

## **ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПЕРЕДАЧІ МЕДІА ДАНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗАВАДОСТІЙКОГО КОДУВАННЯ**

**Педан С.І., Романович О.Д., Алексєєв М.О.**

*Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем*

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: stas.pedan@gmail.com,*

*lesharomanovich4@gmail.com, alexeyev@its.kpi.ua*

### **QUALITY ASSURANCE OF MEDIA DATA TRANSMISSION USING NOISELESS CODING**

Робота присвячена актуальному питанню забезпечення якості передачі медіа даних в гетерогенній мережі за допомогою використання завадостійкого кодування. По результатам проведеного аналізу протоколів та алгоритмів завадостійкого кодування прикладного рівня для передачі відео даних високої якості були відібрані алгоритми Ріда-Соломона та Raptor, стандартизовані для протоколу Mpeg Media Transport для передачі 4K/8K HEVC відео, для моделювання ефективності їх роботи. Результати моделювання показали, що застосування алгоритму Ріда-Соломона можливо для невеликої швидкості відео потоку (2K та нижче), та одиничних помилок в каналі передачі. Raptor алгоритм забезпечує високу якість передачі відео 4K та 8K в умовах як одиничних, так і серійних помилок в каналі передачі, але потребує значно більших обчислювальних ресурсів.

The work is devoted to the urgent issue of ensuring the quality of media data transmission in a heterogeneous network using interference-resistant coding. Based on the results of the analysis of application-level interference-resistant coding protocols and algorithms for the transmission of high-quality video data, the Reed-Solomon and Raptor algorithms, standardized for the Mpeg Media Transport protocol for the transmission of 4K/8K HEVC video, were selected to simulate their performance. The simulation results showed that the application of the Reed-Solomon algorithm is possible for a small speed of the video stream (2K and below) and single errors in the transmission channel. The Raptor algorithm provides high-quality 4K and 8K video transmission in the conditions of both single and serial errors in the transmission channel, but requires significantly more computing resources.

Зростаючі вимоги до продуктивності програмного забезпечення призводять до необхідності забезпечення високих обчислювальних можливостей пристроїв та високої швидкості їх комунікації. Ринок мобільних пристроїв, який є одним з головних драйверів розвитку сучасних високих технологій, також рухається шляхом, що відповідає вимогам клієнтів, збільшуючи функціональні можливості пристроїв та швидкість передачі даних.

Основною проблемою, з якою стикається індустрія мобільних пристроїв, є розрив між алгоритмічною складністю, продуктивністю процесора та доступною ємністю енергії (заряд акумулятора). Закон Шеннона передбачає, що продуктивність передачі даних покращиться вдвічі за 8,5 місяців, тоді як продуктивність процесора покращиться вдвічі за 18 місяців. Крім того, виробникам акумуляторів потрібно від 5 до 10 років, щоб досягти порівнянного збільшення щільності енергетичної ємності[1].

За останні кілька десятиліть мобільний зв'язок став свідком надзвичайного прогресу, змінивши спосіб підключення, спілкування та доступу до інформації. Розглянемо основні технології, які забезпечують цей прогрес.

5G забезпечує вищу швидкість передачі даних, меншу затримку та покращену надійність порівняно з попередніми поколіннями, а також може підтримувати набагато більшу кількість пристроїв. Все це дозволяє виконувати швидше і ефективніше більш складні задачі в таких сферах, як віртуальна та доповнена реальність, автономні транспортні засоби, Інтернет речей (IoT) [2].

Нещодавно був прийнятий стандарт Wi-Fi 7 (802.11be), який забезпечує нові варіанти використання напрямках багатокористувацької AR/VR/XR, 3D навчання, електронних ігор, гібридної роботи, промислового IoT та автомобільної індустрії. Прогнозується, що Wi-Fi 7 у 2024 році буде впроваджений на більш ніж 233 мільйонах пристроїв, та 2,1 мільярдів пристроїв до 2028 року [3].

Відбувається розвиток мережі IoT пристроїв, що вимагають мультимедійних комунікацій високої пропускної здатності та низької затримки. Прикладом можуть бути служби моніторингу розумного міста в реальному часі, такі як системи камер спостереження, відстеження транспортних засобів, контроль руху, моніторинг навколишнього середовища, виявлення руху об'єктів тощо.

Окрім IoT, відбувається стрімкий розвиток Інтернету транспортних засобів (IoV). Мобільність терміналу, швидкість та відповідні мобільні аспекти є факторами, що впливають на якість доставки бездротового відео в рамках інтелектуальних транспортних систем (ITS) і комунікацій Vehicle-to-everything (V2X) [4].

Очікується, що в найближчий час загальний глобальний трафік мобільних даних досягне 130 ексабайтів на місяць, а в 2029 році цей показник зросте приблизно в 3 рази та досягне 403 ексабайти на місяць. Прогнозований ріст трафіку до 2029 р. передбачає припущення, що початкове впровадження послуг типу XR, включаючи AR, VR і змішану реальність (MR), відбудеться у другій частині прогнозованого періоду. За оцінками, на кінець 2023 року відеотрафік становив 73 відсотки всього трафіку мобільних даних.

Відповідно до останнього звіту компанії Ericsson про мобільність очікується, що до 2027 року об'єм передаваного відеоконтенту зросте втричі та складатиме майже 80 відсотків мобільного трафіку[5].

Продукти та технології, що використовують відео, помітно просунулися за роздільною здатністю за останні роки, перейшовши до надвисокої роздільної здатності 4K та 8K. Це стало можливим завдяки розвитку комплексу технологій як то збільшення потужності DSP і GPU, а також розвитку мережевих технологій, описаних вище. Розвитку 8K відео сприяє розробка екосистеми для створення такого контенту (професійні камери та камери мобільних телефонів) та вдосконалення ефективності кодування 8K відео (HEVC кодек).

Збільшення роздільної здатності відео контенту та нові можливості мережевих технологій потребували створення нових стандартів ефективного кодування відео та транспортних протоколів. Тому у 2013 році був прийнятий MPEG-H стандарт, частиною якого став стандарт стиснення відео H.265 (HEVC), а також протокол передачі медіа контенту на прикладному рівні MPEG Media Transport (MMT).

Гібридна доставка медіа відноситься до поєднання доставки медіа компонентів через різні типи мережі, що є однією з найважливіших властивостей MMT. Однак при передачі медіа даних виникає ряд проблем:

1. Неоднорідність мереж. Гетерогенні бездротові мережі відрізняються залежно від обмежень пропускної здатності, затримок та частоти втрат пакетів. Ці різні фізичні властивості спричиняють асиметричний зв'язок для передачі відео, і, отже, можуть знизити загальну якість потокового передавання.

2. Порушений порядок пакетів. Поширення даних гетерогенними шляхами з різними швидкостями та коливаннями пропускної здатності створює проблему непорядкових пакетів.

3. Коли в буфері призначення зберігається багато пакетів, які очікують відкладених пакетів, буфер може переповнитися та заблокуватися.

4. Прострочені пакети. Пакети відеоданих, які надходять до пункту призначення після кінцевого терміну декодування відомі як прострочені пакети.

Пряма корекція помилок (FEC) допомагає знизити вплив перелічених вище факторів та покращити якість передачі медіа даних. Стандарт MPEG-H визначає декілька алгоритмів FEC прикладного рівня, які можуть використовуватися з протоколом MMT. Прикладами таких алгоритмів є код Ріда-Соломона (RS), Raptor, LDGM.

Необхідний компроміс між пропускною здатністю/затримкою та надлишковістю FEC. Хоча більша надлишковість призводить до кращої відновлюваності, вона також збільшує об'єм даних для передачі і рівень використання об'єму каналу передачі. Отже, ймовірність перевантаження, зміни порядку пакетів, затримки декодування FEC і загальної затримки передачі даних підвищується, особливо за наявності пакетних втрат. Тому для мінімізації цих проблем і максимізації відновлюваності потрібен адаптивний FEC, для якого можна змінювати параметри (наприклад, розмір пакета і надлишковість) відповідно до стану каналу мережі або на основі важливості вмісту даних. Наприклад, сильніший FEC може використовуватися в каналі з більшими втратами, але такий рівень не потрібен у більш стабільному каналі з меншим відсотком втрат, або більш надійний FEC також може використовуватися лише для I-кадрів, а не для B- або P-кадрів відео.

В даній роботі проведено моделювання ефективності використання FEC алгоритмів з невеликою максимальною кількістю інформаційних та надлишкових символів блоку даних (RS) у 256 символів та фонтанного коду Raptor, який має мінімальне обмеження у 8192 інформаційних символів, але набагато більшу кількість надлишкових символів.

Тестова схема оцінки ефективності завадостійких алгоритмів представлена на рис. 1.

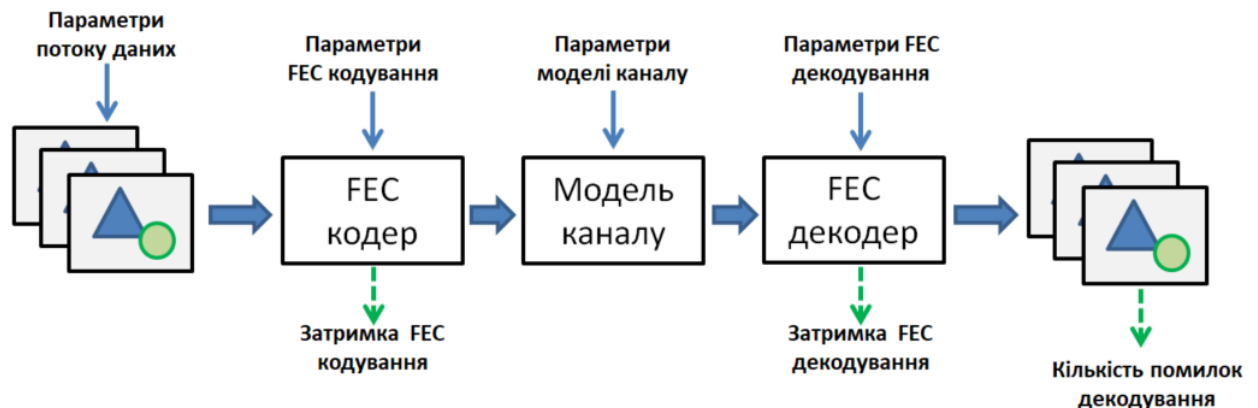


Рис. 1. Схема оцінки ефективності алгоритмів завадостійкого кодування.

Першим кроком є формування потоку зображень, який імітує потік ключових кадрів відео заданого об'єму (для 2К відео – 20 Mbps, 4К – 60 Mbps, 8К – 100 Mbps). Дані передаються на FEC кодування, для якого використовувались різні значення проміжку формування блоку (що визначало розмір блоку в залежності від швидкості потоку даних), а також різний рівень надлишковості кодування. Потік оригінальних та надлишкових даних передавався на модель каналу, яка імітувала одиничні та серійні втрати в каналі заданої якості. Остаточним кроком було FEC декодування.

В результаті проведених експериментів були отримані значення затримки кодування та декодування, а також статистика кількості помилок декодування. Аналіз результатів показав, що RS код забезпечує мінімальну затримку кодування та декодування, та має низкі показники кількості помилок декодування при одиничних втратах в каналі. Але при серійних втратах RS код має високій рівень помилок декодування по причині малого розміру блоку для заданих швидкостей відео даних. Raptor код по причині більшої кількості операцій алгоритму має більшу затримку декодування, але продемонстрував мінімальну кількість помилок декодування як для одиничних, так і серійних втрат в каналі завдяки значно більшій максимальній ємності блоку у порівнянні з RS.

**Висновки.** Був проведений аналіз протоколів та алгоритмів завадостійкого кодування прикладного рівня для передачі відео даних високої якості.

1. Проведено модулювання ефективності використання алгоритмів RS та Raptor для різних швидкостей потоку відео даних, а також параметрів моделі каналу передачі.

2. По результатам моделювання зроблений висновок, що застосування RS алгоритму можливо для невеликої швидкості відео потоку (2К та нижче), та одиничних втратах в каналі передачі. Raptor алгоритм забезпечує високу якість передачі відео 4К та 8К в умовах як одиничних, так і серійних втратах в каналі передачі, але потребує значно більших обчислювальних ресурсів.

## Література

1. Wu, Jerry & Shen, Yin-Lin & Reinhardt, Kitt & Szu, Harold & Dong, Boqun. (2013). A Nanotechnology Enhancement to Moore's Law. Applied Computational Intelligence and Soft Computing. 2013: Онлайн: [https://www.researchgate.net/publication/258393482\\_A\\_Nanotechnology\\_Enhancement\\_to\\_Moore's\\_Law](https://www.researchgate.net/publication/258393482_A_Nanotechnology_Enhancement_to_Moore's_Law)
2. A Timeline from 1G to 5G: The Evolution of Mobile Communication: Онлайн: <https://www.mpirical.com/blog/the-evolution-of-mobile-communication>
3. Wi-Fi CERTIFIED 7: Онлайн: <https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/wi-fi-certified-7>
4. Afzal, Samira, Vanessa Testoni, Christian Esteve Rothenberg, Prakash Kolan, and Imed Bouazizi. "A holistic survey of wireless multipath video streaming." *arXiv preprint arXiv:1906.06184* (2019): Онлайн: <https://arxiv.org/pdf/1906.06184.pdf>
5. Mobile data traffic outlook: Онлайн: <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/mobility-report/dataforecasts/mobile-traffic-forecast>