УДК 681.7:616-71

О. С. Швидюк
Н. І. Заболотна

ЗАСТОСУВАННЯ LABVIEW ДЛЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТА АНАЛІЗУ РОЗПОДІЛІВ ПОЛЯРИЗАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗРІЗІВ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН В ТРИХВИЛЬОВОМУ ПОЛЯРИМЕТРІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі представлено застосування середовища LabVIEW для програмної реалізації візуалізації та аналізу поляризаційних параметрів біологічних тканин у макеті трихвильового поляриметра. Алгоритм обчислює двовимірні мапи елементів вектора Стокса, азимута та еліптичності поляризації. За допомогою статистичних моментів 1-го – 4-го порядків показано, що багатохвильове зондування розширює набір інформативних ознак для медичної діагностики.

Ключові слова: LabVIEW, трихвильова поляриметрія, вектор Стокса, оптична анізотропія, біологічні тканини, статистичні моменти.

Abstract

This paper presents the use of the LabVIEW environment for the software implementation of the visualization and analysis of the polarization parameters of biological tissues in a three-wave polarimeter model. The algorithm calculates two-dimensional maps of the Stokes vector components, azimuth and ellipticity of polarization. Using statistical moments of the 1st to 4th orders, it is shown that multi-wavelength probing expands the set of informative features for medical diagnostics.

Keywords: LabVIEW, three-wave polarimetry, Stokes vector, optical anisotropy, biological tissues, statistical moments.

Вступ

Оптична поляриметрія є ефективним інструментом діагностики патологій біологічних тканин (БТ) завдяки кількісній оцінці їх оптичної анізотропії. Сучасний розвиток таких систем передбачає перехід до багатохвильового зондування (наприклад, 650 нм, 450 нм та 405 нм), що дозволяє дослідити просторову дисперсію поляризаційних параметрів та отримати ширший масив інформативних діагностичних ознак. Проте збільшення обсягу вимірювальних даних вимагає надійних засобів для їх швидкої матричної обробки.

Метою даної роботи є розширення функціональних можливостей трихвильового поляриметра шляхом розробки програмного комплексу в середовищі LabVIEW для автоматизованого розрахунку, статистичного аналізу та наочної візуалізації двовимірних мап вектора Стокса, азимута та еліптичності гістологічних зрізів бологічних тканин.

Компоненти вимірювального каналу

Удосконалений макет трихвильового поляриметра побудовано за схемою з почерговим використанням трьох джерел лазерного випромінювання (650 нм, 450 нм та 405 нм). Оптична схема містить коліматор, фазові пластинки, поворотні поляризатор та аналізатор. Реєстрація інтенсивностей здійснюється за допомогою цифрової камери типу CMOS (UCMOS05100KPA 5,1 Мрх). Автоматизоване керування селектором лазерів та поворотом оптичних елементів реалізовано за допомогою крокових двигунів, відповідних драйверів та сервоприводів.

Метод формування поляризаційних параметрів перетвореного об’єктного оптичного поля

Метод вимірювання базується на фіксації шести інтенсивностей перетвореного зразком лазерного пучка для кожного з трьох лазерів.

На їх основі обчислюються елементи вектора Стокса S1 – S4 за формулами [1]:

$$\begin{aligned} S1(m,n) &= I_0(m,n) + I_{90}(m,n), \\ S2(m,n) &= I_0(m,n) - I_{90}(m,n), \\ S3(m,n) &= I_{45}(m,n) - I_{135}(m,n), \\ S4(m,n) &= I_{\otimes}(m,n) - I_{\oplus}(m,n), \end{aligned} \tag{1}$$

де $I_j(m,n)$ – інтенсивності при відповідних кутах поляризатора та аналізатора, а також правій та лівій циркулярній поляризації.

Далі розраховуються розподіли азимутів $\alpha(m,n)$ та еліптичності $\beta(m,n)$ поляризації, формули яких наведені нижче [2], та статистичні моменти 1-го – 4-го порядків розрахованих розподілів.

$$\begin{aligned} \alpha(m,n) &= \frac{1}{2} arctg\left(\frac{S3(m,n)}{S2(m,n)}\right), \\ \beta(m,n) &= \frac{1}{2}\arcsin\left(\frac{S4(m,n)}{S1(m,n)}\right). \end{aligned} \tag{2}$$

Програмна реалізація блоку обробки та аналізу зображень в LabVIEW

Для обробки отриманих масивів даних було розроблено віртуальний прилад у середовищі LabVIEW. Першим етапом обробки є конвертація вхідних 24-бітних BMP зображень від камери у півтоновий формат (Grayscale U8) з подальшим перетворенням у двовимірні масиви значень типу Float. Інтенсивності масштабуються діленням на 255 до значень від 0 до 1. Розрахунок масивів S1 – S4, а також розподілів азимутів та еліптичностей виконується вбудованими матричними операціями LabVIEW. Для відображення обчислених параметрів на лицьовій панелі результати масштабуються до динамічного діапазону 0 – 255 та конвертуються з масивів назад у 8-бітний цілочисельний формат [3].

Результати дослідження

На рисунку 1 представлено отримані координатні розподіли азимутів $\alpha(m,n)$ і еліптичності $\beta(m,n)$ поляризації зображень біологічної тканини на довжинах хвиль 650 нм, 450 нм та 405 нм.

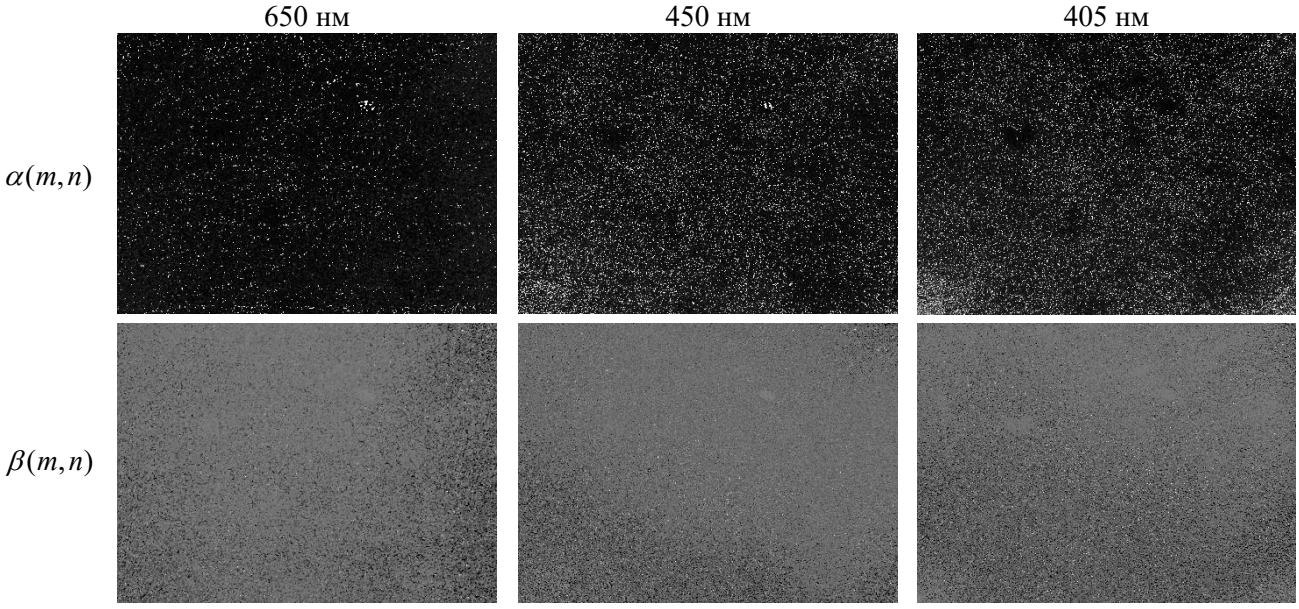

Рис. 1 – Розподіли азимута $\alpha(m,n)$ та еліптичності $\beta(m,n)$ поляризації зображень біологічної тканини на довжинах хвиль 650 нм, 450 нм та 405 нм

Порівняльний аналіз мап азимутів та еліптичності для гістологічних зрізів біологічних тканин показав, що на трьох різних довжинах хвиль спостерігається відмінність у просторовому розподілі параметрів. Короткохвильове випромінювання демонструє вищу чутливість до дрібномасштабних флуктуацій оптичної анізотропії тканини, що відображається у зростанні дисперсії та ексцесу еліптичності порівняно з хвилею 650 нм.

Кількісно оптичні прояви анізотропії біологічної тканини ілюструє сукупність значень статистичних моментів 1-го – 4-го порядків, які обчислені за допомогою наступних функцій LabVIEW: Mean, Std Deviation and Variance, Skewness and Kurtosis – середнє значення, дисперсія, асиметрія та ексцес відповідно. Значення статистичних моментів розподілів азимутів $\alpha(m,n)$ та еліптичності $\beta(m,n)$ для трьох довжин хвиль наведені у Таблиці 1.

Таблиця 1 – Статистичні моменти 1-го – 4-го порядків $M_1 - M_4$ орієнтаційних розподілів азимутів $\alpha(m,n)$ та еліптичності $\beta(m,n)$ біологічної тканини

	$\alpha(m,n)$			$\beta(m,n)$		
	650 нм	450 нм	405 нм	650 нм	450 нм	405 нм
M_1	0,17	0,19	0,26	-0,14	-0,19	-0,16
M_2	0,01	0,03	0,09	0,02	0,02	0,03
M_3	0,99	0,36	0,21	-1,67	-1,41	-1,01
M_4	1,76	9,13	8,07	5,61	6,59	4,84

Нижче на рисунку 2 представлені гістограми розподілів значень азимутів H(α) і еліптичності H(β) для трьох довжин хвиль.

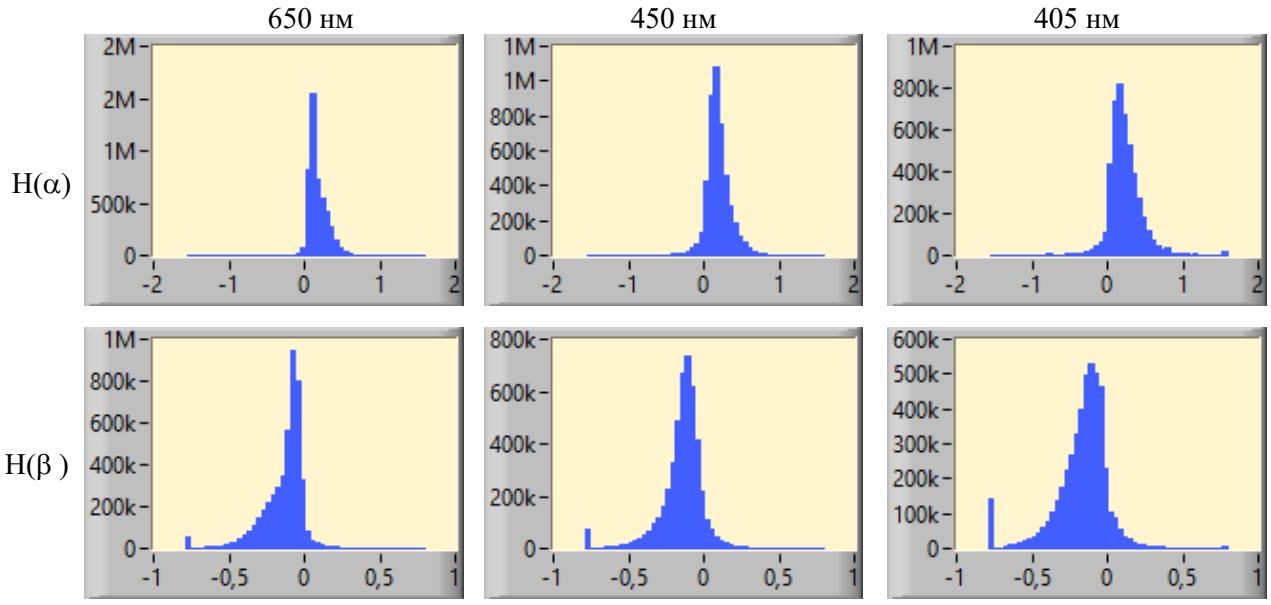

Рис. 2 – Гістограми розподілів значень азимутів H(α) та еліптичності H(β)
на довжинах хвиль 650 нм, 450 нм та 405 нм

Отримані інформативні ознаки на трьох довжинах хвилі, зокрема статистичні моменти, які формують узагальнений опис поляриметричних характеристик БТ дозволяють в подальшому підвищити достовірність розпізнавання патологічних станів.

Висновки

Трихвильове лазерне поляризаційне зондування досліджуваних гістологічних зрізів БТ суттєво збільшує кількість інформації про досліджуваний об’єкт, що відкриває широкі перспективи для використання отриманих даних у системах підтримки прийняття рішень при автоматизованій медичній діагностиці.

Впровадження програмного середовища LabVIEW в архітектуру трихвильового поляриметра при діагностиці біологічних тканин забезпечило ефективну та наочну візуалізацію поляризаційних мап біологічних зразків та гістограм розподілів азимутів та еліптичності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Заболотна Н. І., Павлов С. В., Шолота В. В. Моделі, методи та системи лазерної поляриметрії плазми крові для діагностики молочних залоз : монографія. Вінниця, 2024. 145 с.
2. Заболотна Н.І., Шолота В.В., Загоруйко В.І. Система багатопараметричного поляризаційно-фазового картографування біологічних шарів із бінарною класифікацією. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. 2021. №2 (42). С. 44-52.
3. Chaudhary A. Digital Image Processing using LabVIEW. New Delhi : BPB Publications, 2021. 260 p.

Швидюк Олег Сергійович **–** аспірант, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: olehshvydiuk@gmail.com

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

Oleh Shvydiuk S. **–** postgraduate, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: olegshvydiuk@gmail.com

Zabolotna Nataliia I. - Professor of the Department of Biomedical Engineering and Optoelectronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, E-mail: natalia.zabolotna@gmail.com