

МЕТОД ТА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА ДВОХВИЛЬНОЇ ПОЛЯРИМЕТРИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ БІОЛОГІЧНИХ ШАРІВ ЗА АНАЛІЗОМ ЇХ ФАЗОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розроблено метод та комп'ютеризовану систему двохвильової поляриметричної діагностики зрізів біологічних тканин на основі прямого вимірювання фазового параметру анізотропії їх структури з подальшим аналізом та підсистемою прийняття рішення.

Ключові слова: комп'ютеризована система, двохвильова поляриметрична діагностика, підтримка прийняття рішень, фазові зображення, інформативні ознаки, нечітка логіка, біологічні тканини.

Abstract

A method and computerized system of two-wave polarimetric diagnostics of sections of biological tissues on the basis of direct measurement of the phase parameter of anisotropy of their structure with the subsequent analysis and decision-making subsystem are developed.

Keywords: computerized system, two-wave polarimetric diagnostics, decision support, phase images, informative features, fuzzy logic, biological tissues.

Вступ

За результатами аналізу відомих методів та систем оцінювання змін параметрів оптичної анізотропії оптично тонких біологічних шарів (БШ) [1-3], обумовлених патологічними станами, обґрунтована доцільність удосконалення існуючих прямих методів вимірювання та аналізу фазових параметрів БШ для подальшого підвищення достовірності діагностики в системах лазерної зображальної поляриметрії на їх основі.

Основними підходами для реалізації цього слугують: забезпечення можливості вимірювання розподілів фазових параметрів (фазових зображень) БШ на двох довжинах хвиль; розвиток методів комп'ютерного аналізу фазових зображень БШ із збільшенням кількості інформативних ознак для подальшого оцінювання патологій; запровадження моделей підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності закону розподілу елементів вимірюваних параметрів.

Метою роботи є підвищення достовірності оцінювання патологічних змін БШ в системі поляриметричної діагностики на основі проведення прямих вимірювань двовимірних розподілів фазових параметрів структури БШ та їх комп'ютерного аналізу на двох довжинах хвиль із формуванням вирішального правила прийняття рішення.

Результати дослідження

На основі відомих теоретичних положень однохвильового методу прямого відтворення та аналізу фазової мікроструктури оптичного тонкого зрізу БТ [3] та враховуючи чутливість цього параметру до лазерного випромінювання на двох довжинах хвиль 632 нм та 450 нм в системі лазерної поляриметрії БШ, розроблено двохвильовий метод оцінювання змін фазової мікроструктурної анізотропії зрізів біологічних тканин, обумовлених патологічними станами.

Нижченаведені кроки складають суть розробленого методу.

1. Почергово опромінюють оптично тонкий зріз біологічного шару лазерним пучком напівпровідникових лазерів з поляризацією «права циркуляція» на двох довжинах хвиль, відповідно 0,632 мкм і 0,450 мкм, та проєкціюють розсіяне біологічним шаром поляризоване випромінювання в площину фотокамери із формуванням відповідних зображень на двох зазначених довжинах хвиль.

2. Здійснюють поляризаційну фазову фільтрацію утворених зображень, зафіксованих на двох до-

вжинах хвиль, за допомогою поляризаційного фільтра «ліва циркуляція».

3. Реєструють за допомогою фотокамери поляризаційно відфільтровані інтенсивності двох зображень, зафіксовані на довжинах хвиль 0,632 мкм і 0,450 мкм, за координатним розподілом цих інтенсивностей алгоритмічно визначають відтворену фазову мапу зрізу БШ:

4. Проводять на двох довжинах хвиль статистичний та кроскореляційний аналіз відтворених фазових мап зрізів БШ для визначення інформативних параметрів подальшої диференціації їх змін, обумовлених патологіями, на основі яких формують автоматично прийняте рішення при діагностиці.

Розроблено архітектуру системи для реалізації запропонованого метода. Блок опромінення системи містить два напівпровідникових лазера, які працюють по чергово на двох довжинах хвиль 632 нм і 450 нм. Вимірювальний канал складається із: фазового поляризаційного правоциркулярного фільтра, який побудований на поляризаторі П1 і фазовій пластинці ФП1; фазового поляризаційного лівоциркулярного фільтра, побудованого на поляризаторі-аналізаторі А та фазовій пластинці ФП2; об'єктного блоку для розміщення зразка БТ; проєкційного блоку у вигляді об'єктива; цифрової камери. Блок керування здійснює свою функцію керування через чотири крокових двигуни, які дозволяють встановити кути поворотів поляризаторів П1, П2 та фазових пластинок ФП1 та ФП2.

Особливістю комп'ютерного блоку даної системи є наявність блоку алгоритмічного визначення фазових зображень, блоку аналізу для визначення інформативних параметрів та підсистеми підтримки прийняття рішень.

Для формування правоциркулярного поляризованого випромінювання лінійно поляризований пучок пропускають спочатку через поляризатор П, що має кут площини пропускання θ , потім через чвертьхвильову пластинку ФП1, швидка вісь якої нахилена під кутом $(45 + \theta)$ відносно площини пропускання поляризатора. Таким випромінюванням опромінюємо зріз БТ, розміщений в об'єктному блоці, розсіяне випромінювання з якого через проєкційний блок поступає на лівоциркулярний фільтр. Швидка вісь фазової чвертьхвильової пластинки ФП2 лівоциркулярного фільтра розташовується під кутом 135° до поляризатора-аналізатора П2.

Запис отриманої інтенсивності відфільтрованого зображення здійснюється камерою і пов'язується із фазовим зсувом формульною залежністю, реалізованою відповідним блоком комп'ютерного аналізу

$$\delta^\lambda(x, y) = \arccos \sqrt{I^{(\lambda)}(x, y)},$$

де λ – робоча довжина хвилі, що обирається із ряду $\lambda_1 = 632$ нм; $\lambda_2 = 450$ нм.

Комп'ютерний аналіз отриманих фазових зображень БШ здійснюється на основі статистичного та кореляційного аналізу, в результаті якого формуються інформативні ознаки фазових зображень БШ у вигляді оцінок статистичних моментів 1-4-го порядку та оцінок кореляційних моментів 1-4 –го порядків. За встановленими інформативними ознаками та принципами «нечіткої» логіки [4-6] була побудована підсистема підтримки прийняття рішень в автоматизованій системі двоххвильової поляриметричної діагностики біологічних шарів.

Для визначення достовірності діагностики конкретного типу захворювання за допомогою даної системи було досліджено препарати у вигляді заморожених нативних гістологічних зрізів шийки матки двох груп: 21 зразок зі станом «норма» та 21 зразок зі станом «патологія» (рак шийки матки). Для методів прямого вимірювання фазових параметрів БШ маємо підвищення достовірності з 89,5% для аналога до значень достовірності діагностики БШ за допомогою розробленої системи 95,2% при довжинах хвиль 0,632 мкм та при 0,450 мкм.

Висновки

При застосуванні метода та системи поляриметричної діагностики за фазовими зображеннями БШ, виміряними прямим методом на довжинах хвиль 0,632 мкм і 0,450 мкм, було підвищено достовірність діагностування гістологічних зрізів БТ на 10,3% при застосуванні комп'ютерного аналізу фазових зображень на основі статистичного та кореляційного підходів, а також побудові вирішального правила за принципами «нечіткої» логіки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Методи і засоби поляризаційної поляриметрії біологічних тканин: монографія / [О.Г. Ушенко, С.В. Павлов, Н.І. Заболотна та ін.]; за ред. О. Ушенка. – Вінниця: ПП «ТД «Едельвейс і К», 2019. – 269 с.
2. Zabolotna N.I. Methods and systems of polarization reproduction and analysis of the biological layers structure in the diagnosis of pathologies / N.I. Zabolotna, V. V. Sholota, H. H. Okarskyi // Proc. SPIE. – 2020. – Vol. 11369 - 113691S;P. 501-513.
3. Zabolotna N.I. System of polarization phasometry of polycrystalline blood plasma networks in mammary gland pathology diagnostics / N.I. Zabolotna, B.P. Oliinychenko, K.O. Radchenko, A.K. Krasnoshchoka, O.K. Shcherba // Proc. of SPIE. – 2015. – Vol. 9613. – 961311; doi: 10.1117/12.2187383.
4. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений / Заде Л. - М.: Мир. 1976. -167 с.
5. Ротштейн А.П. Медицинская диагностика на нечеткой логике / Ротштейн А.П. - Винница: Контигент, 1996. - 132 с.
6. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети / Ротштейн А.П. -Винница: Универсум - Винница, 1999. - 320 с.

Заболотна Наталія Іванівна – завідувач кафедри лазерної та оптикоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, E-mail: natalia.zabolotna@gmail.com

Окарський Георгій Геннадійович — магістр, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, E-mail: georgiy.okarskiy@gmail.com

Zabolotna Natalia I. - Head of the Department of Laser and Optoelectronic Technology, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, E-mail: natalia.zabolotna@gmail.com

Okarskyi H.H. — master, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, E-mail: georgiy.okarskiy@gmail.com