. 3 – 4.

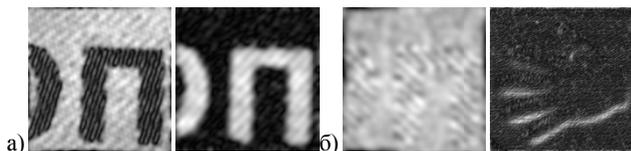


Рис. 3. Примеры информативных (а) и неинформативных (б) амплитудных откликов

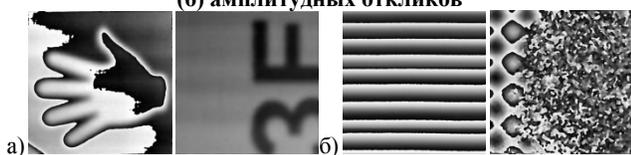


Рис. 4. Примеры информативных (а) и неинформативных (б) фазовых откликов



Рис. 5. Примеры информативных признаков, относящихся к одной группе

Как отмечалось выше, группировка осуществляется для разделения признаков, выявляющих разные скрытые изображения. Отнесение в одну группу нескольких полей признаков, дающих сходные результаты сегментации, может позволить улучшить итоговое качество сегментации по сравнению с однокомпонентной сегментацией. В то же время, наличие информативных признаков, чьи результаты сегментации разительно отличаются, свидетельствует о наличии двух скрытых ТВЗ и необходимости отнесения этих признаков в две разные группы. Таким образом, группировка признаков осуществляется путём сравнения результатов сегментации по каждому из отобранных полей признаков. На рис. 5 показаны примеры двух полей признаков, отнесённых к одной группе.

Отметим также, что итоговая многокомпонентная сегментация должна осуществляться тем же методом, что и однокомпонентная, использовавшаяся при отборе и группировке признаков.

## 5. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДЛОЖЕННОГО МЕТОДА

В данном разделе описаны результаты исследований, подтверждающие высокую разделяющую способность фильтров Габора при решении задачи извлечения ТВЗ и работоспособность процедуры формирования банка фильтров. При этом отбор и группировка признаков осуществлялись вручную. Анализ предложенных выше автоматических

процедур для данных этапов является предметом дальнейших исследований.

### 5.1. Исследование на реальных образцах

Предложенный метод, в первую очередь, был апробирован на девяти реальных отсканированных образцах изображений полиграфических документов, таких, как паспорт, виза, диплом, лотерейный билет, содержащих один или несколько встроенных водяных знаков. Некоторые примеры изображений и результатов извлечения ТВЗ представлены на рис. 6.



Рис. 6. Примеры реальных образцов (слева) и выделенные ТВЗ (справа)

### 5.2. Исследование на синтезированных образцах

Исследования на реальных образцах не позволяют получить количественные оценки точности извлечения скрытого изображения ввиду отсутствия оригинала. Поэтому нами было также проведено исследование работоспособности предложенного метода на синтезированных изображениях. Для этого три различных изображения размерами  $256 \times 256$  пикселей встраивались в различные текстурированные контейнеры каждым из шести рассмотренных методов.

Вслед за этим происходило искажение каждого носителя скрытого изображения при помощи модели печати-сканирования, разработанной ранее в [14] на основе анализа реальных образцов и состоящей в гауссовском размытии и добавлении белого гауссовского шума. Далее осуществлялось извлечение скрытого изображения и сравнение его со встроенным изображением. Для этого использовалось побитовое сравнение двух изображений:

где

—

Полученные результаты сравнивались с результатами аналогичного эксперимента, проведённого с использованием разработанной в 2007 г. при участии авторов системы извлечения текстурных водяных знаков, в которой для извлечения каждого типа ТВЗ использовались отдельные алгоритмы [11] (ниже для краткости будем называть её «Система-2007»). Ввиду этой особенности данная система была плохо расширяемой, а при отсутствии информации о типе ТВЗ требовалось запускать все алгоритмы извлечения. Тем не менее, данная система показала высокие характеристики качества извлечения для каждого вида ТВЗ.

В таблице отражены результаты исследования – усреднённые значения величины  $\text{TVZ}$  при отсутствии искажений, а также при наибольших допустимых выбранной моделью

искажениях, достигаемых при дисперсии шума 100 и параметре размытия  $\sigma = 2.5$ . Абсолютные значения  $\rho$ , достигаемые с использованием предлагаемого метода, в среднем выше аналогичных значений для «Системы-2007» (на 3.3% при отсутствии искажений, на 2.2% – при наибольших искажениях). При этом, как видно из приведённых данных,

предложенный метод оказался чуть более чувствителен к искажениям носителя информации. Таким образом, полученные результаты позволяют сделать вывод о работоспособности указанного метода и отдать ему предпочтение в сравнении с «Системой-2007» не только по универсальности, но и по качеству извлечения.

### Влияние искажений носителя информации на качество извлечения ТВЗ на синтезированных изображениях

Тип ТВЗ	Среднее значение $\rho(W, W^R)$					
	Разработанный метод			«Система-2007»		
	Неискажённые изображения	Наиболее искажённые изображения	Изменение	Неискажённые изображения	Наиболее искажённые изображения	Изменение
Вариация направления линий	0.995	0.992	0.003	0.987	0.973	0.014
Вариация нескольких параметров	0.946	0.961	-0.015	0.910	0.938	-0.028
Вариация толщины линий	0.955	0.900	0.055	0.949	0.958	-0.009
Вариация фазы	0.990	0.974	0.016	0.887	0.795	0.092
Вариация масштаба	0.948	0.916	0.032	0.917	0.881	0.036
Вариация размера точек	0.948	0.855	0.093	0.937	0.919	0.018
Среднее	0.964	0.933	0.031	0.931	0.911	0.021

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложен универсальный метод извлечения скрытых текстурных водяных знаков из полиграфических изображений, базирующийся на спектральном анализе и обработке изображения банком фильтров Габора. Проведены апробация метода на реальных изображениях и исследование качества извлечения информации на синтезированных образцах в сравнении с ранее разработанной системой, подтверждающие его работоспособность.

## 7. БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 12-01-00822, 12-07-00021, 12-07-31056, 13-01-12080, 13-01-97007) и гранта Президента РФ МК-3863.2013.9.

## 8. ССЫЛКИ

- [1] Dempster A.P., Laird N.M., Rubin D.P. Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm // J. of the Royal Statistical Society, Series B. – 1977. – Vol. 39, N. 1. – P. 1 - 38.
- [2] Du Buf J.M.H., Kardan M., Spann. M. Texture feature performance for image segmentation // Pattern Recognition. – Elsevier, 1990. – Vol. 23, N. 3 - 4. – P. 291 - 309.
- [3] Fedoseev V.A. Algorithm for estimating the spectral characteristics of regular textures // Proceedings of 11-th International Conference on Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies (PRIA-11-2013), September 23 - 28, 2013, Samara, Russia, Vol. 1. – P. 182 - 185.
- [4] Jain A.K., Farokhnia F. Unsupervised Texture Segmentation Using Gabor Filters // Pattern Recognition. – Elsevier, 1991. – Vol. 24, N. 12. – P. 1167 - 1186.
- [5] Koltsov P.P. Comparative Study of Texture Detection // Computational Mathematics and Mathematical Physics. – Springer, 2011. – Vol. 51, N 8. – P. 1460 - 1466.
- [6] Lin, H.-C. Regular-texture image retrieval based on texture-primitive extraction / H.-C. Lin, L.-L. Wang, Sh.-N. Yang // Image and Vision Computing, 1999. – Vol. 17. – P. 51 - 63.
- [7] Ojala T., Pietikäinen M., Harwood D. A comparative study of texture measures with classification based on feature distributions // Pattern Recognition. – Elsevier, 1996. – Vol. 29, N 1. – P. 51 - 59.

- [8] Tuceryan M., Jain A.K. Texture Analysis // Handbook of Pattern Recognition and Computer Vision / book auth. C. H. Chen L. F. Pau, P. S. P. Wang. – World Scientific Publishing Company, 1998. – 2<sup>nd</sup> ed.
- [9] van Renesse, R.L. Hidden and Scrambled Images - a Review // SPIE Conference on Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques IV, San Jose, CA, January 23 – 25, 2002. – 2002. – P. 333 - 348.
- [10] Weldon T.P. The Design of Multiple Gabor Filters for Segmenting Multiple Textures: Dissertation / Department of Electrical Engineering; The University of North Carolina at Charlotte. – Charlotte, NC, USA, 2007.
- [11] Глумов Н.И., Митекин В.А., Сергеев А.В., Федосеев В.А. Программное обеспечение стегоанализа отсканированных полиграфических изделий // Обозрение прикладной и промышленной математики, 2008. – Т. 6, № 15. – С. 1060 - 1061.
- [12] Митекин В.А., Сергеев А.В., Федосеев В.А. Богомолов Д.М. Построение модели стеганографической системы и обобщенного алгоритма встраивания ЦВЗ в полиграфические изделия // Компьютерная оптика, 2007. – Т. 31, № 4. – С. 95 - 100.
- [13] Сергеев В.В., Мясников В.В. Алгоритм быстрой реализации фильтра Габора // Автометрия, 1999. – Т. 6. – С. 51 - 55.
- [14] Федосеев В.А., Митекин В.А. Метод извлечения водяных знаков, базирующихся на вариации размера растровой ячейки // Компьютерная оптика, 2009. – Т. 33, № 4. – С. 460 - 465.

## Обавторах

Сергеев Владислав – д.т.н., профессор, зав. кафедрой геоинформатики и информационной безопасности СГАУ и лабораторией математических методов обработки изображений ИСОИРАН.

E-mail: vsereg@geosamara.ru.

Федосеев Виктор – к.ф.-м.н., ассистент кафедры геоинформатики и информационной безопасности СГАУ и научный сотрудник лаборатории математических методов обработки изображений ИСОИРАН.

E-mail: vicanfed@gmail.com.