

МОДЕЛЬ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ОРІЄНТАЦІЙНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ТА НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розроблено модель вирішального правила підсистеми підтримки прийняття рішення для діагностики гістологічних зрізів на основі аналізу їх орієнтаційних зображень та принципів нечіткої логіки для системи лазерної поляриметричної діагностики біологічних тканин.

Ключові слова: підтримка прийняття рішень, орієнтаційні зображення, інформативні ознаки, нечітка логіка, система лазерної поляриметрії, біологічні тканини.

Abstract

A model of the decision rule of the decision support subsystem for the diagnosis of histological sections based on the analysis of their orientation images and the principles of fuzzy logic for the system of laser polarimetric diagnostics of biological tissues has been developed.

Keywords: decision support, orientation images, informative features, fuzzy logic, laser polarimetry system, biological tissues.

Вступ

Сучасний розвиток інформаційних технологій, впроваджуваних в медицину, призвів до створення медичних діагностичних комплексів, заснованих на нових принципах отримання інформації про досліджуваній біооб'єкт, у поєднанні із сучасними системами підтримки прийняття рішень (ППР) з метою допомоги лікареві у постановці точного діагнозу.

Серед них слід відзначити методи та системи лазерної зображувальної поляриметрії біологічних тканин (БТ) [1-3], які дозволяють виявляти зміни структурної анізотропії білків БТ на ранніх стадіях розвитку пухлинних процесів. Інформація в таких системах представляється напівтоновими зображеннями поляризаційних характеристик, зокрема орієнтаційних параметрів анізотропії досліджуваних зразків [1-3]. Достовірність оцінювання патологічних змін в БТ на основі аналізу орієнтаційних зображень, відтворених із елементів матриць Мюллера БТ, складає близько 85% [3]. В той же час, інтерпретація лікарем-діагностом зображень орієнтаційних параметрів БТ вимагає багато зусиль та часу при постановці діагнозу, негативно впливаючи на достовірність поставленого діагнозу.

Отже, розроблення системи підтримки прийняття рішення (ППР) на основі аналізу орієнтаційних зображень зрізів БТ є актуальним. При цьому ефективним є формування інформативних ознак у вигляді статистичних оцінок координатних розподілів елементів орієнтаційних зображень зрізів БТ та оцінок розподілів їх автокореляційних функцій, які можуть бути отримані у «нечіткому» вигляді.

Метою роботи є підвищення достовірності прийняття рішень у діагностиці БТ на основі аналізу орієнтаційних зображень та нечіткої логіки формування вирішального правила прийняття рішення.

Результати дослідження

Методика медичного діагностування гістологічних зрізів БТ на основі лазерної зображальної поляриметрії передбачає визначення такого діагностичного параметру оптичної анізотропії зразків БТ як двовимірний розподіл орієнтацій укладання фібрил БТ, сформований у вигляді напівтонового зображення, названого «орієнтаційним» зображенням БТ. В результаті комплексного аналізу орієнтаційних зображень на основі статистичного та кореляційного підходів визначають оцінки статистичних моментів ($M_1 - M_4$) координатного розподілу елементів орієнтаційних зображень БТ та оцінки кореляційних моментів ($Q_1 - Q_4$) функції автокореляції орієнтаційних зображень БТ [3]. Вказані оцін-

ки використовують як діагностичні ознаки для подальшої класифікації орієнтаційних зображень у відповідності до фізіологічного стану досліджуваних зразків БТ.

За допомогою лабораторної установки системи зображувальної поляриметрії було отримано 42 орієнтаційних зображення гістологічних зрізів м'язової тканини шийки матки: 21 зразка стану «норма» та 21 зразка стану «патологія». Роздільна здатність зображень 640x480 пікселів. Для кожного з наборів орієнтаційних зображень БТ визначено середнє значення та середнє квадратичне відхилення (СКВ) відповідних статистичних та кореляційних моментів орієнтаційних мап. Використовуючи принципи нечіткої логіки [4 - 6], представимо діапазони змінювання кожного із виміряних параметрів орієнтаційних мап в якісних нечітких термах, які складаються із рівнів Н- низький, НС- нижче середнього, С – середній, ВС – вище середнього, В – високий (таблиця 1).

Таблиця 1 – Діапазон значень розкидів інформативних параметрів орієнтаційних зображень БТ для кожного з рівнів

	Н	НС	С	ВС	В
M_1	0,494000 - 0,499500	0,499500 - 0,510500	0,510500 - 0,521500	0,521500 - 0,532500	0,532500 - 0,538000
M_2	0,517000 - 0,525500	0,525500 - 0,542500	0,542500 - 0,559500	0,559500 - 0,576500	0,576500 - 0,585000
M_3	1,108000 - 1,122125	1,122125 - 1,150375	1,150375 - 1,178625	1,178625 - 1,206875	1,206875 - 1,221000
M_4	0,354000 - 0,375000	0,375000 - 0,417000	0,417000 - 0,459000	0,459000 - 0,501000	0,501000 - 0,522000
Q_1	0,005000 - 0,009125	0,009125 - 0,017375	0,017375 - 0,025625	0,025625 - 0,033875	0,033875 - 0,038000
Q_2	0,028700 - 0,031238	0,031238 - 0,036313	0,036318 - 0,041388	0,041388 - 0,046463	0,046463 - 0,049000
Q_3	7,949000 - 11,031375	11,031375 - 17,196125	17,196125 - 23,360875	23,360875 - 29,525625	29,525625 - 32,608000
Q_4	0,345000 - 0,418875	0,418875 - 0,566625	0,566625 - 0,714375	0,714375 - 0,862125	0,862125 - 0,936000

При визначенні діагнозу «норма»-«патологія» для м'язової тканини шийки матки за орієнтаційними зображеннями БТ системою враховуються інформативні показники $M_2 - M_4, Q_1 - Q_4$, названі «лінгвістичними» змінними, поданими за нечіткими термами в таблиці 2.

Таблиця 2 – Формалізовані значення інформативних параметрів орієнтаційних мап після застосування нечітких термів

Стан БТ	M_2	M_3	M_4	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4
Норма	Н	Н	Н	ВС	ВС	Н	Н
	НС		НС	В	В		НС
	С						
Патологія	С	ВС	ВС	Н	Н	В	В
	ВС	В	В				
	В						

На основі таблиці 2 створюємо відповідну базу знань лінгвістичних змінних при діагностиці станів "норма" та «патологія» БТ за їх орієнтаційними зображеннями. На її основі за допомогою логічних рівнянь синтезуємо функції приналежності $\mu^{норма}(M_2 \div M_4, Q_1 \div Q_4)$ і $\mu^{патологія}(M_2 \div M_4, Q_1 \div Q_4)$, враховуючи, що логічні операції кон'юнкції (\wedge) і диз'юнкції (\vee) над функціями належності $\mu^H, \mu^{НС}, \mu^C, \mu^{ВС}, \mu^B$ нечітких термів Н, НС, С, ВС, В є адекватними визначенню мінімуму та максимуму над відповідними аргументами.

Приклад функції належності $\mu^{патологія}(M_2 \div M_4, Q_1 \div Q_4)$ стану патологія має вигляд:

$$\begin{aligned} & \mu^{\text{патологія}}(M_2(\rho), M_3(\rho), M_4(\rho), Q_1(\rho), Q_2(\rho), Q_3(\rho), Q_4(\rho)) = \\ & \{ [\mu^C(M_2(\rho)) \wedge \mu^{BC}(M_3(\rho)) \wedge \mu^{BC}(M_4(\rho)) \wedge \mu^H(Q_1(\rho)) \wedge \mu^H(Q_2(\rho)) \wedge \\ & \mu^B(Q_3(\rho)) \wedge \mu^B(Q_4(\rho))] \vee [\mu^C(M_2(\rho)) \wedge \mu^{BC}(M_3(\rho)) \wedge \mu^B(M_4(\rho)) \wedge \\ & \mu^H(Q_1(\rho)) \wedge \mu^H(Q_2(\rho)) \wedge \mu^B(Q_3(\rho)) \wedge \mu^B(Q_4(\rho))] \vee [\mu^C(M_2(\rho)) \wedge \\ & \mu^B(M_3(\rho)) \wedge \mu^{BC}(M_4(\rho)) \wedge \mu^H(Q_1(\rho)) \wedge \mu^H(Q_2(\rho)) \wedge \mu^B(Q_3(\rho)) \wedge \\ & \mu^B(Q_4(\rho))] \vee [\mu^C(M_2(\rho)) \wedge \mu^B(M_3(\rho)) \wedge \mu^B(M_4(\rho)) \wedge \mu^H(Q_1(\rho)) \wedge \\ & \mu^H(Q_2(\rho)) \wedge \mu^B(Q_3(\rho)) \wedge \mu^B(Q_4(\rho))] \vee [\mu^{BC}(M_2(\rho)) \wedge \mu^{BC}(M_3(\rho)) \wedge \\ & \mu^{BC}(M_4(\rho)) \wedge \mu^H(Q_1(\rho)) \wedge \mu^H(Q_2(\rho)) \wedge \mu^B(Q_3(\rho)) \wedge \mu^B(Q_4(\rho))] \vee \\ & [\mu^{BC}(M_2(\rho)) \wedge \mu^{BC}(M_3(\rho)) \wedge \mu^B(M_4(\rho)) \wedge \mu^H(Q_1(\rho)) \wedge \mu^H(Q_2(\rho)) \wedge \\ & \mu^B(Q_3(\rho)) \wedge \mu^B(Q_4(\rho))] \vee [\mu^{BC}(M_2(\rho)) \wedge \mu^B(M_3(\rho)) \wedge \mu^{BC}(M_4(\rho)) \wedge \\ & \mu^H(Q_1(\rho)) \wedge \mu^H(Q_2(\rho)) \wedge \mu^B(Q_3(\rho)) \wedge \mu^B(Q_4(\rho))] \vee [\mu^{BC}(M_2(\rho)) \wedge \\ & \mu^B(M_3(\rho)) \wedge \mu^B(M_4(\rho)) \wedge \mu^H(Q_1(\rho)) \wedge \mu^H(Q_2(\rho)) \wedge \mu^B(Q_3(\rho)) \wedge \\ & \mu^B(Q_4(\rho))] \vee [\mu^B(M_2(\rho)) \wedge \mu^{BC}(M_3(\rho)) \wedge \mu^{BC}(M_4(\rho)) \wedge \mu^H(Q_1(\rho)) \wedge \\ & \mu^H(Q_2(\rho)) \wedge \mu^B(Q_3(\rho)) \wedge \mu^B(Q_4(\rho))] \vee [\mu^B(M_2(\rho)) \wedge \mu^{BC}(M_3(\rho)) \wedge \\ & \mu^B(M_4(\rho)) \wedge \mu^H(Q_1(\rho)) \wedge \mu^H(Q_2(\rho)) \wedge \mu^B(Q_3(\rho)) \wedge \mu^B(Q_4(\rho))] \vee \\ & [\mu^B(M_2(\rho)) \wedge \mu^B(M_3(\rho)) \wedge \mu^{BC}(M_4(\rho)) \wedge \mu^H(Q_1(\rho)) \wedge \mu^H(Q_2(\rho)) \wedge \\ & \mu^B(Q_3(\rho)) \wedge \mu^B(Q_4(\rho))] \vee [\mu^B(M_2(\rho)) \wedge \mu^B(M_3(\rho)) \wedge \mu^B(M_4(\rho)) \wedge \\ & \mu^H(Q_1(\rho)) \wedge \mu^H(Q_2(\rho)) \wedge \mu^B(Q_3(\rho)) \wedge \mu^B(Q_4(\rho))] \}. \end{aligned}$$

Розроблена математична модель ППР на основі нечіткої логіки покладена в основу розробки структури програмного забезпечення системи ППР на основі комплексного аналізу орієнтаційних зображень БТ.

Зауважимо, що діагностика станів «норма» та «патологія» БТ здійснюється шляхом аналізу значення функцій приналежності станів $\mu^{\text{НОРМА}}(\rho)$ і $\mu^{\text{патологія}}(\rho)$ та обранню максимального із них, що і буде визначальним при прийнятті рішення про віднесення зразка до класу «норма» чи «патологія».

Застосування розробленої моделі ППР для діагностики БТ на основі аналізу орієнтаційних зображень та нечіткої логіки дозволило підвищити достовірність оцінювання патологічних станів БТ за орієнтаційними зображеннями з 82,6% до 92,8%.

Висновки

Розроблено метод ППР для діагностики біологічних тканин на основі статистичного та кореляційного аналізу орієнтаційних зображень для визначення інформативних параметрів із розробкою на їх основі математичних моделей функцій приналежності станів «норма» та «патологія» на основі нечітких термів та сформованих баз знань.

При застосуванні системи ППР для здійснення діагностики за орієнтаційними зображеннями було підвищено достовірність діагностування гістологічних зрізів БТ на 10,3%.

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. Заболотна Н.І. Інтелектуальний аналіз даних в системі мюллер-матричного картографування плазми крові при ідентифікації раку шлунку / Н.І. Заболотна, В.В. Шолота // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2017. - №1 (33) - С. 40-48.

3. 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.

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.

Шолота Владислава Владиславівна — студент групи ІСТ-20м, факультет комп'ютерних систем і автоматики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: Vladislava.Sholota@gmail.com

Sholota Vladyslava V. — student group IST-120m, Faculty of Computer Control Systems and Automatics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: Vladislava.Sholota@gmail.com