

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерної інженерії та управління  
(повна назва)

Кафедра Автоматизації проектування обчислювальної техніки  
(повна назва)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)  
(рівень вищої освіти)

Модель цифрового фільтру низьких частот для відображення зображення  
за допомогою програмного забезпечення MatLab

(тема)

Виконав: студент 2 курсу, групи СКСМ-21-1

Камінський А.А.  
(прізвище, ініціали)

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

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

Освітня програма Спеціалізовані комп'ютерні системи  
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Хаханова Г.В.  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

  
(підпис)

Чумаченко С.В.  
(прізвище, ініціали)

2022 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет \_\_\_\_\_ Комп'ютерної інженерії та управління \_\_\_\_\_

Кафедра \_\_\_\_\_ Автоматизації проектування обчислювальної техніки \_\_\_\_\_

Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ другий (магістерський) \_\_\_\_\_

Спеціальність \_\_\_\_\_ 123 Комп'ютерна інженерія \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

Тип програми \_\_\_\_\_ Освітньо-професійна \_\_\_\_\_  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма \_\_\_\_\_ Спеціалізовані комп'ютерні системи \_\_\_\_\_  
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Камінському Адріану Артуровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Модель цифрового фільтру низьких частот для відображення зображення за допомогою програмного забезпечення MatLab

затверджена наказом по університету від 14 листопада 2022 р. № 1478 Ст \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 15 грудня 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_  
Модель цифрового фільтру низьких частот для відображення зображення

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі \_\_\_\_\_

Теоретичні відомості та постановка задачі; \_\_\_\_\_

Програмне забезпечення; \_\_\_\_\_

Реалізація графічної частини; \_\_\_\_\_

Реалізація програмної частини; \_\_\_\_\_

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) \_\_\_\_\_  
 слайди презентації \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

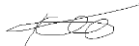
6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1 )

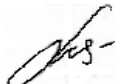
Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

7. Дата видачі завдання 01 вересня 2022 \_\_\_\_\_

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання	04.11.2022 - 05.11.2022	
2	Аналіз	06.11.2022 - 12.11.2022	
3	Розробка моделі	12.11.2022 - 28.11.2022	
4	Реалізація моделі	29.11.2022 - 08.12.2022	
5	Тестування отриманих даних	09.12.2022 - 10.12.2022	
6	Оформлення пояснювальної записки	10.12.2022 - 15.12.2022	
7	Перевірка виконання	15.12.2022 - 15.12.2022	

Студент \_\_\_\_\_   
 (підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  доц. Хаханова Г.В.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 56 с., 16 рисунків, 2 таблиці, 5 джерел за переліком посилань.

ОС, ФІЛЬТР НИЗЬКИХ ЧАСТОТ, ШВИДКЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є, ЦИФРОВИЙ ФІЛЬТР, ЗОБРАЖЕННЯ, РОЗМИТТЯ.

Метою кваліфікаційної роботи є реалізування моделі цифрового фільтру низьких частот для відображення зображення за допомогою програмного забезпечення MatLab.

В ході кваліфікаційної роботи було проаналізовано сеанс роботи та роботу фільтру низьких частот для накладання на зображення різних ефектів, наприклад, розмиття, різкість, деформацію. Також було реалізовано модель фільтру низьких частот для роботи з зображенням.

Об'єкт дослідження: зміна мікро- або макрозображень для подальших робіт у відповідних наукових областях.

## ABSTRACT

Qualification work: 56 pages, 16 figures, 2 tables, 5 sources according to the list of links.

OS, LOW PASS FILTER, FAST FOURIER TRANSFORM, DIGITAL FILTER, IMAGE, BLUR.

The purpose of the qualification work is to implement a digital low-pass filter model for image display using MatLab software.

In the course of the qualification work, the meaning of the work and the operation of the low-pass filter for applying various effects to the image were analyzed, for example: blur, sharpness, deformation. A low-pass filter model for working with the image was also implemented.

Object of research: changing micro or macro images for further work in relevant scientific fields.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ.....	8
ВСТУП.....	9
1. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	11
1.1. Постановка задачі .....	11
1.2 Різниця ФНЧ та ФВЧ .....	12
1.2.1 Фільтри Високих Частот.....	12
1.2.2 Розмиті маски та похідних масок.....	13
1.2.3 Взаємозв'язок між розмиваючою маскою та похідною маскою з фільтрами високих частот та фільтрами низьких частот.....	13
1.2.4 Високочастотні компоненти та низькочастотні компоненти .....	14
1.2.5 Ідеальні фільтри низьких частот і ідеальні фільтри високих частот.....	14
1.3 Причини роботи з ФНЧ .....	15
1.4. Загальні та теоретичні відомості про ФНЧ .....	17
1.4.1 Фізична фаза і РТІ .....	19
1.4.2 Оцінка локальної фази .....	20
1.4.3 Зв'язування РТІ з Моногенним сигналом.....	24
1.4.4 Моногенний сигнал може відтворювати зв'язок .....	26
1.4.5 Фільтр низьких частот Меллора-Бренді може забезпечити додаткову інформацію.....	28
2.ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕНЕННЯ .....	37
2.1 MatLab.....	37
2.2 Simulink.....	39
2.2.1 Simulink для проектування на основі моделі .....	39
2.2.2 Simulink для симуляцій .....	40
2.2.3 Simulink для розробки систем на основі моделей.....	41
2.2.4 Simulink для гнучкої розробки програмного забезпечення.....	41

2.3 Matlab та Simulink .....	42
3.РЕАЛІЗАЦІЯ ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ.....	43
3.1 Графічне відображення зміни сигналів при використанні ФНЧ .....	43
4.РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНОЇ ЧАСТИНИ.....	46
4.1 Основний функціонал програмного забезпечення.....	46
4.1.1 Основні змінні та зачистка даних.....	46
4.1.2 Запобіжні етапи.....	46
4.1.3 Робота з зображенням та обробка зображення .....	47
4.1.4 Результати програмного забезпечення .....	50
ВИСНОВКИ .....	54
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ .....	56
ДОДАТОК А .....	57

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,  
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

- ОС - операційна система;
- ФНЧ - фільтр низьких частот;
- РПІ - рівняння переносу інтенсивності;
- ТС - технічні системи;
- ПП - пакети програм;
- ШПФ - швидке перетворення Фур'є.

## ВСТУП

Обробка зображень відіграє у багатьох галузях людської діяльності. Одним з найбільш часто використовуваних методів обробки зображень є цифрова фільтрація. Вона може використовуватися як з метою покращення сприйняття зображення людиною, так і з метою підготовки зображення до подальшого аналізу за допомогою спеціалізованих алгоритмів. При цьому важливо реалізувати фільтрацію зображень таким чином, щоб вона виконувалася максимально швидко, особливо якщо вона використовується у мобільному програмному засобі.

Фільтрування зображення є процесом, при якому у вхідному зображенні змінюються певні співвідношення між його компонентами. Ці співвідношення можуть бути описані за допомогою математичного алгоритму, який називають цифровим фільтром.

Зазвичай виділяють дві основні групи фільтрів стосовно задачі обробки зображень: фільтри низьких частот та фільтри високих частот. У цьому під частотою мають на увазі так звану просторову частоту. У зображеннях низьких частот відповідають ті ділянки, де компоненти зображення змінюються максимально плавно. У той же час високі частоти містять ділянки зображення, де спостерігається різка зміна значень компонент зображення, наприклад, на межах об'єктів. Фільтри низьких частот дозволяють зробити зображення більш розмитим, тому що вони пригнічують високі частоти і, отже, на зображенні стають менш чіткими межі об'єктів та дрібні деталі.

Фільтрування зображення може бути засноване на застосуванні математичної операції згортки, яка в дискретному вигляді є сумою творів значень пікселів зображення та значень функції фільтра. Такий спосіб фільтрації відомий також як фільтрація просторової області. Однак при великих розмірах фільтра такий підхід вимагає достатньо великої кількості

обчислень, так як для кожного пікселя зображення потрібно обчислити значення згортки.

Іншим способом фільтрації зображень є використання Фур'є-образів зображення та функції згортки. Відповідно до теореми про згортку, перемноживши два цих образи можна отримати образ зображення, яке є згорткою вихідного зображення та функції згортки. Цей тип фільтрації називається фільтрацією в частотній області. Завдяки використанню швидкого перетворення Фур'є він може бути обчислювально більш ефективним, ніж фільтрація в просторовій області, особливо для фільтрів великих розмірів. Крім того, використовуючи саме цей метод можна легко модифікувати існуючі фільтри, додатково визначаючи, які частоти пропускати, а які пригнічувати.

Мета кваліфікаційної роботи - модель цифрового фільтру низьких частот для відображення зображення за допомогою програмного забезпечення MatLab.

# 1. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

## 1.1 Постановка задачі

Цифрові фільтри дозволяють накладати на зображення різні ефекти, наприклад: розмиття, різкість, деформацію, шум і т. д.

Цифровий фільтр являє собою алгоритм обробки зображення. Велика група цифрових фільтрів має один і той же алгоритм, але ефект, що накладається фільтром на зображення, залежить від коефіцієнтів, використуваних в алгоритмі.

Розглянемо цифрові фільтри з кінцевою імпульсною характеристикою, засновані на теорії лінійних систем і застосуванні двовимірних згорток.

Згортка являє собою спосіб представлення будь-якого векторного значення скалярним значенням. Існує нескінченна кількість таких способів, багато з яких визначаються деякими коефіцієнтами. Стосовно до обробки зображень векторне значення являє собою колір групи пікселів, а скалярне значення, що отримується на основі згортки, являє собою колір пікселя, одержаного в результаті застосування до вихідного зображення будь-якого ефекту.

Цифрові фільтри на основі згортки характеризуються розміром групи пікселів. Це називається розміром фільтра. Також фільтр характеризується своєю імпульсною характеристикою. Стосовно до обробки зображень імпульсна характеристика фільтра являє собою зображення, що отримується в результаті обробки чорного зображення, в центрі якого розташовується біла точка. Кінцівка імпульсної характеристики визначається кінцевим розміром групи пікселів, використуваних у фільтрі. Імпульсна характеристика залежить від розміру фільтра і визначається коефіцієнтами фільтра. Коефіцієнти фільтра являють собою деякі скалярні значення, на які множаться значення кольорів пікселів з групи, що відповідає розміру

фільтра. Обробка зображення із застосуванням такого роду фільтрів описується наступною формулою:

$$C_{old}[i - m/2][j - n/2] . \quad (1.1)$$

У цій формулі коефіцієнти  $\alpha$  визначають той ефект, який накладає фільтр. Константи  $m$  і  $n$  задають розмір фільтра (він є двовимірним).

Основним завданням при розробці цифрових фільтрів з кінцевою імпульсною характеристикою є розрахунок коефіцієнтів фільтра. Розглянемо типові приклади фільтрів з кінцевою імпульсною характеристикою.

## 1.2 Різниця ФНЧ та ФВЧ

### 1.2.1 Фільтри Високих Частот

Для додання зображенню більшої чіткості можна використовувати фільтр верхніх частот. Ці фільтри підкреслюють дрібні деталі зображення-повна протилежність фільтру нижніх частот. Фільтрація високих частот працює точно так само, як фільтрація низьких частот; він просто використовує інше ядро згортки. У наведеному нижче прикладі зверніть увагу на знаки мінус для сусідніх пікселів. Якщо немає змін в інтенсивності, нічого не відбувається. Але якщо один піксель яскравіший за своїх найближчих сусідів, він посилюється.

На жаль, хоча фільтрація низьких частот згладжує шум, фільтрація високих частот робить прямо протилежне: вона посилює шум. Це може уникнути вас, якщо оригінальне зображення не надто шумне; інакше шум заглушить зображення. MaxIm DL включає дуже корисну опцію "фільтр з обмеженим діапазоном"; ви можете фільтрувати лише найяскравіші частини зображення, де співвідношення сигнал/шум найвище.

Фільтрація високих частот також може призвести до того, що дрібні, ледь помітні деталі будуть сильно перебільшені. Надмірно оброблене зображення буде виглядати зернистим і неприродним, а точкові джерела матимуть темні кола навколо них. Таким чином, хоча фільтрація високих частот часто може покращити зображення, покращуючи деталі, її надмірне використання насправді може значно погіршити якість зображення.

### 1.2.2 Розмиті маски та похідних масок

Розмита маска володіє наступними властивостями:

- всі значення в масках розмиття позитивні;
- сума всіх значень дорівнює 1;
- вміст країв зменшується за допомогою розмиває маски;
- у міру збільшення розміру маски буде спостерігатися більший ефект розгладження.

Похідна маска володіє наступними властивостями:

- похідна маска має як позитивні, так і негативні значення;
- сума всіх значень у похідній масці дорівнює нулю;
- вміст краю збільшується за допомогою похідної маски;
- у міру збільшення розміру маски збільшується і вміст країв.

1.2.3 Взаємозв'язок між розмиваючою маскою та похідною маскою з фільтрами високих частот та фільтрами низьких частот.

Взаємозв'язок між розмиваючою маскою та похідною маскою з фільтром високих частот та фільтром низьких частот можна визначити просто як:

- розмивні маски також називаються фільтром низьких частот;
- похідні маски також називаються фільтрами високих частот.

### 1.2.4 Високочастотні компоненти та низькочастотні компоненти

Високочастотні компоненти позначають краї, тоді як низькочастотні компоненти позначають гладкі області.

### 1.2.5 Ідеальні фільтри низьких частот і ідеальні фільтри високих частот

Це поширений приклад фільтра низьких частот:

Таблиця 1.1 - Приклад фільтра низьких частот

0	0	0	0	0
0	0	1	0	0
0	0		0	0
0	0	0	0	0

Коли одиниця поміщається всередину, а нуль-зовні, ми отримуємо розмите зображення. Тепер, коли ми збільшуємо на 1 розмір, розмиття буде збільшено, а вміст країв зменшено.

Далі показано поширений приклад фільтра високих частот.

Таблиця 1.2 - Це поширений приклад фільтра високих частот.

1	1	1	1	1
1	1	0	1	1
1	1		1	1
1	1	1	1	1

Коли 0 поміщається всередину, ми отримуємо ребра, що дає нам намальоване зображення.

Застосування фільтру до реального зображення буде нижче у кваліфікаційній роботі.

### 1.3 Причини роботи з ФНЧ

Найосновніша з операцій фільтрації називається "низькочастотної". Фільтр низьких частот, який також називають фільтром "розмивання "або" згладжування", усереднює швидкі зміни інтенсивності. Найпростіший фільтр низьких частот просто обчислює середнє значення пікселя та всіх його восьми найближчих сусідів. Результат замінює початкове значення пікселя. Процес повторюється для кожного пікселя зображення.

Це зображення з фільтрацією низьких частот виглядає набагато розмитішим. Але навіщо вам більш розмите зображення? Часто зображення можуть бути галасливими-незалежно від того, наскільки хороша камера, вона завжди додає в зображення деяку кількість "снігу". Статистична природа самого світла також вносить шум у зображення.

Шум завжди швидко змінюється від пікселя до пікселя, оскільки кожен піксель генерує власний незалежний шум. Зображення телескопа не є "некорельованим" таким чином, оскільки реальні зображення розподілені по безлічі пікселів. Таким чином, фільтр низьких частот впливає на шум більше, ніж на зображення. Пригнічуючи шум, можна побачити поступові зміни, які раніше були невидимими. Тому іноді можна використовувати фільтр низьких частот, щоб виділити слабкі деталі, які були заглушені шумом.

MaxIm DL дозволяє вибірково застосовувати фільтр низьких частот до певного діапазону яскравості зображення. Це дозволяє вибірково згладжувати фон зображення, залишаючи яскраві області недоторканими.

Це чудовий компроміс, оскільки слабкі об'єкти на задньому плані є

найбільш шумними, і це не погіршує різкість яскравих об'єктів на передньому плані.

Фільтрацію можна візуалізувати, намалювавши "ядро згортки". Ядро - це невелика сітка, яка показує, як відфільтровані значення пікселя залежить від його сусідів. Для виконання фільтра низьких частот шляхом простого усереднення сусідніх пікселів використовується наступне ядро:

+1/9	+1/9	+1/9
+1/9	+1/9	+1/9
+1/9	+1/9	+1/9

Коли застосовується це ядро, кожен піксель та його вісім сусідів множаться на 1/9 і додаються разом. Піксель посередині замінюється сумою. Це повторюється для кожного пікселя зображення.

Якби ми не хотіли фільтрувати так жорстко, ми могли б змінити ядро, щоб зменшити усереднення, наприклад:

0	+1/8	0
+1/8	+1/2	+1/8
0	+1/8	0

Центральний Піксель вносить половину свого значення в результат, а кожен з чотирьох пікселів вище, нижче, зліва і праворуч від центру вносить по 1/8 кожен. Це матиме більш тонкий ефект. Вибираючи різні фільтри низьких частот, ми можемо вибрати той, який має достатньо згладжування шуму, не розмиваючи зображення занадто сильно.

Ми також могли б зробити ядро більшим. Наведені вище приклади мали розмір 3x3 пікселя, загалом дев'ять. Ми могли б використовувати 5x5 так

само легко, або навіть більше. Єдина проблема використання більших ядер полягає в тому, що кількість необхідних обчислень стає дуже великою.

Різновидом цього методу є розмиття по Гауссу, яке просто дозволяє вам визначити певну форму ядра розмиття за допомогою всього лише одного числа – радіуса гауссова ("нормального") розподілу. Це забезпечує дуже точний контроль ступеня розмиття; більший радіус створює сильніший ефект.

#### 1.4. Загальні та теоретичні відомості про ФНЧ

Фаза - це фундаментальне поняття як у фізиці, так і в обробці сигналів.

У першому випадку він описує затримку між двома незалежними хвильовими сигналами, такими як електромагнітні промені, коливання струни та інші фізичні явища. В останньому випадку він містить інформацію про форму сигналу і може бути пов'язаний з фазою на основі хвилі за допомогою таких методів, як перетворення Фур'є. У цій статті описується Нова взаємозв'язок між фазовою інформацією з цих різних теоретичних областей і ілюструється, як це може бути застосовано у конкретному контексті обробки зображень.

Ці відносини конкретно пов'язують фізичну фазу від поширення оптичного світла з локальною фазою від виявлення ознак сигналу. У цьому контексті фізична фаза описує обурення світла, викликане проходженням через розсіює об'єкт, який має показник заломлення, відмінний від показника заломлення навколишнього середовища. Ключове рівняння, що описує цей ефект, рівняння переносу інтенсивності (РТІ), часто використовується для відновлення фізичної інформації про фазу з даних тільки по амплітуді.

Навпаки, локальна фаза описує форму або структура, виявлена в певній області сигналу. Локальна фаза не може бути точно розрахована через обмеження, що накладаються принципом невизначеності Гейзенберга, але розумні оцінки можуть бути отримані з використанням смугових

квадратурних фільтрів. Моногенний сигнал є потужним інструментом для багатовимірної оцінки локальної фази і часто використовується при обробці сигналів.

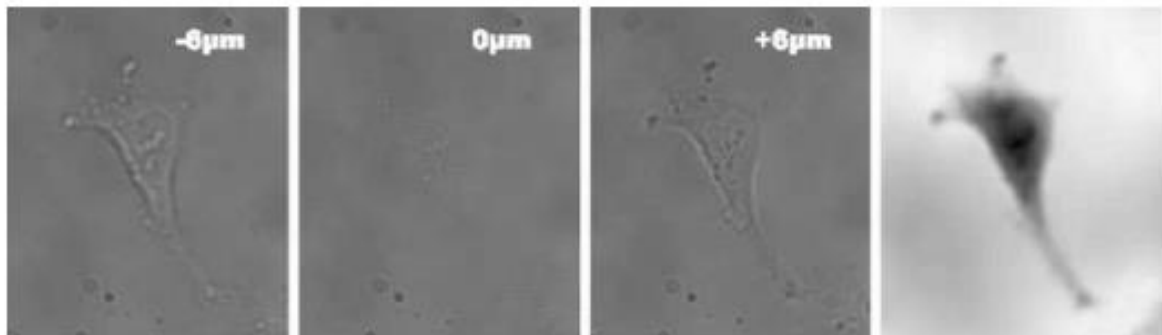


Рисунок 1.1 - Серія просвічуючих зображень в яскравому полі живої адгезивної ракової клітини з різним рівнем фокусування

На рисунку 1.1 - невеликі темні кола вгорі і внизу викликані артефактами на масляній основі на лінзі. Зображення з відновленням фази зв'язку, отримане з використанням яскравого поля РТІ еквівалентно модифікації етапу локальної оцінки фази за допомогою моногенного сигналу, де смугові фільтри замінюються фільтрами нижніх частот. РТІ еквівалентна зміні кроку в оцінці локальної фази з використанням моногенного сигналу, де смугові фільтри замінюються фільтрами нижніх частот. Використання фільтрів нижніх частот при оцінці локальної фази суперечить загальноприйнятій теорії в цій області, однак це дозволяє застосовувати потужну структуру моногенного сигналу до іншого класу задач. Ми представляємо наші результати в області обробки зображень за допомогою клітинної мікроскопії як застосування цієї взаємозв'язку, і цілком ймовірно, що можуть існувати й інші. В наступному розділі представлена передісторія РТІ і Моногенних Сигнал.

### 1.4.1. Фізична фаза і РТІ

Проблема відновлення інформації про фазу часто виникає в багатьох областях прикладної фізики (наприклад, в рентгенівській кристалографії). Зазвичай вона вирішується побічно з використанням ітераційних рішень, заснованих на алгоритмі Герхберга-Сакстона-Файнупа (ГСФ), проте в деяких випадках пряме рішення може бути отримано аналітично. Одним з таких випадків є оптична мікроскопія, де РТІ пов'язує амплітудні зображення з різних фокальних площин з основною фазою.

РТІ була отримана Тігом в 1983 році з Рівняння Гельмгольца, незалежна від часу форма диференціального хвильового рівняння для хвилі в порожньому просторі. Рівняння Гельмгольца визначається як

$$[\nabla^2 + (\frac{2\pi}{\lambda})\psi z(x, y)] = 0 \quad , \quad (1.2)$$

де  $\lambda$ -довжина хвилі, а  $\psi$ -складова хвильової функції, перпендикулярна напрямку руху (тобто площині об'єкта) на фокусній відстані дельта z. Починаючи з Рівняння 1, Майкл Тіг вивів РТІ,

$$\frac{2\pi}{\lambda} \frac{\delta}{\delta z} I = -\nabla * \nabla \phi \quad , \quad (1.3)$$

який пов'язує фазу  $\phi$  із зображенням  $I$  освітленості при  $z = 0$  і градієнтом освітленості по осі  $z$ . РТІ являє собою еліптичний PDE другого порядку, який Тіг зміг звести до рівняння Пуассона, ввівши допоміжну змінну. Тіг також показав рішення проблеми з використанням функцій Гріна для обмеженого випадку круглого об'єкта. Наступним значним досягненням стали Паганіні і Ньюджент, який вивів алгебраїчний розв'язок для  $\phi$  для РТІ:

$$\phi = -k \nabla^{-2} [\nabla * (\frac{1}{I_0} \nabla \nabla^{-2} \frac{\delta I_0}{\delta z})] \quad , \quad (1.4)$$

де  $I \neq 0$  і  $\nabla^{-2}$  являє собою зворотний оператор Лапласа. Рівняння 3 може бути вирішено з використанням методів кінцевих елементів або підходів, заснованих на перетворенні Фур'є. Останнє найчастіше використовується, оскільки швидке перетворення Фур'є дозволяє обчислювати рішення дуже швидко. Підхід, заснований на цьому перетворенні, обчислює зворотний лапласіан за допомогою

$$\nabla^{-2}u(x, y) = F^{-1}\left[\frac{F[u(x, y)]}{|q|^2}\right], \quad (1.5)$$

де вектор просторової частоти,  $q = 0$ , радіально симетричний навколо центру поля зображення і перпендикулярний напрям поширення. На рисунку 1.1 показаний приклад відновлення фази для біологічної клітини, зображеної за допомогою мікроскопії яскравого поля, шляхом вирішення завдання РТІ.

#### 1.4.2. Оцінка локальної фази

Оппенгейм і Лім продемонстрували важливість фази у зображеннях за допомогою класичного експерименту в 1981 році. Вони перемикали фазову і амплітудну складові двох різних зображень, отриманих за допомогою дискретного перетворення Фур'є. Перетворення і відтворили зображення з використанням зворотного перетворення, щоб визначити, чи вплинула амплітудна або фазова складова більший вплив на кінцевий зовнішній вигляд.

Отримані зображення виявилися схожими на зображення, з яких була отримана фазова складова. У цих ранніх експериментах фаза, заснована на зображенні, вивчалася як глобальна властивість у всій області сигналів, однак незабаром увага переключилася на властивості фази на локальному рівні.

Венкатеш і Оуенс показали, що це властивість локальної фази,  $\sim\phi$ , може бути оцінено з використанням пари смугових фільтрів, які знаходяться в квадратурі, що призводить до наступного визначення:

$$\phi(t) = \arctan\left(\frac{b_o(t) \otimes f(t)}{b_e(t) \otimes f(t)}\right), \quad (1.6)$$

де  $b_e$ ,  $b_o$  - парні і непарні смугові квадратурні фільтри, а  $f(t)$  - аналізований сигнал. Як правило,  $b_e$  вибирається на основі поточного додатка і використовується для отримання  $b_o$  шляхом застосування перетворення Гільберта до  $b_e$ . Кожна фільтр максимально реагує на функцію одного і того ж типу симетрія. Локальна фаза визначається як відношення відгуків пари квадратурних фільтрів до смугового сигналу і, як така, забезпечує міру непарності або рівномірності локалізованого сигналу. Цей захід має корисну особливість незалежності від амплітуди сигналу завдяки властивості, званому поділом ідентичності, яке забезпечується аналітичним сигналом. Поділ ідентичності означає, що представлення є унікальним для даного сигналу, і що властивість *invarianceequivariance* виконана. Інваріантність гарантує, що певні перетворення не вплинуть на об'єкт, тобто локальна фаза інваріантна до змін локальної амплітуди і, як така, не залежить від контрасту і освітленості. З іншого боку, вказує на те, що існує чітка монотонна залежність витягнутої властивості від параметрів перетворення, наприклад, залежність локальної фази від структур, присутніх на зображеннях.

Вищезгадана теорія добре зарекомендувала себе в таких областях, як обробка електричних і акустичних сигналів, однак спочатку вона не піддавалася простому поширенню на 2D-сигнали, оскільки відповідного 2D-непарного фільтра, мабуть, не існувало. Прорив стався, коли Фелсберг і Зоммер показали, що, хоча фільтри 2 Dogs не можуть бути визначені за допомогою фільтрів зі скалярним значенням, використання векторнозначних фільтрів може генерувати такий фільтр. Фелсберг і Зоммер змогли визначити

це, використовуючи 2D Узагальнення перетворення Гільберта, відомого як перетворення Рісса, і, таким чином, змогли генерувати 2D непарні симетричні фільтри з заданого парносиметричного смугового фільтра шляхом згортки його з наступними непарними векторними фільтрами частотної області:

$$H_1(u_1, u_2) = j \frac{u_1}{\sqrt{u_1^2 + u_2^2}} . \quad (1.7)$$

$$H_2(u_1, u_2) = j \frac{u_2}{\sqrt{u_1^2 + u_2^2}} . \quad (1.8)$$

Їх відкриття призвело до нового представлення 2D-сигналів, відомому як Моногенний сигнал. Вони змогли отримати вирази для локальної енергії (залежна від інтенсивності міра сили об'єкта) і локальної фази з використанням 2D-сферичних квадратурних фільтрів. Крім того, було отримано нову властивість-локальна орієнтація, яка забезпечує міру напрямки максимальної дисперсії сигналу. Враховуючи відповідне зображення з смуговою фільтрацією,

$$I_b(x, y) = I(x, y) \otimes b(x, y) , \quad (1.9)$$

де  $b(x, y)$  - вибраний смуговий фільтр, локальна енергія ( $\sim A$ ), локальна фаза ( $\phi$ ) і локальна орієнтація ( $\theta$ ) задаються формулами:

$$\sim A(x, y) = \sqrt{I_b^2 + (H_1 \otimes I_b)^2 + (H_2 \otimes I_b)^2} . \quad (1.10)$$

$$\sim \phi(x, y) = \arctan\left(\frac{b_o(t) \otimes f(t)}{b_e(t) \otimes f(t)}\right) . \quad (1.11)$$

$$\sim\theta(x, y) = \arctan\left(\frac{I_b}{\sqrt{(H_1 \otimes I_b)^2 + (H_2 \otimes I_b)^2}}\right) . \quad (1.12)$$

Їх обчислення коротко представлено на рисунку 1.3.

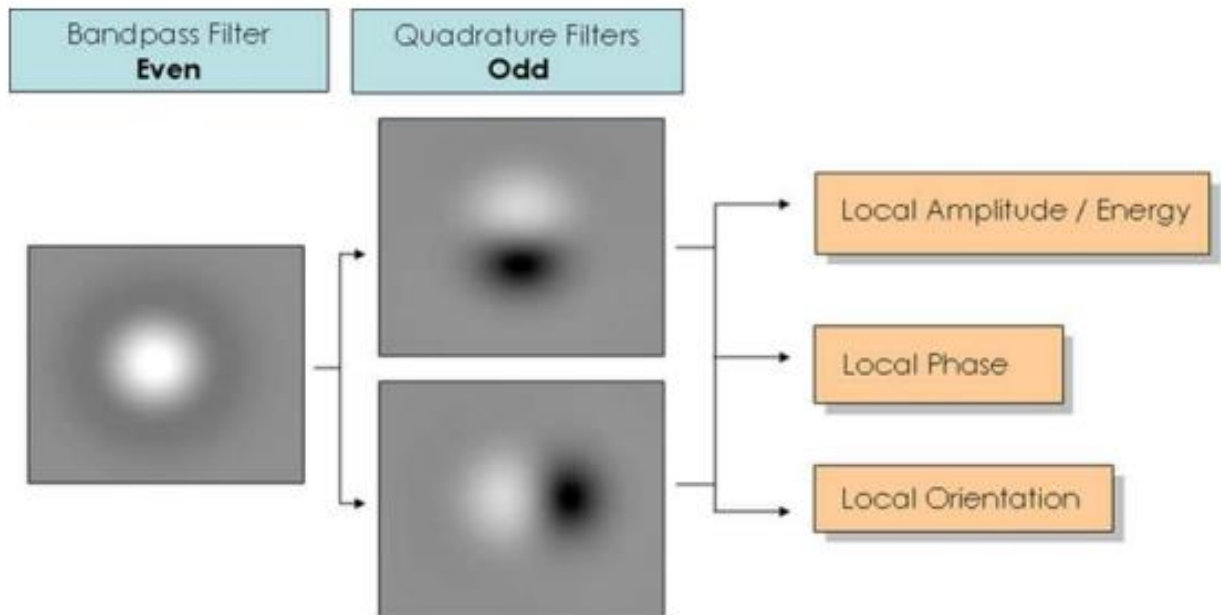


Рисунок 1.2 - Різниця гауссовського фільтра і відповідної йому пари непарних квадратурних фільтрів

Вибір смугового фільтра для обчислення непарних і парних квадратурних фільтрів є ключовим кроком і обговорювався у всебічному огляді Букерруї та ін. Букерруї досліджував властивості декількох сімейств смугових фільтрів, включаючи фільтри Габора, лог-Габора, похідну Гауса, різницю фільтрів Гауса і Коші, а також встановлено, що, за винятком фільтра Габора, більшість з них підходять для виявлення об'єктів. З нашого досвіду, поліпшені результати можуть бути отримані з використанням масштабно-інваріантного фільтра, розробленого Меллором і Бреді. Це настроюється фільтр який створює зображення з дуже чіткими граничними елементами.

### 1.4.3. Зв'язування РТІ з Моногенним сигналом

Конкретне застосування для локальної фази - це сегментація меж біологічних клітин по зображеннях за допомогою мікроскопії яскравого поля.

Ці зображення зазвичай отримуються за допомогою дослідницьких мікроскопів початкового рівня, які не містять апаратного посилення контрасту. Біологічні клітини-це прозорі, заповнені рідиною об'єкти, які діють як лінзи. Вони здаються майже невидимими, коли мікроскоп знаходиться у фокусі, але демонструють підвищений контраст при розфокуванні мікроскопа через дифракційних ефектів. Поліпшення контрастності досягається за рахунок зниження роздільної здатності зображення через розмиття зображення мікроскопом. Функція точкового розкиду.

Одним з популярних підходів до сегментації осередків на таких зображеннях є поліпшення контрастності, а потім використання простих методів обробки зображень. У 2002 році Ньюджент та ін. опублікував методику під назвою кількісна фаза Мікроскопії, яка вирішила проблему безпосередньо для відновлення фазових властивостей зразка. Розчин всередині осередків має показник заломлення, відмінний від показника зовнішнього середовища, і, таким чином, фазове зображення забезпечує поліпшену контрастність зображень де клітини можуть бути чітко візуалізовані. Приклад результату можна побачити на рисунку 1.

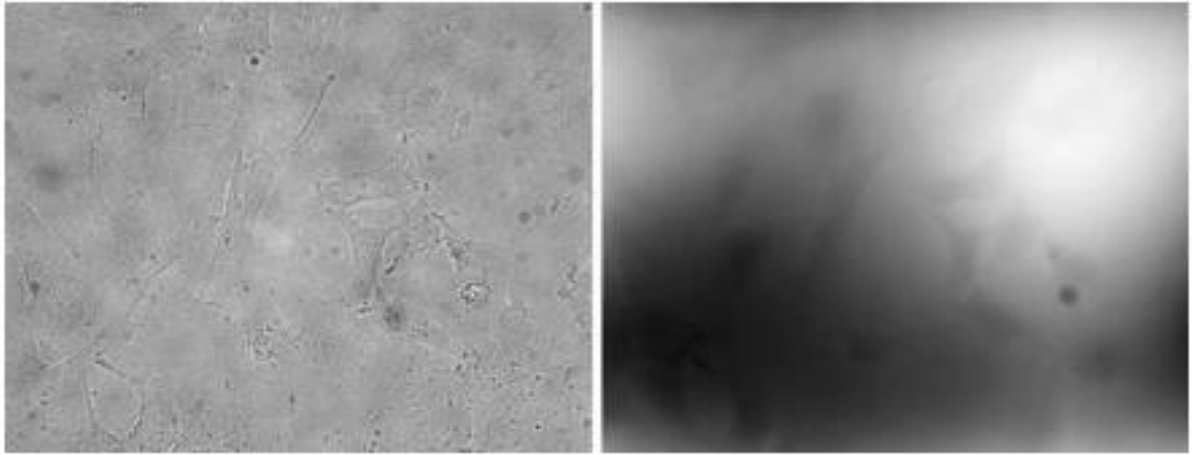
Одним з важливих аспектів рисунку 1 є те, що рішення містить низькочастотне поле у фоновому режимі. Волков демонструє, що це пов'язано із застосуванням не відповідних граничних умов до розв'язку рівняння, і рекомендує використовувати періодичні граничні умови. Виявили, що застосування різних граничних умов не призвело до значного зменшення низькочастотного поля на наших зображеннях. Поле стає більш

значущим для великих зображень з декількома осередками і додатковим шумом.

На рисунку 1.3 показано фазове рішення для великих зображень, де воно домінує дуже сильним низькочастотним шумом, який затемнює осередки. Цей ефект, який ставить в глухий кут будь-яку спробу сегментувати клітини на основі виділеної фази, поряд з рішеннями за його мінімізації за допомогою експериментальних змін і фільтрації зображень, які мали обмежений успіх.

Моногенний сигнал забезпечує спосіб обійти ефекти низькочастотного шуму, по-перше, помітивши, що ключовий крок у вирішенні на основі ШПФ для РТІ може бути включений в Моногенний сигнал для отримання результатів, які нагадують результати рішення РТІ. Потім зазначається, що фільтр Меллора-Брейді може бути використаний для апроксимації цих результатів, але з додатковою перевагою у вигляді підвищеної настроюваності.

Нарешті, застосування модифікованого фільтра Меллора-Брейді з каркасом моногенного сигналу призводить до отримання локальних фазових зображень зі зменшеним рівнем низькочастотного шуму, поряд з додатковими зображеннями локальної амплітуди і локальної орієнтації, які у сукупності забезпечують багатий ресурс для більш потужної обробки зображень даних зображень в яскравому полі.



а

б

Рисунок 1.3 – а) яскраве зображення декількох прихильників ракових клітин; б) зображення з відновленням фази зв'язку, що відображає великий артефакт низькочастотного шуму

1.4.4. Моногенний сигнал може відтворювати зв'язок. Зображення з відновленням фази.

Почнемо з того, що рівняння 4, засноване на БПФ рішення для зворотного лапласіана, обчислене для розв'язання задачі, можна розглядати як згортку вхідного зображення  $\partial I / \partial z$  з радіально - симетричним фільтром нижніх частот  $q(x, y)^{-2}$ , де  $q$ -просторова частота. Це ідентично рівнянню 7 формулювання моногенного сигналу з  $I(x, y) \equiv \partial I / \partial z$  і  $b(x, y) \equiv q^{-2}$ . Зображення локальної енергії та локальної фази були обчислені з використанням похідного зображення  $\partial I / \partial z$  в якості вхідних даних для рівняння. Результати на рисунку 4 показують, що при використанні похідного зображення в якості вхідних даних результуюча локальна енергія і локальна фаза нагадують. Результати відновлення фази зв'язку показані на рисунку 3, демонструючи, таким чином, що Моногенний сигнал має потенціал для відтворення зображень, відновлених у фазі зв'язку. Та навпаки, коли в якості вхідних даних використовується зображення яскравого поля у

фокусі, результати не мають сенсу (дані не показані). Це демонструє, що  $q^{-2}$  фільтр застосовується лише до певних типів зображень.

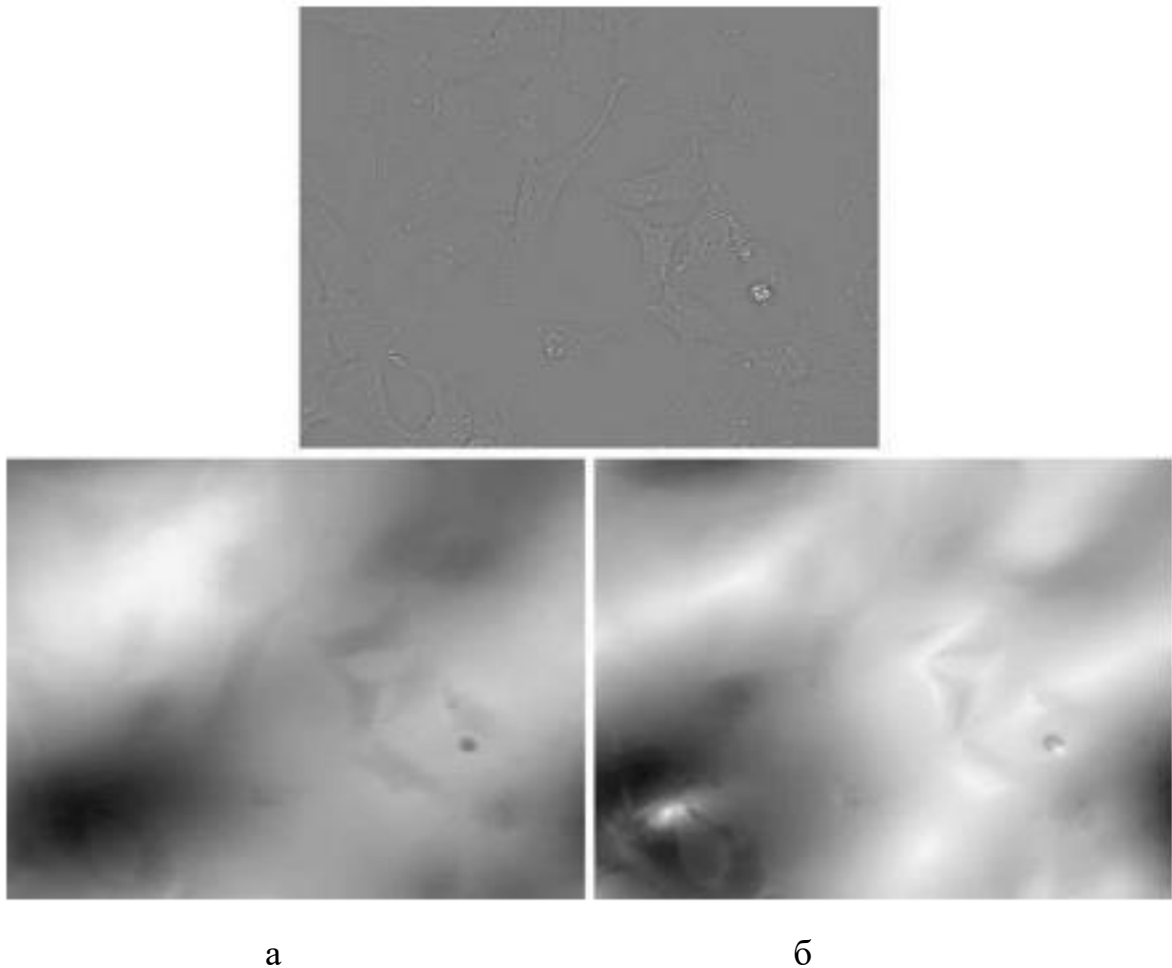


Рисунок 1.4 – а) - вхідне похідне зображення  $\partial I/\partial z$ ,

б) - вихідне локальне енергетичне зображення і

локальне фазове зображення, обчислене з вхідного похідного зображення, з використанням похідної від прив'язки  $q^{-2}$  фільтра нижніх частот

Використання фільтра  $q^{-2}$  для обчислення локальної енергії та локальної фази припускає, що моногенний сигнал може мати потенційне застосування, відмінне від використання в якості детектора ознак. Результат показують, що фізична фаза  $\phi$  може бути апроксимована наступним чином

$$\phi \approx \nabla^{-2} \frac{\delta I}{\delta z} . \quad (1.13)$$

Тіг фактично вивів це рівняння з РТІ, ввівши допоміжну функцію  $\psi$ , використовуючи

$$\nabla\psi = I\nabla\phi, \quad (1.14)$$

щоб отримати

$$\nabla^2\psi = \frac{-2\pi}{\lambda} \frac{\delta I}{\delta z}, \quad (1.15)$$

де  $\psi$  масштабує значення інтенсивності для отримання фізично значущих значень. Ключовим моментом є те, що використання фільтрів нижніх частот для генерації пар квадратурних фільтрів може привести до результатів в рамках моногенного сигналу, які наближають розв'язок рівняння Пуассона для відновлення фази. Це дає дві потенційні переваги. По-перше, якщо можна знайти фільтр для апроксимації  $q^{-2}$  фільтра нижніх частот, але який також налаштовується, тоді може бути можливо 'відключити' низькочастотний шум. Фільтр Меллора-Брейді чи є такий фільтр, і його застосування обговорюється в наступному розділ. По-друге, моногенний сигнал дозволяє обчислювати локальну амплітуду, локальну фазу і локальну орієнтацію, що дозволяє розробляти вдосконалені алгоритми обробки зображень.

1.4.5. Фільтр Меллора-Брейді може наблизити зв'язок. Фільтр нижніх частот.

Вибір смугового фільтра для обчислення непарних і парних квадратурних фільтрів є ключовим кроком при використанні моногенного

сигналу. Раніше ми представили фільтр Меллора-Брейді. Цей корисний фільтр заснований на ідеї геометричних моментів,  $M_{p,q}$ ,

$$M_{p,q} = \int \int_{-\infty}^{\infty} I(x,y)x^p y^q dx dy, \quad (1.16)$$

де  $p, q$  визначають порядок моментів. Геометричні моменти позитивного порядку часто використовуються для отримання глобальних метрик зображення, що не залежать від масштабу і повороту, таких як центр маси інтенсивності зображення. Меллор використовував визначення моментів негативного порядку для отримання локальних заходів і об'єднав це з негативними ступенями радіуса зробити заходи обертально інваріантними:

$$M_k(x,y) = \int \int I(x,y)r^{-k}(x-u, y-v)dudv. \quad (1.17)$$

Це еквівалентно згортку з радіально-симетричним фільтром нижніх частот  $r^{-k}$ , що небажано для виявлення ознак через наявність компонента постійного струму. Смуговий фільтр створюється шляхом використання різниці двох таких фільтрів для отримання фільтра просторової області

$$f(r) = \left[ \frac{1}{r^{\alpha+\beta}} - \frac{1}{r^{\alpha-\beta}} \right], \quad (1.18)$$

де  $\alpha$  і  $\beta$ -параметри, що керують профілем фільтра. На практиці алгоритм використовується зі значеннями параметрів з  $\alpha = 3,25$ ,  $\beta = 0,25$ , оскільки це призводить до отримання смугового фільтра, який відносно не залежить від масштабу. Однак, коли  $\alpha \rightarrow 0$ , він стає фільтром нижніх частот, властивості якого можна порівняти з  $q^{-2}$  фільтра. На рис. 5 порівнюється профіль частотної області фільтра Меллора-Брейді з  $q^{-2}$  фільтра для декількох значень  $\alpha$ . Можна бачити, що випадок, коли  $\alpha = 0,25$ , демонструє високий ступінь подібності з  $q^{-2}$  фільтра.

Фільтр Меллора-Брейді використовується для обчислення локальної енергії, локальної орієнтації та локальної фази для похідного зображення на фіг. 4.

Результати показані на рисунку 1.6, використовуючи значення  $\alpha$  як 0,25, 1,5, 3,5. При  $\alpha = 3,5$  локальне енергетичне зображення показує дуже слабкі характерні сигнали, що очікується, враховуючи низький рівень контрастності вихідного похідного зображення в рисунку 1.4. Локальне фазове зображення виділяє анатомічні особливості клітин, що і очікувалося, враховуючи, що оцінка локальної фази з використанням смугових фільтрів і моногенного сигналу є загально визнаним методом виявлення ознак, інваріантних за інтенсивністю. У міру зменшення  $\alpha$  кордону осередків стають більш чіткими на зображеннях локальної енергії, а значення локальної орієнтації вказують на межі осередків з збільшуються відстаней. Нутроці осередків починають заповнюватися в міру зменшення  $\alpha$ , і при  $\alpha = 0,25$  вони наближаються до відновлених зображень фази зв'язку на фіг. 3. Низькочастотні шумові патерни також починають проявлятися на локальних фазових зображеннях, і вони найбільш сильні при  $\alpha = 0,25$ . Примітно, що в порівнянні з відновленим фазовим зображенням на рис. 3 низькочастотна шумова складова зображення  $\alpha = 0,25$  пригнічена і можливості edge значно покращені. Ця здатність фільтра нижніх частот Меллора-Брейді генерувати вихідні дані, аналогічні підходу РТІ, але додатково контролювати і налаштовувати рівень низькочастотного шуму, робить його потенційно більш придатним для цілей сегментації осередків в порівнянні з зображеннями з відновленням фази РТІ.

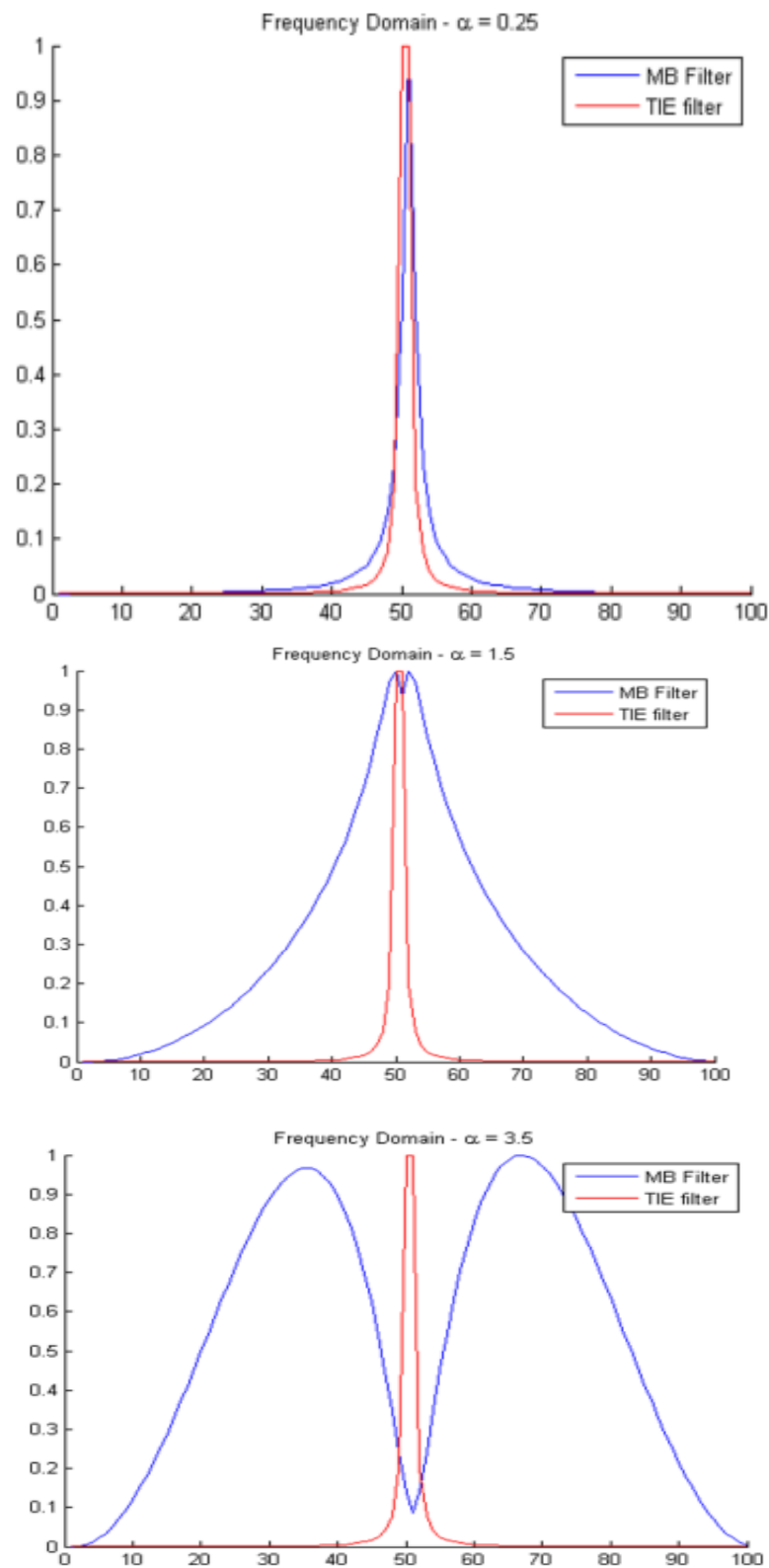


Рисунок 1.5 - Кольорові графіки частотної області профілю фільтра Меллора-Брейді (синій) для  $\alpha = 0,25, 1,5, 3,5$  порівняно з прив'язкою  $q^{-2}$  профілю фільтра (червоний)

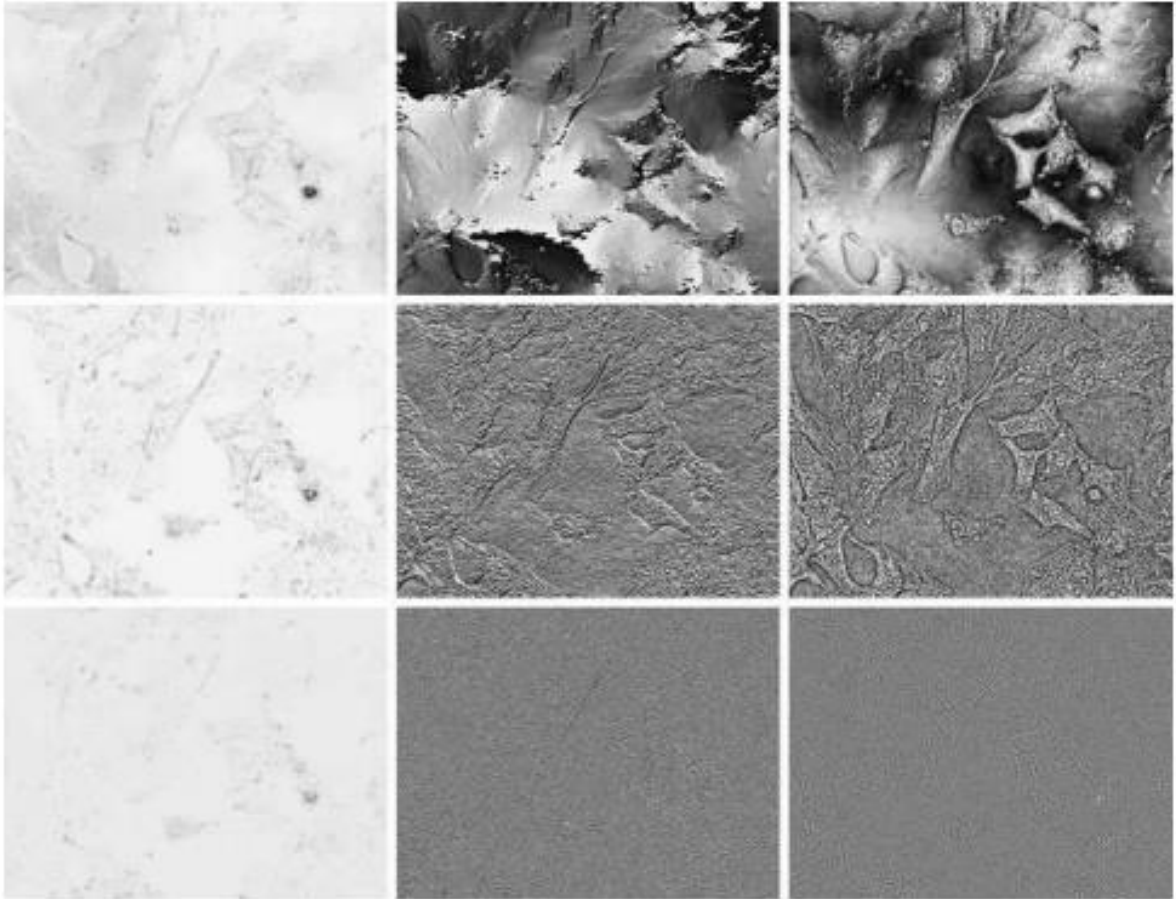


Рисунок 1.6 - Зображення локальної енергії, локальної орієнтації і локальної фази, обчислені з використанням похідного зображення на рисунку 1.4, з використанням фільтра Меллора-Брейді зі значеннями  $\alpha = 0,25$ ,  $\alpha = 1,5$  і  $\alpha = 3,5$ .

Стандартна область застосування Моногенного Сигнал використовує смуговий фільтр ( $\alpha = 3,5$ ) для виявлення об'єктів, однак наше додаток використовує  $\alpha = 0,25$ , що дає фільтр нижніх частот. Кожен стовпець відображається з використанням однієї і тієї ж колірної шкали (0-1 для локальної енергії, 0-2 $\pi$  для локальної орієнтації і локальної фази)

Фільтр низьких Частот Меллора-Брейді може забезпечити додаткова інформація

Інформація, отримана з моногенного сигналу в поєднанні з низькочастотним фільтром Меллора-Брейді, може полегшити розробку вдосконалених алгоритмів обробки зображень.

На малюнку 1.7 Показані зображення локальної фази нижніх частот і локальної орієнтації, отримані для даного зображення яскравого поля і його похідного зображення.

У цьому випадку локальне фазове зображення дозволяє застосовувати алгоритми визначення порогу або збільшення області для ідентифікації осередків. Зображення локальної орієнтації спрямовує алгоритми до елементів межі комірки і, таким чином, може виступати в якості рушійної сили, яка дозволяє алгоритму уникнути локальний мінімум. Вони були включені в систему автоматичної установки рівнів для сегментації кордонів осередків.

Коротко, використовується реалізація набору на рівні декількох регіонів, заснована на фреймворку Sethian.

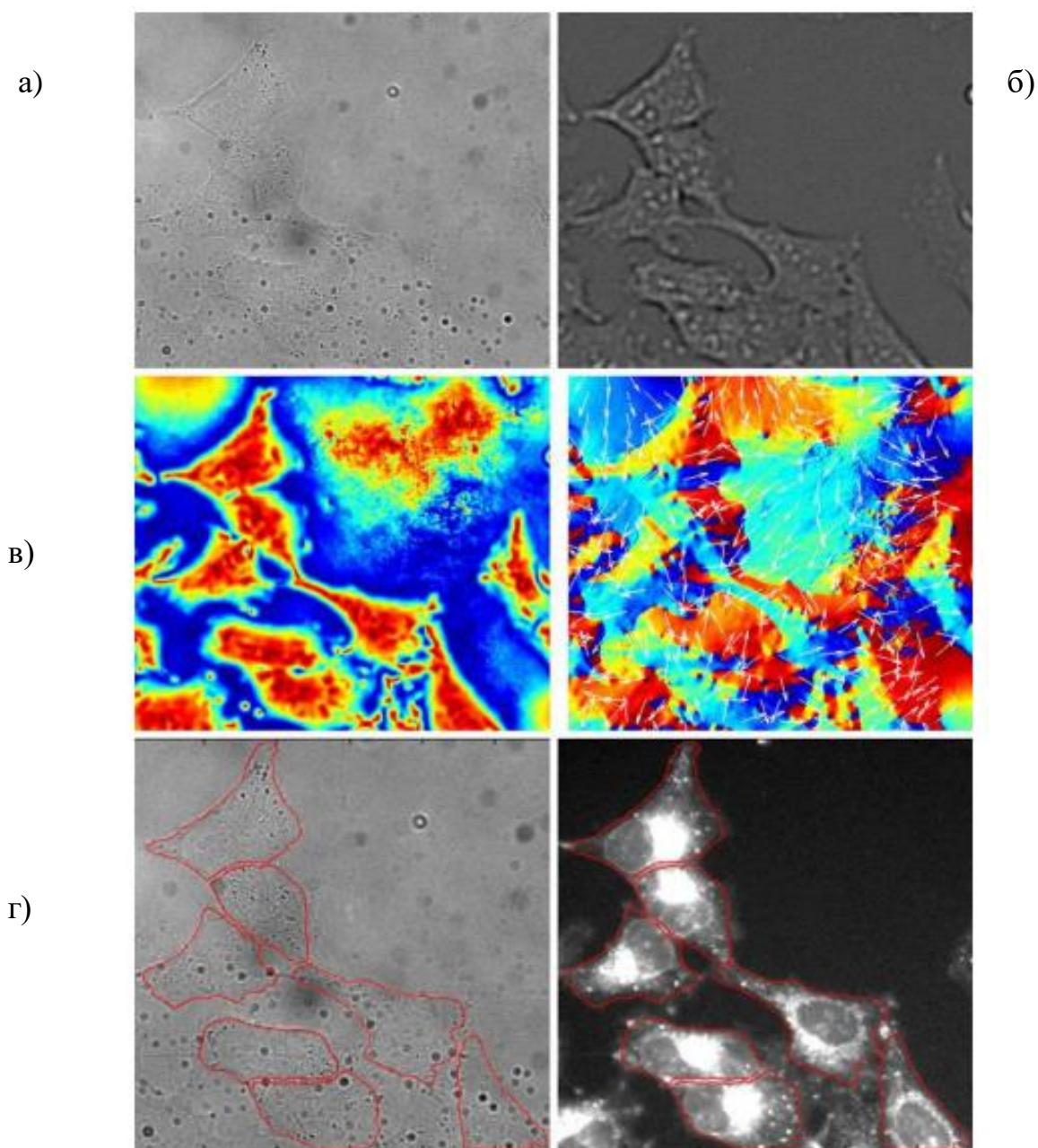


Рисунок 1.7 - а) зображення яскравого поля у фокус, б) похідне зображення, в) - локальна фазова карта з використанням фільтра нижніх частот, г) - локальна карта орієнтації з використанням фільтра нижніх частот (з накладенням стрілок напрямку)

Підписаний генерується функція відстані  $\phi$ , і рівень, встановлений нижче, вирішується до збіжності:

$$\frac{\delta\phi}{\delta t} + F|\nabla\phi| = 0, \quad (1.19)$$

де показник швидкості  $F$  задається через

$$F = F_{phasc} + F_{orientation} + F_{smooth} \quad (1.20)$$

Перші два члени в рівнянні використовують зображення локальної фази і локальної орієнтації, які були обчислені з використанням фільтра нижніх частот Меллора-Бреді ( $\alpha = 0,25$ ,  $\beta = 0,25$ ). Фаза - це член області, обчислений по зображенню локальної фази, в той час як  $F_{orientation}$  використовує зображення локальної орієнтації для управління еволюцією набору рівнів, порівнюючи його на кожній ітерації з напрямком  $\nabla(\phi = 0)$ :

$$F_{orientation} = \cos(\theta_{\nabla\phi} - \theta_{LO}), \quad (1.21)$$

де  $\theta_{\nabla\phi}$ -кут вектора нормалі  $\phi$ , а  $\theta_{LO}$  - локальний кут орієнтації у відповідному положенні пікселя. Третій член, гладкий, є стандартним регуляризуючим членом, що використовують кривизну  $\phi$ . Зразкові результати алгоритму сегментації Показані внизу рисунку 1.7. Алгоритм зміг правильно сегментувати 81,3% ( $\pm 3,2$ ) пікселів тіла осередку і зміг видати результати на 85% протестованих осередків. Для порівняння, набір рівнів Chan і Vese був застосовано до відновлених зображень з фазою прив'язки і зміг сегментувати тільки 62% осередків з точністю 76,1% ( $=2.1$ ), через що заважає впливу сильних низькочастотних полів, що спостерігаються на рисунку 1.3.

Таким чином, використання низькочастотних локальних фазових зображень робить алгоритм значно більш надійним і трохи більш точним, ніж алгоритм, заснований на прив'язці, через придушення низькочастотних шумових полів і поліпшення меж осередків. Зображення з локальною орієнтацією дають додаткову перевагу, дозволяючи набору рівнів швидше сходитися до оптимального рішення. Цей приклад ілюструє один із способів, за допомогою якого використання моногенних фільтрів низьких частот може забезпечити перевагу для конкретних застосувань.

## 2 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

### 2.1. MatLab

Було обрано MatLab як програмне забезпечення для реалізації ФНЧ. Чому саме MatLab? На сьогоднішній день є багато програмних продуктів для математичного моделювання ТС. Багато з них знайомі користувачам і є популярними, інші - з'явилися недавно. Є програми, які можуть бути використані для моделювання будь-яких технічних систем, є ж програми, що мають вузьку спеціалізацію у будь-якій предметній області. Можливості багатьох програм значною мірою ступені перекриваються один одним і підходи до вирішення однакових завдань у них приблизно однакові.

Подумаємо про класифікацію пакетів програм, які можуть використовуватися для моделювання технічних систем з точки зору сьогоdnішнього стану. Задля цього будемо спиратися на такі важливі показники:

- призначення і можливості ПП;
- склад їх бібліотек і додатків;
- принципи побудова моделей;
- методи інтегрування;
- засоби візуалізації результатів.

Тематичні ПП, такі як Mathematica, Maple, Mathcad, добре пристосовані до виконання розрахунків у дисциплінах природничого циклу, коли модель задається в аналітичній формі. В цих випадках програмування полягає у написанні порівняно невеликих по обсягом програм, що складаються в основному тільки з макрооператорів. Пакети компонентного моделювання практично повністю орієнтовані на чисельні експерименти. В даний час вони переважають у процесах проектування технічних об'єктів. За принципом

представлення початкової моделі серед пакетів КМ можна виділити наступні дві основні групи:

- пакети структурного моделювання;
- пакети фізичного моделювання.

Деякі автори у своїх публікаціях виділяють в якості третьої групи ПП, призначені для моделювання гібридних систем. Ці пакети дозволяють наочно описувати технічних об'єктів зі складною логікою перемикачів.

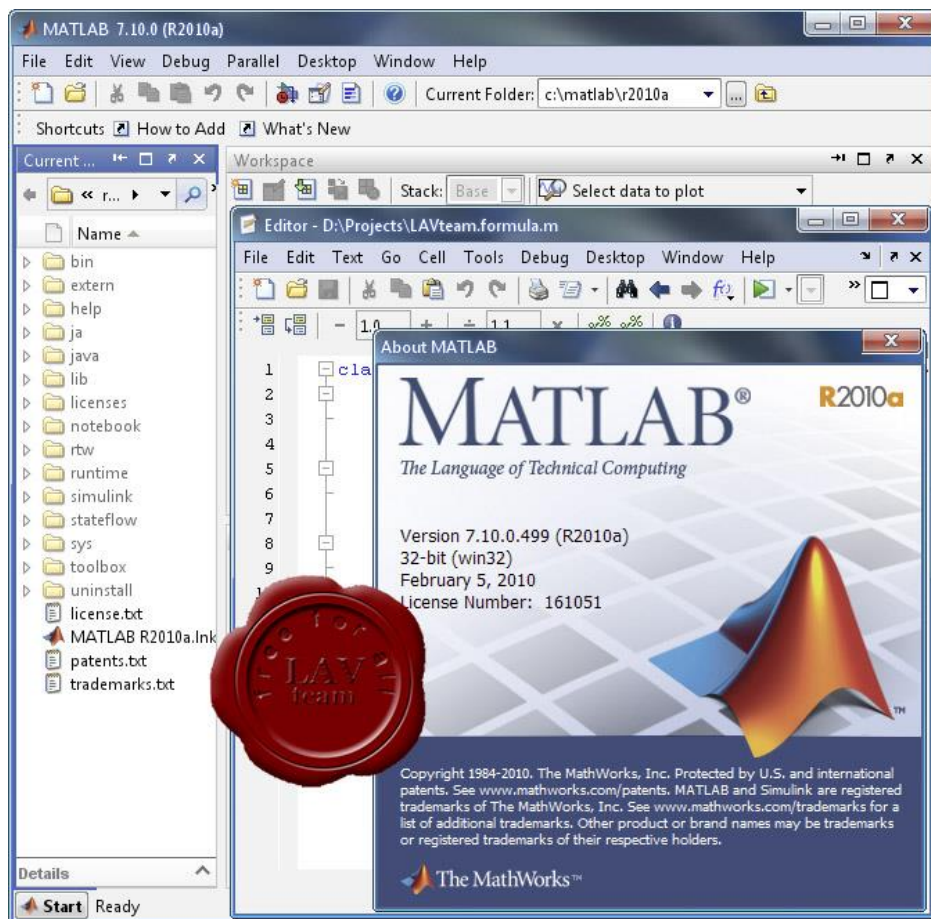


Рисунок 2.1 - MatLab

До числа універсальних пакетів програм, неорієнтованих на конкретні прикладні області моделювання технічних об'єктів, можна віднести пакет програм MatLab. Даний пакетів програм призначений для аналітичного і чисельного рішення різних математичних задач і дослідження динамічних

систем, включаючи і дискретні, і безперервні, і гібридні моделі. Головна його особливість-хороша опрацьованість і налагодженість всіх засобів і методів програмування. MatLab отримав найбільш поширене застосування в інженерній практиці на відміну від інших подібних програм.

## 2.2 Simulink

Simulink - це середовище блок-схем, яке використовується для проектування систем з багатодоменими моделями, моделювання перед переходом на апаратне забезпечення та розгортання без написання коду.

### 2.2.1 Simulink для проектування на основі моделей

Щоб перетворити розробку складних систем, провідні на ринку компанії впроваджують проектування на основі моделей, систематично використовуючи моделі протягом усього процесу:

- використовує віртуальну модель для раннього та частого моделювання та тестування вашої системи;
- підтвердити свій дизайн за допомогою фізичних моделей, апаратного тестування в циклі та швидкого прототипування;
- створення код якості виробництва на C, C++, CUDA, PLC, Verilog та VHDL та розгорніть безпосередньо у вбудованій системі;
- підтримування цифрового потоку з можливістю відстеження вимог, архітектури системи, дизайну компонентів, коду та тестів;
- поширення моделей на діючі системи для виконання прогностичного технічного обслуговування та аналізу несправностей.

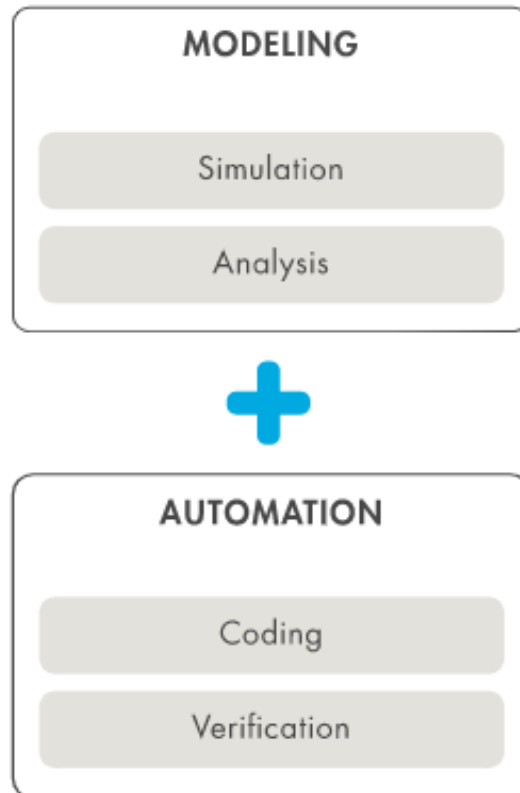


Рисунок 2.2 - Схема підходу проектування на основі моделей

### 2.2.2 Simulink для симуляцій

Дослідження широкого простору проектування та тестування систем на ранній стадії за допомогою багатодоменого моделювання:

- швидка оцінка декількох дизайнерських ідей в одному багатодоменому середовищі моделювання;
- моделювання масштабних моделей систем за допомогою повторно використуваних компонентів та бібліотек, включаючи спеціалізовані інструменти моделювання сторонніх виробників;
- розгортання імітаційних моделей для тестування на робочому столі, в режимі реального часу і апаратного забезпечення в циклі;
- запускання масштабних симуляцій на багатоядерних робочих столах, кластерах і хмарі.

### 2.2.3 Simulink для розробки систем на основі моделей

Системна інженерія на основі моделей (MBSE) - це застосування моделей для підтримки повного життєвого циклу системи. Simulink інтегрує розробку від вимог та архітектури системи до детального проектування компонентів, впровадження та тестування.

Цей підхід дозволяє:

- фіксувати та декомпонувати вимоги;
- визначити та розробити специфікації для компонентів, композицій та архітектур;
- створювати єдине джерело для архітектури та інтерфейсів на рівні компонентів;
- виконання аналізу та дослідження торгівлі за допомогою MATLAB;
- перевірити вимоги та системні архітектури за допомогою тестів на основі моделювання.

### 2.2.4 Simulink для гнучкої розробки програмного забезпечення

Гнучка Розробка програмного забезпечення допомагає командам швидше надавати цінність своїм клієнтам, використовуючи короткі цикли ітерацій з акцентом на безперервну інтеграцію та співпрацю в команді. Моделювання, автоматичне тестування та генерація коду скорочують цикл розробки, дозволяючи вам стати успішною гнучкою командою.

Simulink дає змогу:

- розробляти та запускати імітаційні тести на сервері автоматизації, щоб постійно перевіряти нові ітерації дизайну;
- виконати додатковий аналіз і тестування на робочому столі, перш ніж переходити до апаратного забезпечення;
- забезпечити робоче програмне забезпечення за допомогою симуляцій, які клієнти можуть оцінити;

- швидко реагуйте на зміни вимог за допомогою оновлень моделей та моделювання;
- зробити прогрес видимим для ключових зацікавлених сторін за допомогою автоматизованих звітів та інформаційних панелей.

### 2.3. Matlab та Simulink

Використання MATLAB та Simulink разом, дає змогу об'єднати можливості текстового та графічного програмування в одному середовищі.

Застосування цих двох технологій разом дає:

- оптимізацію параметрів;
- створення нових блоків;
- написання тестів та сценаріїв автоматизації;
- виконання тисяч симуляцій паралельно;
- аналіз результатів моделювання.

### 3. РЕАЛІЗАЦІЯ ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ

#### 3.1 Графічне відображення зміни сигналів при використанні ФНЧ

Для створення графічного вигляду моделі ФНЧ використовувалась додаткова функція MATLAB - Simulink.

До моделі було добавлено генератор синусоїдальної хвилі, цифровий ФНЧ та оптичний прилад:

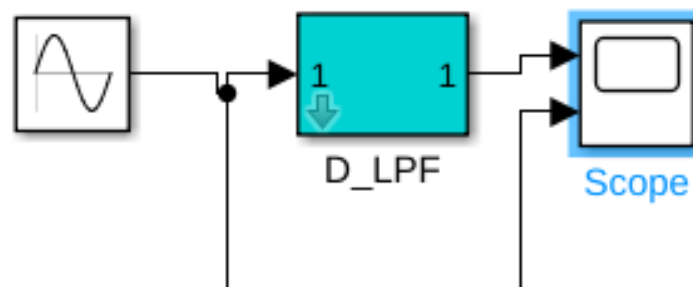


Рисунок 3.1 - Схема для відображення зміни сигналів при використанні ФНЧ

Для генератора синусоїдальної хвилі було добавлено такі параметри:

- тип синусоїдальної хвилі (Sine type): стандартний;
- час (Time [t]): стандартний час симуляції;
- нахил (Bias): 0;
- частота (Frequency [rad/sec]):  $20 \cdot (2 \cdot \pi)$ ;
- фаза (Phase [rad]): 0;
- час вибірки (Sample time): 0.

Також було увімкнено інтерпретування вектору параметрів як 1-D.  
Для ФНЧ було додано наступну конфігурацію:

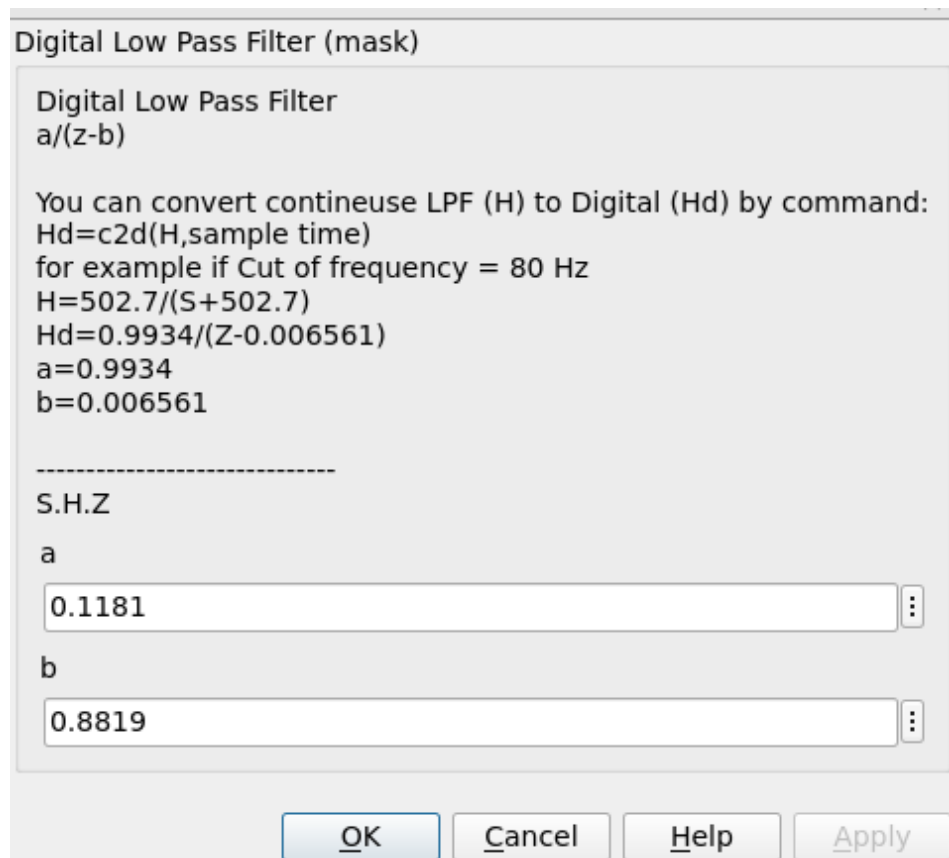


Рисунок 3.2 - Конфігурація ФНЧ

На рисунку 3.3 можна побачити зміну синусоїдальної хвилі при використанні ФНЧ. На рисунку 3.3 жовта синусоїдальна хвиля - це покаткова хвиля, синя - результат роботи ФНЧ:

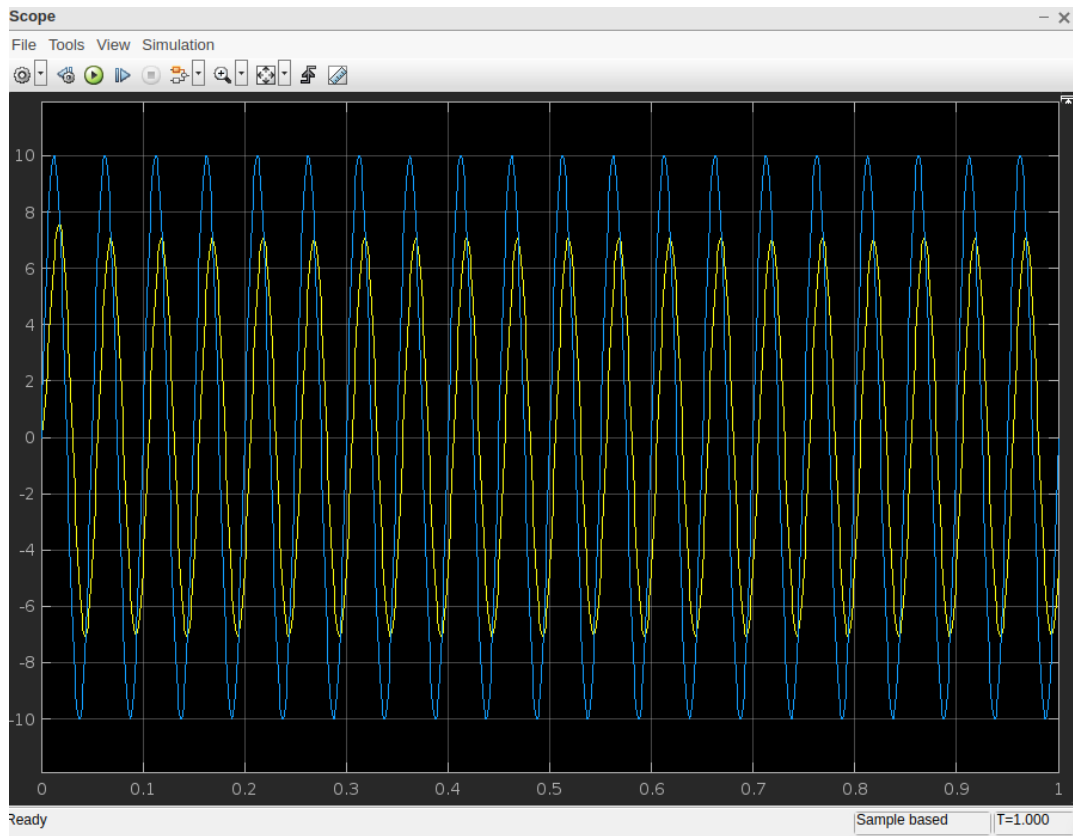


Рисунок 3.3 - Результат роботи ФНЧ на прикладі синусоїдальної хвилі

## 4. РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМНОЇ ЧАСТИНИ

### 4.1. Основний функціонал програмного забезпечення

#### 4.1.1. Основні змінні та зачистка даних

У першій частині (лістинг 3.1) виконується очистка командного вікна.

Після цього закриваються всі фігури (окрім фігури `imtool`). Після цього вже закриваються конкретно фігури `imtool`. Далі видаляються всі існуючі змінні та переконуємося, що на панелі робочої області відображається.

#### Лістинг 4.1

```
clc;  
close all;  
imtool close all;  
clear;  
workspace;  
format longg;  
format compact;  
fontSize = 20;
```

#### 4.1.2. Запобіжні етапи

Була реалізовано переконання, що у користувача встановлений інструментарій обробки зображень (лістинг 4.2).

#### Лістинг 4.2.

```
hasIPT = license('test', 'image_toolbox');  
if ~hasIPT  
message = sprintf('Sorry, but you do not seem to have the Image  
Processing Toolbox.\nDo you want to try to continue anyway?');  
reply = questdlg(message, 'Toolbox missing', 'Yes', 'No',  
'Yes');
```

```

if strcmpi(reply, 'No')
    return;
end
end.

```

### 4.1.3. Робота з зображенням та обробка зображення

У лістингу 4.3 йде реалізування зчитування в стандартному демонстраційному зображенні в сірій шкалі MATLAB. Також реалізован пошук картинки у структурі файлів та проложення шляху до неї. Також добавлено виведення оригінальної картинки у сірому спектрі.

#### Лістинг 4.3

```

folder = fullfile(matlabroot, '\toolbox\images\imdemos');
baseFileName = 'будь-яка картинка';
fullFileName = fullfile(folder, baseFileName);
if ~exist(fullFileName, 'file')
fullFileName = baseFileName;
if ~exist(fullFileName, 'file')
    errorMessage = sprintf('Error: %s does not exist in the
search path folders.', fullFileName);
    uiwait(warndlg(errorMessage));
    return;
end
end
subplot(2, 2, 1);
imshow(grayImage)
title('Original Gray Scale Image', 'FontSize', fontSize).

```

Далі йде зчитування картинки та відображення вихідного зображення у відтінках сірого (лістинг 4.4).

#### Лістинг 4.4

```

grayImage = imread('будь-яка картинка');
[rows columns numberOfColorChannels] = size(grayImage)
if numberOfColorChannels > 1
grayImage = rgb2gray(grayImage);
end.

```

У лістингу 4.5 було реалізовано 2D швидке перетворення Фур'є та відображення реального та уявного спектру.

#### Лістинг 4.5

```
fftOriginal = fft2(double(grayImage));
shiftedFFT = fftshift(fftOriginal);
subplot(2, 2, 2);
scaledFFTr = 255 * mat2gray(real(shiftedFFT));
imshow(log(scaledFFTr), []);
title('Real Part of Spectrum', 'FontSize', fontSize)
subplot(2, 2, 3);
scaledFFTi = mat2gray(imag(shiftedFFT));
imshow(log(scaledFFTi), []);
title('Imaginary Part of Spectrum', 'FontSize', fontSize).
```

Далі було реалізовано відображення величини(магнітуди) спектра та фази 2D швидкого перетворення Фур'є. Реалізація у лістингу 3.6. А також виведення на екран

#### Лістинг 4.6

```
subplot(2, 2, 4);
imshow(log(abs(shiftedFFT)), []);
colormap gray
title('Magnitude of Spectrum', 'FontSize', fontSize)
set(gcf, 'units', 'normalized', 'outerposition', [0 0 1 1]);
```

Далі для нормального виведення було виконана наступна реалізація у лістингу 4.7

#### Лістинг 4.7

```
figure;
rectWidth = 10;
rectHeight = 5;
kernel = ones(rectHeight, rectWidth) / (rectHeight * rectWidth);
```

```
subplot(2, 2, 1);
k = padarray(kernel, [3, 3]);
imshow(k, []);
axis on;
title('Kernel', 'FontSize', fontSize)
set(gcf, 'units', 'normalized', 'outerposition', [0 0 1 1]);
```

Далі було реалізовано виконання 2D швидкого перетворення Фур'є на відфільтрованому зображенні, щоб побачити його спектр. Він повинен виглядати як оригінал, але за накладеним на нього ефектом. Також додалене відображення величини 2D швидкого перетворення Фур'є відфільтрованого зображення (лістинг 4.8).

#### Лістинг 4.8

```
fftFiltered = fft2(double(filteredImage));
shiftedFFT = fftshift(fftFiltered);
subplot(2, 2, 3);
imshow(log(abs(shiftedFFT)), []);
colormap gray
title('Log Magnitude of Spectrum - Note sinc multiplication',
'FontSize', fontSize).
```

Та наприкінці було реалізовано виведення згортання ядка (фільтра коробки) з зображенням та виведення фінального зображення з ефектом розмиття у лістингу 4.9

#### Лістинг 4.9

```
filteredImage = conv2(double(grayImage), kernel, 'same');
subplot(2, 2, 2);
imshow(filteredImage, []);
title('Filtered Image', 'FontSize', fontSize)
```

#### 4.1.4. Результати програмного забезпечення

В ході виконання тестування програмного забезпечення була використана наступна тестові картинки (Безкольорова та кольорова картини)

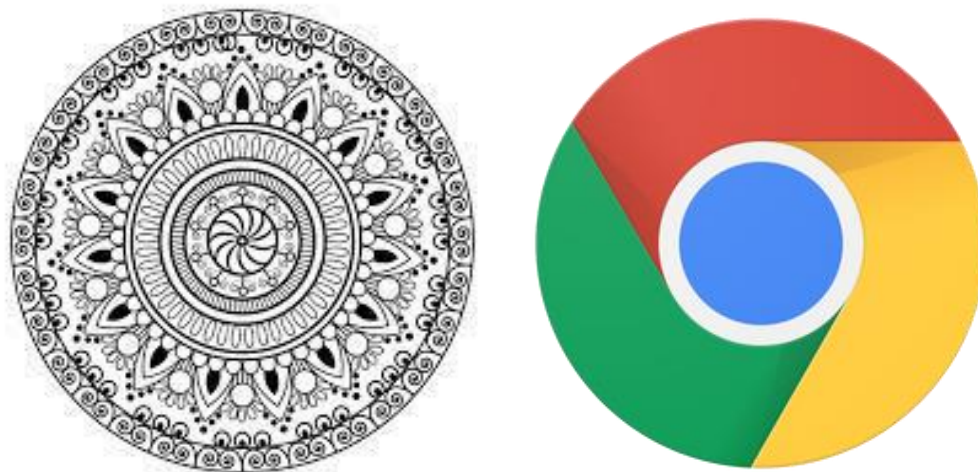


Рисунок 4.1 - Текстові картини для програмного забезпечення

Для цих картинок було виконане накладення ефекту розмиття через цифровий фільтр низьких частот:

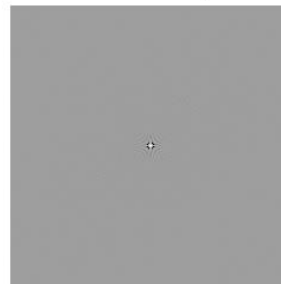
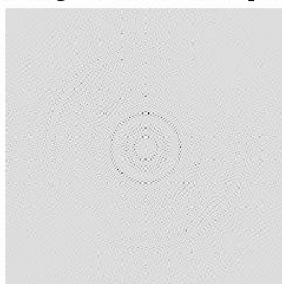
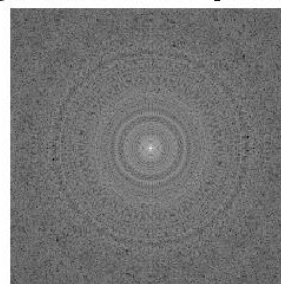
**Original Gray Scale Image****Real Part of Spectrum****Imaginary Part of Spectrum****Magnitude of Spectrum**

Рисунок 4.2 - Результати виконання накладання ефекту на безколірну картинку

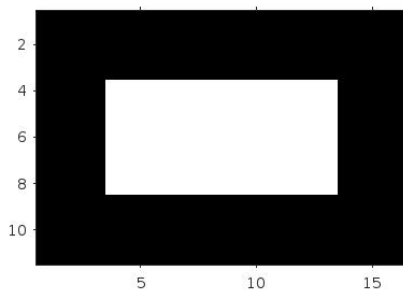
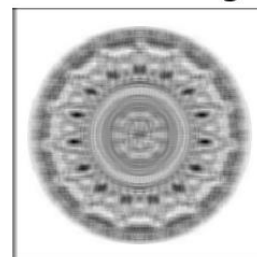
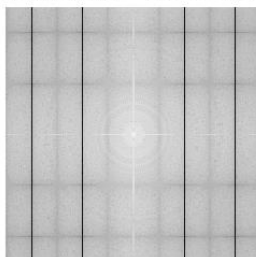
**Kernel****Filtered Image****Magnitude of Spectrum - Note sinc multiplication**

Рисунок 4.3 - Результати виконання накладення ефекту на безколіркову картинку

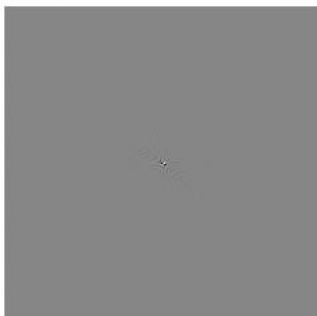
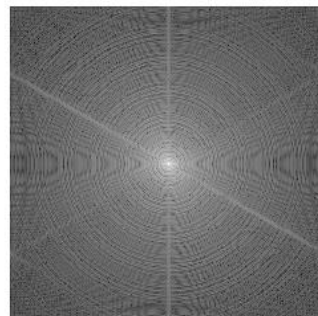
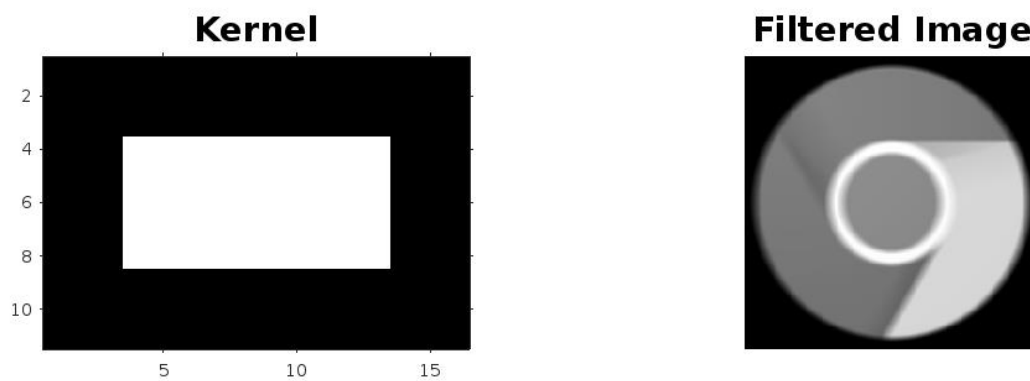
**Original Gray Scale Image****Real Part of Spectrum****Imaginary Part of Spectrum****Magnitude of Spectrum**

Рисунок 4.4 - Результати виконання накладення ефекту на кольорову картинку



### Magnitude of Spectrum - Note sinc multiplication

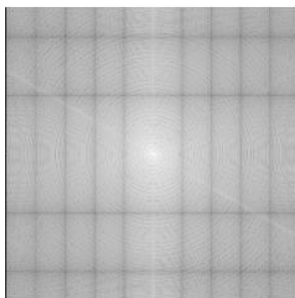


Рисунок 4.5 - Результати виконання накладення ефекту на кольорову картинку

Як можна побачити реалізація ФНЧ працює успішно. На всі тестові картинки було накладено ефект розмиття.

## ВИСНОВКИ

В ході виконання кваліфікаційної роботи були розглянута область роботи та приведені теоретичні дані задля створення фільтра низьких частот.

Описується, як використання фільтрів нижніх частот з моногенною структурою сигналів може забезпечити новий спосіб вирішення проблем, що вимагають чисельного рішення зворотного лапласиана. Використання фільтрів нижніх частот з моногенним сигналом є незвичайним, оскільки попередні роботи в цій області ґрунтувалися майже виключно на використанні смугових фільтрів. В випадках, коли існує ненульова складова постійного струму, наприклад, з фільтром Габора, часто робляться кроки для виправлення цього.

Однак у нашому випадку використання настроюваного фільтра низьких частот дає результати, які полегшують вирішення проблеми при обробці зображення. Це демонструє потенційну корисність нестандартних фільтрів при використанні для оцінки метрик локальних об'єктів з використанням моногенного сигналу.

Аналізуючи сучасні технічні системи з точки зору особливостей їх моделювання, можна відзначити наступне:

- більшість технічних систем призначені для реалізації заданого руху, і основу будь-яких технічних систем становить деякий виконавчий механізм;
- необхідною частиною технічних систем є привід-електромеханічний, гідравлічний або якийсь інший;
- важливим компонентом сучасної технічної системи є керуючий пристрій, завдання якого – забезпечення складних координованих рухів механічної частини.

Виходячи з вищевикладеного і проведеного аналізу пакетів ММ, можна зробити висновок, що середовище MatLab, дозволяють отримати потужний

інструмент дослідження складних технічних системи. Також широке поширення MatLab отримав в наукових дослідженнях та освіті.

Був реалізований фільтр низьких частот у середовищі MatLab та виконані тести цієї реалізації (рисунки 3.2 - 3.5).

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Алі Р., Гудінг М., Крістліб М., Брейді М.: Автоматична сегментація кордонів і ядер адгезивних біологічних клітин за зображеннями за допомогою мікроскопії яскравого поля, машинне зір і додатки, квітень 2011 р., онлайн-публікація: <http://www.springerlink.com/content/6158882w07024402/>
2. Барберо С., Тібос Л.: аналіз помилок і корекція при реконструкції хвильового фронту за рівнянням переносу інтенсивності, 45, 1–6 (2006)
3. Барон-Ньюджент, Е., Барті, а., Ньюджент, К.: кількісна фазова мікроскопія I. оптична мікроскопія. J. Microsc. 206, 194-203 (2002)
4. Беллегія, М., Шофілд, М., Волков, В., Чжу, З.: про техніку перенесення інтенсивності для відновлення фази. Ультрамiкроскопія 102(1), 37-49 (2004)
5. Букерруї Д., Нобл А., Брейді М.: Про вибір смугових квадратурних фільтрів // J. Math. Візуалізація Vis. 21, 53-80 (2004)
6. Прамод К. : Дизайн та розробка мікросмужкових фільтрів низьких частот. 52, 12-34 (2020)
7. Тризон С.Х.: Потенційно небезпечні наслідки для біорізноманіття впровадження та припинення сонячної геоінженерії 2(3), 475-482 (2018).  
<https://doi.org/10.1038/s41559-017-0431-0>
8. Проакіс Г, Манолікас Д.: Цифрова обробка сигналів (2004)
9. Кіресші Р.: Гіперспектральна обробка зображень документів: застосування проблеми та майбутні перспективи. 90, 12-22 (2019)
10. Анавар М. Р.: Туманні обчислення: огляд аналітики великих даних ІоТ.