

Восстановление интенсивности структурированных пучков света после случайных фазовых искажений

Я.Е. Акимова¹, М.В. Брецько¹, А.В. Воляр¹, Ю.А. Егоров¹

¹КФУ им. В.И. Вернадского, Физико-технический институт, проспект Академика Вернадского, 4, Симферополь, Россия, 295007

Аннотация

В данной работе показана возможность восстановления интенсивности структурированных пучков света после того, как к каждой известной константе распространения добавляется случайная величина. Восстановление основано на цифровом измерении спектра амплитуд и фаз собственных мод с помощью моментов интенсивности высших порядков. Степень корреляции исходного изображения и восстановленного составила $\eta=0.9$.

Ключевые слова

Спиральные пучки света, пучки Эрмита-Гаусса, моменты интенсивности, спектр вихрей

1. Введение

Спиральные пучки света притягивают внимание исследователей из различных областей физики и техники не только благодаря их структурной устойчивости, но и их способности переносить без искажений контуры изображений в свободном пространстве, несмотря на то, что они содержат множество стандартных вихревых пучков [1].

В данной работе показана возможность восстановления интенсивности спирального пучка света в виде формы правильного треугольника после разрушения структуры, за счет модуляции случайных фазовых добавок к пучкам Эрмита-Гаусса, которые образуют структуру пучка. Анализ проводился посредством цифрового измерения спектра амплитуд и фаз собственных мод, и на их основе показана возможность восстановления структуры такого пучка.

2. Теоретическая модель пучка и метод измерения

Для построения спирального пучка с заданным распределением интенсивности в виде правильного треугольника (рисунок 1а) мы воспользовались вычислениями (6.13), приведенными в [2]. В качестве случайных фазовых возмущений использовался SLM-модулятор (EXULUS-4K1/M) на экран которого помещалась фазовая голографическая решетка со случайным распределением фазы (рисунок 1г), которая формировала искаженный спиральный пучок (рисунок 1б). Спектры мод (рисунок 1д,е) измерялись в фокальной плоскости сферической линзы посредством анализа распределения интенсивности $\mathfrak{I}_{n,\ell}(x,y)$ спирального пучка с модовыми числами (n,ℓ) с помощью моментов интенсивности $J_{p,q}$ [3], представленных в форме:

$$J_{p,q} = \frac{1}{J_{00}} \iint_{R^2} M_{p,q} \mathfrak{I}_{n,\ell}(x,y) dx dy, \quad (1)$$

где $M_{p,q}$ – функция моментов, J_{00} – интенсивность возмущённого ЛГ-пучка. Функция моментов принимает вид:

$$M_{p,q} = H_p(\sqrt{2}x) \cdot H_q(\sqrt{2}y) \quad (2)$$

Моменты интенсивности содержат амплитуды $C_{2n+\ell-k,k}$ и фазы β_k пучков Эрмита-Гаусса, и для их нахождения, требуется провести $2(\ell+1)$ вычислений и составить соответствующую систему линейных уравнений [4]. Зная исходные спектры амплитуд и фаз спирального пучка, мы можем восстановить его исходную структуру (рисунок 1в). Степень восстановления исходного пучка составляет $\eta=0.9$.

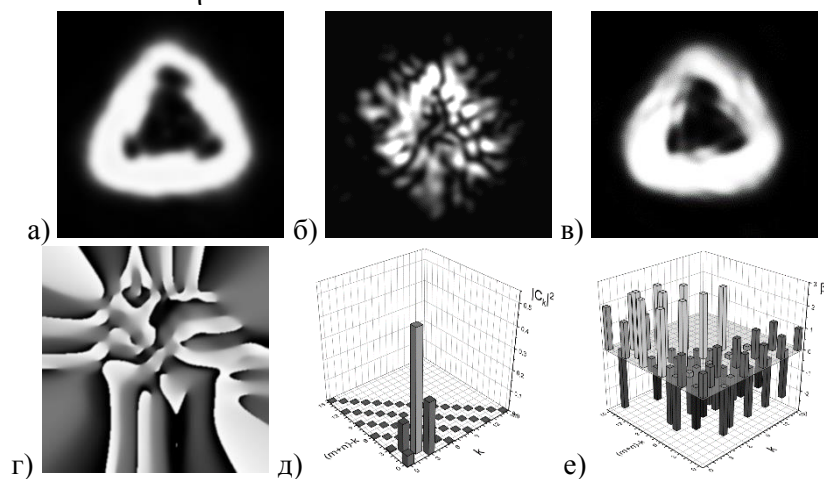


Рисунок 1: Исходный спиральный пучок в виде треугольника в котором отличны от нуля индексы $\ell = 3k + 1$ для первых семи мод $LG_{0,3k+1}$ (а); спекл картина (б); восстановленный спиральный пучок (в); голографическая решетка со случайным распределением фазы (г); спектр квадратов амплитуд (д) и фаз (е) пучков Эрмита-Гаусса

3. Заключение

В данной работе продемонстрировано восстановление интенсивности спирального пучка света в виде правильного треугольника после фазового рассогласования суперпозиции пучков Эрмита-Гаусса, образующих данный пучок. Восстановление основано на цифровом измерении спектра квадрата амплитуд и фаз собственных мод с помощью моментов интенсивности высших порядков. Степень корреляции исходного изображения и восстановленного составила $\eta=0.9$.

4. Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 20-37-90066, № 20-47-910002 - теоретические результаты, грант № 19-29-01233 - результаты моделирования, грант № 20-37-90068 - эксперимент).

5. Литература

- [1] Abramochkin, E. Beam transformations and non-transformed beams / E. Abramochkin, V. Volostnikov // Optics Comm. – 1991. – Vol. 83(1-2). – P. 123-135.
- [2] Абрамочкин, Е.Г. Современная оптика гауссовых пучков / Е.Г. Абрамочкин, В.Г. Волостников. – Москва: Физматлит, 2010. – 184 с.
- [3] Volyar, A. Measurement of the vortex spectrum in a vortex-beam array without cuts and gluing of the wavefront / A. Volyar, M. Bretsko, Ya. Akimova, Yu. Egorov // Opt. Lett. – 2018. – Vol. 43(22). – P. 5635-5638.
- [4] Volyar, A. Fine structure of perturbed Laguerre–Gaussian beams: Hermite–Gaussian mode spectra and topological charge / A. Volyar, E. Abramochkin, Yu. Egorov, M. Bretsko, Ya. Akimova // Applied Optics. – 2020. – Vol. 59. – P. 7680-7687.