

ВИКОРИСТАННЯ МЕТРИКИ PSNR ДЛЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ

Вінницький національний технічний університет

Анотація.

Проаналізовано метрику PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio), яка є однією з основних для оцінки якості зображень у задачах стиснення, відновлення та передавання зображень і відео. Розглянуто математичні основи обчислення PSNR, а також її застосування в популярних алгоритмах стиснення зображень, таких як JPEG, JPEG 2000, HEVC, та в відеокодеках H.264 і AV1. Окрему увагу приділено порівнянню PSNR з іншими метриками, такими як SSIM, і обмеженням її використання в контексті сприйняття якості людиною. Обговорено роль PSNR у наукових дослідженнях та програмних продуктах для обробки зображень і відео, таких як Adobe Photoshop, GIMP, OpenCV, FFmpeg, VLC Media Player та HandBrake. Визначено перспективи розвитку метрики, включаючи інтеграцію з іншими методами оцінки якості та використання у нових алгоритмах стиснення, орієнтованих на мобільні пристрої та інтернет-зв'язок.

Ключові слова: PSNR, метрика якості зображень, оцінка спотворень, стиснення зображень, JPEG, відеокодеки, SSIM, алгоритми стиснення, обробка зображень, цифрове зображення, автоматизовані системи.

Abstract.

The article is devoted to the analysis of the PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) metric, which is one of the main metrics for assessing image quality in the tasks of image and video compression, restoration, and transmission. The mathematical foundations of PSNR calculation are considered, as well as its application in popular image compression algorithms such as JPEG, JPEG 2000, HEVC, and in H.264 and AV1 video codecs. Particular attention is paid to the comparison of PSNR with other metrics, such as SSIM, and the limitations of its use in the context of human quality perception. The role of PSNR in scientific research and image and video processing software such as Adobe Photoshop, GIMP, OpenCV, FFmpeg, VLC Media Player, and HandBrake is discussed. Prospects for the development of the metric, including integration with other quality assessment methods and use in new compression algorithms focused on mobile devices and Internet communications, are identified.

Keywords: PSNR, image quality metric, distortion estimation, image compression, JPEG, video codecs, SSIM, compression algorithms, image processing, digital image, automated systems.

Вступ

Оцінка якості зображень є важливим етапом у багатьох галузях, таких як комп'ютерний зір, обробка зображень, стиснення даних та передавання інформації через мережі. Однією з основних задач є визначення того, наскільки стиснене або змінене зображення відповідає оригіналу, не втрачаючи при цьому суттєвої інформації. Для цього використовуються різноманітні метрики, серед яких однією з найпоширеніших є PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) [1]. PSNR є об'єктивною метрикою, що дозволяє оцінити різницю між відновленим і оригінальним зображенням, виражену через відношення потужності сигналу до потужності шуму.

Дана метрика широко використовується для аналізу ефективності методів стиснення зображень, таких як JPEG, а також у задачах, пов'язаних з передаванням зображень по мережах, де важливо зберігати якість при мінімальних затратах ресурсів. Однак, як і будь-яка метрика, PSNR має свої обмеження, особливо коли справа стосується сприйняття якості людиною, що зумовлює потребу у доповненні її іншими методами. У цьому контексті важливо розглядати не лише обчислювальні характеристики PSNR, але й його застосування та порівняння з іншими метриками.

Оцінка якості зображень з використанням метрики PSNR

Оцінка якості зображень є ключовим аспектом візуальної інформаційної обробки, особливо у сфері цифрового зображення та відеосигналів. Однією з найпоширеніших метрик для об'єктивного

аналізу спотворень є Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) [1], яка використовується для порівняння відновленого або стисненого зображення з його еталонним варіантом.

Метрика PSNR розраховується на основі середньоквадратичної похибки – MSE (Mean Squared Error) [2], яка визначає середню різницю між відповідними пікселями двох зображень. Чим менше значення MSE, тим менше спотворень у відновленому зображенні. Значення PSNR виражається в децибелах (dB) та обчислюється за формулою, зображеною на рисунку 1.

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

Рис. 1. Формула обчислення PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio)

де MAX – максимальне можливе значення інтенсивності пікселя (наприклад, 255 для 8-бітного зображення), а MSE обчислюється за формулою, зображеною на рисунку 2.

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} [I(i, j) - K(i, j)]^2$$

Рис. 2. Формула обчислення MSE (Mean Squared Error)

де I (i, j) та K (i, j) – відповідні значення пікселів у вихідному та зміненому зображеннях, а M і N – їхні розміри.

PSNR широко використовується в задачах оцінки алгоритмів стиснення зображень, таких як JPEG, JPEG 2000, HEVC, а також у відеокодеках, наприклад, H.264 та AV1. Високі значення PSNR вказує на високу якість відновленого зображення, хоча суб'єктивне сприйняття може відрізнитися, що обумовлює необхідність використання додаткових метрик, таких як SSIM (Structural Similarity Index).

Метрика PSNR залишається однією з найбільш популярних для оцінки якості зображень завдяки своїй простоті у використанні та швидкості обчислення. Вона широко застосовується у галузях, де важлива точна оцінка відновлення зображень після стиснення чи передачі через канали зв'язку, таких як стиснення зображень (JPEG, PNG), відеокодеки (H.264, HEVC) та обробка зображень у медичній діагностиці.

Порівняно з іншими метриками, такими як SSIM (Structural Similarity Index) [3], яка враховує структурні та текстурні особливості зображень, PSNR зберігає популярність завдяки своїй обчислювальній простоті та чітким математичним характеристикам. Водночас SSIM часто забезпечує кращу кореляцію з суб'єктивним сприйняттям людиною якості зображень, оскільки більш точно відображає сприйняття структурної подібності між зображеннями.

Популярність PSNR можна також пояснити її здатністю надавати об'єктивну оцінку якості, що робить її ефективною в автоматизованих системах оцінки якості. Незважаючи на свою простоту, PSNR має обмеження, зокрема відсутність врахування сприйняття контексту зображення, таких як текстури чи кольорові переходи. У деяких випадках це може призводити до невідповідності між обчисленими та сприйнятими значеннями якості, що вимагає доповнення цієї метрики іншими показниками.

Отже, незважаючи на наявність альтернативних метрик, PSNR залишається основним інструментом для попереднього оцінювання якості зображень завдяки своїй доступності, швидкості та широкому застосуванню в наукових і практичних задачах.

Галузі використання PSNR

Метрика PSNR широко застосовується в численних програмних продуктах та інструментах для обробки зображень та відео. Основною її галуззю використання є алгоритми стиснення зображень, такі як JPEG, JPEG 2000, а також у відеокодеках, таких як H.264 і HEVC (H.265). Наприклад, у популярних графічних редакторах, таких як Adobe Photoshop та GIMP, PSNR часто використовується для оцінки ефективності алгоритмів стиснення при збереженні якості зображення.

Крім того, PSNR є стандартною метрикою в багатьох бібліотеках для обробки зображень і відео, зокрема в OpenCV і FFmpeg. У цих інструментах PSNR дозволяє порівнювати вихідні та відновлені зображення, а також налаштовувати параметри стиснення з урахуванням максимальної допустимої втрати якості.

У сфері наукових досліджень PSNR використовується в системах автоматизованої обробки зображень для перевірки ефективності нових методів стиснення, фільтрації та відновлення зображень. Програмне забезпечення для обробки медіа, наприклад, VLC Media Player та HandBrake, також використовує PSNR для моніторингу якості відео при зменшенні його розміру.

Таким чином, PSNR є важливою частиною інструментарію програмних продуктів, що працюють з мультимедійними даними, забезпечуючи ефективну та об'єктивну оцінку якості оброблених зображень та відео.

Перспективи розвитку PSNR

Метрика PSNR має ряд обмежень, зокрема, вона не враховує структурну подібність зображень та сприйняття людським оком. Одним із напрямків розвитку є інтеграція PSNR з іншими метриками, зокрема SSIM (Structural Similarity Index), що дозволяє враховувати більш глибокі аспекти структурної схожості зображень [4].

Завдяки розвитку машинного навчання та глибинного навчання, виявляється можливим створення нових підходів до оцінки якості зображень, які поєднують об'єктивні методи на основі PSNR з елементами суб'єктивного сприйняття. Моделі, треновані на великих наборах даних, можуть враховувати не тільки технічні параметри, але й емоційне сприйняття зображень користувачем [5].

Іншою перспективою є адаптація PSNR до специфічних умов застосування, таких як стиснення зображень для мобільних пристроїв чи інтернет-зв'язку, де важлива не тільки якість, але й швидкість обробки. Технології, що поєднують PSNR з новими алгоритмами стиснення, можуть суттєво покращити ефективність передачі даних з мінімальними втратами якості.

Отже, хоча PSNR залишається одним з найбільш живих інструментів для оцінки якості зображень, його подальший розвиток передбачає інтеграцію з іншими методами та використання інноваційних підходів для кращого відображення сприйняття та реальних умов обробки зображень.

Висновки

У результаті проведеного аналізу можна зробити висновок, що метрика PSNR є важливим інструментом для об'єктивної оцінки якості зображень, зокрема в контексті стиснення зображень, відеообробки та передавання даних. Завдяки своїй простоті та швидкості обчислення, PSNR широко використовується в таких програмних продуктах, як Adobe Photoshop, GIMP, OpenCV та FFmpeg, а також в популярних відеокодеках і алгоритмах стиснення. Однак, попри свою поширеність, PSNR має обмеження, зокрема відсутність врахування структурної подібності між зображеннями, що обумовлює потребу в інтеграції цієї метрики з іншими методами, такими як SSIM. Врахування сприйняття людиною, а також можливості поєднання PSNR з методами машинного навчання, відкривають нові перспективи для точнішої та гнучкішої оцінки якості зображень у майбутньому. Тому, незважаючи на наявність альтернативних підходів, PSNR залишається важливим етапом у процесах оцінки та оптимізації якості в цифровій обробці зображень та відео.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Peak Signal-to-Noise Ratio as an Image Quality Metric [Електронний ресурс] URL: <https://www.ni.com/en/shop/data-acquisition-and-control/add-ons-for-data-acquisition-and-control/what-is-vision-development-module/peak-signal-to-noise-ratio-as-an-image-quality-metric.html?srsId=AfmBOorpLN7-UW37RPRbi6Z6hwjGaIAZEiThlu9Cz99PhEzIhHafJLVOE>.
2. Mean Squared Error: Definition, Formula, Interpretation and Examples [Електронний ресурс] URL: <https://www.geeksforgeeks.org/mean-squared-error/>.
3. SSIM: Structural Similarity Index – Imatest [Електронний ресурс] URL: <https://www.imatest.com/docs/ssim/>.
4. Peak Signal-to-Noise Ratio vs. Signal-to-Noise Ratio [Електронний ресурс] URL: <https://resources.pcb.cadence.com/blog/2023-peak-signal-to-noise-ratio-vs-signal-to-noise-ratio>.

5. Бобко О.Л., Романюк О.Н., Романюк О.В. Метрики для оцінювання реалістичності графічних зображень. Якість, стандартизація та метрологічне забезпечення: матеріали III міжнародної науково-практичної конференції, Харків - 28-29 січня 2025 року] / за заг. ред. к.т.н., доц. Г. С. Грінченко. Харківський Національний університет ім. В.Н. Каразіна, ННІ «Українська інженерно-педагогічна академія». Харків: ХНУ, 2025. С. 47-50.

Рябоконт Артем Миколайович – студент групи ЗПІ-21б, ФІТКІ, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: artemriaokon17@gmail.com

Романюк Олександр Никифорович – д.т.н., професор, завідувач кафедри програмного забезпечення, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: rom8591@gmail.com.

Riabokon Artem Mykolaiovych – student of group ЗПІ-21b, FITKI, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: artemriaokon17@gmail.com

Romanyuk Oleksandr Nykyforovych – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Software Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: rom8591@gmail.com.