

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Метод підвищення рівня візуального сприйняття пошкоджених
зображень на основі стохастичного резонансу

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи РАМ-61
спеціальності _____

172 Електронні комунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Керніцький О.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Яворський Б.І.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Хвостівська Л.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Дунець В.Л.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Дедів Л.Є.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2025

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Дунець В.Л.
(підпис) (прізвище та ініціали)

«26» листопада 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 172 Електронні комунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

студенту Керницькому Олексію Руслановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Метод підвищення рівня візуального сприйняття пошкоджених зображень на основі стохастичного резонансу

Керівник роботи Яворський Богдан Іванович, д.т.н., професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «23» листопада 2025 року № 4/7-1038

2. Термін подання студентом завершеної роботи 11 грудня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання, метод підвищення рівня візуального сприйняття пошкоджених зображень

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітична частина

2. Основна частина

3. Науково-дослідна частина

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

6. Консультанти розділів роботи

[illegible]

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент _____
(підпис)

Керніцький Олексій Русланович
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Яворський Богдан Іванович
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Метод підвищення рівня візуального сприйняття пошкоджених зображень на основі стохастичного резонансу // Керніцький Олексій Русланович // ТНТУ ім. І.Пулля, ФПТ // Тернопіль, 2025 // с. - 87, рис. - 9, дод. - 2, бібл. - 39.

Ключові слова: ЗОБРАЖЕННЯ, МЕТОД ОПРАЦЮВАННЯ, СТОХАСТИЧНИЙ РЕЗОНАНС, ВІЗУАЛЬНЕ СПРИЙНЯТТЯ.

В роботі запропоновано метод підвищення рівня візуального сприйняття пошкоджених зображень на основі стохастичного резонансу. Проаналізовано способи підвищення візуальної якості зображень, зокрема методи, що проводять зміну яскравості та контрасту, зменшення шуму, підсилення деталей і контурів, корекцію кольору та тону, геометричні перетворення і зміну роздільної здатності, видалення розмиття, локальні та морфологічні методи, методи на основі штучного інтелекту. Як альтернативний метод покращення пошкоджених зображень розглянуто новий метод, що ґрунтується на явищі стохастичного резонансу. Розроблено текст програми опрацювання пошкоджених зображень в середовищі Matlab. За результатами експериментальних досліджень показано, що значно підвищилось візуальне сприйняття зображень за результатами опрацювання їх методом на основі стохастичного резонансу.

ANNOTATION

Method for improving the visual perception of damaged images based on stochastic resonance // Kernitsky O. R. // TNTU, FPT // Ternopil, 2025 // p. - 87, fig. - 9, appl. - 2, bibl. - 39.

Key words: IMAGE, PROCESSING METHOD, STOCHASTIC RESONANCE, VISUAL PERCEPTION.

The paper proposes a method for improving the visual perception of damaged images based on stochastic resonance. Methods for improving the visual quality of images are analyzed, in particular, methods that change brightness and contrast, reduce noise, enhance details and contours, correct color and tone, geometric transformations and change resolution, remove blur, local and morphological methods, methods based on artificial intelligence. As an alternative method for improving damaged images, a new method based on the phenomenon of stochastic resonance is considered. The text of a program for processing damaged images in the Matlab environment is developed. The results of experimental studies show that the visual perception of images has significantly increased as a result of their processing by the method based on stochastic resonance.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	10
1.1 Загальні поняття.....	10
1.2 Суб'єктивні та об'єктивні оцінки якості зображень.....	10
1.3 Об'єктивні методи.....	13
1.4 Людська зорова система та перцептивні фактори.....	17
1.5 Практичне застосування метрик якості.....	17
1.6 Способи підвищення візуальної якості зображень.....	17
1.7 Стохастичний резонанс в обробці зображень.....	21
1.8 Переваги й обмеження стохастичного резонансу в обробці зображень.....	24
1.9 Порівняння методів покращення візуальної якості зображень.....	25
1.10 Висновки до розділу 1.....	28
РОЗДІЛ 2. ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	30
2.1 Загальні відомості.....	30
2.2 Застосування динамічного стохастичного резонансу для покращення низькоконтрастних зображень.....	33
2.3 Суть динамічного стохастичного резонансу.....	35
2.4 Вибір параметрів динамічного стохастичного резонансу для покращення зображень.....	39
2.5 Типовий алгоритм підвищення контрастності зображень на основі динамічного стохастичного резонансу.....	41
2.6 Результати практичного застосування типового алгоритму.....	48
2.7 Висновки до розділу 2.....	50
РОЗДІЛ 3. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	51
3.1 Формулювання вимог до проєктованого методу.....	51

3.2 Структура та призначення основних етапів роботи пропонованого методу.....	52
3.3 Результати експериментальних досліджень.....	59
3.4 Висновки до розділу 3.....	62
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	64
4.1. Охорона праці.....	64
4.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	66
4.3. Висновки до розділу.....	71
ВИСНОВКИ.....	72
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	74
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Актуальність. Візуальна якість зображень є ключовим поняттям у цифровій обробці зображень, комп'ютерному зорі, системах стиснення та передавання мультимедійних даних. Від того, наскільки якісно відтворюється зображення, залежить комфорт користувача, точність діагностики в медичних застосуваннях, надійність систем відеоспостереження та ефективність автоматизованих систем розпізнавання. Під візуальною якістю зображення зазвичай розуміють ступінь відповідності між сприйнятим спостерігачем зображенням і тим, що вважається еталонним з точки зору людського зору.

На сьогодні розроблено велику кількість методів покращення якості зображень, що в свою чергу, призводить до покращення їхнього візуального сприйняття. Сюди можна віднести методи, що проводять зміну яскравості та контрасту, зменшення шуму, підсилення деталей і контурів, корекцію кольору та тону, геометричні перетворення і зміну роздільної здатності, видалення розмиття, локальні та морфологічні методи, методи на основі штучного інтелекту.

Перспективним до обробки зображень, зокрема покращення візуального сприйняття, є застосування принципу стохастичного резонансу. Стохастичний резонанс є явищем, коли додавання шуму до слабкого сигналу допомагає краще його виявити. У випадку зображень, до них додається певна кількість випадкового шуму та застосовується нелінійна обробка, і в результаті контури, деталі та структури стають видимішими, особливо у темних або низькоконтрастних ділянках. Однак, основною вимогою цього методу є та, що параметри шуму мають бути оптимальними. Якщо порівнювати цей метод із іншими поширеними, то, наприклад, контрастування й адаптивне гістограмне вирівнювання з обмеженням контрасту є різними версіями детермінованих перетворень яскравості, а метод стохастичного резонансу є нелінійним шумо-

спричиненим підсиленням слабких сигналів, де шум входить в структуру методу як необхідний елемент.

Однак, через відносту новизну, залишається актуальною проблема розроблення власне методу підвищення візуальної якості зображень та їх наступного сприйняття на основі стохастичного резонансу.

Мета. Розробка методу підвищення рівня візуального сприйняття пошкоджених зображень на основі стохастичного резонансу. **Задачі:**

- аналіз методів підвищення якості зображень;
- аналіз застосування стохастичного резонансу до обробки зображень;
- розробка власного методу опрацювання зображень на основі стохастичного резонансу;
- експериментальна перевірка підвищення рівня візуального сприйняття пошкоджених зображень за результатами обробки їх розробленим методом.

Об'єкт дослідження: процес підвищення рівня візуального сприйняття пошкоджених зображень на основі стохастичного резонансу.

Предмет дослідження: метод опрацювання пошкоджених зображень на основі стохастичного резонансу.

Наукова новизна. Розроблено метод опрацювання пошкоджених зображень із застосуванням стохастичного резонансу, що полягає в регульованому додаванні шуму та наступного нелінійного опрацювання.

Практичне значення. Розроблений графічний інтерфейс може бути практично застосований для систем покращення пошкоджених зображень.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Загальні поняття

Візуальна якість зображень – це характеристика, що описує, наскільки зображення є прийнятним для людини з точки зору чіткості, контрасту, кольору, відсутності артефактів і шумів [1]. Вона може оцінюватися:

- суб'єктивно — за допомогою експертів або групи спостерігачів;
- об'єктивно — за допомогою математичних метрик.

Під еталонним зображенням розуміють вихідне високоякісне зображення, з яким порівнюють спотворене або оброблене зображення. У багатьох задачах, наприклад при стисненні з втратами, таке еталонне зображення є наперед відоме.

Суб'єктивна оцінка якості – це процес, у якому реальні люди переглядають зображення та виставляють оцінки за певною шкалою (наприклад, від 1 до 5) [1]. Результатом є середня думка групи спостерігачів, яку часто називають MOS (Mean Opinion Score).

1.2 Суб'єктивні та об'єктивні оцінки якості зображень

Суб'єктивні методи є найбільш точним відображенням реальної візуальної якості, адже базуються на сприйнятті людиною [1-5]. Однак вони дорогі, трудомісткі та малопридатні для автоматичних систем.

Суб'єктивна оцінка якості зображень – це метод, при якому група людей (спостерігачів) переглядає зображення та ставить їм оцінки за певною шкалою (наприклад, від 1 до 5).

Результатом є числова оцінка, яка відображає те, як люди реально сприймають якість.

Суб'єктивні тести потрібні для [2]:

- перевірки нових алгоритмів (фільтрація, суперрезолюція, покращення контрасту);
- оцінки кодеків та стиснення з втратами (JPEG, HEVC, AV1 тощо);
- створення та підбору об'єктивних метрик (щоб знати, наскільки вони збігаються з людським сприйняттям);
- калібрування обладнання та дисплеїв.

Зазвичай процедура оцінювання виглядає так:

1) Формують набір зображень:

- є еталонне (оригінальне) зображення;
- є варіанти зі спотвореннями: шум, розмиття, стиснення, покращення, артефакти.

2) Підбирають групу спостерігачів, зазвичай 10–30 людей із нормальним зором.

3) Показують зображення на екрані у контрольованих умовах: освітлення, відстань до екрану, роздільна здатність;

4) Люди ставлять оцінки за певною шкалою (наприклад, 1–5 або 0–10);

Вони можуть оцінювати:

- «загальну якість»;
- «помітність спотворень»;
- «комфорт/натуральність».

Обробка результатів:

- відкидаються «аномальні» оцінки;
- обчислюється MOS – середнє значення;
- іноді також вимірюється дисперсія, щоб побачити, чи згодні між собою спостерігачі.

Типові шкали та сценарії оцінювання. Вербальні шкали.

Наприклад, 5-бальна шкала якості:

1 – дуже погано

2 – погано

3 – задовільно

4 – добре

5 – відмінно

Або шкала помітності спотворень:

1 – дуже сильно помітні

2 – помітні

3 – ледь помітні

4 – майже непомітні

5 – не помітні

Людина не просто ставить цифру, а співвідносить її з вербальним описом.

Способи показу зображень. Є кілька класичних схем:

- Single Stimulus (SS) – показують по одному зображенню і люди оцінюють його якість.

- Double Stimulus (DS) – показують еталон + спотворене зображення, і спостерігач оцінює, наскільки спотворене зображення гірше за еталонне.

- Pairwise comparison – показують два варіанти зображення (А та В) і люди вибирають «яке виглядає краще».

Переваги суб'єктивної оцінки.

Вона є найближчою до реальності.

Дозволяє побачити, що:

- іноді невелике розмиття більш комфортне, ніж високочастотний шум;
- деякі артефакти технічно великі, але мало помітні;
- алгоритми з кращим PSNR не завжди краще виглядають.

Недоліки суб'єктивної оцінки.

Вартість: потрібні приміщення, обладнання, люди, час.

Витрачений час: не годиться для онлайн-обробки чи тестування тисяч варіантів.

Нестабільність: людські оцінки завжди мають розкид, залежать від втоми, настрою, досвіду.

Саме тому суб'єктивні тести часто використовують як «золотий стандарт» для навчання й перевірки об'єктивних метрик (PSNR, SSIM, VIF, нейромережеві IQA-моделі).

1.3 Об'єктивні методи

1.3.1 Загальні відомості [1]

Об'єктивні методи намагаються математично змоделювати або наблизити суб'єктивну оцінку. Їх поділяють на [6]:

- повноеталонні (full-reference, FR) — коли доступне вихідне, неушкоджене зображення;
- частково еталонні (reduced-reference, RR) — використовується обмежена інформація про еталон;
- безеталонні (no-reference, NR) — оцінка якості без доступу до еталонного зображення.

Метрики PSNR, SSIM та VIF належать до повноеталонних, оскільки вимагають еталонного зображення для порівняння з обробленим або спотвореним.

Об'єктивна оцінка якості зображень – це числове вимірювання ступеня спотворення або відмінності між зображеннями за допомогою математичних метрик.

Об'єктивні метрики ділять на три великі класи:

1) FR – повноеталонні

Є еталонне (оригінальне) зображення.

Порівнюємо з ним спотворене/оброблене зображення. Приклади: MSE, PSNR, SSIM, VIF.

2) Reduced-Reference (RR) – частковий еталон.

Маємо не саме еталонне зображення, а лише якийсь «відбиток» (фічі, статистику).

Оцінка проводиться на основі цієї обмеженої інформації.

3) No-Reference (NR) – без еталону.

Еталонного зображення немає взагалі.

Метрика показує, наскільки це зображення виглядає якісним тільки по самому зображенню. Використовується, наприклад, для оцінки JPEG-артефактів, шуму, розмиття без «оригіналу».

1.3.2 Прості «сигналові» метрики: MSE та PSNR [1,2].

MSE — середньоквадратична помилка.

Для еталонного зображення I та тестового K (розмір M×N):

$$MSE = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (I(i, j) - K(i, j))^2 \quad (1.1)$$

Чим менша MSE тим менше відмінностей у середньоквадратичному сенсі.

PSNR — пікове відношення сигнал/шум

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right) \quad (1.2)$$

де MAX_I – максимум яскравості (наприклад, 255 для 8-біт).

Чим більший PSNR, тим якісніше зображення (ближче до еталону).

Недолік: PSNR не враховує особливості зору – два зображення з однаковим PSNR можуть сприйматись по-різному.

1.3.3 Перцептивні метрики: SSIM, VIF та інші [1].

Щоб наблизитись до людського сприйняття, ввели більш «розумні» метрики [6].

SSIM — Structural SIMilarity. Людина більше реагує на структуру, контраст та локальні патерни, а не просто на різницю по пікселях. SSIM для двох локальних вікон x і y оцінює:

- подібність яскравості (luminance),

- подібність контрасту,
- структурну подібність (кореляція).

Спрощена формула для обчислення цієї метрики:

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)} \quad (1.3)$$

де μ_x, μ_y – середні значення у вікнах; σ_x^2, σ_y^2 – дисперсії; σ_{xy} – коваріація; C_1, C_2 – малі константи.

SSIM рахується по всьому зображенню та усереднюється. Можливі значення: приблизно від 0 до 1, де 1 – ідеальна подібність.

VIF — Visual Information Fidelity. Оцінюється, скільки корисної візуальної інформації з еталона збереглось у спотвореному зображенні, з урахуванням моделі зорової системи. Використовує інформаційно-теоретичний підхід (взаємна інформація). Вважається, що зображення проходить через «канал спотворень», а людина дивиться через «канал сприйняття». $VIF \approx$ від 0 до 1; ближче до 1 – більше збережено візуальної інформації.

1.3.4 No-Reference (NR) метрики [1].

Якщо еталонного зображення немає (наприклад, просто «фото з камери»), використовують NR-метрики, за якими намагаються:

- оцінити рівень шуму;
- виміряти розмиття;
- визначити JPEG/блокові артефакти;
- чи є «неприродність» у кольорах, контрасті, текстурі.

Сучасні підходи часто базуються на нейронних мережах, які навчаються на великій базі зображень з відомими суб'єктивними оцінками.

Переваги об'єктивних метрик: автоматичні, швидкі; повторювані (одна й та сама метрика дасть однаковий результат при тих самих умовах).

Ці метрики використовуються для порівняння алгоритмів (фільтрація, суперрезолюція, стиснення), оптимізації параметрів (максимізація SSIM, мінімізація MSE тощо), навчання моделей глибокого навчання.

Недоліки об'єктивної оцінки. Жодна метрика не збігається на 100% з людським сприйняттям. Простий PSNR часто дає неправильну оцінку з точки зору того, як картинка виглядає. Навіть SSIM/VIF мають ситуації, де вони не корелюють добре з MOS. Для нових типів спотворень часто треба оновлювати моделі або вчити нові нейромережеві метрики.

1.3.5 Порівняння PSNR, SSIM та VIF [1]

PSNR, SSIM та VIF мають різну чутливість до типів спотворень і по-різному корелюють із людським сприйняттям.

PSNR:

- простий у обчисленні;
- не враховує особливості зорової системи;
- добре підходить для технічних порівнянь, але не завжди відображає реальну візуальну якість.

SSIM:

- орієнтований на структуру зображення;
- краще узгоджується з суб'єктивними оцінками, особливо при розмитті, зміні контрасту;
- широко використовується як стандартна перцептивна метрика.

VIF:

- базується на інформаційно-теоретичних моделях та HVS;
- часто показує ще кращу кореляцію з людськими оцінками, але є складнішою в реалізації;
- може бути більш придатною для тонкого аналізу алгоритмів покращення якості.

1.4 Людська зорова система та перцептивні фактори

Усі перцептивні метрики якості так чи інакше враховують моделі людської зорової системи (Human Visual System, HVS). Людське око має нерівномірну чутливість до просторових частот і контрасту: ми краще помічаємо зміни яскравості на середніх частотах і менш чутливі до дуже високих або дуже низьких частот. Також важливу роль відіграють:

- маскування — невеликі спотворення менш помітні у сильно текстурованих областях;
- адаптація до рівня яскравості та контрасту;
- роль кольору, насиченості, локального контексту.

У метриках SSIM та VIF ці фактори враховуються через локальні статистичні моделі, вагові функції та врахування просторового масштабу.

1.5 Практичне застосування метрик якості

Метрики PSNR, SSIM і VIF широко використовуються в завданнях:

- стиснення зображень та відео (JPEG, JPEG2000, HEVC, AV1);
- оцінки якості алгоритмів покращення зображень (denoising, deblurring, super-resolution);
- порівняння різних методів обробки, фільтрації, реконструкції;
- оптимізації параметрів алгоритмів на основі цільової функції якості.

У практичних дослідженнях часто одночасно наводять значення PSNR, SSIM та VIF, а також результати суб'єктивних тестів, щоб продемонструвати узгодженість об'єктивних і суб'єктивних оцінок.

1.6 Способи підвищення візуальної якості зображень

Способи підвищення візуальної якості зображень зазвичай ділять на кілька великих груп [1,2].

1) Зміна яскравості та контрасту

1.1) Лінійне розтягування (contrast stretching). Суть полягає в тому, щоб розтягнути значення яскравості так, щоб вони займали більший діапазон (наприклад, з вузького $[50; 150]$ до повного $[0; 255]$).

Переваги методу: просто, швидко, одразу помітно ефект.

Недоліки методу: може видаляти деталі в дуже темних/світлих областях.

1.2) Гістограмне вирівнювання (Histogram Equalization). Перерозподіляє яскравості так, щоб гістограма стала більш рівномірною.

Добре працює для низькоконтрастних, «туманних» зображень.

Недоліки: може створювати «перегнуті» контрасти, шум посилюється.

1.3) Адаптивне гістограмне вирівнювання (CLAHE). Застосовує вирівнювання локально (по блоках) і обмежує підсилення контрасту.

Переваги: підсилює локальні деталі, не так агресивно як глобальна гістограма. Застосування: медичні зображення, супутникові дані, темні фото.

2) Зменшення шуму. Шум (зернистість, випадкові точки) сильно псує візуальну якість.

2.1) Лінійні фільтри (середній, гаусовий)

Середній фільтр: замінює піксель середнім по околу.

Гаусовий фільтр: зважене середнє (ближчі пікселі – важливіші).

Переваги методу: прості, швидкі.

Недоліки: розмиваються контури, зображення робляться «м'якими».

2.2) Нелінійні фільтри (медіанний, порядкові статистики).

Медіанний фільтр замінює піксель медіаною по околу. Особливо ефективний проти імпульсного шуму. Зберігає контури краще, ніж середній фільтр.

2.3) Сучасні методи фільтрації

Білатеральний фільтр – згладжує, але зберігає краї (враховує і відстань, і різницю яскравостей).

Non-Local Means, BM3D – використовують інформацію з подібних фрагментів по всьому зображенню.

Нейромережеві методи (DnCNN, N2N, diffusion-моделі) – навчаються видаляти шум, зберігаючи текстури.

3) Підсилення деталей і контурів (sharpening)

Щоб зображення виглядало «чіткішим» застосовується:

3.1) Unsharp Masking (негостра маска)

Розмиваємо зображення. Віднімаємо розмите від оригіналу та отримуємо деталі (high-frequency). Додаємо їх назад з коефіцієнтом підсилення. Результат: краї і дрібні деталі стають помітнішими.

3.2) Фільтри типу Laplacian / High-Boost.

Використовують другі похідні (Лапласіан) для підсилення різких переходів.

4) Корекція кольору та тону.

Картинка може бути технічно різкою, але неприємною за кольором.

4.1) Баланс білого (white balance). виправляє кольоровий відтінок, викликаний освітленням (жовтизна ламп, синява тіні). Дає більш «натуральні» кольори.

4.2) Колоркорекція в просторі HSL/HSV/Lab. Робота з відтінком (hue), насиченістю (saturation), світлістю (lightness). Можна, наприклад, збільшити насиченість трави, не чіпаючи небо.

4.3) Тональні криві (tone mapping, curves). Ручне або автоматичне налаштування кривої яскравості. Використовується і в Photoshop, і в RAW-конвертерах.

5) Геометричні перетворення і роздільна здатність

5.1) Ресайзинг (масштабування).

Інтерполяція (bilinear, bicubic, Lanczos) для збільшення/зменшення. При правильному виборі інтерполяції зображення може виглядати «м'якше» або «різкіше».

5.2) Суперрезолюція (Super-Resolution)

Однокадрова (Single-Image SR) – з одного фото робимо більшу картинку з відновленням деталей.

6) Видалення розмиття (deblurring). Застосовується, коли зображення розмито рухом, фокусом чи тремтінням камери.

6.1) Інверсійні методи (inverse filtering, Wiener).

Потрібно знати або оцінити ЯФР/PSF (kernel розмиття). Inverse filter – формальне математичне «обернення» розмиття (чутливий до шуму). Wiener filter – компроміс між відновленням і придушенням шуму.

6.2) Blind deconvolution (сліпа деконволюція).

Одночасно оцінюється і саме зображення, і kernel розмиття. Це складна задача, часто розв'язується ітераційними або нейромережевими методами.

7) Локальні та морфологічні методи.

7.1) Локальні адаптивні методи.

Адаптивна фільтрація (параметри залежать від локальної дисперсії).

Локальне регулювання контрасту в маленьких вікнах.

7.2) Морфологічні операції (для бінарних і напівтонових зображень)

Ерозія, дилатація, відкриття, закриття – допомагають:

- прибрати дрібні шумові точки;

- згладити контури;

закрити пропуски в об'єктах.

Використовуються в сегментації, підготовці до розпізнавання.

8) Методи на основі штучного інтелекту

Denoising CNNs – прибирають шум.

GAN-и для суперроздільності (SRGAN, ESRGAN) – роблять зображення більшим і деталізованішим.

Enhancement-мережі – виправляють експозицію, баланс білого, контраст.

1.7 Стохастичний резонанс в обробці зображень

1.7.1 Загальні поняття

Стохастичний резонанс (СР, SR) — це явище, коли додавання шуму до слабкого сигналу допомагає краще його виявити [8-10]. Для зображень це означає, що додається певна кількість випадкового шуму + застосовується нелінійна обробка, і в результаті контури, деталі та структури стають видимішими, особливо у темних або низькоконтрастних ділянках.

Ключовий момент методу наступний: шум має бути оптимальним — занадто мало шуму – ефекту немає, занадто багато шуму – все тоне в шумах.

1.7.2 Класична математична модель СР [10].

Класичний стохастичний резонанс розглядають на прикладі бістабільної системи (з двома потенціальними «ямами»):

$$U(x) = \frac{x^4}{4} - \frac{x^2}{2} \quad (1.4)$$

Рівняння Ланжевена:

$$\frac{dx}{dt} = -\frac{dU}{dx} + S(t) + \sqrt{2D} \xi(t) \quad (1.5)$$

де $-\frac{dU}{dx} = -(x^3 - x)$ – «сила», що тягне до однієї з ям; $S(t)$ – слабкий періодичний сигнал (занадто малий, щоб самостійно змусити систему стрибати між ямами); $\xi(t)$ – білий шум; D – інтенсивність шуму.

Коли D вибране «правильно», частота шумових стрибків співпадає з частотою сигналу і система «резонує» зі слабким сигналом.

Головна ідея, яка потім переноситься на зображення: слабкий сигнал + нелінійна система + оптимальний шум = максимальна виявність/контраст.

У випадку зображень немає явної «динаміки в часі», тому використовують аналогові моделі:

- розглядають яскравість пікселя як «сигнал»;
- додають керований шум;
- пропускають через нелінійну функцію;
- отримують посилення слабких деталей.

Типова схема методу наступна. Є вхідне зображення $I(x,y)$, часто темне / низькоконтрастне. Додаємо шум:

$$I_n(x, y) = I(x, y) + n(x, y), \quad n(x, y) \sim \mathcal{N}(0, \sigma^2) \quad (1.6)$$

Застосовуємо нелінійну функцію (наприклад, сигмоїда / $\tanh$ / степенева):

$$I_{SR}(x, y) = f(I_n(x, y)) \quad (1.7)$$

За потреби, проводиться додаткове згладжування / фільтрація.

При правильному виборі σ та форми $f(\cdot)$ слабкі структури, які «лежались» нижче порогу видимості, стають контрастнішими.

1.7.3 Основні підходи СР в обробці зображень [8,9,11].

1) Піксельний (просторовий) стохастичний резонанс

Найпростіший варіант:

$$I_{SR}(x, y) = f(I(x, y) + n(x, y)) \quad (1.8)$$

де f — нелінійна функція, наприклад:

- сигмоїда: $f(z) = \frac{1}{1+e^{-a(z-b)}}$;
- гіперболічний тангенс: $f(z) = \tanh(kz)$;

- порогова / кусково-лінійна функція.

Якщо піксель має дуже низьку яскравість (темні деталі), то без шуму він міститься нижче порогу й «не проходить». Шум іноді «підштовхує» його вище порогу, а нелінійність підсилює ці стрибки. В результаті в середньому слабка структура стає видимішою.

2) Динамічний СР у перетворених областях (DCT, DWT)

Суть методу така:

- спершу застосовують перетворення (частотне / блокове): DCT (як у JPEG), вейвлет-перетворення.

- працюють не з пікселями, а з коефіцієнтами $C(k)$, що описують локальні частотні компоненти.

- на коефіцієнти вводять стохастичний резонанс:

$$C_{SR}(k) = f(C(k) + n_k) \quad (1.9)$$

де n_k – шум у просторі коефіцієнтів.

- зворотне перетворення – отримуємо зображення з посиленими деталями (особливо текстури, краї).

3) Масивний (агау) стохастичний резонанс

Суть масивного СР полягає у тому, що багато паралельних нелінійних елементів з різними параметрами шуму й нелінійності можуть разом дати кращий ефект.

В обробці зображень це реалізується наступним чином. Для одного й того ж зображення запускають кілька варіантів СР з різними параметрами (різна σ , різні $f(\cdot)$). Потім усереднюють / комбінують результати за певним правилом (наприклад, по локальній дисперсії). Це допомагає зменшити випадковість та стабілізувати ефект.

Найчастіше СР використовують для:

- Покращення темних / низькоконтрастних зображень. Темні області містять корисну інформацію, але вона нижче порогу видимості. Звичайне

гістограмне вирівнювання іноді «спотворює» зображення (перехідні контрасти, шум). СР вводить контрольований шум + нелінійність, що дає м'якше, перцептивно приємне підсилення.

- Виділення контурів та дрібних деталей. У слабо контрастних місцях (легкі переходи, легке затінювання) контури «тонуть». За рахунок шумового підштовхування через нелінійність контур стає локально сильнішим. Подальша edge-обробка (Sobel, Canny) виявляє ті контури краще.

- Відновлення дуже зашумлених зображень (нестандартно). Існують методи, де:

- зображення настільки зашумлене, що класичні фільтри мало допомагають;

- а СР, через власну нелінійність + шумову динаміку, дозволяє виділити структуру, коли традиційні SNR-фільтри безсилі.

1.8 Переваги й обмеження стохастичного резонансу в обробці зображень

Переваги методу наступні:

- дає перцептивно приємне покращення темних і низькоконтрастних зображень.

- може виявляти деталі, які класичні методи контрастування ріжуть або спотворюють.

- добре поєднується з людським сприйняттям (особливо якщо оцінювати SSIM/VIF).

- цікаво працює в комбінації з нейромережами (мережа вчиться підбирати параметри шуму і нелінійності).

Недоліки методу наступні:

- потрібен акуратний підбір параметрів (рівень шуму, форма нелінійності).

- не всі типи зображень однаково покращуються (наприклад, дуже сильно зашумлені можуть лише погіршитися).

- реалізація складніша, ніж «просто histogram equalization».

1.9 Порівняння методів покращення візуальної якості зображень

1.9.1 Класичне контрастування (лінійне розтягування).

Найпростіший варіант – лінійне перетворення яскравості:

$$I'(x, y) = \frac{I(x, y) - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \cdot (L_{\max} - L_{\min}) + L_{\min} \quad (1.10)$$

де $I(x, y)$ – вихідне зображення, $I_{\min}, I_{\max}$ – мінімум і максимум яскравості на зображенні (або вибраний піддіапазон), $L_{\min}, L_{\max}$ – новий бажаний діапазон (наприклад 0 і 255), $I'(x, y)$ – результат після контрастування.

Це детерміноване лінійне перетворення, в якому немає шуму, одна й та ж формула застосовується до всіх пікселів (глобально).

1.9.2 CLANE (адаптивне гістограмне вирівнювання з обмеженням контрасту).

CLANE будується на ідеї локальної гістограмної трансформації. Зображення ділиться на блоки (tiles). Для кожного блока обчислюється локальна гістограма $h_k(i)$, де i – рівень яскравості, k – номер блока. Гістограму «обрізають» (clipping) за порогом T та розподіляють надлишок. Обчислюють локальну кумулятивну функцію розподілу (CDF):

$$C_k(i) = \sum_{j=0}^i h_k(j) \quad (1.11)$$

Локальне відображення для блока k :

$$I'_k(x, y) = f_k(I(x, y)) = \frac{C_k(I(x, y)) - C_{k,\min}}{C_{k,\max} - C_{k,\min}} \cdot (L_{\max} - L_{\min}) + L_{\min} \quad (1.12)$$

Між блоками застосовується інтерполяція, щоб уникнути різких переходів.

Таке перетворення детерміноване, але локально адаптивне, залежить від локальної гістограми, шум не додається спеціально (хоча може підсилюватися як побічний ефект).

1.9.3 Стохастичний резонанс (СР) в обробці зображень

Метод передбачає додавання шуму:

$$I_n(x, y) = I(x, y) + n(x, y) \quad (1.13)$$

де $n(x, y)$ – випадковий шум, часто $n(x, y) \sim \mathcal{N}(0, \sigma^2)$.

Нелінійне перетворення:

$$I_{SR}(x, y) = f(I_n(x, y)) \quad (1.14)$$

де $f(\cdot)$ – нелінійна функція (сигмоїда, $\tanh$, порогова тощо). Наприклад:

сигмоїда:

$$f(z) = \frac{1}{1 + e^{-a(z-b)}} \quad (1.15)$$

гіперболічний тангенс:

$$f(z) = \tanh(kz) \quad (1.16)$$

Можна записати в єдиній формі:

$$I_{SR}(x, y) = f(I(x, y) + n(x, y)) \quad (1.17)$$

Ключові відмінності методу наступні:

- перетворення нелінійне;
- шум спеціально додається як корисний елемент;
- ефект залежить від статистики шуму (σ^2);

Існує оптимальна σ^* :

якість $(I_{SR}) = Q(\sigma) \Rightarrow Q(\sigma)$ має максимум при $\sigma = \sigma^* > 0$, – це і є стохастичний резонанс.

1.9.4 Порівняння в залежності від шуму.

Лінійне контрастування / CLANE:

$$I' = F(I), \quad \text{без } n(x, y)$$

Шум, якщо є, лише «проходить» через перетворення, але не є частиною методу.

Стохастичний резонанс:

$$I_{SR}(x, y) = f(I(x, y) + n(x, y)) \quad (1.18)$$

шум входить у формулу явно і є обов'язковим елементом.

1.9.4 Тип перетворення.

Контрастування:

- глобальне: афінна функція (лінійна);
- локальне (CLANE): монотонне перетворення через CDF, але все одно детерміноване.

СР:

- випадкове + нелінійне: результат – випадкова величина (при фіксованому I);
- властивості посилення структур визначаються формою нелінійності + рівнем шуму.

1.9.5 Підсилення слабких деталей.

Контрастування / CLANE:

- підсилення йде за рахунок перемасштабування або «розтягування» значень:

$$I'(x, y) = g(I(x, y)), \quad (1.20)$$

де g – монотонно зростаюча функція (лінійна чи через гістограму).

СР:

- підсилення слабких деталей відбувається завдяки проходженню через порогову/насичуючу нелінійність: якщо $I(x, y)$ нижче порогу b , $I(x, y) + n(x, y)$ іноді $> b$, тоді середнє значення $f(I(x, y) + n(x, y))$ може бути суттєво більшим, ніж $f(I(x, y))$. Тобто шум «проштовхує» сигнал через нелінійну криву.

Тобто контрастування й CLANE – це різні версії детермінованих перетворень яскравості, а стохастичний резонанс – це нелінійне шумо-спричинене підсилення слабких сигналів, де шум входить у формулу як необхідний елемент.

1.10 Висновки до розділу 1

Проаналізовано поняття візуального сприйняття та візуальної якості зображень. Розглянуто суб'єктивні та об'єктивні оцінки якості зображень. Детально розглянуто об'єктивні методи, які дають можливість автоматизації процесу оцінювання якості зображень.

Проаналізовано способи підвищення візуальної якості зображень, зокрема методи, що проводять зміну яскравості та контрасту, зменшення шуму, підсилення деталей і контурів, корекцію кольору та тону, геометричні перетворення і зміну роздільної здатності, видалення розмиття, локальні та морфологічні методи, методи на основі штучного інтелекту.

Як альтернативний метод покращення пошкоджених зображень розглянуто новий метод, що ґрунтується на явищі стохастичного резонансу, при якому до зображень додається шум із певними параметрами, що призводить до виділення та підсилення зображення в околі слабких пікселів.

Проаналізовано суть стохастичного резонансу та проведено порівняння його застосування із класичними методами обробки. Показано, що метод на основі стохастичного резонансу викликає нелінійне шумо-спричинене підсилення слабких сигналів, де шум є необхідним корисним елементом.

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Загальні відомості

Для того, щоб розробити власний метод застосування стохастичного резонансу до обробки зображень, необхідно проаналізувати відомі дослідження в цьому напрямку та їх практичну реалізацію.

Традиційно шум вважається перешкодою, яка погіршує роботу системи. СР, навпаки, є явищем, при якому шум може бути використаний для покращення, а не для зниження продуктивності системи. СР – це контрінтуїтивне явище, коли наявність шуму в нелінійній системі є важливою для оптимальної продуктивності системи. Першу експериментальну роботу з візуалізації СР було опубліковано Сімонотто з колегами. В одному із досліджень запропоновано метод покращення контрастності, заснований на динамічному стохастичному резонансі (ДСР, DSR) та масштабуванні коефіцієнтів дискретного косинусного перетворення (ДКП) з використанням бістабільної потенційної моделі подвійної ями. Унікальною особливістю цієї методики є використання внутрішнього шуму замість зовнішнього доданого шуму та адаптивна обробка для досягнення оптимальної продуктивності. Були обчислені параметри продуктивності для оцінки покращення контрастності, перцептивної якості та покращення кольору вихідного зображення. Було показано, що техніка покращення на основі DSR перевершує деякі традиційні методи покращення зображення і в просторовій, і в частотній областях перетворення [13].

Багато зображень мають дуже низький динамічний діапазон значень інтенсивності через недостатнє освітлення, і тому їх необхідно обробляти перед відображенням. Покращення зображень необхідне для кращої візуалізації темних зображень, щоб покращити їхнє візуальне сприйняття. У

літературі існує багато методів покращення контрастності, які працюють у просторовій області. З допомогою методів тонального відображення намагаються уникнути ореолів, маніпулюючи градієнтами. Деякі дослідники пропонують використовувати оператор згладжування зі збереженням країв, заснований на методі оптимізації зважених найменших квадратів, який особливо добре підходить для поступового укрупнення зображень та для вилучення деталей у кількох масштабах.

Багато алгоритмів були розроблені як для кольорових, так і для сірих зображень у блочній DCT-області [13]. Однак, є деякі недоліки в обробці зображень за допомогою блочного DCT. Через незалежну обробку блоків, як і в більшості випадків, наявність артефактів поділу на блоки може стати більш помітною в оброблених даних. Іноді на межах зображення можуть з'являтися зайві краї через різкі розриви розподілу інтенсивності.

Відображення кольорового зображення залежить від трьох важливих факторів, а саме: (I) яскравості, (II) контрастності та (III) оригінальної колірної композиції. Цікаво, що більшість попередніх робіт розглядали або яскравість (наприклад, налаштування динамічних діапазонів), або контрастність (наприклад, операції підвищення різкості зображення), а в деяких випадках комбінацію обох атрибутів. Але мало уваги приділялося збереженню кольорів у покращеному зображенні.

Перший експеримент SR для візуалізації зображень був описаний у 1997 році. Дослідники тоді повідомили про результати психофізичного експерименту, який показав, що людський мозок може інтерпретувати деталі, присутні на зображенні, спотвореному змінним у часі шумом, а сприйнята якість зображення визначається інтенсивністю шуму та його часовими характеристиками. Піана та ін. описали два експерименти, пов'язані з візуальним сприйняттям зашумлених літер. Перший експеримент виявив оптимальний рівень шуму, при якому літера розпізнається для мінімального порогового контрасту. У другому експерименті вони продемонстрували, що здатність зорової системи до розпізнавання літер різко зростає у надзвичайно

вузькому діапазоні інтенсивності шуму. Цінхуа та ін. використовували явище SR для покращення зображення низькоконтрастних сонарних зображень. Вони опублікувати техніку покращення зображення, яка показала, що додаткова кількість шуму, окрім шуму самого зображення, буде корисною для покращення низькоконтрастних зображень. Пен та ін. показали новий підхід до попередньої обробки з використанням SR для покращення низькоконтрастних медичних зображень. Контрастність покращується шляхом додавання відповідного шуму до вхідного зображення.

Розглянемо внутрішній стохастичний резонанс для покращення зображення [14]. Метою цього є нейтралізація шуму, спричиненого відсутністю освітлення, та покращення темних областей зображення в моделі з подвійною ямою. Такий підхід полягає в максимізації продуктивності алгоритму з точки зору покращення контрастності та кольору, забезпечуючи при цьому хорошу перцептивну якість (візуальну інформацію). Сам шум використовується для протидії ефекту шуму. Іншими словами, при покращенні на основі DSR невелика кількість додаткового шуму переставляє власний шум, який вже присутній на зображенні. Результатом процесу є як покращення зображення, так і зменшення шуму. Методика на основі DSR ефективно працює як для темних зображень, так і для тих, що мають загалом тьмяний вигляд.

В дослідженні [14] було обрано колірну модель «Відтінок-Насиченість-Значення» (HSV) та обчислено параметри продуктивності для оцінки покращення контрастності, перцептивної якості та покращення кольору вихідного зображення. Було показано, що метод покращення на основі DSR перевершує традиційні методи покращення зображення як у просторовій, так і в частотній областях перетворення.

2.2 Застосування динамічного стохастичного резонансу для покращення низькоконтрастних зображень

Методика, описана в [14], стосується виявлення країв за допомогою вібраційного шуму. Також методика, описана в [15], використовувала нединамічний SR для покращення продуктивності адаптивного вирівнювання гістограми за допомогою SR. Методика, запропонована в [14], засосовувалась для покращення зображень гідролокатора, та передбачає додавання зовнішнього шуму на дворівневі зображення. Як [14], так і [15] використовують концепцію нединамічного SR, яка додає N-паралельних кадрів незалежного та ідентично розподіленого гаусівського шуму та використовує додавання зовнішнього шуму. Всі ці методи працюють у просторовій області. Робота з надпороговим SR використовувала додавання зовнішнього шуму в просторовій області, де випадковий шум неодноразово додавався до зображення та послідовно жорстко пороговався, а потім проводилося загальне усереднення. Змінюючи інтенсивність шуму, при певній оптимальній інтенсивності шуму був отриманий шумоіндукований резонанс. Інші дослідження на основі DSR були засновані на просторовій та вейвлет-областях відповідно.

Основна різниця між попередньою технікою на основі SR та сучасним підходом полягає в наступному: основна увага в попередніх роботах на основі SR була зосереджена на виявленні країв або підвищенні інтерпретованості ознак. Однак аспект покращення контрастності темних зображень за допомогою динамічного SR, особливо в області DCT, не розглядався, а придатність частотної області для його створення була невивченою. На відміну від попередніх методик, які базувалися на додаванні зовнішнього шуму та експериментальному виборі параметрів, вибір параметрів здійснювався шляхом максимізації співвідношення сигнал/шум (SNR) та накладання умови підпорогової природи на вхідне зображення. Основна увага дослідження [17] зосереджена на реальних темних зображеннях, і саме тут

було запропоновано нове застосування динамічного SR з посиленням шумом в області DCT. Було перевірено застосовність DSR з використанням власного шуму через низьке освітлення та збереження і покращення кольору. Основним і новим аспектом такого підходу є: максимізувати продуктивність цього алгоритму з точки зору покращення контрастності та кольору, а також забезпечити гарну перцептивну якість (візуальну інформацію). Тут сам шум використовується для протидії ефекту шуму. Іншими словами, при покращенні на основі DSR невелика кількість додаткового шуму переставляє власний шум, який вже присутній на зображенні. Запропонований підхід був досліджений для використання природи коефіцієнтів постійного та змінного струму блоку DCT, і було виявлено, що він неявно покращує та точно зберігає колір. Шляхом масштабування коефіцієнтів DCT за допомогою DSR у дискретному ітераційному рівнянні було помічено, що загальна контрастність та яскравість зображення збільшуються.

У цій методиці представлено аналогію з моделлю подвійних ям Бенці, де один стан (мінімуми) розглядається як стан поганої контрастності, а інший – як стан підвищеної. Зображення з низькою контрастністю розглядається як сума слабого підпорогового сигналу та шуму (через відсутність належного освітлення). Перехід зображення з низькоконтрастного стану до висококонтрастного індукується "шумовим" резонансом між внутрішнім шумом та підпороговим сигналом після певної кількості ітерацій, що відстежують динаміку руху частинки в подвійній ямці. Коливання навколо середнього значення (мінімумів) подвійної ями вважаються аналогічними ітераціям дискретного рівняння DSR. Запропонована методика [14] дотримується ітераційного алгоритму та вибирає найкращий вихідний сигнал, коли показники продуктивності максимізовані. Запропонована методика вибирає параметри шляхом максимізації SNR, а також пов'язує параметр DSR зі статистичними властивостями самого зображення з низьким освітленням. Застосування DSR було розширено на зображення з низькою контрастністю (щоб зробити його підпороговим сигналом) шляхом накладання умови на

інший параметр, щоб коефіцієнти зображення з низькою контрастністю можна було прийняти як вхідний сигнал для системи SR.

2.3 Суть динамічного стохастичного резонансу

Слово «шум» у загальному розумінні асоціюється з терміном «перешкода». Традиційно вважалося, що наявність шуму може лише погіршити систему. Однак нещодавні дослідження переконливо показали, що в нелінійних системах шум може викликати більш впорядковані режими, які спричиняють підсилення слабких сигналів і збільшують SNR. Іншими словами, шум може відігравати конструктивну роль у підсиленні слабких сигналів.

Загальна поведінка механізму SR показує, що при нижчих інтенсивностях шуму слабкий сигнал не може перетнути поріг, що дає дуже низький SNR. При великих інтенсивностях шуму вихідний сигнал переважається шумом, що також призводить до низького SNR. Але для помірних інтенсивностей шуму він дозволяє сигналу перетнути поріг, що забезпечує максимальне SNR при деяких оптимальних рівнях шуму. Таким чином, графік SNR як функції інтенсивності шуму показує пік при оптимальному рівні шуму, як показано на рис. 2.1, а.

Для покращення контрастності цифрового зображення має бути досліджена та детально розроблена модель бістабільного SR, яку традиційно використовують фізики,. Піксель зображення трансформується, якщо додати гаусівський флуктуаційний шум із середнім нулем, так що піксель переходить зі стану слабого сигналу до стану підсиленого. Таку зміну стану пікселя під впливом шуму можна змоделювати броунівським рухом частинки, розміщеної в системі з подвійним потенціалом, показаній на рис. 2.1, б.

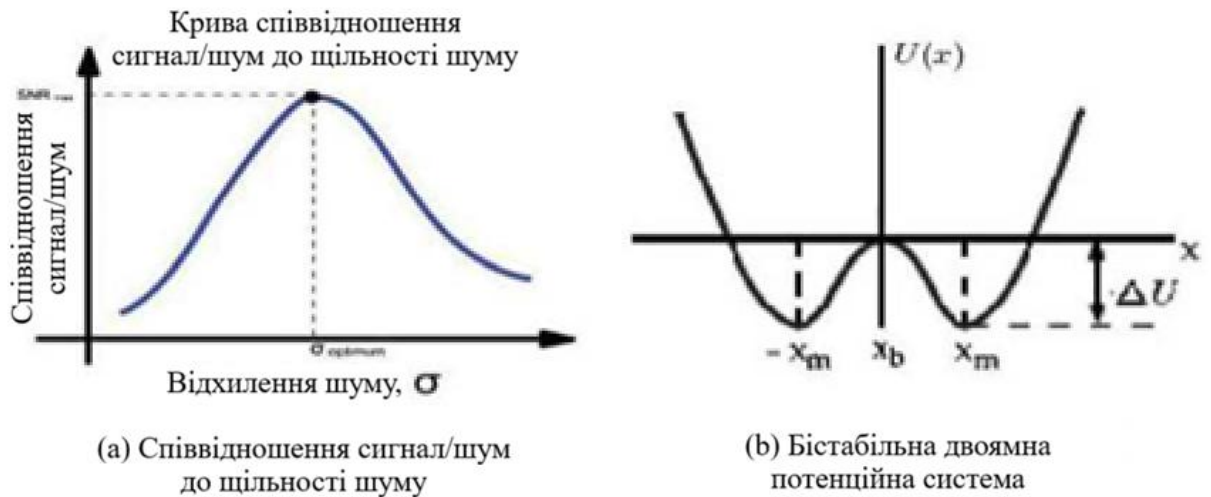


Рис. 2.1. Стохастичний резонанс у долині з подвійною ямою та потенціалом

Класична 1D нелінійна динамічна система, яка демонструє SR, моделюється за допомогою рівняння руху Ланжевена:

$$m \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + \gamma \frac{dx(t)}{dt} = - \frac{dU(x)}{dx} + \sqrt{D} \xi(t). \quad (2.1)$$

Це рівняння описує рух частинки масою m , що рухається за наявності тертя, γ . Відновлювальна сила виражається як градієнт деякої бістабільної або мультістабільної потенційної функції $U(x)$. Крім того, існує адитивна стохастична флуктуація (шум) з інтенсивністю D . Якщо система сильно затухає, інерційним членом $m \frac{d^2 x(t)}{dt^2}$ можна знехтувати. Зміна масштабу системи в рівнянні (2.1) з членом затухання дає стохастичне надзатухаюче рівняння Даффінга, яке часто використовується для моделювання нерівноважних критичних явищ (2.2).

$$\frac{dx(t)}{dt} = - \frac{dU(x)}{dx} + \sqrt{D} \xi(t), \quad (2.2)$$

де $U(x)$ – бістабільний квартичний потенціал (рис. 2.1, б), заданий у рівнянні (2.3).

$$U(x) = -a\frac{x^2}{2} + b\frac{x^4}{4}. \quad (2.3)$$

Тут a та b – додатні бістабільні параметри подвійної ями. Подвійна ямна система є стабільною при $x_m = \pm\sqrt{\frac{a}{b}}$, що розділені висотним бар'єром коли $\xi(t)$ дорівнює нулю.

Додавання періодичного вхідного сигналу $[B \sin(\omega t)]$ до бістабільної системи робить її залежною від часу, динаміка якої визначається рівнянням:

$$\begin{aligned} U(x, t) &= U(x) - Bx \sin(\omega t) \\ &= -a\frac{x^2}{2} + b\frac{x^4}{4} - Bx \sin(\omega t), \end{aligned} \quad (2.4)$$

$$\frac{dx(t)}{dt} = -\frac{dU(x)}{dx} + B \sin(\omega t) + \sqrt{D}\xi(t), \quad (2.5)$$

де B та ω – амплітуда та частота періодичного сигналу відповідно. Вважається, що амплітуда сигналу достатньо мала, щоб за відсутності шуму її було недостатньо, щоб змусити частинку рухатися з однієї ями до іншої. Підставляємо $U(x)$ з рівняння (2.3) у рівняння (2.5).

$$\frac{dx(t)}{dt} = [ax - bx^3] + B \sin(\omega t) + \sqrt{D}\xi(t). \quad (2.6)$$

За відсутності періодичної сили частинка коливається навколо своїх локальних стабільних станів. Швидкість переходу частинки (τ_k) між потенційними ямами під час перемикання, зумовленого шумом, визначається швидкістю Крамера, як у рівнянні (2.7).

$$r_k = \frac{a}{\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{2\Delta U}{D} \right]. \quad (2.7)$$

Коли до частинки одиничної маси в потенційній ямі прикладається слабка періодична сила, відбувається перемикання між потенційними ямами, зумовлене шумом. Коли середній час очікування, $T_k(D) = \frac{1}{r_k}$, між двома міжямковими переходами, зумовленими шумом, задовольняє умову узгодження часової шкали між частотою сигналу ω та часом перебування частинки в кожній ямці, тобто умову, коли виникає резонанс. Іншими словами,

$$2Tk(D) = T\omega, \quad (2.8)$$

де T_ω – період періодичної сили.

Один із способів вимірювання того, наскільки добре положення частинки відображає частоту вхідного сигналу, – це вимірювання спектральної густини потужності (PSD) положення та визначення SNR при ω . Це значення матиме пік при ненульовому значенні D , і тому виникає SR. Оптимальне значення D – це те, яке забезпечує найкраще узгодження часової шкали між ω та часом перебування частинки в кожній ямі. Найпоширенішою величиною SR є SNR. Для симетричної бістабільної системи SNR отримується з:.

$$SNR = \pi \left(\frac{Bx_m}{D} \right)^2 r_k. \quad (2.9)$$

Підставляючи значення r_k з рівняння (2.7) у рівняння (2.9), отримуємо.

$$SNR = \left[\frac{a}{\sqrt{2\pi}} \pi \left(\frac{Bx_m}{D} \right)^2 \right] \exp \left(-\frac{a}{2\sigma_0^2} \right). \quad (2.10)$$

Вираз SNR для динамічного SR наведено нижче.

$$SNR = \left[\frac{4a}{\sqrt{2}(\sigma_0\sigma_1)^2} \right] \exp \left(-\frac{a}{2\sigma_0^2} \right). \quad (2.11)$$

Тут σ_1 — стандартне відхилення доданого шуму в системі на основі SR і σ_0 — це стандартне відхилення внутрішнього шуму вихідної бістабільної системи.

2.4 Вибір параметрів динамічного стохастичного резонансу для покращення зображень

Потенціальна система представляє особливий інтерес, оскільки вона являє собою найпростішу бістабільну систему. Під дією випадкового періодичного впливу частинка проводить більшу частину свого часу поблизу мінімумів подвійної ями, коливаючись навколо середнього положення з прогресивно зростаючими відхиленнями вздовж осі x (рис. 2.1,б). Кожне з цих коливань відповідає ітерації в ітераційному рівнянні DSR. При оптимальній щільності власного шуму (або оптимальній кількості коливань) частинка здійснює перехід в іншу яму. У запропонованій аналогії ця оптимальна кількість шуму досягається за допомогою відповідного дискретного ітераційного рівняння, оскільки кількість ітерацій прямо пропорційна внутрішньому шуму.

Динамічний SR проявляється у вигляді подвійної потенціальної долини, позначеної параметрами a та b , які визначають форму долини (рис. 1,б). Коефіцієнти перетворення (тут DCT) зображення з низькою контрастністю знаходяться у слабкому стані в тому сенсі, що їх розподіл стає випадковим

через власний шум у вигляді відсутності належного освітлення. Застосування DSR передбачає кореляцію параметрів a та b з цими випадковими коефіцієнтами. Коли вміст кожної частоти корелює з оптимальними параметрами бістабільної системи DSR, розкид розподілу коефіцієнтів DCT збільшується, як і загальна контрастність зображення. В результаті зображення у стані поганої контрастності переходить у стан підвищеної контрастності після певної оптимальної кількості коливань навколо стану поганої контрастності.

2.4.1 Вибір області DCT.

Спостерігається, що характер коефіцієнтів DCT в цілому відповідає нормальному розподілу. Коли коефіцієнти струмів налаштовуються за допомогою ітераційного динамічного рівняння SR, виявлено, що дисперсія розподілу коефіцієнта DCT збільшується з ітераціями. Відомо, що коефіцієнт постійного струму дає дисперсію зображення. Таким чином, модифікація коефіцієнта постійного струму кожного блоку збільшить локальну яскравість (це було б дуже корисно для покращення темних зображень). Завдяки поблочній роботі, локальну контрастність та яскравість можна відповідно регулювати. Повідомлялося про різні алгоритми як для кольорових, так і для сірих зображень у блочній DCT-області, такі як покращення мультиконтрасту, шляхом обробки коефіцієнтів змінного струму та їх модифікованої форми шляхом обробки як коефіцієнтів струмів.

2.4.2 Розподіл коефіцієнтів DCT зображення.

Для вхідного зображення з низькою контрастністю спостерігається низький розкид гістограми зображення, а також розподілу його перетворених коефіцієнтів. Оскільки квадрат величини коефіцієнтів означає енергію, розподіл з низькою дисперсією означає, що розподіл енергії зосереджений лише в певних областях, що підтверджує, що зображення, про яке йде мова, має низьку контрастність.

Тепер, якщо DSR застосувати до цих коефіцієнтів DCT, спостерігається збільшення їх дисперсії з ітераціями (рис. 2.2, а та б). Тому, що коефіцієнти

налаштовуються певними бістабільними системними параметрами. Сума квадратів нормалізованих коефіцієнтів змінного струму забезпечує дисперсію зображення. Отже, будь-яка зміна постійного компонента не впливає на його стандартне відхилення. Таким чином, при масштабуванні або модифікації коефіцієнтів ДКП середнє значення та стандартне відхилення обробленого зображення стають деякими кратними до початкового середнього значення та стандартного відхилення відповідно. В результаті контрастність обробленого зображення стає пропорційною певним кратним контрастності вихідного зображення. Інший спосіб інтерпретації полягає в тому, що значення коефіцієнта ДКП позначає кількість присутньої певної частоти. Збільшення дисперсії коефіцієнтів означає, що тепер зайнятий більший діапазон кількості частот. Іншими словами, існує значна варіація кількості різних частот, присутніх у сигналі. Це забезпечить відновлення балансу між низькими та високими частотами, а зображення отримає кращі та більш рівномірно розподілені рівні сірого, що означає високу контрастність вихідного зображення. Це основний механізм того, як DSR працює над покращенням контрастності.

2.5 Типовий алгоритм підвищення контрастності зображень на основі динамічного стохастичного резонансу

Типовий алгоритм виконує покращення контрастності кольорових зображень, ітеративно застосовуючи DSR до коефіцієнтів DCT досліджуваного зображення. Алгоритм враховує вимоги темних та низькоконтрастних зображень. Процедура складається з наступних кроків.

На першому кроці обчислюється поблочне DCT вхідного зображення. Використовуючи простір блокових DCT, локалізовану інформацію можна змінювати або покращувати на послідовних кроках. Тому було застосовано адаптивний вибір розміру блоку. Цей крок гарантує, що артефакти блокування подавляються на виході.

На другому кроці області, які потребують різного ступеня покращення, розділяються за допомогою порогового значення в околі (розмір блоку), визначеному на першому кроці.

Третій крок є найважливішим: вибіркове застосування DSR до коефіцієнтів DCT. Наприклад, на дуже темному зображенні або тьмяному зображенні (з низьким динамічним діапазоном) оператор покращення (DSR) буде застосовано до всього зображення, тоді як на зображенні з високим динамічним діапазоном оператор покращення буде застосовано до вибраних областей, де локальна яскравість нижча за певний поріг. Це робиться для того, щоб підкреслити особливості, які не були видимі на вхідному зображенні, не роблячи яскраві області занадто яскравими. На такому зображенні недостатньо освітлені області слід повторювати частіше, ніж ті, що були переосвітлені. Цей крок гарантує, що фонове освітлення регулюється, а також покращується локальний, а також глобальний контраст.

Для того, щоб дослідити способи, якими оператор DSR змінює перетворені коефіцієнти, та вивчити його вплив на збереження та покращення кольору на покращеному зображенні, алгоритм у своєму поточному вигляді розроблений для роботи на кожній колірній смузі (R, G, B). Такий самий підхід можна поширити на колірні простори Y-Cb-Cr або H-S-V. Оператор DSR також працює з кожним блоком DCT незалежно, і тому може вважатися придатним для реалізації в паралельній конфігурації. Було проведено оптимізоване налаштування параметрів бістабільної системи DSR.

Темне зображення має вузьку гістограму (розподіл інтенсивності), зосереджену на нижньому (темнішому) кінці осі інтенсивності. Зображення з низьким динамічним діапазоном також має вузьку гістограму, але може бути розташоване будь-де по всій доступній осі інтенсивності. Очікується, що зображення з високим динамічним діапазоном матиме дуже темні області разом з деякими дуже яскравими областями. Покращення таких зображень є складним завданням, оскільки більшість доступних алгоритмів покращують темні області, але ціною того, що яскраві області стають занадто яскравими,

що призводить до втрати інформації. Цей аспект вирішується з надзвичайною ефективністю технікою на основі DSR.

Для вимірювання ефективності цього методу на основі DSR потрібно порівняти його продуктивність з іншими традиційними методами. Для цього порівняння необхідно кількісно оцінити якість покращеного зображення. Оскільки потрібно оцінити продуктивність цього методу з точки зору контрастності, перцептивної якості, а також ступеня покращення кольору, було обрано три показники F, PQM та CEF.

Показник покращення контрастності (F) базується на глобальній дисперсії та середньому значенні оригінального та покращеного зображень. Можна стверджувати, що коли зображення покращується та досягається чіткіша неоднорідність у його структурі, значення покращення можна характеризувати варіацією індексу контрастності Мішельсона (який задається співвідношенням розкиду та середньої інтенсивності зображення). Тому було використано дескриптор, який називається індексом якості контрастності зображення Q, такий, що

$$Q = \frac{\sigma^2}{\mu}, \quad (2.12)$$

де σ і μ – це, відповідно, стандартне відхилення та середнє значення зображення. Оцінка відносного коефіцієнта підсилення контрастності F здійснюється шляхом обчислення співвідношення значень показників якості контрастності після підсилення (Q_b) та до підсилення (Q_a). Отже,

$$F = \frac{Q_B}{Q_A}. \quad (2.13)$$

Для оцінки перцептивної якості використано метрику без посилання для оцінки якості зображення, реконструйованого з простору блокового DCT, з

урахуванням видимих артефактів блокування та розмиття, яку названо метрикою перцептивної якості (PQM).

$$PQM = \alpha + \beta B^{\gamma_1} A^{\gamma_2} Z^{\gamma_3}, \quad (2.14)$$

де α , β , γ_1 , γ_2 , і γ_3 – параметри моделі, які були оцінені на основі суб’єктивних тестових даних. B – середня блоковість, оцінена як середні різниці між межами блоків по горизонталі та вертикалі. A – середня абсолютна різниця між зразками зображення всередині блоку, а Z – коефіцієнт перетину нуля. Значення PQM має бути близьким до 10 для найкращої перцептивної якості. Оскільки важливим є спостереження за якістю з точки зору покращення кольору, використано метрику CM. Якщо R , G та B – червоний, зелений та синій компоненти зображення I , і нехай $\alpha = R - G$ та $\beta = (R + (G/2)) - B$, тоді CM зображення визначається наступним чином.

$$CM(I) = \sqrt{\sigma_\alpha^2 + \sigma_\beta^2} + 0.3\sqrt{\mu_\alpha^2 + \mu_\beta^2}, \quad (2.15)$$

де σ_α і σ_β – це стандартні відхилення α і β . Аналогічно, μ_α і μ_β є їхніми засобами. CNEF було визначено наступним чином.

$$CEF = \frac{CM(Output)}{CM(Input)}. \quad (2.16)$$

Для гарного покращення кольору та контрастності відповідні значення CEF та F повинні бути більшими за 1.

Запропонований ітераційний алгоритм на основі DSR для покращення контрастності складається з наступних кроків.

1) Крок 1: блокове DCT

Розглядається вхідне зображення розміром $M \times N$, і обчислюється його блочне DCT 8×8 . Малий розмір блоку є кращим для збереження безперервності покращеного вихідного зображення, оскільки відомо, що DCT, при обробці блоками, створює артефакти блокування в оброблених даних. Однак в областях, де спостерігаються незначні зміни яскравості, а також відсутні різкі переходи, можна використовувати більший розмір блоку для зменшення обчислень. Оскільки артефакти блокування більш помітні в областях, де значення яскравості значно змінюються, особливо поблизу країв різких переходів значень яскравості, було прийнято адаптивний вибір розміру блоку. Щоб придушити ефект артефактів, тут блоки DCT були розкладені на менші блоки, якщо необхідно, і над ними виконувалися обчислення. Пізніше ці менші блоки об'єднуються в блок початкового розміру.

Адаптивний розмір блоку для DCT: У цьому випадку блоки, що мають значні варіації, були ідентифіковані шляхом дослідження стандартних відхилень нормалізованих коефіцієнтів змінного струму. Якщо стандартне відхилення перевищує порогове значення, блок 8×8 розкладається на чотири підблоки 4×4 тощо. Цей крок також створює неоднорідну сітку для створення маски на кроці -2, оскільки розмір блоку не фіксований для всього зображення. Пізніше чотири покращені підблоки можна знову об'єднати в блок 8×8 .

2) Крок 2. Вибір областей для покращення. Усе зображення може потребувати або не потребувати покращення контрастності. Існують різні практичні зображення, на яких певні частини вже достатньо яскраві, але певні області потребують акцентування особливостей, які втрачаються через недостатнє освітлення. На таких зображеннях, де деякі області яскраві, DSR застосовується більшою мірою до тих областей, які темні. Щоб знайти ці області, оцінюється локальна інтенсивність у кожному блоці зображення розміром $m \times n$, і ті блоки, де локальна яскравість (середнє значення) та контраст (дисперсія) перевищують певний поріг, обробляються окремо. Коефіцієнти DCT можна використовувати для позначення середньої яскравості. Ці розміри блоків (або околиці аналізу) були визначені адаптивним

процесом на кроці 2. Використовуючи метод дворівневого порогового визначення, можна визначити поріг у кожному околі, і пікселі зі значеннями інтенсивності, що перевищують поріг, відокремлюються від тих, що знаходяться нижче нього, за допомогою бінарної маски. Таким чином, для кожної кольорової смуги створюється бінарна маска для розділення темних і світлих областей. Залежно від вимог до зображення, світлі області ітерувалися за допомогою DSR, але менше разів, ніж темні, для досягнення помірного загального контрасту. Випадок дуже темного зображення можна розглядати як окремий випадок вищезгаданого вибору, де локальне середнє значення всіх блоків нижче порогового значення та потребує покращення.

3) Крок 3 застосування DSR

Припускаючи початкові значення бістабільних параметрів Δt , k та m , вибрані коефіцієнти DCT налаштовуються за допомогою DSR наступним чином. Припускаючи $\Delta t = 0.001\text{-s}$, $a_i = k \times 2\sigma_{0i}^2$, $b_i = m \times (4a_i^3)/27$. Бістабільні параметри, a та b , обчислюються для кожного блоку з використанням його локальної дисперсії (σ_{0i}). Тут k – це коефіцієнт, що позначає матовість області зображення (задається оберненою величиною (дисперсія $\times$ динамічний діапазон)), а m – коефіцієнт, значно менший за 1 (щоб гарантувати, що b менше за своє максимальне значення, щоб вхідний сигнал був слабким і придатним для застосування на DSR).

Ініціалізація матриці розмірності $M \times N$ як нуль. $x(0) = 0$. Використовуючи бістабільні параметри DSR, налаштовуємо коефіцієнти DCT відповідно до рівняння (2.12) як

$$x(n+1) = x(n) + \Delta t[ax(n) - bx^3(n) + DCTcoefficients], \quad (2.17)$$

де x позначає набір налаштованих коефіцієнтів, а n – кількість ітерацій. Важливо зазначити, що призначення дисперсії блоку ДКП при обчисленні параметра a впливає з припущення, що коефіцієнти ДКП зображення з

низькою контрастністю містять як сигнальну інформацію, так і шум через недостатнє освітлення. Оскільки шум є невід'ємною частиною коефіцієнтів ДКП, стандартне відхилення внутрішнього шуму можна прирівняти до стандартного відхилення коефіцієнтів ДКП. Оскільки алгоритм побудовано в сценарії блокового ДКП, локальна дисперсія ДКП вважається локальною дисперсією шуму. Зворотне ДКП обчислюється для налаштованого набору коефіцієнтів.

4) Крок 4. Оптимізація параметрів. Оптимізація параметрів виконується відносно всіх показників продуктивності F, PQM та CEF, щоб алгоритм досяг цільової продуктивності. Це забезпечує не тільки хороший контраст, але й краще візуальне сприйняття разом із покращенням кольору.

Існує чотири основні параметри, що контролюють роботу DSR: a , b – що визначають форму подвійної ями, Δt , та n – що визначають різницеве рівняння DSR.

Значення параметра a залежить від k (області зображення) та стандартного відхилення коефіцієнтів DCT у локальному околі. Іншими словами, його значення отримується зі статистики зображення (та перетворення зображення) і тому є фіксованим. Значення m , Δt та n ініціалізуються як $m = 10^{-10}$, $\Delta t = 0,001$ та $n = 500$. Початкове значення F, PQM та CEF вважається 0,01. Щоб алгоритм покращення давав оптимальні результати, обчислюється кожна метрика продуктивності для окремого вихідного покращеного зображення, і кожен параметр аналізується на значення, при якому досягається максимальна метрика продуктивності (F, PQM та CEF). Для найкращої продуктивності F та CEF повинні бути якомога більшими. За цих умов на F та CEF, а також обмеження на PQM, оптимальне значення конкретного параметра вибирається шляхом лінійної максимізації F та CEF поблизу PQM = 10. Потім кожен інший параметр оптимізується аналогічно, зберігаючи решту трьох параметрів постійними.

2.6 Результати практичного застосування типового алгоритму

Описаний метод був протестований на різних типах темних та низькоконтрастних зображень у градаціях сірого та кольорових зображеннях. Результати були порівняні з багатьма різними існуючими методами покращення контрастності та було виявлено, що вони забезпечують помітне покращення контрастності. Для оцінки якості вихідного зображення були розраховані та відображені показники продуктивності. Найкращі результати вибрано за оптимальними значеннями трьох показників продуктивності: відносного коефіцієнта покращення контрастності (F), PQM та CEF.

Можна помітити, що рис. 2.2, а, 2.3, а та 2.4 а, є зображеннями з низькою контрастністю з деякими добре освітленими ділянками на передньому плані, але повністю темними та нерозрізненими рисами на задньому плані.

Для таких зображень, шляхом вибору маски для кожної кольорової смуги після аналізу середньої яскравості в локальному околі, коефіцієнти, для яких потрібна обробка, вибиралися та показані на рис. 2.5. Очевидно, що після певної кількості ітерацій з використанням оптимізованих бістабільних параметричних значень темні ділянки різко покращуються, тоді як яскраві ділянки мало зазнають впливу. Було помічено, що покращений вихідний сигнал є плавним.

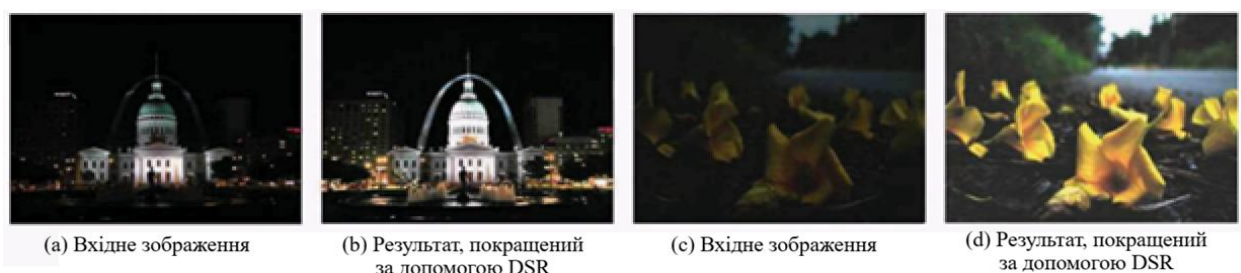


Рис. 2.2. Вхідне частково темне зображення з недоосвітленим фоном. Вихідне зображення показує покращений фон без втрати інформації в уже освітленій області.



Рис. 2.3. Вхідні дані – темне та низькоконтрастне зображення. Вихідні дані демонструють значне покращення в темніших областях без будь-яких артефактів

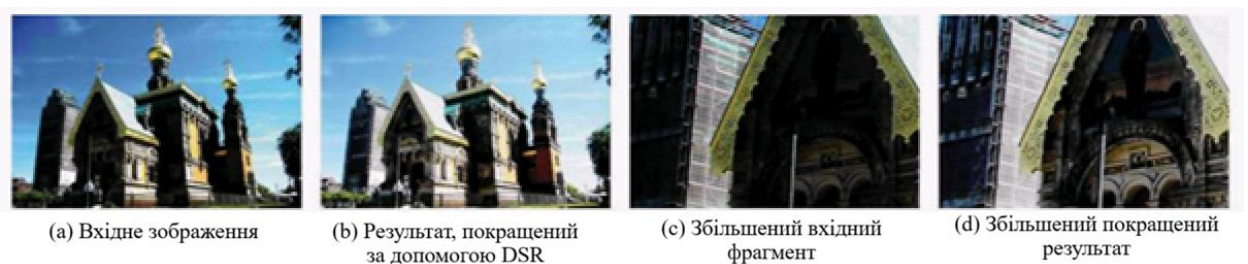


Рис. 2.4. Вхідне зображення (а) та збільшене вхідне зображення (в).
Покращені зображення (б, г)

Рис. 2.4, в, г показують збільшену область рис. 2.4, а та б відповідно. Чітко видно, що на виході, покращеному за допомогою DSR, спостерігається багато деталей темних ділянок.

Описана методика DSR на основі DCT забезпечує помітне покращення контрастності в порівнянні з іншими існуючими методиками. У порівнянні з результатами багатомасштабного розкладання зі збереженням країв спостерігається більша яскравість кольорових векторів, хоча деталі лише незначно покращені.

Однією з відмінних властивостей запропонованої методики на основі DSR є покращення дуже темних зображень. Значення градацій сірого навіть дуже темних областей (майже нуль) можна змінити, щоб значно покращити деталі зображення. Це призводить до дуже високих значень F та CEF. Ця властивість не спостерігається в жодній іншій існуючій методиці.

Запропонована техніка DSR-DCT досягає значень коефіцієнта підсилення контрастності (F) вищих, ніж більшість технік для всіх типів зображень. Також спостерігається, що DSR-DCT досягає набагато вищої контрастності та CM, ніж більшість інших технік на основі SR.

2.7 Висновки до розділу 2

Проаналізовано відомі дослідження в напрямку застосування стохастичного резонансу до обробки зображень. Традиційно шум вважається перешкодою, яка погіршує роботу системи. Стохастичний резонанс, навпаки, є явищем, при якому шум може бути використаний для покращення, а не для зниження продуктивності системи.

Детально проаналізовано застосування динамічного стохастичного резонансу для покращення низькоконтрастних зображень. Показано, що методика динамічного стохастичного резонансу на основі дискретного косинусного перетворення забезпечує помітне покращення контрастності в порівнянні з іншими існуючими методиками. Також спостерігається покращення дуже темних зображень.

РОЗДІЛ 3

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1 Формулювання вимог до проєктованого методу

Як згадувалось раніше, часто у зображеннях слабкі сигнали (темні деталі, слабкий контраст) є візуально не помітні. Однак, якщо додати помірний випадковий шум, він може допомогти "виділити" слабкі пікселі, зробивши їх більш помітними візуально після обробки. Після цього застосовують нелінійну обробку (наприклад, порогову фільтрацію або функцію активації), яка підсилює корисний сигнал і відкидає шум.

Таким чином, проєктований метод має насамперед передбачати можливість додавання до зображення шуму із можливістю регулювання параметрів цього шуму. Амплітуда шуму має підбиратись експериментально (занадто сильний шум зіпсує зображення, занадто слабкий — не підсилить сигнал).

На наступному етапі має проводитись нелінійна обробка шляхом застосування функції, яка виділяє сигнали, що перевищують певний поріг. Це дозволить підсилити слабкі деталі, які "виділились з шумового фону". Також доцільною буде можливість повторити процес кілька разів і усереднити результати для зменшення залишкового шуму.

Для середовища Matlab було проведено розробку програми, яка підтримує роботу із сіро-рівневими та кольоровими (RGB) зображеннями, передбачає автоматичне оновлення СР при зміні параметрів, забезпечує наочне порівняння отриманого після обробки зображення із оригіналом. Для власне обробки в методі реалізовано алгоритм стохастичного резонансу в плані багаторазового додавання шуму, нелінійної порогової обробки, усереднення результатів та фінального підсилення контрасту.

Власне текст програми наведено в Додатку А.

3.2 Структура та призначення основних етапів роботи пропонованого методу

1) Насамперед файл оголошує функцію SR_GUI:

```
function SR_GUI
```

```
...
```

```
end
```

Всередині цієї функції створюється:

- головне вікно (figure),
- панель керування з елементами GUI (slider, кнопки тощо),
- вікна відображення (axes),
- callback-функції, які виконують:
- завантаження зображення;
- запуск / оновлення SR (live-update);
- збереження GIF;
- обчислення SR для одного каналу (SR_channel).

2) Створення головного вікна та панелі

```
h.fig = figure(...);
```

```
h.panel = uipanel('Parent',h.fig,...);
```

`h.fig` – основне вікно програми.

`h.panel` – ліва панель, де знаходяться слайдери, кнопки, режим порівняння.

Виконується також:

```
h.I = [];
```

```
h.I_SR = [];
```

```
guidata(h.fig,h);
```

`h.I` – оригінальне зображення (double, 2D або 3D).

`h.I_SR` – останній SR-результат.

`guidata` зберігає структуру `h` як “дані GUI”.

3) Слайдери параметрів SR

3.1) Рівень шуму noise_level

```
h.noise_slider=icontrol(...,'Min',0,'Max',0.2,'Value',0.05,'Callback',@live_update);
```

Задає діапазон шуму: від 0 до 0.2.

Початкове значення – 0.05.

Callback → @live_update: при будь-якому переміщенні слайдера SR-процес перераховується і результат оновлюється на екрані.

3.2) Попіг threshold

```
h.thr_slider=icontrol(...,'Min',0,'Max',1,'Value',0.2,'Callback',@live_update);
```

Попіг нелінійної обробки у діапазоні [0,1].

Пікселі нижче порогу обнуляються (вважаються «надто слабким сигналом»).

3.3) Кількість ітерацій

```
h.iter_slider = uicontrol(...,'Min',1,'Max',50,'Value',20,...  
                        'SliderStep',[1/50 5/50],...  
                        'Callback',@live_update);
```

Скільки разів додавати шум і виконувати порогову обробку.

Чим більше ітерацій, тим:

- згладженіший результат;
- більш стабільне підсилення слабких структур;
- але довше обчислення.

4) Вибір режиму порівняння SR vs Original

```
h.compare_mode = uicontrol(h.panel,'Style','popupmenu',...  
                        'String',{'Difference map', 'Contrast difference', 'Heatmap difference'},...  
                        'Callback',@live_update);
```

Випадаючий список:

Difference map – просто $|SR - Original|$;

Contrast difference – те саме, але через `imadjust`;

Heatmap difference – різниця перетворюється в «теплову карту».

При зміні режиму теж викликається `live_update`, а панель порівняння перераховується.

5) Кнопки

5.1) Завантаження зображення

```
h.load = uicontrol(...,'String','Завантажити зображення', 'Callback',
@load_image);
```

Викликає функцію `load_image`.

5.2) Створення GIF

```
h.gif = uicontrol(...,'String','Створити GIF','Callback',@save_gif);
```

Викликає `save_gif`, яка генерує анімацію процесу SR.

6) Вікна відображення (axes)

```
h.ax1 = axes(...); % Оригінал
```

```
h.ax2 = axes(...); % SR результат (Live)
```

```
h.ax3 = axes(...); % (зараз не використовується в live, але доступне)
```

```
h.ax4 = axes(...); % Порівняння SR vs Original
```

Під час роботи GUI:

ax1: показує завантажене зображення.

ax2: результат SR (оновлюється при зміні слайдерів).

ax4: карта різниці SR – Original (залежно від режиму порівняння).

ax3: резерв (можна використовувати, наприклад, для гістограм).

7) Функція `load_image`

```
function load_image(~,~)
```

```
    [file, path] = uigetfile(...);
```

```
    I = imread(fullfile(path,file));
```

```
    I = im2double(I);
```

```
    h.I = I;
```

```
    axes(h.ax1); imshow(I); title('Оригінал');
```

```
    guidata(gcf,h);
```

```
    live_update();
```

```
end
```

Відкривається діалог вибору файлу (uigetfile).

Завантажене зображення перетворюється у тип double в діапазоні [0,1] (im2double).

Зберігається в h.I.

Малюється в ax1.

Одразу викликається live_update, щоб відразу показати SR-результат із поточними параметрами.

8) Функція live_update – серце live-SR

```
function live_update(~,~)
```

```
    h = guidata(gcf);
```

```
    if isempty(h.I), return; end
```

```
    noise_level = get(h.noise_slider,'Value');
```

```
    threshold = get(h.thr_slider,'Value');
```

```
    iterations = round(get(h.iter_slider,'Value'));
```

```
    I = h.I;
```

Якщо зображення ще не завантажене – нічого не робимо.

Зчитуємо значення зі слайдерів (поточні параметри SR).

8.1) SR для RGB і grayscale

```
if size(I,3)=3
```

```
    I_SR = zeros(size(I));
```

```
    for c = 1:3
```

```
        I_SR(:, :, c) = SR_channel(I(:, :, c), noise_level, threshold, iterations);
```

```
    end
```

```
else
```

```
    I_SR = SR_channel(I, noise_level, threshold, iterations);
```

```
end
```

Якщо зображення кольорове (size(I,3)=3):

- розділяємо на 3 канали (R,G,B);
- для кожного застосовуємо SR окремо (SR_channel);
- збираємо назад у I_SR (того ж розміру).

Якщо сіро-рівневе – обробляємо одноканальне.

Далі:

```
h.I_SR = I_SR;
```

```
axes(h.ax2);
```

```
imshow(I_SR);
```

```
title('SR результат (Live)');
```

результат показується в ax2.

8.2) Формування карти порівняння

```
mode = get(h.compare_mode,'Value');
```

```
switch mode
```

```
    case 1 % Difference map
```

```
        CMP = abs(I_SR - I);
```

```
    case 2 % Contrast-enhanced difference
```

```
        CMP = imadjust(abs(I_SR - I));
```

```
    case 3 % Heatmap difference
```

```
        diffmap = abs(I_SR - I);
```

```
        diffmap = diffmap / max(diffmap(:));
```

```
        CMP = ind2rgb(gray2ind(diffmap,256), jet(256));
```

```
end
```

```
axes(h.ax4);
```

```
imshow(CMP);
```

```
title('SR vs оригінал');
```

Режим 1: Difference map

- просто абсолютна різниця $|SR - Original|$.

- дає уявлення, де саме зміни були найбільшими.

Режим 2: Contrast difference

- те саме, але після `imadjust`, який розтягує контраст.

- структури різниці стають більш видимими.

Режим 3: Heatmap difference

- рахується $diffmap = abs(I_SR - I)$;

- нормалізується до $[0,1]$;
- переводиться в RGB-картинку з `colormap jet`.

Візуально це «теплова карта» змін.

9) Функція `SR_channel` – стохастичний резонанс для одного каналу

`function OUT = SR_channel(Ic, noise_level, thr, iters)`

```
acc = zeros(size(Ic));
for k = 1:iters
    noise = noise_level * randn(size(Ic));
    noisy = Ic + noise;
    enhanced = noisy;
    enhanced(noisy < thr) = 0;
    acc = acc + enhanced;
end
OUT = acc / iters;
OUT = imadjust(OUT);
end
```

Пояснення по кроках:

acc – акумулятор (накопичувач) результатів усіх ітерацій.

Цикл по `k = 1:iters`:

- генеруємо гаусівський шум `randn(...)`;
- додаємо шум до каналу: `noisy = Ic + noise`;
- виконуємо порогову нелінійність:
- усі пікселі, де `noisy < thr`, обнуляються;
- решта пропускаються як є - таким чином «виділяються» слабкі сигнали,

які шум «підштовхнув» вище порогу.

- результат додається в acc.

Після циклу:

- усереднюємо: `OUT = acc / iters`;
- покращуємо контраст: `imadjust(OUT)`.

Це і є реалізація стохастичного резонансу:

- шум іноді піднімає слабкі сигнали вище порогу;
- усереднення багатьох таких спроб виділяє стійкий корисний сигнал і

згладжує шум.

10) Функція `save_gif` – анімований SR-процес

```
function save_gif(~,~)

...

noise_level = get(h.noise_slider,'Value');
threshold   = get(h.thr_slider,'Value');
iterations  = round(get(h.iter_slider,'Value'));

...

f = figure(...);
acc = zeros(size(I));
```

Запитуємо ім'я GIF-файлу (`uinputfile`).

Беремо поточні параметри зі слайдерів.

Створюємо окрему фігуру `f`, де будемо відображати 3 панелі:

- Original,
- Noisy,
- SR (усереднений по поточній кількості кроків).

Всередині циклу `for k = 1:iterations`:

Для RGB:

- для кожного каналу:
- шум, порогова обробка, накопичення в `acc(:, :, c)`;
- `I_avg` – поточний усереднений SR для цього кроку;
- `I_noisy` – поточна шумна версія.

Для grayscale – аналогічно, без третього виміру.

Далі:

```
subplot(1,3,1); imshow(I); title('Оригінал');
subplot(1,3,2); imshow(I_noisy); title(['Шум. ітерація ', num2str(k)]);
subplot(1,3,3); imshow(I_avg); title('SR');
```

формуємо зображення кадру, захоплюємо `getframe(f)`, переводимо в індексоване зображення (`rgb2ind`), і записуємо в GIF через `imwrite`.

Таким чином, GIF відображає динаміку того, як SR покращує зображення з кожною ітерацією.

3.3 Результати експериментальних досліджень

Тестовим зображенням використано зображення – CAPTCHA. Власне, це тест, який використовується для розрізнення між людиною та комп'ютером (ботом) шляхом вирішення простого завдання, яке легко виконується людиною, але є складним для автоматизованої програми. Вигляд тестового зображення наведено на рис. 3.1.

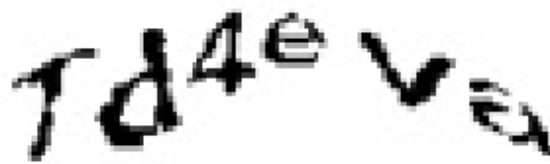


Рис. 3.1. Вигляд тестового зображення

В процесі перевірки користувач має ввести наведений на зображенні текст без помилок. При цьому зображення часто є спотворені, із значними дефектами, видаленими пікселями тощо. При цьому людина може виконати таке завдання практично без помилок, однак часто через складність візуального розрізнення користувачі змінюють такі зображення в процесі автентифікації. Так, на рис. 3.1 видно, що значно пошкоджено вигляд літер Т та а. Тому проведено покращення такого зображення розробленим методом.

На рис. 3.2 наведено вигляд інтерфейсу розробленої програми.

На рис. 3.3 (а) наведено вигляд інтерфейсу із завантаженим тестовим зображенням і встановленим мінімальним рівнем шуму, середніми налаштуваннями (б) та максимальними налаштуваннями (в).

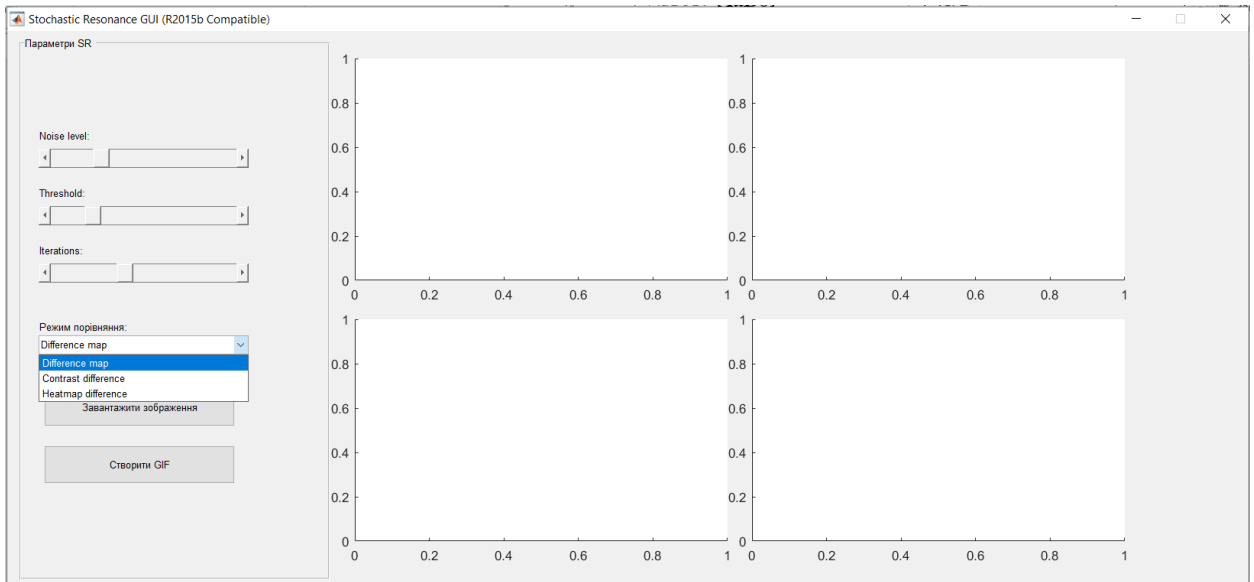


Рис. 3.2. Вигляд інтерфейсу розробленої програми

З рис. 3.3 видно, що при додаванні шуму починають виокремлюватись краї тексту і він стає більш сприйнятним візуально.



Рис. 3.3. Вигляд інтерфейсу із завантаженням тестовим зображенням та мінімальним рівнем шуму (а), середніми налаштуваннями (б) та максимальними налаштуваннями (в)

На наступному етапі методом підбору візуально було підібрано такі параметри роботи методу, при яких зображення отриманого тексту сприймалось максимально якісно. Це показано на рис. 3.4. Попри те, що на зображенні присутній значний рівень фоновому шуму, який був штучно доданий в процесі реалізації стохастичного резонансу, окремі букви тексту стало набагато простіше диференціювати візуально, тобто візуальне сприйняття покращилось.

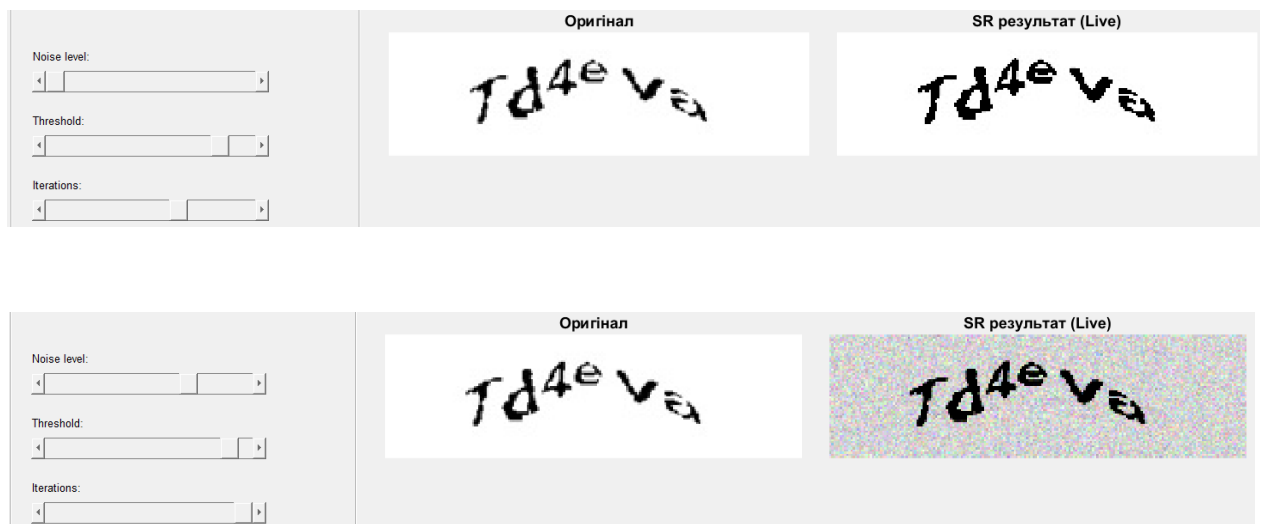


Рис. 3.4. Підбір параметрів роботи методу для максимального візуального сприйняття зображення

Також на рис. 3.5 наведено вигляд іншого тестового зображення та отриманих вихідних зображень при різних параметрах обробки.

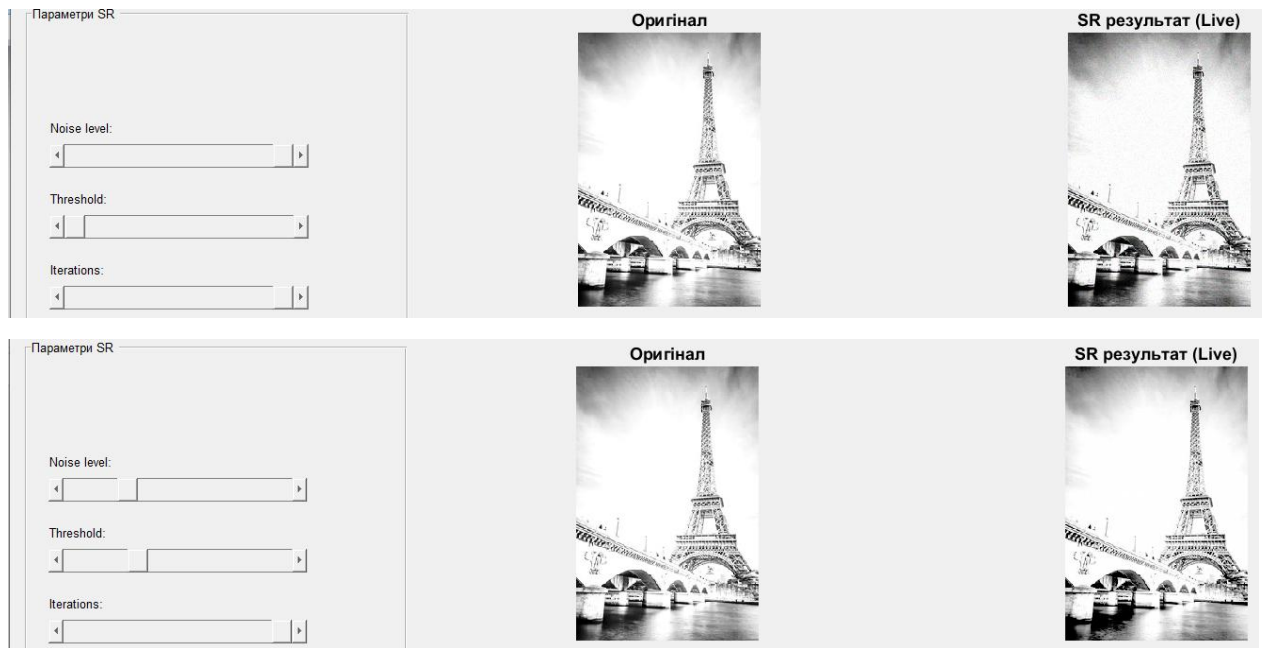


Рис. 3.5. Результати обробки іншого тестового зображення

Таким чином встановлено, що застосування стохастичного резонансу до обробки пошкоджених зображень справді дає можливість підвищення рівня візуального сприйняття пошкоджених зображень, а розроблена програма дає можливість пошуку оптимальних параметрів обробки, зокрема рівня доданого шуму.

3.4 Висновки до розділу 3

Проведено формулювання вимог до проєктованого методу підвищення рівня візуального сприйняття пошкоджених зображень на основі стохастичного резонансу.

Для середовища Matlab було проведено розробку програми, яка підтримує роботу із сіро-рівневими та кольоровими (RGB) зображеннями, передбачає автоматичне оновлення СР при зміні параметрів, забезпечує наочне порівняння отриманого після обробки зображення із оригіналом. Для власне обробки в методі реалізовано алгоритм стохастичного резонансу в плані багаторазового додавання шуму, нелінійної порогової обробки, усереднення результатів та фінального підсилення контрасту.

Як тестове зображення було використано пошкоджене зображення САРТСНА. Встановлено, що при додаванні шуму з допомогою розробленого методу в зображенні починають виокремлюватись краї тексту і він стає більш сприйнятним візуально. Попри те, що на зображенні присутній значний рівень фоновому шуму, який був штучно доданий в процесі реалізації стохастичного резонансу, окремі букви тексту стало набагато простіше диференціювати візуально, тобто візуальне сприйняття покращилось.

Таким чином встановлено, що застосування стохастичного резонансу до обробки пошкоджених зображень справді дає можливість підвищення рівня візуального сприйняття пошкоджених зображень, а розроблена програма дає можливість пошуку оптимальних параметрів обробки, зокрема рівня доданого шуму.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Охорона праці

Відповідно до ст. 13 розд. III Закону України «Про охорону праці» від 14 жовтня 1992 р. № 2694-XII роботодавець зобов'язаний створити на робочому місці в кожному структурному підрозділі умови праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечити додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці.

Заходи щодо виконання вимог електробезпеки офісних працівників регламентують наступні нормативні документи:

- Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці (НПАОП 0.00-4.12-05), затверджене наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці України від 26 січня 2005 р. № 15;
- Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів, затверджені наказом Міністерства палива та енергетики України від 25 липня 2006 р. № 258 (*далі* — ПТЕЕС);
- Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів, затверджені наказом Міністерства праці та соціальної політики України, Комітету по нагляду за охороною праці від 9 січня 1998 р. № 4;
- Правила пожежної безпеки в Україні, затверджені наказом Міністерства внутрішніх справ України від 30 грудня 2014 р. № 1417.

Відповідно до п. 2.2 розд. II Загальних вимог стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників, затверджених наказом Міністерства надзвичайних ситуацій [від 25 січня 2012 р. № 67](#), роботодавець має забезпечити повну і вичерпну інформацію працівників та їх уповноважених представників з питань охорони праці про можливі небезпечні

ситуації, про вжиті заходи для їх запобігання або їх ліквідації та про дії працівників у аварійних ситуаціях.

Електробезпека — система організаційних та технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого та небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики.

Тобто електробезпека — це відсутність будь-яких факторів з боку електроустановки, які можуть створити загрозу і небезпеку життю і здоров'ю людини. Не варто під терміном «електроустановка» розуміти щось таке, що може знаходитись поза межами офісу. Адже, наприклад, настільна лампа це також електроустановка. Тобто пристрій, в якому є перетворення електричної енергії в той чи інший вид енергії (світлову, механічну, теплову), і буде вважатись електроустановкою.

Заходи електробезпеки, на які необхідно звернути особливу увагу:

1. Облаштування електромережі, зокрема:

- правильний розподіл навантаження на всі приміщення офісу;
- правильний розподіл електромережі за призначенням (наприклад: освітлення — це одна група, робоча зона — інша);
- якість самих комплектуючих електромережі (розетки, вимикачі, лампи, світильники);
- чи є потенціал для збільшення навантаження (на випадок створення додаткових робочих місць чи розширення компанії);
- використання офісного обладнання, в якому електроенергія застосовується за призначенням згідно з технічними рекомендаціями виробника.

2. Виважений підхід до питання використання стаціонарних або мобільних електрогенераторів для зменшення енергозалежності:

- консультація зі спеціалістом електротехнічного фаху (якщо не призначений відповідальний за електрогосподарство) щодо вибору генератора відповідно до потреб енергоспоживання;

- якщо електрогенератор стаціонарний — необхідно виконати вимоги, зазначені в п. 9.1-9.20 розд. VIII ПТЕЕС;
- якщо електрогенератор мобільний (бажано з вмонтованою автоматикою введення резерву) — правильно виконати підключення з урахуванням можливих наслідків у випадку появи струму в зовнішній електромережі.

4.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях

Долікарська допомога при шоку

Травматичний шок — складний патогенний процес, що виникає внаслідок важкої механічної травми, опіку і характеризується порушенням функцій життєво важливих органів та систем організму.

При комбінованих хімічно-радіаційних ушкодженнях, опіках тканин і органів травматичний шок спостерігається у 30% потерпілих.

В генезі травматичного шоку першочергову роль відіграють такі чинники: втрата крові і біль, розлад дихання, порушення процесів метаболізму, інтоксикація організму недоокисненими продуктами обміну речовин внаслідок руйнування тканин.

Чинники, які сприяють розвитку шоку запізніле і неповноцінне надання долікарської допомоги, вторинна травматизація в процесі транспортування в лікарню, повторна втрата крові, переохолодження або перегрівання, фізично-емоційне перенапруження, стреси, тривале недоїдання та зневоднення організму тощо.

При пораненнях зміни виникають у підкіркових утвореннях великого мозку та в системі периферійного кровообігу (перерозподіл крові, яка забезпечує життєдіяльність органів, передусім серця і мозку). Розвиваються циркулярна гіпотонія, спазм посткапілярних венул (випотіває плазма в позаклітинний простір), набряк і згущення крові. Знижується венозний тиск,

слабнуть нирки, печінка, легені, відбувається тромбоутворення, розвиток незворотних змін в органах.

Травма кишечника призводить до інтоксикації організму, ускладнюється стан пораненого, спостерігається розлад дихання і кровообігу. Порушується функція нервової системи. Шок має дві фази: еретильну і торпедну.

Еретильна фаза шоку супроводжується збудженням, надмірною рухливістю. Мова уривчаста, погляд неспокійний, шкірний покрив блідий, іноді виникає гіперемія (різке потовиділення), пульс відхилений від норми — сповільнений або прискорений (100 пульсацій за 1 хвилину). Дихання часте, поверхнєве.

Торпідна фаза шоку — фаза пригнічення. Розрізняють 4 ступеня:

I ступінь (легка форма шоку). Це результат ізольованих уражень середньої важкості та втрати 500 — 1000 мл. крові, стан помірного психічного гальмування, блідий шкірний покрив, артеріальний тиск 100 — 95 мм. рт. ст. Прогноз сприятливий.

II ступінь — середня важкість шоку, численні ушкодження тіла, втрата крові до 1000 — 1500 мл, стан важкий, хоч орієнтація і свідомість не втрачені, шкіра бліда, губи ціанотичні, психічна загальмованість, пульс — 110 — 130 пульсацій за 1 хвилину, тиск — 90 — 75 мм рт. ст., нестійкий, прогноз сприятливий при проведенні протишокової терапії.

III ступінь — важкий шок, виникає при важких ушкодженнях грудної клітки, черевної порожнини. Крововтрата — 2000 мл., стан важкий, виражена психічна загальмованість, іноді ступор. Шкіра бліда, ціанотична, пітніє, слизові оболонки сухі, гіпотермія, гіподинамія, зниження сухожильних рефлексів, розлад у роботі нирок, сечовиділення, пульс — 120-160 пульсацій за 1 хвилину, тиск — 75 мм рт. ст., дихання поверхнєве, без протишовкових заходів прогноз несприятливий.

VI ступінь — термітний стан (передагональний, агональний та клінічна смерть) вкрай важкий для потерпілого. Втрата свідомості, шкіра холодна,

трупна, ціанотична, вкрита липким холодним потом, зіниці розширені, не реагують на світло, пульс не промацується, крайній ступінь шоку веде до клінічної смерті.

Діагностика шоку ґрунтується на визначенні показників, які характеризують загальний стан потерпілого. Найважливіший показник - рівень артеріального тиску. Чим він нижчий, тим глибший розлад функцій організму, його життєдіяльності. Величина крововтрати - найоб'єктивніший показник ступеня важкості шоку.

Перебіг клінічного шоку залежно від локалізації поранення чи опіку має такі особливості: проникаючі поранення черевної порожнини до 80% спричиняють шок; проникаючі поранення грудної клітки зумовлюють гемоторакс, відкритий пневмоторакс. При пораненнях і ушкодженнях тазу — кровотеча до 2,5 л. При ушкодженнях кінцівок — крововтрата до 2 л., біль, інтоксикація.

Профілактична і долікарська допомога при шоку.

Під час шоку усувають дію травмуючих чинників і чинників розвитку шоку, зупиняють кровотечу, перев'язують рани, усувають загрозу асфіксії; вводять 5-подібну трубку (повітропровід); при порушенні зовнішнього дихання в долікарську допомогу входить очищення порожнини рота і носоглотки, усунення западання язика, відновлення прохідності дихальних шляхів; при пневмотораксі накладається пов'язка; проводиться інгаляція киснем, зупинення зовнішньої кровотечі; вводяться серцево-судинні й аналектичні засоби (виконує фельдшер); здійснюється фіксація кінцівок. Ввівши повторно знеболювальні засоби, дають гарячий чай та інші напої.

У разі стихійного лиха, аварій, коли має місце масове надходження потерпілих, їх медично сортують.

В першу чергу виділяють поранених з важким ступенем шоку: 1-га, 2-га група — поранені в стані шоку 1 — 2 год., їм надають протишокову допомогу, тоді оперують; до 3-ї групи належать поранені з ознаками шоку, яких можна прооперувати трохи пізніше. В першу чергу зупиняють кровотечу,

компенсують крововтрати, потім нормалізують об'єм циркулюючої крові. Гостра крововтрата (50%) веде до смерті.

Кожна велика втрата крові (зниження тиску до 80 — 70 мм рт. ст.) мусить бути негайно компенсована шляхом переливання крові у вени потерпілого (визначають групу крові, резус-фактор донора і реципієнта) можна робити інфузію плазми крові, поліглюкін тощо.

Розрідження крові при введенні кровозамінників сприяє поліпшенню капілярного кровотоку.

Крововтрата організмом до 700 мл. компенсується самостійно, за рахунок інфузії плазми крові, введення сольових багатокomпонентних розчинів. Рівень гемоглобіну має бути 65%.

При кисневому голодуванні організму проводять оксигенотерапію. При зупиненні дихання — штучне дихання «з рота до рота». При порушенні функцій печінки і нирок вводять 500 мл. глюкози 1 раз на добу з інсуліном (1 ОД. інсуліну на 5 г глюкози).

Температура повітря в протишоковій палаті — 20 — 24°C.

Потерпілому дають гарячий чай, каву, нагріте вино, закутують ковдрою.

Синдром тривалого стискання тканин буває внаслідок землетрусів, коли люди опиняються під уламками споруд і будинків. У потерпілих поряд з переломами, опіками, може спостерігатися синдром тривалого стискання тканин, зокрема тканин верхніх і нижніх кінцівок. При розтروщенні і розчавлюванні тканин різко погіршується кровообіг у м'язах, виникають анемія, гіпонія тканин, інтоксикація, нервово-рефлекторний розлад, спазми капілярів, артерій, гостра серцево-судинна недостатність, набряки. Плазма крові пропотіває в міжклітинний простір (об'єм циркулюючої плазми зменшується на 50%), знижується артеріальний тиск, може настати гостра ниркова недостатність і порушення сечовиділення.

Синдром тривалого стискання тканин характеризується трьома періодами:

1-й — ранній — набряки тканин і гострий розлад гемодинаміки, триває 1—3 доби.

2-й — проміжний період — гостра ниркова недостатність, від 5 діб до 1,5 місяців.

3-й — пізній період — гангрена, флегмони, абсцеси.

Кінцівка потерпілого набрякає, шкіра багряно-синя, іноді пухирі з бурштиново-жовтою рідиною, пульсація послаблена або відсутня, чутливість шкіри знижена або втрачена. Згущення крові. Погіршується загальний стан організму. Холодний піт на шкірі, різкий біль на місці травми, нудота і блювання. Пульс - 100—120 пульсацій за 1 хв., тиск — 60 мм рт. ст. Сеча червоного кольору. Тип клініки торпідної фази травматичного шоку. Наростає загальна інтоксикація організму, спостерігається гостра ниркова недостатність, іноді гангрена кінцівки, абсцеси і флегмони, може виникнути атрофія м'язів. Ускладнюється рухливість суглобів, пошкоджуються нервові стовбури.

Існують 4 ступені прояву синдрому стискання:

I ступінь — дуже важкий — стискання м'яких тканин або кінцівок протягом 6 — 8 год., потерпілі, як правило, гинуть через 2 — 3 доби;

II ступінь — важкий — стискання рук чи ніг протягом 4 — 7 год., потерпілі можуть загинути;

III ступінь — середньої важкості — стискання рук чи ніг до 6 год., лікування до 3 місяців;

IV ступінь — легкий — стискання рук чи ніг до 2 год. Порушення помірні. Прогноз сприятливий.

Перша медична і долікарняна допомога.

Звільнення від стискання є початком клінічного прояву синдрому стискання тканин. Коли дві кінцівки зазнали стискання (компресія) протягом 8 год., при наявності переломів обов'язкова ампутація. Накладається джгут (вище від місця стискання). Вводяться знеболюючі, антигістамічні та серцево-

судинні препарати, призначаються антибіотики, проводять правцеве щеплення.

4.3. Висновки до розділу

В розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» описано електробезпеку при роботі з обладнанням, а також долікарську допомогу при шоку.

ВИСНОВКИ

Проаналізовано поняття візуального сприйняття та візуальної якості зображень. Розглянуто суб'єктивні та об'єктивні оцінки якості зображень. Детально розглянуто об'єктивні методи, які дають можливість автоматизації процесу оцінювання якості зображень.

Проаналізовано способи підвищення візуальної якості зображень, зокрема методи, що проводять зміну яскравості та контрасту, зменшення шуму, підсилення деталей і контурів, корекцію кольору та тону, геометричні перетворення і зміну роздільної здатності, видалення розмиття, локальні та морфологічні методи, методи на основі штучного інтелекту.

Як альтернативний метод покращення пошкоджених зображень розглянуто новий метод, що ґрунтується на явищі стохастичного резонансу, при якому до зображень додається шум із певними параметрами, що призводить до виділення та підсилення зображення в околі слабких пікселів.

Проаналізовано суть стохастичного резонансу та проведено порівняння його застосування із класичними методами обробки. Показано, що метод на основі стохастичного резонансу викликає нелінійне шумо-спричинене підсилення слабких сигналів, де шум є необхідним корисним елементом.

Проаналізовано відомі дослідження в напрямку застосування стохастичного резонансу до обробки зображень. Традиційно шум вважається перешкодою, яка погіршує роботу системи. Стохастичний резонанс, навпаки, є явищем, при якому шум може бути використаний для покращення, а не для зниження продуктивності системи.

Детально проаналізовано застосування динамічного стохастичного резонансу для покращення низькоконтрастних зображень. Показано, що методика динамічного стохастичного резонансу на основі дискретного косинусного перетворення забезпечує помітне покращення контрастності в

порівнянні з іншими існуючими методиками. Також спостерігається покращення дуже темних зображень.

Проведено формулювання вимог до проєктованого методу підвищення рівня візуального сприйняття пошкоджених зображень на основі стохастичного резонансу.

Для середовища Matlab було проведено розробку програми, яка підтримує роботу із сіро-рівневими та кольоровими (RGB) зображеннями, передбачає автоматичне оновлення СР при зміні параметрів, забезпечує наочне порівняння отриманого після обробки зображення із оригіналом. Для власне обробки в методі реалізовано алгоритм стохастичного резонансу в плані багаторазового додавання шуму, нелінійної порогової обробки, усереднення результатів та фінального підсилення контрасту.

Як тестове зображення було використано пошкоджене зображення САРТСНА. Встановлено, що при додаванні шуму з допомогою розробленого методу в зображенні починають виокремлюватись краї тексту і він стає більш сприйнятним візуально. Попри те, що на зображенні присутній значний рівень фонового шуму, який був штучно доданий в процесі реалізації стохастичного резонансу, окремі букви тексту стало набагато простіше диференціювати візуально, тобто візуальне сприйняття покращилось.

Таким чином встановлено, що застосування стохастичного резонансу до обробки пошкоджених зображень справді дає можливість підвищення рівня візуального сприйняття пошкоджених зображень, а розроблена програма дає можливість пошуку оптимальних параметрів обробки, зокрема рівня доданого шуму.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Burger, W.; Burge, M. J. Digital Image Processing: An Algorithmic Introduction. 3rd ed. Cham: Springer, 2022. XXV, 945 p. DOI: 10.1007/978-3-031-05744-1.
2. Umbaugh, S. E. Digital Image Processing and Analysis: Computer Vision and Image Analysis. Boca Raton: CRC Press, 2023. 4th ed. 440 p. DOI: 10.1201/9781003221135.
3. Barbu, T. Digital Image Processing, Analysis and Computer Vision Using Nonlinear Partial Differential Equations. Cham: Springer, 2025. VIII, 157 p. DOI: 10.1007/978-3-031-89576-0.
4. Esakkirajan, S.; Veerakumar, T.; Subudhi, B. N. Digital Image Processing: Illustration using Python. Singapore: Springer, 2025. XXIV, 870 p. DOI: 10.1007/978-981-96-6382-8.
5. Trigka, M.; Dritsas, E. A Comprehensive Survey of Deep Learning Approaches in Image Processing // Sensors. 2025. Vol. 25(2). Art. 531. DOI: 10.3390/s25020531. [MDPI](#)
6. Su, J.; Xu, B.; Yin, H. A Survey of Deep Learning Approaches to Image Restoration // Neurocomputing. 2022. Vol. 487. P. 46–65. DOI: 10.1016/j.neucom.2022.02.046.
7. Dastres, R.; Soori, M. Advanced Image Processing Systems. Int. J. Imaging Robot. 2021, 21, 27–44.
8. Xu, B.; Jiang, Z.-P.; Wu, X.; Repperger, D.W. Theoretical analysis of image processing using parameter-tuning stochastic resonance technique. In Proceedings of the 2007 American Control Conference, New York, NY, USA, 9–13 July 2007.
9. Zhang, X.; Zhang, H.; Guo, J.; Zhu, L.; Lv, S. Research on mud pulse signal detection based on adaptive stochastic resonance. J. Pet. Sci. Eng. 2017, 157, 643–650.

10. R. Benzi, A. Sutera, and A. Vulpiani, "The mechanism of stochastic resonance," *Journal of Physics A: Mathematical and General*, vol. 14, no. 11, pp. L453–L457, 1981.
11. Y. Leng, E. Zhao, P. Shi, and Y. Zhang, "Image processing of two-dimensional stochastic resonance parameter adjustment," *Journal of Tianjin University*, vol. 10, pp. 907–913, 2011.
12. Gammaitoni, L., Hanggi, P., Jung, P. & Marchesoni, F. Stochastic resonance. *Rev. Mod. Phys.* 70, 223–287 (1998).
13. Wang, Z., Sheikh, H.R., Bovik, A.C.: „No-reference perceptual quality assessment of jpeg compressed images“. *Proc IEEE Int. Conf. on Image Processing*, New York, USA, 2002, vol. 1, pp. 477–480.
14. Y. Yang, Z. Jiang, B. Xu, and D. W. Reppinger, "an investigation of two-dimensional parameter-induced stochastic resonance and applications in nonlinear image processing," *Journal of Physics A: Mathematical and theoretical*, vol. 42, no. 14, Article ID 145207, 2009.
15. Z. Wang, Z. Qiao, L. Zhou, and L. Zhang, "Array-enhanced logical stochastic resonance subject to colored noise," *Chinese Journal of Physics*, vol. 55, no. 2, pp. 252–259, 2017.
16. Y. Yao and J. Ma, "Weak periodic signal detection by sine-Wiener-noise-induced resonance in the tzhugh-nagumoneuron," *Cognitive Neurodynamics*, vol. 12, no. 3, pp. 343–349, 2018.
17. X. Shi and Z. Wang, "stability analysis of fraction-order hoppeld neuron network and noise-induced coherence resonance," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2020, Article ID 3520972, 58 pages, 2020.
18. Dozorskyi V., Dediv I., Sverstiuk S., Nykytyuk V., Karnaukhov A. The Method of Commands Identification to Voice Control of the Electric Wheelchair. *Proceedings of the 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023)*. CEUR Workshop Proceedings. Ternopil, Ukraine, June 14-16, 2023. P.233-240. ISSN 1613-0073.

19. Khvostivska L., Khvostivskyi M., Dediv I., Yatskiv V., Palaniza Y. Method, Algorithm and Computer Tool for Synphase Detection of Radio Signals in Telecommunication Networks with Noises. Proceedings of the 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023). CEUR Workshop Proceedings. Ternopil, Ukraine, June 14-16, 2023. P.173-180. ISSN 1613-0073.

20. Khvostivska L., Khvostivskyi M., Dunets V., Dediv I. Mathematical, algorithmic and software support of synphase detection of radio signals in electronic communication networks with noises. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol 111, no 3, 2023. pp. 48–57.

21. Основи технології радіоелектронних апаратів : навчальний посібник / Р. А. Ткачук, В. Г. Дозорський, Л. Є. Дедів, І. Ю. Дедів. - Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. - 336 с.

22. Dozorskyi V., Dediv L., Kovalyk S., Dozorska O., Dediv I. (2024) Design of the endoskeleton of a biocontrolled hand prosthesis. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol. 115, no 3, pp. 100-111.

23. Дедів І. Ю. Метод автентифікації користувачів за параметрами голосових сигналів / І. Ю. Дедів, М. М. Кузик // Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 16-17 листопада 2017 року. Т.: ТНТУ, 2017. Том 2. С. 47.

24. Методичні рекомендації до виконання, оформлення та захисту кваліфікаційних робіт для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» галузі знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»/уклад.: Дунець В.Л., Хвостівська Л.В., Дедів І.Ю. Тернопіль: ТНТУ, 2024. 56 с.

25. Математичне та комп'ютерне моделювання електрокардіосигналів у системах голтерівського моніторингу / Л.Є. Дедів, А.С. Сверстюк, І.Ю. Дедів, М.О. Хвостівський, В.Г. Дозорський, Є.Б. Яворська. – Львів: Видавництво «Магнолія - 2006», 2021. – 120 с. ISBN 978-617-574-218-1.

26. Математичне моделювання, методи та програмне забезпечення опрацювання дихальних шумів у комп'ютерних аускультативних діагностичних системах / І.Ю. Дедів, А.С. Сверстюк, Л.Є. Дедів, В.Г. Дозорський, М.О. Хвостівський. – Львів: Видавництво «Магнолія - 2006», 2021. – 126 с. ISBN 978-617-574-219-8.

27. Методичні рекомендації з оформлення кваліфікаційних робіт бакалавра за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка» уклад.: Дунець В.Л., Хвостівський М.О. Дедів І.Ю. Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021 р. – 72с.

28. Дозорський В.Г., Дозорська О.Ф., Дедів Л.Є., Дедів І.Ю., Паньків І.М., Яворська Є.Б. Структура системи відбору біосигналів для задачі відновлення комунікативної функції людини. Вісник Хмельницького національного університету: технічні науки. – Хмельницький: редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету". – 2019. - №2(271) – с. 183-186.

29. Dozorska O., Yavorska E., Dozorskyi V., Pankiv I., Dediv L. Dediv I. The Method of Indirect Restoration of Human Communicative Function. Proc. of the 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM), CADSM'2019, (pp. 19–22). Polyana-Svalyava (Zakarpattya), UKRAINE 978-1-7281-0053-1/19.

30. Дозорська О.Ф., Яворська Є.Б., Дозорський В.Г., Дедів Л.Є., Дедів І.Ю. Метод виявлення ознак основного тону в структурі електроміографічних сигналів для задачі компенсації порушеної комунікативної функції людини», Вісник НТУУ "КПІ". Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування, (81), с. 56-64. doi: 10.20535/RADAP.2020.81.56-64.

31. Khvostivska L., Khvostivskyi M., Dunets V., Dediv I.. Mathematical and Algorithmic Support of Detection Useful Radiosignals in Telecommunication Networks. 2nd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems, ITTAP 2022. CEUR Workshop Proceedings. Ternopil 22-24 November 2022. Vol 3309, P. 314-318. ISSN 1613-0073.

32. Гевко О.В., Дозорський В.Г., Дедів Л.Є., Дедів І.Ю., Дозорська О.Ф. Структурний синтез вібротажної апаратури. Перспективні технології та прилади, № 20, Луцьк, 2022. – с. 23-31.

33. Dozorskyi V., Dediv I., Sverstiuk S., Nykytyuk V., Karnaukhov A. The Method of Commands Identification to Voice Control of the Electric Wheelchair. Proceedings of the 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023). CEUR Workshop Proceedings. Ternopil, Ukraine, June 14-16, 2023. P.233-240. ISSN 1613-0073.

34. Khvostivska L., Khvostivskyi M., Dediv I., Yatskiv V., Palaniza Y. Method, Algorithm and Computer Tool for Synphase Detection of Radio Signals in Telecommunication Networks with Noises. Proceedings of the 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023). CEUR Workshop Proceedings. Ternopil, Ukraine, June 14-16, 2023. P.173-180. ISSN 1613-0073.

35. Khvostivska L., Khvostivskyi M., Dunets V., Dediv I. Mathematical, algorithmic and software support of synphase detection of radio signals in electronic communication networks with noises. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol 111, no 3, 2023. pp. 48–57.

36. Основи технології радіоелектронних апаратів : навчальний посібник / Р. А. Ткачук, В. Г. Дозорський, Л. Є. Дедів, І. Ю. Дедів. - Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. - 336 с.

37. Dozorskyi V., Dediv L., Kovalyk S., Dozorska O., Dediv I. (2024) Design of the endoskeleton of a biocontrolled hand prosthesis. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol. 115, no 3, pp. 100-111.

38. Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека». Навчальний посібник / В.С. Стручок, – Тернопіль: ТНТУ ім. І.Пулюя, 2022. – 150 с.

39. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної бо та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. — 156 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Текст програми опрацювання зображень на основі стохастичного
резонансу

```

function SR_GUI
close all; clc;
% === Main figure ===
h.fig = figure('Name','Stochastic Resonance GUI (R2015b Compatible)',...
    'Position',[250 100 1300 580],...
    'MenuBar','none',...
    'NumberTitle','off',...
    'Resize','off');
% === Control panel ===
h.panel = uipanel('Parent',h.fig,...
    'Title','Параметри SR',...
    'Position',[0.01 0.01 0.25 0.98]);
%% ===== SLIDERS =====
% Noise
uicontrol(h.panel,'Style','text','String','Noise level:',...
    'Position',[20 450 150 20],'HorizontalAlignment','left');
h.noise_slider = uicontrol(h.panel,'Style','slider',...
    'Min',0,'Max',0.2,'Value',0.05,...
    'Position',[20 430 220 20],...
    'Callback',@live_update);
% Threshold
uicontrol(h.panel,'Style','text','String','Threshold:',...
    'Position',[20 390 150 20],'HorizontalAlignment','left');
h.thr_slider = uicontrol(h.panel,'Style','slider',...
    'Min',0,'Max',1,'Value',0.2,...
    'Position',[20 370 220 20],...
    'Callback',@live_update);
% Iterations
uicontrol(h.panel,'Style','text','String','Iterations:',...
    'Position',[20 330 150 20],'HorizontalAlignment','left');
h.iter_slider = uicontrol(h.panel,'Style','slider',...
    'Min',1,'Max',50,'Value',20,...
    'SliderStep',[1/50 5/50],...
    'Position',[20 310 220 20],...
    'Callback',@live_update);
%% ===== NEW: Comparison mode selector =====
uicontrol(h.panel,'Style','text','String','Режим порівняння:',...
    'Position',[20 250 200 20],'HorizontalAlignment','left');
h.compare_mode = uicontrol(h.panel,'Style','popupmenu',...
    'String',{'Difference map','Contrast difference','Heatmap difference'},...
    'Position',[20 230 220 25],...
    'Callback',@live_update);
%% Buttons
h.load = uicontrol(h.panel,'Style','pushbutton','String','Завантажити зображення',...
    'Position',[25 160 200 40],'Callback',@load_image);

```

```

h.gif = uicontrol(h.panel,'Style','pushbutton','String','Створити GIF',...
    'Position',[25 100 200 40],'Callback',@save_gif);
%% Axes (4 Panels now)
h.ax1 = axes('Parent',h.fig,'Position',[0.28 0.55 0.30 0.4]);
h.ax2 = axes('Parent',h.fig,'Position',[0.60 0.55 0.30 0.4]);
h.ax3 = axes('Parent',h.fig,'Position',[0.28 0.08 0.30 0.4]);
% === NEW: comparison panel (SR vs Original)
h.ax4 = axes('Parent',h.fig,'Position',[0.60 0.08 0.30 0.4]);
% Data storage
h.I = [];
h.I_SR = [];
guidata(h.fig,h);
%% ===== FUNCTION: Load image =====
function load_image(~,~)
    h = guidata(gcf);
    [file, path] = uigetfile({'*.jpg;*.png;*.bmp;*.tif'},'Choose image');
    if isequal(file,0)
        return;
    end
    I = imread(fullfile(path,file));
    I = im2double(I);
    h.I = I;
    axes(h.ax1);
    imshow(I);
    title('Оригінал');
    guidata(gcf,h);
    live_update();
end
%% ===== FUNCTION: Real-time SR update =====
function live_update(~,~)
    h = guidata(gcf);
    if isempty(h.I)
        return;
    end
    noise_level = get(h.noise_slider,'Value');
    threshold = get(h.thr_slider,'Value');
    iterations = round(get(h.iter_slider,'Value'));
    I = h.I;
    % SR for RGB
    if size(I,3)==3
        I_SR = zeros(size(I));
        for c = 1:3
            I_SR(:, :, c) = SR_channel(I(:, :, c), noise_level, threshold, iterations);
        end
    else
        I_SR = SR_channel(I, noise_level, threshold, iterations);
    end
    h.I_SR = I_SR;
    axes(h.ax2);
    imshow(I_SR);
    title('SR результат (Live)');
    %% ===== COMPARISON PANEL =====

```

```

mode = get(h.compare_mode,'Value');
switch mode
    case 1 % Difference map
        CMP = abs(I_SR - I);
    case 2 % Contrast-enhanced difference
        CMP = imadjust(abs(I_SR - I));
    case 3 % Heatmap difference
        diffmap = abs(I_SR - I);
        diffmap = diffmap / max(diffmap(:));
        CMP = ind2rgb(gray2ind(diffmap,256), jet(256));
end
axes(h.ax4);
imshow(CMP);
title('SR vs оригінал');
guidata(gcf,h);
end
%% ===== SR for single channel =====
function OUT = SR_channel(Ic, noise_level, thr, iters)
    acc = zeros(size(Ic));
    for k = 1:iters
        noise = noise_level * randn(size(Ic));
        noisy = Ic + noise;
        enhanced = noisy;
        enhanced(noisy < thr) = 0;
        acc = acc + enhanced;
    end
    OUT = acc / iters;
    OUT = imadjust(OUT);
end
%% ===== FUNCTION: Save GIF =====
function save_gif(~,~)
    h = guidata(gcf);
    if isempty(h.I)
        error('Спочатку завантажте зображення!');
        return;
    end
    [file,path] = uiputfile('SR.gif','Save GIF');
    if isequal(file,0)
        return;
    end
    gifname = fullfile(path,file);
    noise_level = get(h.noise_slider,'Value');
    threshold = get(h.thr_slider,'Value');
    iterations = round(get(h.iter_slider,'Value'));
    I = h.I;
    f = figure('Position',[200 150 900 300]);
    acc = zeros(size(I));
    for k = 1:iterations
        if size(I,3)==3
            I_noisy = zeros(size(I));
            I_avg = zeros(size(I));
            for c = 1:3

```

```

        noise = noise_level * randn(size(I(:,:,c)));
        noisy = I(:,:,c) + noise;
        enhanced = noisy;
        enhanced(noisy < threshold) = 0;
        acc(:,:,c) = acc(:,:,c) + enhanced;
        I_avg(:,:,c) = imadjust(acc(:,:,c) / k);
        I_noisy(:,:,c) = noisy;
    end
else
    noise = noise_level * randn(size(I));
    I_noisy = I + noise;
    enhanced = I_noisy;
    enhanced(I_noisy < threshold) = 0;
    acc = acc + enhanced;
    I_avg = imadjust(acc / k);
end
subplot(1,3,1); imshow(I); title('Оригінал');
subplot(1,3,2); imshow(I_noisy); title(['Шум. ітерація ',num2str(k)]);
subplot(1,3,3); imshow(I_avg); title('SR');
frame = getframe(f);
[imind,cm] = rgb2ind(frame2im(frame),256);
if k==1
    imwrite(imind,cm,gifname,'gif','Loopcount',inf,'DelayTime',0.2);
else
    imwrite(imind,cm,gifname,'gif','WriteMode','append','DelayTime',0.2);
end
end
close(f);
msgbox(['GIF saved: ',gifname]);
end
end

```

Додаток Б

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ**

МАТЕРІАЛИ

ХІІ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

**«ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ,
СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»**



17-18 грудня 2025 року

**ТЕРНОПІЛЬ
2025**

СЕКЦІЯ 1. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

УДК 621.397

О. Керницький; В. Сікула; Т. Максимів; І. Дедів, к. т. н., доц.

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ВІЗУАЛЬНОГО СПРИЙНЯТТЯ ПОШКОДЖЕНИХ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ СТОХАСТИЧНОГО РЕЗОНАНСУ

UDC 621.397

O. Kernitsky; V. Sikula; T. Maksymiv; I. Dediv, PhD., Assoc. Prof.

THE METHOD FOR ENHANCING THE LEVEL OF DAMAGED IMAGES VISUAL PERCEPTION BASED ON STOCHASTIC RESONANCE

Візуальна якість зображень є ключовим поняттям у цифровій обробці зображень, комп'ютерному зорі, системах стиснення та передавання мультимедійних даних. Від того, наскільки якісно відтворюється зображення, залежить комфорт користувача, точність діагностики в медичних застосуваннях, надійність систем відеоспостереження та ефективність автоматизованих систем розпізнавання. Під візуальною якістю зображення зазвичай розуміють ступінь відповідності між сприйнятим спостерігачем зображенням і тим, що вважається еталонним з точки зору людського зору.

На сьогодні розроблено велику кількість методів покращення якості зображень, що в свою чергу, призводить до покращення їхнього візуального сприйняття. Перспективним до обробки зображень, зокрема покращення візуального сприйняття, є застосування принципу стохастичного резонансу, що є явищем, коли додавання шуму до слабкого сигналу допомагає краще його виявити. У випадку зображень, до них додається певна кількість випадкового шуму та застосовується нелінійна обробка, і в результаті контури, деталі та структури стають видимішими, особливо у темних або низькоконтрастних ділянках. Однак, основною вимогою цього методу є та, що параметри шуму мають бути оптимальними. Якщо порівнювати цей метод із іншими поширеними, то, наприклад, контрастування й адаптивне гістограмне вирівнювання з обмеженням контрасту є різними версіями детермінованих перетворень яскравості, а метод стохастичного резонансу є нелінійним шумо-спричиненим підсиленням слабких сигналів, де шум входить в структуру методу як необхідний елемент.

Для середовища Matlab було проведено розробку програми, яка підтримує роботу із сіро-рівневими та кольоровими (RGB) зображеннями, передбачає автоматичне оновлення параметрів стохастичного резонансу, забезпечує наочне порівняння отриманого після обробки зображення із оригіналом. Для власне обробки в методі реалізовано алгоритм стохастичного резонансу в плані багаторазового додавання шуму, нелінійної порогової обробки, усереднення результатів та фінального підсилення контрасту.

Як тестове зображення було використано пошкоджене зображення САРТЧНА. Встановлено, що при додаванні шуму з допомогою розробленого методу в зображенні починають виокремлюватись краї тексту і він стає більш сприйнятним візуально. Попри те, що на зображенні присутній значний рівень фонового шуму, який був штучно доданий в процесі реалізації стохастичного резонансу, окремі букви тексту стало набагато простіше диференціювати візуально, тобто візуальне сприйняття покращилось.

Таким чином встановлено, що застосування стохастичного резонансу до обробки пошкоджених зображень справді дає можливість підвищення рівня візуального сприйняття пошкоджених зображень, а розроблена програма дає можливість пошуку оптимальних параметрів обробки, зокрема рівня доданого шуму.

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ 1. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

О. Керницький, В. Сікула, Т. Максимів, І. Дедів МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ВІЗУАЛЬНОГО СПРИЙНЯТТЯ ПОШКОДЖЕНИХ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ СТОХАСТИЧНОГО РЕЗОНАНСУ O. Kernitsky, V. Sikula, T. Maksymiv, I. Dediv THE METHOD FOR ENHANCING THE LEVEL OF DAMAGED IMAGES VISUAL PERCEPTION BASED ON STOCHASTIC RESONANCE	3
А. Кондратюк, Я. Литвиненко МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОКАРДІОСИГНАЛУ З АРТЕФАКТАМИ A. Kondratyuk, I. Lytvynenko METHODS FOR MODELING ELECTROCARDIO SIGNAL WITH ARTIFACTS	4
В. Кривень, В. Шаповалов МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ КРУГОВОЇ ПЛАСТИНИ V. Kryven, V. Shapovalov MATHEMATICAL MODEL OF ELECTRICAL RESISTANCE OF A CIRCULAR PLATE	5
С. Литвиненко, М. Фриз ПІДХОДИ ДО МОДЕЛЮВАННЯ СПОСОБІВ ПРОСУВАННЯ ЦІЛЬОВОЇ РЕКЛАМИ S. Lytvynenko, M. Friz APPROACHES TO MODELING METHODS OF TARGETED ADVERTISING	6
І. Плєскул, Д. Кривко, Т. Дубиняк, М. Яворська МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНИМ РЕЖИМОМ ГОСПОДАРСЬКОГО ПРИМІЩЕННЯ I. Pleskun, D. Kryvko, T. Dubyniak, M. Yavorska MODELING OF A TEMPERATURE CONTROL SYSTEM FOR UTILITY ROOMS	7
М. Стрілецький МОДЕЛЬ ЛОТКА-ВОЛЬТЕРРА ОЦІНКИ ЗАБРУДНЕНЬ В ЗОНІ ФУНКЦІОНУВАННЯ МАЛОГО МАШИНОБУДІВНОГО ПІДПРИЄМСТВА M. Striletskyi LOTKA-VOLTERRA MODEL FOR ASSESSING POLLUTION IN THE OPERATIONAL ZONE OF A SMALL MACHINE-BUILDING ENTERPRISE	9
В. Ступка, В. Анненков, І. Дедів МЕТОД СТИСНЕННЯ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ ВЕЙВЛЕТ- КОДУВАННЯ V. Stupka, V. Annenkov, I. Dediv DIGITAL IMAGE COMPRESSION METHOD BASED ON WAVELET CODING	11
В. Сумко, Я. Литвиненко ОГЛЯД МЕТОДІВ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ СИГНАЛІВ В ЗАДАЧАХ ОЦІНЮВАННЯ ЇХ РИТМІЧНОЇ СТРУКТУРИ V. Sumko, I. Lytvynenko A REVIEW OF SIGNAL INTERPOLATION METHODS FOR THE PURPOSE OF ESTIMATING THEIR RHYTHMIC STRUCTURE	12
М. Фриз, Б. Млинко СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДІВ МОНІТОРИНГУ ЗАБРУДНЕНЬ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ M. Fryz, B. Mlynko SYSTEM ANALYSIS OF ATMOSPHERIC AIR POLLUTION MONITORING MODELS AND METHODS	14