УДК 004.932.2

Шолота В.В., Савенко В.В.

ПРОГРАМНИЙ МОДУЛЬ АНАЛІЗУ ІНВАРІАНТНИХ МЮЛЛЕР-МАТРИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ БІОЛОГІЧНОГО ШАРУ В СИСТЕМІ МЕДИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Описано математичні та програмні особливості модулю аналізу системи медичної діагностики на основі інваріантних мюллер-матричних зображень біологічного шару, їх суперпозицій та векторів.

Ключові слова: біологічний шар, мюллер-матричні зображення, мюллер-матричні інваріанти, дерева рішень, статистичний аналіз, вейвлет-аналіз.

Abstract

Mathematical and software features of the analysis module of the medical diagnostics system based on invariant Mueller-matrix images of the biological layer, their superpositions and vectors are described.

Keywords: biological layer, Mueller matrix images, Mueller matrix invariants, decision trees, statistical analysis, wavelet analysis.

Вступ

Серед систем лазерної поляриметрії для діагностики тканин важливу роль відіграють ті системи, в яких формування розподілів відбувається на основі азимутально-незалежних поляризаційних параметрів досліджуваних зразків біологічних шарів.

Азимутально-незалежними є ті параметри, в яких отримані значення не залежать від кута повороту зразка відносно напрямку його опромінення. До них відносяться, зокрема, розподіли азимутів, еліптичності, мюллер-матричні інваріанти M_{11}, M_{14}, M_{41}, M_{44}. Використання таких параметрів дозволяє спростити процедуру здійснення вимірювань, зменшити похибки вимірювань та водночас підвищити достовірність та інформативність [1]. Одним з джерел зростання даних показників може бути розширення переліку азимутально-незалежних параметрів. Зокрема, окрім власне елементів матриці Мюллера використовуються суперпозиції елементів, а саме суми та різниці $S_{22,33}$ та $D_{23,32}$, M_{22}, M_{33} і M_{23}, M_{32} [2, 3]. Перспективними для дослідження виявились розподіли довжин векторів, що розглядаються як матриця характеристик довжин між кожним параметром одного елемента матриці Мюллера з визначеним іншим. Таким чином, доцільними є подальше вивчення та імплементація розрахунку даних параметрів у системах лазерної поляриметрії.

Метою даної роботи є розробка програмного забезпечення для реалізації модулю аналізу сукупності Мюллер-матричних інваріантів для системи медичної діагностики.

Результати дослідження

Сукупність Мюллер-матричних інваріантів включає в себе незалежні від кута повороту елементи матриці Мюллера, суперпозиції елементів, згадані вище, та довжини математичних векторів, що є характеристикою довжини між кожним параметром одного елементу матриці Мюллера з іншим та описуються формулою (1).

$$\begin{aligned} V_{12+13}(x,y) &= \sqrt{m_{12}(x,y)^2 + m_{13}(x,y)^2}, \\ V_{21+31}(x,y) &= \sqrt{m_{21}(x,y)^2 + m_{31}(x,y)^2}, \\ V_{42+43}(x,y) &= \sqrt{m_{42}(x,y)^2 + m_{43}(x,y)^2}, \\ V_{24+34}(x,y) &= \sqrt{m_{24}(x,y)^2 + m_{34}(x,y)^2}. \end{aligned} \quad (1)$$

В результаті система, що базується на даній математиці, для прийняття рішення може використовувати сукупність десяти матриць Мюллер-матричних інваріантів.

Проте прийняття рішення на основі безпосередньо зображення в даному випадку є досить громіздким та недоцільним. Більш доречним рішенням є виведення наборів ознак на основі, зокрема, статистичного та вейвлет-аналізу Мюллер-матричних інваріантів з подальшим прийняттям рішення вже на базі даних наборів.

При розробці програмного модулю використовувались класичні статистичні показники, такі як середнє значення, дисперсія, асиметрія та ексцес.

Вейвлет-аналіз є більш складним з математичної точки зору та проводиться у площині його вейвлет-коефіцієнтів, що визначають вейвлет-спектрограми за допомогою вейвлет-перетворень. Можливість застосовувати вейвлет-аналіз для Мюллер-матричних інваріантів полягає у тому, що розподіл еліптичності поляризації K(x) можна розкласти в ряд за допомогою вейвлет-функцій $\psi_{a,b}(x) = \psi(ax - b)$, тобто зміщенням на b та масштабуванням a.

Для обрахунку вейвлет-коефіцієнтів Мюллер-матричних інваріантів відбувається сканування вейвлет-функції порядково з певним кроком у межах вікна, що змінюється у відповідному діапазоні. Сукупності вейвлет-коефіцієнтів для кожного рядка усереднюються, в результаті чого отримується двовимірна матриця, на основі якої можна визначити новий набір статистичних характеристик вже на основі вейвлет-аналізу, що, в свою чергу, слугуватимуть інформативними ознаками для здійснення діагностики.

В результаті кожне зображення Мюллер-матричних інваріантів дає 8 статистичних параметрів (4 на основі безпосередньо зображення і 4 на основі вейвлет-аналізу), які можна використати у побудові підсистеми підтримки прийняття рішень.

Програмна реалізація визначення статистичних ознак є досить простою та може бути реалізована в будь-якій мові програмування, що передбачає роботу з пікселями зображення. Проте певні обмеження стосовно вибору засобів реалізації накладає обрахування вейвлет-коефіцієнтів, що є досить складним в реалізації та залежить від вибору вейвлет-функції і максимального параметра масштабування.

Так як мова програмування Python має широкий вибір додаткових бібліотек для здійснення, зокрема, і статистичного, і вейвлет-аналізу, саме її було обрано для реалізації блоку аналізу наборів Мюллер-матричних інваріантів. Зокрема, було використано бібліотеку PyWavelets, функціонал якої включає здійснення частотного аналізу з безперервним вейвлет перетворенням (CWT) та стиснення зображення з дискретним вейвлет перетворенням (DWT).

З широкого набору вейвлет-функцій, що можуть використовуватись для безперервного вейвлет-перетворення, було обрано гаусову вейвлет-функцію другого порядку, відображену у формулі (2).

$$\psi(t) = 2C \cdot \exp^{-2t^2}. \qquad (2)$$

Результати роботи блоків статистичного аналізу та вейвлет-перетворення підсистеми надходять у підсистему підтримки прийняття рішень, що в даному випадку також реалізована засобами мови програмування Python та включає в себе так званий ансамбль класифікаторів, базу знань, базу даних та систему для управління нею. В даному випадку для класифікації було обрано метод дерева рішень, що також є широко представленим серед різноманітних бібліотек Python та дозволяє значно полегшити імплементацію підсистеми.

Діагностування зразків за допомогою описаних вище методів, зокрема з введенням вейвлет-аналізу, дозволило отримати показник достовірності діагностики 95,2%, що є вищим показником в порівнянні з аналогом, який не використовує вейвлет-аналіз та має 88% достовірності. Водночас, дослідження показує, що спільне застосування всіх зазначених методів утворення Мюллер-матричних інваріантів та їх аналізу в сукупності з реалізацією методу підтримки прийняття рішень дозволить в подальшому знову підвищити рівень достовірності діагностики біологічних шарів.

Висновки

Додавання блоку вейвлет-аналізу з подальшою його реалізацією на Python в структуру системи медичної діагностики біологічних шарів на основі Мюллер-матричних інваріантів сприяло зростанню достовірності з 88% до 95.2%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ushenko, V. A., Prysyazhnyuk, V. P., Dubolazov, O. V. et al., Mueller-matrix invariants of optical anisotropy of the bile polycrystalline films in the diagnosis of human liver pathologies / Ushenko V. A. et al. *Proc. SPIE.* 2015. Vol. 9599. 959920

2. Заболотна Н.І., Шолота В.В. Метод та підсистема підтримки прийняття рішення для мюллер-матричної лазерної поляризаційної діагностики біологічних тканин. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології.* 2022. Том 43, №1. С. 43–52.

3. Zabolotna N., Sholota V., Satymbekov M., Komada P. Azimuthally invariant system of Mueller-matrix polarization diagnosis of biological layers with fuzzy logical methods of decision-making. Proc. SPIE. 2022. Vol. 12476. 1247608

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

Савенко Владислав Вікторович — студент групи 4КН-22б факультету інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vladvsavenko@gmail.com

Savenko Vladyslav V. — student of 4KC-22b, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vladvsavenko@gmail.com