

## ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ФОРМИРОВАНИЯ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ПОЛИГРАФИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

In this paper is described the results of investigation of various security elements which includes various periodic structures which. I present the basic rules that govern the geometric layout and the intensity profile of moire effects between such repetitive structures, and I show how these rules can be used in the analysis of the obtained moire's as well as in the synthesis of moire's. A Fourier-based approach is presented for the investigation of multilayer superpositions of periodic structures and their moire effects. I concentrate on showing how spectral approach provides also a full explanation of the various phenomena that occur because of phase shifts in one or more of the superposed layers.

В данной статье мы рассмотрим результаты исследований свойств графических защитных элементов. В частности, свойств периодических структур, присутствующих в защищаемых документах. Исследования выполнены на основе спектрального подхода с использованием методов Фурье преобразования. Особое внимание было уделено защитным элементам с периодической структурой. Задачей исследования было выявление закономерностей в системе «изображение — Фурье образ» на примере изображений с периодической структурой, определение характерных особенностей спектров исследуемых изображений.

Результатом исследования стали данные о закономерностях спектров изображений, в которых присутствуют защитные элементы, а также специфические признаки изображений, которые были получены путем несанкционированного копирования. Полученная информация даст возможность в последующем анализировать возможные способы фальсификации защищенной продукции и выработать меры защиты от фальсификации.

Средства защиты полиграфической продукции можно разделить на средства защиты носителя информации, наносимого изображения и самой информации. Для защиты изображения и информации используются различные графические элементы. В качестве таких элементов выступают всевозможные гильошные и тангирные сетки, в основе которых лежат трудновоспроизводимые мелкие элементы, различные латентные изображения, которые проявляются лишь при определенных условиях наблюдения, специфические искажения полутоновых изображений, характерные лишь для оригинального технологического процесса. Существует также большое множество и других элементов защиты, но именно эти элементы зачастую имеют одно общее свойство — наличие периодической структуры элементов.

Наличие периодической структуры в изображении в наибольшей степени обусловлено применением цифровых технологий в допечатных процессах. Появление периодической структуры происходит при поэлементном счи-

тывании оригинала, при поэлементной записи изображения на фотоматериал или печатную форму. Структурирование изображения также происходит при растривании, выполняемом для воспроизведения полутонов по принципу автотипии. В случае ценных бумаг традиционное растривание для передачи полутонов зачастую не используется вследствие специфики продукции. Чаще всего эта специфика заключается в отсутствии полутоновых рисунков, либо же их растривание происходит с использованием особых методов растривания, примером чего может служить технология Art Screening.

Другим наиболее часто встречающимся элементом, который также можно охарактеризовать наличием регулярных структур, являются фоновые гильошные и тангирные сетки. Сетки периодичны уже по определению.

Следующие защитные элементы, имеющие периодическую структуру, — это некоторые скрытые элементы и антикопировальные растры. В основе этих элементов лежит взаимодействие их структуры со структурой считывающего устройства в процессе копирования или сканирования.

Таким образом, мы видим, что периодические структуры широко распространены в полиграфическом производстве. И хотя они появились в 1881 году, когда Георг Майзенбах впервые получил растровую структуру с помощью периодической решетки и, таким образом, осуществил передачу полутонов, периодические структуры до сих пор не изучались достаточно хорошо.

Большим шагом вперед для изучения периодических структур стало развитие методов Фурье преобразования и спектрального подхода. Алгебраический и геометрический подходы позволяют определить свойства периодических структур и результатов их взаимодействия, однако, как станет видно далее, спектральный подход наиболее удобен и дает наилучшие результаты.

Спектральный подход позволяет не только описывать сами периодические структуры, но и рассчитывать результат их взаимодействия и,

что не менее важно, генерировать их с заранее заданными характеристиками.

Обработка изображений в частотной области предоставляет широкие возможности по фильтрации и восстановлению изображений, однако, как уже упоминалось выше, наиболее интересно применение этого подхода к периодическим структурам. В этой сфере спектральный подход характеризуется следующими преимуществами

1. Он обеспечивает средства маркировки и идентификации всех возможных эффектов взаимодействия структур в  $m$ -слойном наложении. Тот факт, что каждая структура представлена в спектральной области собственным вектором, означает, что, например, каждый муар в наложении имеет свой собственный идентификатор. (Под  $m$ -слойным наложением понимается взаимодействие  $m$ -структур.)

2. Спектральная свертка содержит всю информацию о каждой периодической структуре: период и угол поворота структуры, полученные через геометрическое расположение фундаментального импульса, и форма его профиля, полученная через импульсные амплитуды фундаментального импульса и его высших гармоник. И наиболее важно то, что спектр наложения содержит одновременно импульсы всех структур, в том числе и структур, образовавшихся в результате взаимодействия.

3. Спектральный подход обеспечивает более простое объяснение для многослойных взаимодействий, когда геометрический подход слишком затруднителен в использовании.

Описание многослойных наложений возможно благодаря использованию теоремы о свертке и свойств прямого и обратного Фурье преобразований (1).

$$f(x, y) * h(x, y) \Leftrightarrow H(u, v)F(u, v). \quad (1)$$

Каждому изображению  $f$  в пространственной области соответствует спектр  $F$  в частотной области. Если рассматривать в качестве объекта не изображение как таковое, а периодическое распределение яркости, то можно увидеть, что каждой гармонике Фурье разложения в спектре соответствует определенный вектор. Угол наклона  $\theta$  вектора будет соответствовать направлению изменения распределения яркости, длина вектора  $\tau$  — частоте периодической решетки, амплитуда импульса  $A$  — максимальному значению яркости в периодическом ее распределении.

Схема расположения вектора в спектре проиллюстрирована на рис. 1. Представление решетки вектором в частотной области возможно благодаря свойству периодичности двумерного Фурье преобразования. Стоит заметить, что периодичностью обладает и обратное преобразование Фурье (2).

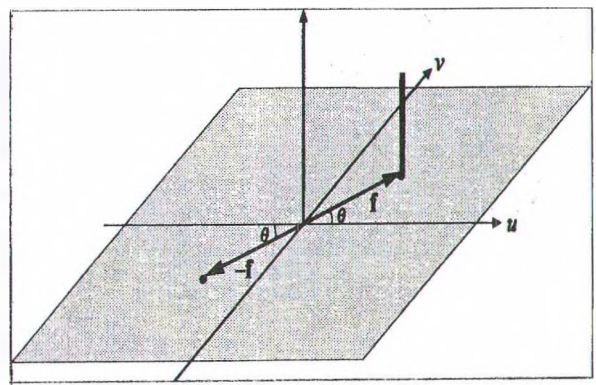


Рис. 1. Вектор периодической решетки в спектре

$$\begin{aligned} F(u, v) &= F(u + M, v + N), \\ f(x, y) &= f(x + M, y + N). \end{aligned} \quad (2)$$

Векторы, соответствующие наложениям структур, можно увидеть как при преобразовании результата наложения посредством Фурье преобразования, так и посредством геометрического сложения векторов гармоник.

Визуальная различимость результирующих структур зависит от расположения конца соответствующего вектора относительно круга видимости. Круг видимости — это диапазон пространственных частот, которые различаются человеческим глазом.

Фурье преобразование применимо как для символьных выражений, так и для дискретных массивов данных. Во втором случае это будет дискретное Фурье преобразование (DFT). По той причине, что мы работаем с цифровыми изображениями, будем применять дискретное Фурье преобразование, и в частности быстрое Фурье преобразование (FFT).

Для анализа изображений и моделирования периодических структур использовался программный пакет MATLAB. Работа проводилась по двум направлениям: исследование спектров имеющихся периодических структур и формирование структур на основе расчетной информации о спектре создаваемой структуры. В качестве модели распределения яркости использовалась двумерная синусоида (3), которая формировалась путем создания в частотной области ее дискретного преобразования Фурье (DFT) (4).

$$r(x, y) = A \sin \left[ \begin{aligned} &2fu_0(x + B_x)/M + \\ &+ 2fv_0(y + B_y)/N \end{aligned} \right], \quad (3)$$

$$\begin{aligned} R(u, v) &= j \frac{A}{2} [(e^{j2fu_0 B_x} \delta(u + u_0, v + v_0) - \\ &- (e^{j2fv_0 B_y} \delta(u + u_0, v + v_0))]. \end{aligned} \quad (4)$$

Первым этапом исследования было создание модельных объектов с синусоидальным распределением яркости методом матричного

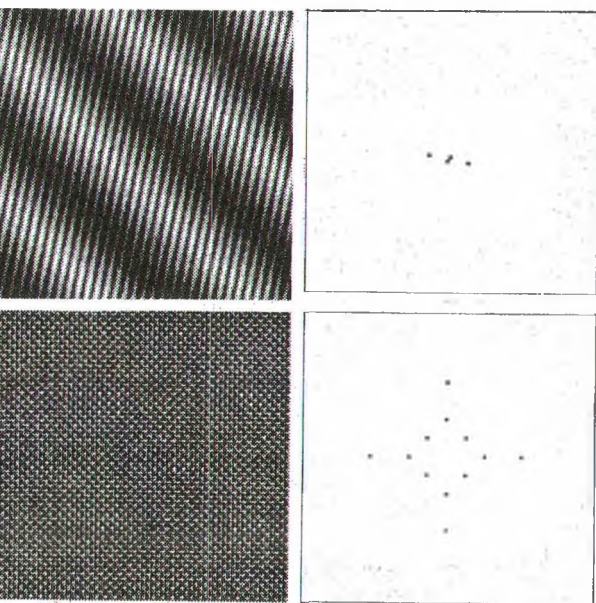


Рис. 2. Модельные периодические структуры с синусоидальным распределением яркости и их спектры в частотной области. В верхней части модельные объекты с двумя парами импульсов, в нижней части с шестью (по техническим причинам изображения спектров инвертированы)

индексирования. Далее проводилось их Фурье преобразование и анализ спектра, получавшееся после вычисления абсолютного значения комплексного массива. Таким образом, были получены первоначальные данные о визуальном виде спектра и расположении векторов.

Следующим этапом явилось создание алгоритма формирования дискретного Фурье образа периодической структуры. Результатом стала программа, формирующая матричный массив в частотной области и использующая в качестве входных данных общий вид Фурье образа (4) и матрицу, содержащую информацию о координатах импульсов, соответствующих гармоникам в пространственной области.

Применение программы позволило проверить соответствие обнаруженных в спектре импульсов присутствующим на изображении периодическим структурам. На рис. 2 приведены модельные изображения и их спектры. (На рисунке размер импульсов в частотной области искусственно увеличен.)

Нижняя часть рисунка показывает преимущества спектрального подхода, потому что если верхний объект можно описать в пространственной области (5), с коэффициентами  $a_{m,n}$  и  $b_{m,n}$  (6), то вычислить произведение (7), где  $r_1$  и частотные составляющие итоговой решетки, трудно.

Задание же вектора с координатами импульсов и формирование массива Фурье образа при наличии готового алгоритма представляет тривиальную задачу.

$$r(x, y) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_{m,n} \cos 2\pi(mx/T_x + ny/T_y) + \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} b_{m,n} \sin 2\pi(mx/T_x + ny/T_y). \quad (5)$$

$$a_{m,n} = \frac{1}{T_x T_y} \int_0^{T_x} \int_0^{T_y} r(x, y) \cos 2\pi(mx/T_x + ny/T_y) dx dy \quad (6)$$

$$b_{m,n} = \frac{1}{T_x T_y} \int_0^{T_x} \int_0^{T_y} r(x, y) \sin 2\pi(mx/T_x + ny/T_y) dx dy$$

$$r(x, y) = r_1(x, y)r_2(x, y)\dots r_N(x, y). \quad (7)$$

Определение периода и, соответственно, частоты вновь образующейся структуры проводилось путем вычисления результирующего вектора (8), (9) и его абсолютного значения (10):

$$f_{uk_1, k_2, \dots, k_m} = k_1 f_1 \cos q_1 + k_2 f_2 \cos q_2 + \dots + k_m f_m \cos q_m \quad (8)$$

$$f_{vk_1, k_2, \dots, k_m} = k_1 f_1 \cos \theta_1 + k_2 f_2 \cos \theta_2 + \dots + k_m f_m \cos \theta_m \quad (9)$$

$$f = \sqrt{f_u^2 + f_v^2}. \quad (10)$$

Угол и период структуры вычисляются по формулам (11)

$$T_M = 1/f \quad \varphi_M = \arctan(f_v/f_u) \quad (11)$$

Данные настоящего исследования могут быть использованы в задачах по удалению муара и расчету муаробезопасных комбинаций растров.

Полученные данные были применены в разработке методики определения параметров муара, возникающего при сканировании изображений с периодическими структурами в зависимости от разрешения сканирующего устройства. Применительно к способам фальсификации защищенной продукции нет необходимости рассматривать весь диапазон возможных частот сканирования. Причиной тому являются максимально допустимые размеры графических элементов. Для адекватной оцифровки этих элементов злоумышленник вынужден будет использовать высокие частоты сканирования. Исходя из этих посылок, диапазона частот сканирования, предельных размеров графических элементов и частоты бинаризации выводного устройства, было проведено моделирование интерференционных явлений, возникающих при подобных операциях.

Для возможности оперирования исходными данными проведен расчет спектральных характеристик исследуемых структур. Далее были

рассчитаны спектральные характеристики объектов, образовавшихся после поэлементного считывания и вывода. В качестве устройств вывода были применены модели с параметрами, соответствующими струйному принтеру и фотонаборному автомату. В результате определены наборы параметров защитных элементов, обладающие уязвимостями в случае попытки копирования. К таким уязвимостям относится отсутствие ярко выраженного результата взаимодействия со сканирующим устройством.

В работе были исследованы и объекты, сформированные криволинейными решетками. Спектры подобных объектов не имеют столь острой выраженности, как периодические решетки первого и второго порядков, однако также дают возможность провести математический анализ и однозначно описать такие структуры. Свое применение криволинейные решетки нашли в гильюнных и тангирных сетках. На настоящий момент итогом этого направления стало вычленение спектров криволинейных решеток из спектра всего изображения и определение наиболее адекватных моделирующих функций.

Как можно увидеть в случае взаимодействия сложных структур, в спектре присутствует большое количество импульсов и важной задачей является оценка их вклада в появление но-

вых видимых структур. Для этого применялась описанная выше методика моделирования. Сгенерированные структуры и их спектры изображены на рис. 3. Исходя из определенных закономерностей, производилась оценка спектра с целью выявления предполагаемых наиболее существенных импульсов. После определения их координат при помощи созданного алгоритма производилось формирование только одной вновь возникшей при взаимодействии структуры (рис. 3, ж, з).

Применение спектрального подхода в случае взаимодействия растровых структур имеет свои особенности. При взаимодействии растров новые структуры появляются для всех отсчетов решетки, заметны лишь муары определенных порядков. Часто происходит возникновение муара при взаимодействии полиграфического растра с системой поэлементного считывания. Зная углы и периоды этих двух структур, мы можем определить вид муара, который получится на отсканированном изображении. Эта информация является исходной для проектирования частотного фильтра, удаляющего муар или иную периодическую помеху с изображения. Зачастую для устранения возникшего при сканировании муара применяют фильтрацию с использованием низкочастотных фильтров или методов, снижающих резкость изображения.

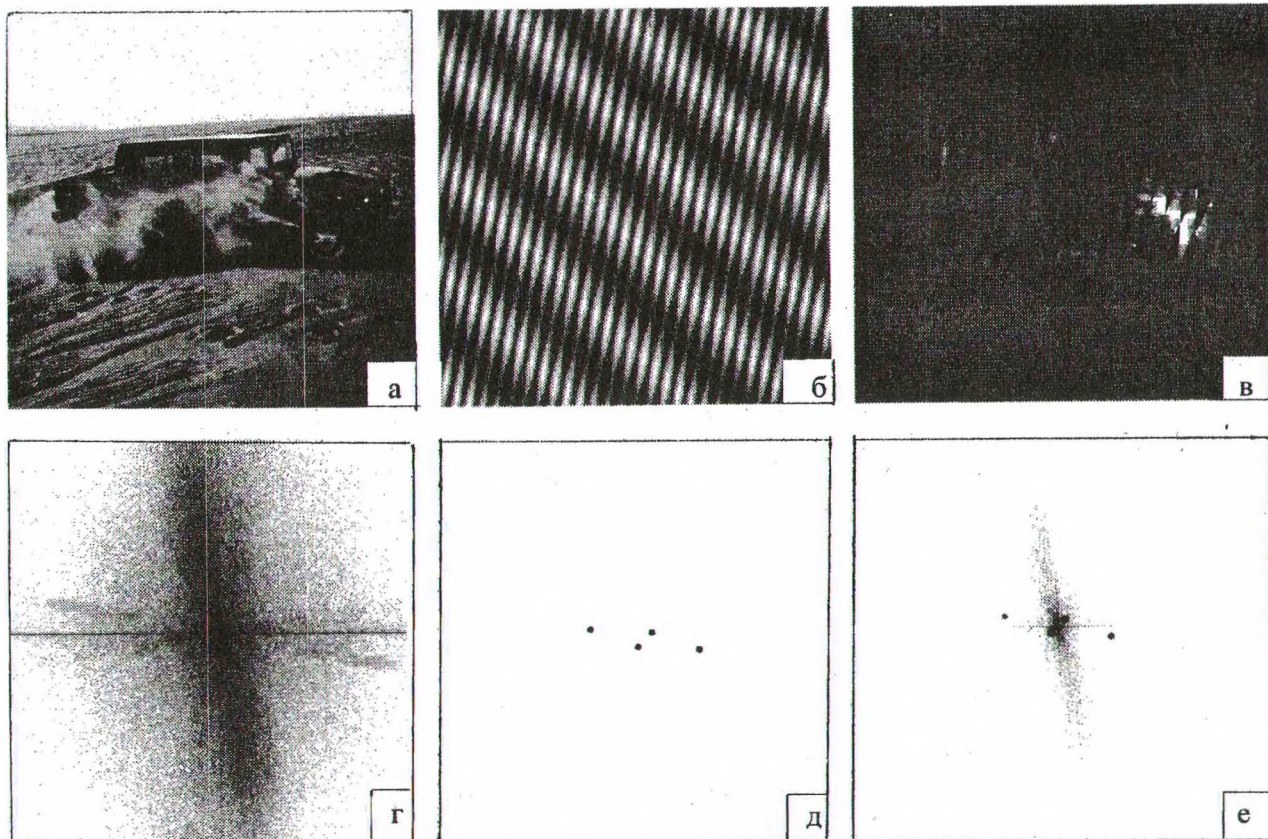


Рис. 3. Исходные периодически структуры и результат их взаимодействия: а, б, в, г — модельные периодические изображения и их спектры; д, е — результат взаимодействия структур (а) и (в) и его спектр; ж, з — выделенная новая структура и ее спектр

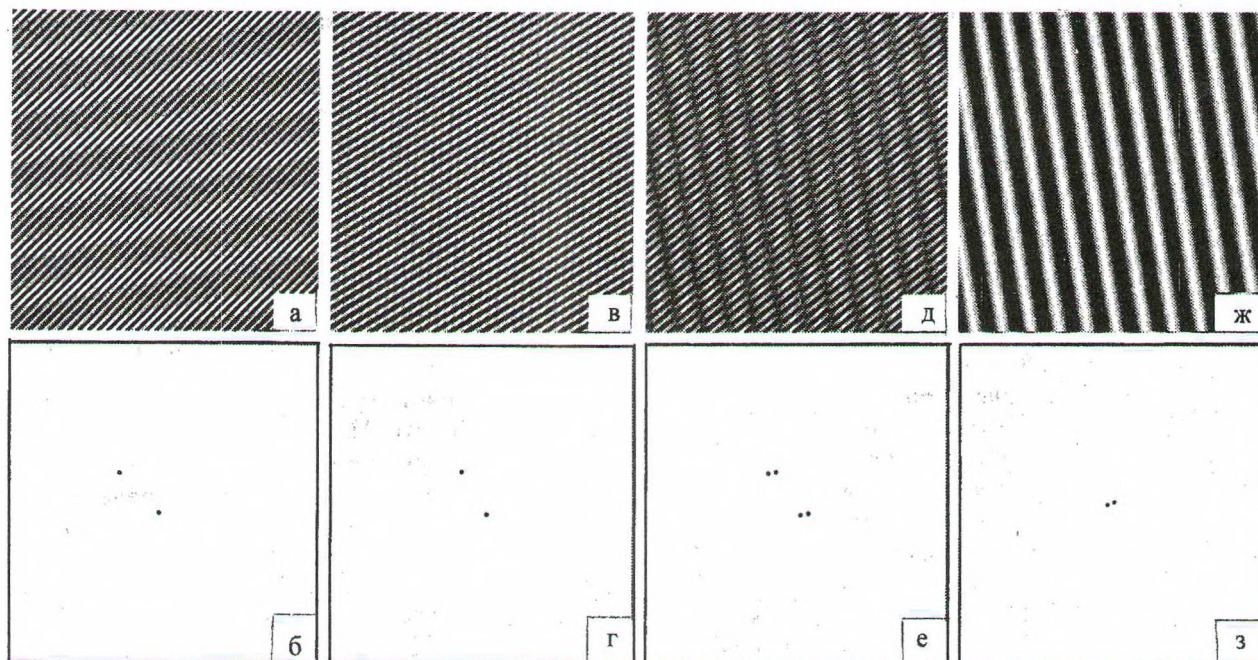


Рис. 4. Полутоновое изображение с внедренной периодической структурой: а — полутоновое изображение; б — периодическая структура; в — наложение полутонового изображения и периодической структуры; г, д, е — соответствующие спектры вышеназванных объектов (на рисунке изображения импульсов искусственно увеличены)

Подобные приемы могут практически свети на нет видимость муара, но, изменяя его интенсивность, они не изменяют его структуру, которая отчетливо проявляется в спектре изображения. В случае использования частотного фильтра с передаточной функцией, сформированной на основе вектора координат импульсов, происходит практически прямое воздействие на структуру муара. При этом основное изображение практически не претерпевает каких-либо изменений.

Следующий объект рассмотрения — это изображения, в которых присутствуют как обычные полутоновые изображения, так и периодические структуры (рис. 4). На практике к подобному классу объектов относятся изображения, в которых растрирование выполнено методами, имитирующими штриховку; полутоновые изображения, наложенные на фоновую сетку; фоновые изображения, основой которых послужили сканированные оригиналы.

Зачастую спектр полутонового изображения (рис. 4, г) при визуальном анализе не дает какой либо значимой информации, поскольку сведений о соотношении внешнего вида Фурье образа и самого изображения в пространственной области немного. Мы можем получить информацию о распределении и характеристике градаций в изображении, однако несколько сюжетно разных изображений могут иметь визуально очень похожие спектры. Проводя данное исследование, мы определили характерные черты спектров изображений, содержащих периодические структуры, и закономерности, свя-

зывающие вид решетки с расположением импульсов в частотной области. Таким образом, в случае присутствия периодических структур в изображении (рис. 4, в) именно спектр изображения (рис. 4, е) явно указывает на их наличие, даже если в пространственной области они могут быть неразличимы.

В работе рассматривались различные изображения с присутствующей в них периодической структурой и изучались их Фурье образы. В результате обнаружено, что свойственные симметричные всплески в Фурье образе изображения практически всегда достаточно четкие, и эта четкость слабо коррелирует с различимостью и контрастностью периодической структуры. Определены характерные черты для спектров для таких периодических структур, как муар многокрасочной печати, муар, возникающий при сканировании, криволинейные решетки тангирных сеток, структуры, возникающие при ошибках модуляции в системах поэлементной обработки изображений.

### Литература

1. Gonsales, R. Digital image processing using MATLAB/ R. Gonsales, R. Woods, S. Eddins. — Prentice Hall, 2004. — 458 p.
2. Kafri, O. The Physics of Moire Metrology/ O. Kafri, I. Glatt. — New York: Wiley, 1989. — 365p.
3. Amidror, I. Spectral analysis and minimization of moire patterns in colour separation/ I. Amidror, R. D. Hersh, V. Ostromokhov // J. Electronic Imaging. — 1994. — № 3. — P. (295–317).