

[6] Л и ф ш и ц И.М., С л е з о в В.В. // ЖЭТФ. 1956. Т. 35. С. 479-492.

[7] Д е в я т к о Ю.Н., Т р о н и н В.Н. // ФММ. 1987. Т. 63. В. 4. С. 635-644.

Московский  
инженерно-физический  
институт

Поступило в Редакцию  
13 сентября 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 24

26 декабря 1989 г.

07; 09

## УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА РАДИОГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

П.Д. К у х а р ч и к, Н.И. К у р и л о,  
И.А. Т и т о в и ц к и й, Е.В. Б ы ч и н о в,  
В.В. Р у б а н и к

В работе [1] предложена голографическая схема для синтеза двумерных длинноволновых голограмм ортогональными линейными антенными решетками. Данная схема обеспечивает синтезирование двумерной матрицы голографических данных с количеством  $M_1 \times M_2$  дискретных отсчетов посредством  $M_1 + M_2$  элементов линейных антенных решеток, что дает существенный выигрыш в количестве антенных элементов по сравнению с матричными голографическими схемами [2]. Однако данной голографической схеме присущи некоторые специфические aberrации, существование которых было обнаружено авторами работы [1] экспериментальным путем, и которые оказывают существенное влияние на качество голографических изображений. Цель данной работы состояла в проведении теоретического анализа aberrаций в голографической схеме в ортогональными линейными антенными решетками для параболических восстанавливающих волновых фронтов и оценке возможности их уменьшения.

Анализ схемы синтеза построен с учетом предположений, что элементы передающей антенной решетки являются изотропными излучателями, а диаграмма направленности элементов приемной антенной решетки равномерна в пределах исследуемой зоны пространства. Геометрия голографической схемы приведена на рис. 1. Система координат  $x, y, z$  выбрана таким образом, чтобы оси координат были параллельны обеим решеткам и делили их в точках пересечения на две равные части. В основу анализа положена методика классификации aberrаций, изложенная в работе [3].

В результате проведенного исследования авторами получено следующее выражение для волновых aberrаций третьего порядка:

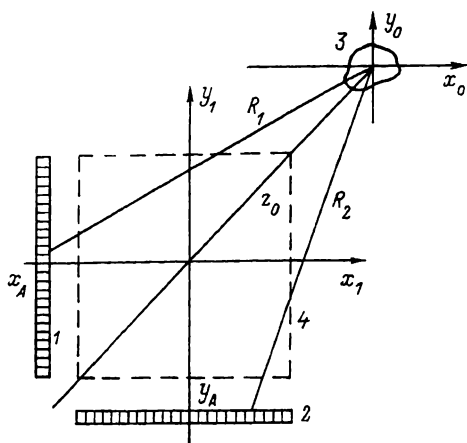


Рис. 1. Геометрия схемы синтезирования двумерных голограмм: 1 - передающая антенная решетка, 2 - приемная антенная решетка, 3 - голографический объект, 4 - синтезируемая двумерная голограмма.

$$\Phi_r = -\frac{x_1^4 + y_1^4}{8} S_1 + \frac{x_1^3}{2} S_{2x} + \frac{y_1^3}{2} S_{2y} - \frac{1}{2} \left[ x_1^2 (S_{3x} + S'_{3x} + S''_{3x}) + y_1^2 (S_{3y} + S'_{3y} + S''_{3y}) + x_1 y_1 S_{3xy} \right] - \frac{x_1^2 + y_1^2}{4} S_4 + \frac{1}{2} (x_1 S_{5x} + y_1 S_{5y}) \quad (1)$$

Отдельные компоненты aberrаций имеют следующий вид:

Сферическая aberrация:  $S_1 = \frac{1}{z_0^3}$ .

Кома:  $S_{2x} = \frac{x_0}{z_0^3}$ ,  $S_{2y} = \frac{y_0}{z_0^3}$ .

Астигматизм:

$$S_{3x} = \frac{x_0^2}{z_0^3}, \quad S'_{3x} = \frac{y_A^2}{2z_0^3}, \quad S''_{3x} = \frac{y_A y_0}{z_0^3},$$

$$S_{3xy} = \frac{x_0 y_0}{z_0^3}, \quad S_{3y} = \frac{y_0^2}{z_0^3}, \quad S'_{3y} = \frac{x_A^2}{2z_0^3}, \quad S''_{3y} = \frac{x_A x_0}{z_0^3}.$$

Кривизна поля и дисторсия:

$$S_4 = \frac{x_0^2 + y_0^2}{z_0^3}, \quad S_{5x} = \frac{x_0^3 + x_0 (y_A - y_0)^2}{z_0^3}, \quad S_{5y} = \frac{y_0^3 + y_0 (x_A - x_0)^2}{z_0^3},$$

где  $x_0, y_0, z_0$  - координаты точек объекта;  $x_A, y_A$  - координаты точки пересечения линейных антенных решеток.

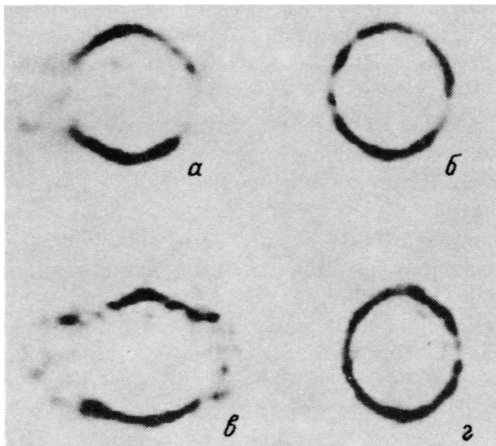


Рис. 2. Восстановленное изображение тестового объекта с использованием параболических восстанавливающих волновых фронтов: а, в - без компенсации компоненты  $S'_{3x}$ , б, г - с компенсацией компоненты  $S'_{3x}$ .

Из выражений (1) и (2) авторами были получены выражения для компонент геометрических aberrаций.

Анализ выражений (1) и (2), а также выражений для компонент лучевых aberrаций позволил сделать следующие выводы.

а) При использовании параболических восстанавливающих волновых фронтов всегда имеют место сферическая aberrация, уравнение aberrационных кривых для которой имеет вид

$$\rho = \rho S_{1z_0} (1 + 3 \cos^2 2\theta)^{1/2},$$

где  $\rho$ ,  $\theta$  - сферические координаты, а также компоненты астигматизма  $S'_{3x}$ ,  $S'_{3y}$ , если координаты точки пересечения линейных антенных решеток не лежат на оптической оси системы.

б) Модуль большинства aberrаций зависит от координат точек объекта, для минимизации aberrаций голографируемые объекты необходимо размещать на оси системы.

в) Параметры  $x_A$ ,  $y_A$ , характеризующие геометрию расположения линейных антенных решеток, желательно выбирать равными 0, что позволит устранить компоненты  $S'_{3x}$ ,  $S''_{3x}$ ,  $S'_{3y}$ ,  $S''_{3y}$  aberrаций.

г) Специфической особенностью данной голографической схемы является существование компонент aberrаций  $S_{3xy}$ ,  $S'_{3x}$ ,  $S''_{3x}$ ,  $S'_{3y}$ ,  $S''_{3y}$ , имеются отличия по сравнению с традиционными голографическими схемами в структуре других типов aberrаций, в частности сферической aberrации и компонент астигматизма  $S_{3x}$ ,  $S_{3y}$ .

Чрезвычайно важное влияние на параметры голографических изображений, восстановленных по голограммам, синтезированным ортогональными линейными антенными решетками, оказывают компоненты

$S'_{3x}, S'_{3y}, S''_{3x}, S''_{3y}$  Принципиально от них можно избавиться, если принять  $x_A = y_A = 0$ . В практическом плане это далеко не всегда возможно из-за сложности технической реализации такой голографической схемы [4]. Если  $x_A = y_A$  устранение компонент  $S'_{3x}, S'_{3y}$  достигается смещением плоскости фокусировки изображения. В противном случае необходимо производить раздельную фокусировку для поочередной компенсации компонент  $S'_{3x}$  и  $S'_{3y}$ .

Экспериментальная проверка возможности улучшения качества голографических изображений за счет компенсации aberrаций типа  $S'_{3x}$  или  $S'_{3y}$  проведена на радиоголографическом комплексе, описанном в работе [4]. На рис. 2 представлены результаты, подтверждающие эффективность такой процедуры. Все изображения получены при использовании параболических восстанавливающих волновых фронтов. В качестве объекта использовалось металлическое кольцо с внешним диаметром 17.2 см и внутренним диаметром 12.5 см. На изображении на рис. 2, а сферическая aberrация достигает значения  $\Delta_c = 0.42 \lambda$ , кома  $S_{2x} = S_{2y} = 0.18 \lambda$ , компоненты  $S'_{3x} = 0.79 \lambda, S'_{3y} = 0$ . Изображение на рис. 2, б восстановлено из той же радиоголограммы, что и на рис. 2, а, однако в данном случае скомпенсирована aberrация  $S'_{3x}$ . На рис. 2, в, г имеют место  $S_1 = 0.93 \lambda, S_{2x} = S_{2y} = 0.39 \lambda$ . Кроме того, на рис. 2, в имеет место компонента  $S'_{3x} = 1.77 \lambda$ . Как видно из уравнения рис. 2, а, б, а также 2, в, г, присутствие сферической aberrации и комы не оказывает столь существенного влияния на изображения, как aberrации типа  $S'_{3x}$ . Нарушение структуры изображения вдоль оси  $x$  на рис. 2, а, в как раз и обусловлено наличием данной aberrации, однако после ее компенсации качество изображений существенно улучшено.

Таким образом, представленные результаты подтверждают возможность улучшения качества изображений, восстановленных по голограммам, синтезированным ортогональными линейными антенными решетками, посредством компенсации aberrаций типа  $S'_{3x}$  или  $S'_{3y}$ .

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] У э л л с У.Х. Получение акустических изображений при помощи линейных антенн. Акустическая голография / Пер. с англ. под ред. Прохорова В.Г., Л.: Судостроение, 1975. С. 166-182.
- [2] Голография. Методы и аппаратура / Под ред. Гинзбург В.М. и Степанова Б.М. М.: Сов. радио, 1974. 376 с.
- [3] Б о р н Н., В о л ь ф Э. Основы оптики. / Пер. с англ. под ред. Мотулевич Т.П. М.: Наука, 1973. 719 с.
- [4] Системы технического зрения (принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение) / Под общ. ред. Писаревского А.Н., Чернявского А.Ф. Л.: Машиностроение, 1988. 424 с.

Поступило в Редакцию  
24 июля 1989 г.