

Реалізація комплексної системи обробки зашумлених зображень з використанням адаптивних фільтрів на Python

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У тезах доповіді розглянуто підходи до реалізації комплексної системи обробки зашумлених зображень з використанням адаптивних фільтрів. Проаналізовано основні типи шумів, що виникають у цифрових зображеннях, та методи їх усунення. Запропоновано ефективні алгоритми фільтрації, засновані на адаптивних методах, що дозволяють динамічно підлаштовувати параметри обробки під характеристики зображення. Реалізація розробленої системи виконана мовою програмування Python з використанням бібліотеки OpenCV. Наведено результати експериментального дослідження, що демонструють покращення якості зображень після обробки.

Ключові слова: обробка зображень, адаптивні фільтри, медіанний фільтр, фільтр Вінера, білатеральний фільтр, шумозаглушення, машинне навчання, глибокі нейронні мережі.

Abstract

In given article the approaches to the implementation of an integrated system for processing noisy images using adaptive filters are considered. The main types of noise arising in digital images and methods of their elimination are analysed. Effective filtering algorithms based on adaptive methods are proposed, which allow to dynamically adjust processing parameters to image characteristics. The developed system is implemented in the Python programming language using the OpenCV library. The results of an experimental study demonstrating the improvement of image quality after processing are presented.

Keywords: image processing, adaptive filters, median filter, Wiener filter, bilateral filter, noise reduction, machine learning, deep neural networks.

Вступ

Обробка зображень є важливою задачею в багатьох галузях науки та техніки, зокрема в комп'ютерному зорі, медичній діагностиці та дистанційному зонуванні. Наявність шуму в зображеннях може значно впливати на якість аналізу та прийняття рішень. Тому розробка ефективних методів фільтрації є актуальною задачею. У даній роботі розглядається реалізація адаптивних фільтрів для зменшення рівня шуму в зображеннях за допомогою мови програмування Python. Такі методи дозволяють підвищити якість аналізу даних, зменшити похибки автоматичних систем розпізнавання та покращити візуалізацію візуальних матеріалів.

Значний інтерес до методів шумозаглушення зображень обумовлений широким спектром їх застосування. Наприклад, у медичній діагностиці важливо мінімізувати шум у рентгенівських та МРТ-зображеннях для точнішого діагностування. В аерокосмічних дослідженнях очищення супутникових знімків від шумів забезпечує покращення аналізу ландшафту та прогнозування погодних умов.

Результати дослідження

Для оцінки ефективності адаптивних фільтрів було проведено експеримент, у якому тестове зображення було зашумлене гаусівським шумом з різними параметрами інтенсивності. Основною метою експерименту було визначення здатності фільтрів ефективно усувати шум при мінімальних втратах деталей та покращенні показників якості обробленого зображення.

Було застосовано медіанний фільтр і фільтр Вінера, після чого отримані результати були проаналізовані за допомогою метрик середньоквадратичної помилки (MSE) та відношення сигналу (PSNR), що дозволило отримати об'єктивну оцінку якості відновленого зображення[1]. Дані метрики

були обчислені наступним чином:

1. Середньоквадратична помилка (MSE):

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [I(i,j) - K(i,j)]^2$$

де $I(i,j)$ – піксель вихідного зображення, $K(i,j)$ – піксель відфільтрованого зображення, M та N – розміри зображення.

2. Відношення сигналу до шуму (PSNR):

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{MAX^2}{MSE} \right)$$

де MAX – максимальне значення пікселя (наприклад, 255 для 8-бітного зображення).

Використані фільтри:

- Медіанний фільтр – ефективний нелінійний фільтр для зменшення імпульсивного шуму, який працює на основі визначення медіани яскравості пікселів у заданому фільтраційному вікні [2]. Його особливість полягає у здатності усувати шум без значного розмивання країв об'єктів, що робить його особливо корисним для зображень, уражених шумом salt&paper або імпульсивним шумом. Завдяки своїм властивостям медіанний фільтр широко застосовується у попередній обробці зображень перед їх подальшим аналізом.

$$K(i,j) = \text{median}\{I(x,y) | (x,y) \in W(i,j)\}$$

де $W(i,j)$ – область фільтрації навколо пікселя (i,j)

- Фільтр Вінера – адаптивний лінійний фільтр, який базується на оцінці локальних варіацій яскравості пікселів. Його принцип роботи полягає у мінімізації середньоквадратичної похибки між вихідним та відфільтрованим зображенням. Фільтр Вінера ефективний для зменшення гаусівського шуму, проте його продуктивність залежить від точності оцінки параметрів шуму, що може ускладнювати використання в реальних умовах [3]. У випадках, коли параметри шуму добре відомі, цей фільтр може забезпечити високу якість відновлення деталей.

$$K(i,j) = I(i,j) - \frac{\sigma_n^2}{\sigma_s^2} (I(i,j) - \mu_s)$$

де σ_n^2 – дисперсія шуму, σ_s^2 – локальна дисперсія сигналу, μ_s – локальне середнє значення сигналу.

Отримані результати:

- Медіанний фільтр: MSE = 5399.27, PSNR = 10.81
- Фільтр Вінера: MSE = 7992.95, PSNR = 9.10

Медіанний фільтр продемонстрував кращі результати шумозаглушення порівняно з фільтром Вінера. Він забезпечує меншу середньоквадратичну помилку та вищий рівень PSNR, що вказує на збереження більшої кількості деталей зображення. Фільтр Вінера виявився менш ефективним у даному випадку, оскільки його продуктивність значною мірою залежить від правильної оцінки параметрів шуму та локальних варіацій яскравості пікселів.

Додатково було протестовано комбінований підхід, що включає застосування медіанного фільтра перед фільтром Вінера. Такий підхід дозволив отримати покращені показники: MSE = 4870.15, PSNR = 11.25. Отримані дані вказують на доцільність використання комбінованої обробки, оскільки вона дозволяє значно зменшити рівень шуму, при цьому зберігаючи деталізацію зображення. Цей підхід виявився ефективнішим, ніж використання кожного фільтра окремо. Результат використання фільтрів продемонстровано на рисунку 1.



Рисунок 1. – Результат використання фільтрів.

Аналіз показав, що адаптивні методи фільтрації можуть бути значно покращені за рахунок оптимізації параметрів алгоритмів, зокрема шляхом динамічного налаштування розміру фільтраційного вікна адаптації до рівня шуму. Додатково, використання інтерактивних методів може підвищити ефективність шумозаглушення, забезпечуючи краще деталізацію кінцевого результату.

Крім того, сучасні підходи у сфері обробки зображень вказують на перспективність застосування глибоких нейронних мереж, зокрема згорткових нейронних мереж (CNN), для автоматичного навчання моделей на великих наборах даних [4]. Це дозволяє суттєво підвищити якість відновлення зображень, використовуючи гнучкі алгоритми адаптивної фільтрації. Також методи машинного навчання, зокрема автоенкодерів та генеративно-змагальних мереж (GAN), можуть бути використані для побудови вдосконалених методів фільтрації, які перевищують традиційні алгоритми за точністю та ефективністю.

Висновки

Розглянуто адаптивні фільтри для обробки зашумлених зображень та їхню реалізацію на Python. Проведені експерименти підтвердили ефективність медіального фільтра у зменшенні шуму без значного спотворення деталей. Використання адаптивних фільтрів дозволяє отримати більш якісні результати у порівнянні з традиційними методами фільтрації.

Аналіз різних методів показав, що вибір фільтра залежить від типу шуму, характеру зображення та вимог до точності відновлення. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на комбінування різних фільтрів, застосування методів машинного навчання та покращення адаптивності до різних типів шуму. Використання глибоких нейронних мереж та алгоритмів штучного інтелекту дозволить ще вищої точності відновлення зображень у складних умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Половинко Ігор, Семочко Олександр. Метод оцінки відновлення зображень із використанням просторових і частотних фільтрів. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*. Vol. 1, No. 4, 2022, pp. 8-18. doi: 10.46299/j.isjea.20220104.02.
2. Інтелектуалізована система оцінювання динамічних змін біомедичних зображень : монографія / Н.П. Бабюк, С.В. Павлов, П.Ф. Колісник, О.Ж. Мамирбаєв, Ж.Ж. Ажибекова. – Вінниця : ВНТУ, 2024. – 131 с.
3. Електронне джерело «Комп'ютерне моделювання систем та процесів. Методи обчислень. Частина 2. Кветний Р.Н., Богач І.В., Софіна О.Ю., Шушупа О.М.» URL: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fksa/2kvetnyj_komp'yuterne_modelyuvannya_system_procesiv/t2/vs.htm
4. Барченко К. В. Аналіз методів фільтрації зображень / Барченко К. В., Білошкурський С. С., Гармаш В. В. // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – № 4. – С. 79. – ISSN 2226-9150.

Бодян Ірина Сергіївна – студентка групи ІІСТ-21б факультету інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: bodian.ira@gmail.com

Софіна Ольга Юрійвна – к.т.н., доцент кафедри АІТ, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: olsofina@gmail.com

Iryna Bodian – student of group 11ST-21b of the faculty of intellectual information technologies and automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: bodian.ira@gmail.com

Olga Sofina – PhD, Associate Professor of Automation and Intelligent Information Technologies, Faculty of Computer Systems and Automatics Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: olsofina@gmail.com