

Анастасія БАЙКОВА, студент,

Микола БОГОМОЛОВ, канд. техн. наук, доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського», м. Київ, Україна, e-mail: baykova.anastasiia@gmail.com

КОМП'ЮТЕРНА МОДЕЛЬ ДЛЯ АНАЛІЗУ СПЕКЛ-ЗОБРАЖЕНЬ ЕРИТРОЦИТІВ КРОВІ

Анотація. У сучасній медицині широко використовується оптичне дослідження змін в клітинній морфології, зокрема в морфології еритроцитів, як інструмент діагностики патологій. Серед оптичних методів аналізу крові, метод спекл-інтерферометрії заслуговує особливої уваги, оскільки дозволяє досліджувати оптично шорсткі поверхні, зокрема поверхню еритроцитів. Проте, існуючі комп'ютерні моделі для обробки спекл-інтерферограм мають обмеження за кількістю аналізованих зображень, ускладнюючи дослідження. У даній роботі розроблено комп'ютерну модель для аналізу спекл-зображень крові, яка має на меті усунення даних обмежень.

Ключові слова: комп'ютерна модель, кров, спекл, інтерферометрія, параметри крові.

Актуальність

Розробка комп'ютерної моделі для аналізу спекл-зображень еритроцитів крові відповідає сучасним тенденціям впровадження інформаційних цифрових технологій доказової медицини і може допомогти в удосконаленні діагностики захворювань, пов'язаних із змінами у морфології еритроцитів крові.

Мета

Підвищення якості оцінки функціонального стану еритроцитів крові людини шляхом розробки оригінальної комп'ютерної моделі для обробки спекл-інтерферограм еритроцитів.

Основні матеріали

Наразі, спекл-інтерферометрія вважається найточнішим оптичним методом для визначення параметрів крові людини [1]. Даний метод дозволяє досліджувати оптично шорсткі поверхні, до яких належить поверхня еритроцитів крові людини. Фізичною основою спекл-інтерферометрії є формування спекл-картини під час взаємодії лазерного світла з шорсткою (дифузною) поверхнею. В результаті, через високу когерентність світла, виникають хаотичні ефекти інтерференції, які являють собою лазерний спекл. Більше того, зміна спекл-зображення характеризує зміну властивостей досліджуваного об'єкта, що є досить важливим при аналізі еритроцитів.

У дослідженні [2] було описано загальну методологію проведення спекл-інтерферометричного аналізу поверхні еритроцитів крові людини (рис. 1).

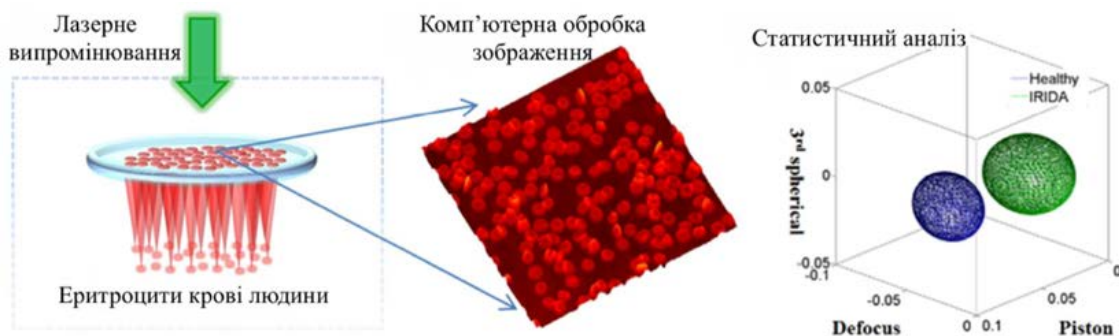


Рис. 1. Загальний принцип аналізу поверхні еритроцитів за допомогою спекл-інтерферометрії [2]

До загального принципу проведення аналізу поверхні еритроцитів за допомогою спекл-інтерферометрії можна віднести пропускання лазерного світла крізь зразок еритроцитів, комп'ютерну обробку отриманої спекл-структури та проведення статистичного та кореляційного аналізу отриманих результатів.

Робота розроблюваної комп'ютерної моделі передбачає саме статистичний аналіз отриманих спекл-структур еритроцитів крові. Загалом, у дослідженнях [2, 3] зазначається, що для статистичного аналізу зазвичай необхідно попередньо виконати комп'ютерну обробку отриманого зображення, включаючи зчитування, сегментацію, обробку фону, бінаризацію тощо.

Прикладом комп'ютерної обробки спекл-інтерферограм зразків крові, досліджених в умовах *in vitro*, є дослідження [4], в якому за допомогою середовища Matlab було створено комп'ютерну модель, що в декілька етапів аналізує отримані зображення. Варто зазначити, що недоліком моделі в даному дослідженні є саме обмеженість аналізу спекл-структур, оскільки потенціал роботи даної моделі зменшено до 5 зображень.

Результати

Комп'ютерна модель для обробки спекл-інтерферограм еритроцитів крові людини створювалась в програмному забезпеченні MatLab з використанням бібліотеки «Image processing toolbox».

Принцип роботи розробленої комп'ютерної моделі полягає у використанні циклів *for* з відомою кількістю повторювань, для проведення аналізу необмеженої кількості спекл-структур. Узагальнюючи основні засади роботи даної моделі можна розділити її на 2 етапи (рис. 2):

1. В першому циклі передбачається статистична обробка спекл-структур, для цього проводиться зчитування зображення, видалення та візуалізація фону, бінаризація зображень, сегментація об'єктів на зображеннях для визначення кількості спеклів, аналіз сірого зображення для визначення розподілу інтенсивностей пікселів та основних статистичних параметрів.

2. В другому циклі передбачається кореляційний аналіз, який полягає у порівнянні першого еталонного зображення з усіма іншими досліджуваними зображеннями для визначення відхилень від норми досліджуваних зразків.

На рис. 2 представлено блок-схему роботи комп'ютерної моделі для аналізу спекл-структур еритроцитів крові.

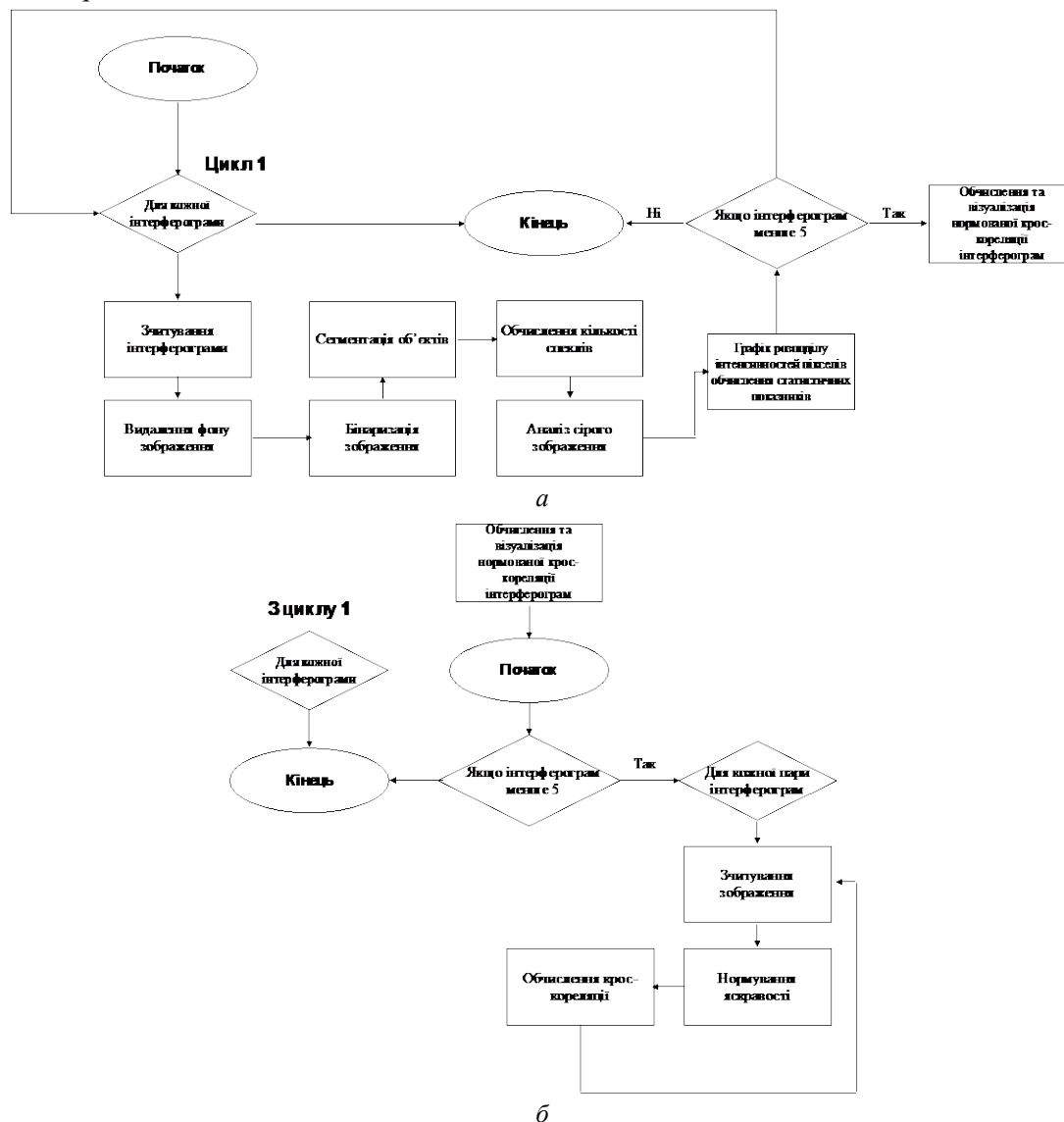


Рис. 2. Блок-схема роботи комп'ютерної моделі: а – перший цикл для обробки та статистичного аналізу спекл-інтерферограм; б – другий цикл для кореляційного аналізу спекл-інтерферограм

В результаті тестування розробленої моделі було отримано дані зі статистично-кореляційного аналізу спел-структур еритроцитів (табл. 1).

Таблиця 1

Результати статистичного та кореляційного аналізу спел-інтерферограм зразків крові людини

№ зразка	Кількість спелів на досліджуваному спел-зображенні	Середня інтенсивність пікселів на досліджуваному спел-зображенні	Середнє квадратичне відхилення інтенсивностей пікселів досліджуваного спел-зображення	Коефіцієнт кореляції інтенсивності пікселів між еталонним та патологічними спел-зображеннями
1	950	60,66	40,90	–
2	466	46,83	34,53	0,86607

З табл. 1, зразок 1 – це еталонна спел-інтерферограма, тобто з її значеннями порівнювались значення зразка 2. Видно, що в еталонному зображенні кількість спелів становила 960, тоді як в другому зразку 466, що свідчить про наявність в ньому відхилень від норми. Середня інтенсивність (загальний рівень яскравості зображення), як і середнє квадратичне відхилення, пікселів також різняться між еталонним та другим зразком. За результатами кореляційного аналізу було отримано коефіцієнт кореляції між двома зразками 0,866, що вказує на наявність сильного позитивного зв'язку між обома зразками, але між ними є деякі відмінності, що підтверджує наявність відхилень від норми у другому зразку.

Висновки

У даній роботі було розроблено комп'ютерну модель для обробки та статистично-кореляційного аналізу спел-інтерферограм. Було проаналізовано сучасні літературні джерела, що вказують на високу точність методу спел-інтерферометрії в контексті дослідження еритроцитів крові. Також було виявлено недоліки в існуючих комп'ютерних моделях для обробки та статистичного аналізу спел-структур. При безпосередній розробці комп'ютерної моделі було створено її блок-схему для визначення основних етапів її роботи, а також результатів, які вона буде забезпечувати. Після цього було розроблено комп'ютерну модель та протестовано її на двох зразках еритроцитів крові людини (еталонному та з відхиленнями від норми). Отримані статистично-кореляційні характеристики дозволили зробити висновок про відхилення від норми досліджуваних зразків крові людини та ступінь їх розбіжності з еталонним зразком.

Література

1. Mulansky, Mario. (2017). Localization Properties of Nonlinear Disordered Lattices.
2. Mugnano, M., Memmolo, P., Miccio, L., Merola, F., Bianco, V., Bramanti, A., ... Ferraro, P. (2018). Label-Free Optical Marker for Red-Blood-Cell Phenotyping of Inherited Anemias. *Analytical Chemistry*, 90(12), 7495–7501. doi:10.1021/acs.analchem.8b01076.
3. Gulpreet Kaur Chadha, Aakarsh Srivastava, Abhilasha Singh, Ritu Gupta, Deepanshi Singla, An Automated Method for Counting Red Blood Cells using Image Processing, *Procedia Computer Science*, Volume 167, 2020, Pages 769-778, ISSN 1877-0509, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.408>.
4. Богомолов М. Ф. Комп'ютерна обробка спел-інтерферограм для оптичного діагностування біологічних мікрооб'єктів / М. Ф. Богомолов, В. В. Шликов, С. І. Вовянко. // Біомедична інженерія та технологія. – 2021. – №6. – С. 99–108.