

Применение конического опорного пучка для анализа слабых аббераций волнового фронта на основе нейронных сетей



Хорин Павел Алексеевич (1), Хонина Светлана Николаевна (1,2)

1 - Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия; 2 - ИСОИ РАН – филиала ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Самара, Россия

Известно, что для анализа топологического заряда вихревого пучка используется астигматическое преобразование [1-3]. Преобразование такого типа можно реализовать при помощи цилиндрической линзы, криволинейной дифракционной решетки и внесения волновой абберации в исследуемый волновой фронт.

В данной работе исследуется возможность обнаружения топологического заряда вихревого пучка путем внесения волновых аббераций различного типа и веса в анализируемый волновой фронт с помощью фазового фильтра Цернике.

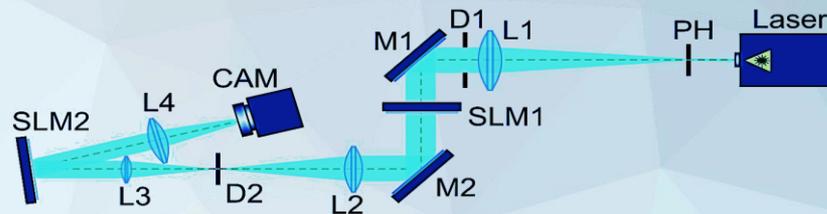


Схема экспериментальной установки. Laser - твердотельный лазер ($\lambda = 532$ нм); PH - точечное отверстие (40 мкм); L1, L2, L3 и L4 - сферические линзы ($f_1 = 350$ мм, $f_2 = 300$ мм, $f_3 = 200$ мм, $f_4 = 250$ мм); SLM1 - пропускающий пространственный модулятор света, SLM2 - световозвращающий пространственный модулятор света; D1 и D2 - круглые отверстия; M1 и M2 - зеркала; CAM – видеокамера.

SLM1 кодирует фазу вихревого пучка (входное поле).

SLM2 кодирует фазу многоканального фильтра (ДОЭ):

$$\tau(x, y) = \sum_{N=1}^{N_0} \sum_{k=1}^{K_0} \left\{ \exp[i2\pi\alpha_k Z_N(x, y)] \exp[i(a_{kN}x + b_{kN}y)] \right\}$$

$$Z_{nm}(r, \varphi) = Z_N(r, \varphi) = A_n R_n^m(r) \begin{cases} \cos(m\varphi) \\ \sin(m\varphi) \end{cases} R_n^m(r) = \sum_{p=0}^{(n-m)/2} \frac{(-1)^p (n-p)!}{p! \left(\frac{n+m}{2} - p\right)! \left(\frac{n-m}{2} - p\right)!} \left(\frac{r}{r_0}\right)^{n-2p}$$

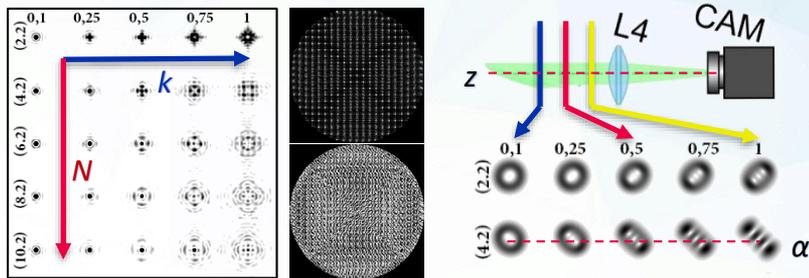
Применение конического опорного пучка для анализа слабых аббераций волнового фронта на основе нейронных сетей



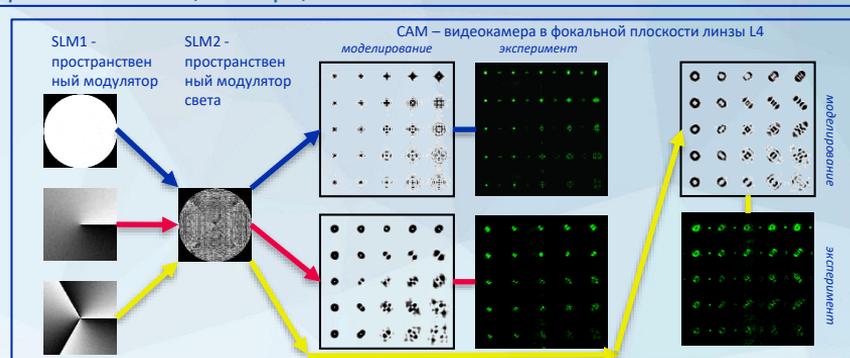
Хорин Павел Алексеевич (1), Хонина Светлана Николаевна (1,2)

1 - Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия; 2 - ИСОИ РАН – филиала ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Самара, Россия

На основе численного моделирования действия многоканального фильтра, согласованного с фазовыми функциями Цернике и оптического эксперимента показана возможность визуализации топологического заряда при помощи аббераций типа $(n,2)$.



Кроме того, предложена гипотеза: ФРТ абберации в дифракционном порядке с уровнем α пропорциональна ФРТ на некотором расстоянии z от фокальной плоскости линзы.



Получено, что определение топологического заряда возможно при помощи внесения аббераций астигматического типа с разным весом. Причём чем больше значение радиального индекса полиномов Цернике n и величина абберации, тем более явно проявляется действие астигматического преобразования вихревого пучка, позволяющего определить больший топологический заряд.

Применение конического опорного пучка для анализа слабых аберраций волнового фронта на основе нейронных сетей



Хорин Павел Алексеевич (1), Хонина Светлана Николаевна (1,2)

1 - Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Самара, Россия; 2 - ИСОИ РАН – филиала ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Самара, Россия

В рамках данной работы проведено исследование возможности детектирования и анализа топологического заряда вихревого пучка при помощи внесения аберраций различного типа и уровня в анализируемый волновой фронт. Показаны результаты детектирования для вихревого пучка первого и третьего порядка.

Использование астигматических аберраций различных типов и весов при помощи фильтра позволяет улучшить распознавание топологического заряда и представить набор картин ФРТ в одной плоскости.

Хонина Светлана Николаевна
Хорин Павел Алексеевич

E-mail: khonina@ipsiras.ru
E-mail: paul.95.de@gmail.com



Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (**грант 20-37-90129**)

1. Zheng, S., Wang, J. Measuring Orbital Angular Momentum (OAM) States of Vortex Beams with Annular Gratings. *Sci Rep* 7, 40781 (2017). <https://doi.org/10.1038/srep40781>
2. Rasouli, S., Fathollahzade, S., Amiri P. Simple, efficient and reliable characterization of Laguerre-Gaussian beams with non-zero radial indices in diffraction from an amplitude parabolic-line linear grating. *Opt. Express* 29, 29661-29675 (2021)
3. Котляр, В.В. Определение топологического заряда оптического вихря с помощью астигматического преобразования / В.В. Котляр, А.А. Ковалёв, А.П. Порфирьев // Компьютерная оптика. – 2016. – Т. 40, № 6. – С. 781-792. – DOI: 10.18287/2412-6179-2016-40-6-781-792.