

АЛГОРИТМ ПОПЕРЕМЕННОГО ПРОЕЦИРОВАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ФАЗОВЫХ ГОЛОГРАММ*

✉ А. А. Ревякин, М. Д. Гервазиев, Д. С. Харенко

Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия
Институт автоматизирующей и электрометрии СО РАН, Новосибирск, Россия

✉ a.revyakin@g.nsu.ru

Для многих прикладных задач дифракционной оптики, таких как модовая декомпозиция [1, 2] и структурирование света [3], актуальным вопросом является создание компьютерных голограмм или дизайн дифракционных элементов с заданными свойствами. При этом необходимо учитывать ограничения, обусловленные спецификой используемых в эксперименте оптических элементов и устройств. Одним из таких ограничений зачастую является ограничение на характер модуляции, который может быть обеспечен в эксперименте: амплитудная или фазовая. На сегодняшний день широко используются фазовые пространственные модуляторы света, обеспечивающие именно второй тип модуляции, с учетом чего и должны быть рассчитаны голограммы.

Одним из способов вычисления фазовых голограмм является использование специальной функции модуляции. В таком подходе фазовая модуляция e^{iH} профиля исходного пучка определяется функцией модуляции (ФМ) ψ , зависящей от распределений амплитуды a и фазы φ исходного профиля пучка, то есть $H(x, y) = \psi(a(x, y), \varphi(x, y))$. Во многих работах используется ФМ, полученная из разложения Якоби — Ангера [3]. Однако в таком случае значительная доля мощности исходного пучка не задействуется, рассеиваясь в неиспользуемые порядки дифракции. При этом аналитическое нахождение ФМ, в том числе оптимальной в смысле дифракционной эффективности, является затруднительным. В связи с этим в данной работе был предложен метод итеративного нахождения ФМ, основанный на алгоритме проецирования в выпуклые множества [4].

Суть предложенного метода заключается в выборе некоторой начальной комплексной функции и осуществлении над ней поочередных преобразований проекции $P_1 = f / |f|$ и $P_2 = f + (a - e^{i\varphi}|f|)e^{i\varphi}$, где угловые скобки обозначают скалярное произведение. Преобразования P_1 и P_2 осуществляются до тех пор, пока модуль функции не приблизится к единице, а исходная ФМ определяется как фаза полученной функции: $\psi = \arg f$. При этом возможен выбор операций проекции, который в итоге приводит к исключению выбранных порядков дифракции. В результате применения алгоритма были найдены ФМ, аналогичные полученным аналитически. Так, для проверки одной из них были возбуждены моды Лагерра — Гаусса (LG) оптического волокна (рис. 1). Исходный лазерный пучок имел гауссов профиль.

Также с помощью данного подхода была увеличена примерно в 3 раза доля мощности излучения, которая задействуется при дифракции на полученных оптимальных голограммах. При этом искажения в сгенерированных пучках остались на том же уровне, что при использовании аналитической ФМ, полученной из разложения Якоби — Ангера. Искажения сгенерированного пучка в данной работе характеризовалась величиной $1 - \text{corr}(t, g)$, где $\text{corr}(t, g)$ обозначает корреляцию между полученным g и целевым t профилями пучка (рис. 2).

* Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 21-72-30024).

© А. А. Ревякин, М. Д. Гервазиев, Д. С. Харенко, 2024



Рис. 1. Фотографии мод LG_{11} , LG_{21} , LG_{12} , LG_{02} (слева направо), возбужденных в эксперименте

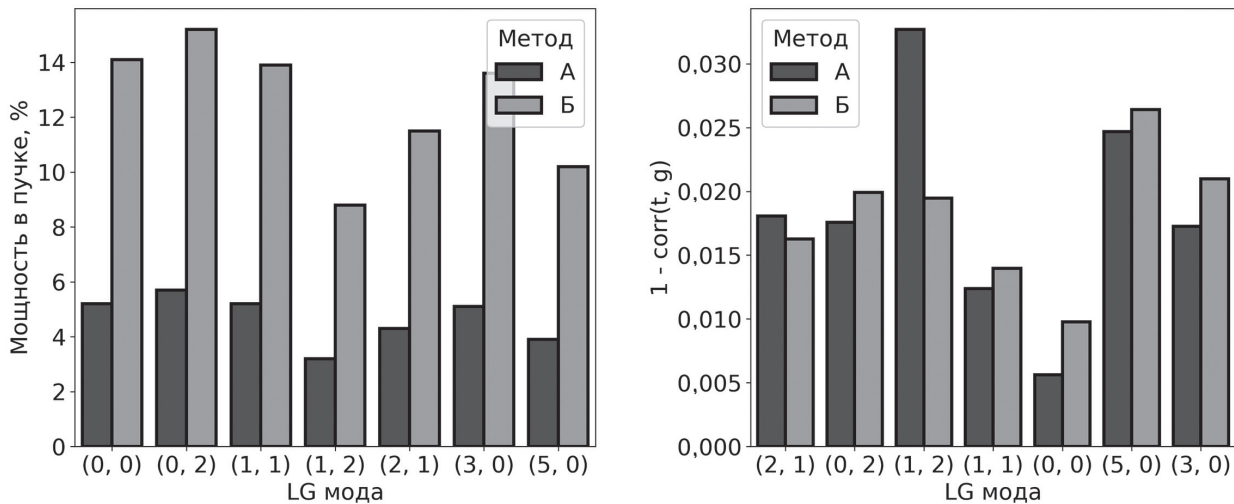


Рис. 2. Доля мощности исходного лазерного пучка, задействуемая при генерации мод (слева), и ошибка воспроизведения профиля LG моды (справа) в эксперименте при использовании голограмм, получаемых из разложения Якоби — Ангера (А), и оптимальных голограмм (Б)

Таким образом, результаты экспериментов по возбуждению мод показывают, что функция модуляции может быть получена численно с помощью алгоритма попеременного проецирования. Кроме того, данный подход, в отличие от аналитического нахождения таких функций, допускает большую гибкость при их поиске. Использование этой особенности позволило повысить долю задействуемой мощности исходного лазерного пучка при дифракции на оптимизированных голограммах втрое.

Литература

1. Schulze C., Dudley A., Flamm D. et al. Measurement of the orbital angular momentum density of light by modal decomposition // *New Journal of Physics*. 2013. Vol. 15. P. 073025.
2. Kaiser T., Flamm D., Schroeter S., Duparré M. Complete modal decomposition for optical fibers using CGH-based correlation filters // *Optics express*. 2009. Vol. 17. P. 9347–9356.
3. Arrizón V., Ruiz U., Carrada R., González L. Pixelated Phase Computer Holograms for the Accurate Encoding of Scalar Complex Fields // *Josa A*. 2007. Vol. 24. P. 3500.
4. Bauschke H., Borwein J. On Projection Algorithms for Solving Convex Feasibility Problems // *SIAM Review*. 1996. Vol. 38. P. 367–426.