УДК 681.78

Д.П. Бондарчук, студент гр. ПО-71мп, к.т.н., доц. Сокуренко В.М. КПІ ім. Ігоря Сікорського

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ ФОТООБ'ЄКТИВА ЗІ ЗМЕНШЕНОЮ ДИСТОРСІЄЮ

Анотація. Метою статті є доведення можливості здійснення автоматизованого параметричного синтезу оптичної системи фотооб'єктива зі значенням дисторсії, що не перевищує 0,5%. У статті розглянуто результати розрахунку, проведеного повністю в автоматичному режимі з використанням одного з сучасних методів глобальної оптимізації – адаптивного методу диференційної еволюції Коші. За якістю утворюваного зображення синтезовані варіанти оптичних систем фотооб'єктива перевищують аналог з патентного джерела.

Ключові слова: фотооб'єктив, оптична система, аберація, дисторсія, глобальна оптимізація

вступ

Сучасний розвиток засобів астроорієнтації літальних апаратів характеризується суттєвим поліпшенням їх функціональних параметрів. Раніше основною системою орієнтації були гірокомпаси. Проте з часом використання гірокомпасів в багатьох приладах стало недоцільним через їхню неспроможність довго утримувати орієнтацію (явище прецесії під дією неврахованих повністю зовнішніх факторів). З метою покращення якості орієнтації почали все більше застосовувати зоряні датчики, зараз переважно з матричними приймачами випромінювання. Такий прилади дозволяють визначити свою орієнтацію по зображенню зірок, що потрапляють в поле зору [1]. Тому важливою складовою частиною зоряного датчика виступає оптична система (ОС), яка відповідає за побудову зображення зоряного неба.

Для уникнення необхідності виправлення зображення цифровими методами в зоряних датчиках раціонально використовувати фотооб'єктиви з виправленою дисторсією. Однак, складність корекції дисторсії полягає в тому, що ця аберація проявляється у викривленні зображення (порушенні геометричної подібності між зображенням та предметом) з нелінійною залежністю від поля зору OC [2, 3].

Відомі методи параметричного синтезу ОС, які ґрунтуються на теорії аберацій 3-го або 5-го порядків [3, 4], або ж на локальній оптимізації ОС, відомих з патентних джерел або промислових каталогів. Недоліком першого підходу є обмеженість розв'язку абераціями низьких порядків, а другого – потреба у вихідній системі з задовільною якістю зображення. В зв'язку з цим, бажано було б мати універсальний спосіб, який не потребував би якісної стартової системи, суттєвого досвіду та особливої кваліфікації конструктора.

ЗАПРОПОНОВАНИЙ ПІДХІД ДО РОЗРАХУНКУ

Оскільки на сьогодні розв'язання задачі параметричного синтезу довільної ОС зі скоригованою дисторсією аналітичним способом не видається можливим, то на практиці доводиться все більше покладатися на використання потужних комп'ютерів та спеціального програмного забезпечення. Останніми роками в різних галузях науки та техніки все більшої популярності набувають різні алгоритми глобальної оптимізації. Потенційно їх використання XI всеукраїнська науково-практична конференція студентів та аспірантів «ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ», 15-16 травня 2018 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

могло б значно покращити та пришвидшити розробку ОС (в тому числі й зі зменшеною дисторсією).

У цій роботі досліджується автоматизований спосіб розрахунку ОС, який базується на використанні одного з сучасних алгоритмів глобальної безперервної оптимізації [5]. На прикладах розрахунку нижче буде показано, що такий підхід суттєво полегшує розрахунок, спрощує його процедуру та кардинально скорочує час на отримання нових чи покращення вже відомих ОС.

Як приклад для проведення чисельного моделювання було обрано фотооб'єктив з патенту Японії [6]. Його оптична система має фокусну відстань 28,9 мм, кутове поле зору 73,8°, відносний отвір 1:2,88 (рис. 1, *a*). Фотооб'єктив призначений для роботи у видимому спектральному діапазоні (0,48...0,644 мкм) з основною довжиною хвилі 0,546 мкм.

Під час його параметричного синтезу пошуковими змінними (параметрами оптимізації) виступали значення радіусів поверхонь та осьових товщин. На старті процедури синтезу лінзи фактично мали форму плоскопаралельних пластинок. В окремому експерименті здійснювався пошук оптимальних марок скла.

В оціночній функції додатково встановлювалися обмеження на осьові товщини лінз (від 1 мм і 3,5 мм), осьові повітряні проміжки (від 0,1 мм до 4 мм), мінімальні товщини лінз на краю (1 мм) та мінімальні товщини повітряних проміжків на краю (0,1 мм). Крім того, у всіх варіантах обмежувалася максимальна довжина всієї ОС (45 мм), віддалення площини зображень (від 18 до 20 мм) та максимальне допустиме значення відносної дисторсії (0,5%).

РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЕЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Автоматизований розрахунок здійснювався для двох випадків розподілу вагових коефіцієнтів предметних точок. В першому випадку була поставлена задача отримати дещо вищу якість зображення в центрі поля зору (див. табл. 1, рис. 1), а в другому – досягти кращого балансування аберацій по всьому полю зору (див. табл. 2).

Величина предмету, градуси	Ваговий коефіцієнт предметної точки	ОС з патенту [6] (після процедури автофокусування)	ОС, синтезована з ідентичних сере- довищ (марок скла)	ОС, синтезована з нових середовищ (марок скла)
0	3	80,3	25,0	8,1
18	1	83,3	42,0	20,6
25,8	1	83,0	57,5	32,3
36,9	1	198,2	55,9	38,3

Таблиця 1. СКВ-радіуси світлових плям, в площині зображень при різних вагових коефіцієнтах предметних точок

Величина предмету, градуси	Ваговий коефіцієнт предметної	ОС з патенту [6] (після процедури автофокусування)	ОС, синтезована з ідентичних сере- довищ	ОС, синтезована з нових середовищ (марок скла)
0	<u>точки</u> 1	85.4	(марок скла) 30.0	12.5
5	1	05,4	50,0	12,5
18	1	88,6	38,3	18,2
25,8	1	84,8	49,2	28,1
36,9	1	188,3	53,5	32,7

Таблиця 2. СКВ-радіуси світлових плям, в площині зображень при однакових вагових коефіцієнтах предметних точок



Рисунок 1. Оптичні схеми фотооб'єктива, отримані при різних вагових коефіцієнтах предметних точок: *a* – варіант з патенту [6]; *б* – варіант, розрахований з ідентичними до патентного варіанту марками скла; *в* – варіант, отриманий з новими марками скла

Як й очікувалося, в усіх розрахованих системах відносна дисторсія не перевищила задане обмеження (0,5%). Наведені результати свідчать, що в порівнянні з ОС фотооб'єктива з патентного джерела в усіх розрахованих варіантах поперечні аберації виправлені значно краще. Це підтверджує можливість здійснення автоматизованого розрахунку ОС фотооб'єктивів з урахуванням заданих користувачем обмежень на конструктивні параметри та значення аберацій.

висновки

У даній роботі здійснено експериментальну перевірку можливості повної автоматизації процедури параметричного синтезу класичного фотооб'єктива з виправленою дисторсією. Отримані результати свідчать, що розраховані варіанти за якістю зображення суттєво переважають вихідну систему фотооб'єктива з патентного джерела.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Прохоров М. Е. и др. Современные датчики звездной ориентации / Прохоров М. Е., Захаров А. И., Миронов А. В., Николаев Ф. Н., Тучин М. С. // Государственный астрономический институт им. Штернберга. – 2009. – С. 170.
- Fischer R. E. Optical system design. 2-nd edition / Fischer R. E., Tadic-Galeb B., Yoder P. SPIE Press. The McGraw-Hill Companies, Inc. 2008. – P. 809. – ISBN-10 0071472487; ISBN-13 978-0071472487.
- Mack Ch. A. Field guide to optical lithography / Mack Ch. A. SPIE field guides; FG 06 [Series Editor Gleivenkamp J. E.]. – Bellingham, WA 98227-0010. – 1978 – P. 543. – ISBN-10 0819462071; ISBN-13 9780819462077.
- Handbook of Optical Systems: Vol. 3. Aberration Theory and Correction of Optical Systems / Gross H., Zugge H., Peschka M., Blechinger F.; Edited by Herbert Gross. – WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2007. – ISBN 978-3-527-40379-0.
- Choi T. J. et al. An adaptive Cauchy differential evolution algorithm for global numerical optimization / Choi T. J., Ahn C. W., An J. // The Scientific World Journal. – 2013. – Vol. 2013. – Article ID 969734, 12 pages. – DOI 10.1155/2013/969734.
- 6. Пат. 5668669 Японія, G02B 15/14. Compact wide-angle objective lens / Мотоуцкі Онтаке (Япония) ; заявник та патентовласник Nikon Corporation ; заявл. 27.12.93 ; опубл. 16.09.1997. – с. 20.