



Алгоритми та  
програмне  
забезпечення  
для усунення  
шуму на  
зображеннях

Ольга Павлюк

керівник: к.т.н.,  
ст. викл.  
Роман  
Кутельмах

Задача  
усунення шуму  
на зображеннях

Завдання  
магістерського  
дослідження

Розроблений  
алгоритм

Використані  
технології

Дослідження  
розробленого

# Алгоритми та програмне забезпечення для усунення шуму на зображеннях

Ольга Павлюк

керівник: к.т.н., ст. викл. Роман Кутельмах

Національний університет "Львівська політехніка", кафедра ПЗ

15 грудня 2015 р.



# Зміст

Алгоритми та  
програмне  
забезпечення  
для усунення  
шуму на  
зображеннях

Ольга Павлюк

керівник: к.т.н.,  
ст. викл.  
Роман  
Кутельмах

Задача  
усунення шуму  
на зображеннях

Завдання  
магістерського  
дослідження

Розроблений  
алгоритм

Використані  
технології

Дослідження  
розвробленого

- 1 Задача усунення шуму на зображеннях**
- 2 Завдання магістерського дослідження**
- 3 Розроблений алгоритм**
- 4 Використані технології**
- 5 Дослідження розробленого алгоритму**
- 6 Результати**
- 7 Висновки**



# Задача усунення шуму на зображеннях

Алгоритми та  
програмне  
забезпечення  
для усунення  
шуму на  
зображеннях

Ольга Павлюк

керівник: к.т.н.,  
ст. викл.  
Роман  
Кутельмах

Задача  
усунення шуму  
на зображеннях

Завдання  
магістерського  
дослідження

Розроблений  
алгоритм

Використані  
технології

Дослідження  
розробленого

## Шум

випадкові, відсутні на реальному зображенні  
відхилення інтенсивності





# Задача усунення шуму на зображеннях

Алгоритми та  
програмне  
забезпечення  
для усунення  
шуму на  
зображеннях

Ольга Павлюк

керівник: к.т.н.,  
ст. викл.  
Роман  
Кутельмах

Задача  
усунення шуму  
на зображеннях

Завдання  
магістерського  
дослідження

Розроблений  
алгоритм

Використані  
технології

Дослідження  
розробленого

- поширина проблема для цифрових зображень у багатьох галузях
- виникає при недостатньому освітленні та високій ISO камери

## Формальний опис

$v(i) = u(i) + n(i)$ , де  $i$  - піксель зображення

$v(i)$  - спостережене значення,  $u(i)$  - справжнє значення

$n(i)$  - значення шуму



# Параметри оцінки алгоритмів усунення шуму

Алгоритми та  
програмне  
забезпечення  
для усунення  
шуму на  
зображеннях

Ольга Павлюк  
керівник: к.т.н.,  
ст. викл.  
Роман  
Кутельмах

Задача  
усунення шуму  
на зображеннях

Завдання  
магістерського  
дослідження

Розроблений  
алгоритм

Використані  
технології

Дослідження  
розробленого

1 автоматичні: Peak Signal-to-Noise Ratio

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [f(m,n) - f'(m,n)]^2$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE}$$

2 візуальна оцінка: вирішальний критерій вибору  
алгоритму



# Існуючі методи усунення шуму

Алгоритми та  
програмне  
забезпечення  
для усунення  
шуму на  
зображеннях

Ольга Павлюк

керівник: к.т.н.,  
ст. викл.  
Роман  
Кутельмах

Задача  
усунення шуму  
на зображеннях

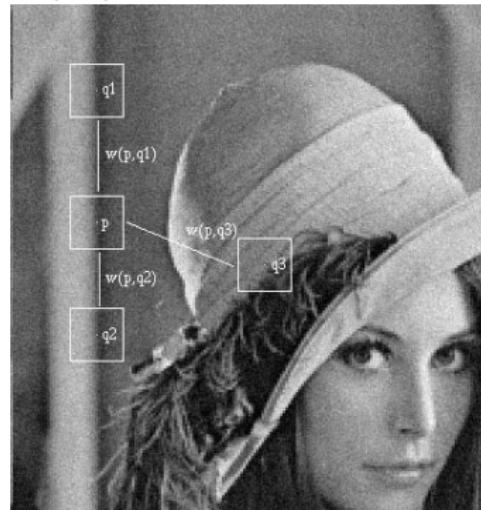
Завдання  
магістерського  
дослідження

Розроблений  
алгоритм

Використані  
технології

Дослідження  
розробленого

## алгоритми з патчами $O(n^2)$



## алгоритми з вейвлетами $O(n * \log n)$





# Існуючі методи усунення шуму

Алгоритми та  
програмне  
забезпечення  
для усунення  
шуму на  
зображеннях

Ольга Павлюк  
керівник: к.т.н.,  
ст. викл.  
Роман  
Кутельмах

Задача  
усунення шуму  
на зображеннях

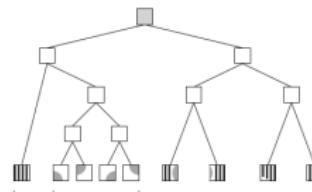
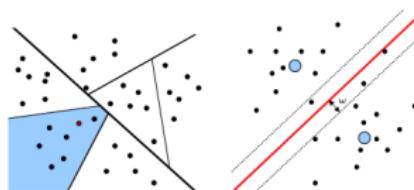
Завдання  
магістерського  
дослідження

Розроблений  
алгоритм

Використані  
технології

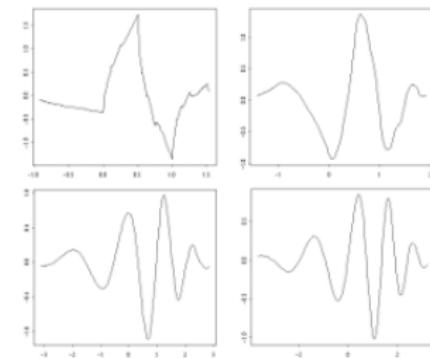
Дослідження  
розробленого

## алгоритми з патчами



дерево кластерів: нижча  
складність, нижча якість

## алгоритми з вейвлетами



базові функції вейвлета:  
різна роздільна здатність



# Вейвлет-алгоритми

Алгоритми та  
програмне  
забезпечення  
для усунення  
шуму на  
зображеннях

Ольга Павлюк  
керівник: к.т.н.,  
ст. викл.  
Роман  
Кутельмах

Задача  
усунення шуму  
на зображеннях

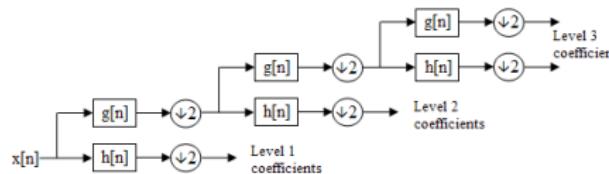
Завдання  
магістерського  
дослідження

Розроблений  
алгоритм

Використані  
технології

Дослідження  
розв'язленого

- 1 виконується рекурсивна декомпозиція сигналу до заданого рівня



- 2 коефіцієнти аналізуються "знизу вверх"
- 3 застосовується порогове відсікання:

$$w(x) = \begin{cases} w(x), & \text{if } |w(x)| \geq \text{threshold} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

- 4 до отриманих коефіцієнтів застосовується зворотнє перетворення



# Завдання магістерського дослідження

Алгоритми та  
програмне  
забезпечення  
для усунення  
шуму на  
зображеннях

Ольга Павлюк

керівник: к.т.н.,  
ст. викл.  
Роман  
Кутельмах

Задача  
усунення шуму  
на зображеннях

Завдання  
магістерського  
дослідження

Розроблений  
алгоритм

Використані  
технології

Дослідження  
розробленого

## Об'єкт

процес усунення шуму на зображеннях

## Предмет

методи, алгоритми та програмне забезпечення для  
усунення шуму на зображеннях

## Мета

розроблення алгоритмів та програмного забезпечення  
для усунення шуму на зображеннях



# Розроблений алгоритм

Алгоритми та  
програмне  
забезпечення  
для усунення  
шуму на  
зображеннях

Ольга Павлюк

керівник: к.т.н.,  
ст. викл.  
Роман  
Кутельмах

Задача  
усунення шуму  
на зображеннях

Завдання  
магістерського  
дослідження

Розроблений  
алгоритм

Використані  
технології

Дослідження  
розробленого

- є модифікацією Ridgelet-перетворення
- розроблений для роботи на GPU (GLSL)



# Ridgelet-перетворення

Алгоритми та  
програмне  
забезпечення  
для усунення  
шуму на  
зображеннях

Ольга Павлюк

керівник: к.т.н.,  
ст. викл.  
Роман  
Кутельмах

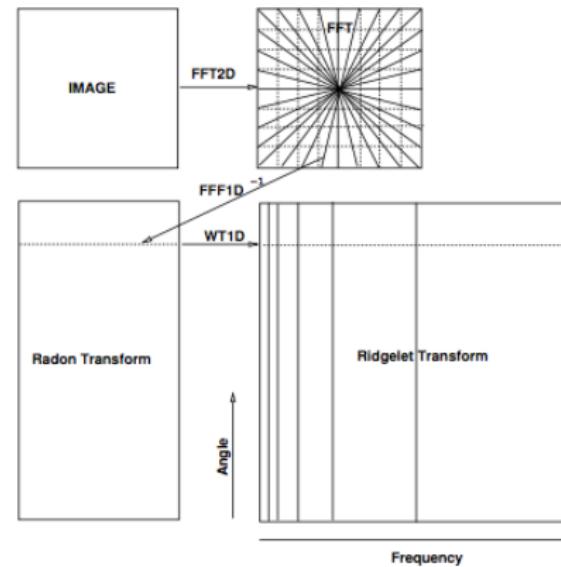
Задача  
усунення шуму  
на зображеннях

Завдання  
магістерського  
дослідження

Розроблений  
алгоритм

Використані  
технології

Дослідження  
розробленого



Це вейвлет-перетворення, застосоване до ліній у  
просторі Радона



# Перетворення Фур'є

Алгоритми та  
програмне  
забезпечення  
для усунення  
шуму на  
зображеннях

Ольга Павлюк

керівник: к.т.н.,  
ст. викл.  
Роман  
Кутельмах

Задача  
усунення шуму  
на зображеннях

Завдання  
магістерського  
дослідження

Розроблений  
алгоритм

Використані  
технології

Дослідження  
розвробленого

- базовий метод для всіх алгоритмів, що працюють з частотами
- сигнал можна представити у вигляді суми синусоїд з різними амплітудами та зсувом
- операція згортки сигналу з фільтром довільної довжини виконується за лінійний час

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \cdot \left( \cos\left(-2\pi k \frac{n}{N}\right) + j \sin\left(-2\pi k \frac{n}{N}\right) \right), \quad n \in \mathbb{Z}$$



# Перетворення Радона (Radon Transform)

Алгоритми та  
програмне  
забезпечення  
для усунення  
шуму на  
зображеннях

Ольга Павлюк

керівник: к.т.н.,  
ст. викл.  
Роман  
Кутельмах

Задача  
усунення шуму  
на зображеннях

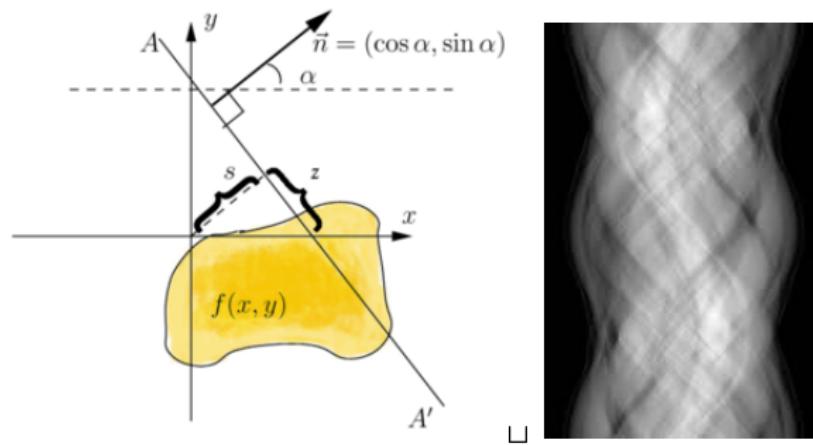
Завдання  
магістерського  
дослідження

Розроблений  
алгоритм

Використані  
технології

Дослідження  
розробленого

це інтегральне перетворення, яке для кожної прямої  
на зображені ставить їй у відповідність суму пікселів  
зображення на цій прямій





# Візуалізація перетворення Радона

Алгоритми та  
програмне  
забезпечення  
для усунення  
шуму на  
зображеннях

Ольга Павлюк  
керівник: к.т.н.,  
ст. викл.  
Роман  
Кутельмах

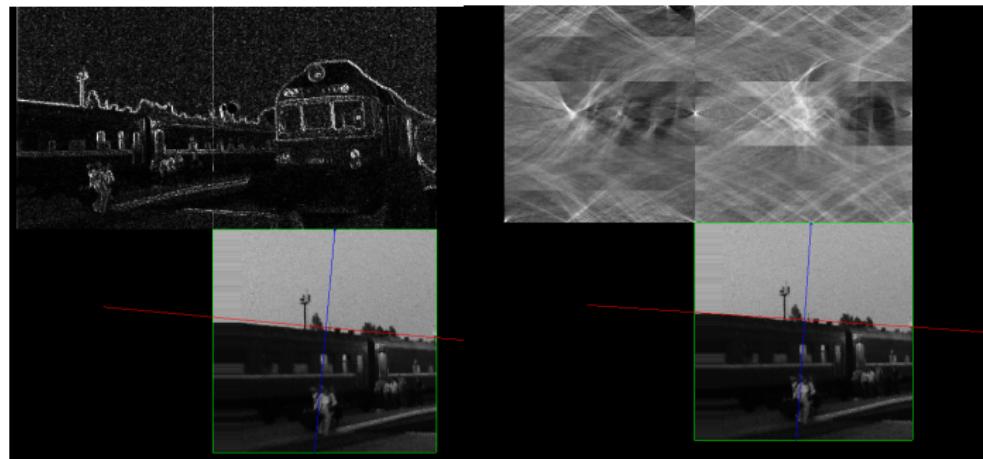
Задача  
усунення шуму  
на зображеннях

Завдання  
магістерського  
дослідження

Розроблений  
алгоритм

Використані  
технології

Дослідження  
розробленого





# Projection-Slice Theorem

Алгоритми та  
програмне  
забезпечення  
для усунення  
шуму на  
зображеннях

Ольга Павлюк

керівник: к.т.н.,  
ст. викл.  
Роман  
Кутельмах

Задача  
усунення шуму  
на зображеннях

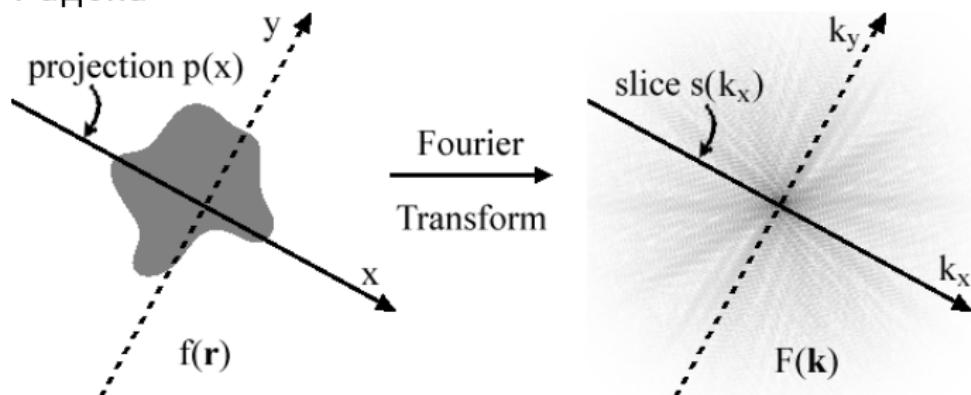
Завдання  
магістерського  
дослідження

Розроблений  
алгоритм

Використані  
технології

Дослідження  
розробленого

Зв'язок між перетворенням Фур'є та перетворенням  
Радона





# Ректополярна решітка

Алгоритми та  
програмне  
забезпечення  
для усунення  
шуму на  
зображеннях

Ольга Павлюк  
керівник: к.т.н.,  
ст. викл.  
Роман  
Кутельмах

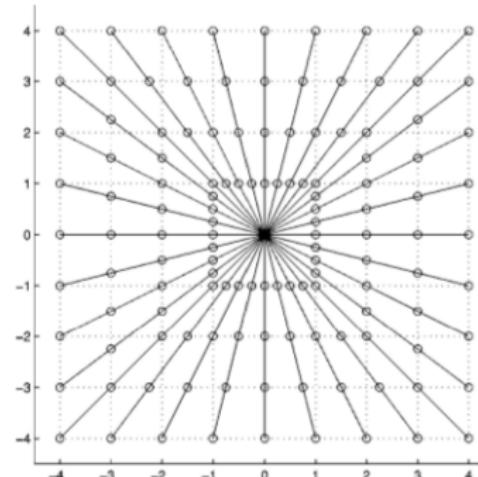
Задача  
усунення шуму  
на зображеннях

Завдання  
магістерського  
дослідження

Розроблений  
алгоритм

Використані  
технології

Дослідження  
розробленого



Розглядаються  $2n$  прямих, які проходять через центр  
зображення FFT

Використовується інтерполяція методом найближчого  
сусіда



# Зворотнє перетворення Радона

Алгоритми та  
програмне  
забезпечення  
для усунення  
шуму на  
зображеннях

Ольга Павлюк

керівник: к.т.н.,  
ст. викл.  
Роман  
Кутельмак

Задача  
усунення шуму  
на зображеннях

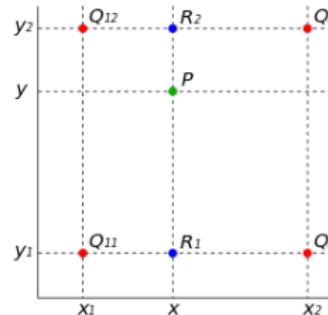
Завдання  
магістерського  
дослідження

Розроблений  
алгоритм

Використані  
технології

Дослідження  
розвробленого

Використовується білінійна інтерполяція



$$P = ax + by + cxy + d$$

$$ax_1 + by_1 + cx_1y_1 + d = Q_{11}$$

$$ax_1 + by_2 + cx_1y_2 + d = Q_{21}$$

$$ax_2 + by_1 + cx_1y_1 + d = Q_{12}$$

$$ax_2 + by_2 + cx_2y_2 + d = Q_{22}$$



# Усунення шуму в просторі Радона

Алгоритми та  
програмне  
забезпечення  
для усунення  
шуму на  
зображеннях

Ольга Павлюк

керівник: к.т.н.,  
ст. викл.  
Роман  
Кутельмах

Задача  
усунення шуму  
на зображеннях

Завдання  
магістерського  
дослідження

Розроблений  
алгоритм

Використані  
технології

Дослідження  
розробленого

Застосовано вейвлет Добеші  $D_4 = [0.482962, 0.836516, 0.224143, -0.129409]$ , висока та низька частота обчислюються за формулами:

$$v_{high} = y[2v] * D_4[0] + y[2v + 1] * D_4[1] + y[2v + 2] * D_4[2] + y[2v + 3] * D_4[3]$$

$$v_{low} = y[2v] * D_4[3] - y[2v + 1] * D_4[2] + y[2v + 2] * D_4[1] - y[2v + 3] * D_4[0]$$



# Використані технології: C++ та OpenGL

Алгоритми та  
програмне  
забезпечення  
для усунення  
шуму на  
зображеннях

Ольга Павлюк  
керівник: к.т.н.,  
ст. викл.  
Роман  
Кутельмах

Задача  
усунення шуму  
на зображеннях

Завдання  
магістерського  
дослідження

Розроблений  
алгоритм

Використані  
технології

Дослідження  
розробленого

## Переваги:

- 1 C++: швидкість обчислень + гнучка архітектура
- 2 GLSL: обчислення на GPU в десятки разів  
швидше

## Недоліки:

- 1 GLSL: труднощі при відлагодженні програм

## Приклад коду шейдера:

```
26     float sum = cpx.x * sign_sum, dif = cpx.y * sign_dif;
27     float re = (sum + dif)/2.0;
28     float im = sum - re;
29     return vec2(re, im);
30 }
31
32 void main()
33 {
34     float x = v_tex_coord.x, y = v_tex_coord.y;
35     vec2 div_mod_256 = floor(texture2D(s_texture2, vec2(x, 0)).xy * 255.5);
36     x = ((div_mod_256.y*256.0 + div_mod_256.x) + 0.5)/tex_width;
37
38     vec4 color = texture2D(s_texture, decode(encode(vec2(x, y))));
39
40     gl_FragColor = color;
41 }
```



# Порівняння з NLM(час роботи)

Алгоритми та  
програмне  
забезпечення  
для усунення  
шуму на  
зображеннях

Ольга Павлюк

керівник: к.т.н.,  
ст. викл.  
Роман  
Кутельмах

Задача  
усунення шуму  
на зображеннях

Завдання  
магістерського  
дослідження

Розроблений  
алгоритм

Використані  
технології

Дослідження  
розвробленого

- NLM працює довго на зображеннях розміру > 1МП
- розроблений алгоритм працює в режимі реального часу

	0.1МП	0.5МП	1МП	5 МП	10МП	20 МП
NLM	23,712 с	32,307 с	—	—	—	—
Розроблений алгоритм	0,220 с	0,435 с	0,671 с	3,271 с	7,346 с	23,902 с



# Швидкість роботи алгоритму

Алгоритми та  
програмне  
забезпечення  
для усунення  
шуму на  
зображеннях

Ольга Павлюк

керівник: к.т.н.,  
ст. викл.  
Роман  
Кутельмах

Задача  
усунення шуму  
на зображеннях

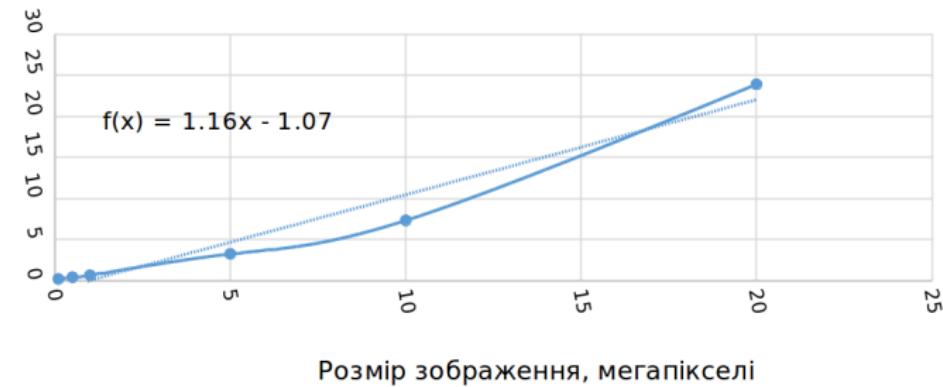
Завдання  
магістерського  
дослідження

Розроблений  
алгоритм

Використані  
технології

Дослідження  
розвробленого

Залежність часу роботи від розміру зображення  
для розробленого алгоритму





# Результати

Алгоритми та  
програмне  
забезпечення  
для усунення  
шуму на  
зображеннях

Ольга Павлюк  
керівник: к.т.н.,  
ст. викл.  
Роман  
Кутельмах

Задача  
усунення шуму  
на зображеннях

Завдання  
магістерського  
дослідження

Розроблений  
алгоритм

Використані  
технології

Дослідження  
розробленого

стаття

«Investigation of Existing Image Denoising  
Algorithms»

(автори — О. Павлюк та Р. Кутельмах)

у Віснику НУЛП



# Результати

Алгоритми та  
програмне  
забезпечення  
для усунення  
шуму на  
зображеннях

Ольга Павлюк

керівник: к.т.н.,  
ст. викл.  
Роман  
Кутельмах

Задача  
усунення шуму  
на зображеннях

Завдання  
магістерського  
дослідження

Розроблений  
алгоритм

Використані  
технології

Дослідження  
розробленого

## приклад зашумленого зображення





# Результати

Алгоритми та  
програмне  
забезпечення  
для усунення  
шуму на  
зображеннях

Ольга Павлюк

керівник: к.т.н.,  
ст. викл.  
Роман  
Кутельмах

Задача  
усунення шуму  
на зображеннях

Завдання  
магістерського  
дослідження

Розроблений  
алгоритм

Використані  
технології

Дослідження  
розробленого

результат роботи розробленого алгоритму





# Результати

Алгоритми та  
програмне  
забезпечення  
для усунення  
шуму на  
зображеннях

Ольга Павлюк

керівник: к.т.н.,  
ст. викл.  
Роман  
Кутельмах

Задача  
усунення шуму  
на зображеннях

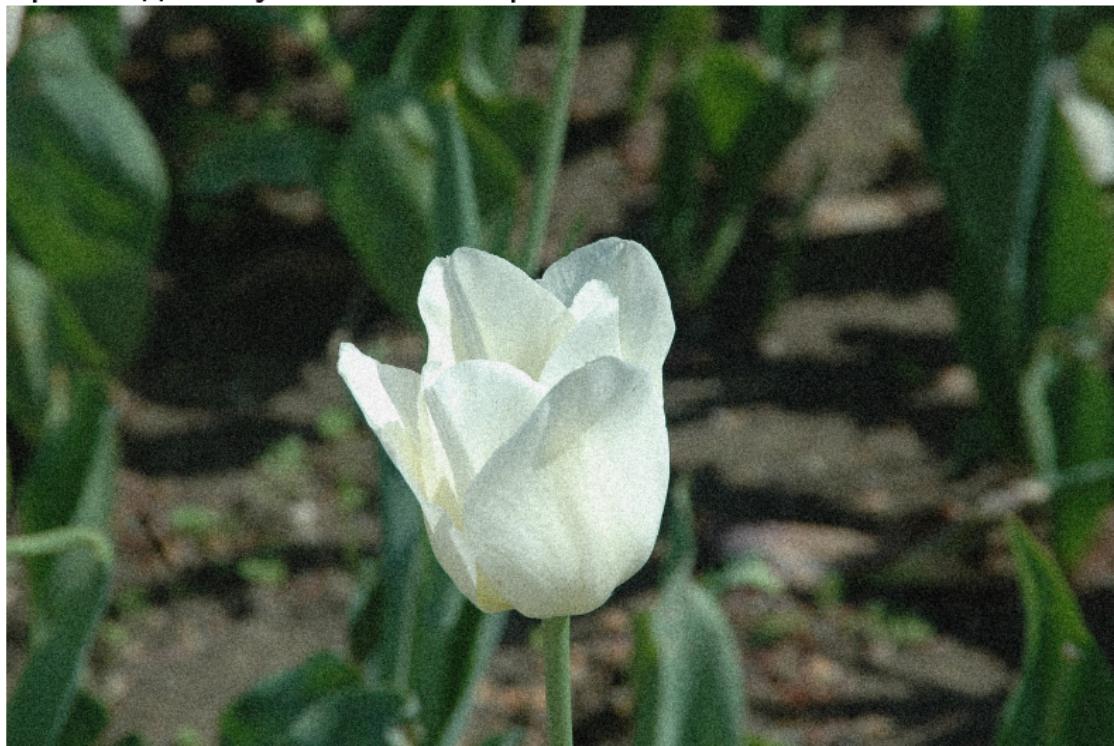
Завдання  
магістерського  
дослідження

Розроблений  
алгоритм

Використані  
технології

Дослідження  
розвробленого

## приклад зашумленого зображення





# Результати

Алгоритми та  
програмне  
забезпечення  
для усунення  
шуму на  
зображеннях

Ольга Павлюк

керівник: к.т.н.,  
ст. викл.  
Роман  
Кутельмах

Задача  
усунення шуму  
на зображеннях

Завдання  
магістерського  
дослідження

Розроблений  
алгоритм

Використані  
технології

Дослідження  
розробленого

результат роботи розробленого алгоритму





# Результати

Алгоритми та  
програмне  
забезпечення  
для усунення  
шуму на  
зображеннях

Ольга Павлюк

керівник: к.т.н.,  
ст. викл.  
Роман  
Кутельмах

Задача  
усунення шуму  
на зображеннях

Завдання  
магістерського  
дослідження

Розроблений  
алгоритм

Використані  
технології

Дослідження  
розробленого

приклад зашумленого зображення





# Результати

Алгоритми та  
програмне  
забезпечення  
для усунення  
шуму на  
зображеннях

Ольга Павлюк

керівник: к.т.н.,  
ст. викл.  
Роман  
Кутельмах

Задача  
усунення шуму  
на зображеннях

Завдання  
магістерського  
дослідження

Розроблений  
алгоритм

Використані  
технології

Дослідження  
розробленого

приклад роботи алгоритму Curvelab





# Результати

Алгоритми та  
програмне  
забезпечення  
для усунення  
шуму на  
зображеннях

Ольга Павлюк

керівник: к.т.н.,  
ст. викл.  
Роман  
Кутельмах

Задача  
усунення шуму  
на зображеннях

Завдання  
магістерського  
дослідження

Розроблений  
алгоритм

Використані  
технології

Дослідження  
розробленого

## приклад роботи NLM





# Результати

Алгоритми та  
програмне  
забезпечення  
для усунення  
шуму на  
зображеннях

Ольга Павлюк

керівник: к.т.н.,  
ст. викл.  
Роман  
Кутельмах

Задача  
усунення шуму  
на зображеннях

Завдання  
магістерського  
дослідження

Розроблений  
алгоритм

Використані  
технології

Дослідження  
розробленого

приклад роботи розробленого алгоритму





# Результати

Алгоритми та  
програмне  
забезпечення  
для усунення  
шуму на  
зображеннях

Ольга Павлюк

керівник: к.т.н.,  
ст. викл.  
Роман  
Кутельмах

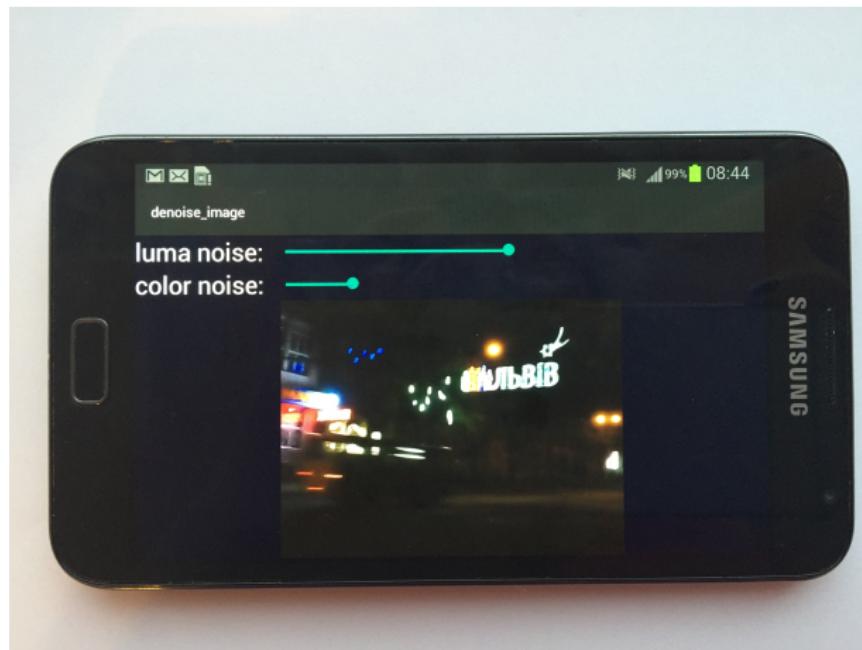
Задача  
усунення шуму  
на зображеннях

Завдання  
магістерського  
дослідження

Розроблений  
алгоритм

Використані  
технології

Дослідження  
розробленого





# Приклад роботи програми

Алгоритми та  
програмне  
забезпечення  
для усунення  
шуму на  
зображеннях

Ольга Павлюк

керівник: к.т.н.,  
ст. викл.  
Роман  
Кутельмах

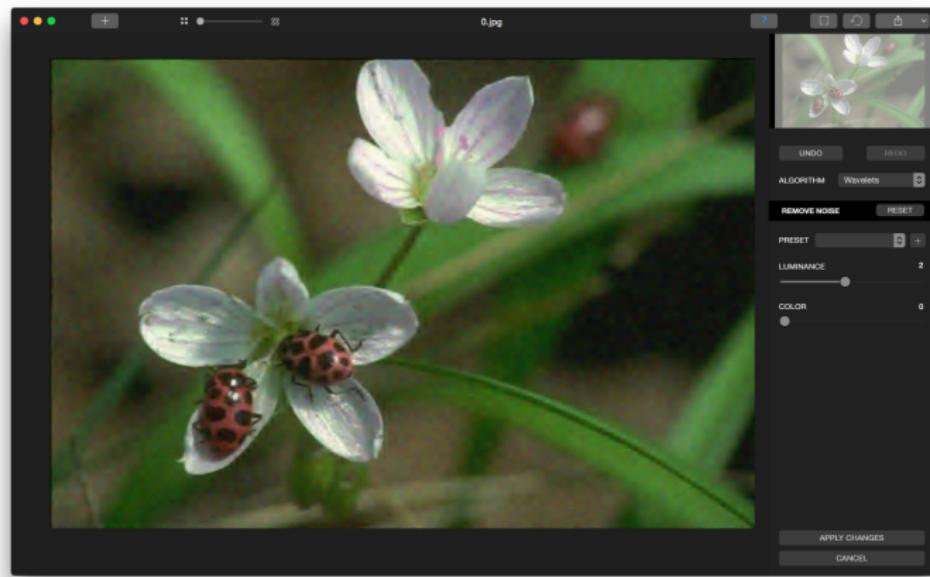
Задача  
усунення шуму  
на зображеннях

Завдання  
магістерського  
дослідження

Розроблений  
алгоритм

Використані  
технології

Дослідження  
розробленого





# Приклад роботи програми

Алгоритми та  
програмне  
забезпечення  
для усунення  
шуму на  
зображеннях

Ольга Павлюк

керівник: к.т.н.,  
ст. викл.  
Роман  
Кутельмах

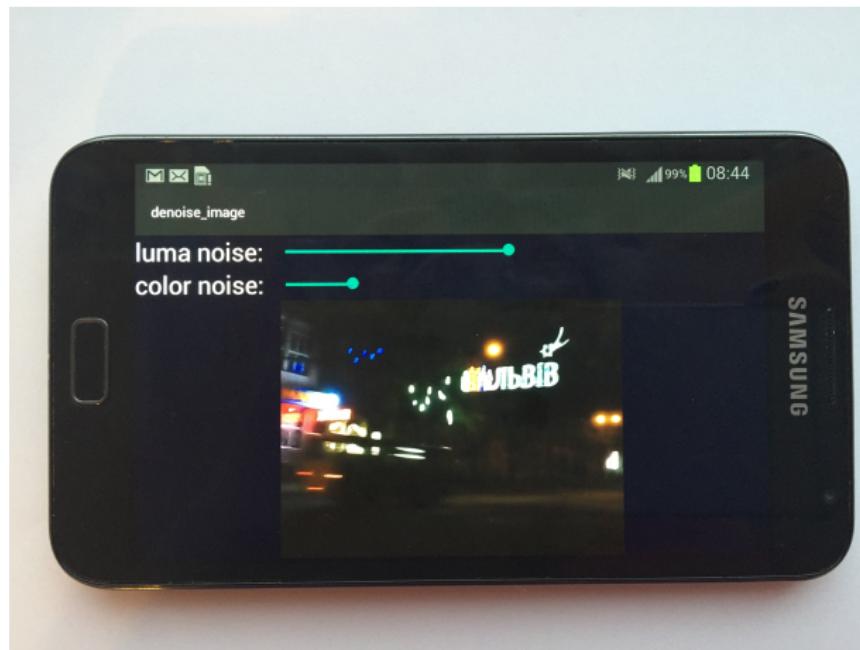
Задача  
усунення шуму  
на зображеннях

Завдання  
магістерського  
дослідження

Розроблений  
алгоритм

Використані  
технології

Дослідження  
розробленого





# Висновки

Алгоритми та  
програмне  
забезпечення  
для усунення  
шуму на  
зображеннях

Ольга Павлюк

керівник: к.т.н.,  
ст. викл.  
Роман  
Кутельмах

Задача  
усунення шуму  
на зображеннях

Завдання  
магістерського  
дослідження

Розроблений  
алгоритм

Використані  
технології

Дослідження  
розробленого

- Запропоновано новий алгоритм усунення шуму на зображеннях, який базується на існуючому алгоритмі Ridgelet-перетворення
- Розроблено спеціалізовану версію алгоритму для виконання на графічному процесорі
- Обчислювальна складність алгоритму становить  $O(n * \log(n))$ , що дає змогу застосовувати його для опрацювання зображень великого розміру (20 МП і більше)



Алгоритми та  
програмне  
забезпечення  
для усунення  
шуму на  
зображеннях

Ольга Павлюк

керівник: к.т.н.,  
ст. викл.  
Роман  
Кутельмах

Задача  
усунення шуму  
на зображеннях

Завдання  
магістерського  
дослідження

Розроблений  
алгоритм

Використані  
технології

Дослідження  
розробленого

Дякую за увагу!