

ОПТИМІЗАЦІЯ ПЕРЕДАЧІ ВІДЕО ВИСОКОЇ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ЧЕРЕЗ КАНАЛИ З ОБМЕЖЕНОЮ ПРОПУСКНОЮ ЗДАТНІСТЮ

¹Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Анотація.

Роботу присвячено проблемі оптимізації передачі відео високої роздільної здатності через канали з обмеженою пропускнуою здатністю. Розглянуто сучасні стандарти стиснення H.264/AVC, H.265/HEVC, VP9 та AV1, які забезпечують ефективне зменшення обсягу даних без суттєвої втрати якості. Описано принципи адаптивного кодування бітрейту (MPEG-DASH), що дозволяють динамічно змінювати параметри потоку залежно від стану мережі. Проаналізовано використання транспортних протоколів RTP, RTCP і QUIC для забезпечення стабільності передачі та мінімізації втрат.

Ключові слова: Відеопередача, H.265, AV1, MPEG-DASH, RTP, QUIC, FEC, оптимізація.

Вступ

Передача відео високої роздільної здатності через канали з обмеженою пропускнуою здатністю є складною інженерною задачею, що потребує поєднання методів стиснення, кодування, буферизації та керування потоком даних. Зі зростанням обсягів відеоконтенту та розповсюдженням сервісів потокової трансляції, відеоконференцій і телеметричних систем актуальним є створення технологій, здатних забезпечити високу якість відтворення при мінімальному навантаженні на мережеві ресурси.

Основний матеріал

Основним напрямом оптимізації є застосування ефективних алгоритмів стиснення, які мінімізують кількість переданих бітів без суттєвої втрати якості. Сучасні стандарти, такі як H.264/AVC, H.265/HEVC, VP9 та AV1, реалізують багаторівневі методи кодування, що базуються на блокових перетвореннях, компенсації руху та міжкадровому передбаченні. У стандарті H.264 використовується технологія Discrete Cosine Transform та motion compensation, які дозволяють ефективно зменшувати надлишковість між сусідніми кадрами. HEVC розширює ці принципи, застосовуючи Quad-Tree Partitioning для гнучкого поділу кадрів на блоки, Sample Adaptive Offset для покращення відновлення пікселів після квантування та Context-Adaptive Binary Arithmetic Coding для зменшення обсягу бітстріму [1].

Формат AV1 представляє подальший розвиток і використовує Constrained Directional Enhancement Filters, Warped Motion Compensation, а також Multi-Symbol Entropy Coding, що підвищує ефективність стиснення до 30 % у порівнянні з HEVC при однаковій якості. Крім того, у VP9 реалізовано Loop Restoration Filters і Adaptive Reference Frames, що забезпечують кращу стійкість при передачі через мережі зі втратами [2]. Такі алгоритми дають змогу передавати відео з роздільною здатністю 4K і вище навіть при пропускнуій здатності менше 10 Мбіт/с.

Для підвищення ефективності при передачі в реальному часі застосовується адаптивне кодування бітрейту. Цей підхід реалізується, зокрема, у стандартах MPEG Dynamic Adaptive Streaming over HTTP, де відеопотік розділяється на сегменти різної якості, а клієнтський модуль динамічно вибирає оптимальний варіант залежно від поточної швидкості каналу. Алгоритми ABR, такі як Buffer Occupancy-based Lyapunov Algorithm, Festive, Pensieve та Rate-based Adaptation, використовують інформацію про буфер, затримку і доступну пропускну здатність для прийняття оптимального рішення про зміну якості потоку.

Важливим компонентом системи оптимізації є транспортний рівень. Для забезпечення стабільності передачі та контролю якості обслуговування використовуються протоколи RTP/RTCP та QUIC, які дозволяють адаптивно керувати чергами, зменшувати затримки і втрати

пакетів. Використання Forward Error Correction підвищує стійкість до втрат даних, тоді як Automatic Repeat Request забезпечує повторну передачу пошкоджених сегментів без переривання потоку. У системах із високою варіативністю пропускної здатності застосовується rate control – алгоритми керування швидкістю передачі, зокрема Leaky Bucket, Token Bucket, Dynamic Bitrate Allocation, які дозволяють підтримувати стабільну якість відео при змінних умовах мережі [3].

У процесі стиснення важливу роль відіграють алгоритми компенсації руху, такі як Hierarchical Motion Estimation та Sub-Pixel Motion Refinement, що зменшують часову надлишковість між кадрами. Для збереження високої якості зображення при агресивному стисненні застосовуються методи Perceptual Video Coding, які враховують особливості зору людини, зокрема чутливість до контрасту, кольору та руху [4].

Висновки

Оптимізація передачі відео високої роздільної здатності через канали з обмеженою пропускною здатністю базується на комплексному поєднанні технологій стиснення, адаптивного кодування та транспортного керування. Використання алгоритмів HEVC, AV1 та MPEG-DASH, разом із методами компенсації руху, адаптивного бітрейту, корекції помилок і керування чергами, дозволяє значно підвищити ефективність використання мережевих ресурсів і забезпечити високу якість відео при обмежених параметрах каналу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Goudarzi, P.; Tadayon, M.; Mousavinejad, M. An Optimization Theoretic Framework for Video Transmission with Minimal Total Distortion over Wireless Networks. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2009, 598063. doi: 10.1155/2009/598063.
2. Correa, G.; Assuncao, P.; Agostini, L.; Da Silva Cruz, L.A. Performance and Computational Complexity Assessment of High-Efficiency Video Encoders. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 22(12), 2012, pp. 1899–1909. doi: 10.1109/TCSVT.2012.2223411.
3. Hassan, M.M.; Farooq, U. Adaptive and Ubiquitous Video Streaming over Wireless Mesh Networks. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, 28, 2016, pp. 432–446. doi: 10.1016/j.jksuci.2015.11.00.
4. Bin-Salem, A.; Wan, T.C. Survey of Cross-Layer Designs for Video Transmission Over Wireless Networks. *IETE Technical Review*, 29(3), 2012, 229. doi: 10.4103/0256-4602.98865.

Панченко Володимир Іванович – старший викладач кафедри комп'ютерної інженерії та програмування, НТУ «ХПІ», Харків, Україна, e-mail: Volodymyr.Panchenko@khpi.edu.ua

Ткаченко Павло Дмитрович – магістрант кафедри комп'ютерної інженерії та програмування, НТУ «ХПІ», Харків, Україна

Цяпа Григорій Павлович – магістрант кафедри комп'ютерної інженерії та програмування, НТУ «ХПІ», Харків, Україна

OPTIMIZATION OF HIGH-RESOLUTION VIDEO TRANSMISSION OVER BANDWIDTH-LIMITED CHANNELS

Abstract.

The work is devoted to the problem of optimizing the transmission of high-resolution video over channels with limited bandwidth. Modern compression standards H.264/AVC, H.265/HEVC, VP9 and AV1 are considered, which provide effective reduction of data volume without significant loss of quality. The principles of adaptive bitrate coding (MPEG-DASH) are described, which allow dynamically changing the stream parameters depending on the network state. The use of transport protocols RTP, RTCP and QUIC to ensure transmission stability and minimize losses is analyzed.

Key words: Video transmission, H.265, AV1, MPEG-DASH, RTP, QUIC, FEC, optimization.

Panchenko V. – Senior Lecturer, Department of Computer Engineering and Programming, NTU "KhPI", Kharkiv, Ukraine, email: Volodymyr.Panchenko@khpi.edu.ua

Tkachenko P. – Master's Student, Department of Computer Engineering and Programming, NTU "KhPI", Kharkiv, Ukraine

Tsiapa H. – Master's Student, Department of Computer Engineering and Programming, NTU "KhPI", Kharkiv, Ukraine