

Н.І. Заболотна
С. О. Смоляренко

КОНЦЕПЦІЯ ПОБУДОВИ ЗОБРАЖАЛЬНОГО ФУР'Є-ПОЛЯРИМЕТРА З АВТОМАТИЗОВАНИМ АНАЛІЗОМ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ БІОЛОГІЧНИХ ШАРІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі наведено опис концепції побудови зображального поляриметра на основі статистичного аналізу виміряних високочастотних та низькочастотних розподілів карт азимутів та еліптичностей Фур'є-зображень біологічних шарів. Фур'є-поляриметр доповнено програмним бінарним класифікатором для застосування в біомедичній діагностиці.

Ключові слова: зображальний поляриметр, біологічний шар, фур'є-аналіз, бінарний класифікатор, достовірність діагностики.

Abstract

The article describes the concept of constructing an imaging polarimeter based on statistical analysis of measured high-frequency and low-frequency distributions of azimuth maps and ellipticities of Fourier images of biological layers. The Fourier polarimeter is supplemented with a software binary classifier for use in biomedical diagnostics.

Keywords: imaging polarimeter, biological layer, Fourier analysis, binary classifier, diagnostic reliability.

Вступ

Пошук нових діагностичних ознак у межах лазерної поляриметрії, здатних відображати оптико-анізотропну структуру біологічних тканин (БТ) і біологічних рідин (БР), стимулює подальше дослідження методів аналізу виміряних поляризаційних параметрів. Так, використання Фур'є-аналізу для просторово-частотної обробки мікроскопічних поляризаційних зображень біологічних шарів, реалізоване в оптичному режимі далекої зони дифракції, дало змогу виявити нові діагностичні показники — високочастотні та низькочастотні компоненти азимутів і еліптичностей оптичного поля або мюллер-матричних зображень (ММЗ) [1, 2].

Крім того, у роботах [1, 2] показано, що за допомогою лазерного Фур'є-поляриметра можна визначати такі азимути, еліптичності вихідного поля та елементи ММЗ, які залишаються азимутально інваріантними під час обертання зразків БТ відносно лазерного променя. Цей ефект, разом із застосуванням методів статистичного аналізу до поляризаційних даних, підвищує точність і надійність медичної діагностики в подібних системах.

Водночас у сучасній медицині активно впроваджуються методи машинного навчання та інтелектуального аналізу даних [3–5], що істотно покращують якість діагностичних рішень.

Основним недоліком лазерного поляриметра з Фур'є-аналізом, який використовується для дослідження БТ і БР, є обмеженість його функцій через відсутність можливості автоматичного формування діагностичного рішення на основі виміряних різночастотних компонент карт азимутів, еліптичностей і матриць Мюллера. Крім того, для підвищення достовірності діагностики важливо враховувати незалежність обраних параметрів від орієнтації об'єкта щодо джерела випромінення.

Метою дослідження є розширення функціональних можливостей лазерного поляриметра з Фур'є-аналізом для медичної діагностики біологічних тканин шляхом інтеграції методів інтелектуального прийняття рішень.

Результати дослідження

Розроблено схему структурну автоматизованого Фур'є-поляриметра, яка містить вимірювальний канал, блок керування та програмно-апаратний блок на основі методів аналізу зображень та їх класифікації в залежності від досліджуваної патології біологічних тканин.

Основна функція вимірювального каналу полягає в забезпеченні вимірювання різночастотних складових (низькочастотних та високочастотних) азимутально незалежних розподілів азимутів та еліптичностей поляризаційних зображень досліджуваного біологічного шару при діагностиці норми та патології. Основними блоками вимірювального каналу є такі: блок лазерного джерела опромінення, генератор поляризаційних станів (при умові формування циркулярно поляризованого стану опромінюючого лазерного пучка для забезпечення азимутальної інваріантності результатів його розсіювання), предметний столик з досліджуваним біологічним шаром, проєкційний оптичний блок для реалізації прямого перетворення Фур'є, блок-просторово-частотної фільтрації, проєкційний оптичний блок зворотного перетворення Фур'є, блок поляризаційного аналізу, відео-камера для реєстрації зображення.

В процесі вимірювань реалізовано метод просторово-частотної фільтрації поляризаційних зображень азимутів та еліптичностей поляризації досліджуваних біологічних шарів, які мають азимутальну незалежність від положення опромінюючого пучка [3].

Концепція діагностики базується на проведенні комп'ютерного аналізу отриманих низькочастотних і високочастотних складових азимутально інваріантних мап, за допомогою якого формується вектор ознак для подальшої бінарної класифікації отриманих зображень.

Розглянуто варіанти побудови бінарного класифікатора на основі нейромережевого підходу та KNN алгоритму, що дасть змогу підвищити достовірність прийнятого рішення в процесі діагностики патології за допомогою даного Фур'є-поляриметра.

Висновки

Продемонстровано перспективи концепції побудови лазерного зображувального поляриметра з апаратно реалізованим Фур'є аналізом, який забезпечує отримання нових інформативних високочастотних та низькочастотних складових азимутально інваріантних мап азимутів та еліптичностей поляризаційних зображень біологічних шарів. Їх статистичне оброблення дозволяє отримати вектор інформативних ознак для подальшої бінарної класифікації досліджуваних зразків при діагностиці патології.

Застосування технологій штучного інтелекту для класифікації є одним із можливих чинників подальшого підвищення достовірності поляризаційної діагностики біологічних тканин та рідин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Karachevtsev A.O. Fourier Stokes-polarimetry of biological layers polycrystalline networks . *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*. 2012. Vol. 15, № 3. P. 252-268.
2. Карачевцев А. О. Фур'є-стоксполариметрія полів лінійно та циркулярно двоприменозломлюючих протеїнових мереж : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. фіз.-мат. наук : спец. 01.04.05 "Оптика, лазерна фізика", Чернівці, 2012. 20 с.
3. System of polarization mapping and intellectual analysis of Mueller matrix invariants of biological layers in the assessment of pathologies / N. Zabolotna, V. Sholota, S. Zhmagulova et al. *Proceedings of SPIE*. 2023. 12985, 129850Q.
4. Заболотна, Н.І., Шолота, В.В. Метод та підсистема підтримки прийняття рішення для мюллер-матричної лазерної поляризаційної діагностики біологічних тканин. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. 2022. 1(43) С. 43–52 <https://doi.org/10.31649/1681-7893-2022-43-1-43-52>.
5. Шолота В.В. Аналіз методів підтримки прийняття рішень в системах поляризаційної інтроскопії біологічних тканин та рідин. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. 2025. № 1. С. 185-192.

Заболотна Наталія Іванівна - д.т.н., доцент, професор кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна, E-mail: Natalia.zabolotna@gmail.com

Смоляренко Сергій — студент групи ЛТО-24м, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, місто Вінниця, serhiy.19.09.qwerty@gmail.com

Nataliia I. Zabolotna, D.Sc., Professor of the Department of Biomedical Engineering and Optical-Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, 95 Khmelnytske Shose, Vinnytsia, Ukraine, e-mail: Natalia.zabolotna@gmail.com

Smolyarenko Serhiy - student of group LTO-24b, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia city, serhiy.19.09.qwerty@gmail.com