

## **ОГЛЯД МЕТОДІВ СТИСНЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЛИБИННОГО НАВЧАННЯ**

Вінницький національний технічний університет

### **Анотація**

*У роботі проведено аналіз сучасних підходів до стиснення візуальних даних на основі нейромережових архітектур. Проаналізовано переваги використання генеративно-змагальних мереж (GAN) для збереження візуальної якості при низьких бітрейтах.*

**Ключові слова:** стиснення зображень, глибинне навчання, варіаційні автоенкодера, гіперпріори, критерій «швидкість-спотворення», нейронні мережі.

### **Abstract**

*The paper provides an analysis of modern approaches to visual data compression based on neural network architectures. The advantages of using generative adversarial networks (GAN) to maintain visual quality at low bitrates are analyzed.*

**Keywords:** image compression, deep learning, variational autoencoders, hyperpriors, rate-distortion criterion, neural networks.

### **Вступ та постановка задачі**

Класичні стандарти стиснення зображень, такі як JPEG (Joint Photographic Experts Group) та HEVC (High Efficiency Video Coding), базуються на фіксованих лінійних перетвореннях, зокрема на дискретному косинусному перетворенні (Discrete Cosine Transform, DCT) [1]. Натомість методи глибинного навчання (Deep Learning, DL) пропонують використання нелінійних перетворень, параметри яких налаштовуються під час навчання на великих наборах даних. Оптимізація таких систем базується на мінімізації критерію «Швидкість-Спотворення» (Rate-Distortion, R-D), що математично виражається як  $J = R + \lambda D$ , де  $R$  - бітова швидкість передачі даних, а  $D$  - рівень внесених спотворень.

### **Базова архітектура: Варіаційні автоенкодера**

Фундаментом сучасних нейромережових кодеків є варіаційний автоенкодер (Variational Autoencoder, VAE) [2]. У цій архітектурі згортова нейронна мережа (Convolutional Neural Network, CNN) виконує роль аналізуючого перетворення (енкодера), проектуючи вхідне зображення у латентний простір меншої розмірності. Декодер здійснює обернене синтезуюче перетворення. Оскільки операція квантування є недиференційованою, що унеможливує використання методу зворотного поширення помилки, її замінюють додаванням адитивного рівномірного шуму на етапі навчання мережі [3].

### **Еволюція методів: Гіперпріори та авторегресія**

Значним кроком у підвищенні ефективності ентропійного кодування стала концепція гіперпріорів (Hyperpriors) [4]. Це додаткова ієрархічна нейронна мережа, яка передає побічну інформацію про просторову статистику (математичне сподівання та дисперсію) квантованих ознак. Поєднання моделі гіперпріорів з авторегресійними контекстними моделями (Autoregressive Context Models), які враховують причинно-наслідкові зв'язки вже декодованих сусідніх пікселів, дозволило методам глибинного навчання перевершити стандарт HEVC. Порівняння проводиться за метриками Пікового відношення сигналу до шуму (Peak Signal-to-Noise Ratio, PSNR) та багатомасштабного індексу структурної

подібності (Multi-Scale Structural Similarity Index Measure, MS-SSIM) [5].

### Спеціалізовані підходи для складних умов

В умовах наднизьких бітрейтів мінімізація середньоквадратичної похибки (Mean Squared Error, MSE) призводить до втрати високочастотних деталей. Для вирішення цієї проблеми застосовуються генеративно-змагальні мережі (Generative Adversarial Networks, GAN) [6]. Цей підхід дозволяє синтезувати реалістичні текстури, підтримуючи високу візуальну якість суб'єктивного сприйняття. Крім того, для задач прогресивного стиснення (поступового покращення якості при отриманні додаткових даних) ефективно використовуються рекурентні нейронні мережі (Recurrent Neural Networks, RNN), зокрема архітектури довгої короткочасної пам'яті (Long Short-Term Memory, LSTM) [7].

### Висновки

Методи стиснення на основі глибинного навчання демонструють вищу гнучкість та ефективність порівняно з жорстко заданими математичними перетвореннями. Основним напрямком подальших досліджень залишається зниження обчислювальної складності цих алгоритмів для їх ефективної апаратної реалізації та вдосконалення методів квантування безпосередньо у латентному просторі ознак.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Майданюк В. П. Теорія та програмне забезпечення кодування зображень: навчальний посібник [Електронний ресурс] / В. П. Майданюк, О. Н. Романюк. - Вінниця : ВНТУ, 2025. – 112 с.
2. Kingma, D. P., & Welling, M. (2013). Auto-Encoding Variational Bayes. arXiv preprint arXiv:1312.6114.
3. Ballé, J., Laparra, V., & Simoncelli, E. P. (2016). End-to-end optimized image compression. International Conference on Learning Representations (ICLR).
4. Ballé, J., Minnen, D., Singh, S., Hwang, S. J., & Johnston, N. (2018). Variational image compression with a scale hyperprior. International Conference on Learning Representations (ICLR).
5. Minnen, D., Ballé, J., & Toderici, G. D. (2018). Joint autoregressive and hierarchical priors for learned image compression. Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS).
6. Agustsson, E., Tschannen, M., Mentzer, F., Timofte, R., & Van Gool, L. (2019). Generative Adversarial Networks for Extreme Learned Image Compression. Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV).
7. Toderici, G., Vincent, D., Johnston, N., Jin, S. J., Hwang, D., Minnen, D., ... & Covell, M. (2017). Full Resolution Image Compression with Recurrent Neural Networks. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR).

**Майданюк Володимир Павлович** - канд. техн. наук, доцент кафедри програмного забезпечення, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: maidaniuk2000@gmail.com.

**Романюк Олександр Никифорович** - д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри програмного забезпечення, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: rom8591@gmail.com.

**Денисюк Алла Василівна** - асистент кафедри програмного забезпечення, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: dealla@vntu.edu.ua.

**Maidaniuk Volodymyr Pavlovych** - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Software, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: maidaniuk2000@gmail.com.

**Romanyuk Oleksandr Nikiforovich** - Dr. of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Software, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: rom8591@gmail.com.

**Alla Denysiuk** – Assistant, Department of Software, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: dealla@vntu.edu.ua.