

ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАДИОГОЛОГРАММ СФОКУСИРОВАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МАТЕМАТИЧЕСКИМ МОДЕЛИРОВАНИЕМ

Леонтьев А. С., Артёмов Т. К.

(Россия, Ярославль)

Предлагается метод восстановления радиоголограмм сфокусированных изображений с использованием ЭВМ. Построены математические модели, описывающие процессы записи СВЧ голограмм и восстановления изображений по ним. Анализ полученных при обработке предложенным методом моделированных и экспериментально полученных радиоголограмм, изображений подтверждает работоспособность метода.

Введение. В 70-е годы XX века для получения изображений объектов был предложен метод радиоголографии сфокусированных изображений [1]. Однако лишь на современном этапе оказалось возможным применить методы математического моделирования для восстановления изображения на ЭВМ в реальном времени. Нами была создана математическая модель, описывающая радиофизические процессы, как при формировании голограммы, так и при восстановлении по ней изображения, и разработан алгоритм восстановления на ЭВМ изображения по зарегистрированной одночастотной радиоголограмме.

Математическое моделирование. Рассмотрим процесс формирования радиоголограммы. Пусть двумерный объект, размещенный в плоскости (ξ, η) на расстоянии a от фокусирующего элемента (ФЭ) радиуса R (рис. 1), облучается сигналом с длиной волны λ . Антенна, запитываемая от генератора G , создает амплитудно-фазовое распределение поля $E_r(\xi, \eta)$ в объектной плоскости.

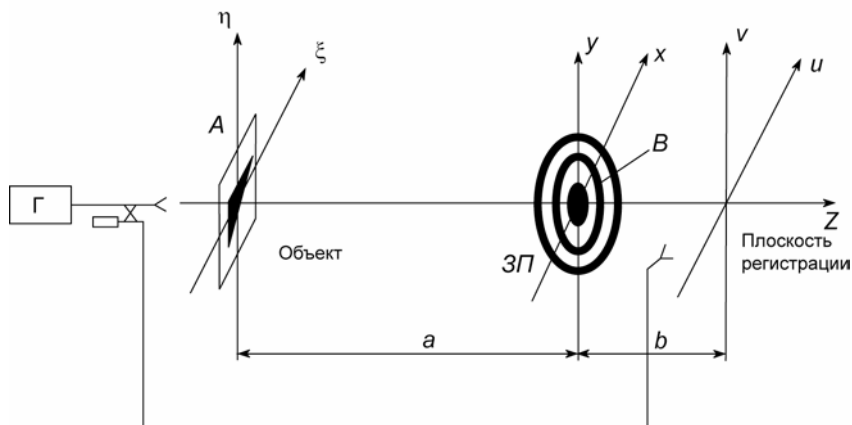


Рис. 1. Структурная схема модели

Фокусирующий элемент с фокусным расстоянием F ставится таким образом, чтобы расстояния a и b удовлетворяли следующему соотношению [2]:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}.$$

Тогда распределение поля объектной волны в плоскости регистрации (u, v) является сфокусированным изображением поля $E_r(\xi, \eta)t(\xi, \eta)$ и может быть, согласно теории передачи двумерных сигналов, представлено в виде [3]:

$$E(u, v) = \iiint_A \iiint_B E_r(\xi, \eta)t(\xi, \eta)h_1(x - \xi, y - \eta) \times \\ \times T(x, y)h_2(u - x, v - y)d\xi d\eta dx dy, \quad (1)$$

где импульсные отклики свободного пространства между плоскостями объекта $A(\xi, \eta)$ и фокусирующего элемента $B(x, y)$:

$$h_1(x, y) = \frac{1}{j\lambda\sqrt{x^2 + y^2 + a^2}} \exp(j\frac{2\pi}{\lambda}\sqrt{x^2 + y^2 + a^2}),$$

между плоскостями ФЭ $B(x, y)$ и регистрации (u, v) :

$$h_2(x, y) = \frac{1}{j\lambda\sqrt{x^2 + y^2 + b^2}} \exp(j\frac{2\pi}{\lambda}\sqrt{x^2 + y^2 + b^2}).$$

Здесь $t(\xi, \eta)$ и $T(x, y)$ — функции пропускания объекта и фокусирующего элемента соответственно. Для данной модели не принципиально, какой фокусирующий элемент используется. Из-за простоты изготовления и математического описания удобно выбрать амплитудную зонную пластинку Френеля (АЗПФ), для которой функция пропускания $T(x, y)$ равна 1 в точках пропускания и 0 — в точках отражения.

Голограмма получается в результате регистрации интерференционной картины объектной $E(u, v)$ и опорной $E_{op}(u, v)$ волн, регистрируемой в данном случае квадратичным детектором. Её функция пропускания $G(u, v)$ пропорциональна квадрату амплитуды полученного распределения поля. Получаемое просвечиванием голограммы опорной волной поле, в отличие от классической голографии, не является искомым объектным полем — изображением. Для его восстановления необходимо применить некоторый метод.

Известно [4], что для оптимального восстановления объектного поля требуется симметрия схем записи и восстановления. Поэтому, описав действие ФЭ на поле, рассеянное объектом, некоторым оператором, мы предлагаем строить схему восстановления как схему с зеркальным расположением ФЭ относительно плоскости голограммы. Выражение для определения восстановленного объектного поля будет иметь вид, подобный (1):

$$E_v(\xi, \eta) = \iint_G \iint_B E_{op}(u, v) G(u, v) h_2(x - u, y - v) \times \\ \times T(x, y) h_1(\xi - x, \eta - y) du dv dx dy.$$

Эксперимент. Для проверки адекватности модели были поставлены серии пробных экспериментов. При этом использова-

лась АЗПФ с диаметром и фокусным расстоянием 50 см, работающая на длине волны 8,42 мм. Была выбрана геометрия с увеличением системы равным 1, т.е. $a = b = 1$ м. В качестве объектной и опорной антенн использовались пирамидальные рупоры с шириной диаграммы направленности 20° . Приемная антенна — открытый конец волновода. На рис. 2 представлены сравнение моделированного и экспериментального распределений амплитуд объектных полей отверстия в форме прямоугольного треугольника размерами $12,9 \times 11,1$ см². Размеры области анализа 12×12 см². Ожидаемая разрешающая способность 2 см. Светлый уровень соответствует высокому уровню сигнала, темный — низкому. Можно говорить о достаточном совпадении эксперимента и модели, что позволяет ее использовать для восстановления изображений.

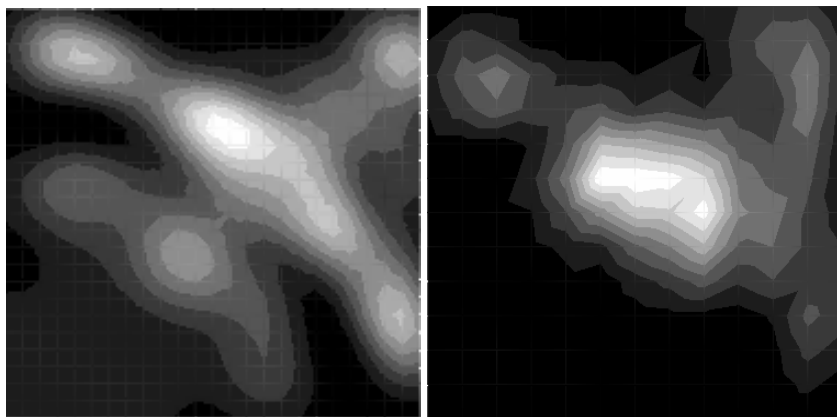


Рис. 2. Сравнение моделированного (слева) и экспериментального (справа) распределений амплитуд объектных полей

При регистрации голограмм использовались те же объект и зонная пластинка. Направление распространения опорной волны составляет угол 28° с нормалью к плоскости голограммы. Восстановленные изображения приведены на рис. 3. Размеры области анализа 20×20 см². Для удобства восприятия выделено предполагаемое местонахождение объекта.

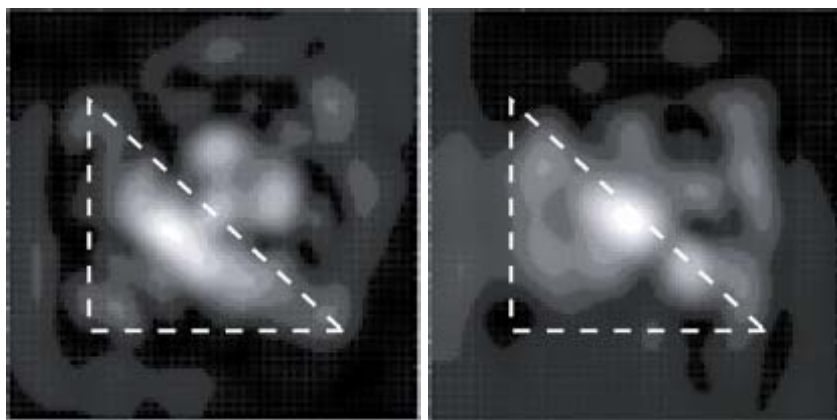


Рис. 3. Применение метода восстановления к моделированной (слева) и экспериментально полученной (справа) голограммам.

Выводы. Проведённое исследование позволяет утверждать, что предложенная модель процессов формирования радиоголограммы сфокусированных изображений и восстановления изображения по ней является адекватной, а предложенный метод цифрового восстановления изображений объектов по радиоголограммам сфокусированных изображений является работоспособным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клименко И.С. Голография сфокусированных изображений и спекл-интерферометрия. — М. : Наука, 1985. — 224 с.
2. Бобров С.Т., Грейсух Г.И., Туркевич Ю.Г. Оптика дифракционных элементов и систем. — Л. : Машиностроение, 1986. — 223 с.
3. Зверев В.А. Радиооптика. — М. : Сов. радио, 1975. — 304 с.
4. Косоуров Г.И. Преобразование пространства, осуществляемое голограммой // Материалы первой всесоюзной школы по голографии, 1969, Москва. Л. : АН СССР, 1971. С. 248-272.

RECONSTRUCTION OF FOCUSED IMAGES RADIOHOLOGRAMS BY MATHEMATICAL MODELLING

Leontyev A. S., Artyomova T. K.

(Russia, Yaroslavl)

The method of focused images radioholograms digital reconstruction is proposed. Mathematical models, describing processes of hologram formation and image reconstruction, are made. The method proposed is approved by simulation and experiment using amplitude Fresnel plate as a focusing element and field registration by amplitude square-law detector.