

УДК 681.7.012, 520.2.03

Использование полиномов Цернике при создании системы коррекции оптических искажений в космической оптико-электронной аппаратуре наблюдения

Е.В. Приходько^{1,2}, Г.А. Щербина^{1,2}

¹АО «НПО «Лептон»

²Московский физико-технический институт (государственный университет)

В последнее время уделяется серьезное внимание созданию космических оптико-электронных камер высокого разрешения, позволяющих решать задачи наблюдения за поверхностью Земли. К оптическим передаточным характеристикам таких камер предъявляются высокие требования при одновременном стремлении минимизировать их массогабаритные показатели. Для удовлетворения требований по массо-габаритным характеристикам в аппаратуре используются зеркальные и зеркально-линзовые оптические схемы, которые обладают меньшей массой и габаритами чем линзовые камеры, но предъявляют существенно более высокие требования к погрешностям взаимной ориентации компонентов объектива.

Космические оптико-электронные камеры во время эксплуатации подвергаются дестабилизирующим факторам, например, вибрациям или импульсным нагрузкам при выводе на орбиту, а также неравномерному распределению температур. Вследствие этого изменяется взаимная ориентация компонентов объектива, и оптическое качество системы понижается. Таким образом, задача создания системы автоматической юстировки для космической камеры высокого разрешения, рассматриваемая в данной работе, является актуальной.

В настоящее время существуют и активно развиваются технологии, дающие возможность корректировать положение элементов в оптической системе. Тем самым появляется возможность корректировать систему для противодействия влиянию на неё дестабилизирующих факторов. Существующие подходы к корректировке оптических схем основаны на применении системы обеспечения теплового режима и на использовании систем высокоточного контроля положения оптических компонент [1]. Такие системы технически сложные и не являются устойчивыми к смещению датчиков системы контроля относительно контролируемых оптических элементов. Поэтому в данной работе предлагается универсальный в использовании и устойчивый к смещению конструктивных элементов подход к коррекции оптических искажений.

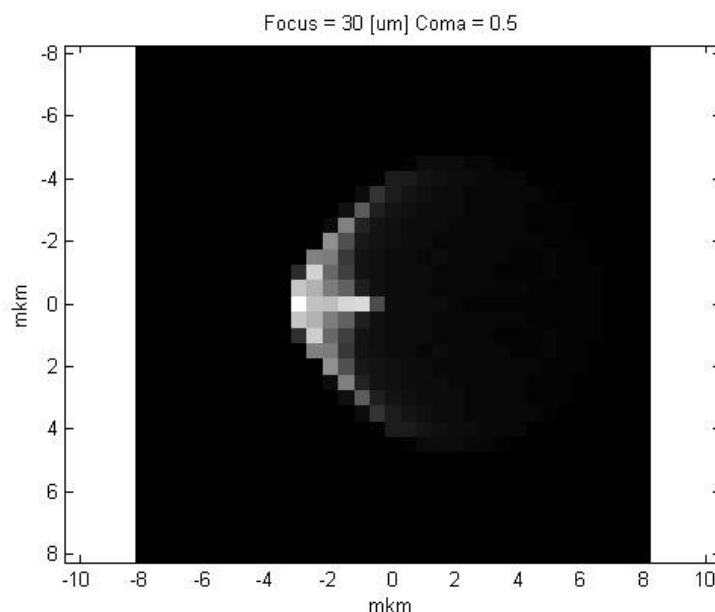
Излагаемый в настоящей работе подход, в отличие от выше приведенных, основывается на анализе расфокусированного тестового изображения. В качестве тест-

объекта используется точечный источник света. Такой подход имеет ряд преимуществ, а именно съемка происходит без использования интерферометра, а также существует возможность проведения коррекции непосредственно в процессе полетного испытания, где в качестве точечного источника света выступают либо звезды, либо точечные яркие объекты на подстилающей поверхности (ПП). Таким образом, предлагаемый подход предназначен для проведения наземной юстировки прибора и может быть использован при летных испытаниях.

В данной работе для оценки качества ОС предложено использовать коэффициенты Цернике [2][3] для различных углов поля зрения. Каждый коэффициент показывает величину присутствия той или иной аберрации в изображении. Главным преимуществом такого подхода является полная независимость друг от друга полиномов Цернике, а также полнота формируемого ими базиса.

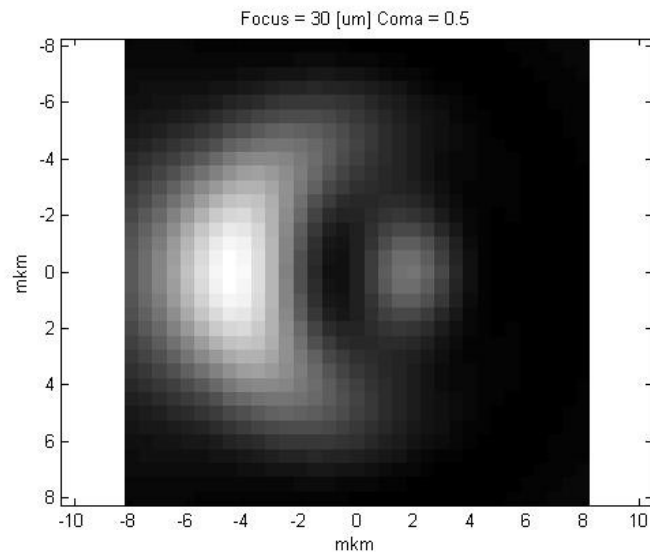
При решении задачи автоматической юстировки ОС необходимо последовательно решить: прямую задачу - определение распределения интенсивности по известным коэффициентам Цернике и обратную задачу – нахождение коэффициентов из имеющегося изображения. Алгоритм решения прямой задачи может быть реализован тремя разными способами. На рисунках 1-3 показаны изображения расфокусированного точечного объекта при наличии аберрации типа комы. Величина расфокусировки и коэффициента аберрации являются одинаковыми для трех рисунков.

Первый способ относится к геометрическим аберрациям, и для решения прямой задачи трассирует лучи с учетом их отклонений вызванных аберрациями (Рис. 1).

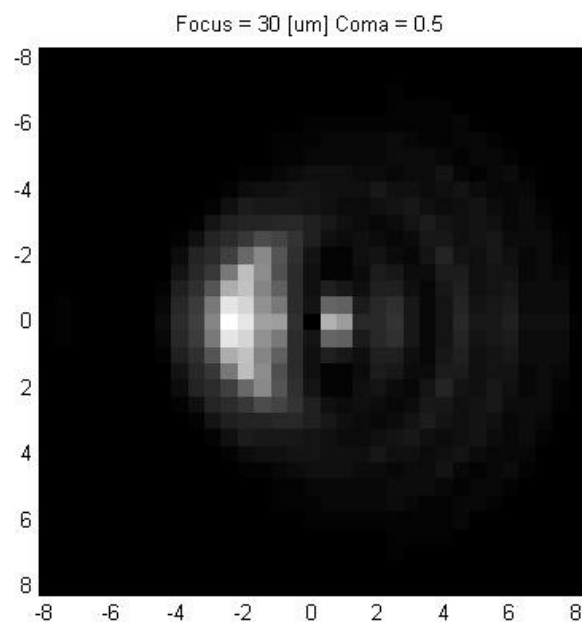


Второй метод является дифракционным и прямая задача в нем решается применением дифракционного интеграла формула 2[2], параграф 9.1 [4] (Рис. 2). Следует

отметить, что этот способ требует в $4,2 \cdot 10^3$ раз больше вычислительного времени чем геометрический подход.



Третий подход также дифракционный, но для расчетов используется численный метод Нижбера-Цернике пункт 3.1 [2], он намного быстрее, чем вариант с вычислением дифракционного интеграла, его вычислительное время в 7 раз больше чем для геометрического способа (Рис. 3).



Алгоритм решения обратной задачи основывается на последовательном решении прямой задачи для изменяющегося набора коэффициентов Цернике. Общий алгоритм решения обратной задачи не зависит от того какой будет выбран способ расчета прямой задачи (геометрический, дифракционный интеграл, дифракционный Нижбера-Цернике). При решении обратной задачи критерием невязки выступает СКО разностей интенсивностей двух изображений. Первое изображение меняется каждую итерацию и

формируется различными наборами коэффициентов Цернике. Второе изображение, исследуемое для которого и производится поиск коэффициентов.

Таким образом в данной работе приведено описание предлагаемого подхода к коррекции оптических искажений в космической оптико-электронной аппаратуре наблюдения. А также в качестве важных подзадач рассмотрены решения прямой задачи определения распределения яркости в фокальной плоскости объектива по известным абберационным коэффициентам Цернике и обратной задачи нахождения коэффициентов Цернике из распределения яркости. Решения которых требуются для успешной реализации самокорректирующейся системы оптических искажений в космической оптико-электронной аппаратуре наблюдения.

Литература

1. *Савицкий А. М.* Принципы построения оптических систем термостабилизированных телескопов дистанционного зондирования Земли. Диссертация на соискание ученой степени КТН. – СПб. 2012.– 191с.
2. *Joseph J.M. Braat, Peter Dirksen, Sven van Haver, Augustus J.E.M. Janssen.* Detailed description of the ENZ approach. [Электронный ресурс]: http://www.nijboerzernike.nl/_PDF/NijboerZernike_webpage_detailed_20151023.pdf (дата обращения: 14.10.2016).
3. *Sven VAN HAVER.* The Extended Nijboer-Zernike Diffraction Theory and its Applications. Ph. D. Dissertation Delft University of Technology, 2010. – p.176.
4. **Борн М., Вольф Э. Основы оптики.** – М.: Наука, 1973. – 720с.

Рис. 1. Изображение точки с расфокусировкой и комой при помощи метода геометрических aberrаций.

Рис. 2. Изображение точки с расфокусировкой и комой полученное при помощи дифракционного интеграла.

Рис. 3. Изображение точки с расфокусировкой и комой полученное при помощи метода Нижбера-Цернике.