

# Итерационный алгоритм коррекции волнового фронта на основе оптического разложения по базису Цернике

П.А. Хорин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34А, Самара, Россия, 443086

## Аннотация

В рамках данной работы исследуется итерационный алгоритм коррекции волнового фронта на основе оптического разложения по базису функций Цернике. На каждой итерации выполняется компенсация aberrаций волнового фронта с учетом коэффициентов разложения. Критерием выхода из итерационного процесса является формирование выраженного корреляционного пика в фокальной плоскости фильтра. При помощи численного моделирования проведено исследование действия алгоритма, проверена работоспособность алгоритма на тестовых примерах.

## Ключевые слова

Функции Цернике, коррекция волнового фронта, датчик волнового фронта, оптическое разложение

## 1. Введение

Задача измерения и коррекции aberrаций волнового фронта часто встречается в оптике, например, в конструировании наземных телескопов, в системах оптической коммуникации, в промышленной лазерной технике, в медицине и пр. [1]. Практически всегда измерение искажений волнового фронта выполняется с целью их компенсации, в частности, средствами адаптивной или активной оптики [2]. Основными причинами aberrаций волнового фронта являются: турбулентность атмосферы, неидеальность форм оптических элементов системы, погрешности при юстировке системы и др.

Известно [3], что слабые aberrации ( $\leq 0,4\lambda$ ) волнового фронта хорошо детектируются при помощи различных датчиков волнового фронта, в том числе при помощи многоканального дифракционного оптического фильтра. При увеличении величины aberrации линейная аппроксимация волнового фронта становится неприемлемой, это объясняется тем, что вклад второго и последующих слагаемых разложения волнового фронта в ряд Тейлора становится более значительным, что приводит к детектированию ложных aberrаций.

Для корректного детектирования сильных aberrаций ( $> 0,4\lambda$ ) волнового фронта необходимо использовать синтезированные базисы на основе полиномов Цернике, но данный подход актуален только для анализа волновых фронтов с ярко выраженной одной aberrацией фазы волнового фронта. Другим решением может быть использование дополнительных алгоритмов для детектирования aberrаций фазы волнового фронта на основе многоканального дифракционного оптического фильтра.

В данной работе предлагается итерационный алгоритм, где на каждой итерации из исследуемого волнового фронта вычитается корректирующая волновая aberrация с разным весом. Критерий выхода из итерационного процесса – формирование выраженного корреляционного пика в фокальной плоскости фильтра. Чем меньше рассеяние распределения интенсивности соответствующего дифракционного порядка в фокальной плоскости фильтра, тем точнее подобран коэффициент корректирующей волновой aberrации.

## 2. Итерационный алгоритм

$$w^{(0)}(x, y) = \exp[i2\pi\alpha\psi(x, y)] = \exp[i2\pi\alpha \sum_{N=1}^{N_0} C_N Z_N(x, y)]$$

for  $m=0:N_0:1$

for  $\alpha_m = -10:10: h_\alpha$

$$w^{(m)}(x, y) = \exp[i2\pi\alpha_m Z_m(x, y)]$$

$$w^{(\Delta)}(x, y) = w^{(0)}(x, y) / w^{(m)}(x, y) = \exp[i2\pi(\alpha \sum_{N=1}^{N_0} C_N Z_N(x, y) - \alpha_m Z_m(x, y))]$$

end //  $\alpha_m$

$C_m \approx \alpha_m$ , if  $\min_{\alpha_m} \{ \text{Рассеяние}[\Im\{w^{(\Delta)}\}] \}$  and  $\min_{\alpha_m} \{ \text{Рассеяние}[\Im\{w^{(\Delta)}\}] \} < \text{Рассеяние}[\Im\{w^{(0)}\}]$

end //  $m$

Пример моделирования действия алгоритма приведен для аберрации типа кома:

$$w^{(0)}(x, y) = \exp[i2\pi\alpha\psi(x, y)] = \exp[i2\pi 0.9 Z_5(x, y)]$$

Итерация:  $m=5, \alpha_m = 0,8$

Волновой фронт	$w^{(0)}(x, y) = \exp[i2\pi 0.9 Z_5]$		$w^{(m)}(x, y) = \exp[i2\pi \alpha_5 Z_5]$			
	$\Psi$	$w^{(0)}$	$\Im\{w^{(0)}\}$	$w^{(m)}$	$\Im\{w^{(m)}\}$	$\Im\{w^{(\Delta)}\}$
Амплитуда						
Фаза						
Рассеяние	-	-	0,7	-	0,6	0,1

## 3. Заключение

Разработан итерационный алгоритм для коррекции аберраций волнового фронта. С помощью численного моделирования проведено исследование действия алгоритма.

## 4. Благодарности

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

## 5. Литература

- [1] Martins, A.C. Measuring Ocular Aberrations Sequentially Using a Digital Micromirror Device / A.C. Martins, B. Vohnsen // Micromachines. – 2019. – Vol. 10. – P. 117.
- [2] Mu, Q. Adaptive optics imaging system based on a high-resolution liquid crystal on silicon device / Q. Mu, Z. Cao, L. Hu, D. Li, L. Xuan // Optics express. – 2006. – Vol. 14. – P. 8013-8018.
- [3] Khonina, S.N. Wavefront aberration sensor based on a multichannel diffractive optical element / S.N. Khonina, S.V. Karpeev, A.P. Porfirev // Sensors. – 2020. – Vol. 20. – P. 3850.