

УДК 681.7: 616-71

Н.І. ЗАБОЛОТНА, О.В. БІСКАЛО, В.В. ШОЛОТА

ПІДТРИМКА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В СИСТЕМІ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОЇ ЗОБРАЖАЛЬНОЇ ДІАГНОСТИКИ ГІСТОЛОГІЧНИХ ЗРІЗІВ ЗА АНАЛІЗОМ ЇХ ПАРАМЕТРІВ АНІЗОТРОПІЇ

*Вінницький національний технічний університет,
21021, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна
E-mail: Natalia.zabolotna@gmail.com*

Анотація. Розроблено метод та підсистему підтримки прийняття рішення за принципами нечіткої логіки для системи поляризаційної зображальної діагностики гістологічних зрізів. На основі статистичного та кореляційного аналізу орієнтаційних та фазових зображень зрізів біологічних тканин визначено інформативні ознаки діагностики. Розроблено математичні моделі функцій приналежності станів «норма» та «патологія» досліджуваних гістологічних зрізів для вирішального правила в системі.

Ключові слова: гістологічний зріз, біологічна тканина, діагностика, система поляризаційної зображальної поляриметрії, нечітка логіка, підтримка прийняття рішення.

Аннотация. Разработан метод и подсистема поддержки принятия решения по принципам нечеткой логики для системы поляризационной изобразительной диагностики гистологических срезов. На основе статистического и корреляционного анализа ориентационных и фазовых изображений срезов биологических тканей определены информативные признаки диагностики. Разработаны математические модели функций принадлежности состояний «норма» и «патология» исследуемых гистологических срезов для решающего правила в системе.

Ключевые слова: гистологический срез, биологическая ткань, диагностика, система поляризационной изобразительной поляриметрии, нечеткая логика, поддержка принятия решения.

Abstract. The method and subsystem of decision support according to the principles of fuzzy logic for the system of polarization imaging diagnostics of histological sections are developed.

Informative signs of diagnostics on the basis of statistical and correlation analysis of orientation and phase images of sections of biological tissues are determined. Mathematical models of the membership functions of the states "norm" and "pathology" of the studied histological sections for the decisive rule in the system are proposed.

Key words: histological section, biological tissue, diagnostics, polarizing imaging polarimetry system, fuzzy logic, decision support.

DOI: 10.31649/1681-7893-2020-40-2-29-40

ВСТУП

Зондування гістологічних зрізів біологічних тканин (БТ) поляризованим світлом видимої та ближньої інфрачервоної області спектру дозволяє наразі отримувати якісно нові результати при дослідженнях морфологічного і функціонального станів БТ за рахунок високої чутливості поляризаційних характеристик розсіяних полів до оптичних властивостей та геометрії біологічних середовищ.

Відомі методи та системи поляризаційного відтворення параметрів анізотропії гістологічних зрізів БТ на основі вимірних мюллер-матричних зображень (ММЗ) з подальшим їх статистичним та кореляційним аналізом дозволяють досягти хорошого рівня достовірності оцінювання патологічних змін БТ [1-5]. Так, достовірність диференціації станів «норма-патологія» гістологічних зрізів шийки матки за аналізом відтворених із ММЗ двовимірних розподілів орієнтаційних параметрів (орієнтаційних зображень) та фазових параметрів (фазових зображень) склала відповідно 82,6% та 87,2% [5].

В той же час, впровадження методів підтримки прийняття рішення (ППР) в таких системах є одним із факторів підвищення ефективності діагностики БТ [6]. Відомі методи ППР [7-8] на основі

статистичної теорії рішень, нейромережеві методи, методи дерев рішень не мають змоги оперувати розмитими (нечіткими) даними, які можуть бути отримані в результаті формування інформативних ознак. Даний недолік може бути усунутий за допомогою використання нечіткої логіки [9, 10] для формування вирішального правила для ППР. Так, наприклад, застосування моделей ППР на основі нечіткої логіки в системі поляризаційного Джонс-матричного картографування плівок плазми крові із статистичним аналізом зображень дозволило досягти достовірності оцінювання патологічних станів молочних залоз до 90,8% [11].

Мета роботи - підвищення достовірності оцінювання патологічних станів в системі зображальної поляризаційної діагностики гістологічних зрізів на основі мюллер-матричного відтворення та аналізу їх орієнтаційних та фазових зображень шляхом застосування в системі моделей ППР на основі нечіткої логіки та їх програмної реалізації.

АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ ЗОБРАЖАЛЬНОЇ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОЇ ДІАГНОСТИКИ ГІСТОЛОГІЧНИХ ЗРІЗІВ ТА МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Відомо, що інформація про анізотропні характеристики кожної точки плоского гістологічного зрізу, який зондується лазерним поляризованим випромінюванням в системі зображальної поляриметрії, закладена в шістнадцяти елементах матриці Мюллера, які пов'язують орієнтаційні та фазові параметри зрізу БТ у відповідній точці. Використовуючи в системі відеокамеру розподільної спроможності $(M \times N)$ пікселів та скомпонувавши обчислені елементи матриці Мюллера по всій площі $(M \times N)$ зразка БТ за однаковими індексами l, k , матимемо координатні розподіли (X, Y) шістнадцяти елементів ММЗ $Z_{lk}(X, Y)$, поданих у вигляді

$$Z_{lk}(X, Y) = \begin{pmatrix} z_{lk}^{(1,1)} & \dots & z_{lk}^{(1,N)} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ z_{lk}^{(M,1)} & \dots & z_{lk}^{(M,N)} \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Виміряні зазначені ММЗ оптично тонкого гістологічного зрізу на основі феноменологічного методу за допомогою системи зображальної поляризаційної діагностики [5], поданої на рисунку 1, дозволяють здійснити відтворення двовимірних розподілів орієнтаційних параметрів $\rho(X, Y)$ та фазових параметрів $\delta(X, Y)$ досліджуваного зразка за співвідношеннями

$$\rho^{(x,y)} = 0,25 \arccos(\sqrt{z_{22}^{(x,y)} - z_{33}^{(x,y)}}), \quad (2)$$

$$\delta^{(x,y)} = 0,5 \arccos(z_{44}), \quad (3)$$

де (x, y) - поточні координати точки гістологічного зрізу БТ, $x = \overline{1:M}, y = \overline{1:N}$.

Система зображальної поляризаційної діагностики гістологічних зрізів (рис.1), містить напівпровідниковий лазер, вихідне випромінювання якого на довжині хвилі 0,638 мкм потрапляє на коліматор, на виході якого формується паралельний лазерний пучок діаметром 4×10^3 мкм. Вказаний пучок змішаного типу поляризації перетворюється за допомогою багатоканального поляризаційного опромінювача у пучок необхідного типу поляризації, яким зондують підготовлений гістологічний зріз, розміщений в об'єктному блоці схеми. Перетворене зразком поляризаційне випромінювання за допомогою проєкційного блоку, що являє собою об'єктив 4-кратного збільшення, направляється в площину цифрової камери роздільної спроможності $(M \times N)$ пікселів. При цьому воно попередньо проходить поляризаційну фільтрацію за допомогою блоку багатоканального поляризаційного аналізатора. Утворене таким чином поляризаційно відфільтроване зображення структури досліджуваного зрізу, зареєстроване камерою, надходить до відповідного блоку модуля захоплення зображення алгоритмічно-програмного забезпечення комп'ютера. Формування необхідних типів поляризації випромінювання блоками багатоканального опромінювання та багатоканального аналізу здійснюється в автоматизованій системі при взаємодії з блоком керування.

Зразки гістологічних зрізів готувались на мікротомі шляхом попереднього заморожування нативних оптично тонких зрізів та зберігались при температурі $4^{\circ}C$ у холодильнику до використання.

Визначення набору необхідних ММЗ здійснюється за відомими співвідношеннями [5]. На їх основі за формулами (2) і (3) отримують орієнтаційне $\rho(X,Y)$ та фазове $\delta(X,Y)$ зображення досліджуваного зрізу БТ.

За допомогою блоку аналізу зображень обчислюємо статистичні оцінки координатного розподілу та автокореляційних функцій розподілів елементів орієнтаційних та фазових зображень зрізів БТ, які слугують в подальшому ознаками для здійснення діагностичного рішення в системі. Так, обчислюємо статистичні моменти 1-го – 4-го порядків $M_1 - M_4$ вказаних координатних розподілів елементів зображень та оцінки кореляційних моментів $Q_1 - Q_4$ розподілів їх функцій автокореляції на основі відомих підходів, описаних в роботах [11, 12]. На основі встановлених ознак діагностування нижче виводяться моделі підтримки прийняття рішення про наявність чи відсутність патологій у досліджуваних гістологічних зрізах, які реалізуються підсистемою ППР в архітектурі системи.

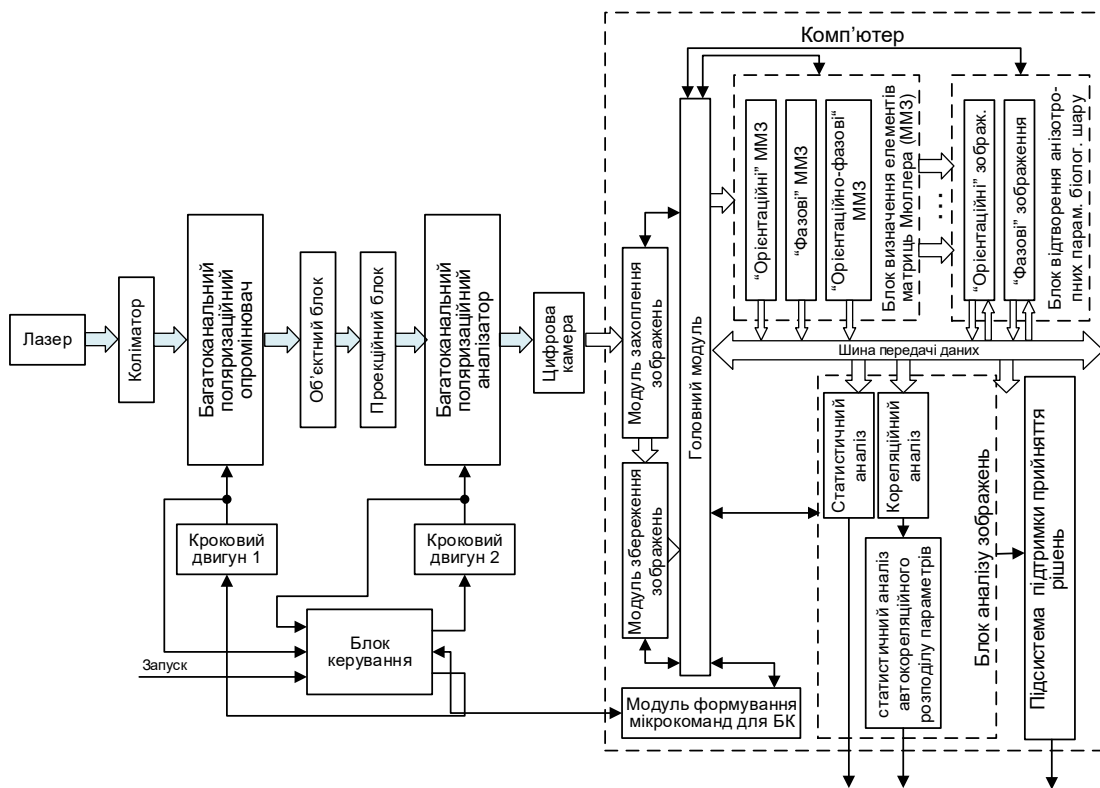


Рисунок 1–Архітектура системи зображальної поляризаційної діагностики гістологічних зрізів за аналізом їх параметрів анізотропії та із підтримкою прийняття рішень

Матеріалами досліджень є дві групи (група 1 – «норма», група 2 – «патологія») по 21 зразку в кожній групі нативних гістологічних зрізів м'язової тканини шийки матки геометричною товщиною 10 мкм, які наносились на лабораторне скельце, верифіковані за допомогою "золотого стандарту" діагностики. За допомогою вищеписаної системи були отримані їх орієнтаційні та фазові зображення. На рисунку 2 наводяться приклади орієнтаційних зображень та фазових зображень гістологічних зрізів стану «норма» та стану «патологія» досліджуваного захворювання із роздільною спроможністю зображень 640×480 пікселів.

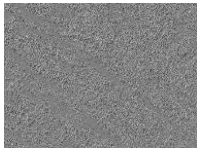
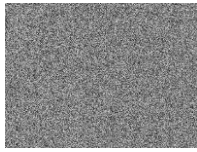
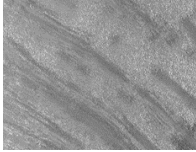
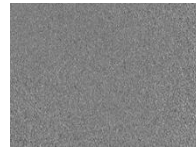
Параметр	$\rho(X, Y)$		$\delta(X, Y)$	
	Норма (група 1)	Патологія (група 2)	Норма (група 1)	Патологія (група 2)
				

Рисунок 2 - Орієнтаційні $\rho(X, Y)$ та фазові $\delta(X, Y)$ зображення гістологічних зрізів шийки матки групи «норма» та групи «патологія»

Для кожної групи орієнтаційних та фазових зображень зрізів БТ визначено відповідне середнє значення та середнє квадратичне відхилення (СКВ) відповідних статистичних та кореляційних параметрів в стані норма та патологія (таблиця 1).

Таблиця 1

Середнє значення та СКВ статистичних та кореляційних параметрів наборів орієнтаційних та фазових зображень гістологічних зрізів БТ станів «норма» та «патологія»

Параметр	Орієнтаційні зображення		Фазові зображення	
	Норма	Патологія	Норма	Патологія
M_1	0.514 ± 0.02	0.518 ± 0.020	0.582 ± 0.020	0.518 ± 0.020
M_2	0.536 ± 0.019	0.567 ± 0.018	0.589 ± 0.020	0.540 ± 0.019
M_3	1.115 ± 0.007	1.21 ± 0.011	1.040 ± 0.003	1.115 ± 0.009
M_4	0.375 ± 0.021	0.499 ± 0.023	0.387 ± 0.023	0.387 ± 0.019
Q_1	0.035 ± 0.003	0.006 ± 0.001	0.044 ± 0.007	0.043 ± 0.003
Q_2	0.046 ± 0.003	0.029 ± 0.0003	0.072 ± 0.004	0.054 ± 0.003
Q_3	9.191 ± 1.242	31.706 ± 0.902	5.266 ± 0.665	6.681 ± 0.773
Q_4	0.384 ± 0.039	0.918 ± 0.018	0.253 ± 0.027	0.302 ± 0.027

Отже, наведені в таблиці 1 оцінки статистичних моментів $M_1 - M_4$ 1-го-4-го порядків координатних розподілів елементів орієнтаційних та фазових зображень зразків БТ та оцінки кореляційних моментів $Q_1 - Q_4$ розподілів їх функцій автокореляції є ознаками для подальшої їх класифікації та побудови вирішального правила діагностування патологічних змін досліджуваних зрізів БТ. Подальший аналіз наведених ознак дозволив виявити серед них найбільш інформативні ознаки, діапазони змінювання яких не перетинаються або перетинаються незначно.

Так, встановлено, що показники $M_2 - M_4, Q_1 - Q_4$ є інформативними ознаками при діагностуванні гістологічних зрізів на основі аналізу їх орієнтаційних зображень, а показники $M_1 - M_3, Q_2 - Q_4$ - інформативні ознаки при діагностиці на основі аналізу фазових зображень гістологічних зрізів.

ППР НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ГІСТОЛОГІЧНИХ ЗРІЗІВ ЗА АНАЛІЗОМ ЇХ ОРІЄНТАЦІЙНИХ ТА ФАЗОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Використовуючи наведені інформативні ознаки як лінгвістичні змінні та застосовуючи базові принципи нечіткої логіки, були розроблені моделі ППР для діагностики гістологічних зрізів БТ за їх орієнтаційними та фазовими зображеннями.

Застосовані при цьому методологічні підходи продемонструємо на прикладі розробки нечіткої моделі ППР на основі інформативних ознак орієнтаційних зображень зрізів БТ, названих лінгвістичними змінними.

З цією метою діапазони змінювання останніх, наведені в таблиці 1, представляємо в якісних нечітких термах, які складаються із рівнів Н- низький, НС- нижче середнього, С – середній, ВС – вище середнього, В – високий [13]. Кожен із зазначених термів подає із себе нечітку множину, яка описується функціями приналежності, які визначені на інтервалі [0;1]. Значення лінгвістичних змінних $M_2 - M_4, Q_1 - Q_4$, поданих за нечіткими термами, наведено в таблиці 2 [13].

За даними таблиці 2 за допомогою логічних рівнянь отримуємо функції приналежності стану «норма» $\mu^{норма}(M_2 \div M_4, Q_1 \div Q_4)$ і «патологія» м'язової тканини шийки матки $\mu^{патологія}(M_2 \div M_4, Q_1 \div Q_4)$. При цьому логічні операції кон'юнкції (\wedge) і диз'юнкції (\vee) над функціями належності $\mu^{патологія}(M_2 \div M_4, Q_1 \div Q_4)$ нечітких термів Н, НС, С, ВС, В є адекватними визначенню мінімуму та максимуму над відповідними аргументами.

Таблиця 2

Подання значень інформативних параметрів орієнтаційних зображень за нечіткими термами

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						

Математична модель функції належності досліджуваного зразка до стану «патологія» описується рівнянням [13]

$$\begin{aligned}
 &\mu^{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}
 \tag{4}$$

За аналогією отримано математичну модель функції належності досліджуваного зразка до стану «норма», яка не наводиться у зв'язку її некомпактним виглядом.

Функції належності для відповідних нечітких термів Н, НС, С, ВС, В на інтервалі $[P_1; P_1 + 4h]$ мають такий вигляд:

$$\mu^H(p) = \begin{cases} -\frac{0.5}{h}p + 1 + \frac{0.5}{h}P_1, p \in [P_1; P_1 + h], \\ -\frac{1}{6h}p + \frac{P_1}{6h} + \frac{4}{6}, p \in [P_1 + h; P_1 + 4h]. \end{cases}$$

$$\mu^{HC}(p) = \begin{cases} \frac{1}{2h}p + 0.5 - \frac{1}{2h}P_1, p \in [P_1; P_1 + h], \\ -\frac{1}{2h}p + 1.5 + \frac{P_1}{2h}, p \in [P_1 + h; P_1 + 2h], \\ -\frac{1}{4h}p + 1 + \frac{P_1}{4h}, p \in [P_1 + 2h; P_1 + 4h]. \end{cases}$$

$$\mu^C(p) = \begin{cases} \frac{1}{2h}p - \frac{1}{2h}P_1, p \in [P_1; P_1 + 2h], \\ -\frac{1}{2h}p + 2 + \frac{P_1}{2h}, p \in [P_1 + 2h; P_1 + 4h]. \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu^{BC}(p) = \begin{cases} \frac{1}{4h}p - \frac{1}{4h}P_1, p \in [P_1; P_1 + 2h], \\ \frac{1}{2h}p - 0.5 - \frac{P_1}{2h}, p \in [P_1 + 2h; P_1 + 3h], \\ -\frac{1}{2h}p + 2.5 + \frac{P_1}{2h}, p \in [P_1 + 3h; P_1 + 4h], \end{cases}$$

$$\mu^B(p) = \begin{cases} \frac{1}{6h}p - \frac{1}{2h}P_1, p \in [P_1; P_1 + 3h], \\ \frac{1}{2h}p - 1 - \frac{P_1}{2h}, p \in [P_1 + 3h; P_1 + 4h]. \end{cases}$$

Варіант графічного подання функцій належності нечітких термів на інтервалі $[P_1; P_1 + 4h]$ показаний на рисунку 3 [14].

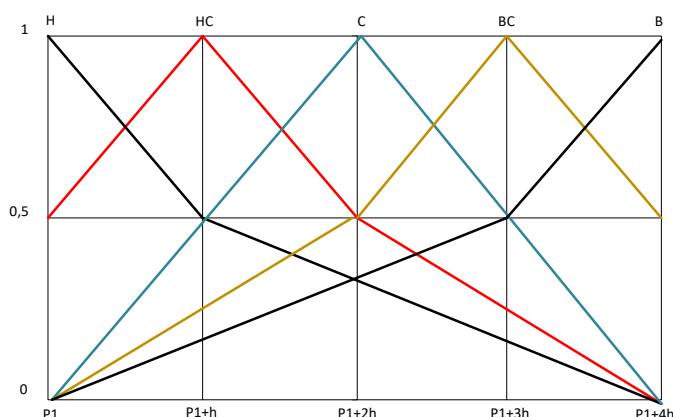


Рисунок 3 – Графічні залежності функцій приналежності нечітких термів для лінгвістичної змінної на інтервалі $[P1; P1 + 4h]$

Особливості розробки моделі прийняття рішення на основі нечіткої логіки для діагностики БТ за їх фазовими зображеннями полягають у врахуванні значень лінгвістичних змінних $M_1 - M_3, Q_2 - Q_4$, поданих за нечіткими термами, наведеними в таблиці 3.

Таблиця 3

Формалізовані значення інформативних параметрів фазових мап після застосування нечітких термів

Стан	M_1	M_2	M_3	Q_2	Q_3	Q_4
Норма	С	С	Н	BC	Н	Н
	BC	BC		В	HC	HC
	В	В			С	С
Патологія	Н	Н	BC	Н	С	С
	HC	HC	В	HC	BC	BC
	С	С			В	В

За аналогією із вищенаведеною методикою за даними таблиці 3 було визначено $\mu^{норма}(M_1 \div M_3, Q_2 \div Q_4)$ і $\mu^{патологія}(M_2 \div M_4, Q_1 \div Q_4)$ за допомогою логічних рівнянь та формул (5), адаптованих до відповідних діапазонів формалізованих значень інформативних параметрів фазових зображень БТ. Отримана залежність в статті не наводиться, застосовується в програмній реалізації вирішального правила блоку ППР на основі фазових зображень БТ.

Діагностика станів «норма» та «патологія» БТ здійснюється шляхом аналізу значень функцій приналежності станів $\mu^{норма}(\rho)$ і $\mu^{патологія}(\rho)$ та $\mu^{норма}(\delta)$ і $\mu^{патологія}(\delta)$ та обчисленню максимального із них, що є визначальним при прийнятті рішення про віднесення зразка до класу «норма» чи «патологія».

Структура програмного забезпечення (ПЗ), яке реалізує блок аналізу зображень та блок ППР системи зображальної поляризаційної діагностики гістологічних зрізів, подана на рис. 4, складається із:

- інтерфейсу користувача, що забезпечує взаємодію з лікарем та відображає логіку використання системи ППР;
- блоку аналізу зображень, що реалізує визначення оцінок статистичних та кореляційних моментів 1-го – 4-го порядків орієнтаційних та фазових зображень гістологічних зрізів БТ як інформативних ознак;
- підсистеми ППР, що реалізує математичні моделі нечіткої логіки на основі визначених інформативних ознак орієнтаційних та фазових зображень зрізів БТ;
- блок візуалізації результату, що здійснює відображення розрахованих результатів для користувача;
- блок взаємодії з базою даних, що містить дані про пацієнтів.

Враховуючи те, що Java розповсюджується під відкритою ліцензією, є об'єктно-орієнтованою мовою програмування, має необхідні інструменти для реалізації всього функціоналу програмного забезпечення, зокрема, бібліотеки для роботи з зображеннями, технологію для роботи з різними системами управління базами даних (СУБД), технологію для створення графічних інтерфейсів, дана мова була обрана для реалізації ПЗ.

За систему управління базами даних була обрана реляційна система PostgreSQL. PostgreSQL – вільна об'єктно-реляційна СУБД, сумісна з рядом операційних систем (як Unix, так і Windows). В пріоритеті даної СУБД є цілісність даних, адаптивність до об'єктно-орієнтованого підходу, повна SQL-сумісність та легка інтеграція. При цьому PostgreSQL має досить високу потужність та не накладає обмежень на розміри бази даних (при ліміті на розмір таблиць в 32 Тбайти), що дозволяє її використовувати і на достатньо великій базі даних з пацієнтами, що може утворитись в процесі розробки систем ППР для інших захворювань. Важливою перевагою також є легке встановлення зв'язку між програмою на Java та PostgreSQL за допомогою JDBC, що дозволяє повноцінно використовувати дану СУБД для розробки системи ППР.

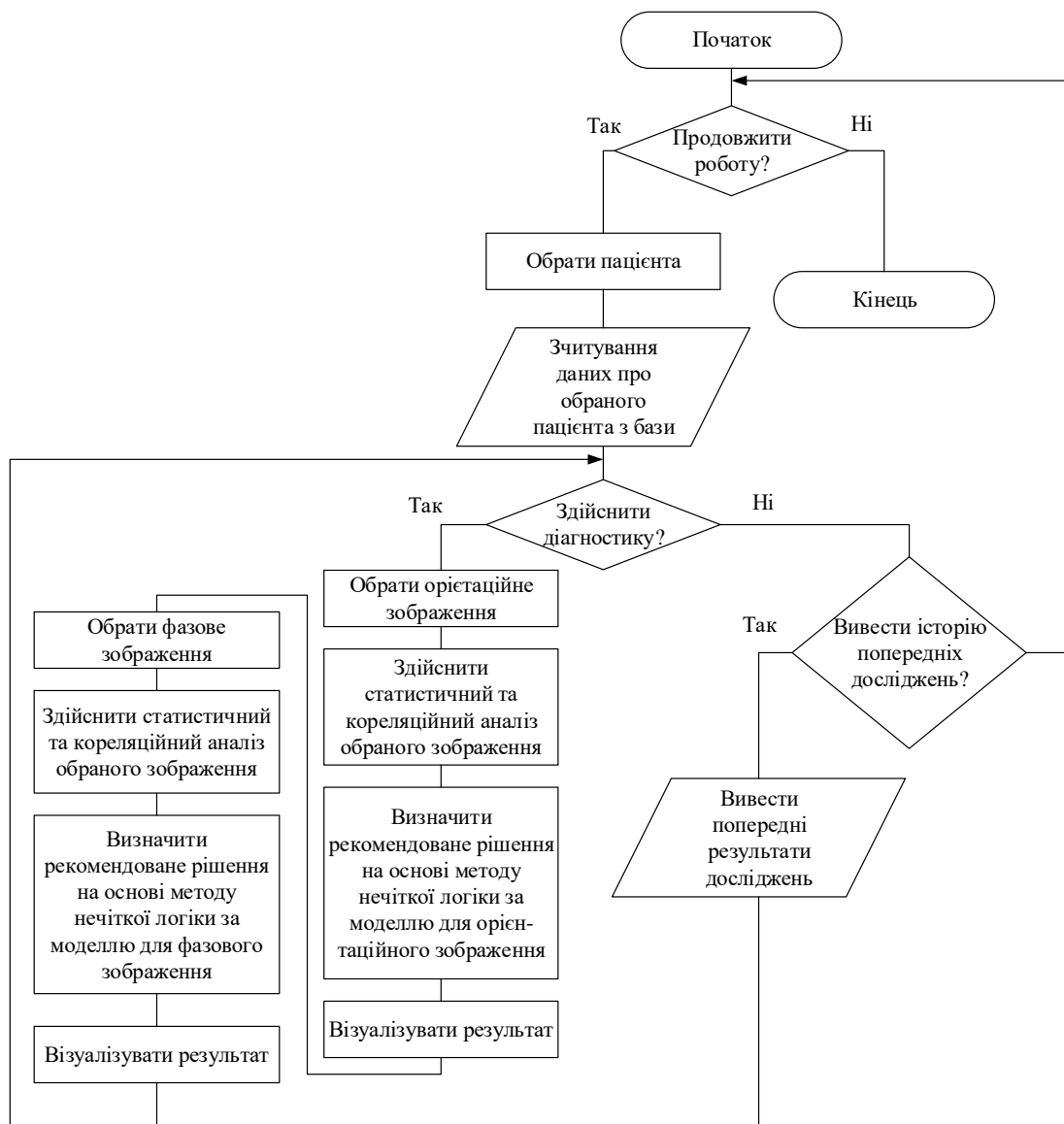


Рисунок 4 - Блок-схема організації взаємодії блоку аналізу зображень і підсистеми ППР системи зображальної поляризаційної діагностики гістологічних зрізів

Для розробки інтерфейсу користувача було використано JavaFx – платформу для створення додатків з повнофункціональним графічним інтерфейсом, що може використовуватись як для десктопних,

так і для веб-додатків, що працюють в браузерях. Важливою перевагою JavaFx є зручне застосування шаблону проектування "Модель-вид-контролер" (MVC), що дозволяє розділити логіку графічного інтерфейсу, обробку дій користувача, що взаємодіє з програмою, та обробку даних (реалізацію математичних моделей, що в даному випадку грає важливу роль у роботі ПЗ).

В даному випадку модель представляють блоки взаємодії з БД, формування інформативних ознак, формування рішення на основі нечіткої логіки.

За рахунок існування класів-контролерів, кожен з яких регулює взаємодію з представленнями графічного інтерфейсу, нема потреби напряду зв'язувати логіку аналізу зображень та формування рішення з інтерфейсною частиною, збільшується рівень абстракції. Це робить програмне забезпечення більш універсальним та адаптивним, полегшує саму розробку.

Взаємодія з базою даних здійснюється за допомогою спеціально розробленого класу WorkWithDatabase, що реалізує з'єднання з сервером PostgreSQL за допомогою JDBC-технології. Блок формування інформативних ознак реалізується класом Analyze та містить реалізацію статистичного та кореляційного аналізу зображень. Блок аналізу повністю абстрагований від графічного інтерфейсу та візуалізації даних та на вихід подає сформовані масиви статистичних та кореляційних моментів, що потім відображаються користувачеві та використовуються як інформативні ознаки у процесі прийняття рішення на основі методу нечіткої логіки.

Блок формування рішення на основі нечіткої логіки реалізується за допомогою класу FuzzyLogic.

Для відсутності дублювання коду та полегшення логіки функціонування програмного забезпечення деякі з методів не визначені напряду в класах, що їх використовують, а винесені в службові класи.

Головне вікно блоку аналізу параметрів анізотропії гістологічних зрізів із підсистемою ППР з усіма активованими функціями наведено на рисунку 5.

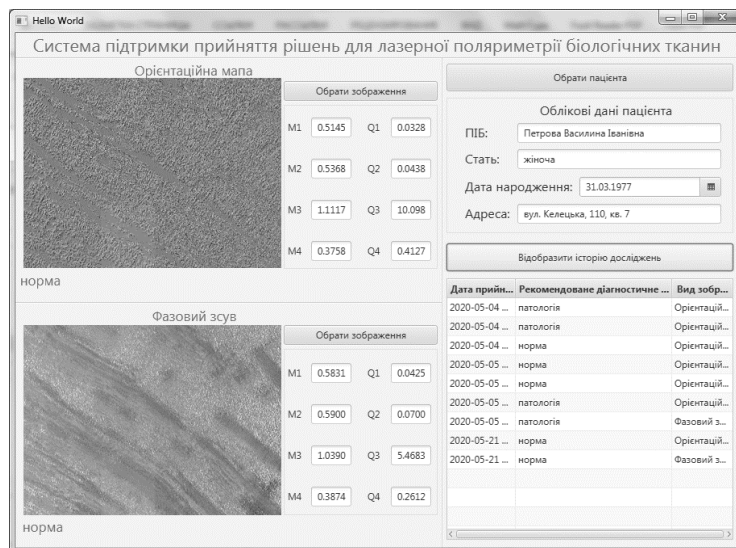


Рисунок 5 – Головне вікно блоку аналізу параметрів анізотропії зразків із підсистемою ППР з усіма активованими функціями

ОЦІНЮВАННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ДІАГНОСТИКИ ГІСТОЛОГІЧНИХ ЗРІЗІВ В СИСТЕМІ

В таблиці 4 наведено отримані в результаті експерименту дані про розподіл досліджуваних зразків гістологічних зрізів груп «норма» та «патологія» м'язової тканини шийки матки за аналізом їх орієнтаційних і фазових зображень та вирішальними правилами ППР у системі зображальної поляризаційної діагностики, враховуючи їх попередню верифікацію методами «золотого» стандарту.

Враховано такі можливі варіанти результатів: TP (істинно позитивні); TN (істинно негативні); FP (хибно позитивні); FN (хибно негативні). У відповідності до відсоткового відношення загальної кількості правильно визначених результатів до всієї кількості класифікованих зразків визначено оцінку верхньої границі достовірності прийняття рішень розробленою підсистемою ППР (A_c).

Таблиця 4

Результати оцінки достовірності діагностики гістологічних зрізів в системі

Досліджуване зображення	Розподіл за результатом тесту зразків				Оцінка достовірності, %
	TP	FN	TN	FP	Ac
Фазове зображення $\delta(M \times N)$	20	1	20	1	95,2%
Орієнтаційне зображення $\rho(M \times N)$	19	2	20	1	92,8%

Аналіз даних таблиці 4 показує підвищення достовірності діагностики зрізів за орієнтаційними та фазовими зображеннями в системі із ППР відповідно до 92,8% та до 95,2%. При відсутності системи ППР для здійснення діагностики за орієнтаційними та фазовими зображеннями було отримано оцінку достовірності, що становила 85% та 87,2% відповідно, отже, було досягнуто підвищення на 7,8% та 8% відповідно.

Значимо, що для подальшого розвитку підсистеми ППР можна застосувати підхід, описаний в роботі [15] для розробки модуля автоматизованого формування медичних документів, зокрема автоматизувати процес генерації природно-мовних діагнозів на основі словника лінгвістичних змінних нечіткої моделі та бази даних пацієнтів.

ВИСНОВКИ

Розроблено метод ППР для системи поляризаційної зображальної діагностики гістологічних зрізів на основі статистичного та кореляційного аналізу їх орієнтаційних та фазових зображень для визначення інформативних параметрів із розробкою на цій основі математичних моделей функцій приналежності станів «норма» та «патологія» на основі нечітких термів та сформованих баз знань.

На основі розробленого математичного апарату та вимог до системи спроектовано структуру програмного забезпечення та реалізовано її на засобах Java та СУБД PostgreSQL.

Завдяки використанню розробленої підсистеми ППР було підвищено достовірність оцінювання патологічних станів БТ в системі поляризаційної зображальної діагностики гістологічних зрізів до 92,8% при аналізі їх орієнтаційних зображень та до 95,2% - при аналізі фазових зображень, у порівнянні з аналогами підвищення достовірності склало 7,8% та 8% відповідно.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Alalia S. Polarized light imaging in biomedicine: emerging Mueller matrix methodologies for bulk tissue assessment / Sanaz Alalia, Alex Vitkin // Journal of Biomedical Optics. – 2015. – Vol. 20(6). – 061104.
2. Mueller matrix microscope: a quantitative tool to facilitate detections and fibrosis scorings of liver cirrhosis and cancer tissues / Ye Wang, Honghui He, Jintao Chang [et al.] // Journal of Biomedical Optics. – 2016. – Vol. 21(7). – 071112.
3. Методи і засоби лазерної поляриметрії біологічних тканин: монографія / [Ушенко О.Г., Павлов С.В., Заболотна Н.І. та ін.] – Вінниця: Едельвейс, 2019. – 269 с.
4. Savenkov S.N. Mueller-matrix characterization of biological tissues / S.N. Savenkov // Polarimetric Detection, Characterization and Remote Sensing. The Netherlands: Springer. – 2011. – P. 437-471.
5. 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.
6. Шолота В.В. Аналіз підсистем підтримки прийняття рішень в системах зображальної поляриметричної діагностики біологічних тканин / В.В. Шолота // Оптикоелектронні інформаційні технології “Фотоніка ОДС – 2020”: Збірник тез доповідей дев'ятої міжнародної науково-технічної конференції, м. Вінниця, 5-7 жовтня 2020 року. – Вінниця: Вид-во ПП “ТД Едельвейс і К”, 2020. – С. 16.
7. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей: Пер. с англ. / Кааллан Р. – М.: Вильямс, 2003. – 288 с.
8. Луньков А.Д. Интеллектуальный анализ данных Учебно-методическое пособие. — Саратов: СГУ. — 96 с.- Режим доступа http://elibrary.sgu.ru/uch_lit/1141.pdf.
9. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений / Заде Л. – М.: Мир. 1976. –167 с.

10. Ротштейн А.П. Медицинская диагностика на нечеткой логике / Ротштейн А.П. - Винница: Контингент, 1996. - 132 с.
11. Zabolotna N.I. Method and system of Jones-matrix mapping of blood plasma films with “fuzzy” analysis in differentiation of breast pathology changes / N.I. Zabolotna, K.O. Radchenko, O.V. Karas // Proc. SPIE. – 2018. – Vol. 10612, 106121P.
12. Zabolotna N.I. Processing and analysis of images in the multifunctional classification laser polarimetry system of biological objects / N.I. Zabolotna, S.V. Pavlov, V.V. Sholota [et al.] // Proc. SPIE. – 2018. -Vol. 10750. - 107500N, P.1-8.
13. Шолота В.В. Модель підтримки прийняття рішення для діагностики біологічних тканин на основі аналізу орієнтаційних зображень та нечіткої логіки / В.В. Шолота // L науково-технічна конференція факультету комп'ютерних систем і автоматики, 2021 р.: електронне видання. – Режим доступу до ресурсу <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2021/paper/view/11989>.
14. Вуйцік В., Готра О.З., Григор'єв В.В., Експертні системи: навчальний посібник. – Львів: Ліга-Прес, 2006. – 290 с.
15. Bisikalo O. Modeling the phenomenological concepts for figurative processing of natural-language constructions / Oleg Bisikalo, Yuriy Ivanov, Vladyslava Sholota // Proceedings of the 3rd International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems (COLINS-2019). Volume I: Main Conference. – Kharkiv, Ukraine, April 18-19, 2019. – Pp. 1-11.

REFERENCES

1. Alalia S. Polarized light imaging in biomedicine: emerging Mueller matrix methodologies for bulk tissue assessment / Sanaz Alalia, Alex Vitkin // Journal of Biomedical Optics. – 2015. – Vol. 20(6). – 061104.
2. Mueller matrix microscope: a quantitative tool to facilitate detections and fibrosis scorings of liver cirrhosis and cancer tissues / Ye Wang, Honghui He, Jintao Chang [et al.] // Journal of Biomedical Optics. – 2016. – Vol. 21(7). – 071112.
3. Metody i zasoby lazernoї poliaryometriї biolohichnykh tkanyh: monohrafiia / [Ushenko O.H., Pavlov S.V., Zabolotna N.I. ta in.] – Vinnytsia: Edelveis, 2019. – 269 s.
4. Savenkov S.N. Mueller-matrix characterization of biological tissues / S.N. Savenkov // Polarimetric Detection, Characterization and Remote Sensing. The Netherlands: Springer. – 2011. – P. 437-471.
5. 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.
6. Sholota V.V. Analiz pidsystem pidtrymky pryiniattia rishen v systemakh zobrazhalnoi poliaryometrychnoi diahnostryky biolohichnykh tkanyh / V.V. Sholota // Optoelektronni informatsiini tekhnolohii “Fotonika ODS – 2020”: Zbirnyk tez dopovidei dev`iatoi mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii, m. Vinnytsia, 5-7 zhovtnia 2020 roku. – Vinnytsia: Vyd-vo PP “TD Edelveis i K”, 2020. – S. 16.Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей: Пер. с англ. / Кааллан Р. – М.: Вильямс, 2003. – 288 с.
7. Lunkov A.D. Intellectuallyy analiz dannyih Uchebno-metodicheskoe posobie. — Saratov: SGU. — 96 s.- Rezhim dostupu http://elibrary.sgu.ru/uch_lit/1141.pdf.
8. Zade L. Ponyatie lingvisticheskoy peremennoy i ee primeneniye k prinyatiyu priblizhennyih resheniy / Zade L. - M.: Mir. 1976. - 167 s.
9. Rotshteyn A.P. Meditsinskaya diagnostika na nechetkoy logike / Rotshteyn A.P. - Vinnitsa: Kontingent, 1996. - 132 s.
10. Zabolotna N.I. Method and system of Jones-matrix mapping of blood plasma films with “fuzzy” analysis in differentiation of breast pathology changes / N.I. Zabolotna, K.O. Radchenko, O.V. Karas // Proc. SPIE. – 2018. – Vol. 10612, 106121P.
11. Zabolotna N.I. Processing and analysis of images in the multifunctional classification laser polarimetry system of biological objects / N.I. Zabolotna, S.V. Pavlov, V.V. Sholota [et al.] // Proc. SPIE. – 2018. -Vol. 10750. - 107500N, P.1-8.
12. Sholota V.V. Model pidtrymky pryiniattia rishennia dlia diahnostryky biolohichnykh tkanyh na osnovi analizu oriientatsiinykh zobrazhen ta nechitkoi lohiky / V.V. Sholota // L nauково-tekhnichna konferentsiia fakultetu kompiuternykh system i avtomatyky, 2021 r.: elektronne vydannia. – Rezhym dostupu do resursu <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2021/paper/view/11989>.
13. Vuitsik V., Hotra O.Z., Hryhoriev V.V., Ekspertni systemy: navchalnyi posibnyk. – Lviv: Liha-Pres, 2006. – 290 s.

14. Bisikalo O. Modeling the phenomenological concepts for figurative processing of natural-language constructions / Oleg Bisikalo, Yuriy Ivanov, Vladyslava Sholota // Proceedings of the 3rd International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems (COLINS-2019). Volume I: Main Conference. – Kharkiv, Ukraine, April 18-19, 2019. – Pp. 1-11.

ЗАБОЛОТНА НАТАЛІЯ ІВАНІВНА – д.т.н., завідувач кафедри лазерної та оптикоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна,

E-mail: Natalia.zabolotna@gmail.com

БІСІКАЛО ОЛЕГ ВОЛОДИМИРОВИЧ – д.т.н., професор, декан факультету комп'ютерних систем та автоматики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна,

E-mail: obisikalo@gmail.com

ШОЛОТА ВЛАДИСЛАВА ВЛАДИСЛАВІВНА – магістрант факультету комп'ютерних систем та автоматики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна,

E-mail: vladislava.sholota@gmail.com