

УДК 778.38

Богущий М. М., инженер, Ероховец В. К., вед. научный сотрудник, Радкевич И. А., аспирант,
Ткаченко В. В., зав. лабораторией ОИПИ НАН Беларуси;
Танин Л. В., вед. научный сотрудник ИФ НАН Беларуси

КОМПЬЮТЕРНЫЙ СИНТЕЗ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГОЛОГРАММ ТОЧЕЧНЫХ РИСУНКОВ В КАЧЕСТВЕ ЛОКАЛИЗОВАННЫХ ЗАЩИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

The «image-matrix» holographic technology for latent image creating are discussed. Some practical results and softtools for digital golograms synthesis are presented.

Введение. Повышение спроса на голографическую продукцию — голографические защитные элементы (ГЗЭ) — поддерживается постоянным совершенствованием и внедрением новых элементов защиты, затрудняющих подделку ГЗЭ [1, 2].

Одно из актуальных направлений усиления защиты связано с голографической технологией «image-matrix», основой которой является техника сканирующей проекционной записи синтезированных цифровых изображений и получения оригинал-матриц ГЗЭ с помощью управляемых от компьютера оптико-механических установок. Синтезированные в растровых форматах изображения голограмм вводятся в оптическую систему от компьютера через пространственно-временной модулятор света (ПВМС), например LCD-транспарант, и после экспонирования и проявления скрытого изображения воспроизводятся на оригинал-матрице в виде фазового рельефа.

Технология позволяет применять современные алгоритмы компьютерной графики в процессе синтеза голографического растра или пост-обработки, создавать различные, в том числе и недоступные для аналоговой оптической голографии, локализованные и распределенные защитные элементы (ЗЭ), изображения которых могут быть восстановлены (визуализированы) при особых условиях освещения или с использованием специальных приспособлений и оптических приборов (идентификаторов).

1. Модель цифрового синтеза ГЗЭ. Процесс синтеза цифрового описания, записи и восстановления локализованных ЗЭ опирается на известные свойства оптических голограмм [2]. Собственно цифровой синтез ЗЭ заключается в компьютерном моделировании оптической схемы голографирования, представленной на рис. 1. В плоскость записи голограммы направляется световой пучок через кодирующую маску. Каждая точка в плоскости изображения маски испускает сферическую волну с амплитудой, пропорциональной интенсивности пиксела задающего растра. Для каждой точки го-

лографического растра в плоскости голограммы рассчитывается результат интерференции волновых фронтов опорной и объектной волны. Интенсивность в плоскости голограммы:

$$I = |E_O + E_R|^2 = |E_O|^2 + |E_R|^2 + 2 \operatorname{Re}(E_O E_R^*).$$

$|E_O|^2$ и $|E_R|^2$ — это самоинтерференции объектной и опорной волн. Они создают фон, не нужный для построения голограммы. Основную информацию о голографируемом объекте несет 3-й член уравнения — биполярная интенсивность. Для перехода к растровой технологии «image-matrix» перепишем уравнение в виде дискретной функции, используя экспоненциальную запись комплексных интенсивностей и обозначая расстояние от расчетных точек в плоскости голограммы до соответствующих точек в изображении на объектной плоскости r_j , где j проходит- ся по всем точкам задающего растра:

$$I = I_B = 2 \operatorname{Re}(E_O E_R^*) = \\ = 2 \operatorname{Re} \left(\left(\sum_{j \in \text{img}} \frac{A_j}{r_j} e^{i\Phi_j} \right) (A_R e^{i\Phi_R})^* \right).$$

Обозначая расстояние между плоскостью голограммы и плоскостью изображения h и учитывая, что линейные размеры голографического элемента малы по сравнению с этим расстоянием, получим:

$$I = I_B = 2 \frac{A_R}{h} \left(\sum_{j \in \text{img}} A_j \cos(\Phi_j - \Phi_R) \right).$$

Все постоянные члены выносятся в константу контрастирования C . Тогда для каждой точки голографического растра с координатами (x_α, y_α) окончательно получаем:

$$I_{x_\alpha, y_\alpha} = C \sum_{j \in \text{img}} A_j \cos(2\pi \cdot \Delta\Phi),$$

где $\Delta\Phi = \frac{1}{\lambda} \sqrt{(x_\alpha - x_j)^2 + (y_\alpha - y_j)^2 + h^2}$;

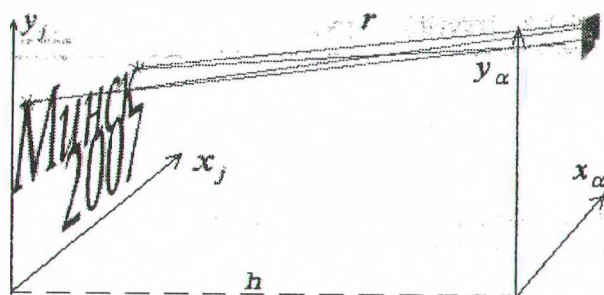


Рис. 1. Оптическая схема записи изображения локализованной голограммы

женные изображения, например тексты или геометрические примитивы как наиболее удобные для опознавания. Для таких изображений после пороговой фильтрации количество значимых ненулевых элементов раstra можно существенно уменьшить. В тестах в качестве порогового значения принималось 10% максимальной яркости, что позволило получить почти 10-кратное ускорение расчета.

Но и после исключения из списка голографируемых точек с интенсивностью ниже пороговой величина N достаточно велика. В тестовых изображениях она была в пределах 200–1000. Для таких значений M , N время расчета (Pentium IV 2.8GHz) составило около 1 ч.

2. Программная модель. Ввиду значительных временных затрат на расчет одного ЗЭ в основу программной модели комплекса было положено максимально возможное разделение задач между компьютерами. В первую очередь, как показано на рис. 2, в программе настройки параметров синтеза устанавливаются исходные значения, такие, как смещение ЗЭ или угол для направления, в котором восстанавливается его изображение, размеры скрытого изображения, длина волны восстанавливающего пучка, контрастирование и параметры пост-обработки полученного раstra.

Далее строится небольшой тестовый элемент для оценки правильности настроек, в основном контрастирования.

Контрастность голографического раstra определяет глубину рельефа и, соответственно, дифракционную эффективность ГЗЭ. Однако глубина рельефа зависит также от параметров системы записи и может быть настроена другими способами.

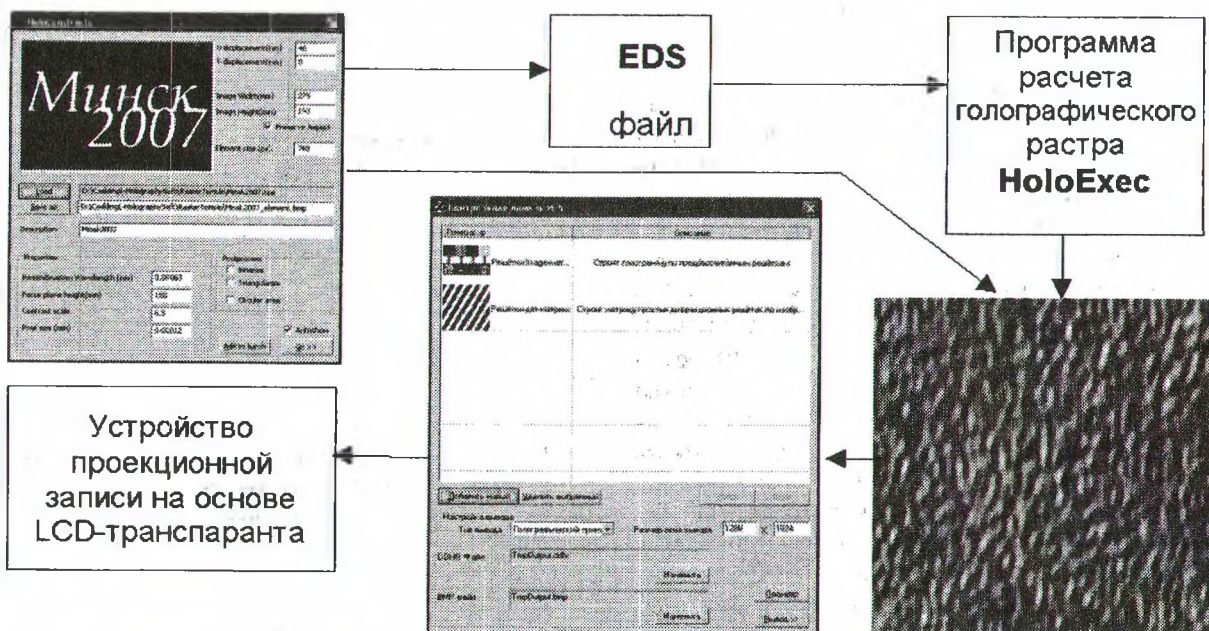


Рис. 2. Технологическая схема формирования защитных элементов «image-matrix» голограмм

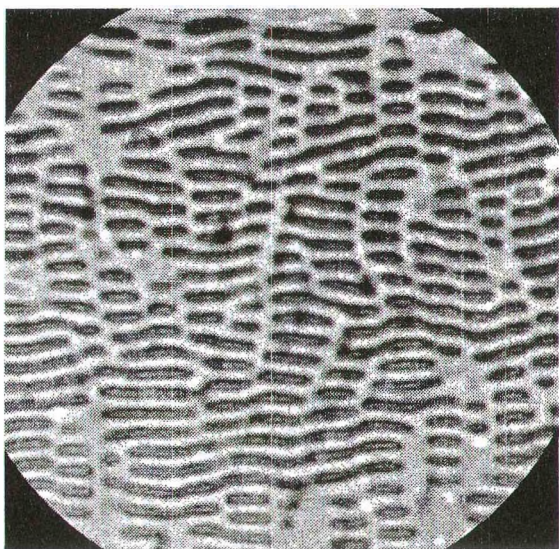


Рис. 3. Фрагмент голографического растра (масштаб оптического увеличения 2000 : 1)

Константа контрастирования выбирается такой, при которой погрешности дискретизации по интенсивности будут в наименьшей степени влиять на качество ГЗЭ, а изменения интенсивности будут занимать весь возможный для LCD-транспаранта диапазон (256 отсчетов). Автоматизация такого подбора осложняется тем, что амплитуда колебаний интенсивности может быть неравномерна по всей площади голограммы.

После окончательной настройки параметры с исходным растровым изображением объекта сохраняются в конфигурационном файле EDS (Element Description Settings). Используя этот файл, программа расчета (HoloExec) строит голографический растр с необходимым разрешением и размером и сохраняет его в отдельном файле. Программа управления записью оригинал-матрицы ГЗЭ выводит этот файл на проекционную установку с ПВМС. Благодаря такому разделению, сама работа по синтезу голографического растра, являющаяся самой затратной по времени, может быть выполнена на отдельном компьютере или компьютерном кластере. Для быстрой и удобной передачи данных нами разработан специальный формат файлов для голографических растров DDHF (Device Depended Holographic Raster) [3]. Этот формат позволяет заранее подготовить и компактно расположить в памяти (что очень важно для скоростных характеристик) данные голографического растра с учетом характеристик системы вывода. При этом в процессе вывода никаких дополнительных вычислений не требуется.

Так как все эти программы являются независимыми модулями и связаны лишь через файлы настроек и растровых данных (eds, ddhr), они могут выполняться независимо на различных компьютерах. Такое разделение позволяет разгрузить управляющий компьютер

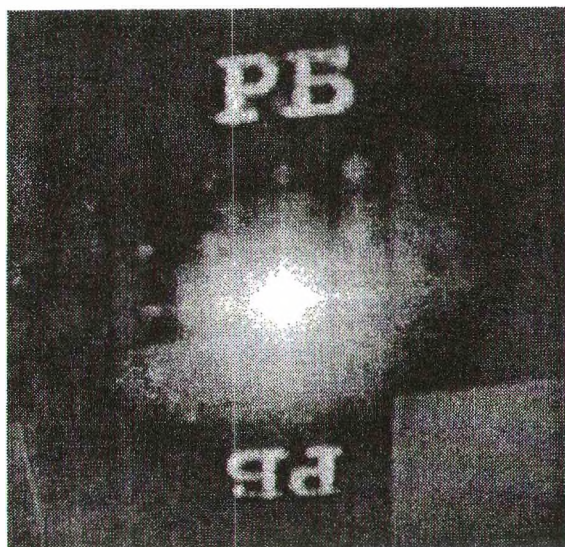


Рис. 4. Изображение ЗЭ, восстановленное при освещении голограммы лазерным пучком

установки записи. Кроме того потенциально самый времязатратный процесс — синтез голографического растра — может быть переложен на компьютерную систему специального назначения или на суперкомпьютер, что значительно ускорит весь процесс создания ГЗЭ.

Результаты экспериментальной проверки предложенной технологии продемонстрированы на рис. 3 и 4, где представлены увеличенное изображение фрагмента оригинал-матрицы ГЗЭ и фотографии симметрично восстановленных первых порядков дифракции лазерного пучка на голограмме со скрытым локализованным ЗЭ.

Заключение. Разработанные программы апробированы в составе аппаратно-программного комплекса цифрового синтеза голограмм. Получены образцы локализованных ГЗЭ, синтезированных цифровым способом на примерах растровых изображений и восстанавливаемых лазерным пучком с необходимым для визуального восприятия масштабированием.

Литература

1. Ероховец, В. К. Голографическая защита документов и ценных бумаг / В. К. Ероховец, Л. В. Танин // Издательско-полиграфический комплекс на пороге третьего тысячелетия: материалы науч.-техн. конф., Минск, 21–23 ноября 2001 г. — Минск: БГТУ, 2001. — С. 152–155.
2. Гончарский, А. В. Компьютерная оптика. Компьютерная голография / А. В. Гончарский, А. А. Гончарский. — М.: МГУ, 2005. — 355 с.
3. Ероховец, В. К. Цифровой синтез защитных голограмм с использованием возможностей графических ускорителей / В. К. Ероховец, В. В. Ткаченко, И. А. Радкевич // Голография в России и за рубежом. Наука и практика: материалы науч.-практ. конф., Москва, 26–28 сентября 2006 г. — М.: Голография-сервис, 2006. — С. 31–32.