УДК 681.7.067.2

Смажко І.О., студент гр. ПО-81мп, к.т.н., доц. Сокуренко В.М.
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ПАРАМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ SWIR ОБ'ЄКТИВА

Анотація: В даній роботі здійснено автоматизований синтез оптичної системи шестилінзового об'єктива з фокусною відстанню 100 мм, відносним отвором 1:2 та кутовим полем зору 11,7°, призначеного для функціонування в короткохвильовому інфрачервоному діапазоні SWIR (0,9 – 1,7 мкм). У статті запропоновано методику синтезу нових оптичних систем, на основі сучасного методу глобальної оптимізації – адаптивного методу диференційної еволюції Коші. Наведені результати розрахунку SWIR об'єктива підтверджують відмінну якість виправлення аберацій та результативність запропонованого методу.
Ключові слова: оптична система, об'єктив, модуляційна передавальна функція, глобальна оптимізація, short wave infrared (SWIR).

ВСТУП

На відміну від середньохвильового та довгохвильового інфрачервоного випромінювання, що надходить від самих об'єктів, короткохвильове інфрачервоне (SWIR) випромінювання є більш наближеним до видимого діапазону. В цьому діапазоні можна спостерігати не лише власне, а й відбите випромінювання. Ця властивість дозволяє отримувати зображення з високою роздільною здатністю. Іншою перевагою SWIR приладів є можливість їх використання у нічний час. Завдяки атмосферному явищу світіння нічного неба, утворюється в п'ять-сім разів більше випромінювання, ніж виключно від зірок. Тому SWIR камери разом з нічним світлом дозволяють спостерігати об'єкти з великою чіткістю в безмісячні ночі. Подібна техніка застосовуються в випадках, коли використання приладів видимого випромінювання ускладнене або неможливо. Водяна пара, туман та такі речовини як силікон є прозорими у SWIR діапазоні. Крім того, кольори, які у видимому діапазоні спостерігаються як майже ідентичні, чітко розрізняються в діапазоні SWIR [1].

До недавнього часу комерційно доступні приймачі випромінювання на базі InGaAs мали відносно низьку роздільну здатність (зазвичай, 640x512 пікселів з розміром кожного елемента 30 мкм). Для порівняння, більшість поширених ПЗЗ (CCD) та КМОН (CMOS) приймачів має кількість пікселів в декілька мільйонів. Тому можна вважати, що розробка сенсорів SWIR дуже сильно відстала від їхніх аналогів для видимого діапазону. Тепер сенсори та камери SWIR переходять у фазу швидкого розвитку. На початковій стадії розвитку в фотоапаратах SWIR використовували лінзи, розраховані для видимого діапазону, на які наносилось просвітлююче покриття для мінімізації відбиття в короткохвильовому інфрачервоному діапазоні. Використання таких об'єктивів призводило до отримання знімків низької роздільної здатності з великими значеннями оптичних аберацій. Проте обмежувальним фактором для якості зображення були приймачі, а не лінзи, тому цей вплив не був помітним [2].

Оскільки скло є прозорим для довжин хвиль 0,9…1,7 мкм, то SWIR об'єктиви можуть виготовлятися за тими ж технологіями, які використовуються для компонентів видимого діапазону. Це знижує витрати виробництва та робить можливим використання фільтрів і вікон в рамках однієї системи.

Існуючі підходи до проектування подібних систем ґрунтуються на теорії аберацій 3-го або 5-го порядку [3] або ж на оптимізації готових рішень. Подібні

класичні методики мають ряд недоліків, тому й виникла необхідність в універсальному підході, який не потребував би якісної вихідної системи та досвіду висококваліфікованого розробника.

ЗАПРОПОНОВАНИЙ ПІДХІД ТА ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ

Для синтезу оптичної системи (ОС) об’єктива пропонується використовувати один із сучасних методів глобальної оптимізації (ГО) – адаптивний метод диференційної еволюції Коші [4, 5]. Особливістю цього методу є те, що кожен змінний пошуковий параметр має свої значення параметрів диференційної еволюції. Сутність такого підходу зводиться до того, що на кожній новій ітерації алгоритму його параметри визначаються на основі середніх значень показників, отриманих під час попередніх ітерацій (тобто, фактично ці параметри адаптуються до реальної оціночної функції). Відмінністю цього метода є також те, що нові значення показників генеруються на основі розподілу Коші, який дозволяє отримувати випадкові значення з більшим відхиленням від середніх значень, в порівнянні з гаусоподібним (нормальним) розподілом.

Як приклад для розрахунку було обрано об’єктив OB-SWIR 100 з каталогу компанії Optec [6]. Його оптична система має фокусну відстань 100 мм, кутове поле зору 12°, діафрагмове число F/2. Значення поліхроматичних модуляційних передавальних функцій (МПФ) по всьому полю перевищує 40% для просторової частоти 25 ліній/мм. Об’єктив призначений для роботи у спектральному діапазоні 0,9…1,7 мкм з основною довжиною хвилі 1,2 мкм. Під час його параметричного синтезу було встановлено обмеження на мінімальну та максимальну осьові товщини 2 мм і 7 мм, відповідно, мінімальну товщину на краю – 2 мм та максимальне допустиме значення дисторсії – 0,5%. Оптична схема отриманого об’єктива представлена на рис. 1.

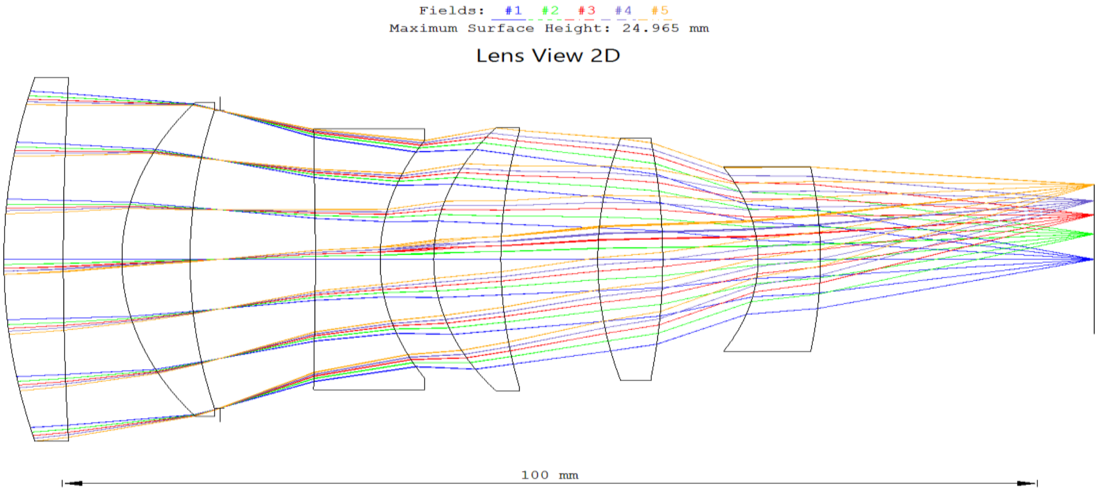

Рисунок 1. Оптична схема з ходом променів розробленого об’єктива для SWIR діапазону

Як видно з рис. 2, максимальне значення середньоквадратичних радіусів світлових плям в поліхроматичному світлі не перевищує 10 мкм.

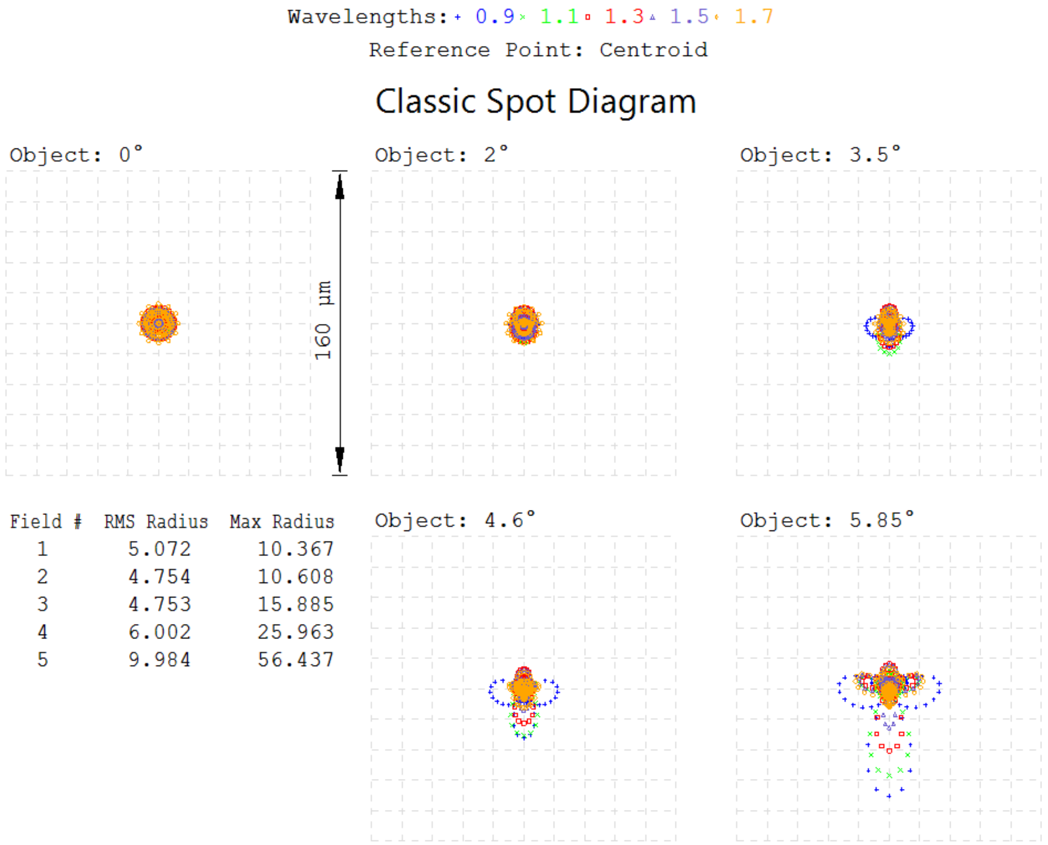

Рисунок 2. Точкові діаграми розробленого об’єктива для SWIR діапазону

Представлені на рис. 3 графіки поліхроматичних МПФ розробленого об’єктива для різних точок поля зору (в центрі, середній зоні та на периферії зображення) свідчить про відмінну якість корекції аберацій. Дисторсія об’єктива не перевищує 0,24 %.

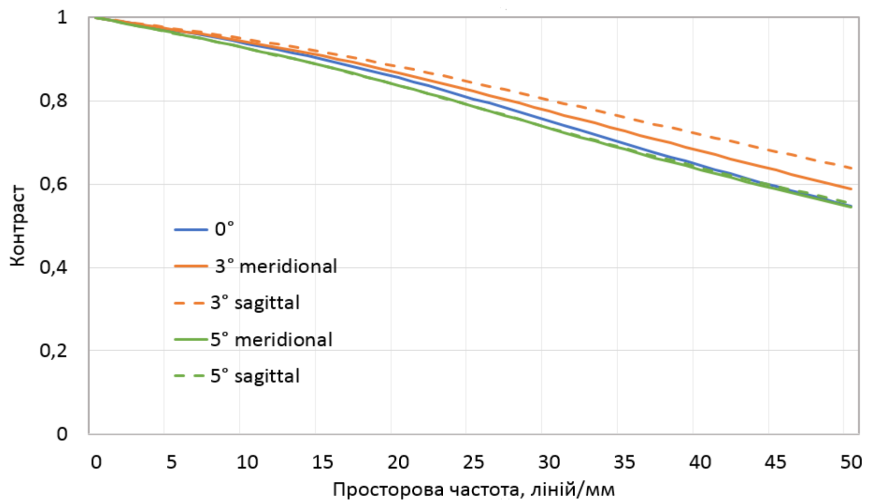

Рисунок 3. Поліхроматичні модуляційні передавальні функції розробленого об’єктива для різних точок поля зору

ВИСНОВКИ

Запропонований підхід, що базується на алгоритмах глобальної оптимізації, дозволяє в автоматизованому режимі розрахувати оптичну систему для SWIR

діапазону відповідно до встановлених конструктором вимог. За якістю зображення розроблений об'єктив не поступається виробам провідних виробників подібної техніки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Птицын А. Что мы видим и что не видим? // Фотоника. – 2015. – №. 3. – С. 142-151.

[2] Gardner M. C. et al. Challenges and solutions for high performance SWIR lens design //Electro-Optical and Infrared Systems: Technology and Applications XIII. – International Society for Optics and Photonics, 2016. – Т. 9987. – С. 99870C.

[3] Handbook of Optical Systems: Vol. 3. Aberration Theory and Correction of Optical Systems. / H. Gross, H. Zugge, M. Peschka, F. Blechinger ; Edited by Herbert Gross. – WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2007. – ISBN 978-3527403790

[4] Choi Tae Jong. An adaptive Cauchy differential evolution algorithm for global numerical optimization / T. J. Choi, C. W. Ahn, J. An // The Scientific World Journal. – 2013. – Vol. 2013. – Article ID 969734, 12 pages. – DOI 10.1155/2013/969734

[5] Choi Tae Jong. An adaptive Cauchy differential evolution algorithm with bias strategy adaptation mechanism for global numerical optimization / T. J. Choi, C. W. Ahn // Journal of Computers. – 2014. – Vol. 9, No 9. – Pp. 2139-2145. – DOI 10.4304/cp.9.9.2139-2145

[6] SWIR catalog 2018 [Електронний ресурс]. // Optec S.P.A. company. – 2019. – Режим доступу: http://www.optec.eu/pdf/ob-swir/catalogo_completo.pdf