

## Адаптивне стиснення при передачі даних у телемедицинських системах

Вінницький національний технічний університет

**Анотація.** *Сучасні телемедицинські системи вимагають ефективних рішень для передавання великих обсягів медичних даних у реальному часі. У роботі розглянуто методи та алгоритми адаптивного стиснення й оптимізації передавання даних у телемедицинських системах, що працюють в умовах нестабільних мереж. Запропоновано підхід, який передбачає вибір оптимального алгоритму стиснення залежно від типу даних та динамічне регулювання параметрів передавання при зміні характеристик комп'ютерної мережі. Проведено моделювання процесу стиснення та передавання, що дозволило оцінити перспективність запропонованих рішень. Отримані результати підтверджують зменшення обсягу переданих даних та підвищення стійкості системи до втрат інформації при збереженні якості медичних зображень, сигналів та інформаційних повідомлень.*

**Ключові слова:** телемедицинські системи, передавання даних, адаптивне стиснення, алгоритми стиснення, медичні зображення

### Вступ

Сучасні телемедицинські системи здійснюють дистанційний моніторинг стану здоров'я пацієнтів, а також передачу даних, зображень та біомедицинських сигналів між лікарями й медичними закладами. Якість роботи таких систем значною мірою залежить від стабільності мережевого з'єднання, пропускну здатності каналів зв'язку та забезпечення захисту передачі даних [1].

Основними складнощами при передаванні даних у таких системах є:

- великий обсяг медичної інформації (рентгенівські знімки, томограми, ЕКГ-сигнали);
- обмежені ресурси каналів зв'язку (невисока пропускну здатність у мобільних мережах);
- забезпечення стабільності мережевого середовища (можливість втрати пакетів, затримки, зміни швидкості з'єднання);
- високі вимоги до безпеки та цілісності даних [2].

### Метод адаптивного стиснення для телемедицинських систем

З урахуванням наведених особливостей запропоновано метод, що базується на адаптивному стисненні даних та виборі оптимального алгоритму передавання інформації для телемедицинських систем залежно від типу даних та характеристик мережевого середовища. Запропонований метод включає поєднання таких складових частин.

Перша частина полягає в адаптивному стисненні даних, що дозволяє зменшити обсяг переданої інформації, що є критично важливим у разі обмежених можливостей мережевих ресурсів. Для цього використовуються різні алгоритми залежно від типу даних. Так, візуальні зображення (КТ, МРТ, рентгенівські та інші знімки), стискаються із втратами з використанням алгоритмів JPEG 2000 і SPIHT, що зменшує їхній розмір при збереженні діагностичної цінності. Біомедицинські сигнали, зокрема ЕКГ та ЕЕГ, стискаються без втрат за допомогою алгоритмів Хаффмана та FLAC, що гарантує повне збереження важливої діагностичної інформації. Вибір відповідного алгоритму здійснюється автоматично, залежно від характеристик даних і вимог до їхньої якості.

Друга частина полягає у оптимізації процесу передавання даних, що включає кілька ключових механізмів. Один із них – моніторинг таких параметрів мережі, як швидкість передавання та рівень втрати пакетів, що дає змогу оперативно реагувати на зміну стану з'єднання. Також передбачено динамічне регулювання рівня стиснення залежно від характеристик мережі, що дозволяє адаптувати передавання даних до поточних умов і підтримувати необхідний рівень якості інформації. Додатково застосовується механізм буферизації, що сприяє мінімізації затримок при передаванні в нестабільних мережах, покращуючи безперервність потоку даних.

Третя частина забезпечує захист переданих даних, оскільки медична інформація є конфіденційною і потребує високого рівня безпеки. Для цього передбачено використання гібридного

шифрування, що поєднує AES-256 та RSA, забезпечуючи надійний захист від несанкціонованого доступу. Додатково застосовується механізм виявлення та корекції помилок на основі коду Ріда-Соломона, що гарантує цілісність переданих даних навіть за умови втрати частини інформації під час передавання [3].

Для оцінки ефективності запропонованого методу проведено моделювання процесу передавання медичних даних у нестабільних мережах в середовищі Python із використанням бібліотек: OpenCV (для обробки зображень та стиснення), SciPy (для роботи з біомедичними сигналами), SimPy (для емуляції мережевих процесів). Моделювання здійснювалось в кілька етапів, а саме:

- генерація тестових даних (медичні зображення, сигнали);
- стиснення даних відповідно до запропонованого алгоритму;
- емуляція передавання через мережу з випадковими затримками та втратою пакетів;
- оцінка продуктивності: затримка, втрата інформації, розмір переданих файлів.

Нижче наведений фрагмент коду, який реалізує стиснення зображення та обчислення PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) – показника, який використовується для оцінки якості зображень або відео після стиснення. Він вимірює, наскільки сильно змінилося зображення після обробки. PSNR порівнює оригінальне та відновлене (стиснене) зображення та обчислює середньоквадратичну похибку [4].

```
import cv2
import numpy as np

# Функція для обчислення PSNR
def calculate_psnr(original, compressed):
    mse = np.mean((original - compressed) ** 2)
    if mse == 0:
        return float("inf")
    max_pixel = 255.0
    psnr = 20 * np.log10(max_pixel / np.sqrt(mse))
    return psnr

# Завантаження оригінального зображення
original_image = cv2.imread("original_image.png", cv2.IMREAD_GRAYSCALE)

# Стиснення зображення у форматі JPEG 2000
compressed_path = "compressed.jp2"
cv2.imwrite(compressed_path, original_image, [cv2.IMWRITE_JPEG2000_COMPRESSION_X1000, 100])

# Завантаження стисненого зображення
compressed_image = cv2.imread(compressed_path, cv2.IMREAD_GRAYSCALE)

# Обчислення PSNR
psnr_value = calculate_psnr(original_image, compressed_image)
print(f"PSNR після стиснення: {psnr_value:.2f} dB")
```

Рис. 1 Фрагмент коду у Python для аналізу якості зображень за PSNR

Обчислення PSNR здійснюється за формулою [4]:

$$PSNR = 20 \log_{10} \left( \frac{MAX_I}{\sqrt{MSE}} \right), \quad (1)$$

де  $MAX_I$  – максимальне значення пікселя (наприклад, 255 для 8-бітного зображення); MSE (Mean Squared Error) – середньоквадратична похибка між оригінальним і стисненим зображенням.

Аналіз результатів моделювання дозволив отримати такі висновки:

- зменшення обсягу переданих даних на 40-60% при використанні алгоритмів адаптивного стиснення (JPEG 2000, SPIHT, Хафмана, FLAC) дозволяє значно зменшити розмір переданих файлів без критичної втрати якості, як показано на рисунку 1. Це особливо важливо при передачі через мобільні та супутникові канали зв'язку, де пропускна здатність обмежена;

- скорочення затримок під час передавання – адаптивне налаштування рівня стиснення в реальному часі відповідно до поточного стану мережі допомагає зменшити затримки. Це дозволяє швидше отримувати медичні зображення та сигнали, що критично важливо для віддаленої діагностики;

– оптимізація витрат ресурсів для мобільних пристроїв, оскільки запропоновані підходи мінімізують використання обчислювальних ресурсів при стисненні та декомпресії, що сприяє економії заряду батареї у мобільних пристроях та портативних телемедичних станціях.

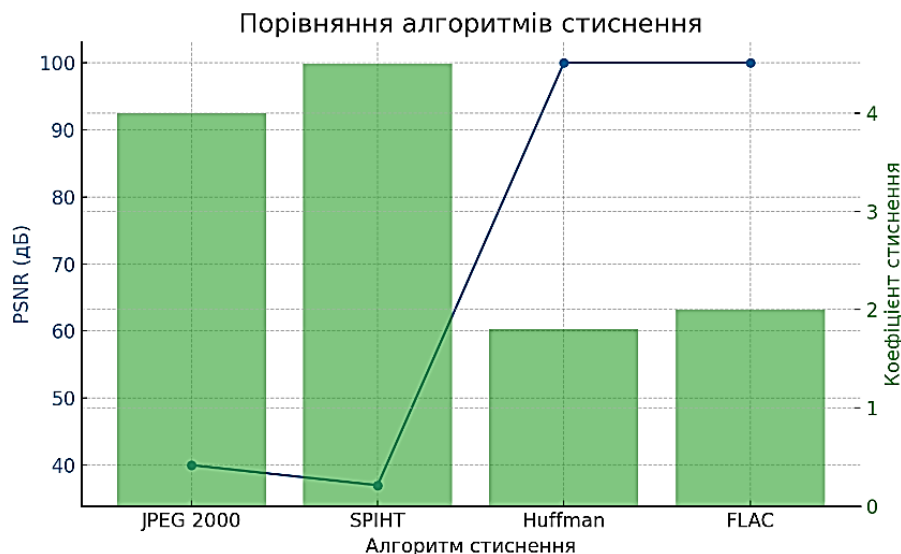


Рисунок 1 – Порівняння алгоритмів стиснення медичних даних

### Висновки

В роботі запропоновано метод адаптивного стиснення та передавання медичних даних, який забезпечує зменшення навантаження на мережу без суттєвої втрати якості інформації. Розроблений механізм дозволяє автоматично обирати оптимальний алгоритм стиснення залежно від типу медичних даних, що сприяє підвищенню ефективності їхньої передачі. Крім того, запропоновано метод моніторингу стану мережі та динамічної адаптації параметрів передавання, що забезпечує стабільну роботу системи навіть за умов нестабільного з'єднання.

Проведене моделювання підтвердило ефективність розробленого підходу, продемонструвавши суттєве скорочення обсягу переданих даних та зменшення затримок у мережі. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вдосконалення алгоритмів стиснення за допомогою методів глибокого навчання, а також на інтеграцію запропонованої технології у реальні телемедичні системи для оцінки її ефективності у практичних умовах.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Parsaei, M. R., Boveiri, H. R., Javidan, R., & Khayami, R. "Telesurgery QoS improvement over SDN based on a Type-2 fuzzy system and enhanced cuckoo optimization algorithm." *International Journal of Communication Systems*. 2020. <https://doi.org/10.1002/dac.4426>
2. Воробей, К. В., & Чебогарьова, Д. В. (2020). "Практичний підхід до застосування SDN в телемедицині для забезпечення необхідної пропускну здатності та полегшення передачі медичних даних у реальному часі." *Наукові праці НУК*.
3. Ляшук О.М. "MHED – високоефективний метод захисту даних на основі багатопарового гібридного шифрування" // *Вісник НТУУ «КПІ». Радіотехніка, радіоапаратобудування*, 2014, № 56, с. 144-151.
4. Python | Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR). Реалізація обчислення PSNR у Python за допомогою бібліотек OpenCV і NumPy. [Електронне джерело]: <https://www.geeksforgeeks.org/python-peak-signal-to-noise-ratio-psnr/>

**Яковишен Павло Олександрович** - аспірант кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, [yakovishen3@gmail.com](mailto:yakovishen3@gmail.com).

**Туржанський Станіслав Євгенович** – к.т.н, доцент кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, [slavat@vntu.edu.ua](mailto:slavat@vntu.edu.ua).

# ADAPTIVE COMPRESSION AND TRANSMISSION OPTIMIZATION OF MEDICAL DATA IN TELEMEDICINE SYSTEMS

**Annotation.** Modern telemedicine systems require efficient solutions for transmitting large volumes of medical data in real time. This study examines methods and algorithms for adaptive compression and data transmission optimization in telemedicine systems operating under unstable network conditions. A proposed approach involves selecting the optimal compression algorithm based on the data type and dynamically adjusting transmission parameters in response to changes in network characteristics. The compression and transmission process was modeled, allowing for an assessment of the feasibility of the proposed solutions. The obtained results confirm a reduction in transmitted data volume and an increase in system resilience to data loss while maintaining the quality of medical images, signals, and informational messages.

**Keywords:** telemedicine systems, data transmission, adaptive compression, compression algorithms, medical images.

***Yakovyshen Pavlo Oleksandrovysh*** - Postgraduate student, Department of Biomedical Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, [yakovishen3@gmail.com](mailto:yakovishen3@gmail.com).

***Tuzhanskyi Stanislav Yevhenovych*** - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Biomedical Engineering and Optoelectronic Systems, Vinnytsia National Technical University.