

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕНТРА ПЯТНА РАССЕЯНИЯ ПРИ НАЛИЧИИ В ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ НЕСИММЕТРИЧНЫХ АБЕРРАЦИЙ

Летова Е. Ю.¹, Ефимов В. Д.¹

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Иванова Т. В.¹

¹Университет ИТМО

letova@niuitmo.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР-ПРИКЛ №624083 «Исследование и разработка инновационных систем технического зрения».

Введение

Точное определение координат центра функции рассеяния точки (ФРТ) является одним из ключевых этапов в задачах контроля качества оптических систем. Погрешность определения координат центра пятна рассеяния влияет на целый ряд последующих этапов вычислений таких как, вычисление функции концентрации энергии (ФКЭ) или восстановление формы волнового фронта [1, 2]. Следовательно, задача поиска центра ФРТ является актуальной для контроля оптических систем различными методами.

Основная часть

На практике для определения центра ФРТ чаще всего применяются два классических подхода: метод максимального значения и метод центра масс [3]. Исследования показывают [4], что оба метода обладают допустимой погрешностью только при симметричных абберациях. Однако при обработке пятен рассеяния сложной формы, особенно при наличии абберации комы, метод максимального значения становится недостоверным из-за смещения пикселя с максимальным значением, а метод центра масс даёт систематическое смещение, обусловленное вкладом пикселей с небольшой величиной сигнала, занимающих значительную площадь из-за перераспределения энергии пятна рассеяния вследствие аббераций.

Для повышения точности определения центра ФРТ предложен взвешенный метод центра масс, в котором значение каждого пикселя возводится в степень. Такой подход позволяет уменьшить влияние пикселей с небольшими значениями и одновременно усилить вклад центральной части пятна рассеяния. В результате исследования определено, что оптимальное значение параметра, определяющего степень, в которую возводятся значения пикселей равно 2. В таком случае метод демонстрирует погрешность определения центра, подходящую для использования в различных задачах контроля оптических систем. Наряду с этим исследована возможность применения свёрточных нейронных сетей (СНС) для определения центра ФРТ [5]. Предложенная конфигурация СНС при использовании разработанного подхода к обучению позволила получить максимальную ошибку определения центра пятна рассеяния сопоставимую с методом взвешенного центра масс.

Выводы

Таким образом, наиболее распространённые методы определения центра ФРТ не обеспечивают достаточную точность при несимметричной форме пятна рассеяния. Предложенный взвешенный метод центра масс демонстрирует значительно более высокую устойчивость и обеспечивает минимальную погрешность. СНС показывают стабильную работу и погрешность сопоставимую с другими методами, однако на текущем этапе уступают взвешенному методу центра масс, который остаётся наиболее

надёжным подходом для задач контроля качества оптических систем, включая вычисление ФКЭ и восстановление формы волнового фронта.

Литература

1. Иванова Т., Калинкина О., Летова Е. Алгоритм восстановления фазы для определения волнового фронта по четырём функциям рассеяния точки // Оптический журнал. — 2023. — Т. 90. — № 8. — С. 77-86.
2. Wei P., Li X., Luo X., Li J. Analysis of the wavefront reconstruction error of the spot location algorithms for the Shack–Hartmann wavefront sensor // Optical Engineering. — 2020. — Vol. 59. — No. 4. — P. 043103.
3. Znamenskiy I.V. Dependence of the signal magnitude on the displacement of the point spread function relative to the center of the photosensitive matrix pixel // Journal of Optical Technology. — 2023. — Т. 90. — № 12. — С. 772-781.
4. Ivanova T.V., Letova E.Yu., Kalinkina O.S., Nikiforova D.V., Strigalev V.E. An analysis of methods for aberrated spot diagram center evaluation // Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics. — 2021. — Vol. 21. — No. 3. — P. 334-341.
5. Li Z., Li X. Centroid computation for Shack-Hartmann wavefront sensor in extreme situations based on artificial neural networks // Optics Express. — 2018. — Vol. 26. — No. 24. — P. 31675-31692.