

МЕТОД ИЗВЛЕЧЕНИЯ ВОДЯНЫХ ЗНАКОВ ИЗ ТЕКСТУРИРОВАННЫХ ПОЛИГРАФИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ

Сергеев В.В., Федосеев В.А.

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

Аннотация

В данной работе предложен метод извлечения из изображений полиграфических документов скрытых изображений – водяных знаков, встроенных в регулярные (двумерные квазипериодические) текстуры. Он заключается в спектральном анализе входного изображения, синтезе по результатам этого анализа набора (банка) фильтров Габора, выполнении многоканальной габоровской фильтрации изображения (формировании полей текстурных признаков) и, наконец, его сегментации. Приведены примеры моделирования предложенного метода, подтверждающие его работоспособность и потенциальную эффективность.

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

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 [1]. Одним из наиболее распространённых способов является использование текстурных 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 [2]. ТВЗ может быть внесён 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 цифрового водяного знака. Приведём несколько известных примеров.

Одним из первых методов синтеза ТВЗ является метод «Вариации направления линий» («Line angle variation»), запатентованный в 1977 году [3] и подробно описанный в [4]. Согласно ему изображение заполняется двумя текстурами из параллельных линий разного направления (рис. 1а).

Другой метод, также запатентованный в 1977 г. (см. [5]), может быть по аналогии назван методом «Вариации масштаба». Он предназначен для защиты документов от несанкционированного копирования. Скрытое изображение здесь формируется двумя различными текстурами, элементы которых отличаются размером (рис. 1б). Копирование документа приводит к сглаживанию областей с меньшими элементами и, как следствие, к проявлению скрытого изображения.

Третий метод встраивания ТВЗ можно назвать методом «Вариации фазы». Его частные случаи извест-

ны под названиями «Invisible Personal Information» [6, 7] и «Isocheck/Isogram» [4]. В данном методе используется единственная линейчатая текстура, а встраивание осуществляется путём её сдвига (рис. 1в). Такой ТВЗ, как и предыдущие, визуально неразличим. Его особенностью является то, что он может быть выявлен на документе при помощи согласованной с ним оптической решётки (рис. 1г).

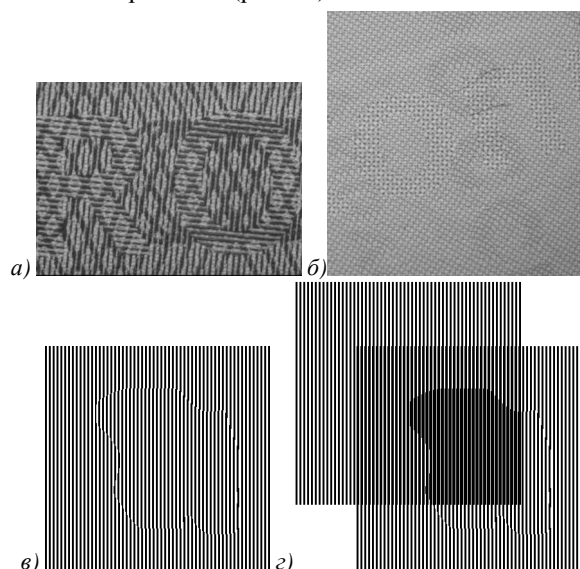


Рис. 1. Увеличенные фрагменты изображений с ТВЗ (масштаб 10:1), встроенных за счёт вариации направления линий (а), масштаба (б) и фазы (в). Извлечение «фазового» ТВЗ с помощью оптической решётки (г)

Из приведённых примеров видно, что извлечение ТВЗ, как правило, производится при известных параметрах текстуры и способах её модуляции. Однако в некоторых случаях возникает необходимость выявления водяного знака в условиях отсутствия достаточной априорной информации о конкретном способе его внесения в текстурированный документ. Именно эта ситуация рассматривается в данной статье.

1. Спектральные свойства регулярных текстур

Для обоснования предлагаемого подхода рассмотрим сначала разложение одномерных периодических

функций в ряд Фурье в комплексной форме. Известно [8], что периодическая функция $f(t)$ с периодом $2T$ может быть представлена в виде суммы ряда:

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{i \frac{\pi}{T} n t}, \quad (1)$$

где $e^{i \frac{\pi}{T} n t}$ – комплексные гармоники с кратными частотами $\omega_n = n(\pi/T)$;

$$c_n = \frac{1}{2T} \int_{-T}^T e^{-i \frac{\pi}{T} n t} f(t) dt -$$

коэффициенты разложения функции в ряд (1), последовательность которых образует дискретный спектр периодической функции. В общем случае они явля-

ются комплексными величинами, т.е. могут быть представлены через модуль и фазу $c_n = |c_n| e^{i \arg(c_n)}$.

Как правило, ряд (1) является быстро сходящимся, поэтому для анализа периодической функции (отнесения её к тому или иному классу) достаточно ограничиться рассмотрением нескольких «младших» гармоник с индексами, близкими к нулю. Модули и фазы соответствующих им спектральных коэффициентов можно интерпретировать как признаки периодической функции в решаемой задаче классификации.

Примеры простых одномерных периодических функций и их спектральных характеристик представлены на рис. 2. В первом столбце показаны сами функции, во втором и третьем – модули и фазы их спектральных коэффициентов.

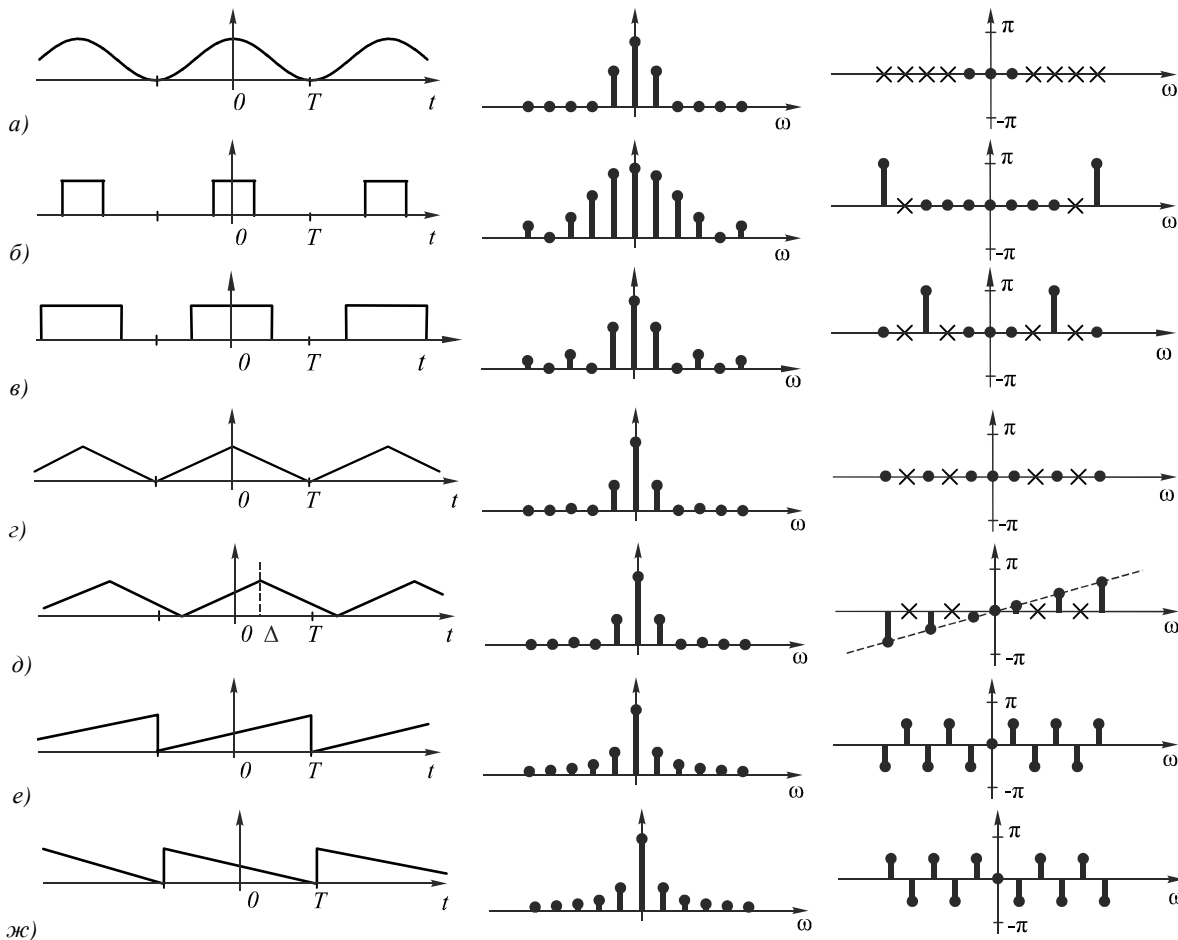


Рис. 2. Примеры простых одномерных периодических функций (слева) и их спектральных характеристик: в центре – амплитуда, справа – фаза

Колебания функции на рис. 2а являются гармоническими (описываются косинусом), её спектр содержит лишь три ненулевых коэффициента: в начале координат и на частотах (с плюсом и минусом), порождающих косинусоиду по известной формуле Эйлера. Коэффициент в начале координат описывает среднее значение функции, он не является информативным для описания формы её периодических колебаний, поэтому далее нигде не будем рассматривать его в качестве признака.

Для несинусоидальной периодической функции спектр состоит в общем случае из бесконечного числа гармоник. Так, на рис. 2б показана последовательность прямоугольных (шириной в четверть периода) импульсов. Чтобы отличить её от гармонической функции рис. 2а, в качестве признака достаточно использовать коэффициент при второй гармонике.

При расширении прямоугольных импульсов до половины периода получаем функцию, обладающую симметрией: на любых соседних полупериодах она

повторяется с переменной знака. Таким функциям соответствует дискретный спектр, в котором равны нулю все чётные гармоники (рис. 2в). Следовательно, чтобы классифицировать подобную периодическую функцию, необходимо использовать коэффициенты при гармониках более высоких нечётных порядков: третьего, пятого и т.д.

Симметричная последовательность треугольных импульсов (рис. 2з), если сравнивать её спектр с предыдущим примером, имеет спектральные коэффициенты с близкими (плохо различимыми) значениями по модулю, но с резко отличающейся по фазе (имеющей противоположный знак) третьей гармоникой. Это подчёркивает важность использования в качестве признаков не только модулей, но и фаз спектральных коэффициентов.

Фазовые признаки приобретают абсолютную необходимость, если требуется различать две периодические функции, отличающиеся сдвигом (рис. 2г и рис. 2д) или направлением несимметричных импульсов (рис. 2е и рис. 2ж). Модули спектров таких функций полностью совпадают. Спектральный анализ изображений, содержащих регулярные текстуры, также демонстрирует дискретность (на качественном уровне) их двумерных спектров.

Так, на рис. 3 приведён пример изображения, представляющего собой пересечение двух линейных периодических решёток. На спектре, вычисленном с помощью дискретного преобразования Фурье (ДПФ), отчётливо выделяются ряды гармоник для каждой из решёток, расположенных в направлениях ориентации последних. На этом и следующих подобных рисунках начало координат (нулевая компонента) спектра находится в центре изображения.

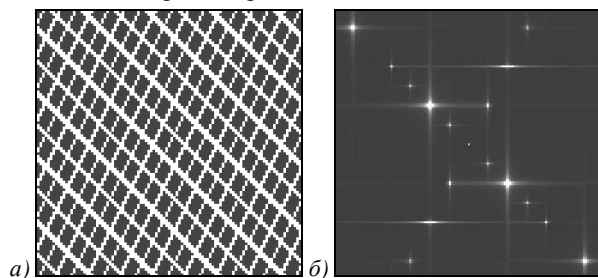


Рис. 3. Изображение, содержащее двунаправленную регулярную текстуру (а), и модуль его спектра (б)

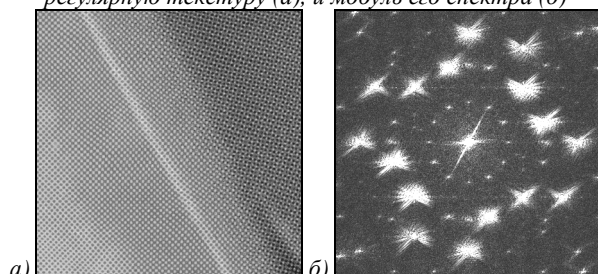


Рис. 4. Тестовое изображение с двумя текстурными ЦВЗ, представляющее собой наложение нескольких текстур (а), и модуль его спектра (б)

На рис. 4а изображён фрагмент полиграфического документа, содержащего несколько наложенных друг

на друга текстур, за счёт вариации параметров которых в документ встроено два текстурных водяных знака. Модуль спектра изображения содержит несколько пиков (дискретных гармоник), расположенных под разными углами и имеющих разные периоды (рис. 4б).

Наблюдаемая на последних рисунках некоторая «размытость» спектра вокруг каждой гармоники объясняется, во-первых, квази-, а не строго периодическим характером решёток и, во-вторых, тем, что анализируемое изображение имеет конечный размер (более того, текстура с конкретными параметрами может покрывать его только частично). Тем не менее, как показывают эксперименты, такая размытость не искажает положения максимума модуля гармоники, т.е. не оказывает влияния на оценку её пространственной частоты (этот факт будет использован далее).

2. Фильтры Габора

Эффективным средством выделения конкретных спектральных компонент оцифрованных изображений являются двумерные фильтры Габора [9, 10]. Процедура линейной габоровской фильтрации заключается в том, что по отсчётам входного двумерного вещественного изображения $f(n_1, n_2)$ вычисляется выходное комплекснозначное поле:

$$g(n_1, n_2) = h(n_1, n_2) ** f(n_1, n_2), \quad (2)$$

где n_1, n_2 – целочисленные аргументы (для простоты изложения полагаем их неограниченными), ** – символ двумерной свёртки, $h(n_1, n_2)$ – ядро свёртки, импульсная характеристика фильтра Габора:

$$h(n_1, n_2) = A \exp\left(-\frac{n_1^2 + n_2^2}{2\sigma^2}\right) \exp\left[i(\omega_1^0 n_1 + \omega_2^0 n_2)\right], \quad (3)$$

$A \approx 1/2\pi\sigma^2$ – коэффициент, σ – параметр, задающий ширину радиально симметричной гауссовской весовой функции (окна обработки) фильтра, ω_1^0, ω_2^0 – опорные частоты, параметры модуляции ядра фильтра ($|\omega_1^0|, |\omega_2^0| < \pi$). Частотная характеристика фильтра Габора (преобразование Фурье двумерной последовательности (3) [11]) также имеет вид радиально симметричной гауссоиды, локализованной вокруг опорных частот:

$$\begin{aligned} H(e^{i\omega_1}, e^{i\omega_2}) &= \sum_{n_1=-\infty}^{\infty} \sum_{n_2=-\infty}^{\infty} h(n_1, n_2) e^{i(\omega_1 n_1 + \omega_2 n_2)} = \\ &= B \cdot \exp\left\{\frac{\sigma^2}{2} \left[(\omega_1 - \omega_1^0)^2 + (\omega_2 - \omega_2^0)^2 \right]\right\}, \end{aligned} \quad (4)$$

где $B \approx 1$ – коэффициент, $|\omega_1|, |\omega_2| < \pi$.

Варьированием параметров $\omega_1^0, \omega_2^0, \sigma$ можно настраивать фильтр на выделение конкретной спектральной компоненты изображения с требуемой селективностью.

Формируемое в результате фильтрации двумерное поле (2) будет представлять собой комплексную ква-

зигармоническую функцию, которую с точки зрения дальнейшей обработки удобно представить через модуль и фазу:

$$A(n_1, n_2) = |g(n_1, n_2)|, \quad (5)$$

$$\varphi(n_1, n_2) = \text{Arg}[g(n_1, n_2)] - \omega_1^0 n_1 - \omega_2^0 n_2, \quad (6)$$

где $|\varphi(n_1, n_2)| \leq \pi$.

Вычитание компоненты $\omega_1^0 n_1 + \omega_2^0 n_2$ из фазовой составляющей (6) отклика фильтра Габора обусловлено необходимостью её демодуляции.

В практических задачах текстурной сегментации изображений, решаемых с помощью фильтров Габора, используется не один, а множество (банк) фильтров, отражающих локальные спектральные свойства изображений на определённых частотах [12, 13]. При этом, как правило, параметры $\{\omega_1^k, \omega_2^k, \sigma^k\}_{k=0}^{K-1}$ всех K фильтров, включённых в банк, являются заранее предопределёнными. На рис. 5 белым цветом помечены типичные области частот, охватываемые каждым из фильтров. В качестве признаков, описывающих свойства текстур, обычно используются модули результатов габоровской фильтрации.

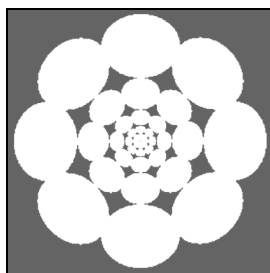


Рис. 5. Иллюстрация традиционного формирования банка фильтров Габора [12]

3. Предлагаемый метод

Предлагаемый метод извлечения из изображений водяных знаков, встроенных в квазипериодические текстуры, имеет два основных отличия от известных методов текстурной сегментации, основанных на двумерной габоровской фильтрации.

Во-первых, нами используется адаптивное построение банка фильтров для каждого анализируемого изображения. Поскольку изображение представляет собой совокупность нескольких регулярных текстур, каждой из которых соответствует собственная «пиковая решётка» гармоник на двумерном спектре, основная информация о текстурах сосредоточена в окрестностях частот, соответствующих этим пикам. Поэтому фильтры Габора должны настраиваться на узкие области вокруг наиболее ярко выраженных максимумов модулей спектра изображения (см. рис. 6). Заметим, что спектр вещественного входного изображения обладает известными свойствами симметрии, поэтому его достаточно рассматривать на полуплоскости.

Определение опорных частот ω_1^k, ω_2^k , соответствующих k -му фильтру Габора, не представляет техни-

ческой сложности, оно может быть выполнено любым известным методом оценки положения экстремумов на изображении, например, пиковым фильтром [14].

Вторым отличием предлагаемого метода от известных является использование в качестве признаков регулярных текстур не только амплитудной (5), но и фазовой (6) составляющей откликов фильтров Габора. Необходимость использования фазовых признаков в рассматриваемой задаче была обоснована выше.

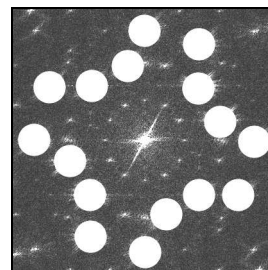


Рис. 6. Адаптивное формирование банка фильтров Габора для спектра изображения, показанного на рис. 4

Общая схема предлагаемого метода представлена на рис. 7. На схеме не показаны вспомогательные процедуры пред- и постобработки данных, которые могут быть полезны при практической реализации метода. Банк из K фильтров порождает $2K$ полей признаков, к которым, если рассматривать их в совокупности как многокомпонентное изображение, могут быть далее применены любые стандартные методы поэлементной кластеризации и сегментации, например, используемые при обработке многозональных данных дистанционного зондирования Земли [15]. Конечным результатом обработки будет являться изображение, разделённое на области с различающимися регулярными текстурами, т.е. с выделенными текстурными водяными знаками.

4. Отбор, группировка и сегментация полей признаков

Последний блок схемы, приведённой на рис. 7, требует более детального рассмотрения. Сформированное множество $2K$ полей признаков может оказаться слишком большим и избыточным для решения задачи выделения ТВЗ, тем более что разные поля имеют разную информативность по отношению к разным текстурам. При обработке необходимо отбросить заведомо неинформативные поля признаков, а оставшиеся – разделить на группы, соответствующие конкретным ТВЗ. В простейшем варианте отбор и группировка признаков могут выполняться пользователем в интерактивном режиме, т.е. посредством визуального анализа сформированных полей. Однако предпочтительной является полная автоматизация этих процессов.

Информативные амплитудные признаки должны содержать высокие значения в областях текстуры, согласующихся с опорными частотами соответствующего фильтра Габора, и низкие значения в остальных областях изображения. Поэтому для проверки информативности может быть использовано разделение пикселей поля амплитудного признака на два класса

(например, при помощи EM-алгоритма [16]) с последующей оценкой их характеристик (среднего, дисперсии, числа пикселей) по областям каждого класса и проверкой ряда ограничений. Так, поле амплитудного признака может быть отброшено в следующих

случаях: если максимум амплитуды по всему полю ниже определённого порога, если классы сильно пересекаются по функциям распределения вероятностей, если число пикселей в одном из классов слишком мало и т.д.

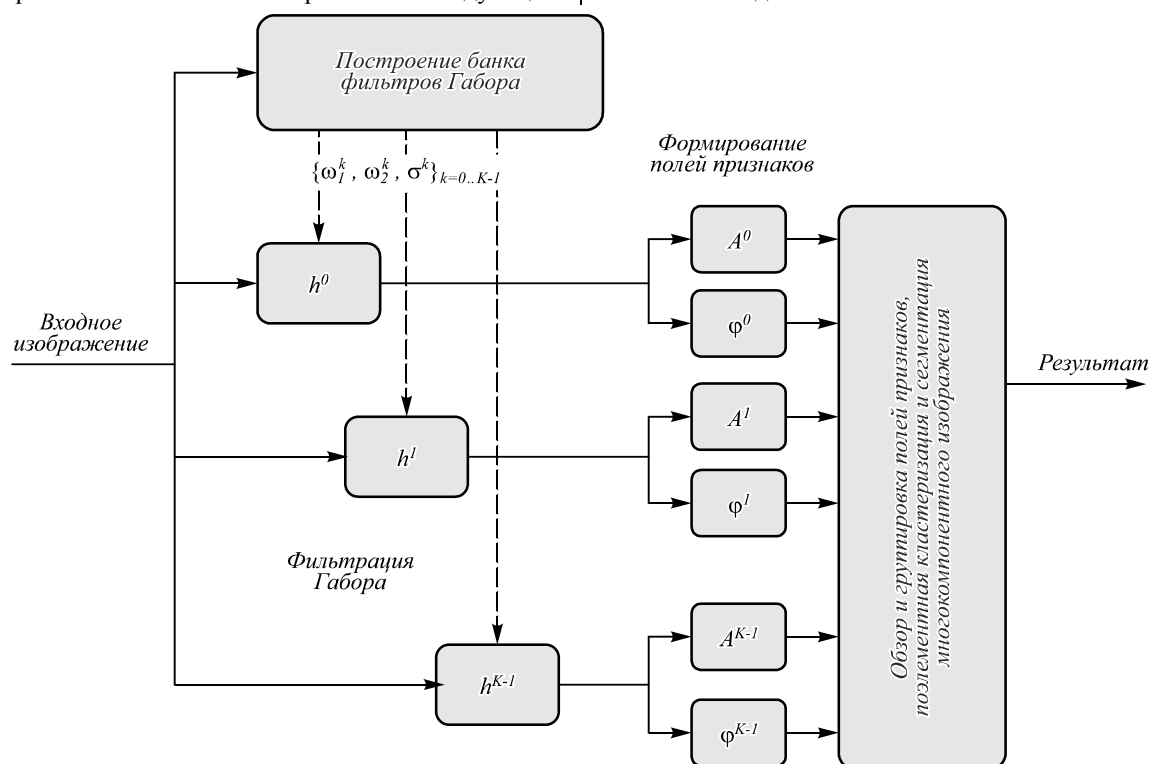


Рис. 7. Общая схема предлагаемого метода извлечения ТВЗ

Критерием исключения поля фазового признака является быстрое линейное «набегание» фазы в пределах поля, проявляющееся в высокой плотности линий скачков фазы, связанной с её периодичностью 2π , а также в незамкнутости этих линий. В свою очередь, малое число скачков и замкнутость линий свидетельствует о точности настройки фильтра Габора на одну из гармоник спектра текстуры, а значит, о потенциальной информативности признака. Примеры информативных и неинформативных полей амплитудных и фазовых признаков приведены на рис. 8 и 9.

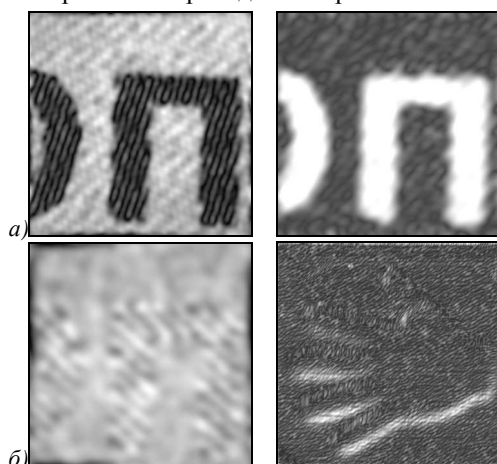


Рис. 8. Примеры информативных (а) и неинформативных (б) полей амплитудных признаков

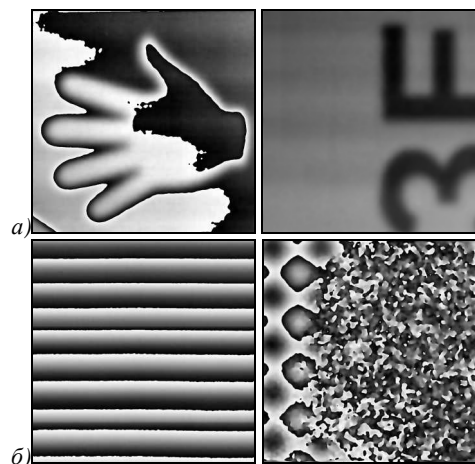


Рис. 9. Примеры информативных (а) и неинформативных (б) полей фазовых признаков

Выделенные информативные поля признаков далее могут быть разделены на группы, «отвечающие» за разные ТВЗ. Операция группировки является необходимой, если имеются основания предполагать, что на изображении одновременно присутствуют несколько ТВЗ, возможно, наложенных друг на друга. Наиболее простым и очевидным способом группировки является оценка взаимной корреляции полей признаков и объединение в одну группу наиболее сильно коррелированных полей. Группировка, с одной стороны, позволяет повысить качество итоговой кластеризации и сег-

ментации по сравнению с выделением ТВЗ по единственному полю признаков. С другой стороны, она позволяет уменьшить число компонент сегментируемого многокомпонентного изображения, составленного из полей признаков одной группы, за счёт отбрасывания некоторых избыточных признаков, т.е. снизить вычислительную сложность обработки. На рис. 10 показан пример двух полей амплитудных признаков, отнесённых к одной группе.

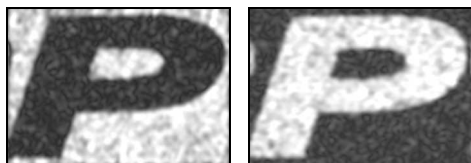


Рис. 10. Пример информативных полей признаков, относящихся к одной группе

5. Апробация метода

Ниже представлены некоторые результаты апробации предложенного метода для извлечения ТВЗ различных типов из изображений отсканированных полиграфических документов. В приведённых примерах отбор и группировка признаков осуществлялись вручную, анализ предложенных выше автоматических процедур выполнения этих операций является предметом дальнейших исследований.

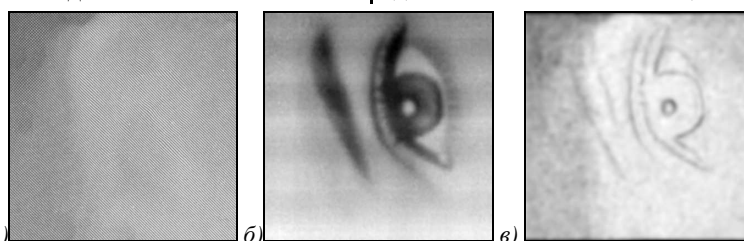


Рис. 11. Изображение, защищённое ТВЗ, встроенным методом вариации фазы (а), а также поля фазового (б) и амплитудного (в) признаков, формируемых фильтром Габора, настроенным на основную текстуру изображения

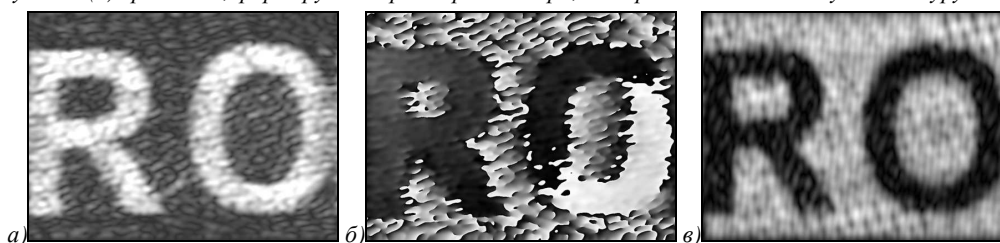


Рис. 12. Поле амплитудного (а) и фазового (б) признаков, формируемых фильтром Габора, настроенного на первую текстуру изображения с рис. 1а, поле амплитудного признака второй текстуры (в)

Для ТВЗ, встроенного методом вариации масштаба, наблюдается картина, подобная предыдущему методу встраивания, что демонстрирует рис. 13.

Наконец, на рис. 14 представлены окончательные результаты выделения двух ТВЗ, встроенных (с наложением) в изображение, ранее показанное на рис. 4а.

Заключение

В настоящей работе предложен новый компьютерный метод извлечения защитной информации, встроенной в полиграфические документы в виде текстурных водяных знаков. Показано, что ТВЗ содержатся в областях изображения, заполненных регулярными (двумерными квазипериодическими текстурами). Предложено

На рис. 11–13 приведены наиболее значимые поля признаков, которые наглядно демонстрируют, как амплитудные и фазовые признаки взаимно дополняют друг друга.

Так, для извлечения информации, встроенной в изображение методом вариации фазы (рис. 11а), наиболее информативным является поле фазового признака (рис. 11б), поскольку встраивание ТВЗ заключается лишь в сдвиге текстуры при неизменности формы её элементов. Однако поле амплитудного признака (рис. 11в) также является полезным, так как позволяет уточнить границы ТВЗ и добиться лучшего качества его извлечения.

Для ТВЗ, встроенного методом вариации направления линий в изображении (рис. 1а), основной информативностью, напротив, обладает поле амплитудного признака (рис. 12а), формируемое фильтром Габора, настроенным на первую текстуру (в области с ТВЗ). Поле фазового признака (рис. 10б), формируемое тем же фильтром, является почти постоянным в области с ТВЗ и быстро меняющимся в остальных областях. Интересно, что ещё один фильтр Габора, настроенный на вторую текстуру (в области без ТВЗ), формирует поле второго амплитудного признака, близкое к «негативу» первого, т.е., очевидно, попадающее с ним в одну группу и дополнительно повышающее точность выделения ЦВЗ.

использовать подход к решению задачи текстурной сегментации, основанный на использовании банка фильтров Габора. Новизна предлагаемого метода состоит, во-первых, в адаптивном построении банка фильтров для каждого анализируемого изображения с учётом его спектральных характеристик, во-вторых, в использовании информации о фазе регулярной текстуры. На примерах продемонстрирована применимость нового метода для извлечения текстурных водяных знаков с априори неизвестными характеристиками.

Предметом дальнейших исследований является детальная разработка способов отбора и группировки полей признаков, порождаемых многоканальной га-

боровской фильтрацией, а также поиск наилучшего метода финальной сегментации многокомпонентного изображения, составленного из полей признаков.

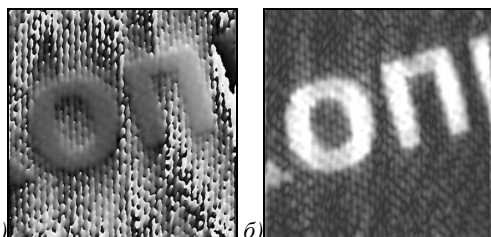


Рис. 13. Поле амплитудного (а) и фазового (б) признаков, формируемых фильтром Габора, настроенным на крупную текстуру изображения с рис. 1б

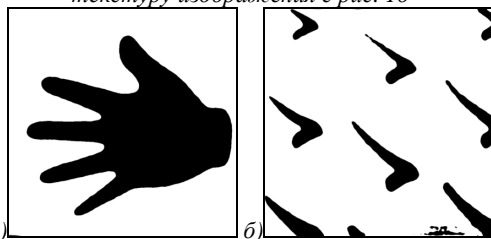


Рис. 14. Два ТВЗ, извлечённых из изображения на рис. 4а

Благодарности

Работа выполнена при поддержке:
– РФФИ (гранты 11-07-12059, 13-01-12080);
– Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 15 «Информационные, управляющие и интеллектуальные технологии и системы», проект 212;
– Минобрнауки РФ в рамках реализации мероприятий Программы повышения конкурентоспособности СГАУ среди ведущих мировых научно-образовательных центров на 2013–2020 годы;
– государственного задания вузу №2014/198, код проекта 2298.

Литература

1. Павлов, И.В. Контроль подлинности документов, ценных бумаг и денежных знаков / И.В. Павлов, А.И. Потапов. – М.: Техносфера, 2006. – 472 с.
2. 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.
3. Hutton, R.G. Documents of value including intaglio printed transitory images / R.G. Hutton, T. Merry. – U.S. Patent 4,033,059. – New York: American Banknote Company, 1977.
4. van Renesse, R.L. Hidden and Scrambled Images – a Review / R.L. van Renesse // SPIE Conference on Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques IV. – 2002. – P. 333-348.
5. Mowry, W. Protected document bearing watermark and method of making / W. Mowry, M. McElligott, V. Tkalenko, J. Baran, C. Ingalls. – U.S. Patent 4,210,346. – Burroughs Corporation, 1977.
6. Koltai, F. Anti-counterfeiting method and apparatus using digital screening / F. Koltai, L. Baros, B. Adam, F. Takacs. – U.S. Patent 6,104,812. – Juratrade Limited, 1998.
7. Koltai, F. Enhanced optical security by using information carrier digital screening / F. Koltai, B. Adam // SPIE Conference on Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques V. – 2004. – P. 160-169.
8. Кудрявцев, Л.Д. Курс математического анализа. Т. 3 / Л.Д. Кудрявцев. – 6-е изд. – М.: Юрайт, 2014. – 351 с.

9. Movellan, J. Tutorial on Gabor Filters / J. Movellan. – Technical report, MPLab Tutorials, University of California, San Diego, 2005.
10. Сергеев, В.В. Алгоритм быстрой реализации фильтра Габора / В.В. Сергеев, В.В. Мясников // Автометрия. – 1999. – № 6. – С. 51-55.
11. Сергеев, В.В. Теория цифровой обработки сигналов и изображений: учеб. / В.В. Сергеев, М.А. Чичёва. – Самара: СГАУ, 2013. – 206 с.
12. Jain, A.K. Unsupervised Texture Segmentation Using Gabor Filters / A.K. Jain, F. Farrokhnia // Pattern Recognition. – 1990. – Vol. 24(12). – P. 1167-1186.
13. Weldon, T.P. Design Of Multiple Gabor Filters For Texture Segmentation / T.P. Weldon // 1996 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. – 1996. – Vol. 4. – P. 2243-2246.
14. Сергеев, В.В., Некоторые модификации цифрового коррелятора для обнаружения объектов на изображении / В.В. Сергеев, М.А. Чичёва // Компьютерная оптика. – 1989. – № 5. – С. 78-84.
15. Шовенгердт, Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений / Р.А. Шовенгердт. – М.: Техносфера, 2010. – 560 с.
16. Dempster, A.P. Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm / A.P. Dempster, N.M. Laird, D.P. Rubin // Journal of the Royal Statistical Society, Series B. – 1977. – Vol. 39(1). – P. 1-38.

References

1. Pavlov, I.V. Control of the authenticity of documents, securities and bank notes / I.V. Pavlov, A.I. Potapov. – Moscow: “Tekhnosfera” Publisher, 2006. – 472 p. – (In Russian).
2. 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.
3. Hutton, R.G. Documents of value including intaglio printed transitory images / R.G. Hutton, T. Merry. – U.S. Patent 4,033,059. – New York: American Banknote Company, 1977.
4. van Renesse, R.L. Hidden and Scrambled Images – a Review / R.L. van Renesse // SPIE Conference on Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques IV. – 2002. – P. 333-348.
5. Mowry, W. Protected document bearing watermark and method of making / W. Mowry, M. McElligott, V. Tkalenko, J. Baran, C. Ingalls. – U.S. Patent 4,210,346. – Burroughs Corporation, 1977.
6. Koltai, F. Anti-counterfeiting method and apparatus using digital screening / F. Koltai, L. Baros, B. Adam, F. Takacs. – U.S. Patent 6,104,812. – Juratrade Limited, 1998.
7. Koltai, F. Enhanced optical security by using information carrier digital screening / F. Koltai, B. Adam // SPIE Conference on Optical Security and Counterfeit Deterrence Techniques V. – 2004. – P. 160-169.
8. Kudryavtsev, L.D. Course of mathematical analysis. Vol. 3 / L.D. Kudryavtsev. – 6th ed. – Moscow: “Urait” Publisher, 2014. – 351 p. – (In Russian).
9. Movellan, J. Tutorial on Gabor Filters / J. Movellan. – Technical report, MPLab Tutorials, University of California, San Diego, 2005.
10. Sergeev, V.V. Fast algorithm for Gabor filtering / V.V. Sergeev, V.V. Myasnikov // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 1999. – Vol. 35(6). – P. 51-55. – (In Russian).
11. Sergeev, V.V. Digital signal and image processing theory. Schoolbook. / V.V. Sergeev, M.A. Chicheva. – Samara: “SSAU” Publisher, 2013. – 206 p. – (In Russian).

12. **Jain, A.K.** Unsupervised Texture Segmentation Using Gabor Filters / A.K. Jain, F. Farrokhnia // Pattern Recognition. – 1990. – Vol. 24(12). – P. 1167-1186.
13. **Weldon, T.P.** Design Of Multiple Gabor Filters For Texture Segmentation / T.P. Weldon // 1996 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. – 1996. – Vol. 4. – P. 2243-2246.
14. **Sergeyev, V.V.** Some modifications of digital correlator for detection of objects on image / V.V. Sergeyev, M.A. Chicheva // Computer Optics. – 1989. – Vol. 5. – P. 78-84. – (In Russian).
15. **Schowengerdt, R.A.** Remote sensing: models and methods for image processing / R.A. Schowengerdt. – 3rd ed. – Academic press, 2006. – 520 p.
16. **Dempster, A.P.** Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm / A.P. Dempster, N.M. Laird, D.P. Rubin // Journal of the Royal Statistical Society, Series B. – 1977. – Vol. 39(1). – P. 1-38.

A METHOD FOR EXTRACTING WATERMARKS FROM TEXTURED PRINTED DOCUMENTS

V.V. Sergeyev, V.A. Fedoseev

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

Abstract

In this paper, we propose a method for extracting latent images (watermarks) embedded into a regular (two-dimensional quasi-periodical) texture of printed document image. The method includes the following steps: spectral analysis of the input image, synthesis of Gabor filter bank, multichannel Gabor filtering of the image that forms textural feature fields, and finally, multichannel segmentation of them. A number of examples show the operability and potential effectiveness of the method.

Key words: printed document, regular texture, watermark, texture analysis, Gabor filter, segmentation.

Сведения об авторах



Сергеев Владислав Викторович родился в 1951 году. В 1974 году окончил Куйбышевский авиационный институт (ныне Самарский государственный аэрокосмический университет (национальный исследовательский университет), СГАУ). В 1993 году защитил диссертацию на соискание степени доктора технических наук. В настоящее время работает заведующим лабораторией математических методов обработки изображений в Институте систем обработки изображений РАН. Круг научных интересов: цифровая обработка сигналов, анализ изображений, распознавание образов, геоинформатика. Имеет около 270 публикаций, в том числе 56 статей, четыре монографии (в соавторстве). Председатель Поволжского отделения Национального комитета РАН по распознаванию образов и анализу изображений. Член-корреспондент Российской экологической академии и Академии инженерных наук РФ, член SPIE (The International Society for Optical Engineering), лауреат Самарской губернской премии в области науки и техники.

E-mail: vserg@geosamara.ru.

Vladislav Victorovich Sergeyev (1951 b.), graduated (1974) from S.P. Korolyov Samara State Aerospace University (SSAU). He received his PhD in Technical sciences (1978) and DrSc degree in Physics & Maths (1993). At present he is a head of laboratory at the Image Processing Systems Institute of the Russian Academy of Sciences, and holding a part-time position as the head of the Geoinformatics and Information Security sub-department at SSAU. The area of interests includes digital signals and image processing, geoinformatics and pattern recognition. His publications contains about 270 scientific papers, including 4 monographs. He is a member of Russian Association of Pattern Recognition and Image Analysis and The International Society for Optical Engineering.



Федосеев Виктор Андреевич, 1986 года рождения, в 2009 году окончил Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (СГАУ) по специальности «Прикладная математика и информатика», кандидат физико-математических наук (2012). В настоящее время работает научным сотрудником лаборатории математических методов обработки изображений Института систем обработки изображений РАН и ассистентом кафедры геоинформатики и информационной безопасности СГАУ. Области научных интересов: обработка и анализ изображений, цифровые водяные знаки, стеганография.

E-mail: vicanfed@gmail.com.

Victor Andreevich Fedoseev (b. 1986) graduated (2009) from Samara State Aerospace University (SSAU), majoring in Applied Mathematics and Computer Science. PhD in Computer Science (2012). Currently he is a research scientist in the Image Processing Systems Institute of the Russian Academy of Sciences and assistant professor at the Geoinformatics and Information Security department at SSAU. His current research interests include image processing and image analysis, digital watermarking and steganography.

Поступила в редакцию 5 сентября 2014 г.