

обналичиванием «левой» продукции и защитить потребителей от фальсифицированных или недоброкачественных товаров.

Литература: 1. Богданов В. Н. и др. Способ идентификации подлинности контролируемого объекта. Патент РФ № 2172015 от 10. 08. 2001. Приоритет от 01. 03. 2000. Опубл. 10. 08. 2001, БИ № 22. 2. Богданов В. Н. и др. Система маркировки и идентификации изделий. Патент РФ № 2183349. Приоритет от 16. 10. 2000. Опубл. 10. 06. 2002, БИ № 16. 3. Калашников А. С. и др. Региональная информационная система учета и контроля сертифицированной алкогольной продукции «Атлас-СКАТ». Программа для ЭВМ. Свидетельство об официальной регистрации № 2000610041 от 19. 01. 2000. Правообладатель ГУП НТЦ «Атлас».

УДК 535.317.1

ИТЕРАЦИОННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ФУРЬЕ – КИНОФОРМА

Александр Кузьменко, Павел Ежов

Международный центр “Институт прикладной оптики” НАН Украины

Аннотация: Предложено улучшение известного алгоритма Герчберга – Сакстона расчета Фурье – киноформа за счет дополнения его новой операцией. Операция выполняется в плоскости объекта и заключается в предсказании его в процессе итераций специальным образом. Приводятся результаты модельных экспериментов на ЭВМ по расчету киноформов и восстановлению изображений предложенным, а также известными методами. Дается простое теоретическое обоснование метода.

Summary: One of the possible the improvement for the Gerchberg-Saxton algorithm of synthesis Fourier - kinoform is proposed.

Ключевые слова: Оптическая голография, киноформ, оптическая обработка информации.

Киноформ есть чисто фазовый оптический элемент с дифракционной эффективностью, близкой к 100%, генерируемый компьютером. Со времени изобретения киноформа в 1969 г., постоянно совершенствуются методы его расчета, а также исследуются практические аспекты использования в системах пространственной фильтрации, оптической памяти, для лазерных технологий и т. д. Представляется перспективным использование киноформа также в оптических защитных технологиях.

При так называемом прямом методе расчета киноформ формируется простым образом. На функцию объекта $f(x,y)$ накладывается диффузный фазовый рассеиватель $\exp(i\varphi(x,y))$ (случайная фаза $\varphi(x,y)$ генерируется компьютером) и вычисляется Фурье – спектр

$$F(\omega_x, \omega_y) = \iint f(x,y) \exp(i\varphi(x,y)) \exp(-i(\omega_x x + \omega_y y)) dx dy = |F(\omega_x, \omega_y)| \exp(i\theta(\omega_x, \omega_y)) \quad (1)$$

В полученном спектре $|F(\omega_x, \omega_y)|$ в достаточно грубом приближении заменяется константой и на фазовой среде регистрируется лишь функция $\theta(\omega_x, \omega_y)$. Полученный таким образом фазовый элемент с пропусканием $\exp(i\theta(\omega_x, \omega_y))$ и есть киноформ. Практическая ценность такого киноформа невысока, так как приближение $|F(\omega_x, \omega_y)| \approx \text{const}$ и замена непрерывного распределения фазы $\theta(\omega_x, \omega_y)$ ее квантованными значениями при компьютерном расчете и регистрации на физической среде приводят к значительным искажениям и зашумленности восстановленного изображения.

Для получения высококачественного изображения киноформ необходимо рассчитывать путем решения так называемой обратной задачи дифракции, рассматривая процесс восстановления изображения от киноформной структуры при заданных начальных условиях [1]. Такой подход позволяет существенно уменьшить влияние приближения $|F(\omega_x, \omega_y)| \approx \text{const}$ и эффекта квантования фазы $\theta(\omega_x, \omega_y)$ на изображение, однако существенно усложняется и сам процесс расчета киноформа, требующий использования градиентных методов решения с регуляризацией.

Наибольшую популярность приобрели отличные от градиентных, итерационные методы расчета киноформа, в которых обратная задача переформулирована и ставится как задача синтеза Фурье-пары (объект – спектр) комплекснозначных функций при заданных ограничениях на их модули [2]. Центральное место в этих методах занимает итерационный “error – reduction” алгоритм Герчберга-Сакстона [3],

схематически показанный на рис. 1. Прежде чем говорить о предлагаемом улучшении данного алгоритма кратко опишем его работу:

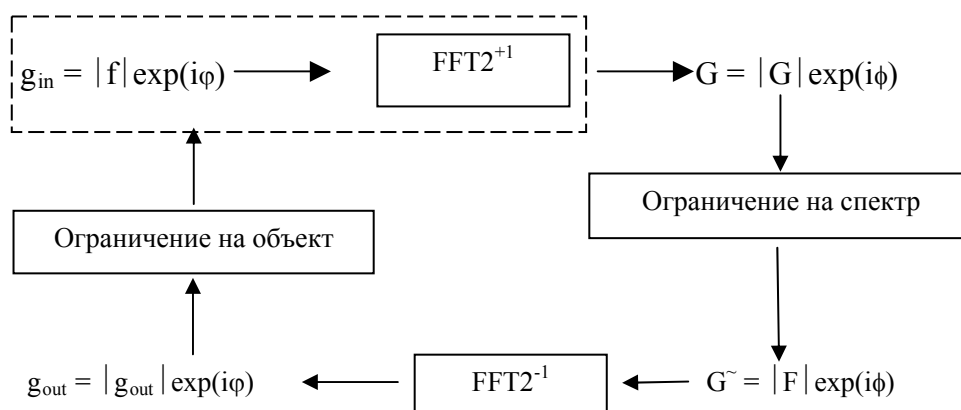


Рисунок 1 – Схема алгоритма расчета Фурье-киноформа

1. На первой итерации действительная функция $f(x,y)$ объекта умножается на функцию $\exp(i\varphi(x,y))$, где $\varphi(x,y)$ – случайная функция и результат подвергается прямому Фурье-преобразованию.

2. В полученном спектре $F(\omega_x, \omega_y)$ модуль $|F(\omega_x, \omega_y)|$ заменяется константой и результат подвергается обратному Фурье-преобразованию.

3. На второй итерации в новой объектной функции $g_{in}(x,y)$ модуль $|g_{in}(x,y)|$ заменяется на $f(x,y)$ при сохранении неизменным фазового распределения и результат снова подвергается прямому Фурье-преобразованию. Этот процесс «перекачки» комплекснозначных амплитуд из объектной плоскости в спектральную и обратно, при удовлетворении на каждой итерации заданным условиям на модули амплитуд, продолжается до тех пор, пока их фазовые распределения $\varphi(x,y)$ и $\theta(\omega_x, \omega_y)$ не будут согласованы.

Сходимость процесса контролируется в объектной либо спектральной плоскостях по среднеквадратичному критерию (дисперсии) для модуля амплитуды. Функция $\theta(\omega_x, \omega_y)$ дает искомое распределение фаз киноформа, а $\varphi(x,y)$ становится несущественной при квадратичном детектировании изображения. Простота и быстроедействие “error – reduction” алгоритма – его несомненные достоинства, однако при работе с объектами достаточно сложного вида часто не удается достичь нулевого или достаточно малого уровня дисперсии амплитуд восстановленного изображения.

Нами предложено улучшение “error – reduction” алгоритма путем изменения способа обработки информации в объектной плоскости [4]. Вводится новая операция, названная операцией предисказания объекта, состоящая в том, что на четных итерациях объектная функция умножается на некоторые коэффициенты, определяемые формулой

$$\alpha(x,y) = f(x,y) / |g_{out}(x,y)|, \quad (2)$$

где $|g_{out}(x,y)|$ – модуль функции, описывающей изображение, получаемой на нечетных итерациях. Эта физически обоснованная и простая операция позволяет существенно повысить точность определения фазы киноформа. Как показывают модельные эксперименты на ЭВМ, выполненные нами, дисперсию амплитуды восстановленного изображения удается при этом снизить от 2 до 10 и более раз, в зависимости от вида объекта. Эксперименты проводились с бинарными объектами как с регулярной так и статистической структурой, размерностью 64*64, 128*128 пикселей. На рис. 2 – 4 показаны примеры объектов, структура объектно-ориентированного фазового рассеивателя и киноформа, восстановленные изображения объектов, графики дисперсии $\sigma_{|g|}$ и размаха (наибольшего локального отклонения) Δg_{max} амплитуд в изображении для предложенного и известных методов расчета. Дисперсия и размах определялись по формулам:

$$\sigma_{|g|} = (1/A) \sum (1,m) (|g_{l,m}| - f_{l,m})^2, \Delta g_{max} = (1/A) (g_{max} - g_{min}), \quad (3)$$

где $f_{l,m}$, $|g_{l,m}|$ – отсчеты амплитуд объекта и изображения, $A = \sum |g_{l,m}|$ – сумма всех амплитуд изображения, $l, m = 1, \dots, N$, $N \times N$ – рабочая сетка в плоскости x, y .

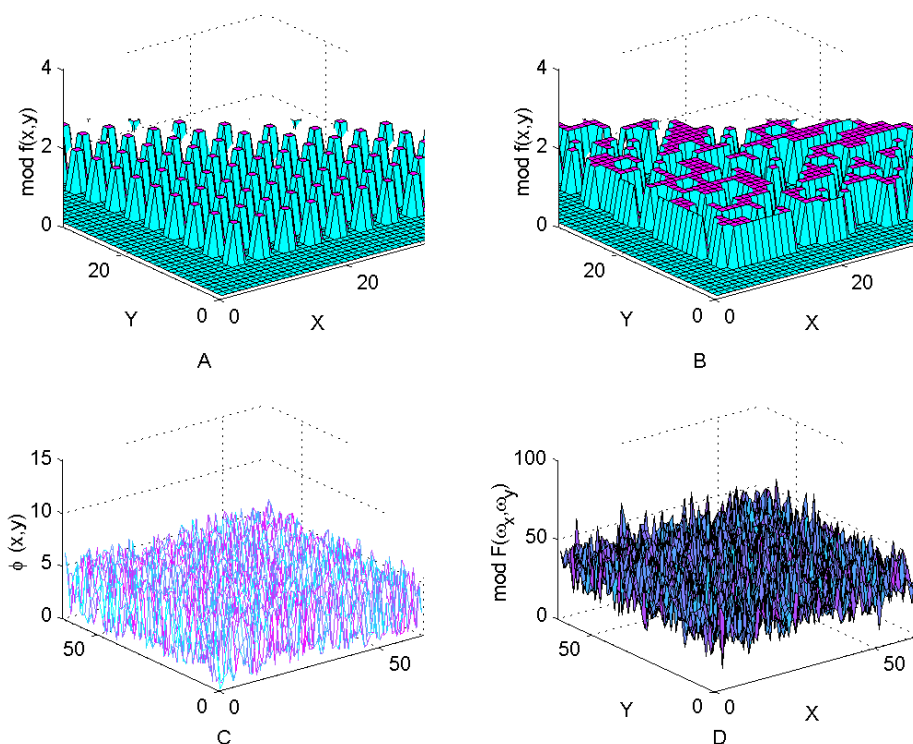


Рисунок 2 – Объекты: А – регулярная бинарная структура; В – случайная бинарная структура; С – объектно-ориентированный фазовый рассеиватель; D – оптимизированное амплитудное распределение в плоскости киноформа

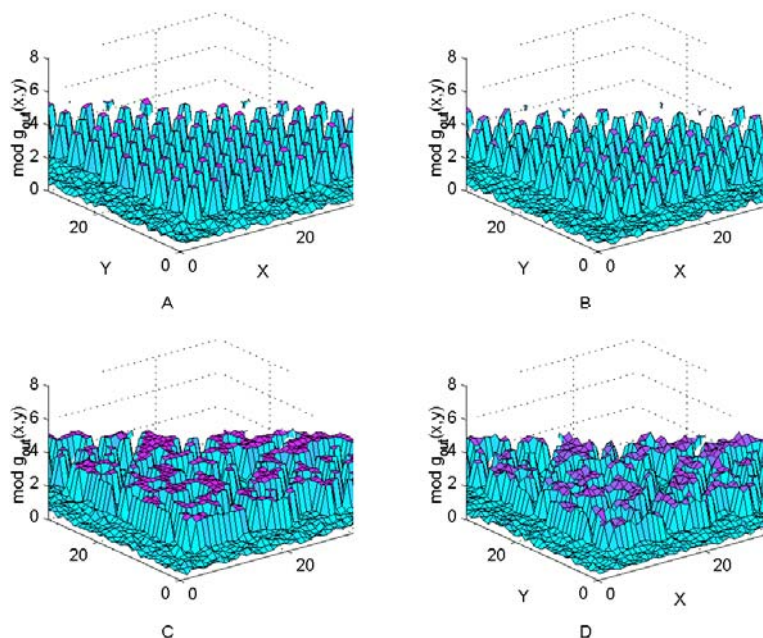


Рисунок 3 – Восстановленные изображения объектов, приведенных на рисунке 2 А, В, при синтезе киноформа А, С – предложенным методом; В, D – “error-reduction” методом.

Приведенный пример (с достаточно сложными объектами) показывает, что расчет по новой схеме позволяет существенно уменьшить $\sigma_{|g|}$ и $\Delta g_{\max}$ в изображении.

Действие процедуры предсказания можно пояснить следующим образом. Пусть $f(x,y)$ – действительная функция идеального объекта, $g_{\text{out}}^{(k)}$ – комплексная функция изображения этого объекта, восстановленного на k -ой итерации. Тогда для произвольной точки изображения

$$g_{\text{out}}^{(k)} = |g_{\text{out}}^{(k)}| \exp i\varphi^{(k)} = |f + \Delta f^{(k)}| \exp i\varphi^{(k)}, |\Delta f^{(k)}| \ll f, \quad (4)$$

где $\Delta f^{(k)}$ – отклонение модуля амплитуды изображения от идеала, $\varphi^{(k)}$ – фаза. Зависимость от координат не указывается для простоты записи. Согласно процедуре предсказания, на $(k+1)$ -ой итерации на вход алгоритма подается функция

$$g_{\text{in}}^{(k+1)} = f(f / g_{\text{out}}^{(k)}) \exp i\varphi^{(k)} = f(1 - (\Delta f^{(k)} / f) + (\Delta f^{(k)} / f)^2 - \dots) \exp i\varphi^{(k)} \quad (5)$$

Ограничиваясь 1-м порядком разложения в (5), для изменения по входу (при переходе от k -ой к $(k+1)$ -ой итерации) имеем:

$$\Delta g_{\text{in}}^{(k+1)} = g_{\text{in}}^{(k+1)} - g_{\text{out}}^{(k)} = -2 \Delta f^{(k)} \exp i\varphi^{(k)} \quad (6)$$

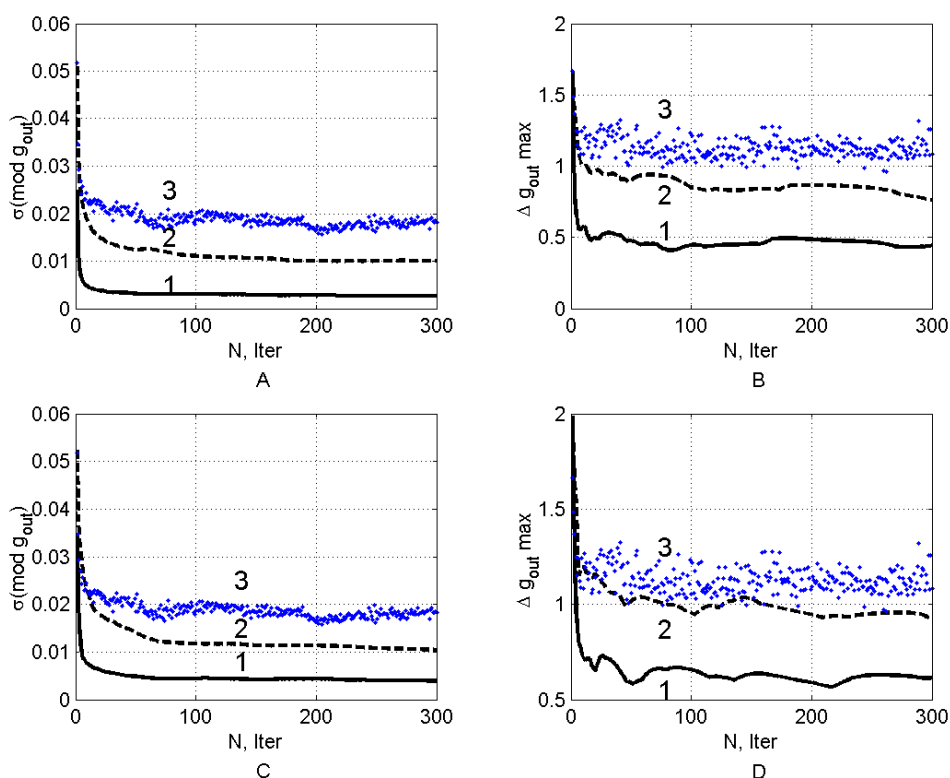


Рисунок 4 – Зависимость дисперсии и размаха амплитуды восстановленного изображения от номера итерации. А, В – для объекта изображенного на рисунке 2 А; С, D – для объекта изображенного на рисунке 2 В; 1 - предложенный метод; 2 – “error-reduction” метод; 3 – “input-output” метод [5]

Если считать, что в плоскости Фурье (киноформа) случайные фаза $\theta(\omega_x, \omega_y)$ и амплитуда $|F(\omega_x, \omega_y)|$ (см. (1)) спектра однородно распределены, соответственно, в интервалах $(0, 2\pi)$ и $(0, A_0, A_0 = \text{const})$ и статистически независимы, а вариации $|\Delta F(\omega_x, \omega_y)|$ спектра малы, то, после прогона алгоритма изменение входной функции (объекта) в данной точке плоскости преобразуется в ожидаемое (в среднем) изменение выходной функции (изображения) в такой же точке по формуле [5]:

$$E(\Delta g_{\text{out}}) \approx (1/2) E(A_0 / |F|) \Delta g_{\text{in}}, \quad (7)$$

где E означает операцию усреднения величины, стоящей в скобках. Таким образом, на $(k+1)$ -ой итерации для точки изображения получим:

$$g_{\text{out}}^{(k+1)} = g_{\text{out}}^{(k)} + E(\Delta g_{\text{out}}^{(k+1)}) \approx [f + \Delta f^{(k)} - E(A_0 / |F|) \Delta f^{(k)}] \exp i \varphi^{(k)} \quad (8)$$

Из (8) видно, что амплитуда изображения будет тем ближе к идеалу, чем ближе $E(A_0/|F|)$ к единице. После нескольких итераций с использованием диффузного рассеивателя в плоскости объекта последнее выполняется с хорошей точностью.

Литература: 1. Василенко Г. И., Тараторин А. М. Восстановление изображений. М., Радио и связь, 1986. 2. J. R. Fienup. Phase retrieval algorithms : a comparison. Appl. Opt. 1982, 21, 2758 – 2769. 3. R. W. Gerchberg, W. O. Saxton. Apractical algorithm for the determination phase from image and diffraction plane pictures. Optik, 1972, 35, 237–243. 4. Заявка на патент України (автори Кузьменко О. В., Комаров В. О., Єжов П. В.). Спосіб визначення фази за даними про амплітуду. Номер 2002031757, з пріоритетом від 04. 03. 02. 5. J. R. Fienup. Iterative method applied to image reconstruction and to computer-generated holograms. Opt. Eng. 1980, 19, 297-305.

УДК 535.317.1

ОПТИКО-ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА ЗАПИСИ ГОЛОГРАММ

Павел Ежов, Александр Кузьменко, Вячеслав Комаров, Николай Яковкин

Международный центр “Институт прикладной оптики” НАН Украины

Аннотация: Разработана опτικο-цифровая система обработки информации на базе термопластических сред, позволяющих осуществлять запись фазовых голограмм в “реальном времени” и их считывание для применения в различных областях защитных голографических технологий.

Summary: We developed the optical and digital system for information processing based on the thermoplastic recording media allowing to write the phase hologram in the “real – time” and read for application in various areas of security holographic technologies.

Ключевые слова: Оптическая голография, оптическая обработка информации, опτικο-цифровые системы записи – считывания голограмм.

I Введение

Наряду с существующими криптографическими методами защиты информации, в том числе и электронными, весомое место занимают оптические защитные технологии – системы идентификации, основанные на методах корреляционной оптики, голографические защитные элементы – радужные голограммы, дот матрикс, голограммы с кинематическими эффектами, комбинированные голограммы, совмещающие свойства различных типов голограмм и т. д.

В этой связи, системы записи голограмм с уплотнением информации, применяющиеся при создании голографической оптической памяти, являются перспективными для использования их в голографических защитных технологиях. Ключевым моментом в этих системах является уплотнение информации, т. е. уменьшение размеров голограмм. Для примера – при типичных размерах записанных голограмм $1 \div 2$ мм, для тонких голограмм при теоретическом пределе $3.78 \cdot 10^6$ бит, характерной плотностью является плотность записи 10^4 бит [1 – 3]. Возможно двоякое применение данных голограмм:

а) в качестве комбинированных голограмм и голографических меток, голографических защитных кодов – в виде пассивных защитных элементов имеющих целью увеличить степень защищенности основных элементов – удостоверений, банковских карт, бланков документов и т. д;

б) в качестве голографических носителей информации, всевозможного рода ключей, кодов, которые уже как активные элементы могут быть внедрены в те же удостоверения, устройства доступа (ключи) с различным временным интервалом действия, а так же использоваться для перенесения нужной информации к получателю, имеющему ответную считывающую часть.

Нужно сказать, что системы записи и системы считывания априори существуют для всех изложенных выше приложений, меняется только степень сложности устройств в зависимости от решаемых задач.