Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет навчально-науковий центр заочної форми навчання
(повна назва)

Кафедра електронних обчислювальних машин
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Методи фільтрації медичних зображень

(тема)

Виконав:
студент II курсу, групи СПзм-18-2
Малах К.П.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність
123 – Комп'ютерна інженерія
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-наукова
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма
Системне програмування
(повна назва освітньої програми)

Керівник: доц. Янковський О.А.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри ЕОМ _____ Коваленко А.А.
(підпис) (прізвище, ініціали)

2020 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет навчально-науковий центр заочної форми навчання

Кафедра електронних обчислювальних машин

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія
(код і повна назва)

Тип програми освітньо-наукова
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Системне програмування
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедри _____
(підпис)
"____" _____ 20___ р.

ЗАВДАННЯ

НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Малаху Кирилу Петровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Методи фільтрації медичних зображень

затверджена наказом по університету від " 30 " березня 2020 р. № 43 Стз

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 18 травня 2020 р.

3. Вхідні дані до роботи

1.Програмне забезпечення: MATLAB, Adobe Photoshop

2. Формати файлів: bmp, jpeg

3. Мінімальні вимоги до комп'ютера: ОЗП 2 Гб, ЖМД 500 Гб

4. Операційна система: Windows 7 та вище

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

1. Проблеми фільтрації зображень
2. Базові методи фільтрації зображень
3. Застосування до медичних зображень методів фільтрації
4. Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) 15 слайдів

6. Консультанти розділів роботи (заповнюється за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз проблем фільтрації зображень	31.03 – 13.04	
2	Дослідження методів фільтрації	15.04 – 24.04	
	зображень		
3	Проведення досліджень	25.04 – 05.05	
	з фільтрації медичних зображень		
4	Оформлення матеріалів атестаційної роботи	06.05 – 11.05	
	роботи		
5	Подання атестаційної роботи керівникові	12.05 – 13.05	
	та її попередній захист		
6	Подання атестаційної роботи	14.05 – 15.05	
	на рецензування		

Дата видачі завдання 30 березня 2020 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ доц. Янковський О.А.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка атестаційної роботи: 74 с., 53 рис., 1 дод., 15 джерел.

ЗОБРАЖЕННЯ, ПІКСЕЛ, КОРЕКЦІЯ, МЕДІАНА, ФАЙЛ, ФІЛЬТР, ФОН, ШУМ, MATLAB

Метою атестаційної роботи є аналіз найбільш поширених фільтрів для фільтрації цифрових зображень і їх застосування для фільтрації медичних зображень відповідно до поставлених завдань.

У ході виконання атестаційної роботи були проаналізовані широко відомі методи фільтрації цифрових зображень. Показані їх переваги та недоліки, можливі області застосування.

Розглянуті методи фільтрації цифрових зображень застосовувалися до різних медичних зображень для їх обробки. Розглянуто завдання видалення шумів на зображеннях, виділення об’єктів інтересу, згладжування меж об’єктів, поліпшення зображень.

Результати роботи дозволяють оптимізувати процедуру вибору методів фільтрації відповідно до поставлених завдань.

ABSTRACT

Master’s thesis: 74 pages, 53 figures, 1 appendix, 15 sources.

IMAGE, PIXEL, CORRECTION, MEDIANA, FILE, FILTER, BACKGROUND

The major goal of this thesis is to analyze the most common filters for filtering digital images and their use for filtering medical images in accordance with the objectives.

Well-known methods of digital image filtering were analyzed in thesis. Their advantages and disadvantages, possible areas of application are shown.

The considered methods of filtering digital images were applied to various medical images for their processing. The tasks of noise removal on images, selection of objects of interest, smoothing of borders of objects, improvement of images are considered.

The results allow to optimize the procedure for selecting filtering methods in accordance with the objectives

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АЧХ – амплитудно- частотна характеристика

ІФ – інверсна фільтрація

ЛФ – лінійна фільтрація

МФ – медіанна фільтрація

НФ – нелінійна фільтрація

ОІ – об’єкт інтересу

ПФ – поріг фільтрації

ВСТУП

Інтенсивний розвиток різних галузей науки, пов’язаних з цифровими технологіями призвело до розробки різних методів і алгоритмів цифрової обробки зображень.

Однією з дуже важливих областей застосувань обробки зображень є обробка медичних зображень, що дуже важливо як для медичної практики, так і на етапі підготовки медичних фахівців, а також наукових досліджень.

Розвиток комп’ютерної техніки забезпечує роботу з медичними зображеннями на дуже високому рівні. Однією із важливих завдань при обробці медичних зображень є фільтрація зображень [1]. Необхідність такої процедури пояснюється наступним.

На зображеннях, отриманих від різних пристроїв є спотворення. Для зменшення спотворень використовують різні методи, одним з яких є фільтрація. Наступною проблемою є придушення шуму на зображеннях. Для різних видів шумів використовуються спеціальні алгоритми. Універсальних алгоритмів придушення шуму немає.

При вирішенні завдань фільтрації іспользуются різні підходи, засновані на імовірнісних моделях і статистичних критеріях, оскільки необхідно домогтися мінімального відмінності обробленого зображення від вихідного в ідеальному вигляді. Велика кількість методів і алгоритмів фільтрації пояснюється великою різноманітністю математичних моделей сигналів і перешкод, а також різними критеріями. Ніяке електронний пристрій для отримання зображень не забезпечує ідеальної якості зображень досліджуваних об’єктів. Зображення в процесі формування піддаються впливу різних видів перешкод або шумів.

Головною проблемою при обробці зображень є ефективне видалення шуму при збереженні важливих для подальшого аналізу деталей зображення. Трудомісткість вирішення даного завдання дуже сильно залежить від

характеру шумів. На відміну від детермінованих спотворень, які описуються різними функціональними перетвореннями зображення, для опису випадкових перешкод використовується моделювання адитивного, імпульсного і мультиплікативного шумів.

Багато перешкод створюється випадковим адитивним шумом, статистично незалежним від сигналу. Модель адитивного шуму використовується тоді, коли сигнал на виході системи або на будь-якому етапі перетворення може розглядатися як сума корисного сигналу і деякого випадкового сигналу.

Різноманіття методів і алгоритмів пов’язано з великою різноманітністю сцен, які описуються різними математичними моделями. Крім того, застосовуються різні критерії оптимальності, що також веде до різноманітності методів фільтрації. Нарешті, навіть при збігу моделей і критеріїв дуже часто через математичних труднощів не вдається знайти найбільш підходящу процедуру. Складність знаходження точних рішень вимагає створення різних варіантів методів і процедур фільтрації.

Дана робота присвячена аналізу алгоритмів і методів фільтрації зображень, які найкраще підходять для різних медичних зображень.

1 АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ФІЛЬТРАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ

Зображення, сформовані різними системами спотворюються під впливом перешкод різного характеру. Перешкоди ускладнюють візуальний аналіз зображення і його автоматичну обробку. При стисненні зображень шум може бути прийнятий за деталі зображення, і це може погіршити якість стисненого зображення.

Ослаблення дії перешкод досягається фільтрацією [2]. При фільтрації яскравість кожної точки вихідного зображення, спотвореного перешкодою, замінюється деяким іншим значенням яскравості, яке визнається в найменшій мірі спотвореним перешкодою. Для виконання фільтрації необхідно виробити принципи таких перетворень, які грунтуються на тому, що інтенсивність зображення змінюється по просторовим координатам повільніше, ніж функція перешкод. В інших випадках, навпаки, ознакою корисного сигналу є різкі перепади яскравості.

У методах фільтрації часто при аналізі реального сигналу в деякій точці зображення беруть до уваги деяке безліч сусідніх точок, яку називають околицею, скориставшись певною схожістю сигналу в цих точках. Околиця може бути утворена найближчими сусідніми пікселями, а також можуть бути околиці з досить сильно віддалених точок зображення. В цьому випадку, ступінь впливу далеких і близьких точок на рішення, що приймаються фільтром в даній точці зображення, буде абсолютно різною.

Одним з найбільш поширеним критерієм оптимальності, що застосовуються для оцінки якості обробки, є критерій мінімуму середнього квадрата помилок. Вибір оптимального фільтра полягає у визначенні його характеристики таким чином, щоб середній квадрат помилки, який виражає відмінність між сигналом і оцінкою, що формується фільтром, був мінімальним.

Дуже часто при обробці необхідно зберегти середню яскравість зображення за допомогою математичного очікування:

$$m_{x*}=m_y \cdot \sum_{(i_1,j_1)} \sum_{\in S} a(i_1,j_1) \qquad (1.1)$$

де m_y - середня яскравість початкового зображення, і m_{x*} - середня яскравість зображення після обробки.

Для збереження середньої яскравості зображення необхідне дотримання наступної умови:

$$\sum_{(i_1,j_1)} \sum_{\in S} a(i_1,j_1) = 1 \qquad (1.2)$$

Великою проблемою зображень є різного виду шуми. Так, адитивний гаусів шум часто утворюється на етапі формування цифрових зображень. Основну інформацію в зображеннях несуть контури об’єктів. Зазвичай лінійні фільтри ефективно видаляють статистичний шум.

Для імпульсних шумів характерна зміна яскравості пікселів випадковими значеннями, що призводить до появи на зображенні точок підвищеної контрастності. Імпульсний шум зазвичай з’являється на етапі введення зображень з камери, систем передачі зображень і в цифрових систем передачі і зберігання зображень. Видалення імпульсних шумів проводиться за допомогою спеціальних нелінійних фільтрів на основі рангової статистики. В даних фільтрах проводиться детектування позиції імпульсу і заміна його іншим значенням, при збереженні інших пікселів зображення незмінними [3].

Багато шумів можна добре наблизити моделлю білого Гауссова шуму, тому багато алгоритми налаштовуються на придушення саме цього виду шуму.

Для придушення Гауссова шуму використовуються як лінійні, так і

нелінійні фільтри.

При лінійної фільтрації що згладжує, значення інтенсивності в кожній точці усредняется за деякою масцкою.

З метою розширення спектру завдань, що вирішуються засобами цифрової обробки зображень, і подолання обмежень, характерних для методів лінійної фільтрації, використовуються різні методи нелінійної цифрової фільтрації.

Для збереження перепадів відтінків, різних кордонів і локальних піків яскравості на перекручених імпульсним шумом зображеннях можна застосувати медіанну фільтрацію.

Як і фільтр, що згладжує, медіанний фільтр використовується для пошуку адитивного та імпульсного шумів на зображенні. Характерною особливістю медіанного фільтра, що відрізняє його від згладжуючого, є збереження перепадів яскравості (контурів). При цьому якщо перепади яскравості великі в порівнянні з дисперсією аддитивного білого шуму, то медіанний фільтр дає кращі результати, ніж оптимальний лінійний фільтр. Особливо ефективним медіанний фільтр є в разі імпульсного шуму.

Не існує універсальних методів усунення шуму, фільтрації зображень. Тому кожен раз під кожне конкретне зображення необхідно підбирати метод фільтрації [5]. Завданням роботи є пошук оптимальних методів фільтрації медичних зображень.

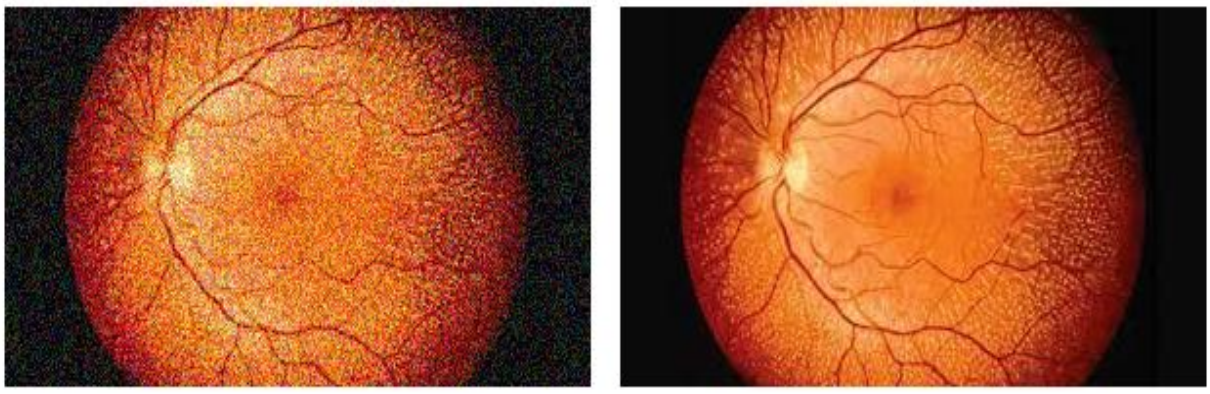
2 БАЗОВІ АЛГОРИТМИ ФІЛЬТРАЦИИ ЗОБРАЖЕНЬ

Методів фільтрації зображень дуже багато, при цьом немає єдіних рекомендацій як обробляті зображення в деяких конкретних випадках. Один и тій же алгоритм фільтрації дозволяє поліпшіті деякі зображення, а для других може бути непригодним.

Розглянемо основні методи фільтрації зображення.

2.1 Масочна фільтрація

При цифровій обробці зображень широко використовується масочная фільтрація [2]. При цьому використовується маска, що представляє собою матрицю вагових коефіцієнтів, заданих у всіх точках околиці, зазвичай симетрично оточуючих робочу точку зображення. Поширеним видом околиці є квадрат розміром 3 на 3 елементи з робочим елементом у центрі (рис. 2.1).



а) б)

Рисунок 2.1 – Приклад масочної фільтрації:
а) початкове зображення; б) зображення після фільтрації

Застосовують також різні різновиди масок, наприклад рівномірна маска, всі дев’ять вагових коефіцієнтів якої рівні 1/9. Такий вибір коефіцієнтів відповідає умові збереження середньої яскравості.

2.2 Нелінійна фільтрація

Всі лінійні алгоритми фільтрації призводять до згладжування різких перепадів яскравості зображень, що пройшли обробку. Лінійні процедури є оптимальними при гауссовському розподілі сигналів, перешкод і спостережуваних даних. Зазвичай цій умові відповідають шумові перешкоди на зображеннях, тому при їх придушенні лінійні алгоритми мають високі показники. На зображеннях є різноманітні перепади яскравості на кордонах, переходи від однієї текстури до іншої. Часто виникають різного виду перешкоди, наприклад імпульсна перешкода. При її впливі на зображенні спостерігаються білі або чорні точки, хаотично розкидані по кадру. Застосування лінійної фільтрації в цьому випадку неефективно. Для ефективної фільтрації в таких випадках використовують нелінійну фільтрацію [2].

2.3 Медіанна фільтрація

Для вирішення перерахованих вище проблем зручним варіантом є застосування медіанної фільтрації [4]. Медіанна фільтрація являє собою евристичний метод обробки, її алгоритм не є математичним рішенням строго сформульованої задачі. Також як і в методі масочной фільтрації, при застосуванні медіанного фільтра відбувається послідовна обробка кожної точки зображення, а для обчислення оцінки використовується вікно. Найбільш часто застосовуються варіанти вікон у вигляді хреста і у вигляді квадрата. Розміри вікна змінюються в залежності від завдання і характеру

зображення. Відлік зображення, що опинилися в межах вікна, утворюють робочу вибірку поточного кроку.

Позначимо робочу вибірку у вигляді одновимірного масиву; число елементів якого дорівнює розміру вікна. Зазвичай застосовують вікна з непарним числом точок n. Якщо впорядкувати послідовність елементів масиву по зростанню, то її медианой (середнім значенням) буде той елемент вибірки, який займає центральне положення в цій впорядкованої послідовності. Отримане таким чином число і є продуктом фільтрації для поточної точки зображення. Результат такої обробки не залежить від того, в якій послідовності представлені елементи зображення в робочій вибірці. Формальний опис даної процедури виглядає наступним чином:

$$x^* = med(y_1, y_2, \ldots, y_n), \tag{2.1}$$

де $y_1, y_2 \ldots y_n$ – значення пікселів вікна.

Якщо апертура фільтру знаходиться поблизу кордону, що розділяє світлий і темний ділянки зображення, то при цьому її центр розташовується в області темного ділянки і робоча вибірка буде містити більшу кількість елементів з малими значеннями яскравості, і, отже, медіана перебуватиме серед тих елементів робочої вибірки, які відповідають цій області зображення.

Розглянемо приклад. Припустимо, що вибірка має вигляд: {120, 100, 68, 45, 200, 255, 180, 130, 87}, а елемент 255, розташований в її центрі, відповідає поточній точці фільтрації (i1, i2). Упорядкована по зростанню вибірка має при цьому вид: {45, 68, 87, 100, 120, 130, 180, 200, 255}, отже, отримуємо:

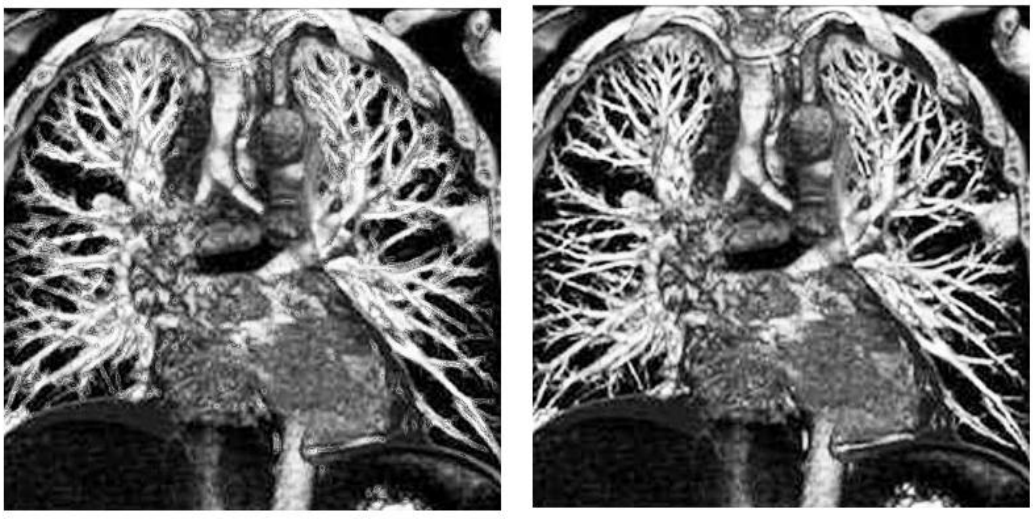
$$x^* = med(y_1, y_2, \ldots, y_9) = 120 \tag{2.2}$$

Вплив сусідніх пікселів на результат фільтрації в поточній точці

призвело до ігнорування імпульсного викиду яскравості, що слід розглядати як ефект фільтрації. Якщо імпульсна перешкода не є точковою, а покриває деяку локальну область, то вона також може бути усунена. Це відбувається коли розмір цієї локальної області буде менше, ніж половина розміру вікна. Тому для придушення імпульсних перешкод, що вражають локальні ділянки зображення, слід збільшувати розміри вікна.

Медіанна фільтрація краще зберігає границі зображення, чем будь-яка лінійна фільтрація. Медіанні фільтри прідушують імпульсні шуми. Однако при збільшенні маски фільтра можна втратіті інформацію про малорозмірні області зображення малого розміру та спотворити кордону областей зображення. У деяких випадках це можна виключити за допомогою алгоритму адаптивної медіанної фільтрації. Застосування такого фільтра дозволяє видалити біполярну імпульсну заваду, забезпечити згладжування шумів і зменшити придушення високих частот у зображенні.

На рисунку 2.2 наведено приклад фильтрации шуму за допомогою медіанного фільтра.



а) б)

Рисунок 2.2 – Приклад застосування медіанної фільтрації:
а) початкове зображення; б) зображення після фільтрації

Також слід зазначити, що алгоритм медіанної фільтрації має гарну вибірковість до елементів масиву з немонотонної складової послідовності чисел в межах апертури і найбільш ефективно виключає з сигналів поодинокі викиди, негативні і позитивні, які потрапляють до краю ранжованого списку. З урахуванням ранжирування в списку медіанні фільтри добре поглинають шуми та перешкоди, протяжність яких становить менше половини вікна.

Завдяки цьому медіанні фільтри при правильно обраної апертурі можуть зберігати без спотворень різкі межі об’єктів, пригнічуючи некорельовані і слабо корельовані перешкоди і малорозмірні деталі. Тоді як алгоритми лінійної фільтрації часто «змащують» краяі кордону і контури об’єктів. Придушення статистичних шумів медіа фільтрами використовується дуже рідко.

Імпульсний шум, випадковий по амплітудам і місцям появи пригнічується медіа фільтрами з найбільшою ефективністю. Зменшення кількості великих шумових відхилень від середнього значення шуму призводить також до зміни спектра шуму і до певного придушення його високочастотних складових, яких більше в "хвостах" шумових розподілів. Медіанний фільтр можна застосовувати і для виявлення в зображеннях перешкод.

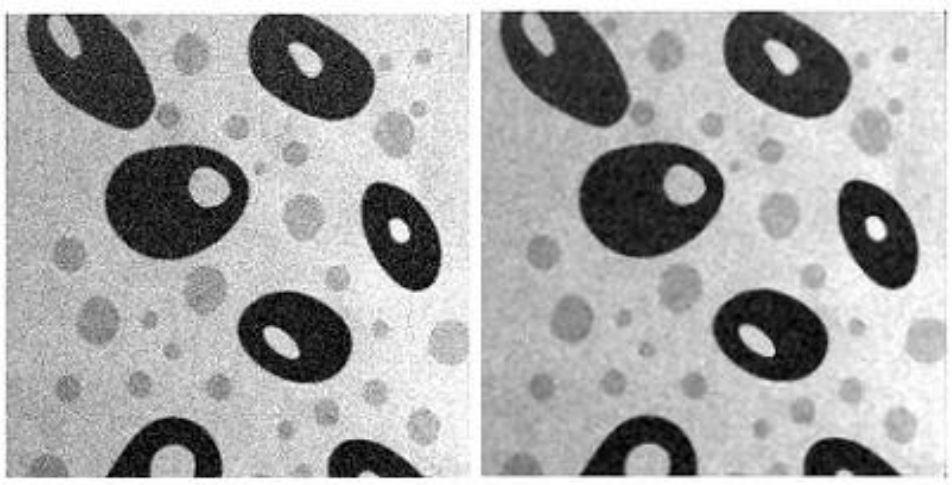
Виважено-медіанні фільтри застосовуються тоді, коли треба надати більшої ваги центральним точкам. Це досягається шляхом повторення кілька разів раз кожного набору відліків в апертурі фільтра. При цьому вдається зберегти перепади сигналу і в певних умовах дозволяє збільшити придушення шумів на зображеннях.

Переваги медіанних фільтрів наступні. Проста структура фільтра, як для апаратної, так і для програмної реалізації. Фільтр не змінює ступінчасті і пилковидні функції. Фільтр добре пригнічує поодинокі імпульсні перешкоди і випадкові шумові викиди відліків.

Недоліки медіанний фільтрів. Медіанна фільтрація нелінійна, так як медіана суми двох довільних послідовностей не дорівнює сумі їх медіан, що

в ряді випадків може ускладнювати математичний аналіз сигналів. Фільтр викликає сплощення вершин трикутних функцій. Придушення білого шуму проводиться гірше, ніж у лінійного фільтра. При збільшенні розмірів вікна фільтра відбувається розмиття крутих змін сигналу.

Медіанна фільтрація зображень найбільш ефективна, якщо шум на зображенні імпульсний, при цьому не спостерігаються перепади значень яскравості на зображенні. Медіанна фільтрація може виконуватися і в рекурсивном варіанті, коли значення зверху і зліва від центрального відліку в масці замінюються на обчислені раніше значення нижніх відліків.



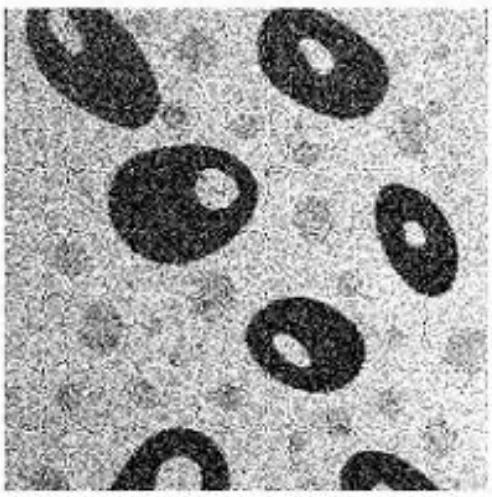
а) б)

Рисунок 2.3 – Приклад медіанної фільтрації зображення з малим рівнем шуму з вікном 3х3: а) початкове зображення; б) зображення після фільтрації

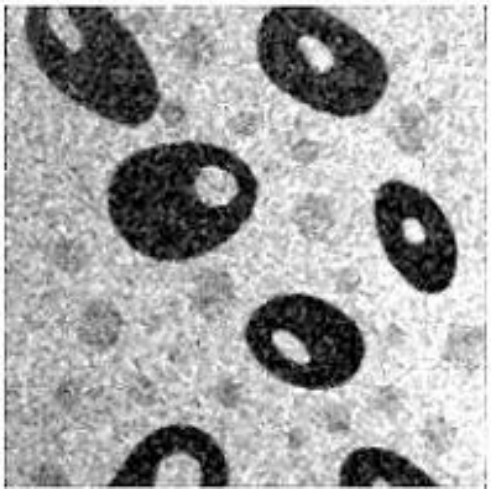
На рисунках 2.3-2.5 показані приклади медіанної фільтрації зображення з різними рівнями шуму фільтром з розміром вікна 3×3. Як видно із зображень, цей фільтр добре підходить до зображень, що мають невеликий і середній рівні шуму, а при збільшенні потужності шуму фільтр працює погано. Для придушення більш інтенсивних шумів необхідно використовувати медіанний фільтр з великими розмірами вікна фільтрації.

На рис. 2.6-2.8 наводяться приклади медіанної фільтрації з різними

розмірами апертури.Як видно, зі збільшенням розміру вікна зростає здатність медіанного фільтра усувати шум. Але при дуже великих розмірах апертури фільтра), контури об’єктів можуть бути перекручені. Крім того, невеликі об’єкти цілком вилучені з зображення. Тому для кожного зображення для фільтра необхідно підбирати параметри.

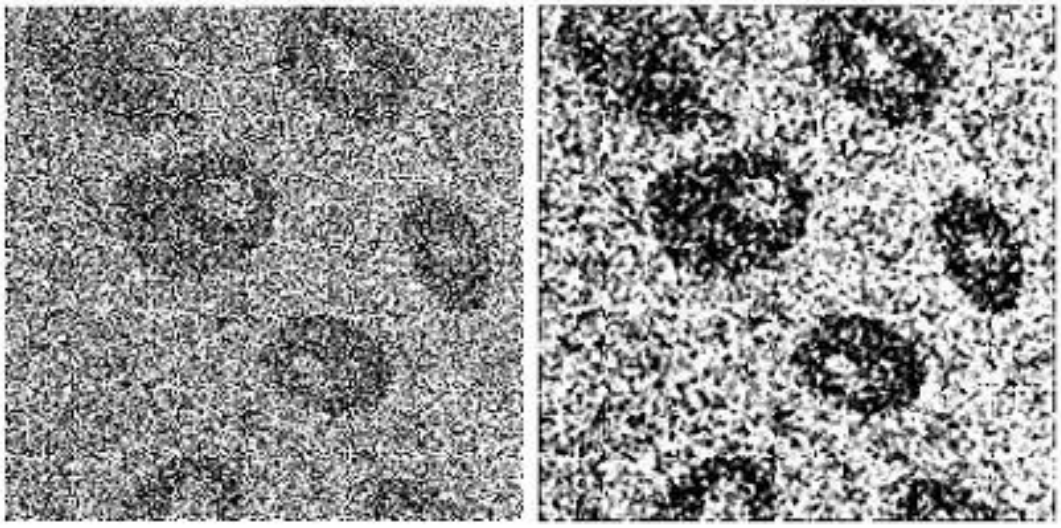


а)



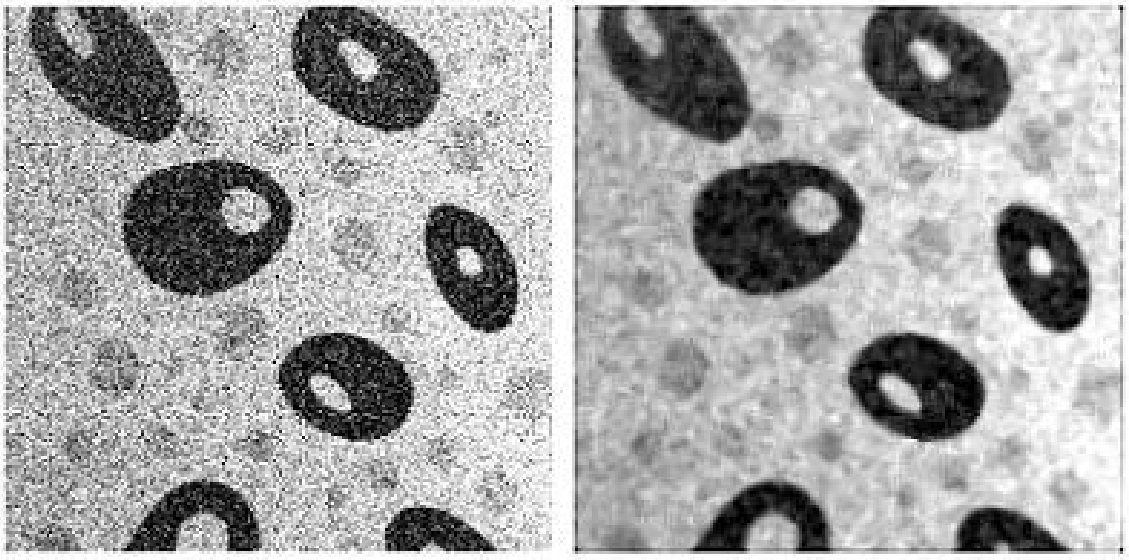
б)

Рисунок 2.4 – Приклад медіанної фільтрації зображення з середнім рівнем шуму з вікном 3х3: а) початкове зображення; б) зображення після фільтрації



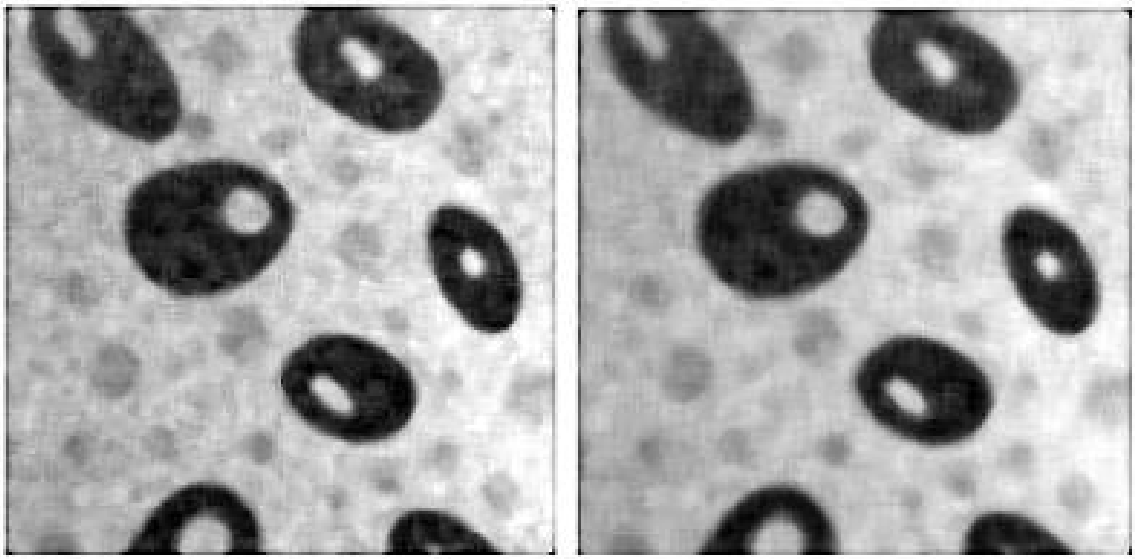
а) б)

Рисунок 2.5 – Приклад медіанної фільтрації зображення з великим рівнем шуму з вікном 3x3: а) початкове зображення; б) зображення після фільтрації



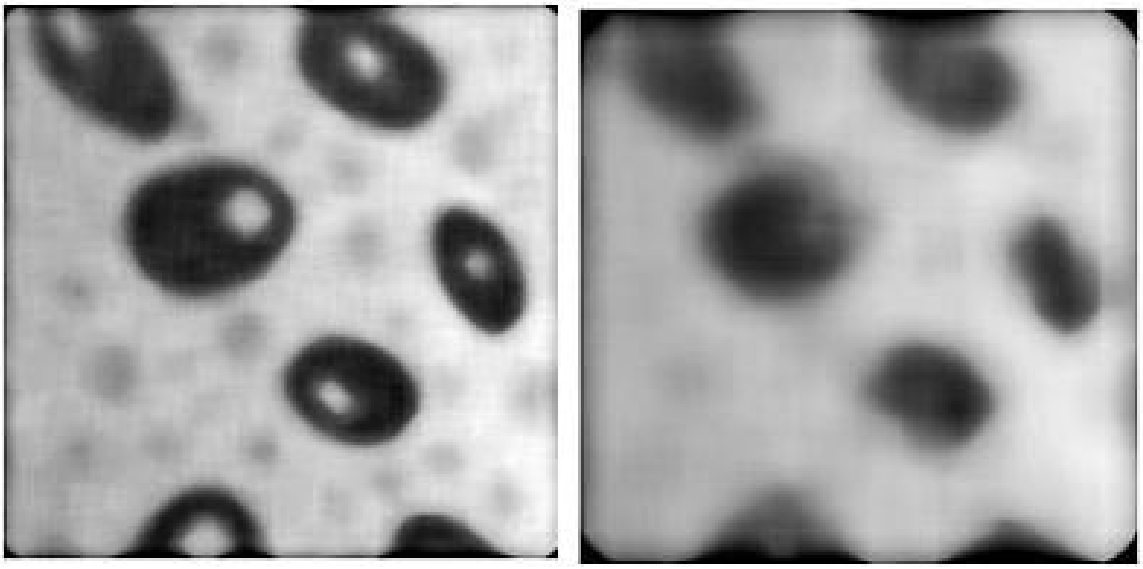
а) б)

Рисунок 2.6 – Приклад медіанної фільтрації зображення з великим рівнем шуму з вікном 5x5: а) початкове зображення; б) зображення після фільтрації



а) б)

Рисунок 2.7 – Результати медіанної фільтрації зображення з великим рівнем шуму: а) з вікном 7x7; б) з вікном 9x9



а) б)

Рисунок 2.8 – Результати медіанної фільтрації зображення з великим рівнем шуму: а) з вікном 15x15; б) з вікном 31x31

Ефективною різновидом подібних алгоритмів згладжування є так званий SNN-алгорітм. У цьому алгоритмі може бути застосована будь-яка схема сигма-фільтрації.

Однак вибір М-околиці обробки ведеться, виходячи з геометричних міркувань, таким чином, щоб усереднюючі відліки не змогли в силу геометричних властивостей апертури перебувати по різні боки від межі можливого перепаду яскравості (краю).

Важливо відзначити, що методи нелінійної фільтрації мають високу здатність до придушення шумовий компоненти, стійки до різних видів шумів, допускають паралельну обробку інформації і швидкі алгоритми реалізації.

2.4 Фільтри, що згладжують

Фільтри що згладжують діють на зображення аналогічно мутного скла: зображення стає розмитим, розмитим [6]. Найпростіший прямокутний фільтр що згладжує радіуса r задається за допомогою матриці розміру (2r+1)x (2r+1), все значення якої дорівнюють:

$$\frac{1}{(2r+1)^2} \tag{2.3}$$

А сума за всіма елементами матриці дорівнює одиниці. При фільтрації з даними ядром значення пікселя замінюється на усереднене значення пікселів в квадраті зі стороною 2r+1 навколо нього.

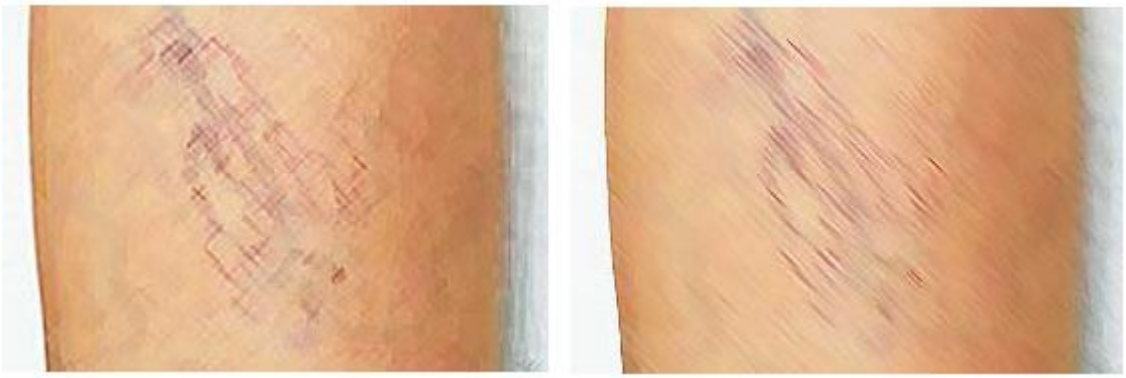
Приклад фільтрації за допомогою прямокутного фільтра наведено на рисунку 2.9.

а)

б)

Рисунок 2.9 – Приклад фільтрації за допомогою прямокутного фільтра:
а) початкове зображення; б) зображення після фільтрації з r=1

Характерною рисою цього фільтра, є те, що відображенням білої точки на чорному фоні буде сірий квадрат. Прояви цього ефекту добре помітні на рис. 2.10а: довгі вузькі об’єкти «розмазуються» і стають схожі на прямокутники.



а) б)

Рисунок 2.10 – Приклад фільтрації за допомогою прямокутного фільтра: а) з r=3; б) з r=5

Областю застосування фільтрів що згладжують є видалення шуму на зображеннях, тобто відновлення вихідного зображення, до пікселів якого доданий випадковий шум. Шум змінюється незалежно від пікселя до пікселя і, за умови, що математичне очікування значення шуму дорівнює нулю, шуми сусідніх пікселів компенсуватимуть один одного. Чим більше вікно фільтрації, тим менше буде усереднена інтенсивність шуму, однак при цьому буде відбуватися і суттєве розмиття значущих деталей зображення.

Важливим зауваженням про незашумлено зображення буде схожість значень інтенсивності пікселів, що знаходяться поруч. Причому чим менше відстань між пікселями, тим більша ймовірність їх схожості. Це і відрізняє вихідне зображення без шуму від шумовий компоненти, для якої схожість пікселів не залежить від відстані між ними. Тому можна припустити, що шумозаглушення за допомогою прямокутного фільтра має істотний недолік: пікселі на відстані r від оброблюваного надають на результат той же ефект, що і сусідні.

Ефективніше шумозаглушення можна здійснити, якщо вплив пікселів один на одного буде зменшуватися з відстанню. Цією властивістю володіє гаусовський фільтр.

Гаусовський фільтр має нульове ядро нескінченного розміру.

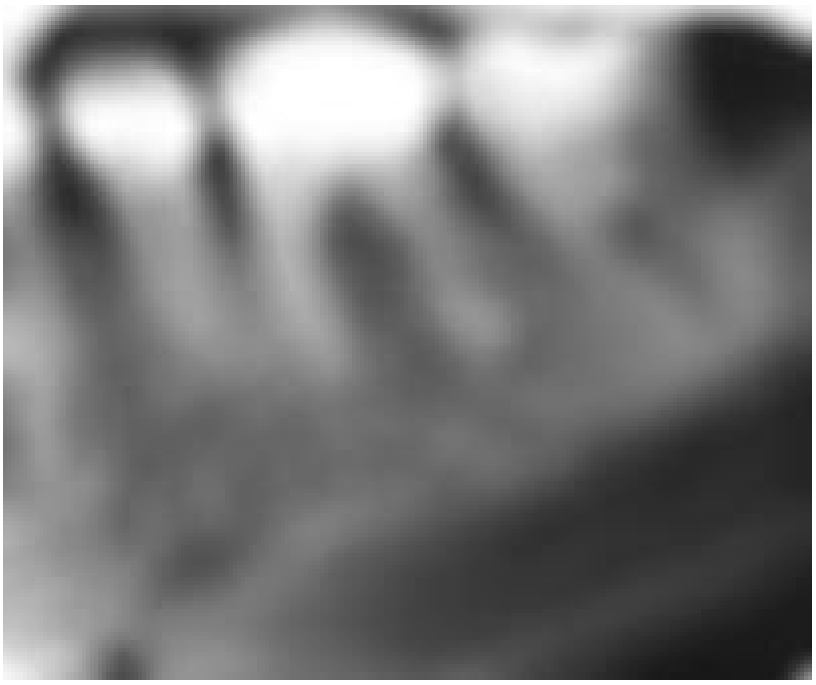
Гаусовська фільтрація також є згладжуючую, відображенням при гаусовській фільтрації буде симетрична розмита пляма, зі спаданням яскравості від середини до країв. Гаусовська фільтрація більш ефективна при шумозаглушенні (рис.2.11, рис.2.12).

а)

б)

Рисунок 2.11 – Приклад зображення: а) початкове; б) з великим рівнем шуму

а)



б)

Рисунок 2.12 – Приклад шумозаглушення зглаживаючим лінійним фільтром: а) гаусовський фільтр; б) прямокутній фільтр з r=5

2.5 Контрастоповишаючі фільтри

Контрастоповишаючі фільтри не призводять до розпливання зображення [7]. Ядро контрастоповишающего фільтра має значення, більше 1, в точці (0, 0), при загальній сумі всіх значень, що дорівнює 1. Наприклад, контрастоповишающім фільтром є фільтр з ядром, що задається матрицею:

$$M_1^{contr} = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} \quad (2.4)$$

або матрицею:

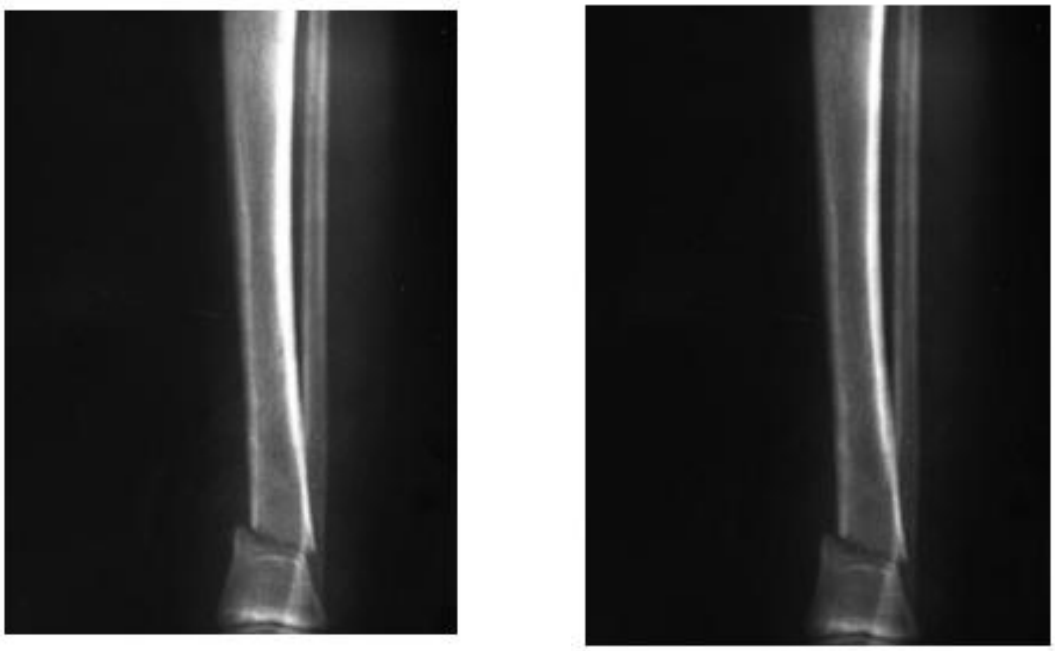
$$M_2^{contr} = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix} \quad (2.5)$$

Ефект підвищення контрасту досягається за рахунок того, що фільтр підкреслює різницю між інтенсивностями сусідніх пікселів, видаляючи ці інтенсивності один від одного (рис.2.13, рис.2.14).

Цей ефект буде тим сильніше, чим більше значення центрального члена ядра.

Характерним артефактом лінійної контрастоповишающей фільтрації є помітні світлі і менш помітні темні ореоли навколо кордонів.

Рисунок 2.13 – Приклад зображення



а) б)

Рисунок 2.14 – Застосування контрастоповишаючого фільтра:

а) з ядром M_1^{contr}; б) з ядром M_2^{contr}

2.6 Інверсні фільтри

Інверсна фільтрація (inverse filtering) широко застосовується в обробці зображень для розв’язання таких задач як відновлення зображень, що вражені шумом, усунення розмиття, покращення контрастності [8]. В задачах розпізнавання об’єктів та образів інверсні фільтри використовують як допоміжні засоби для покращення зображення в цілому перед операцією розпізнавання. Задача лінійної інверсної фільтрації полягає в тому, щоб за допомогою даних вимірювань у вигляді матриці елементів зображення S_{IJ} відновити оригінальну матрицю зображення U_{IJ} за умови, що матриці зв’язані деяким оператором з імпульсною характеристикою H_{MN} розміром MxN і присутній адитивний шум £mn з відомою кореляційною характеристикою.

Метод оснований на перетворенні Фур’є. Однак, застосування методу має ряд перешкод:

- в більшості прикладних задач неможливо виділити окремо шум та визначити його спектрально-кореляційну характеристику;

- визначення спектральної характеристики оригінального сигналу виконується за допомогою операції ділення, що робить метод чутливим до параметрів шуму та точності визначення імпульсної характеристики;

Слід відзначити, що розмір імпульсної характеристики, як правило, рівний розміру зображень, тому перетворення ДПФ виконують з використанням всієї множини елементів матриць зображень. Це є причиною того, що метод інверсної фільтрації не застосовують до розв’язання задач розпізнавання об’єктів.

2.7 Фільтрація бінарних зображень

Бінарні зображення, це зображення в яких піксель може прінмаем тільки два значення яскравості – білий або чорний [2]. Необхідність усунення

великої кількості помилок процесу бинаризации спричинила за собою появу великої кількості методів бинаризации, які діляться на дві групи за принципом побудови порогової поверхні: методи глобальної та локальної бинаризации. Порогової поверхнею є матриця розмірністю M × N, що відповідає розмірності вихідного зображення, кожна клітинка матриці задає поріг яскравості бинаризации для відповідного пікселя на оригінальному документі. У методах глобальної бинаризации порогова поверхню є площиною з постійним значенням порогової яскравості, а в методах локальної бинаризации значення порогової яскравості змінюється від точки до точки зображення, і розраховується на основі деяких локальних ознак в околиці пікселя. Такі зображення дуже часто використовуються в медицині і завдання їх фільтрації актуальна [4].

На початку кольорове зображення зображення в градаціях сірого перекладається в бінарне, а далі виконується порівняння яскравості шкірного пікселя B (m, n) з граничним значенням яскравості BT (m, n); если значення яскравості пікселя вищє значення яскравості порогу, то на бінарному зображенні відповідній піксель буде «білим», або «чорним» в іншому випадку. Розглянемо основні методи бінарізації [9].

2.7.1 Бінаризація по порогу яскравості

Даний метод працює за наступним правилом:

$$f'(m,n) = \begin{cases} 0, f(m,n) \le t; \\ 1, f(m,n) > t, \end{cases} \qquad (2.6)$$

де f (m, n) – яскравість пікселя на зображенні, $f(m,n) \in [0.2^k - 1]$;

$f'(m,n)$ – значення пікселя після обробки, $f'(m,n) \in [0,1]$;

T – порог бінаризации.

Кожная точка зображення, для якої виконується умова f (m, n) > t є точкою об’єкту, а в іншому випадку – точкою фона [5].

2.7.2 Метод Отса

У цьому методі обчислюється поріг t, що мінімізує середню помилку від прийняття рішення про приналежність пікселів зображення об’єкту або фону. Значення яскравості пікселів зображення розглядаються як випадкові величини, а їх гістограма – як оцінка щільності розподілу ймовірностей [5].

Дослідження проводяться наступним способом: зображення представляється за допомогою L рівнів яскравості; hi – число елементів зображення, що мають яскравість i, i = 0, 1, L-1; H – загальне число пікселів на зображенні; гістограма зображення є нормалізованої та її можна розглядати як розподіл ймовірностей. Елементи зображення діляться на два класи c0 і c1 за допомогою порогового значення t, де клас c0 містить пікселі з яскравостями з безлічі (0, 1, ..., t), а клас c1 – пікселі з яскравостями з безлічі (t, t + 1, ..., L - 1).

Ймовірності кожного з цих двох класів і середні значення їх яскравості описуються виразами (2.7-2.10):

$$P_0 = \sum_{i=0}^{t} p_i = P_t \,, \tag{2.7}$$

$$P_1 = \sum_{i=t+1}^{L-1} p_i = 1 - P_t \,, \tag{2.8}$$

$$\mu_0 = \sum i p_i / P_0 = \mu_t / P_t \,, \tag{2.9}$$

$$\mu_1 = \sum_{i=t+1}^{L-1} i p_i / P_1 = (\mu_T - \mu_t)/(1 - P_t) \tag{2.10}$$

де $\mu_T = \sum_{i=0}^{L-1} ip_i$ означає середню яскравість всього зображення.

2.7.3 Метод Бернсена

Зображення ділиться на квадрати *rxr* (*r* – непарне) з центром в точці (m,n). Для кожного пікселя зображення в межах квадрата використовується поріг, який має значення (2.11):

$$t(m,n) = \frac{j_{high} + j_{low}}{2}, \qquad (2.11)$$

де j_{high} і j_{low} є відповідно найменшим і найбільшим рівнем яскравості в квадраті.

Якщо в прийнятій області використана міра контрасту задовольняє умові (2.12):

$$G(m,n) = \left(j_{high} - j_{low} \right) \le \varepsilon, \qquad (2.12)$$

де ε - задана гранічна величина, то досліджуваний квадрат містить об’єкти тільки одного класу: об’єктів або фону [5].

2.7.4 Метод Ейквеля

У цьому методі використовуються два вікна r і R, з яких більше за розмірами (вікно R) служить для обчислення значення порогу, в той час як менше (вікно r) визначає область зображення, в якій буде використовуватися отриманий поріг.

Обидва вікна переміщаються паралельно по зображенню з кроком,

рівним розміру меншого вікна r, і кожен раз для всіх елементів вікна R обчислюється оптимальний поріг по методу Отса.

Якщо обчислені середні значення і розрізняються сильно і для них виконується умова (2.13):

$$|\mu_0 - \mu_1| \geq \varepsilon, \tag{2.13}$$

де ε – заданий параметр, то пікселі всередині вікна r піддаються бінаризації відповідно до обчисленого порогу t.

Якщо ж $|\mu_0 - \mu_1| < \varepsilon$, то всі пікселі всередині вікна r відносяться до класу з найближчим середнім значенням [5].

2.7.5 Метод Ніблека

У даному методі для кожного пікселя зображення вычисляется индивидуальное значення порог, что происходит на основі обчислення локального середнього і локального середнього відхилення. Значення порога в точці з координатами (m, n) обчислюється відповідно до формули (2.14):

$$t(m,n) = \mu(m,n) + k \cdot \sigma(m, n), \tag{2.14}$$

де μ(m,n) – середне, а σ(m,n) – середньоквадратичне відхилення в локальній околиці точки зображення (m,n) [5].

Вибір алгоритма фильтрации зображення проводиться експериментальним шляхом, оскільки кожне зображення має свої особливості і вимагає особливих методів обробки та фільтрації.

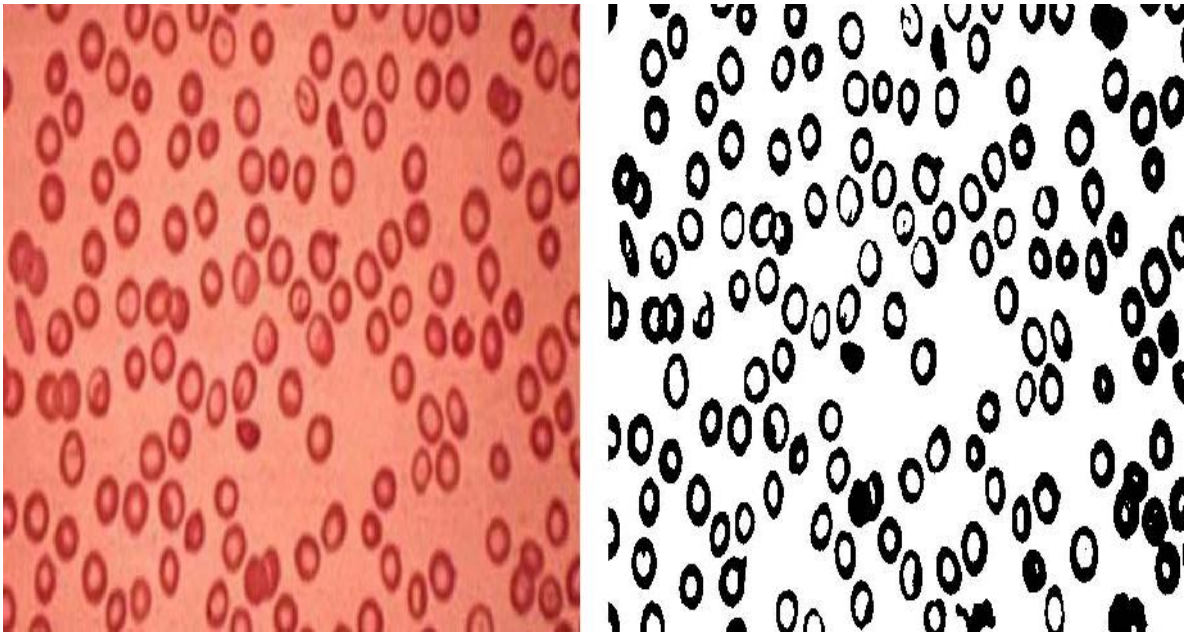
3 ПРАКТИЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ

Розглянемо застосування різних методів фільтрації до медичних зображень. В якості програмних засобів використуемо MatLab та Adobe Photoshop.

3.1 Фільтрація методами бінаризации

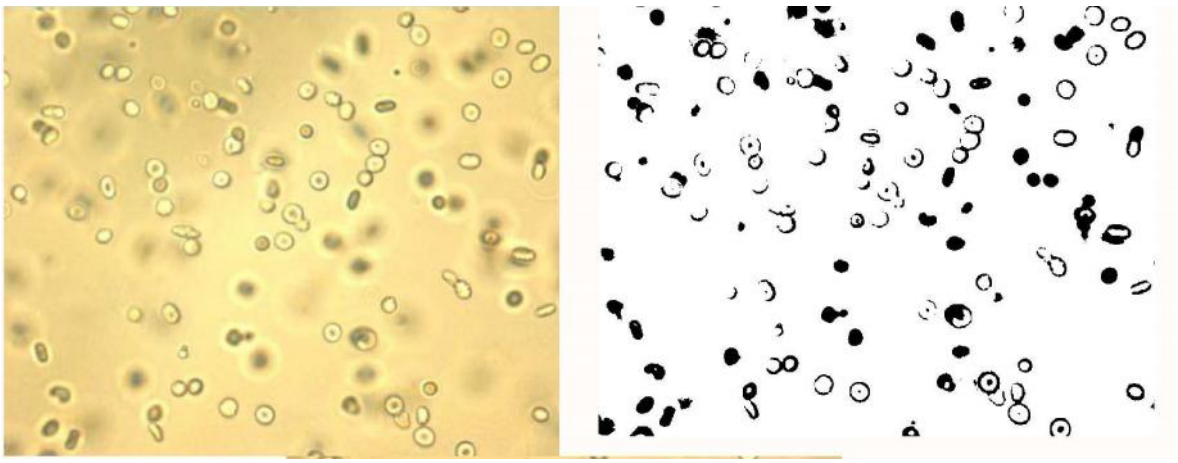
На рисунках 3.1а, 3.2а показани приклади зашумленого зображення, а на ріс.3.1б, 3.2б показани результати фільтрації, досягнуті при перекладі зображення в бінарну форму.

Результати отримани відсіканням за порогом яскравості за умови що максимальний рівень яскравості на зображенні прийнятий за 255.



а) б)

Рисунок 3.1 – Фільтрація зображення при бінаризації: а) початкове зображення; б) зображення після бінарізації з порогом 115



а) б)

Рисунок 3.2 – Приклад бінарізації зображення:
а) початкове зображення; б) зображення після бінарізації з порогом 180

На рисунку 3.3 показаний інший приклад зашумленого зображення. На малюнках 3.4 і 3.5 показані приклади фільтрації з використанням різних методів бинаризации.

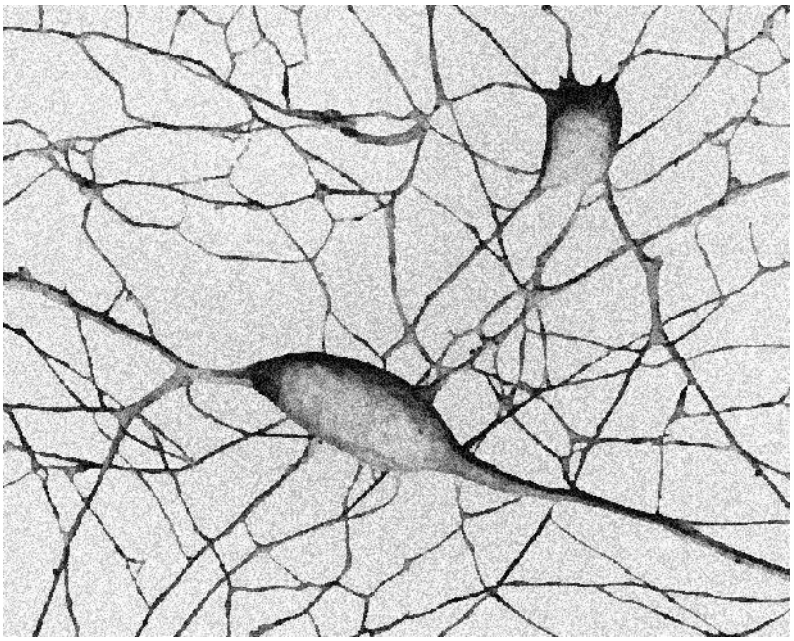
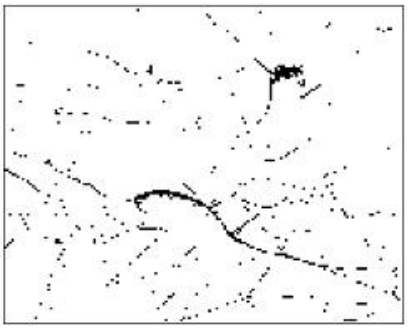
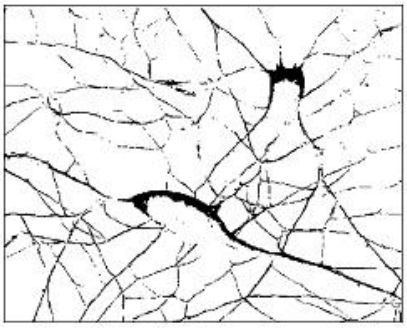


Рисунок 3.3 – Зображення з шумом



а)

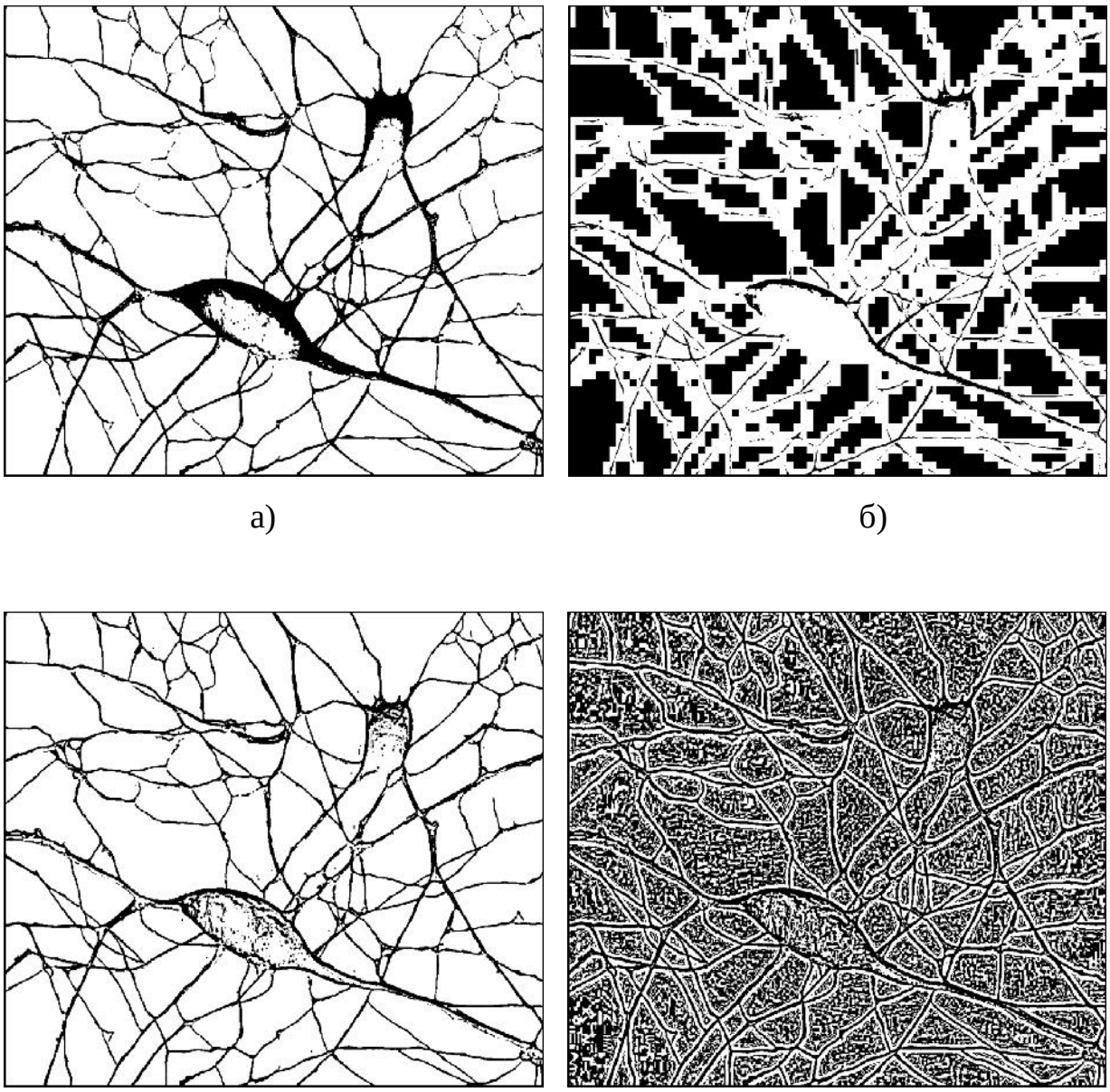


б)

в)

г)

Рисунок 3.4 – Фільтрація зображення шляхом бінаризації по порогу яскравості: а) з порогом 0.3; б) з порогом 0.5; в) з порогом 0.7; г); з порогом 0.9



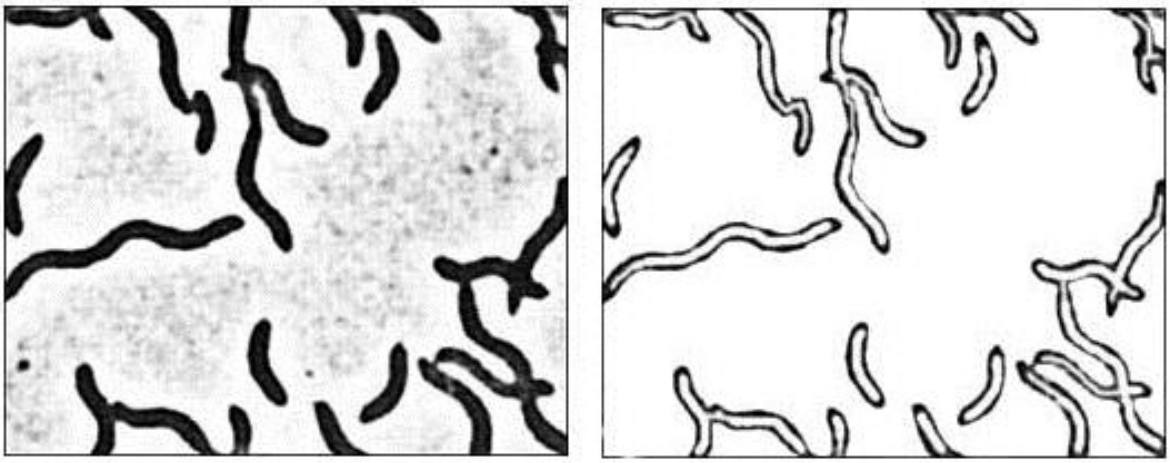
а) б)

в) г)

Рисунок 3.5 – Фільтрація зображення на рис.3.2: а) за методом Отса; б) за методом Бернса; в) за методом Ейквеля; г) за методом Ніблека

Як видно, найкращий результат показав метод Отса - колір фону став білим.

Для фільтрації зображень також можна застосувати процедуру видалення внутрішніх пікселів (рис.3.6).



а) б)

Рисунок 3.6 – Видалення внутрішніх пікселів об’єктів: а) початкове зображення; б) зображення після обробки

Виконаємо фільтрацію методами бинаризации інших зображень (рис.3.7 – рис.3.10).

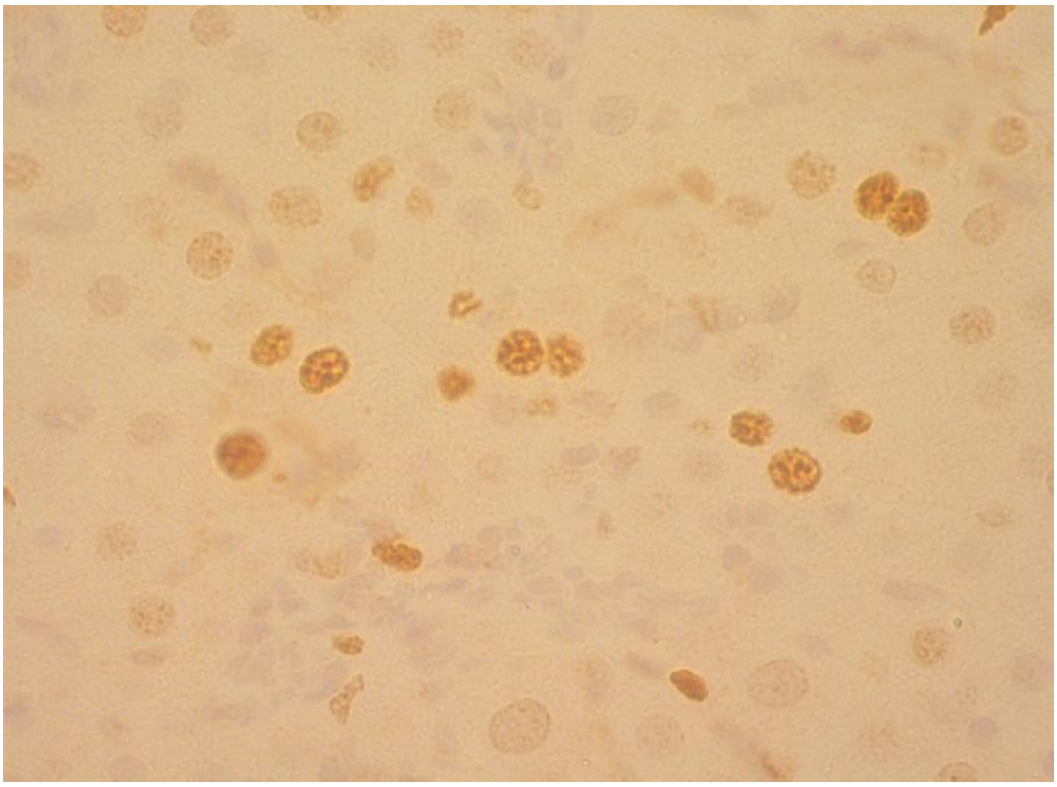
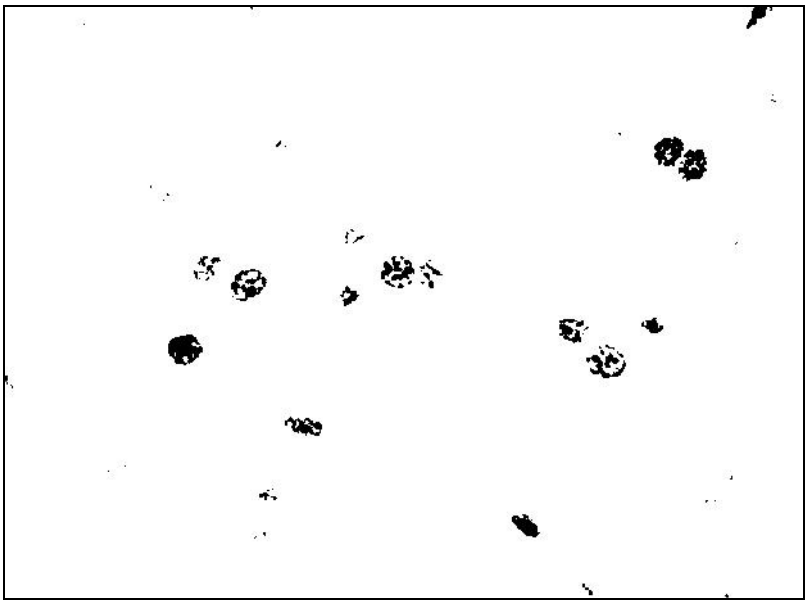
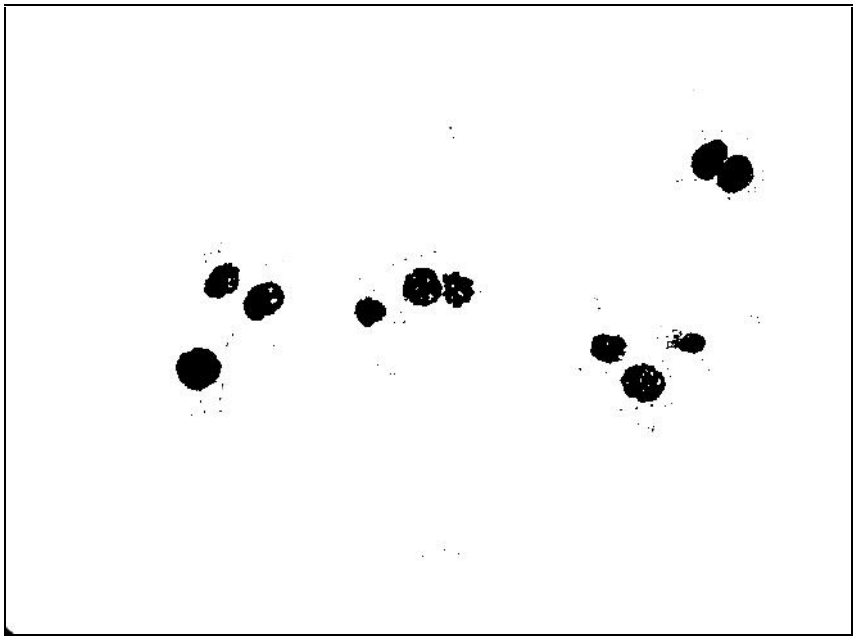


Рисунок 3.7 – Сріз печінкі щура

Після бинаризации по порогу яскравості були отримані наступні зображення (рис.3.8, рис.3.9, рис3.10).

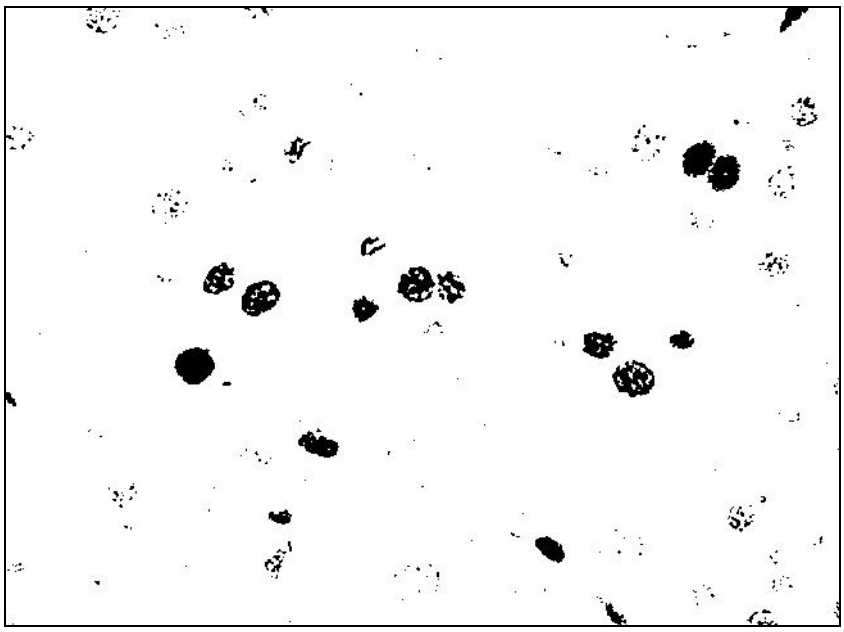


а)

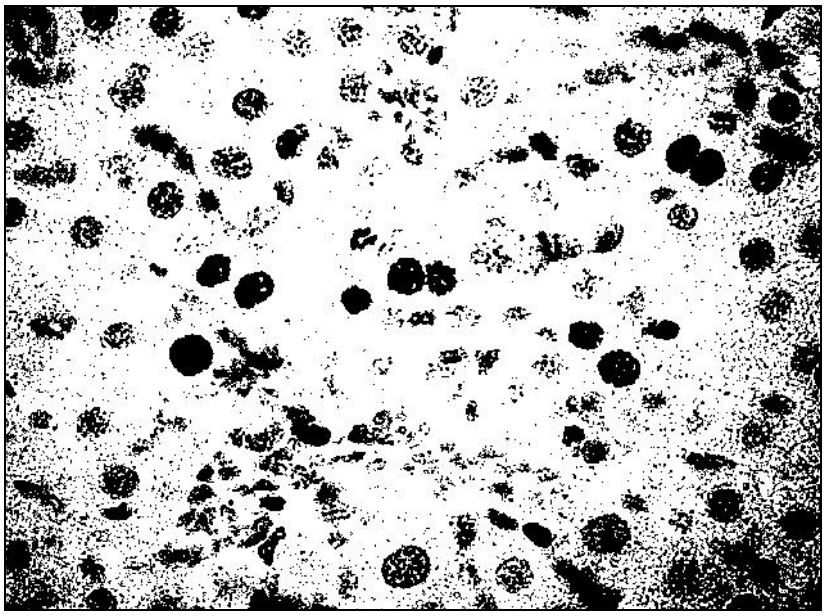


б)

Рисунок 3.8 – Результат бінаризації зображення на ріс.3.7, проведений за різними порогам яскравості: а) з порогом 0.3; б) з порогом 0.5



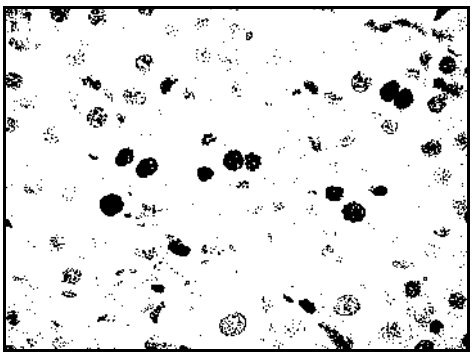
а)



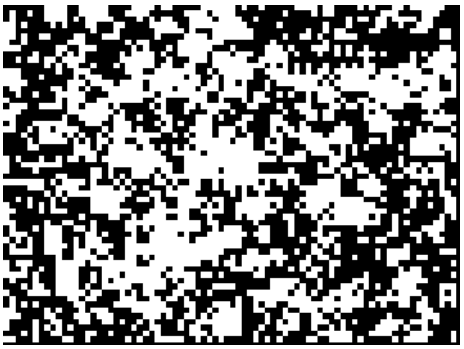
б)

Рисунок 3.9 – Результат бінаризації зображення на ріс.3.7., проведений за різними порогам яскравості: а) з порогом 0.7; б) з порогом 0.9

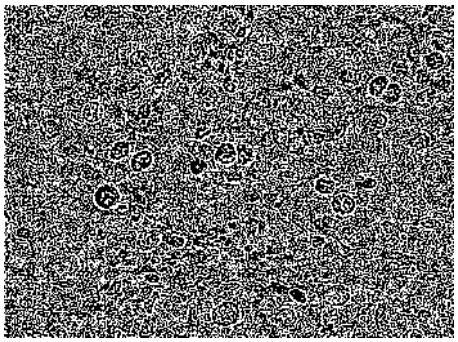
Кращі результати досягаються при порозі яскравості 0.5 - шуми на зображенні практично відсутні.



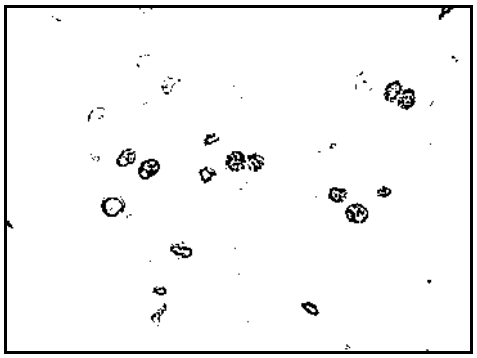
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.10 – Бінарні зображення по рис. 3.6: а) за методом Отса; б) за методом Бернса; в) за методом Ейквеля; г) за методом Ніблека

Добре видно, що для даного типу зображень кращий результат показав метод Ніблека, проте після нього потрібна додаткова фільтрація.

Розглянемо інші приклади. На зображенні з рисунку 3.11 треба залишити дрібні об’єкти синього кольору. Результати застосування різних методів показано на рис.3.12, рис.3.13, рис.3.14, рис.3.15.

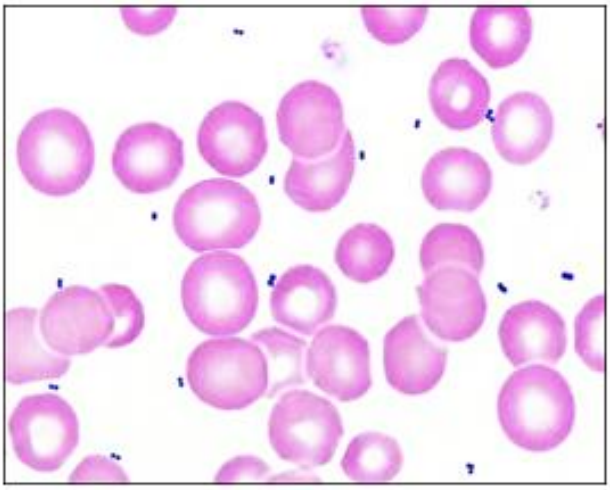
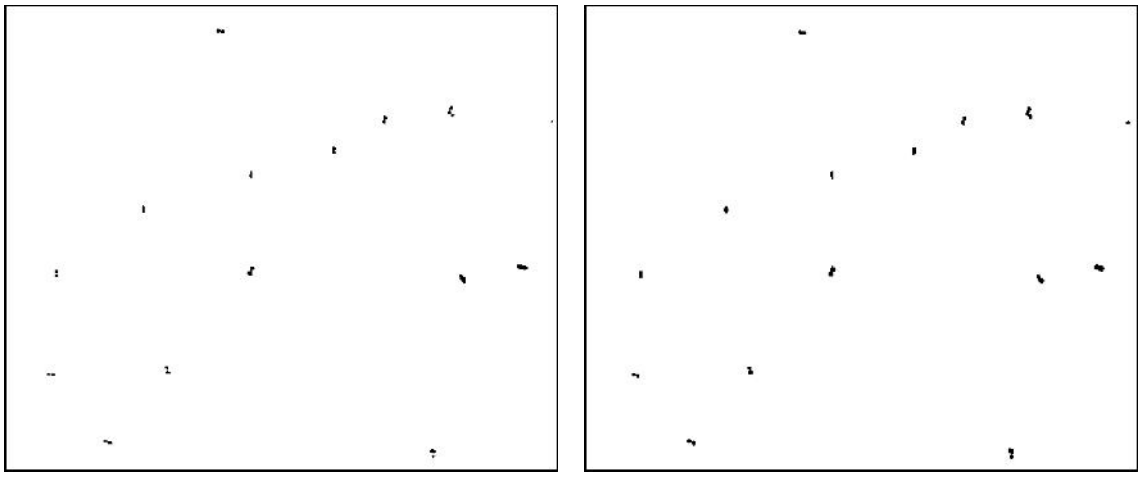
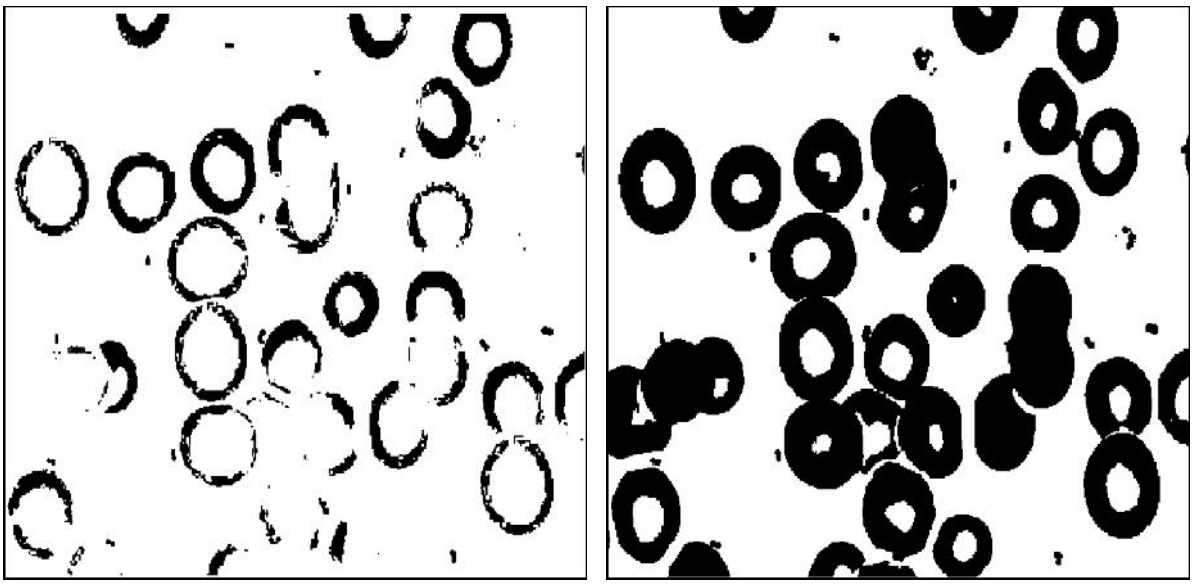


Рисунок 3.11 – Початкове зображення



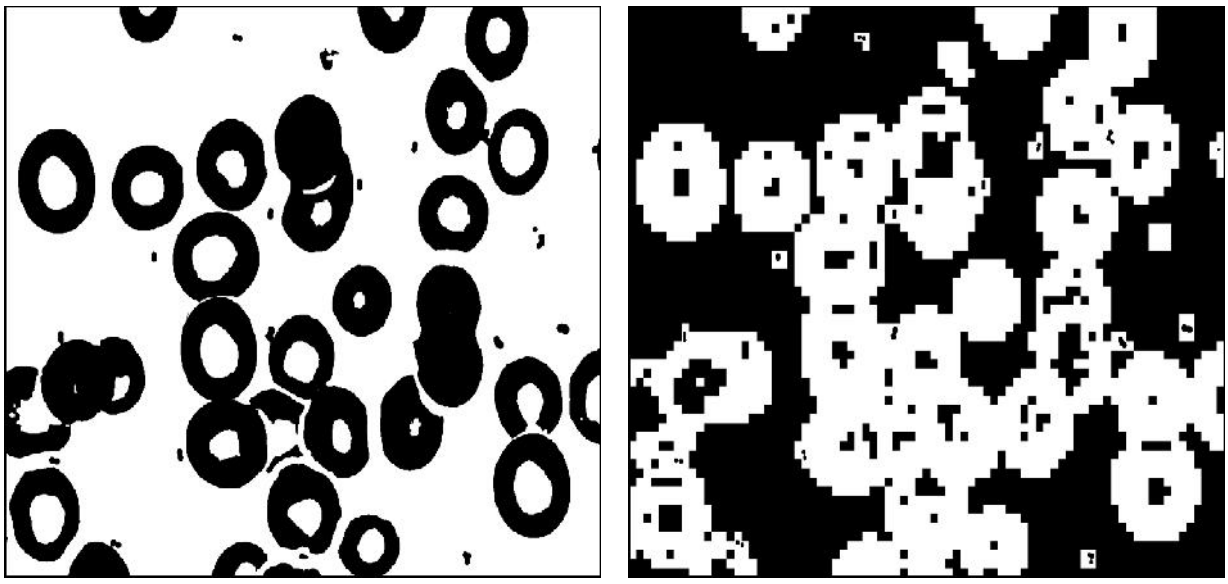
а) б)

Рисунок 3.12 – Результат бінаризації зображення на рис.3.11, проведений за різними порогам яскравості: а) з порогом 0.3; б) з порогом 0.5



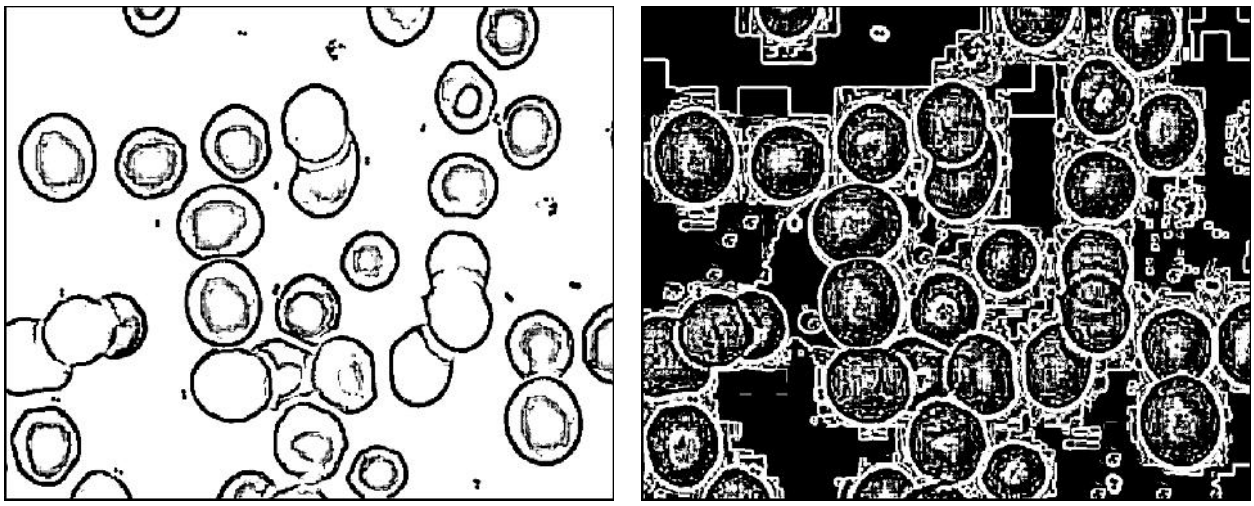
а) б)

Рисунок 3.13 – Результат бінаризації зображення на рис.3.11, проведений за різними порогам яскравості: а) з порогом 0.7; б) з порогом 0.9



а) б)

Рисунок 3.14 – Бінарні зображення по рис.3.11: а) за методом Отса; б) за методом Бернса



а) б)

Рисунок 3.15 – Бінарні зображення по рис.3.11: а) за методом Ейквеля; б) за методом Ніблека

Кращі результати отримані при таких значеннях порога яскравості, як 0.3 і 0.5.

До зображення на рисунку 3.16 треба застосувати фільтрацію і залішити об’єкти з високою контрастністю.

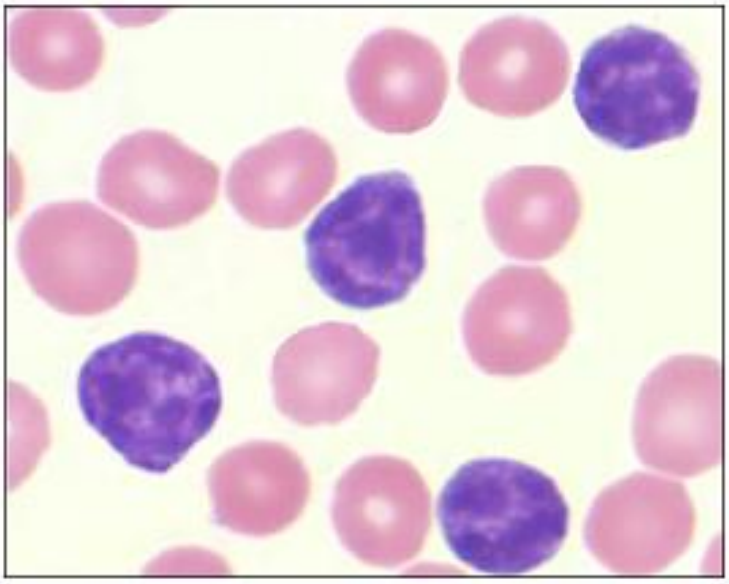


Рисунок 3.16 – Зображення, яке потрібує фільтрації

Після бинаризации по порогу яскравості були отримані наступні зображення (рис.3.17).

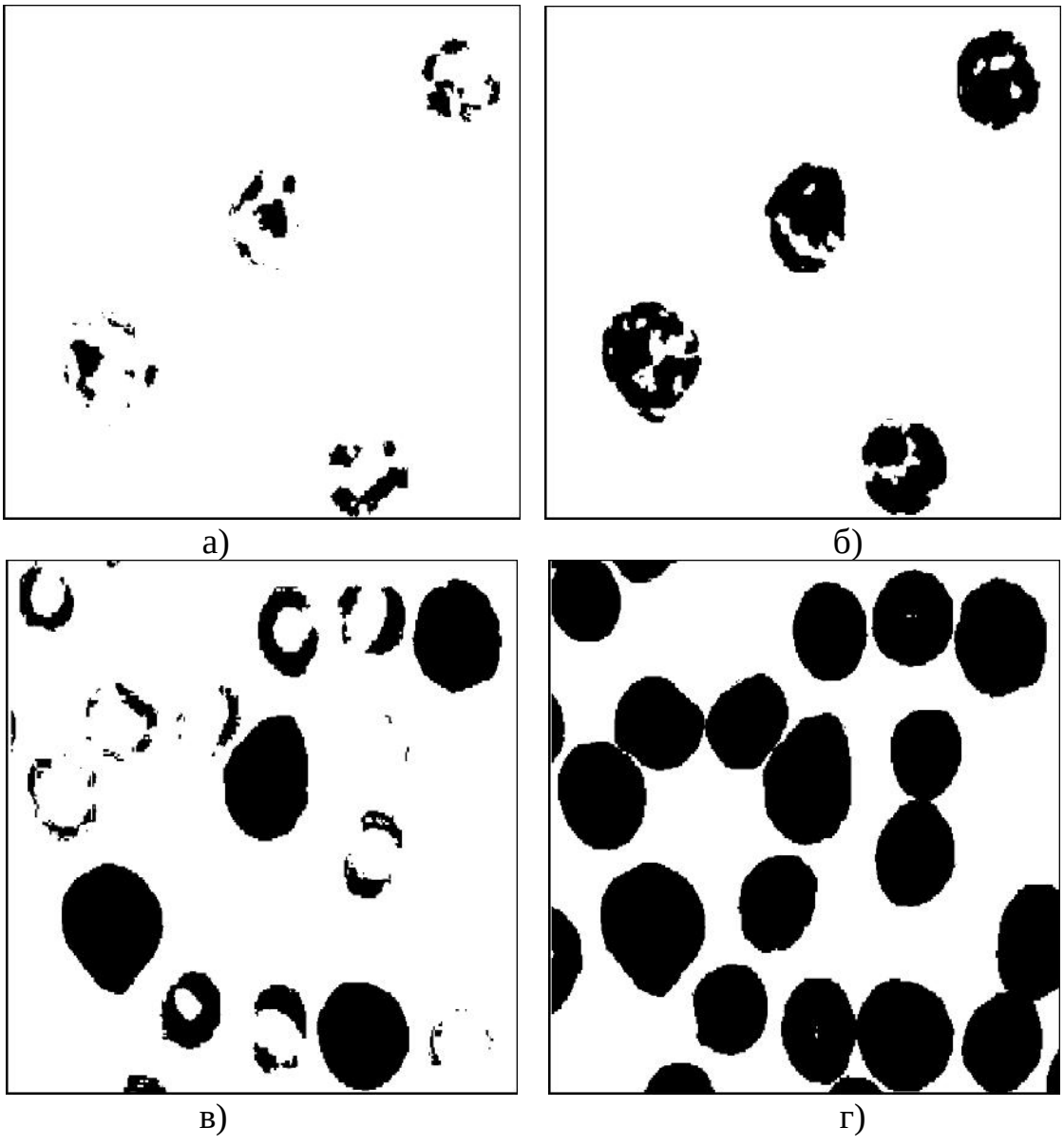
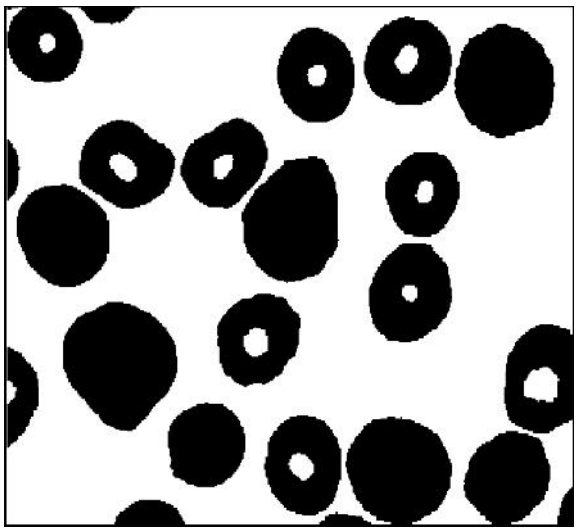
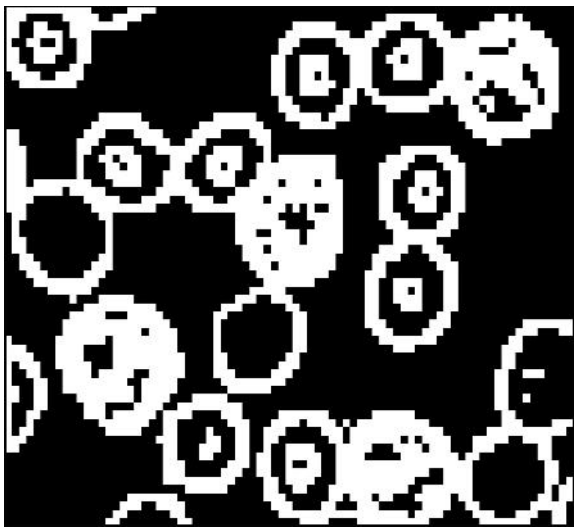


Рисунок 3.17 – Результат бінаризації зображення на ріс.3.16, проведений за різними порогам яскравості: а) з порогом 0.3; б) з порогом 0.5; в) з порогом 0.7; г) з порогом 0.9

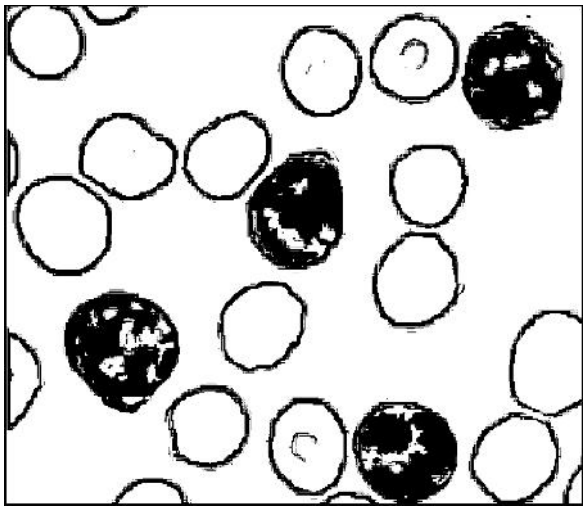
В цьому випадку кращий результат отримано при порозі яскравості 0.5. Використання методів Отса, Бернса, Ейквеля, Ніблека дало наступні зображення (рис.3.18).



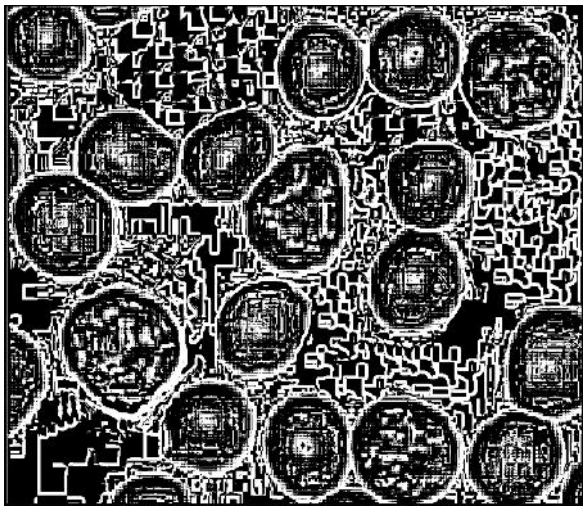
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.18 – Бінарні зображення по рис.3.16: а) за методом Отса б) за методом Бернса в) за методом Ейквеля г) за методом Ніблека

У цьому випадку кращий результат показав метод Ейквеля - об’єкти інтересу добре видно. Проте, на зображенні залишилися елементи фону, для усунення яких потрібні додаткові операції.

В наступному прикладі (рис.3.19) зображення потребує усунення шуму фона. Результати застосування різних методів бінаризації наведени на рис. 3.20, рис.3.21, рис.3.22, рис.3.23.

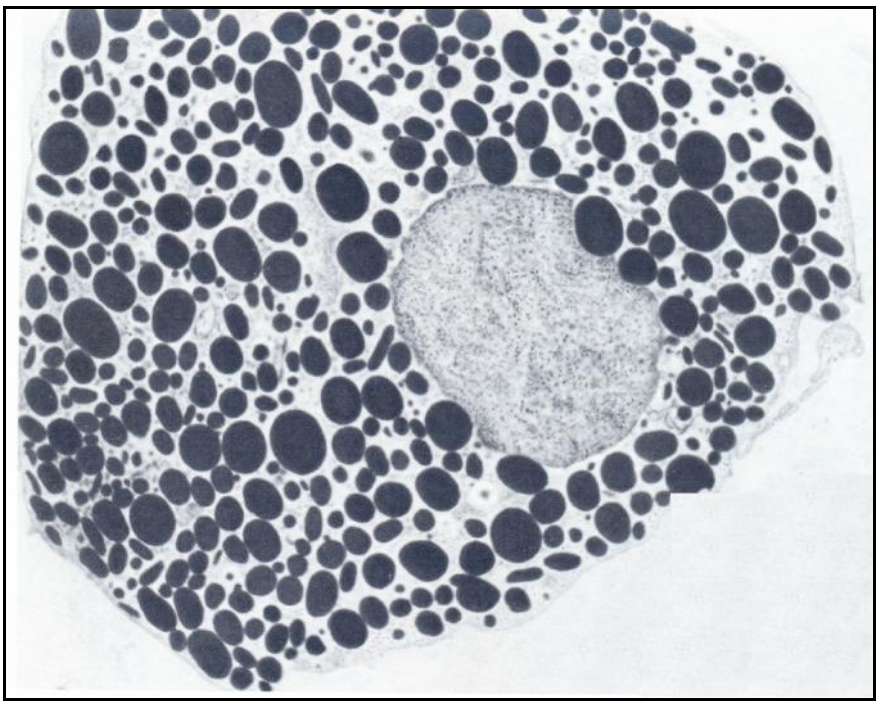
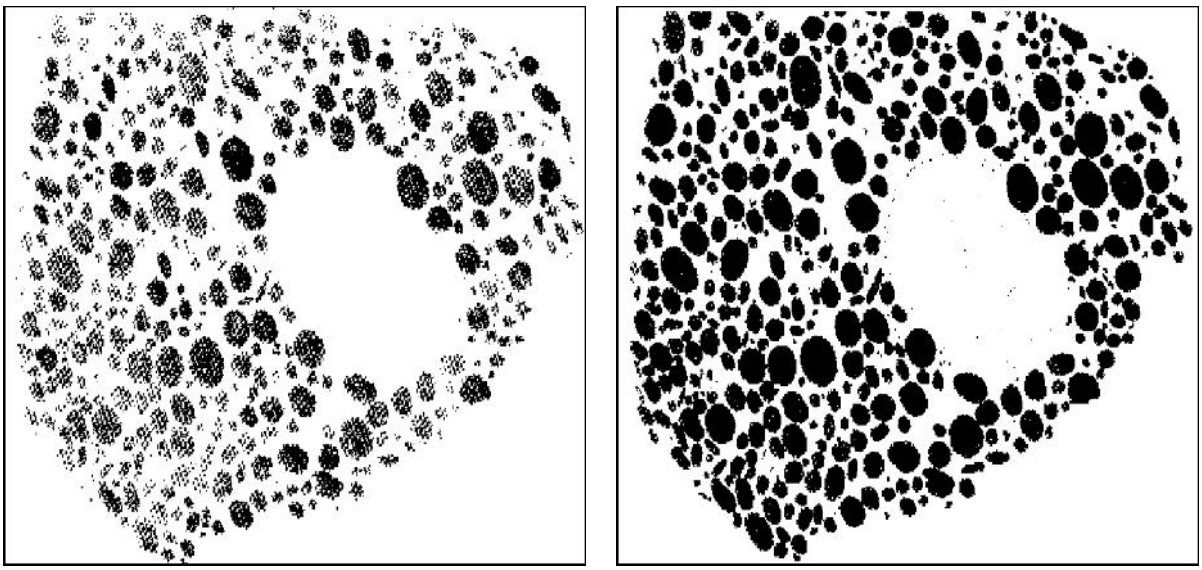


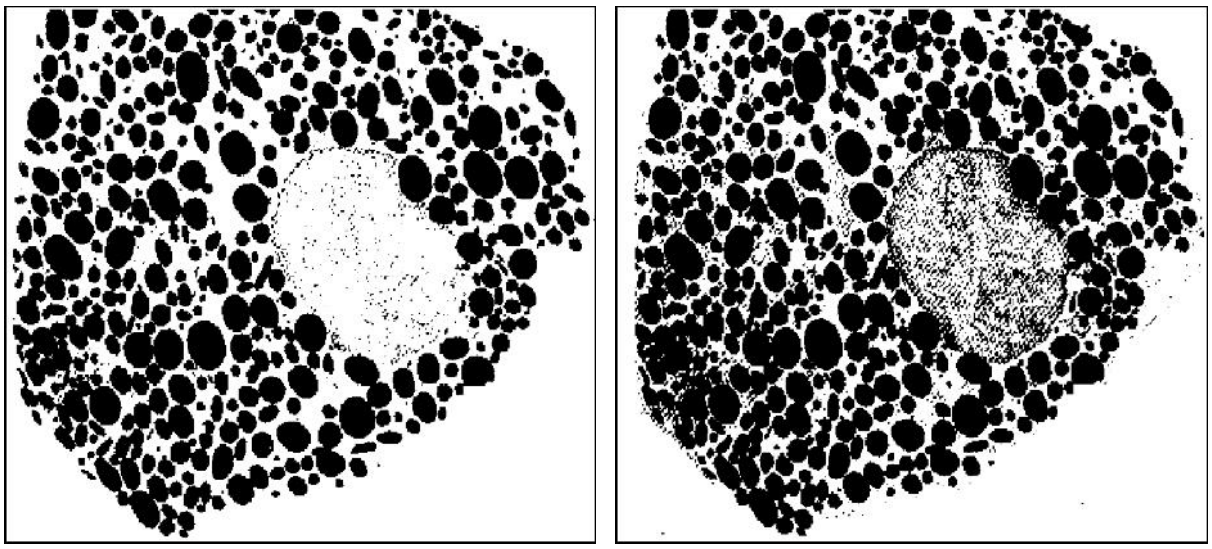
Рисунок 3.19 – Зображення з шумом

Після бинаризации по порогу яскравості були отримані наступні зображення (рис.3.20, рис.3.21, рис.3.22, рис.3.23).



а) б)

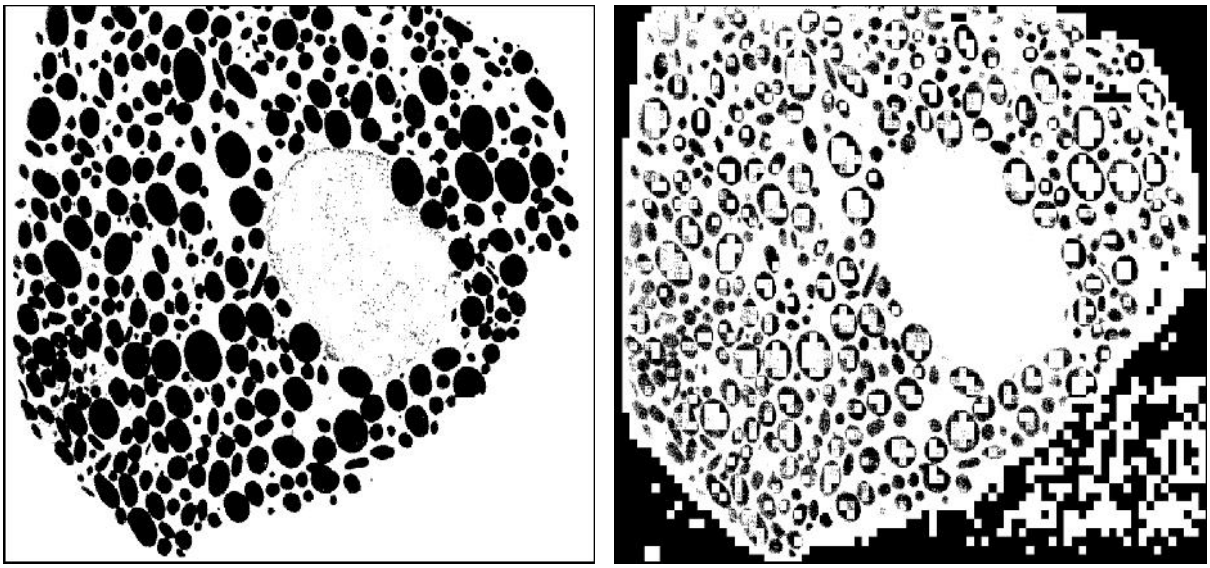
Рисунок 3.20 – Результат усунення шуму на рис.3.19, проведений за різними порогам яскравості: а) з порогом 0.3; б) з порогом 0.5



а) б)

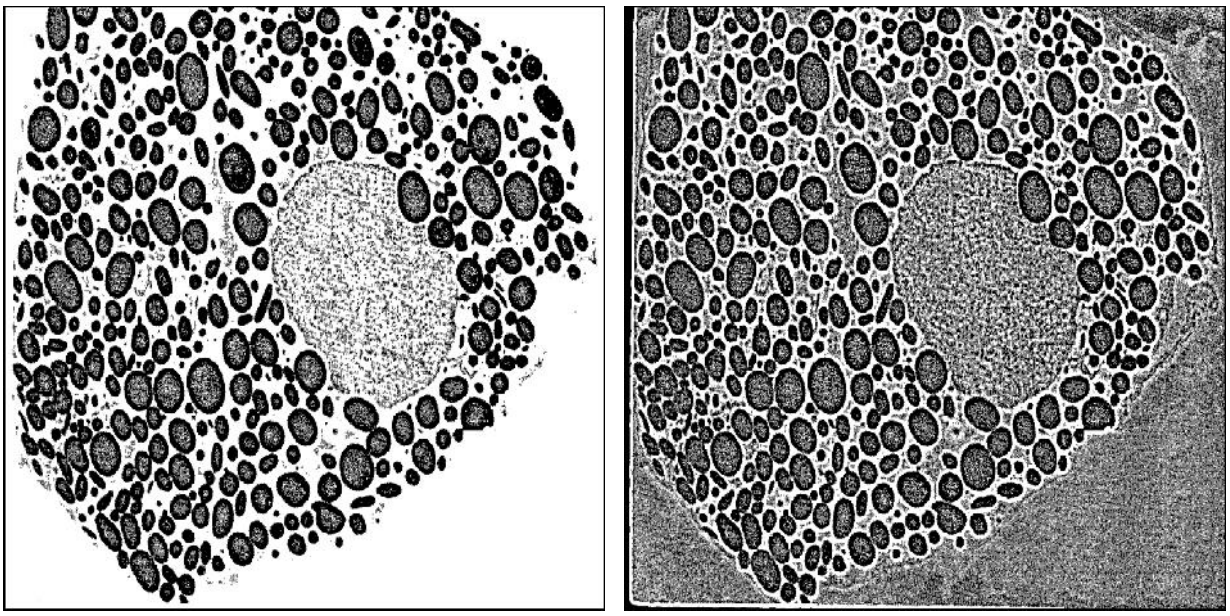
Рисунок 3.21 – Результат усунення шуму на рис.3.19, проведений за різними порогам яскравості: а) з порогом 0.75; б) з порогом 0.9

Кращі результати досягається при порозі яскравості 0.5.



а) б)

Рисунок 3.22 – Бінарні зображення по рис. 3.19: а) за методом Отса; б) за методом Бернса



а) б)

Рисунок 3.23– Бінарні зображення по рис. 3.19:а) за методом Ейквеля;
б) за методом Ніблека

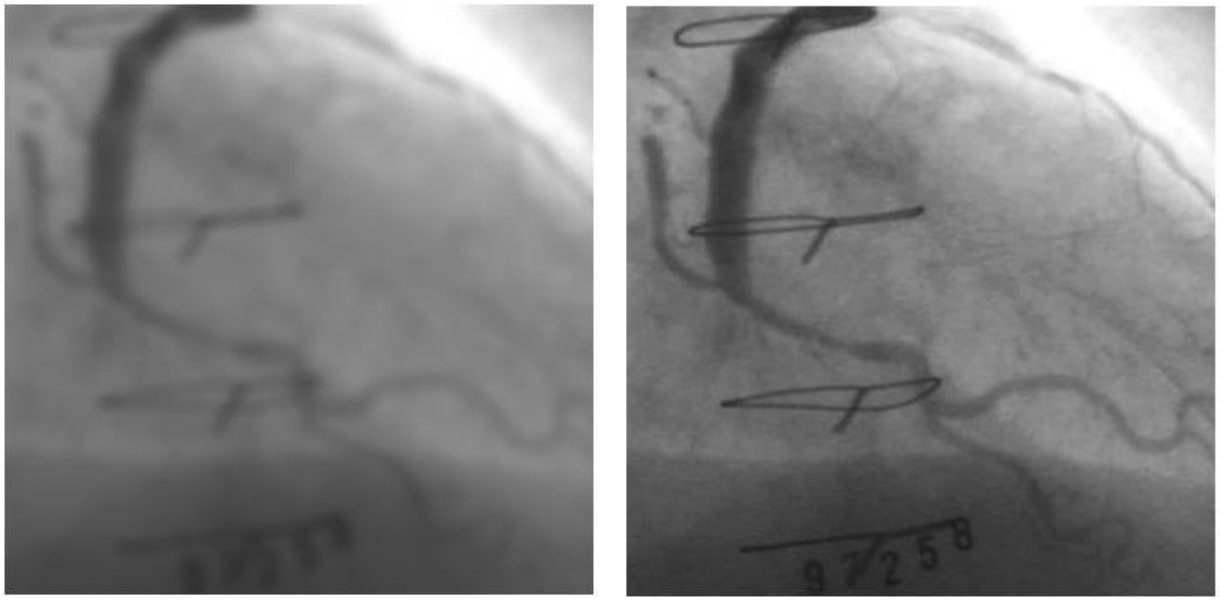
Добре видно, що для даного типу зображень кращі результати при бинаризации показав метод Отса.

Таким чином, для бинаризации зображень, на яких ОІ представлені у вигляді елементів, що відрізняються контрастністю і малими розмірами, краще використовувати метод відсікання по порогу яскравості з порогом 0.5. Для контрастних елементів збільшеного розміру цей метод теж добре підходить, але після бинаризации може виникнути необхідність морфологічних операцій над об’єктом.

3.2 Лінійна фільтрація

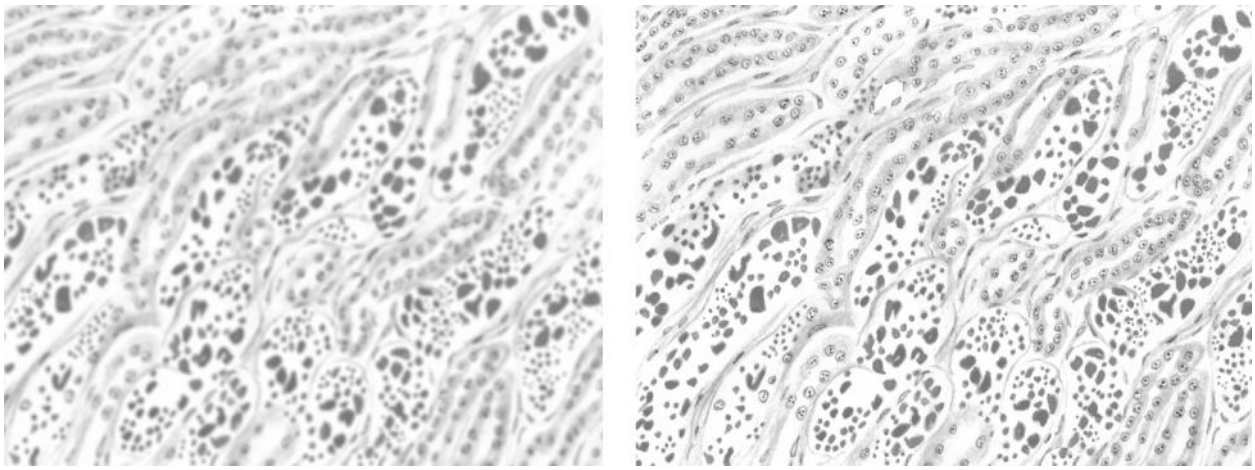
Застосування лінійної фільтрації [10] розглянемо на наступних зображеннях. Зображення на рис.3.24а відрізняється поганий різкістю. Застосуємо двовимірний лінійний фільтр з АЧХ, рівної 0 на початку координат, і збільшується далі. Результат операції (приклад 3.1)

показаний на рис.3.24б. Таким же чином виконана фільтрація зображень на рис.3.25, рис.3.26.



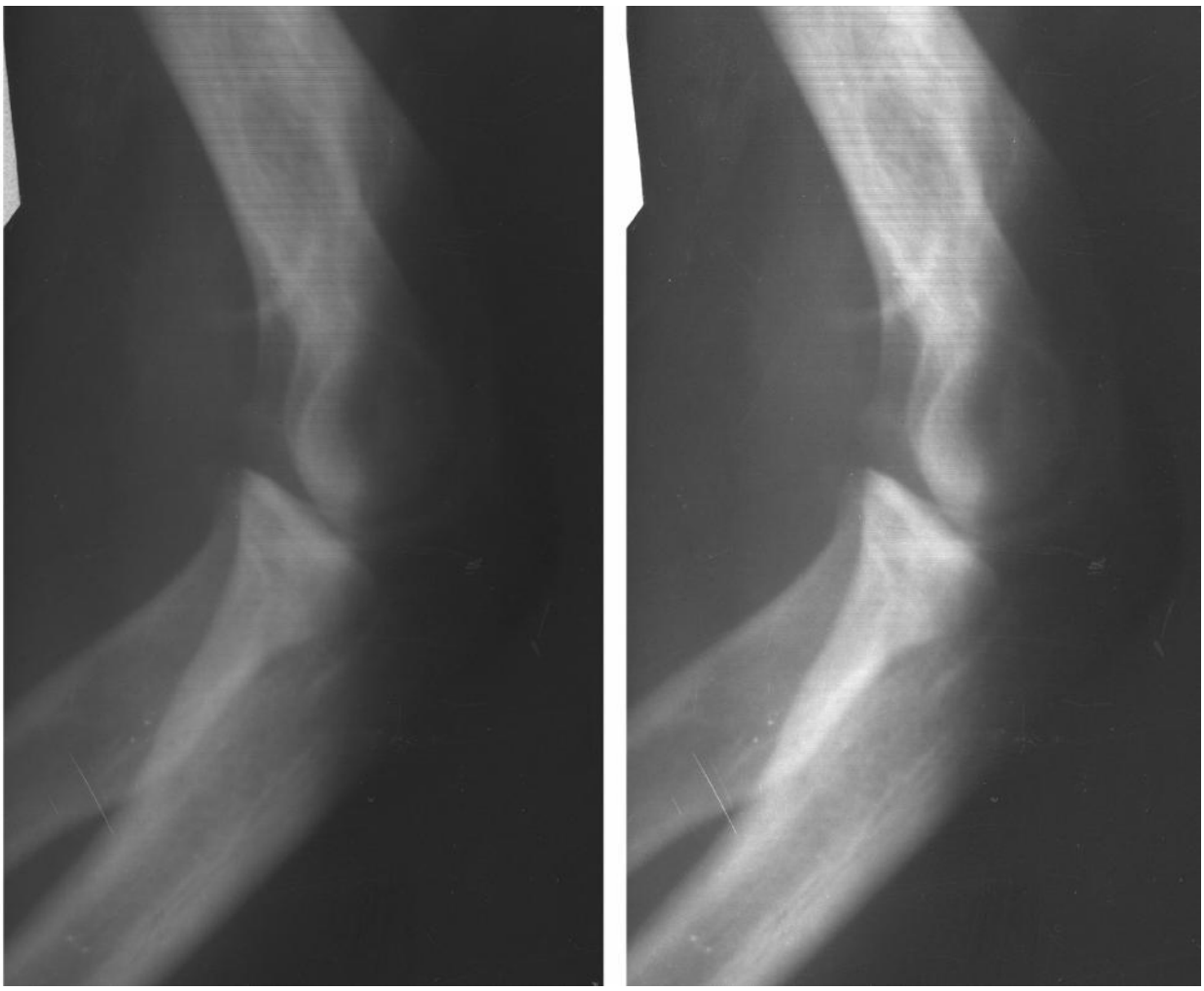
а) б)

Рисунок 3.24 – Обробка зображення методом лінійної фільтрації: а) початкове зображення; б) зображення після фільтрації



а) б)

Рисунок 3.25 – Обробка зображення методом лінійної фільтрації: а) початкове зображення; б) зображення після фільтрації



а) б)

Рисунок 3.26 – Обробка зображення методом лінійної фільтрації:

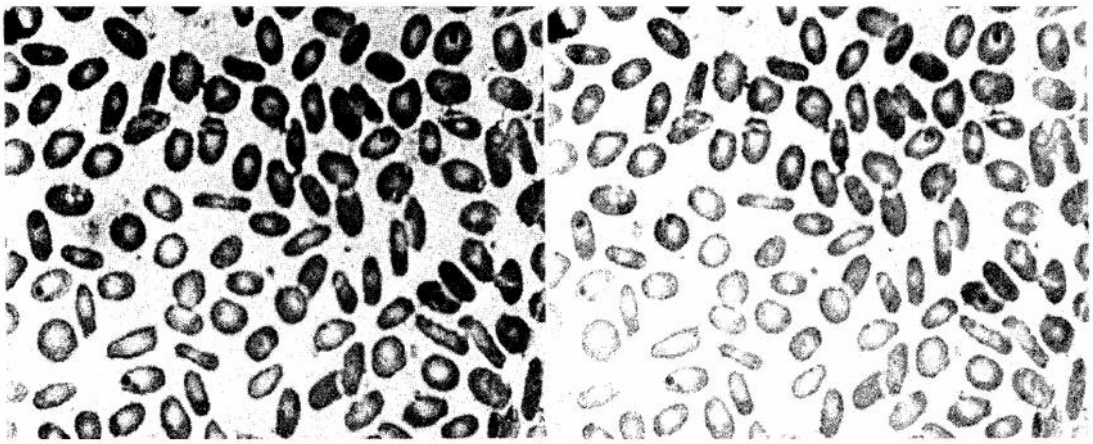
а) початкове зображення; б) зображення після фільтрації

```
[f1 f2]=frecspace(15,’meshgrid’);
Dist=abs(f1)+abs(f2);
H=dist/max(dist(:);
H=fsamp2(f1,f2,H,[5 5])
I=imread (‘foto1’.bmp’);
Figure,imshow(I);
I=mat2gray(filter2(h,ims2double(I) ));
I=imadjust(I,[0 0.5], []);
Figure,imshow(I);
```

Приклад 3.1 – Лінійна фільтрація зображення

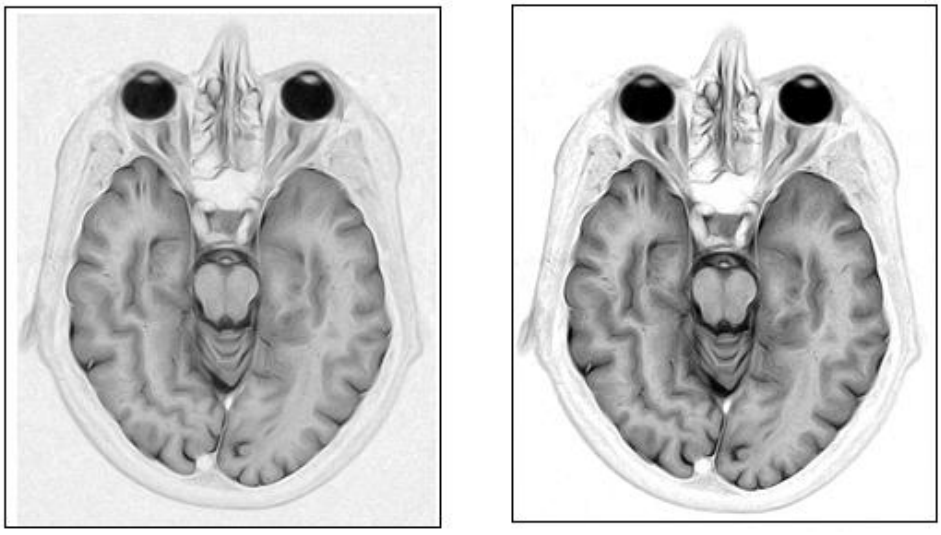
3.3 Нелінійна фільтрація

Застосуємо нелінійну фільтрацію [11] (приклад 3.2) для видалення імпульсного шуму (рис.3.27, рис.3.28).



а) б)

Рисунок 3.27 – Фільтрація зображення з шумом:а) початкове зображення; б) зображення після фільтрації



а) б)

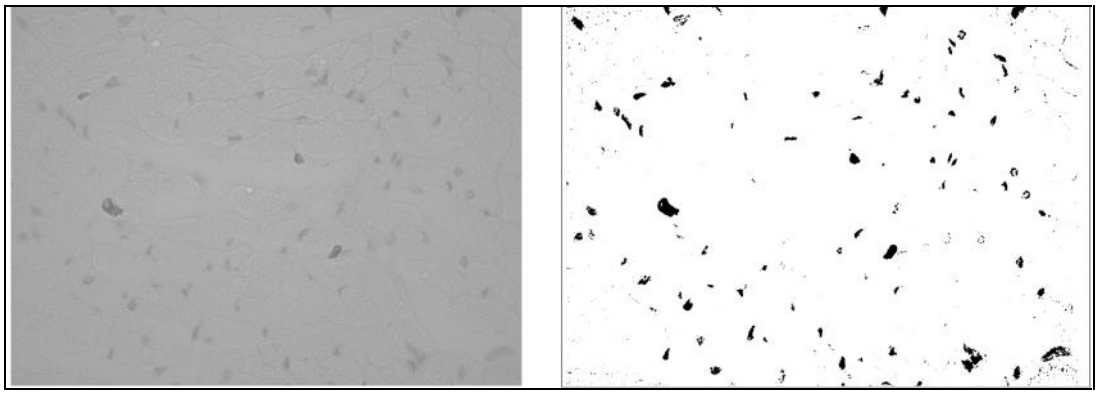
Рисунок 3.28 – Фільтрація зображення з шумом: а) початкове зображення; б) зображення після фільтрації

```
I=imread (‘foto2’.bmp’);
I=im2double(I);
Imshow (I);
I=nlfilter(I,[3],’AverageWithTh’,0.2);
figure,imshow(I);
AverageWithTh,m
Function R=Average WithTh(x, Th);
[r c]=size(x);
n=r*c;
r=floor((r+1)/2); c=floor((c+1)/2);
s=sum(x(:)/n;
end;
```

Приклад 3.2 – Нелінійна фільтрація зображення

3.4 Рангова фільтрація

Застосуємо рангову фільтрацію (приклад 3.3) для поліпшення видимості дрібних елементів зображення (рис.3.29 а) [12].



а) б)

Рисунок 3.29 – Обробка зображення ранговим фільтром: а) початкове зображення; б) зображення після обробки

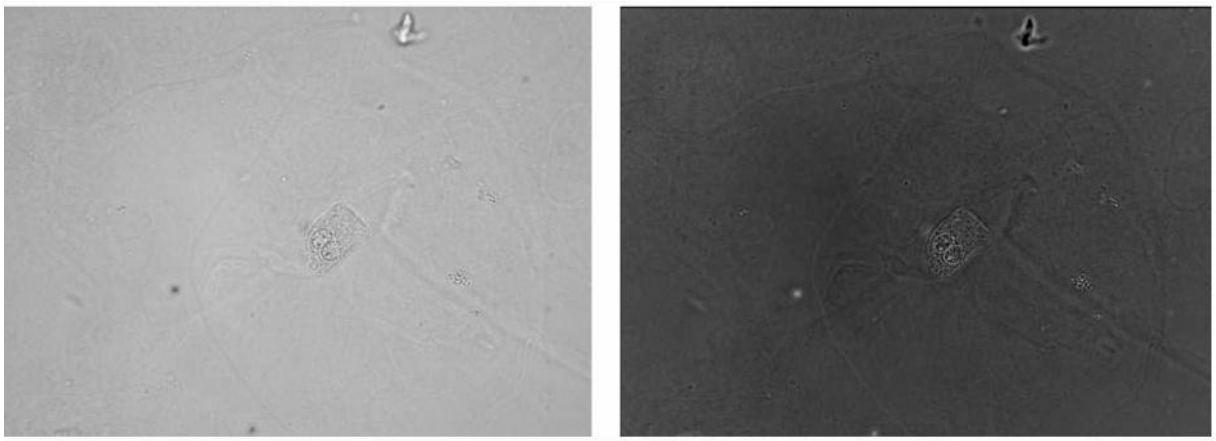
```
I=imread (‘foto3’.bmp’);
Imshow(im);
Im=erd=ordfilt2(im,1,ones(3,3));
Figure,imshow(im,erd);
Im_dil=ordfilt2(im, 9 , ones(3,3));
Figure,imshow(im_dil);
```

Приклад 3.3 – Поліпшення зображення методом рангової фільтрації

Також вдалося зменшити фон на зображенні.

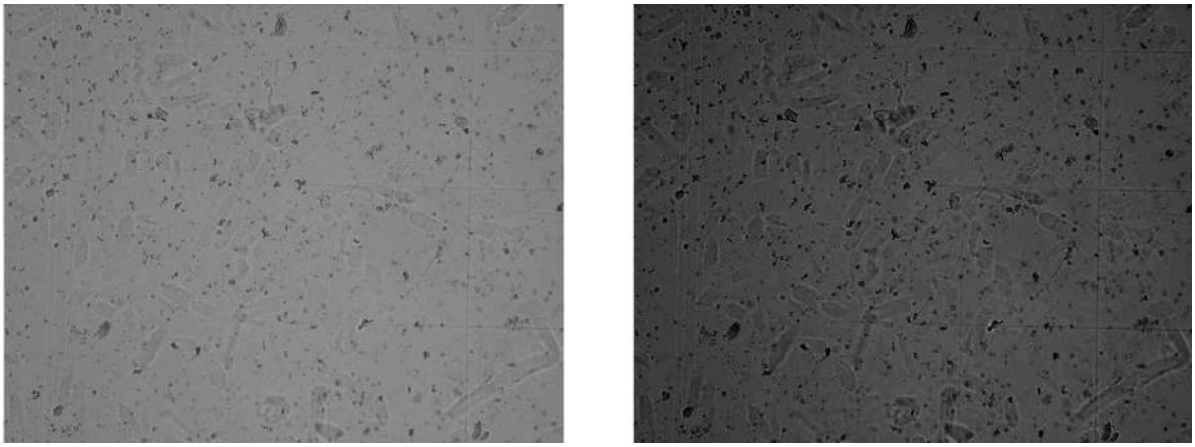
3.5 Контрастоповишаюча фільтрація

Фільтрація методом зміни контрасту (приклад 3.4) дозволяє зробити малопомітним або взагалі видалити шум, а також поліпшити видимість окремих елементів зображення. Приклад використання даного фільтра показаний на рис.3.30., 3.31 [13].



а) б)

Рисунок 3.30 – Застосування методу зміни контрасту: а) початкове зображення; б) зображення після збільшення контрасту



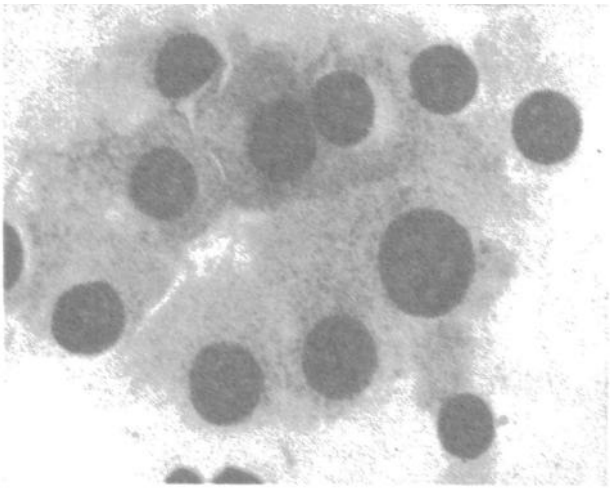
а) б)

Рисунок 3.31 – Застосування методу зміни контрасту: а) початкове зображення; б) зображення після збільшення контрасту

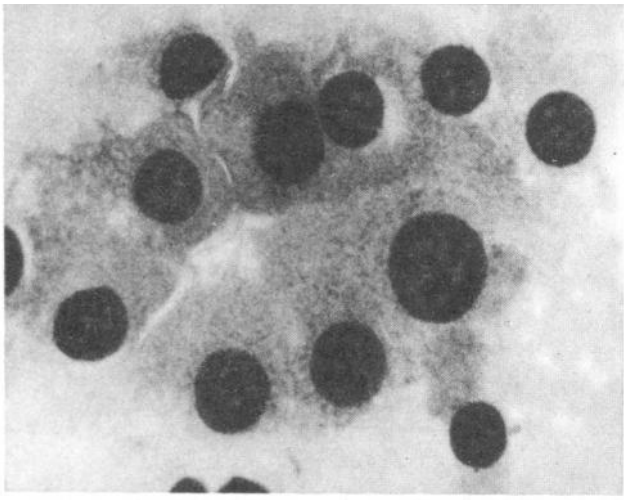
```
I=imread (‘foto4’.bmp’);
imshow(I);
figure, imhist(I);
I=imadjust(I, [0 180]/255, [], 1);
Figure,imshow(I);
```

Приклад 3.4 – Застосування контрастоповишаючого фільтра

Також за допомогою фільтрів зі зміною контрасту (Приклад 3.5) можлива фільтрация для отримання рівномірного фону (рис.3.32).



а)



б)

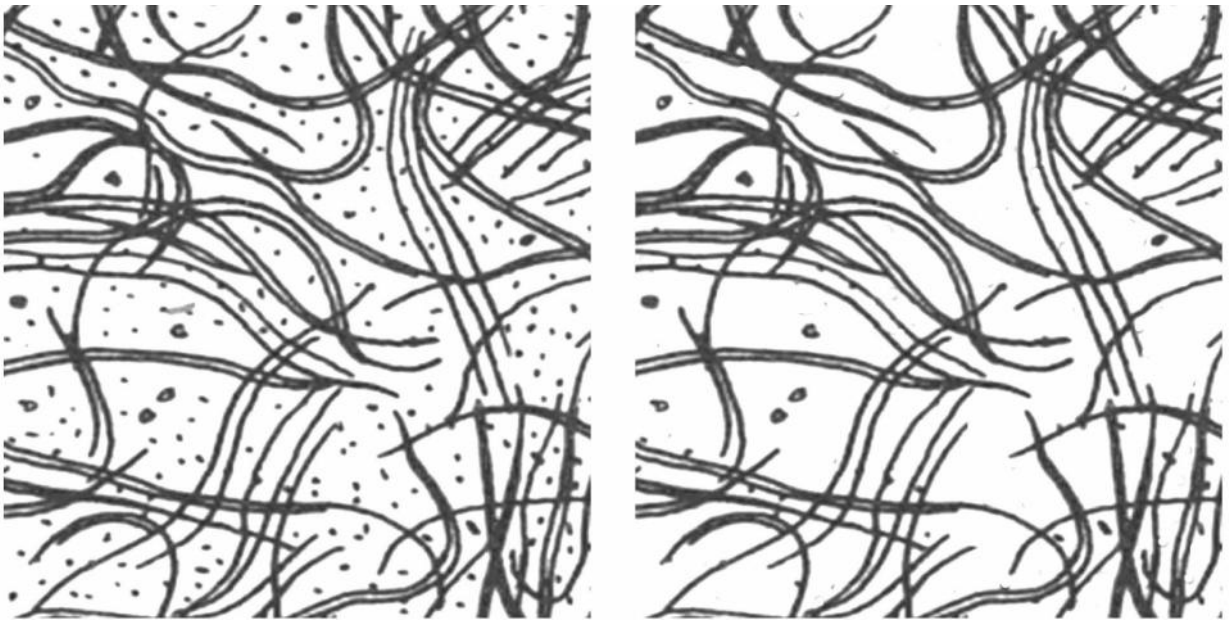
Рисунок 3.32 – Застосування методу зміни контрасту для отримання рівномірного фону: а) початкове зображення; б) зображення після збільшення контрасту

```
I=imread (‘foto5’.bmp’);
I=im2double(I);
imshow(I);
f=inline(‘mean2(x)’);
fon-blkproc(I, [25,25],f);
fon=imresize(fon, size(I), ‘bicubic’);
figure, imshow(fon);
I=I-fon+0.5;
I=imadjust(I, [0.2 0.7], [], 1);
Figure,imshow(I);
```

Приклад 3.5 – Отримання рівномірного фону

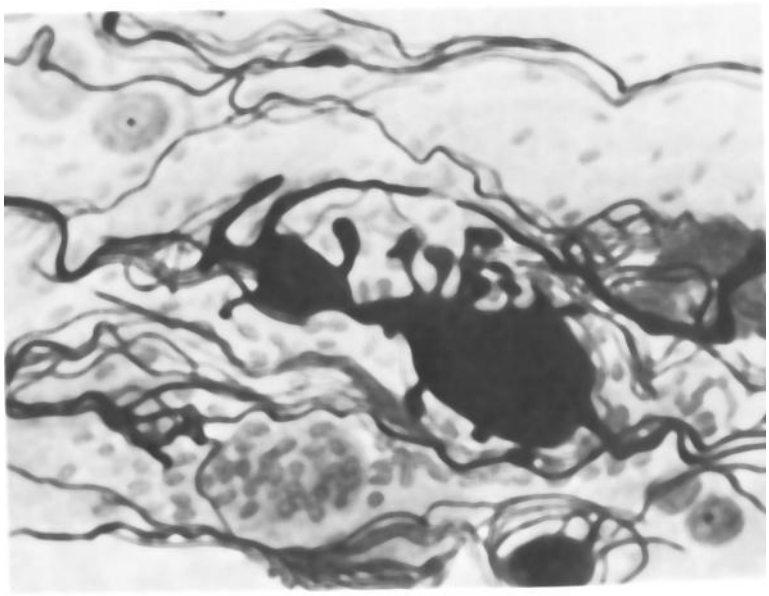
3.6 Медіанна фільтрація

Медіанна фільтрація є однією з різновидом рангової фільтрації. Її зручно використовувати для видалення шуму (приклад 3.6) на рисунках 3.33, 3.34.



а) б)

Рисунок 3.33 – Видалення імпульсного шуму медіанною фільтрацією: а) початкове зображення; б) зображення після фільтрації



а)

б)

Рисунок 3.34 – Обробка зображення медіанною фільтрацією: а) початкове зображення; б) зображення після фільтрації

```
I=imread (‘foto6’.bmp’);
imshow(I);
I=medfilt2(I);
Figure,imshow(I);
```

Приклад 3.6 – Застосування медіанної фільтрації

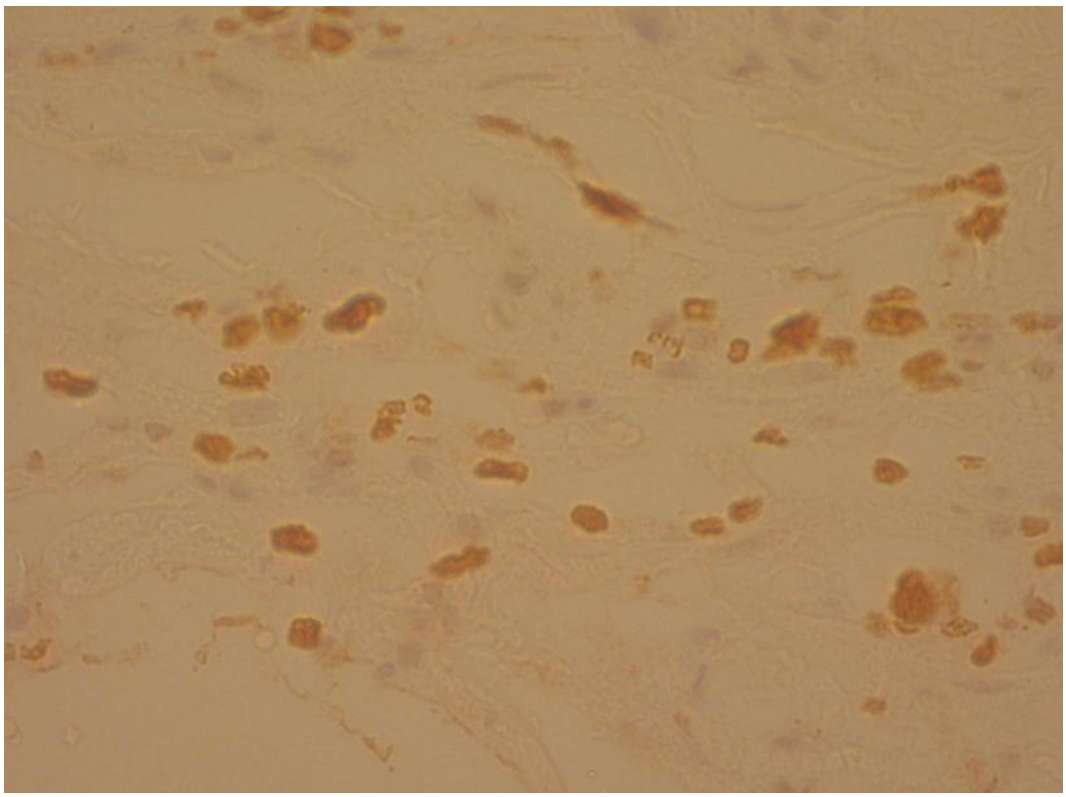
3.7 Фільтрація фільтрами що згладжують

Застосування фільтрів що згладжують розглянемо на зображеннях, показаних на рис.3.35, рис. 3.36.

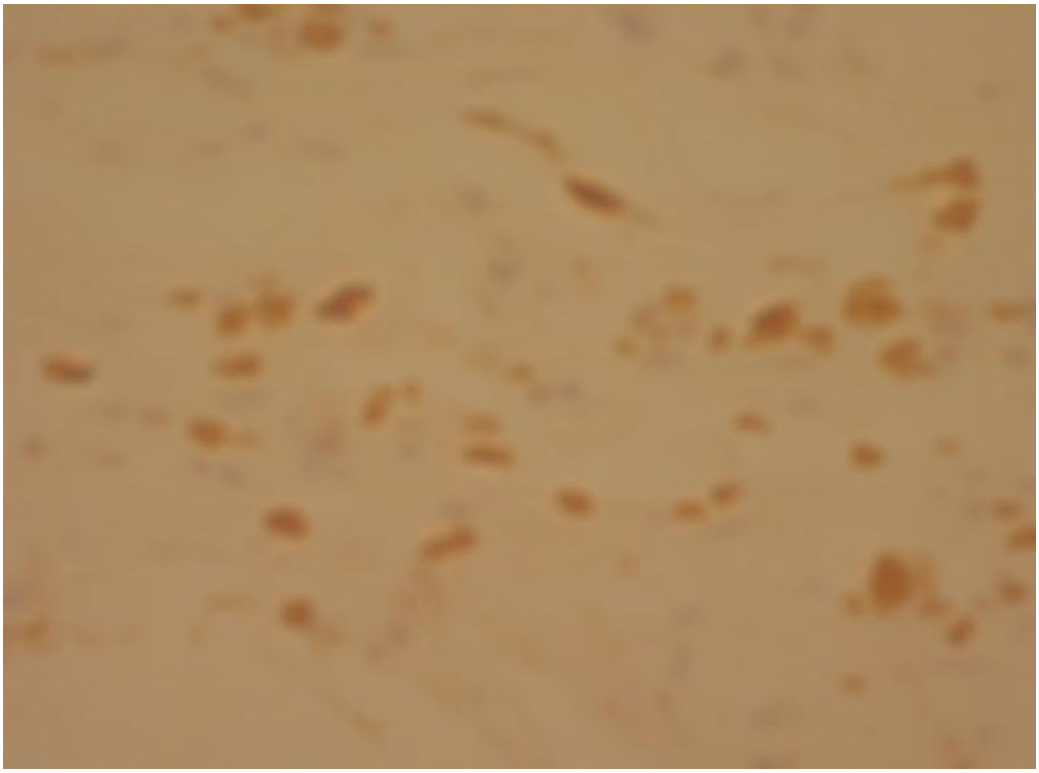
а)

б)

Рисунок 3.35 – Зображення, яке потребує фільтрації: а) початкове зображення; б) зображення після фільтрації



а)

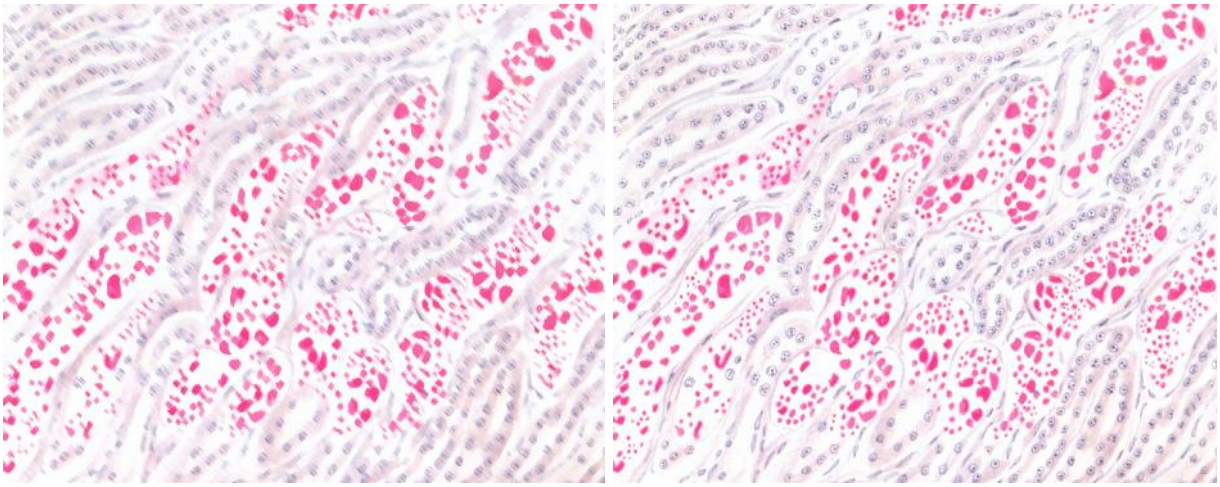


б)

Рисунок 3.36 – Зображення, яке потребує фільтрації: а) початкове зображення; б) зображення після фільтрації

3.8 Фільтрація частотним перетворенням

Зображення на рис.3.37 має муар на багатьох фрагментах. Для його усунення можна застосовувати фільтрацію методом перетворення частот (приклад 3.7).



а) б)

Рисунок 3.37 – Застосування методу фільтрації частотним перетворенням: а) початкове зображення; б) зображення після фільтрації

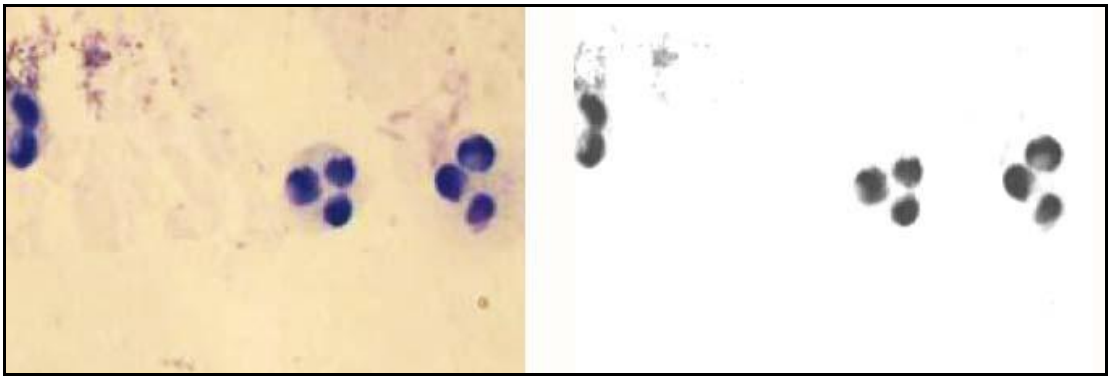
```
b=fir1(14б0ю2);
freqz(b, 1,256);
h=ftrans2(b);
I=imread (‘foto1’.bmp’);
Figure,imshow(I);
I=im2double(i);
Figure,imshow(I);
I=filter2(h,i);
Figure, imshow(i);
```

Приклад 3.7 – Фільтрація частотним перетворенням

3.9 Виділення областей інтересу

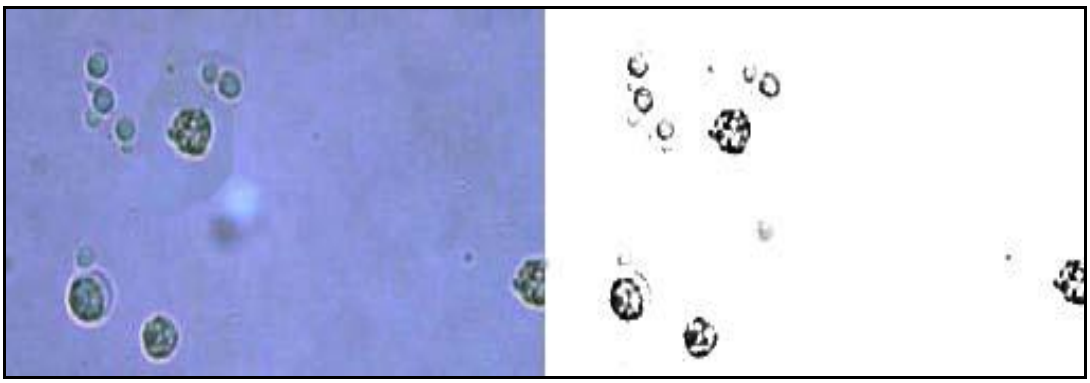
Одним з варіантів такого методу фільтрації можна вважати виділення кольорових об’єктів. Якщо зображення розділити на канали, то видаляючи

деякі з них можна досягти ефекту фільтрації (рис.3.38, рис.3.39).



а) б)

Рисунок 3.38 – Виділення кольорових елементів на зображенні: а) початкове зображення; б) після обробки



а) б)

Рисунок 3.39 – Виділення кольорових елементів: а) початкове зображення; в) після обробки

Розглянуті методи фільтрації дозволяють при вирішенні різних завдань обробки медичних зображень вибрати найбільш підходящий.

ВИСНОВКИ

У ході виконання атестаційної роботи був виконаний огляд различных методов фильтрации изображений. Розглянуто різні алгоритми і методи цифрової обробки зображень і застосування їх до медичних зображень.

Проведено аналіз функціональніх можливостей різних методів фільтрації.

На великій кількості прикладів показано застосування розглянутих методів фільтрації для медичних зображень з метою поліпшення їх якості або для виділення деяких об’єктів на зображеннях. Для роботи вокристовувались програмні пакети MatLab та Adobe Photoshop.

Проведено порівняльний аналіз ефективності різних методів фільтрації, показані їх переваги та недоліки. Дано рекомендації щодо застосування методів фільтрації до медичних зображень.

Результати роботи дозволяють полегшити вибір різних методів фільтрації при обробці медичних зображень в залежності від поставленого завдання.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Федотов А.А. Основы цифровой обработки биомедицинских изображений: Учебное пособие − [Текст] / А.А. Федотов. − Самара: Изд-во СГАУ, 2013. − 108 с.

2. Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения [Текст] / Ю.В. Визильтер, С.Ю. Желтов – М. : Физматкнига, 2010. – 672 с.

3. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений [Текст] / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – СПб.: Питер, 2005. − 1071 с.

4. Претт У. Цифровая обработка изображений [Текст] / У. Претт – М.: Мир, 1982. − 312 с.

5. Бондина Н.Н. Сравнение алгоритмов фильтрации медицинских изображений по оценкам их качества [Текст] / Н.Н. Бондина, А.С. Калмычков, О.А. Козина // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – 2013. – № 39. – с. 15–20

6. Фисенко В.Т., Фисенко Т.Ю. Компьютерная обработка и распознавание изображений [Текст] / В.Т. Фисенко, Т.Ю. Фисенко: учебное пособие − СПб.: СПбГУ ИТМО, 2008. − 192 с.

7. Гонсалес Р. Вудс Р. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB − [Текст] / Р. Гонсалес, Р. Вудс. − М.: Техносфера, 2006 − 616 с.

8. Яне Б. Цифровая обработка изображений [Текст] / Б. Яне. – М.: Техносфера, 2007. – 584 с.

9. Янковский А.А. Критерии выбора метода бинаризации при обработке изображений лабораторных анализов // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики: Сб. научн. трудов [Текст] / А.А. Янковский, А.Н. Бугрий – Выпуск 153. – Харьков: ХНУРЭ, 2010. – с.53-56.

10. Бухтояров С.С. Удаление шума из изображений нелинейными цифровыми фильтрами на основе ранговой статистики [Текст]: автореф. дис.

канд. техн.: 05.12.04 / Бухтояров Сергей Сергеевич. – М., 2007. – 20 с.

11. Быков Р.Е., Фрайер Р. Цифровое преобразований изображений: Учебн. Пособие для вузов. − [Текст] / Р. Е. Быков, Р. Фрайер. − М.: Горячая линия − Телеком, 2003 − 228 с.

12. Апальков И.В. Удаление шума из изображений на основе нелинейных алгоритмов с использованием ранговой статистики [Текст]/ И.В. Апальков, В.В. Хрящев // Тр 17-й Межд конф по компьютерной графике, машинному зрению, обработке изображений и видео, GraphiCon'2007. – М.: МАКС Пресс, 2007. – С. 1-20.

13. Рудаков П. И. Обработка сигналов и изображений. - MATLAB 5.x. [Текст] /П.И. Рудаков, И. В. Сафонов. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2000. – 416 с.

14. Галалу В.Г. Оценка эффективности цифровой фильтрации периодических и импульсных помех на основе локальных статистик [Текст]/ В.Г. Галалу, В.В. Сарычев, М.М. Клопот // Автометрия. – 2009. – № 4. – С. 111-116.

15. Красильников Н.Н. Цифровая обработка 2D- и 3D- изображений − [Текст] / Н.Н. Красильников. − СПб.: БХВ-Петербург, 2011 − 608 с.