

КЛАСИФІКАЦІЯ МЮЛЛЕР-МАТРИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДВОКОМПОНЕНТНИХ БІОЛОГІЧНИХ СТРУКТУР В СИСТЕМІ ЛАЗЕРНОЇ ПОЛЯРИМЕТРІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Покращено діагностичну достовірність лазерної поляриметричної діагностики двокомпонентної біологічної тканини. Показано застосування бінарної класифікації на основі нечіткої логіки до вектора інформативних ознак виміряних мюллер-матричних зображень двокомпонентної біологічної тканини.

Ключові слова: система лазерної поляриметрії, двокомпонентна біологічна структура, класифікація.

Abstract

The diagnostic reliability of laser polarimetric diagnostics of two-component biological tissues has been improved. The application of binary classification based on fuzzy logic to the vector of informative features of measured Muller matrix images of two-component biological tissues has been demonstrated.

Keywords: laser polarimetry system, two-component biological structure, classification

Вступ

Одним із методів сучасної оптичної діагностики оптико-анізотропних біологічних тканин (БТ) є метод лазерної мюллер-поляриметрії. Серед його переваг виділимо високу достовірність оцінювання патологічних станів оптично тонких біологічних шарів (БШ), обумовлену вищою чутливістю та точністю у порівнянні з класичними методами, заснованими на вимірюванні інтенсивностей перетвореного випромінювання. Актуальним на шляху розширення арсеналу діагностичних методик, які базуються на механізмах оптичної анізотропії БШ, є дослідження реальних багатошарових БТ. Моделювання та кількісний аналіз мюллер-матричних зображень (ММЗ) двошарових оптично тонких БТ показали наявність критеріїв діагностики патологічних станів різних типів БТ, підтверджених експериментальними результатами [1, 2]. Проте відсутні системи мюллер-поляриметрії, в яких здійснюється класифікація двокомпонентних оптично тонких БШ при оцінюванні їх станів норми та патології, що створює обмеження для покращення діагностичної достовірності БТ в системі.

Метою даної роботи є підвищення достовірності діагностики двокомпонентних оптично тонких біологічних структур в системі мюллер-поляриметричної діагностики БТ за рахунок проведення бінарної класифікації виміряних матриць Мюллера двокомпонентних БТ.

Результати дослідження

Для досягнення поставленої мети було удосконалено архітектуру системи мюллер-поляриметричної діагностики двокомпонентних БТ [3, 4] шляхом введення блоку класифікаційного аналізу ММЗ двокомпонентних двошарових БТ на основі моделей виведених нечітких правил.

Вимірювальний канал системи побудовано за класичною схемою зображувального мюллер-поляриметра [4], що містить лазер, генератор та аналізатор поляризаційних станів, проекційну оптику та камеру. В результаті вимірюно набір із 16 ММЗ двокомпонентної біологічної структури (наприклад, «м'язова тканина – сполучна тканина» з коефіцієнтом оптичної товщини 0,1).

Алгоритм статистичного та кореляційного аналізу ММЗ Z_{ij} наведено на рисунку 1, де маємо такі позначення: M_1, D, AX, DX - статистичні моменти досліджуваного ММЗ з 1-го по 4-й порядок; $QM_1 - QM_4$ - кореляційні моменти ММЗ з 1-го по 4-й порядок.

На рисунку 1 показано функції пакету прикладних програм MATLAB, які застосовано для визначення вектора ознак, що складається із восьми елементів $v = [M1, D, Ax, Ex, QM1, QM2, QM3, QM4]$.

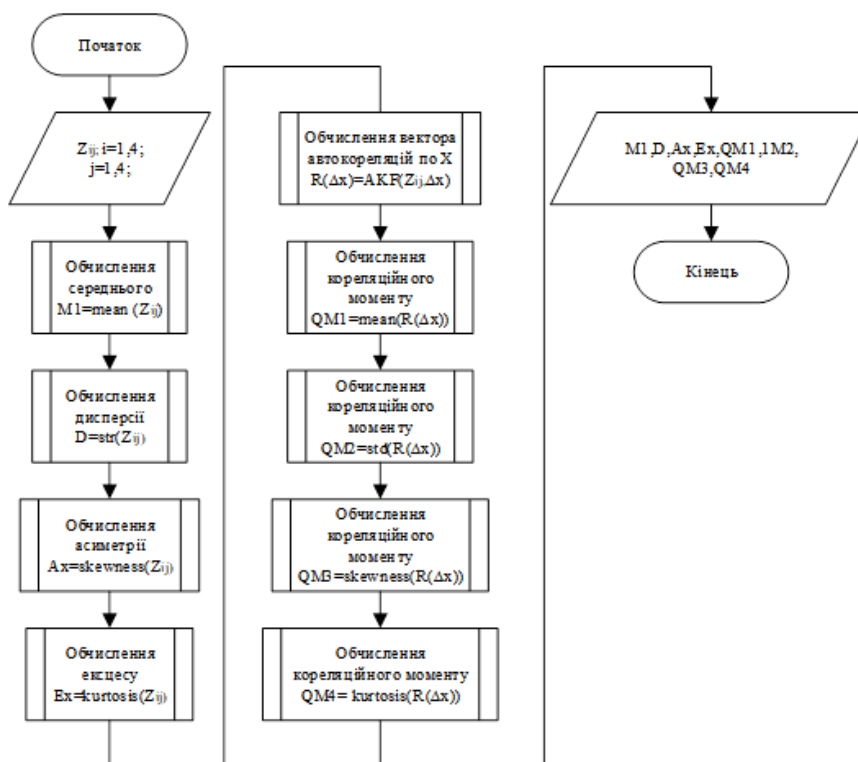


Рисунок 1 – Алгоритм статистичного та кореляційного аналізу ММЗ

Було розроблено вирішальні правила бінарної класифікації стану двокомпонентних двошарових БТ в системі, в яких вектор ознак є фактично аргументом. Вирішальні правила побудовано за принципами нечіткої логіки. Для зразка обчислюють функції належності до класів «норма» та «патологія» $\mu_{norm}(M1, D, Ax, Ex, QM1, QM2, QM3, QM4)$ та $\mu_{pathol}(M1, D, Ax, Ex, QM1, QM2, QM3, QM4)$ відповідно за моделями «нечітких» вирішальних правил.

Діагноз, який рекомендовано за результатами класифікації, формується так: якщо $\mu_{norm}(v) \geq \mu_{pathol}(v)$, то діагноз є «норма», якщо $\mu_{norm}(v) \leq \mu_{pathol}(v)$, то діагноз є «патологія».

Було розроблено клієнт-серверну підсистеми з прийняттям нечіткого рішення для системи лазерної поляриметричної діагностики.

В результаті проведення експериментального тестування удосконаленої системи на 42 зразках (50% зразків двокомпонентних БТ м'язу шийки матки – «норма», інших 50% зразків – «патологія») було отримано такі показники: достовірність 85,7% для діагностики за орієнтаційними ММЗ; достовірність 92,8% для діагностики за фазовими ММЗ.

Висновки

Експериментально підтверджена можливість підвищення діагностичної достовірності лазерної поляриметричної діагностики БТ шляхом вимірювання та нечіткої класифікації матриць Мюллера двокомпонентних оптично тонких біологічних структур відповідно до станів норми та патології.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Моделювання та аналіз Мюллер-матричних зображень багатошарових полікристалічних мереж з детермінованими розподілами орієнтацій них та фазових параметрів / Н.І. Заболотна, В.В. Шолота, Ю.Ю. Левандовська [та ін.]. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. 2011. №1(21). С. 82 – 92.
2. 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.
3. Заболотна Н.І., Шолота В.В., Масловський В.Ю., Жумагулова Ш. Нечіткі моделі прийняття рішення при лазерній поляризаційно інваріантній діагностиці ішемії міокарда. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. 2023. №1. С. 97–105.
4. Zabolotna N.I., Sholota V.V. Polarimetric system of mueller-matrix diagnostics of two-component biological structures with decision-making support. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. 2024. №1, с. 120–127.

Заболотна Наталія Іванівна — д.т.н, доцент, професор кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, natalia.zabolotna@vntu.edu.ua

Рачинський Дмитро Леонідович – студент групи ЛТО-24 м, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, місто Вінниця, e-mail: rachinskiydim2016@gmail.com

Zabolotna Natalia I. - Professor of the Department of Biomedical Engineering and Optoelectronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, E-mail: natalia.zabolotna@vntu.edu.ua

Rachynskyi Dmytro L. - student of group LTO, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia city, email: rachinskiydim2016@gmail.com