

19. Оптоэлектронный анализ пространственного спектра Фурье для контроля подлинности защитных голограмм

Ч. Б. Кайтуков, А. В. Яновский
ФГУП «НТЦ «Атлас», Москва, Россия

Рассмотрена возможность использования аналогового преобразования Фурье для аппаратного контроля подлинности защитных голограмм.

Ключевые слова: голография, контроль подлинности, преобразование Фурье, оптическая система.

Цитирование: Кайтуков, Ч. Б. Оптоэлектронный анализ пространственного спектра Фурье для контроля подлинности защитных голограмм / Ч. Б. Кайтуков, А. В. Яновский // HOLOEXPO 2018 : XV международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. — С. 85–87.

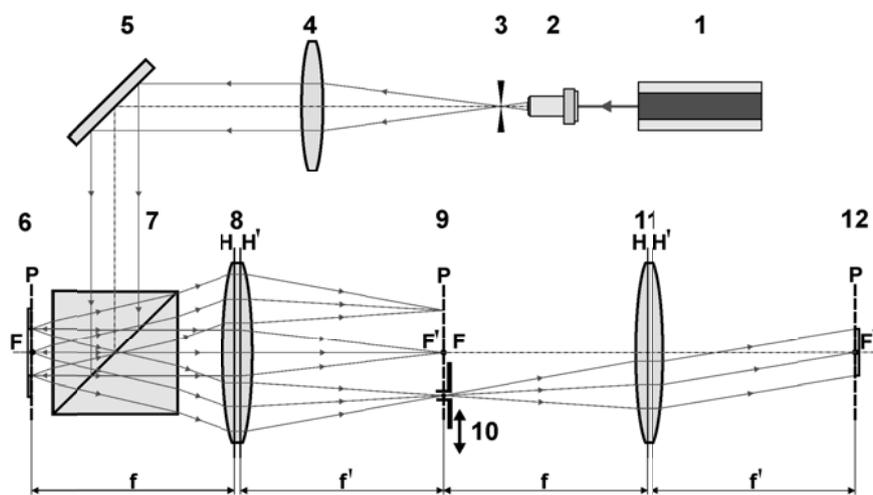
Приборный контроль защитных голограмм широко применяется для ускорения и упрощения процедуры проверки подлинности документов сотрудниками различных ведомств. Существующие приборы используют некоторые свойства и признаки голограмм для их анализа и сравнения с эталонными образцами. Приборы, анализирующие спектральные характеристики различных областей голограмм в зависимости от углов освещения и наблюдения, не обладают достаточным быстродействием и, в настоящее время, являются в большей степени средствами экспертного, но не оперативного контроля. Связанно это с тем, что для проведения достоверного анализа необходимо получить большое количество изображений голограммы с различными углами освещения и наблюдения. А в случае если голограмма используется в прозрачном ламинационном слое, который закрывает документ, возникают дополнительные трудности из-за различий в фоновых изображениях участков документа, находящихся непосредственно под голограммой.

Возможным путём преодоления указанных сложностей может служить использование аналогового преобразования Фурье. В настоящей работе представлены результаты разработки метода аппаратного контроля подлинности, в котором производится сравнение

Фурье-образов эталонного и проверяемого образцов голограмм.

Основу голограммы составляют дифракционные решетки, которые заполняют определенные области голограммы. Если осветить голограмму целиком и произвести преобразование Фурье отражённого света, то получится картина, состоящая из набора пространственных частот дифракционных решёток присутствующих в голограмме. Визуально Фурье-образ представляет собой набор пар светлых точек, расположенных симметрично относительно центрального максимума или нулевого порядка дифракции. Интенсивность сфокусированных максимумов в картине соответствует дифракционной эффективности и площади поверхности, которую занимает на голограмме соответствующая дифракционная решётка.

Для объяснения принципа работы оптической схемы и обработки полученных изображений ограничимся случаем, когда в голограмме присутствуют только дифракционные решетки симметричного профиля с диапазоном периодов от 0,8 до 1,3 мкм. Также идентификация подлинности голограмм описываемым методом не включает анализ недифракционных элементов и мелких деталей, таких как микротексты и мик-



1 — лазер; 2 — микрообъектив; 3 — микродиафрагма; 4 — коллимационная линза; 5 — зеркало; 6 — голограмма; 7 — светоделительный кубик; 8, 11 — линза; 9, 12 — экран; 10 — подвижная диафрагма

Рис. 1. Оптическая схема анализатора пространственного спектра Фурье

роизображения. Развитие данного метода позволит организовать работу с такими элементами, а в дальнейшем, защитные голограммы смогут включать в себя элементы, специально разработанные и предназначенные для данного метода контроля.

Оптическая схема (рис. 1) начинается с устройства для закрепления голограммы *б* в плоскости перпендикулярной оптической оси схемы, затем располагается делительный кубик *7*, который со стороны освещается коллимированным, монохроматическим, когерентным пучком света. Отражаясь от границы раздела кубика, свет падает перпендикулярно на голограмму. Отраженный от голограммы свет распространяется вдоль оптической оси схемы, а дифрагированный в ± 1 порядки — под углами к оптической оси через светоделительный кубик. За светоделительным кубиком расположена линза *8*, которая реализует преобразование Фурье. На фокусном расстоянии от линзы расположен экран *9*, с закреплённой на нём ирисовой диафрагмой. Экран установлен на координатном столе, что позволяет перемещать отверстие диафрагмы в плоскости Фурье-образа.

Изображение Фурье-образа освещенного участка голограммы регистрируются на цифровой фотоаппарат. Таким образом, общая картина всех сфокусированных максимумов отраженного света регистрируется в плоскости размещения первого экрана *9* для дальнейшего анализа. Программное обеспечение позволяет находить координаты сфокусированных максимумов в Фурье плоскости. Количество пар максимумов на экране, исключая нулевой порядок, соответствует количеству дифракционных решёток присутствующих на освещённом участке голограммы, которые различаются периодом и/или углом поворота в плоскости. Определив координаты максимумов можно рассчитать параметры дифракционных решёток. Расстояние между порядками дифракции, симметричными относительно максимума нулевого порядка, связано с периодом соответствующей дифракционной решётки следующим соотношением.

$$d = \frac{\lambda}{\sin\left(\arctg\frac{2f}{D}\right)}$$

где d — период дифракционной решётки, λ — длина волны, f — расстояние от линзы до экрана (фокусное расстояние линзы), D — расстояние между дифракционными максимумами $+1$ и -1 порядков. Угол между линией соединяющей максимумы ± 1 порядков и, например, горизонтальной линией, равняется углу поворота дифракционной решётки в плоскости голограммы $\pm 90^\circ$. Полученный таким образом набор параметров сравнивается с эталонным набором данных.

Примечательно, что для проверки подлинности голограммы, на этом этапе анализа можно обойтись без предварительного исследование эталона. Вполне достаточно информации о составе набора дифракцион-

ных решёток, которая может быть предоставлена производителем голограмм в текстовом виде. Из матрицы координат максимумов вычисляются периоды и углы поворота дифракционных решеток проверяемой голограммы, как было описано выше, а сравнение осуществляется между таблицей параметров переданной производителем голограммы и таблицей полученной в результате обработки данных тестируемого образца.

На следующем этапе исследования предлагается сравнивать интенсивности дифракционных максимумов в Фурье образах соответствующих дифракционных решёток эталона и проверяемого образца. Фотометрические данные в этом случае также получают обработкой цифровых изображений с экрана *9*. Интенсивности максимумов нормируются по максимумам нулевых порядков. Отношение интенсивностей света, сфокусированного в плоскости наблюдения от разных элементов дизайна голограммы, является её уникальным свойством. В данном случае для сравнения полученных значений с эталонными требуется предварительное документирование подлинного образца. Алгоритм работы программы обработки на этом этапе основан на поиске максимума функции корреляции при повороте вокруг нулевых порядков Фурье-образов тестового и эталонного образцов.

Неидеальные условия эксплуатации и наблюдения голограммы вносят в схему оптический шум. Картина «шумов» присутствующих в Фурье образе зависит от наличия загрязнений или повреждений в области голограммы, а также свой вклад вносит фоновое изображение документа в случае прозрачной основы. Серия экспериментов по анализу Фурье образов различных голограмм показывает, что основной вклад вносят особенности установок оригинации голограмм. Из рассмотренных и широко распространённых установок оригинации это: оптическая скамья, дот-матрикс либо электронно-лучевой литограф. Результат анализа картины этих шумов так же являться признаком идентификации подлинности голограммы.

Для подробного исследования одного порядка из спектра, свет от него пропускается через диафрагму *10*, при этом все остальные порядки, включая нулевой, останавливаются непрозрачным экраном. За экраном располагается линза *11*, которая делает обратное преобразование Фурье и восстанавливает на дальнем экране *12*, находящемся в фокальной плоскости этой линзы, изображение областей голограммы заполненных только одной дифракционной решёткой, соответствующей данному дифракционному максимуму. Это изображение также регистрируется на цифровой фотоаппарат для документирования и дальнейшей проверки на соответствие дизайну эталонного образца.

Закключение

Представлен метод аппаратного контроля подлинности защитных голограмм с использованием Фурье преобразования. Применение описанного метода позволит значительно сократить время аппарат-

ного контроля подлинности голограммы с более высокой достоверностью результата по сравнению со спектральными методами анализа.

Optoelectronic analysis of spatial Fourier spectrum for authentication of security holograms

C. B. Kaytukov, A. V. Yanovsky
FSUE "STC "Atlas", Moscow, Russia

Opportunity of use Fourier analog transformation consider for the automatic control of authenticity of security holograms.

Keywords: Holography, Control of authenticity, Fourier transformation, Optical system.