УДК 681.7:616-17

В.В. Шолота

МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОЇ ДЖОНС-МАТРИЧНОЇ ІНТРОСКОПІЇ ДЕГІДРАТОВАНИХ ПЛІВОК БІОЛОГІЧНИХ РІДИН ПРИ ОЦІНЮВАННІ ПАТОЛОГІЙ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано використання мультифрактальної Джонс-матричної інтроскопії дегідратованих плівок біологічних рідин для підвищення точності діагностики при оцінюванні патології. Описано доцільність розширення багатопараметричного аналізу дійсної та явної частини матриць Джонса плівок біологічних рідин вейвлет-перетворенням та мультифрактальним аналізом при визначенні маркерів патологій органів людини.

Ключові слова: методи оцінювання патологій, дегідратовані плівки біологічних рідин, Джонс-матрична інтроскопія, фрактальний аналіз, мультифрактал, вейвлет-аналіз.

Abstract

The use of multifractal Jones matrix introscopy of dehydrated films of biological fluids is proposed to increase the accuracy of diagnostics in the assessment of pathology. The feasibility of expanding the multiparametric analysis of the real and apparent parts of Jones matrices of biological fluid films by wavelet transform and multifractal analysis in determining markers of human organ pathologies is described.

Keywords: methods for assessing pathologies, dehydrated films of biological fluids, Jones matrix introscopy, fractal analysis, multifractal, wavelet analysis.

Вступ

На сучасному етапі розвитку медицини загальновизнаною є важливість профілактики та ранньої діагностики патологічних станів організму людини. Зокрема, високу актуальність мають скринінги, що дозволяють охопити широке коло пацієнтів.

Поляризаційні методи діагностики гістологічних зрізів біологічних шарів характеризуються високою достовірністю, проте вимагають забору зразка шляхом біопсії. Ця діагностична процедура є доцільною при наявності підозри на онкопатологію, тощо, проте не використовується під час профілактичних скринінгів за рахунок своєї складності, впливу на якість життя хворого та можливі ускладнення.

Таким чином, для обстеження великої кількості пацієнтів з мінімізацією незручностей та ризиків для здоров'я, доцільним є дослідження дегідратованих плівок біологічних рідин (БР), зокрема плівок плазми крові, тощо. Забір таких зразків є безпечнішим для людини, швидшим та дешевшим, що також впливає на доступність технології діагностики. Крім того, встановлено, що зміна анізотропних характеристик плівок біологічних рідин узгоджується з морфологічними змінами в біологічних тканинах внутрішніх органів людини.

Існує ряд методів оцінювання поляризаційних та анізотропних характеристик дегідратованих плівок БР, серед яких вагому нішу займають методи, основані на Мюллер-матричній та Джонс-матричній поляриметрії [1-3]. Важливим аспектом їх покращення є підвищення достовірності діагностики різноманітних патологій.

Метою даної роботи є удосконалення методу Джонс-матричної інтроскопії шляхом застосування багатопараметричного аналізу, розширеного фрактальним і вейвлет-підходом, для підвищення достовірності оцінювання патологій.

Результати дослідження

На відміну від Мюллер-матричного підходу, що працює в тому числі для частково поляризованого світла, матриці Джонса доцільні при мінімізації втрат або в тому випадку, якщо необхідно враховувати інтерференційний ефект. Таким чином, доцільно використовувати їх для оптично тонких зразків, що не поглинають сигнал, зокрема для дегідратованих плівок БР.

Основне рівняння перетворення поляризованого пучка задають так:

$$E_2 = J_{2\times 2} E_1, \tag{1}$$

де E_1 – вхідний вектор Максвелла, E_2 – вихідний вектор Максвелла, $J_{2\times 2}$ – матриця Джонса, що містить чотири інформативних елементи, заданих комплексними числами. Матрицю Джонса можна переписати у експоненційній формі, де вказані амплітуди R_{ij} та відповідні фази θ_{ij} елементів:

$$J = \begin{bmatrix} R_{11}e^{i\theta_{11}} & R_{12}e^{i\theta_{12}} \\ R_{21}e^{i\theta_{21}} & R_{22}e^{i\theta_{22}} \end{bmatrix} \tag{2}$$

Для вимірювання матриць Джонса в системі лазерної поляриметрії застосовується відома експериментальна методика, що базується на стовпчиках Максвелла, елементи яких визначають амплітуди та фази поперечних компонент електричного вектора, описана детально, наприклад, в статті [4].

Пучки поляризаційного лазерного випромінювання пропускають крізь поляризаційні і фазові пластинки блоку опромінення та блоку аналізу системи лазерної поляриметрії. Потім вимірюють інтенсивності пучка на виході кожного елемента, осі яких розташовані під різними кутами до осі Ox. На цій основі шляхом алгоритмічного оброблення знаходять амплітуди R_{ij} та фази θ_{ij} матриці Джонса.

У відомих методах Джонс-матричної інтроскопії дегідратованих плівок БР проводять статистичний і кореляційний аналіз та визначення спектрів потужності з метою виявлення маркерів патологічних процесів внутрішніх органів людини.

Для підвищення точності діагностики пропонується доповнення багатопараметричного аналізу вейвлет-аналізом отриманих розподілів дійсних та уявних частин матриці Джонса.

Вейвлет-перетворення називають «математичним мікроскопом» за його здатність виявляти низькочастотні та високочастотні характеристики сигналу на різних масштабах. Результатом вейвлет-перетворення одновимірного масиву є двовимірний масив амплітуд, який також можна візуалізувати у вигляді зображення.

Вейвлет-перетворення значень вейвлет-коефіцієнтів a і b можна подати таким чином:

$$w(a,b) = \frac{1}{|a|^{\frac{1}{2}}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\Psi\left(\frac{t-b}{a}\right)dt, \tag{3}$$

де f(t) – функція досліджуваного сигналу, a – масштаб вейвлет-функції, який відбирається так, щоб охопити увесь діапазон зміни геометричних розмірів кристалів досліджуваної БР, b – зміщення.

В удосконаленому методі пропонується застосування фрактального підходу [5] до оцінювання ступеня самоподібності вейвлет-коефіцієнтів дійсної та уявної частин Джонс-матричних елементів. Математично ступінь фрактальності оцінюється за спектром потужності вказаних розподілів. В результаті буде отримано фрактальну розмірність або кілька значень фрактальних коефіцієнтів у тому випадку, якщо досліджуваний масив є сумішшю різних фракталів.

Отримана додаткова інформація про структуру вейвлет-коефіцієнтів Джонс-матричних елементів дозволить підвищити точність оцінювання патологічних станів.

Висновки

За результатами аналізу сучасного рівня діагностики за допомогою методів поляризаційної інтроскопії було визначено, що задача підвищення точності оцінювання патологічних станів на основі мультифрактального аналізу матриць Джонса дегідратованих плівок БР є актуальною. Для її реалізації запропоновано отримання нових інформативних параметрів шляхом застосування фрактального підходу при оцінюванні ступеню самоподібності вейвлет-коефіцієнтів Джонс-матричних елементів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Zabolotna N., Sholota V., Okarskyi H. Methods and systems of polarization reproduction and analysis of the biological layers structure in the diagnosis of pathologies. Proceedings of SPIE. 2020. Vol. 11369. 113691S. P. 501-513.
2. Ushenko O., Soltys I., Dubolazov O., Pavlov S. at al. Methods and means of laser layer Jones matrix mapping of polycrystalline films of biological fluids. *Informatyka Automatica Pomiary w Gospodance i Ochronie Sdorowiska.* 2025. №15 (3). P. 33-37.
3. Шолота В.В. Аналіз методів та біомедичних систем поляризаційної інтроскопії дегідратованих плівок біологічних рідин. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. 2025. №1. С. 269–276.
4. Zabolotna N.I., Sholota V.V. Laser system for mapping and classification of 2-D Jones-matrix elements in the diagnosis of intestinal parenchymal tissues. *Proc. of SPIE.* Vol. 14009.
5. Ushenko A. Pavlyukovich N., Khukhlina O. at al. Blood Plasma Film Multifractal Scanning in COVID-19 Consequences Diagnostics. *Journal of Biophotonics*. 2024. V. 17. № 11. P. e202400356. https://doi.org/10.1002/jbio.202400356

Шолота Владислава Владиславівна — асистент кафедри комп'ютерних наук, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: lada.sholota@vntu.edu.ua

Sholota Vladyslava V. — assistant of the Department of Computer Science, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: lada.sholota@vntu.edu.ua