

Інтелектуалізована система лазерної
поляриметрії оцінювання стану
біологічних шарів



Репей І.В., магістрант, ЛОТ-15м

Науковий керівник – к.т.н., доцент Заболотна Н.І.

Вінницький національний технічний університет

Актуальність теми:

- Одним із перспективних напрямків розвитку біомедичних систем оптичної поляризаційної діагностики є розробка автоматизованих систем двовимірної лазерної поляриметрії мікроскопічних зображень біологічних тканин.
- Комп'ютерна обробка зображень, яка здійснюється у відеополяриметрах, дає можливість будувати координатні розподіли поляризаційних характеристик у площині відповідного кадру. Це підвищує інформативність системи у порівнянні з традиційними однопроменевими поляриметрами, а також дозволяє розширити функції приладів візуального поляризаційного контролю.
- Таким чином, актуальність дослідження зумовлена необхідністю нових методів в системах лазерної поляриметрії плівок плазми крові для оцінювання патологічних змін у молочних залозах, що дозволить досягти високого рівня достовірності діагностування.

Мета:

Розширення функціональних можливостей системи лазерної поляриметрії шляхом застосування поляризаційного картографування плівок плазми крові людини у поєднанні із статистичним та кореляційним аналізом отриманих зображень та їх автоматизованою класифікацією при діагностуванні захворювань молочних залоз.

Для досягнення мети необхідно розв'язати такі задачі:

- Провести аналіз оптичних методів і систем лазерної поляриметрії біологічних шарів для діагностування патологічних змін молочних залоз.
- Удосконалити архітектуру та алгоритмічне забезпечення системи лазерного поляризаційного картографування мазків плазми крові для оцінювання патологічних змін молочних залоз.
- Визначити в результаті проведення експериментів взаємозв'язок між статистичними та кореляційними моментами розподілів азимутів та еліптичностей поляризації плівок плазми крові та станами «норма» та «патологія» молочних залоз для виявлення інформативних ознак діагностування.
- Розробити математичну модель підтримки прийняття рішень в автоматизованій системі поляризаційного картографування плівок плазми крові на основі виявлених інформативних ознак та нечітких правил при діагностуванні патологій молочних залоз.

- **Об'єктом дослідження** процеси вимірювання та аналізу поляризаційних параметрів плівок плазми крові людини з подальшою класифікацією при діагностуванні молочних залоз
- **Предметом дослідження** методи і система поляризаційного картографування плазми крові людини для диференціації патологій молочних залоз.
- **Методи дослідження.** У магістерській кваліфікаційній роботі використані методи прикладної оптики для аналізу стану поляризації поля, розсіяного біологічним об'єктом, при опроміненні його лазерним поляризаційним випромінюванням, методи системного аналізу, методи статистичного аналізу двовимірних розподілів випадкових параметрів поляризації, методи нечіткої логіки для оцінювання патологічних змін біологічних об'єктів.

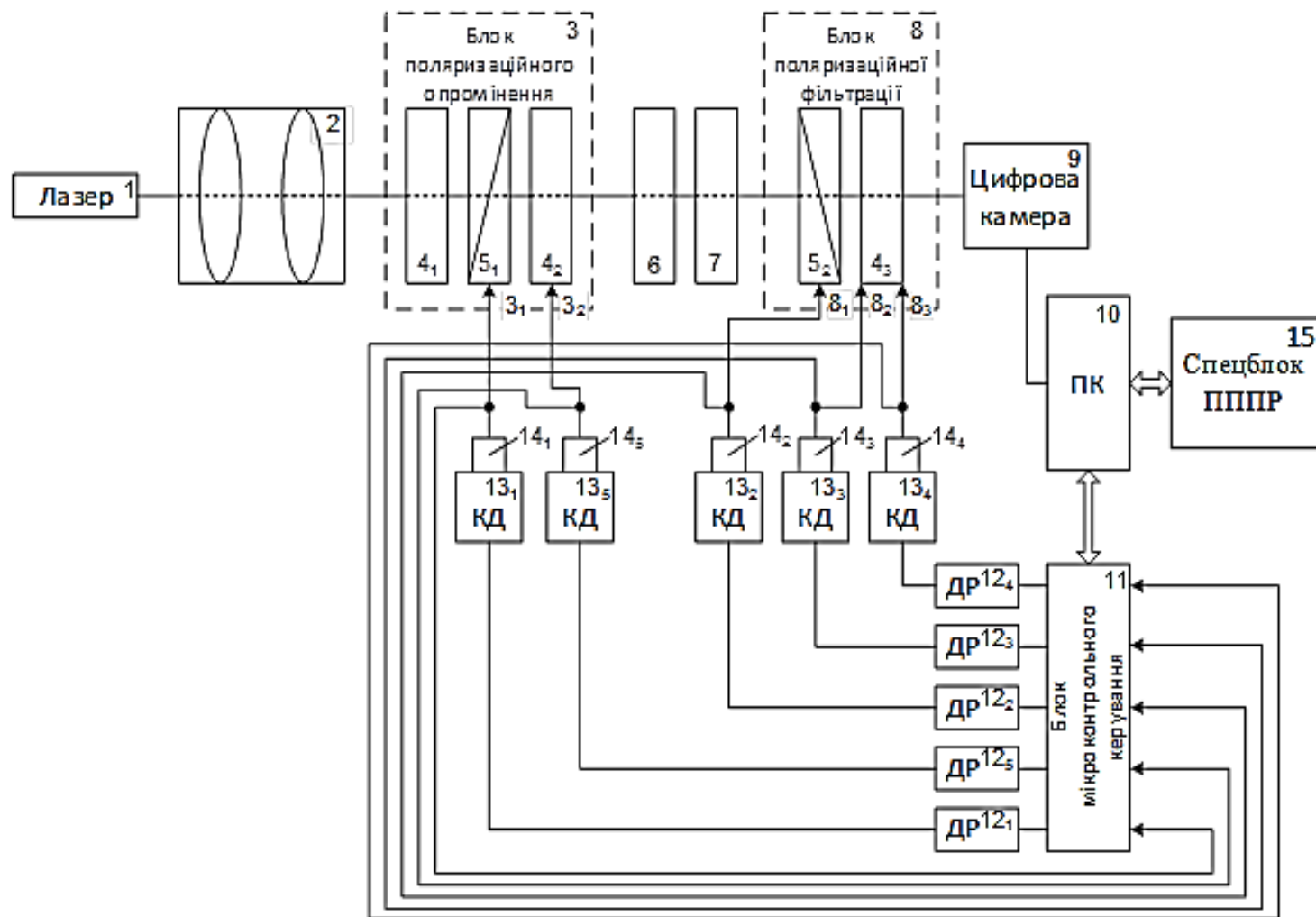
Наукова новизна проведеної роботи

- Знайдено взаємозв'язки між набором кореляційних моментів 1-го – 4-го порядків, які характеризують координатні розподіли азимутів та еліптичностей поляризаційних зображень плівок плазми крові людини та фізіологічними станами «норма», «мастопатія» та «рак» молочних залоз, що дозволило визначити кореляційні моменти 2-го та 4-го порядку як інформативні параметри для подальшої диференціації названих станів.
- Вперше одержано математичну модель підтримки прийняття рішення при оцінюванні стану молочних залоз за поляризаційним картографуванням плівок плазми крові із застосуванням статистичного та кореляційного аналізу отриманих зображень для формування діагностичних ознак та їх нечіткого аналізу для диференціації патологій, що дало можливість мінімізувати невизначеність при оцінюванні таких змін.

Практична значимість отриманих результатів

- Удосконалено архітектуру системи лазерної поляриметрії оцінювання стану біологічних шарів за рахунок введення автоматизованої підтримки прийняття рішень при діагностуванні патологій молочних залоз за поляризаційним картографуванням плівок плазми крові.

Архітектура оптико-електронної системи двовимірної лазерної поляриметриї оптико-анізотропних об'єктів



Формалізм Стокса

- Для повного опису поляризації електромагнітного випромінювання використовують формалізм Стокса, згідно якого стан поляризації випромінювання представляється за допомогою чотирьох параметрів, які записують у вигляді вектора S - вектора Стокса:

$$S = \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1 + I_2 \\ I_1 - I_2 \\ I_3 + I_4 \\ I_L + I_P \end{bmatrix} = I \begin{bmatrix} 1 \\ \cos(2\beta) \cos(2\alpha) \\ \sin(2\beta) \sin(2\alpha) \\ \sin(2\alpha) \end{bmatrix}$$

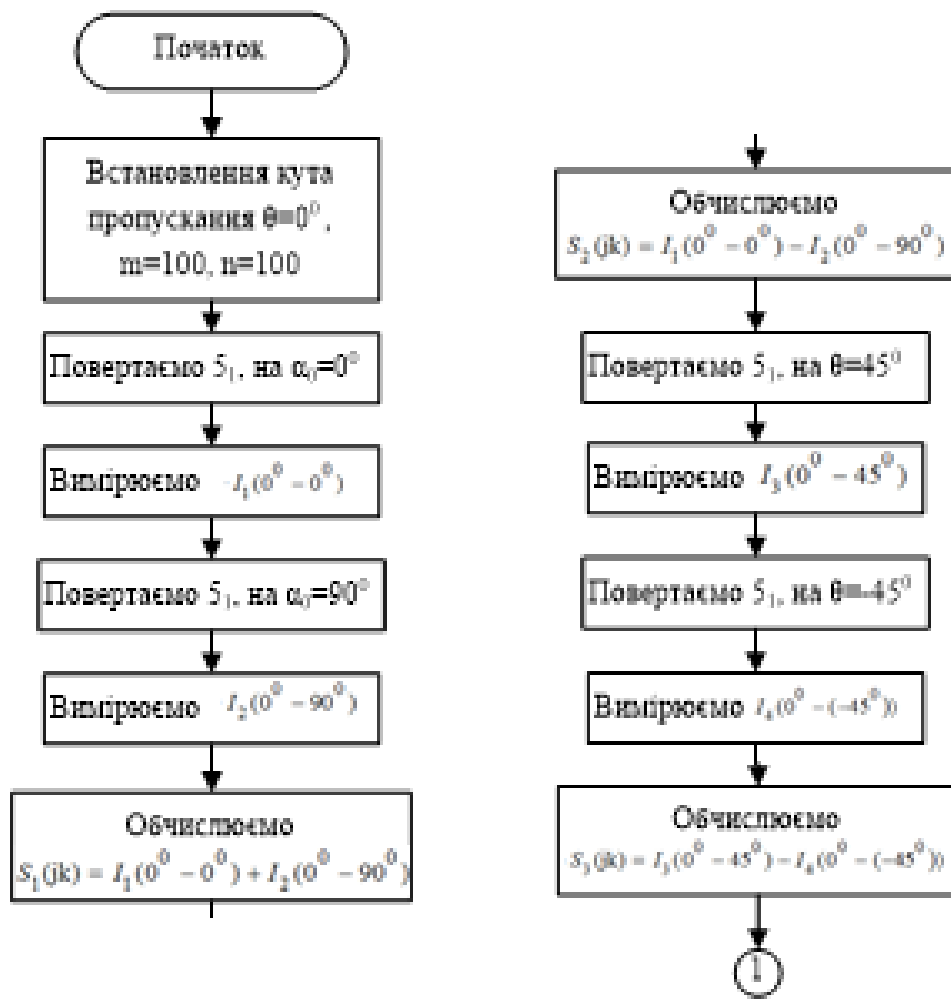
- де β – азимут еліпса поляризації; α – кут еліптичності

Визначення азимуту та еліптичності поляризації

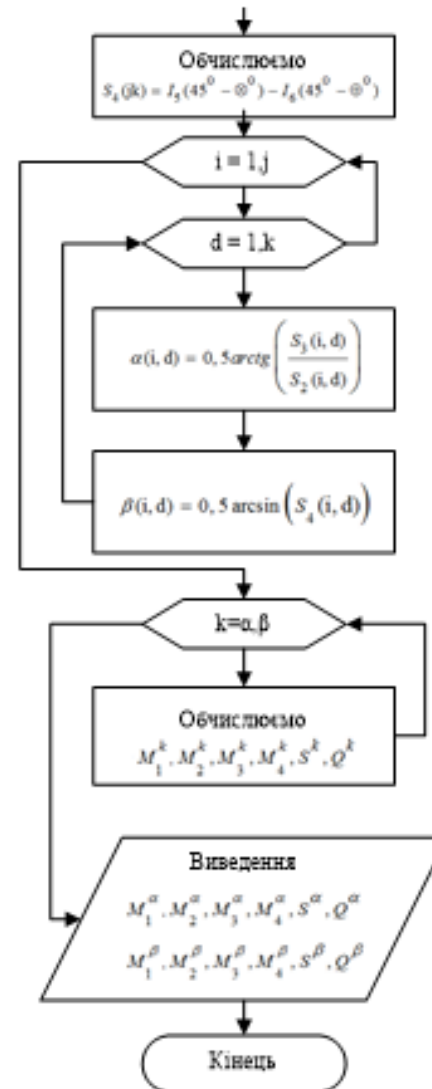
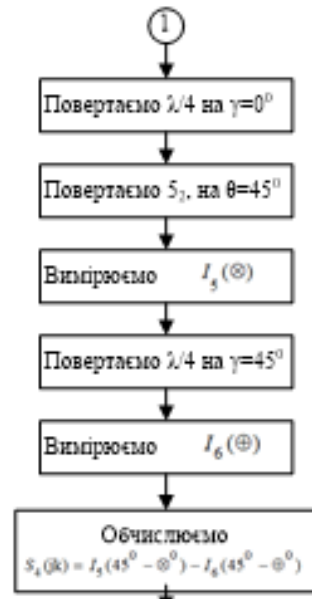
$$\alpha = 0,5 \operatorname{arctg} \left(\frac{S_3}{S_2} \right)$$

$$\beta = 0,5 \operatorname{arcsin} (S_4)$$

Блок-схема вимірювання елементів



Продовження блок-схеми



Статистичні та кореляційні методи оцінювання азимутів та еліптичностей поляризацій

Для кількісної оцінки розподілів введена їх оцінка на основі визначення набору їх статистичних моментів 1-го – 4-го порядків:

$$M_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f(i) \quad M_2 = D = \sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} (f(i) - M_1)^2$$

$$M_k = \sum_{i=0}^N (f(i) - M_1)^k p(f(i))$$

$$A = \frac{M_3}{\sigma^3}$$

$$E = \frac{M_4}{M_2^2} - 3$$

Середнє, дисперсія, асиметрія та ексцес розполів азимутів поляризації плівок плазми крові різних груп пацієнтів

Z_k^α	Норма (6 зразків)	Маєстопатія (7 зразків)	Рак (6 зразків)
Z_1^α	0,69± 0,18	0,71± 0,19	0,68± 0,23
Z_2^α	0,12± 0,035	0,19± 0,048	0,25± 0,071
Z_3^α	1,54± 0,38	1,29± 0,43	0,79± 0,16
Z_4^α	2,15± 0,48	1,87± 0,37	1,36± 0,31

Кореляційна площа, кореляційний момент азимутів поляризації плівок плазми крові різних груп пацієнтів

Параметри	Норма (6 зразків)	Мастопатія (7 зразків)	Рак (6 зразків)
S^{α}	0,21 ± 0,029	0,185± 0,025	0,14± 0,021
Q^{α}	0,21± 0,041	0,34± 0,052	1,23± 0,27

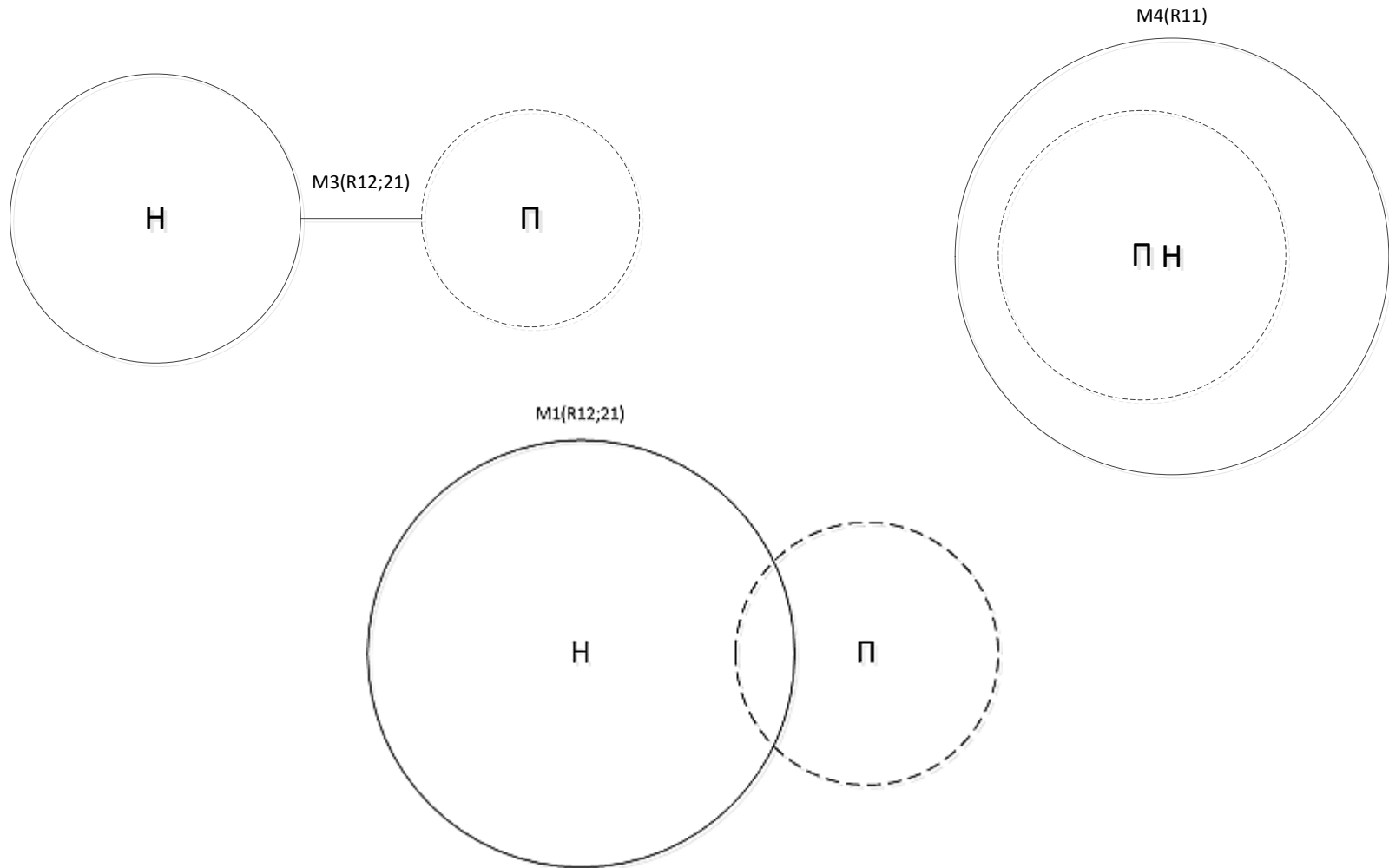
Середнє, дисперсія, асиметрія та ексцес розполів азимутів поляризації плівок плазми крові різних груп пацієнтів

Z_k^α	Норма (6 зразків)	Мастопатія (7 зразків)	Рак (6 зразків)
Z_1^α	0,015 ± 0,0055	0,035 ± 0,0015	0,07 ± 0,025
Z_2^α	0,17 ± 0,085	0,24 ± 0,095	0,29 ± 0,1
Z_3^α	1,68 ± 0,44	0,77 ± 0,22	0,54 ± 0,19
Z_4^α	2,03 ± 0,78	0,96 ± 0,25	0,58 ± 0,19

Кореляційна площа, кореляційний момент азимутів поляризації плівок плазми крові різних груп пацієнтів

Параметри	Норма (6 зразків)	Мастопатія (7 зразків)	Рак (6 зразків)
S^{α}	0,21± 0,059	0,13± 0,099	0,09± 0,07
Q^{α}	0,53± 0,17	3,12± 0,62	5,21± 0,87

Графічне зображення розкиду параметрів для фазової та орієнтаційної томографії



База даних для комплексної оцінки стану пацієнтів

Z_2^α	Z_3^α	S^α	Q^α
H	C	H	BC
H	BC	HC	B
H	B	C	-
-	C	HC	B
-	C	C	-
H	BC	H	BC
-	BC	HC	B

Математична модель

$$\mu^{y_0}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \max[\mu^{y_n}(x_1, x_2, \dots, x_n)]$$

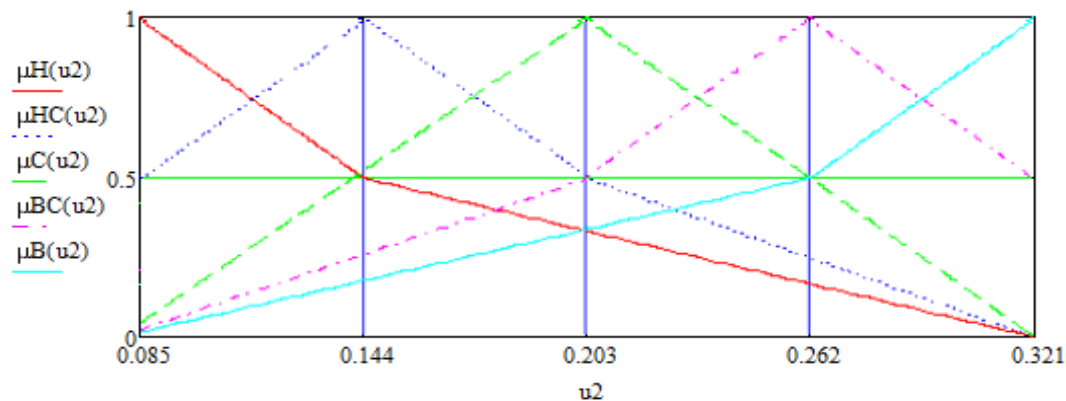
$$\mu_{\text{H}}(u_2) := \begin{cases} (1.72 - 8.48 \cdot u_2) & \text{if } 0.085 \leq u_2 \leq 0.144 \\ \frac{0.321 - u_2}{0.354} & \text{if } 0.144 \leq u_2 \leq 0.321 \end{cases} \quad +$$

$$\mu_{\text{HC}}(u_2) := \begin{cases} (-0.22 + 8.48 \cdot u_2) & \text{if } 0.085 \leq u_2 \leq 0.144 \\ (2.22 - 8.48 \cdot u_2) & \text{if } 0.144 \leq u_2 \leq 0.203 \\ (1.36 - 4.24 \cdot u_2) & \text{if } 0.203 \leq u_2 \leq 0.321 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{C}}(u_2) := \begin{cases} (4.92 - u_2) & \text{if } 0.085 \leq u_2 < 0.203 \\ (2.72 - 8.48 \cdot u_2) & \text{if } 0.203 \leq u_2 \leq 0.321 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{BC}}(u_2) := \begin{cases} (2.46 - u_2) & \text{if } 0.085 \leq u_2 < 0.203 \\ (8.48 \cdot u_2 - 1.22) & \text{if } 0.203 \leq u_2 < 0.262 \\ (3.22 - 8.48 \cdot u_2) & \text{if } 0.262 \leq u_2 \leq 0.321 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{B}}(u_2) := \begin{cases} (1.9 - u_2) & \text{if } 0.085 \leq u_2 < 0.262 \\ (8.48 \cdot u_2 - 1.72) & \text{if } 0.262 \leq u_2 \leq 0.321 \end{cases}$$



Розрахунок кінцевого результату постановки діагнозу засобами нечіткої логіки

НОРМА

$u2 := 0.29$ $u3 := 0.96$ $s1 := 0.18$ $q1 := 0.85$

$$Y1 := \min(\mu_{H1}(u2), \mu_{BC2}(u3), \mu_{C3}(s1), \mu_{H4}(q1)) = 0.088$$

$$Y2 := \min(\mu_{H1}(u2), \mu_{B2}(u3), \mu_{BC3}(s1)) = 0.088$$

$$Y3 := \min(\mu_{H1}(u2), \mu_{B3}(s1)) = 0.088$$

$$Y4 := \min(\mu_{H1}(u2)) = 0.088$$

$$Y5 := \min(\mu_{HC1}(u2), \mu_{BC2}(u3), \mu_{C3}(s1), \mu_{H4}(q1)) = 0.13$$

$$Y6 := \min(\mu_{HC1}(u2), \mu_{B2}(u3), \mu_{BC3}(s1)) = 0.13$$

$$Y7 := \min(\mu_{HC1}(u2), \mu_{B3}(s1)) = 0.13$$

$$Y8 := \min(\mu_{HC1}(u2)) = 0.13$$

$$Y9 := \min(\mu_{HC1}(u2), \mu_{BC2}(u3), \mu_{BC3}(s1)) = 0.13$$

$$Y10 := \min(\mu_{HC1}(u2), \mu_{BC2}(u3), \mu_{BC3}(s1)) = 0.13$$

$$Y11 := \min(\mu_{BC2}(u3), \mu_{B3}(s1)) = 0.374$$

$$Y12 := \min(\mu_{BC2}(u3)) = 0.374$$

$$Y13 := \min(\mu_{H1}(u2), \mu_{B2}(u3), \mu_{C3}(s1), \mu_{H4}(q1)) = 0.088$$

$$Y14 := \min(\mu_{B2}(u3), \mu_{B3}(s1)) = 0.298$$

$$D := \max(Y1, Y2, Y3, Y4, Y5, Y6, Y7, Y8, Y9, Y10, Y11, Y12, Y13, Y14, Y15, Y16, Y17, Y18, Y19, Y20, Y21, Y22, Y23, Y24, Y25, Y26, Y27, Y28) = 0.979$$

$$Y15 := \min(\mu_{B1}(u2)) = 0.739$$

$$Y16 := \min(\mu_{HC1}(u2), \mu_{B2}(u3), \mu_{C3}(s1)) = 0.13$$

$$Y17 := \min(\mu_{C3}(s1)) = 0.979$$

$$Y18 := \min(\mu_{C3}(s1)) = 0.979$$

$$Y19 := \min(\mu_{H1}(u2), \mu_{BC2}(u3), \mu_{BC3}(s1), \mu_{H4}(q1)) = 0.088$$

$$Y20 := \min(\mu_{BC3}(s1)) = 0.521$$

$$Y21 := \min(\mu_{BC3}(s1)) = 0.521$$

$$Y22 := \min(\mu_{H1}(u2), \mu_{BC2}(u3), \mu_{B3}(s1), \mu_{H4}(q1)) = 0.088$$

$$Y23 := \min(\mu_{HC1}(u2), \mu_{B2}(u3), \mu_{B3}(s1)) = 0.13$$

$$Y24 := \min(\mu_{B3}(s1)) = 0.43$$

$$Y25 := \min(\mu_{B3}(s1)) = 0.43$$

$$Y26 := \min(\mu_{HC1}(u2), \mu_{B2}(u3), \mu_{BC3}(s1), \mu_{H4}(q1)) = 0.13$$

$$Y27 := \min(\mu_{B3}(s1), \mu_{H4}(q1)) = 0.326$$

$$Y28 := \min(\mu_{H4}(q1)) = 0.326$$

Висновки

- У магістерській кваліфікаційній роботі вирішено актуальну задачу підвищення розширення функціональних можливостей системи лазерної поляриметрії шляхом застосування поляризаційного картографування плівок плазми крові людини у поєднанні із статистичним та кореляційним аналізом отриманих зображень та їх автоматизованою класифікацією при діагностуванні захворювань молочних залоз.
- Проведено аналіз оптичних методів і систем лазерної поляриметрії біологічних шарів для діагностування патологічних змін молочних залоз.
- Удосконалено архітектуру та алгоритмічно забезпечення системи лазерного поляризаційного картографування мазків плазми крові для оцінювання патологічних змін молочних залоз.

Висновки

- Визначено в результаті проведення експериментів взаємозв'язок між статистичними та кореляційними моментами розподілів азимутів та еліптичностей поляризації плівок плазми крові та станами «норма» та «патологія» молочних залоз для виявлення інформативних ознак діагностування.
- Розроблено математичну модель підтримки прийняття рішень в автоматизованій системі поляризаційного картографування плівок плазми крові на основі виявлених інформативних ознак та нечітких правил при діагностуванні патологій молочних залоз.
- Одержано функції належності при оцінюванні стану молочних залоз за картографуванням мазків плазми крові, що дозволило на основі застосування принципів нечіткої обробки вивести правила прийняття рішення для автоматизованого діагностичного процесу.
- Та проведено аналіз економічної ефективності розробки

Дякую за увагу!