

МЕТОД ТА АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДВОХВИЛЬОВОЇ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОЇ ДІАГНОСТИКИ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН ЗА АНАЛІЗОМ ЇХ ОРІЄНТАЦІЙНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розроблено метод та систему поляризаційної діагностики біологічних тканин на двох довжинах хвиль 632 нм і 450 нм на основі вимірювання двовимірних розподілів орієнтації фібрил біологічних тканин та їх інтелектуальному аналізу.

Ключові слова: метод та автоматизована система, двохвильова поляризаційна діагностика, орієнтаційні зображення, інформативні ознаки, біологічні тканини, інтелектуальний аналіз даних.

Abstract

A method and system for polarization diagnostics of biological tissues at two wavelengths of 632 nm and 450 nm based on the measurement of two-dimensional distributions of the orientation of fibrils of biological tissues and their intellectual analysis have been developed.

Keywords: method and automated system, two-wave polarization diagnostics, orientation images, informative features, biological tissues, data mining.

Вступ

На сьогоднішній день поєднання методів та засобів лазерної поляриметрії із сучасними інформаційними технологіями створює перспективи для ранньої експресної діагностики гістологічних зрізів біологічних тканин (БТ) та рідин. Прямі методи та системи вимірювання та аналізу параметрів оптичної анізотропії БТ [1-3], до яких відносять, зокрема, орієнтацію укладання фібрил зразків БТ (ρ), що функціонують на довжині хвилі 632 нм, дозволяють отримати достовірність диференціації структури БТ типу «норма» - «патологія» на рівні 83,7%. Це відповідає «хорошому» якісному рівню оцінки методу діагностування. Для покращення цього показника доцільним є отримання більше інформації про досліджуваний зріз БТ за рахунок здійснення прямих вимірювань орієнтаційних параметрів на двох довжинах хвиль, а також проведення їх інтелектуального аналізу із автоматичним формуванням прийнятого рішення про результати діагностики.

Метою роботи є підвищення достовірності поляризаційної діагностики БТ на основі аналізу орієнтаційних зображень, виміряних в системі прямого відтворення орієнтаційних параметрів структури БТ, на двох довжинах хвиль, та їх інтелектуального аналізу із формуванням вирішального правила прийняття рішення.

Результати дослідження

Опираючись на відомі теоретичні засади однохвильового методу прямого відтворення та аналізу орієнтаційної мікроструктури оптичного тонкого зрізу БТ [1-3] та враховуючи чутливість поля лазерного поляризаційного випромінювання діапазону довжин хвиль 632 - 450 нм, розсіяного зразком, до змін орієнтації фібрилярних волокон зрізів БТ, обумовлених патологічними станами, розроблено двохвильовий метод оцінювання змін орієнтаційної мікроструктурної анізотропії зрізів БТ, обумовлених патологічними станами.

Розроблений метод містить таку послідовність дій.

1. Почергово опромінюють оптично тонкий зріз біологічного шару серіями лінійно поляризованих пучків напівпровідникових лазерів на двох довжинах хвиль відповідно 0,632 мкм і 0,450 мкм, які

характеризуються покроковим змінюванням азимутів α поляризації в діапазоні від 0 до π .

2. Здійснюють на кожному кроці поляризаційну фільтрацію серії пропущених через зріз БШ пучків напівпровідникових лазерів на двох довжинах хвиль за допомогою ортогонально орієнтованих поляризатора та аналізатора, що на кожному кроці синхронно обертаються на кут, рівний поточному значенню азимута α поляризації.

3. Реєструють за допомогою камери серії поляризаційно відфільтрованих інтенсивностей зображень $I^\alpha(X, Y)$, отриманих для кожного азимуту поляризації α на двох довжинах хвиль, за якими одержують алгоритмічно серії координатних розподілів $\rho(X, Y)$ орієнтацій оптичних осей полікристалічної мережі БШ, виходячи із умови: якщо інтенсивність світла будь-якого пікселя зазначеного зображення з координатами (x, y) є нульовою $I^\alpha(x, y) = 0$, то у відповідній точці зрізу біологічного шару орієнтація оптичної осі збігається із азимутом поляризації опромінюючого пучка $\rho^\alpha(x, y) = \alpha$.

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

Для реалізації двоххвильового методу оцінювання змін орієнтаційної мікроструктурної анізотропії зрізів БТ на основі прямого вимірювання та аналізу орієнтаційних мап була розроблена архітектура системи. Схема містить автоматизований оптико-електронний вимірювальний канал, який зв'язаний з комп'ютерною підсистемою збереження, аналізу та прийняття рішення, керування якими здійснює блок керування.

Вимірювальний канал містить два напівпровідникові лазери, що випромінюють поляризовані пучки на довжинах хвиль 632 нм та 450 нм відповідно з низькою когерентністю, які через світлооб'єднувач та коліматор утворюють блок опромінення. Для формування лінійно поляризованого пучка із змінним азимутом поляризації в схемі міститься фазова чвертьхвильова пластинка з віссю швидкого обертання, розташованою під кутом 45° , разом із послідовно розташованим за нею поляризатором П. Покрокове змінювання азимуту лінійно поляризованого лазерного пучка відбувається в діапазоні від 0 до π , керування цим процесом здійснює блок керування через кроковий двигун 1. Отже, лазерний пучок вказаного типу поляризації та обраної довжини хвилі пропускають через приготвлений на склі досліджуваний зразок, розташований в об'єктному блоці. Розсіяне зразком поляризаційне випромінювання через проєкційний блок потрапляє на поляризатор, вісь якого розташована ортогонально до поляризатора. Блок керування через кроковий двигун здійснює управління поворотом осі аналізатора, синхронно з поворотом осі поляризатора на деякий кут α .

Вимірювальний канал також містить світлочутливу камеру, яка реєструє випромінювання, утворене на виході поляризаційного фільтра «поляризатор-схрещений аналізатор», які обертаються одночасно на однаковий кут α .

Тоді можливою є ситуація, коли значення цього азимуту поляризації в точці (x, y) на виході поляризаційного фільтра на обраній довжині хвилі $\lambda_1 = 632$ нм або $\lambda_2 = 450$ нм

$$\alpha(\lambda) = \alpha(\lambda) + 90^\circ$$

буде співпадати з кутом орієнтації осі $\rho^{(x,y)}(\lambda)$ фібрили зрізу БТ

$$\tilde{\alpha}^{(x,y)}(\lambda) = \rho^{(x,y)}(\lambda).$$

Виявляється ця ситуація окремо на кожній довжині хвилі в результаті аналізу інтенсивностей пікселів $I_\lambda^\alpha(X, Y)$ відфільтрованого поляризаційного зображення, яке зареєстроване камерою, оцифроване і збережене в комп'ютері, на рівність нулю. Ці операції виконуються в блоці алгоритмічного визначення та селекції орієнтаційних мап комп'ютера.

Автоматизований аналіз отриманих орієнтаційних зображень БТ виконано на основі статистичного та кореляційного підходів, в результаті чого вираховуються інформативні ознаки орієнтаційних зображень БТ як оцінки статистичних моментів 1-4-го порядку та оцінки 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 двохвильової поляризаційної діагностики гістологічних зрізів БТ.

За допомогою вимірювань на даній системі було отримано 21 орієнтаційне зображення стану «норма» та 21 зображення стану «патологія», виміряних на довжинах хвиль 632 нм та 450 нм. Вони були опрацьовані за допомогою власно розробленого програмного забезпечення, яке здійснювало визначення інформативних статистичних та кроскореляційних ознак вказаних класів мікроструктурної анізотропії БТ, що отримані на двох довжинах хвиль. Були автоматично отримані рекомендовані рішення по кожному зразку і прописані в бази даних.

Для методу прямого вимірювання орієнтаційних параметрів БШ маємо підвищення достовірності з 83,7% для аналога до значень достовірності діагностики БШ за допомогою розробленої системи до 92,8% при $\lambda_1=632\text{нм}$ та до 90,5% при $\lambda_2=450\text{нм}$.

Висновки

Застосування метода та автоматизованої системи двохвильової поляризаційної діагностики БТ за аналізом їх орієнтаційних зображень, виміряних прямим методом, дозволило підвищити достовірність діагностування гістологічних зрізів БТ на 9,1% - 6,8% для довжин хвиль 632 нм і 450 нм відповідно при застосуванні комп'ютерного аналізу орієнтаційних 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. Orientational tomography of optical axes directions distributions of multilayer biological tissues birefringent polycrystalline networks / N.I. Zabolotna, R.Y. Dovhaliuk // Proc. SPIE. – 2013. – Vol. 8873. – 887313; doi: 10.1117/12.2048634.

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

Орловський Олексій Анатолійович — студент групи ЛТО-17б, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, E-mail: aloshazet1539@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

Orlovskiy Oleksii Anatolievich - student of group LTO-17b, Faculty of Computer Systems and Automation, Vinnitsa National Technical University, Vinnytsia, E-mail: aloshazet1539@gmail.com