

**ДОМЕННО-АДАПТИВНА МЕТОДОЛОГІЯ
БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОЦІНКИ ЯКОСТІ МАСШТАБОВАНИХ
РАСТРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ**

Овсянніков Д.О.

e-mail: dmytro.ovsiannikov@nure.ua

Науковий керівник – д-р техн. наук, проф. Машталір С.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІНФ
м. Харків, Україна

This paper presents a domain-adaptive methodology for evaluating the quality of scaled raster images, bridging the evaluation gap between classical mathematical interpolation and modern AI-based Super-Resolution (SR). Highlighting the fundamental limitations of pixel-based metrics (MSE, PSNR) caused by the perception-distortion tradeoff, the study introduces a structured tri-metric framework (PSNR, SSIM, LPIPS). This approach establishes a unified and objective standard for benchmarking diverse upscaling algorithms.

Інтенсивний розвиток систем цифрової візуалізації та масове поширення дисплеїв надвисокої роздільної здатності (4K/8K) вимагають постійного вдосконалення алгоритмів масштабування растрових зображень. У попередньому дослідженні [1] було розроблено програмний застосунок на базі біквадратичної інтерполяції, який довів, що консервативні математичні методи здатні забезпечити оптимальний компроміс між швидкістю обчислень та якістю. Проте сучасна індустрія переживає парадигмальний зсув: на зміну класичній інтерполяції приходять генеративні нейромережеві моделі (GAN) класу Super-Resolution. Це спровокувало серйозну методологічну кризу – традиційні стандарти оцінки якості зображень виявилися нездатними об'єктивно оцінювати результати новітніх ШІ-алгоритмів. Історично еталоном вважалися попіксельні метрики: середньоквадратична помилка (MSE) та пікове відношення сигнал/шум (PSNR). Їхня фундаментальна вада полягає в ігноруванні візуального контексту. Сучасні нейромережі успішно «домальовують» (синтезують) реалістичні високочастотні текстури. Для людського ока такі зображення виглядають бездоганно, але через мікроскопічні попіксельні зсуви згенерованих деталей відносно оригіналу, алгоритм отримує катастрофічно низькі оцінки PSNR.

Метою дослідження є розробка комплексного, об'єктивного підходу до оцінювання масштабованих зображень, який дозволить коректно порівнювати алгоритми принципово різної природи – від класичних математичних сплайнів до генеративних нейромереж.

На відміну від існуючих підходів, які марно намагаються знайти одну «ідеальну універсальну» метрику, варто використати гнучкий фреймворк. Він базується на тріаді показників (PSNR, SSIM, LPIPS), де ваговий

коефіцієнт кожної метрики динамічно змінюється залежно від домену – кінцевої прикладної сфери використання зображення.

Фундаментом запропонованої методології є математично доведене явище «компромісу між сприйняттям та спотворенням» (Perception-Distortion Tradeoff) [2]. Згідно з цією теоремою, алгоритмічно неможливо одночасно досягти максимальної попиксельної точності та ідеального суб'єктивного візуального сприйняття.

Для об'єктивної оцінки розроблено фреймворк, що охоплює три рівні сприйняття:

- рівень математичної точності (PSNR). Контролює абсолютну попиксельну відповідність оригіналу.
- рівень структурної цілісності (SSIM). Оцінює збереження контурів, контрасту та локальної яскравості, імітуючи базові фізіологічні властивості людського зору [3].
- рівень перцептивного реалізму (LPIPS). Сучасна метрика на базі глибокого навчання, яка оцінює семантичну природність картинки. Вона порівнює активації високорівневих ознак у прихованих шарах згорткових нейромереж (VGG/AlexNet) [4].

Розроблена система класифікує вимоги до масштабування на дві глобальні категорії, формуючи для кожної власні правила оцінки:

- критичний домен (Медицина, супутникова розвідка, криміналістика). У цих сферах синтетичне «домальовування» деталей нейромережами є критично небезпечним (вигадана пухлина на МРТ або хибний об'єкт на супутниковому знімку). Тому тут діє правило абсолютного пріоритету PSNR та SSIM. Алгоритм не має права нічого вигадувати. У цьому домені беззаперечну перевагу мають консервативні методи (наприклад, біквадратична інтерполяція [1]), які математично гарантують відсутність «галюцинацій».

- перцептивний домен (Кінематограф, геймдев, реставрація фотографій, соцмережі). У цій сфері головне – щоб картинка виглядала різкою, деталізованою та красивою для ока глядача. Попиксельна точність не має жодного значення. Тому тут головним критерієм стає мінімізація показника LPIPS. Нейромережеві SR-моделі є ідеальними для цього домену, попри те, що метрика PSNR бракує їхні результати. На рисунку 1 наведено приклад нерівномірності висновків щодо якості зображень у разі застосування базових метрик без урахування специфіки цільової області. Наочно продемонстровано, що генеративні алгоритми формують візуально чітку текстуру з кращим перцептивним балом, проте втрачають попиксельну точність оригіналу, що призводить до невинновано низького показника PSNR порівняно з консервативними математичними методами.

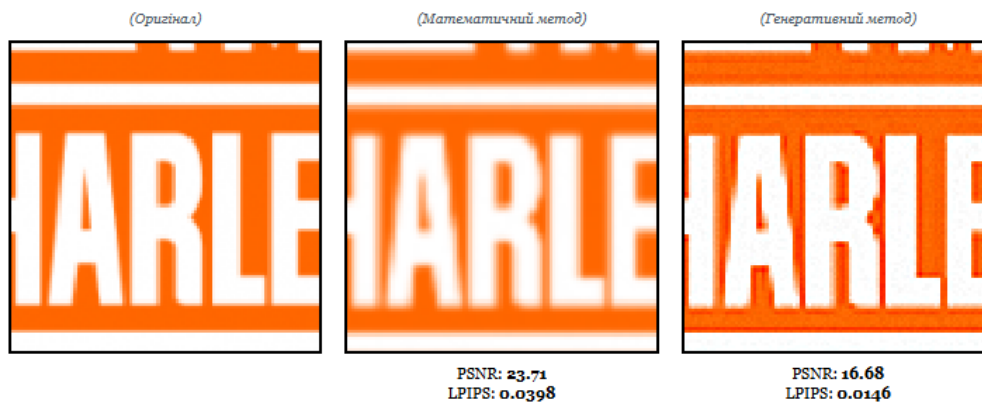


Рисунок 1 – Ілюстрація недоліків уніфікованого методу оцінки ідентичності та компромісу між попіксельною точністю і візуальним сприйняттям

Поява III-генерації назавжди змінила правила обробки зображень. Оцінювати сучасні нейромережі старими математичними метриками так само некоректно, як і вимагати від консервативної математики креативного «домальовування» текстур. Розроблена доменно-адаптивна методологія вирішує цю проблему, пропонуючи прозорий інструментарій для розробників. Застосування фреймворку «PSNR + SSIM + LPIPS» дозволяє обирати найефективніший алгоритм під конкретне бізнес-завдання, гарантуючи або математичну безпеку (у критичних системах), або максимальний візуальний реалізм (у розважальній індустрії).

Список використаних джерел:

1. Овсянніков Д. О. Розробка застосунку збільшення растрових зображень // Current Trends in Scientific Research Development: proceedings of the international conference, May 8-10, 2025. Boston, 2025. P. 254-259.
2. Blau Y., Michaeli T. The Perception-Distortion Tradeoff // 2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2018. P. 6228-6237.
3. Wang Z., Bovik A. C., Sheikh H. R., Simoncelli E. P. Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity // IEEE Transactions on Image Processing. 2004. Vol. 13, No. 4. P. 600-612.
4. Zhang R., Isola P., Efros A. A., Shechtman E., Wang O. The Unreasonable Effectiveness of Deep Features as a Perceptual Metric // 2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2018. P. 586-595.